

Instytut Informatyki, Automatyki i Robotyki
Politechniki Wrocławskiej

**Metody analizy wybranych cech pisma ręcznego na
potrzeby inteligentnego systemu obliczeniowego**

(rozprawa doktorska)

Roman PTAK

Promotor:

dr hab. inż. Jan Magott, prof. PWr

Słowa kluczowe:

- pismo ręczne,
- automatyczna identyfikacja wykonawcy,
- automatyczna weryfikacja wykonawcy,
- rzutowanie obrazu,
- współczynniki kształtu,
- klasyfikacja.

Wrocław, 2006 r.

Pracę dedykuję ukochanej żonie Bogusi.

Podziękowania

Składam gorące podziękowania prof. Janowi Magottowi za pomoc w realizacji pracy, bez którego opieki i wsparcia powstanie tej dysertacji byłoby niemożliwe.

Pragnę także podziękować prof. Mirosławowi Owocowi za cenne uwagi, które były bardzo pomocne w przygotowaniu i redakcji pracy.

Dalsze podziękowania kieruję do pracowników Katedry Kryminalistyki Uniwersytetu Wrocławskiego za cenne informacje i umożliwienie dostępu do laboratorium.

Spis treści

Wykaz ważniejszych skrótów, symboli i oznaczeń.....	6
1. Wprowadzenie	10
1.1. Tło pracy	11
1.2. Cel i teza pracy	14
1.3. Struktura pracy.....	15
2. Przedmiot badań	17
2.1. Pismo	17
2.2. Analiza cech pisma ręcznego w inteligentnym systemie obliczeniowym	19
2.3. Stosowane pojęcia, wyjaśnienia terminologiczne	21
3. Cechy pisma ręcznego	28
3.1. Zmienne	28
3.2. Zależność zmiennych.....	32
4. Stosowane rozwiązania i oprogramowanie.....	34
5. Materiał badawczy	39
5.1. Zestaw 1.....	39
5.2. Zestaw 2.....	40
5.3. Zestaw 3.....	41
6. Przetwarzanie obrazu pisma	42
6.1. Przetwarzanie wstępne i związane z nim błędy pomiarowe.....	42
6.2. Segmentacja	43
7. Pomiar	45
7.1. Pomiar ręczny	45
7.2. Pomiar automatyczny	47
8. Wielkość pisma.....	48
8.1. Metoda pomiaru automatycznego.....	49
8.2. Analiza porównawcza wyników pomiaru, błąd pomiarowy	56
8.3. Adaptacja innych metod do pomiaru wysokości pisma.....	58
8.3.1. Metoda Vinciarelli i Luettin	58
8.3.2. Metoda Marti i Bunke	59
8.4. Podsumowanie	61
9. Pole pisma.....	63
9.1. Podstawowe parametry	63

9.2.	Współczynniki kształtu.....	66
9.3.	Powłoka wypukła i współczynnik wypukłości.....	70
9.3.1.	Przekształcenia morfologiczne	72
9.3.2.	Algorytm wyznaczania powłoki wypukłej	77
9.3.3.	Pomiar współczynnika wypukłości	78
9.4.	Podsumowanie	86
10.	Parametry związane z liniaturą.....	87
10.1.	Wyznaczanie obszarów w rzucie.....	88
10.2.	Proponowane parametry	89
10.3.	Podsumowanie	91
11.	Inne cechy	92
11.1.	Szerokość linii pisma	92
11.2.	Współczynnik integracji	95
11.3.	Entropia.....	105
11.4.	Podsumowanie	106
12.	Proces identyfikacji pismoznawczej.....	107
12.1.	Klasyfikacja	108
12.2.	Metoda k-NN	110
12.3.	Selekcja cech.....	111
12.4.	Wyniki klasyfikacji.....	113
12.5.	Wykorzystanie sztucznych sieci neuronowych	115
12.6.	Inne rozwiązania	118
12.7.	Porównanie algorytmów rozpoznawania.....	119
13.	Podsumowanie i wnioski	121
	Bibliografia	125
	Skorowidz	131
	Spis ilustracji.....	133
	Spis tabel.....	135
	Dodatki.....	136
	<i>Katalog graficznych cech pisma ręcznego IES</i>	137
	Przykładowe próbki pisma z zestawu badawczego nr 1	147

Wykaz ważniejszych skrótów, symboli i oznaczeń

a_e	— oś wielka elipsy
$(a_i)_{i=1}^m$	— ciąg skończony (ang. <i>finite ordered set of elements</i>)
b	— długość boku w wielokącie
b_e	— oś mała elipsy
B	— obraz pisma
$B(x, y)$	— punkt obrazu o współrzędnych dyskretnych x, y
c	— cecha pisma
ConvD	— niedobór wypukłości
d	— liczba rozpatrywanych cech w procesie klasyfikacji
D	— liczba wszystkich cech, którymi opisujemy obiekt
D_P, D_L	— współczynniki kolistości
DL	— długość linii pisma
e_i	— i -ta etykieta obrazu
E	— entropia
E	— zbiór etykiet elementów obrazu B
f_1	— odległość O_{COG} od liniatury
f_2	— szerokość pasma środkowego
f_3	— „masa” na szerokości n -pikseli
F_{max}	— maksymalna średnica Fereta
F_{min}	— minimalna średnica Fereta
F_x	— pionowa średnica Fereta
F_y	— pozioma średnica Fereta
h_{G_i}	— wielkość i -tej grammy
\hat{h}_{sr}	— średnia wielkość pisma mierzona ręcznie
h'_{sr}	— średnia wielkość pisma mierzona automatycznie
$\hat{h}_{w_{i,\kappa}}$	— wielkość i -tego wyrazu klasy κ w próbie zmierzonego metodą ręczną
$h'_{w_{i,\kappa}}$	— wielkość i -tego wyrazu klasy κ w próbie zmierzonego metodą automatyczną
$h_{w_i^{(m)}}$	— wielkość i -tego wyrazu mierzonego metodą Marti i Bunke
H	— powłoka wypukła
IN	— poziom integracji pisma

IM	— impuls pisma
k	— liczba rozpatrywanych sąsiadów w metodzie k-najbliższych sąsiadów
K	— miara Kołmogorowa
lk_i	— i -ta liczba kształtu
$l_{x,i}$	— długość i -tego ciągu 0-1 w x kolumnie obrazu
$l_{y,i}$	— długość i -tego ciągu 0-1 w y wierszu obrazu
$L, L(B)$	— obwód obiektu B
LOS	— liczba obszarów spójnych
m	— numer klasy obiektu
\max	— wartość maksymalna
$\max(p)$	— wartość maksymalna w rzucie
\min	— wartość minimalna
M	— liczba klas obiektów
MD	— średnica Martina
MLP	— Perceptron wielowarstwowy (ang. <i>Multi Layer Perceptron</i>)
M_x	— moment bezwładności obiektu względem osi Ox
M_{xy}	— centralny moment bezwładności
M_y	— moment bezwładności obiektu względem osi Oy
nw_G	— liczba gramm niewiązanych
n_p	— liczba połączeń
N	— zbiór liczb naturalnych
N_G	— liczba mierzonych gramm
N_{kol}	— liczba kolorów (odcieni szarości) w obrazie
N_{w_κ}	— liczba mierzonych wyrazów klasy κ w danej próbce
O_{COG}	— środek ciężkości
OCR	— optyczne rozpoznawanie znaków (ang. <i>Optical Character Recognition</i>)
$p(x)$	— rzut pionowy obrazu
$p(y)$	— rzut poziomy obrazu
$P, P(B)$	— pole powierzchni obiektu
$P(X)$	— prawdopodobieństwo zdarzenia X
$P(X = x)$	— prawdopodobieństwo zdarzenia, że zmienna losowa X przyjmie wartość x
$P(X Y)$	— prawdopodobieństwo warunkowe zajścia zdarzenia X skoro zaszło zdarzenie Y

- $P(c|x_i)$ — prawdopodobieństwo warunkowe przynależności danego obiektu opisanego wektorem cech c do poszczególnych klas x_i
- $P(x_i)$ — prawdopodobieństwo wystąpienia danego poziomu intensywności x_i
- $\text{Pod}(g_i, g'_i)$ — funkcja podobieństwa obserwacji g_i i g'_i
- r_{conv} — współczynnik wypukłości
- r_e — współczynnik eliptyczny
- r_{hw} — współczynnik proporcji
- r_r — współczynnik promieni
- r_B — współczynnik Blaira-Blissa
- r_D — współczynnik Danielsona
- r_{DB} — współczynnik kolistości Drainge-Basin
- r_F — współczynnik Fereta
- r_H — współczynnik Haralicka
- r_{Hc} — współczynnik zwartości Hortona
- r_M — współczynnik Malinowskiej
- r_R — współczynnik odległości COG od obrzeża figury
- r_S — współczynnik kształtu
- r_W — współczynnik Wadella
- $R_{\text{COG}}(\alpha)$ — odległość O_{COG} obiektu B do jej brzegu w kierunku α .
- $R_{\text{COG max}}$ — maksymalna odległość O_{COG} obiektu B od obrzeża konturu
- $R_{\text{COG min}}$ — minimalna odległość O_{COG} obiektu B od obrzeża konturu
- $R_{\text{in}}(B)$ — promień największego okręgu wewnątrz obiektu B
- $R_{\text{out}}(B)$ — promień najmniejszego okręgu zawierającego w sobie obiekt B
- s — odchylenie standardowe
- s^2 — wariancja
- S — element strukturalny w algorytmach morfologicznych
- SE — system ekspertowy
- SL — szerokość linii pisma
- t — czas
- u — liczba neuronów w warstwie wejściowej MLP
- v — liczba neuronów w warstwie ukrytej MLP
- $v_j^{(i)}$ — j -ty neuron w i -tej warstwie MLP
- w — liczba neuronów w warstwie wyjściowej MLP
- w_G — liczba gramm wiązanych

WI	— współczynnik integracji pisma
x	— współrzędna x punktu obrazu,
$\lfloor x \rfloor$	— zaokrąglenie w dół (ang. <i>floor function</i>)
$\lceil x \rceil$	— zaokrąglenie w górę (ang. <i>ceiling function</i>)
x_{COG}	— środek ciężkości względem osi Ox
x_i	— poziom intensywności danego t -tego odcienia koloru
y	— współrzędna y punktu obrazu
y_{bl}	— dolne ograniczenie pasma śródlinijnego (w metodzie Marti i Bunke)
y_{bu}	— górne ograniczenie pasma śródlinijnego (w metodzie Marti i Bunke)
y_{COG}	— środek ciężkości względem osi Oy
y_l	— dolne ograniczenie pasma podlinijnego
y_u	— górne ograniczenie pasma nadlinijnego
Z	— zbiór liczb całkowitych
α	— wartość progowa w rzucie
β	— kąty wewnętrzne wieloboku
γ	— wartość progowa w algorytmie obliczającym LOS
δ_{ij}	— odległość obserwacji i -tej i j -tej
ε_c	— błąd klasyfikacji
ε_k	— błąd kwantyzacji
ε_p	— błąd próbkowania
ε_{sr}	— średni błąd pomiaru wielkości pisma dla całej próbki
$\varepsilon_{\text{sr } \kappa}$	— średni błąd pomiaru wielkości pisma wyrazów klasy κ
θ	— kąt najmniejszego momentu bezwładności
κ	— numer klasy wyrazów
v	— współczynnik zmienności
ΔN_{kol}	— przedział kwantyzacji
$\mathcal{G}, \mathcal{G}(B)$	— zbiór gramm (ang. <i>stroke set</i>) w obrazie pisma B
\mathcal{L}	— zbiór liter (ang. <i>letter set</i>)
\mathcal{R}	— zbiór wierszy (ang. <i>line of text set</i>)
\mathcal{U}	— zbiór ustępów, wersetów (ang. <i>paragraph set</i>)
\mathcal{W}	— zbiór wyrazów (ang. <i>word set</i>)

1. Wprowadzenie

Od momentu wynalezienia pisma zaistniała możliwość komunikacji pomiędzy ludźmi na odległość i w czasie oraz zapamiętywania informacji. Pismo ręczne (ang. *handwriting*) pozwala ponadto na identyfikację wykonawcy pisma, czyli wskazanie, kto wykonał dany rękopis. Także i obecnie pismo ręczne, częściowo zastąpione przez pismo maszynowe, stanowi ważny przedmiot przy badaniu dokumentów (ang. *document examination*).

Jedną z ważniejszych dyscyplin badających pismo jest ekspertyza kryminalistyczna (ang. *forensic handwriting examination*). Ma ona swój początek w historyczny sposób ujmowanej grafologii. Badaniami pisma, czy też ogólnie badaniami autentyczności dokumentów zajmują się eksperci pisma zwani biegłymi.

Badaniami pismoznawczymi poza kryminalistyką zajmują się: grafologia (ang. *graphology*), psychologia (ang. *psychology*), psychiatria (ang. *psychiatry*), pedagogika (ang. *pedagogics*) [58], neurobiologia (ang. *neuroscience*), kinezylogia (ang. *kinesiology*), paleografia (ang. *paleography*) [96] itd. Zainteresowanie naukowców pismem ręcznym i dorobek tych nauk podstawowych przyczynił się do wyłonienia nowych poddyscyplin takich jak: historia pisma, technika pisma, fizjologia pisma, psychologia pisma, patologia pisma itp. Powstał nawet angielski termin: *graphonomisc* [35] oznaczający interdyscyplinarne badania nad wszystkimi aspektami związanymi z pismem ręcznym.

Powstanie systemów komputerowych umożliwiło wykonywanie pewnych zadań zarezerwowanych do tej pory dla człowieka przez maszyny obliczeniowe. Pojawiła się możliwość, aby informatyka (ang. *computer science*) i sztuczna inteligencja (ang. *artificial intelligence*) za przedmiot swych badań brały pismo ręczne. Połączenie dorobku technologii informacyjnych i wiedzy ekspertów pozwoli zbudować systemy ekspertowe do badania pisma. Technologie informacyjne zajmują się najczęściej badaniem pisma ręcznego na potrzeby tzw. optycznego rozpoznawania znaków¹: OCR (ang. *Optical Character Recognition*), czy też ICR (ang. *Intelligent Character Recognition*). W polu zainteresowań tych nauk znalazły się także zagadnienia identyfikacji i weryfikacji wykonawcy pisma ręcznego.

¹ Termin znaki graficzne (pisarskie) rozumiemy jako pojęcie ogólne obejmujące: litery, cyfry, grammy, znaki interpunkcyjne [107].

1.1. Tło pracy

Pismo ręczne stanowiące przedmiot zainteresowań wielu dyscyplin niesie w sobie bardzo dużo informacji, także informacji poza treścią zapiski. Badaniem pisma ręcznego zajmuje się analiza pismoznawcza. Ma ona na celu dokonanie rozpoznania wykonawcy pisma — w terminologii pismoznawczej: identyfikacji czy też weryfikacji wykonawcy pisma. Celem pracy nie było zbudowanie całościowego systemu informatycznego do realizacji powyższych zadań (co przekracza zakres pracy), lecz opracowanie metod pomiaru wybranych cech pisma ręcznego.

U podstaw przeprowadzonych badań leży stwierdzenie, że istnieją formalizmy, które pozwalają opisać cechy pisma ręcznego. Systemy identyfikacji pisma ręcznego wymagają rzetelnego opracowania pomiaru cech identyfikujących. Kwestią do rozstrzygnięcia jest dobór tych cech, możliwość ich pomiaru oraz określenie rzetelności pomiaru. Określa się przy tym błędy pomiarowe. Weryfikacja wyników procesu pomiaru automatycznego, który należy do procesu wnioskowania, wymaga aby wyniki uzyskane automatycznie można było odnieść do pomiaru dokonywanego przez człowieka, tak zwanego ręcznego. Interesującym zagadnieniem jest także badanie właściwości cech pisma ręcznego m. in. zależność badanych cech. Można wysunąć hipotezę, że dobór cech oraz stopień ich wzajemnej zależności mają wpływ na wynik rozpoznawania.

Pomiar automatyczny daje nam dodatkowe możliwości pomiaru cech, które są poza możliwościami tradycyjnego pomiaru przeprowadzanego przez człowieka. Z tych cech warto wskazać te, które mają znaczenie identyfikujące. Automatyzacja pomiaru pozwoli na dokonanie znacznie większej liczby pomiarów w krótszym czasie niż gdyby dokonywał go człowiek. Pozwoli to na przebadanie znacznie szerszej populacji wykonawców pisma. Będziemy mieli znacznie szerszy materiał porównawczy, co pozwala wnioskować na temat rozkładów statystycznych cech pisma ręcznego.

Wielce istotne jest zastosowanie wieloletniego dorobku pismoznawców w zakresie: uporządkowania pojęć pismoznawczych, formalizacji terminologii, rozwoju metod pomiarowych i przeprowadzania ekspertyzy pismoznawczej. Odnośnie polskiego wkładu do rozwoju pismoznawstwa warto wymienić tu dorobek dwunastu ² Wrocławskich Sympozjów Badań Pisma [42][43][40][41].

² Dwunaste sympozjum odbyło się w dniach 7–9 czerwca 2006 we Wrocławiu. Nie doczekało się jednak jeszcze publikacji materiałów konferencyjnych.

W technologiach informacyjnych w zakresie rozpoznawania istotnym jest także rozpoznawanie obrazu pisma. Rozwiązanie problemów pomiaru cech pisma ręcznego może być też zastosowane na rzecz rozpoznania treści zapiski.

Istnieje bliski związek pomiędzy zadaniem identyfikacji wykonawcy pisma a zadaniem rozpoznawania pisma. W dziedzinie rozpoznawania pisma mamy do chwili obecnej duży postęp. Zagadnienie rozpoznawania pism maszynowych zostało już w dużej mierze rozwiązane. Trwają obecnie prace nad rozpoznawaniem pism ręcznych. W rozwiązaniu tego zagadnienia dominuje zastosowanie *Ukrytych (Niejawnych) Modeli Markowa* (ang. *Hidden Markov Model*) [101]. Model matematyczny tej techniki można określić jako parametryczną statystyczną metodę klasyfikacji sekwencji zdarzeń. Szukany jest najbardziej prawdopodobnie pasujący łańcuch zdarzeń wzorcowych do ciągu testowego. Dlatego czasem mówimy także o tej metodzie, jako o ukrytych (niejawnych) łańcuchach Markowa. Modele te są również stosowane w celu identyfikacji wykonawcy pisma [101].

Można stosować także prostsze klasyfikatory, które działają szybciej co może mieć znaczenie dla szybkości działania systemu komputerowego. Przykładem może być np. metoda k-NN (ang. *k-Nearest Neighbours*), która została zastosowana w tej pracy.

Zagadnienia rozpoznawania pisma [89] oraz identyfikacji i weryfikacji wykonawcy [88] są badane od wielu lat. Wybrane prace traktujące o tych kwestiach [5][8][101][102][104][119] osiągają całkiem obiecujące wyniki sięgające wartościami współczynników poprawienie zaklasyfikowanych wykonawców pisma powyżej 90%. Spotykane w literaturze przedmiotu metody bazują na pewnych grupach cech, nazywanych w różnoraki sposób przez autorów.

W pracy [8] oparto się na rozkładach prawdopodobieństwa kierunków (krawędzi) linii pisma (ang. *edge-based directional features*) jako wielkościach charakteryzujących pismo ręczne. Uwzględniono zarówno same kierunki linii pisma jak i kąty utworzone przez linię pisma w punktach zmian jej kierunku.

Autorzy publikacji [103][104] proponują zastosowanie konturów elementów spójnych, tak zwanych CO³s (COCOCOs, ang. *connected-component contours*) i analizę funkcji gęstości prawdopodobieństwa odpowiadającym im zmiennym losowym.

Monografia [22] wyróżnia całą gamę interesujących cech na różnych poziomach składowych: dokumentu, akapitu, wyrazu i znaku. Dla przykładu na poziomie znaku wymienia się takie cechy jak: GSC (ang. *Gradient, Structural and Concavity features*),

geometryczne (ang. *geometric*). Na mniejszych poziomach subtelności wymieniane są cechy związane z jasnością pikseli obrazu, konturami obiektów, proporcjami różnych wielkości, wcięciami akapitowymi itp.

Innym podejściem jest analiza elementów składowych pisma ręcznego nazywanych z ang. *graphemes* [4]. Pojęcie to zostanie bliżej wyjaśnione w dalszych częściach pracy.

Jednakże rozwiązania spotykane w literaturze nie mają często na celu opracowania kompletnego katalogu uwzględnianych cech na potrzeby klasyfikacyjne. Poza tym często badania były wykonywane na różnych zestawach próbek pisma, nie zawsze reprezentujące stosowany w praktyce rękopiśmienny materiał badawczy. Różnorodność badanego materiału nie zawsze pozwala na bezpośrednie porównywanie proponowanych w literaturze metod.

Do analizy uwzględnianych cech pisma ręcznego proponuje się w bogatej literaturze różnorakie techniki, np.: analizę głównych składowych (ang. *Principal Component Analysis, PCA*) [119] lub mapy samoorganizujące się Kohonena (ang. *Kohonen self organizing map, Kohonen SOM*) [103][104]. Metody selekcji informacji bazujące „na podstawie teorii decyzji statystycznych, teorii informacji, porównywanie rozkładów prawdopodobieństwa oraz metodę programowania matematycznego” omówiono w monografii [108].

Istnieje pełna zależność pomiędzy rozpoznawaniem pisma a badaniami identyfikacyjnymi i weryfikacyjnymi wykonawcy pisma. Nie można bowiem przeprowadzić w pełni rzetelnej, przez co wiarygodnej, weryfikacji bez umiejętności odczytania zapisanej informacji. Dotyczy to zarówno ekspertów jak i systemów komputerowych. Można postawić także tezę, że nie można rozpoznać mało czytelnego pisma ręcznego bez poznania zespołu cech indywidualnych w takim piśmie.

Badania poczynione na rzecz tej pracy są aktualne zarówno na potrzeby identyfikacji jak i wykonawcy pisma. Kluczowym jest dopiero sposób zastosowania opracowywanych metod pomiarowych w konkretnych rozwiązaniach systemów do identyfikacji i weryfikacji.

Architektura typowego systemu komputerowego do rozpoznawania składa się z następujących modułów: 1) przetwarzania wstępnego (ang. *preprocessing*), 2) wydzielania cech (ang. *feature extraction*) i 3) klasyfikacji (ang. *classification*) czyli właściwego modułu wnioskującego, rozpoznającego (ang. *recognizer*) [63]. W pracy opracowano wszystkie te moduły. Skupiono się jednak na etapie drugim, gdzie pomiar

cech stanowi jeden z ważniejszych części modułu wydzielenia cech. W zakres pracy wchodzi określenie trafności i rzetelności pomiaru wybranych cech pisma ręcznego na potrzeby klasyfikacji w systemie obliczeniowym. Dotyczy to między innymi sprawdzenia czy dana metoda obliczeniowa mierzy to, co jest mierzone przez ekspertów pisma.

Nie wyklucza to możliwości pomiaru i zastosowania cech nie mierzonych przez ludzi do celów klasyfikacyjnych. Cechy mierzone automatycznie, a nie mierzone przez ekspertów mogą nawet dawać lepsze wyniki klasyfikacji.

Analiza metod klasyfikacji na potrzeby identyfikacji jest szerokim zagadnieniem. Rozważań zamieszczonych w tej pracy nie należy traktować jako pełny przegląd metod klasyfikacji.

1.2. Cel i teza pracy

Celem pracy jest wykonanie przyczynku ku opracowaniu systemu obliczeniowego do pomiaru cech pisma ręcznego na potrzeby identyfikacyjne w rozumieniu rozpoznawania. Ma to nastąpić poprzez opracowanie metod pomiaru cech pisma ręcznego. Rozwiązanie powyższych zadań stanowi pierwszy etap w rozwiązaniu zagadnień identyfikacji pismoznawczej i rozpoznawania pisma ręcznego.

Tezę pracy sformułowano w następujący sposób:

- 1. Można stworzyć katalog cech pisma ręcznego mierzonych komputerowo odnoszący się do dorobku nauk pismoznawczych.**
- 2. Istnieją nowe obliczeniowe metody pomiaru cech pisma ręcznego.**
- 3. Wartości cech uzyskane dzięki owym metodom różnicują wykonawców, więc poprzez ich dobór i na ich podstawie można dokonać klasyfikacji wykonawcy.**

Uzupełnieniem powyższej tezy jest stwierdzenie, że istnieją już pewne algorytmy do pomiaru różnych cech pisma ręcznego. Można jednak postawić hipotezę, że istnieją nowe obliczeniowe metody pomiaru cech pisma. W zakres tej pracy wchodzi więc opracowanie algorytmów pomiaru cech pisma ręcznego, które do tej pory nie doczekały się publikacji oraz opracowanie nowych algorytmów rozwiązujących dane zadanie w lepszy sposób od istniejących.

W celu wykonania postawionego zadania opracowano szereg algorytmów (patrz strony: 53, 77, 101,110) pomiaru cech, które proponuje się dodać do tworzonego katalogu.

1.3. Struktura pracy

Opracowanie składa się z trzynastu rozdziałów. Dwa kolejne rozdziały po wstępie wprowadzają w tematykę pracy przybliżając przedmiot badań i podstawową terminologię. Ze względu na to, że terminologia pismoznawcza jest bardzo bogata, zdefiniowane zastały ważniejsze i stosowane terminy. Załączony do pracy wykaz literatury pozwala odszukać w miarę potrzeb dalszą terminologię. Rozdział 3. omawia właściwości charakterystyczne opisujące badane obiekty, czyli cechy pisma ręcznego.

Kolejny, 4. rozdział przybliży jakie oprogramowanie jest obecnie spotykane i które może być zastosowane w praktyce pismoznawczej. Wymieniane jest zarówno powszechnie dostępne oprogramowanie jak i specjalistyczne oprogramowanie wspierające pracę ekspertów. Wskazuje się na te cechy systemów informatycznych, które są istotne z punktu widzenia badań pismoznawczych. Rozdział 5. omawia sposób zebrania i przygotowania rękopiśmiennego materiału badawczego. W następnym rozdziale omawiane jest przetwarzanie wstępne obrazu wraz z informacją jakie błędy wnosi to przetwarzanie.

Rozdział 7. stanowi wprowadzenie do zasadniczej części pracy, w którym omawiane jest zagadnienie pomiaru w kontekście badań pismoznawczych.

Następne cztery rozdziały omawiają metody pomiaru cech pisma ręcznego z kilku grup cech pisma ręcznego. Rozdział 8. dotyczy proponowanej metody pomiaru wielkości pisma. Wyniki działania tej metody zostały odniesione do wyników uzyskiwanych metodą pomiaru przez człowieka jak i do dwóch metod obliczeniowego określania cech stref pisma ręcznego. W rozdziale 9. zaproponowano zastosowanie całego szeregu parametrów mogących opisywać pole pisma. Szerzej omówiono pomiar i zastosowanie współczynnika wypukłości. Następny rozdział 10. prezentuje możliwość określania położenia pewnych elementów pisma w odniesieniu do liniatury. Rozdział 11. traktuje o innych proponowanych cechach, które trudno pomieścić w poprzednich trzech rozdziałach.

Rozdział 12. omawia proces identyfikacji pismoznawczej w oparciu o określone cechy pisma ręcznego. Zaproponowano zastosowanie dwóch metod klasyfikacji: metody najbliższego sąsiada i zastosowanie sztucznych sieci neuronowych.

Podsumowanie opracowania oraz wnioski zamieszczono w rozdziale 13.

Do pracy załączono także dodatki, które mogą być pomocne w odbiorze prezentowanych treści. Jako pierwszy załącznik zdecydowano się na dołączenie

publikowanego już w kilku miejscach *Katalogu graficznych cech pisma ręcznego IES*. Katalog ten stanowi ważny element odnośnikowy do treści prezentowanych w pracy. Ponadto ciągle wymagany jest aby był on propagowany wśród pismoznawców więc prezentowany jest tu w całości. Wybrane próbki rękopisów składające się na materiał badawczy stanowią drugi załącznik.

2. Przedmiot badań

Przedmiotem przeprowadzonych badań jest pismo ręczne. Twory graficzne związane z pismem ręcznym oraz niesiona przez nie informacja podlega badaniom pismoznawczym. Istnieje wiele dyscyplin naukowych zajmujących się tą materią. W pracy zajęto się pismem ręcznym z punktu widzenia nauk informatycznych oraz kryminalistycznych. Badania dotyczą zasadniczo pisma współczesnego. Pismo jest tu rozumiane w szerokim ujęciu, czyli obejmującym także podpisy.

2.1. Pismo

W badaniach pismoznawczych bierze się pod uwagę cztery aspekty nazywane warstwami pisma:

- warstwę graficzną,
- warstwę językową,
- warstwę treściową,
- warstwę techniczną [51, s. 14].

W niniejszych badaniach zajęto się warstwą graficzną pisma, czyli grafizmem. Jest to jedyna warstwa pisma, która jest indywidualna. Historyczne już pojęcie „cecha indywidualna pisma” jest rozumiana jako „cecha indywidualna wykonawcy odwzorowana w piśmie”. „Ponieważ trwałe indywidualne cechy wykonawcy (a tylko takie nas interesują; mowa oczywiście o względnej trwałości) odwzorowują się w wielu egzemplarzach podpisów [pisma], sensownie można jedynie mówić o „grupowych cechach podpisów [pisma]” ” [77].

Grafizmowi, czyli obrazowi pisma można przypisać pewne istotne mierzalne właściwości, czyli takie, które można obserwować oraz mierzyć. Właściwości te najczęściej nazywane są cechami (ang. *features*).

Także w pismoznawstwie podstawowym definiowanym terminem jest cecha pisma ręcznego (ang. *handwriting feature*) rozumiana jako każda właściwość warstwy graficznej, językowej, treściowej lub technicznej pisma. Uporządkowane wartości cech tworzą tak zwane wektory wartości cech (lub skrótowo: wektory cech). Mając do dyspozycji większą liczbę rozpatrywanych cech mamy większe szanse prawidłowej ekspertyzy. W badaniach identyfikacyjnych istotniejsze są zespoły cech pisma niż poszczególne cechy. Znaczenie różnych informacji o obiekcie badań może być różne i zależy w znacznej mierze od celu, jakemu służy klasyfikacja [108]. Innym celem jest

klasyfikacja wykonawcy pisma ręcznego a innym właściwa klasyfikacja zapisanej informacji, czyli innymi słowy rozpoznawanie pisma.

T. Widła w swojej pracy przybliżył wybrane systemy podziału cech pisma ręcznego. Najpopularniejszą klasyfikacją podziału cech pisma ręcznego był system opracowany przez J. Crépieux-Jamina. Jego następcy z tak zwanej szkoły grafologicznej³ oraz inni pismoznawcy wzorowali się na tej systematyce bądź opracowali podobne [113, s. 22]. Wyczerpujące zestawienia katalogowe: cech pisma oraz metod badań pismoznawczych na potrzeby badań identyfikacyjnych jak i porównawczych (weryfikacyjnych) znajdziemy w pracy [51].

Analiza rozwoju opracowywanych katalogów uwzględnianych cech pisma ukazuje wyraźną tendencję do zwiększania szczegółowości ujmowania cech pisma. Pokazuje ponadto ich poszerzenie o cechy pozagraficzne: cechy należące do warstwy językowej, treściowej oraz warstwy technicznej. „Tendencja ta jest niewątpliwie korzystna dla praktyki opiniowania; szczegółowa klasyfikacja [w rozumieniu taksonomicznym⁴] cech pisma może bowiem służyć do budowy algorytmu badania pisma [51, s. 37]”. Stworzenie takiego algorytmu czy też algorytmów przybliży nas z kolei ku opracowaniu szeregu algorytmów komputerowych służących temu samemu celowi.

Jedną z najnowszych klasyfikacji cech pisma ręcznego jest *Katalog Graficznych Cech Pisma Ręcznego IES* [51, s. 37–44][82][27, s. 789–971][38]. Odnośnie warstwy językowej i warstwy treściowej wymienić tu należy *Katalog Cech Językowo-Treściowych* [38].

Bardzo ciekawą klasyfikację cech pisma ręcznego zaproponował A. Łuszczuk wprowadzając „klasyfikacyjną formułę pisma ręcznego” wzorowaną na formule daktyloskopijnej [61].

Pobieranie próbek pisma może się odbywać w tzw. trybie on-line lub off-line. Ze względu na sposób wprowadzania danych do systemu informatycznego, systemy informatyczne można podzielić na:

³ Grafologia rozumiana jest tutaj w ujęciu historycznym, jako nauka która stoi u podstaw pismoznawstwa współczesnego. Jest to definicja ogólna bliska rozumieniu grafologii jako wszelkich badań pisma: porównawczych i identyfikacyjnych. Natomiast według definicji wąskiej, grafologia rozumiana jest jako umiejętność określania charakteru człowieka; cech psychicznych, zdolności i upodobań człowieka na podstawie grafizmu 51, s. 63–64].

⁴ Dopisek autora. Należy tu odróżnić pojęcie klasyfikacji rozumiane jako budowę systematyki pisma czyli taksonomii od pojęcia oznaczającego jeden z etapów rozpoznawania.

- on-line — dane wprowadzane są w czasie rzeczywistym, dzięki czemu system posiada informacje o trajektorii ruchu narzędzia pisarskiego w trakcie pisania. Najczęściej są to funkcje określające pozycje pióra w czasie ($x(t)$, $y(t)$). Ponadto uzyskujemy informacje o naciskowości,
- off-line — dane wejściowe zawierają statyczne obrazy znaków w postaci macierzy punktów.

W niniejszych badaniach (podobnie jak w szerokiej praktyce pismoznawczej) próbki pisma nie były pobierane w trakcie ich wytwarzania, dlatego mamy do czynienia z problemem off-line. Niemożliwym przez to było uzyskanie takich cech pisma jak: szybkość pisania i nacisk.

W tej pracy przedstawiono wyniki badań nad możliwością określania wybranych cech pisma ręcznego. Zbadano czy taki pomiar jest możliwy, jakimi metodami można badać te cechy i sprawdzono skuteczność tych metod. Skoncentrowano się na pomiarze cech pisma ręcznego zapisanego w języku polskim. Polski alfabet składa się w praktyce z następujących 35⁵ małych liter (minuskulnych): a, a, b, c, ć, d, e, e, f, g, h, i, j, k, l, ł, m, n, ó, o, ó, p, q, r, s, ś, t, u, v, w, x, y, z, ź, ż, oraz 35 dużych liter (maiuskulnych): A, A, B, C, C, D, E, E, F, G, H, I, J, K, L, Ł, M, N, N, Ó, Ó, P, Q, R, S, Ś, T, U, V, W, X, Y, Z, Ż, Ż. Oparty on został na alfabecie łacińskim z dodatkowymi dziewięcioma literami ze znakami diakrytycznymi [62, s. 14].

2.2. Analiza cech pisma ręcznego w inteligentnym systemie obliczeniowym

Istnieje potrzeba obiektywizacji badań w odniesieniu do pismoznawstwa. Potrzebę taką dostrzega wielu pismoznawców [54]. Sformalizowanie opisu pisma pozwala poprawić efektywność ekspertyz pismoznawczych dzięki temu, że wszyscy eksperci będą porozumiewać się tą samą terminologią. W jego wyniku można uwiarygodnić tezy i sądy, które będą zrozumiałe dla wszystkich ekspertów. Taki formalizm daje możliwość łatwiejszej prezentacji wyników badań oraz wymianę doświadczeń pomiędzy naukowcami różnych dyscyplin.

Formalizacja języka pismoznawców oraz opis procesu ich postępowania daje możliwość zastosowania komputerów w badaniach pismoznawczych. Opis pojęć i prześledzenie procesu wnioskowania pozwala opisać sposób przeprowadzania ekspertyzy, sposób wnioskowania itp., co pomoże zbudować system ekspertowy (SE)

⁵ Często podaje się 32, gdyż litery q, v, x nie są uznawane za polskie.

wspomagający pracę pismoznawców. Powstanie „Systemu Ekspertowego Pismoznawstwa” postulowane jest w pracy [81]. Zastosowanie dorobku sztucznej inteligencji daje możliwość zbudowania systemu ekspertowego. Pozwoli on przyspieszyć pracę eksperta pisma, wykonywać efektywniej kwerendy itp. Komputerowy system ekspertowy może dokonywać pomiaru cech pisma ręcznego a następnie procesu wnioskowania w *maszynie wnioskującej* (ang. *inference engine*) w oparciu o wiedzę zgromadzoną w *bazie wiedzy* (ang. *knowledge base*) [71].

Taki system może wzorować się w swoim działaniu na pracy ekspertów pisma. Posiadałby on wszystkie cechy SE, np. możliwość prześledzenia procesu wnioskowania. Wtedy w każdej chwili można przyglądać się wynikom etapów pośrednich wnioskowania.

Aby zadania stawiane przed pismoznawcami mogły być realizowane przez system informatyczny należy opracować modele matematyczne wszystkich badanych obiektów [84]. Wprowadzenie formalnego opisu cech obrazu pisma ręcznego pozwala na zastosowanie obliczeniowych metod pomiarowych do określania tych cech. W konkretnym przypadku zastosowanie formalizmu związanego z *Katalogiem Graficznych Cech Pisma Ręcznego IES* ułatwia zbudowanie systemu komputerowego do rozwiązywania zadania pomiaru cech pisma ręcznego i dalej identyfikacji.

Wśród różnych systemów automatycznej analizy pisma można wprowadzić podział ze względu na to, czy naśladowana jest praca ekspertów pismoznawców, czy też stosuje się inne techniki, właściwe rozpoznawaniu obrazów. Techniką bazującą na metodach analizy obrazu jest np. traktowanie obrazu tekstu jako tekstury [99]. Innym podejściem jest zastosowanie pomiaru cech uzyskiwanych dzięki teorii fraktali [9][10]. W procesie identyfikacji można także wzorować się na pracy człowieka w pewnych etapach jego pracy. W takich systemach automatyzowany jest pomiar cech pisma, które są brane pod uwagę przez ekspertów, pismoznawców. Zmierzone cechy stanowią dane wejściowe do systemu ekspertowego.

Możliwość automatycznego pomiaru cech pisma ręcznego jest wymogiem dla zbudowania w pełni automatycznego systemu ekspertowego, który będzie wspierał pracę eksperta pisma. Pierwszym etapem jest więc opracowanie pełnej metodologii automatycznego pomiaru cech pisma. Szczególnie ważne jest czy istnieje oraz jaka jest zależność pomiędzy cechami pisma z różnych grup cech np. pomiędzy cechami mierzalnymi a syntetycznymi. Można by wtedy określać stopień zależności pomiędzy nimi.

Zadanie wspomaganie pracy pismoznawcy będzie mógł wykonać system obliczeniowy jednak dopiero wtedy, gdy materiał badawczy będzie dostępny w postaci elektronicznej w postaci zeskanowanych rękopisów.

Istnieje możliwość wspierania badań pismoznawców na różnych etapach ich pracy: gromadzenia, przechowywania danych oraz pomiaru cech próbek pisma. System komputerowy, wspierający pracę eksperta, nadaje się doskonale do wykonywania kwerend oraz przetwarzania wstępnego. Ponadto zastosowanie komputerów w procesie obliczeń statystycznych oraz wnioskowania może przynieść przyspieszenie badań.

Baza wiedzy w systemie ekspertowym winna być stosowna do stawianego problemu przez jedną z nauk zajmujących się badaniem pisma. Trzeba uwzględnić różnice w pracy np. kryminalistyka pismoznawcy, a historyka zajmującego się paleografią. W pracy [106] zwrócono uwagę, że „stopień indywidualności pisma ręcznego” w różnych okresach historycznych był różny. Szczególnie newralgiczne są na przykład okresy przechodzenia ze stylu pisma romańskiego na pismo gotyckie lub z pisma gotyckiego do humanistycznego. Należy mieć więc do dyspozycji informacje na temat zmian cech pisma w przeciągu całych okresów historycznych.

W zależności od zastosowania będziemy wykorzystywać bazę wiedzy zawierającą wiedzę eksperta z dziedziny ekspertyzy kryminalistycznej, paleografii, czy też innej nauki.

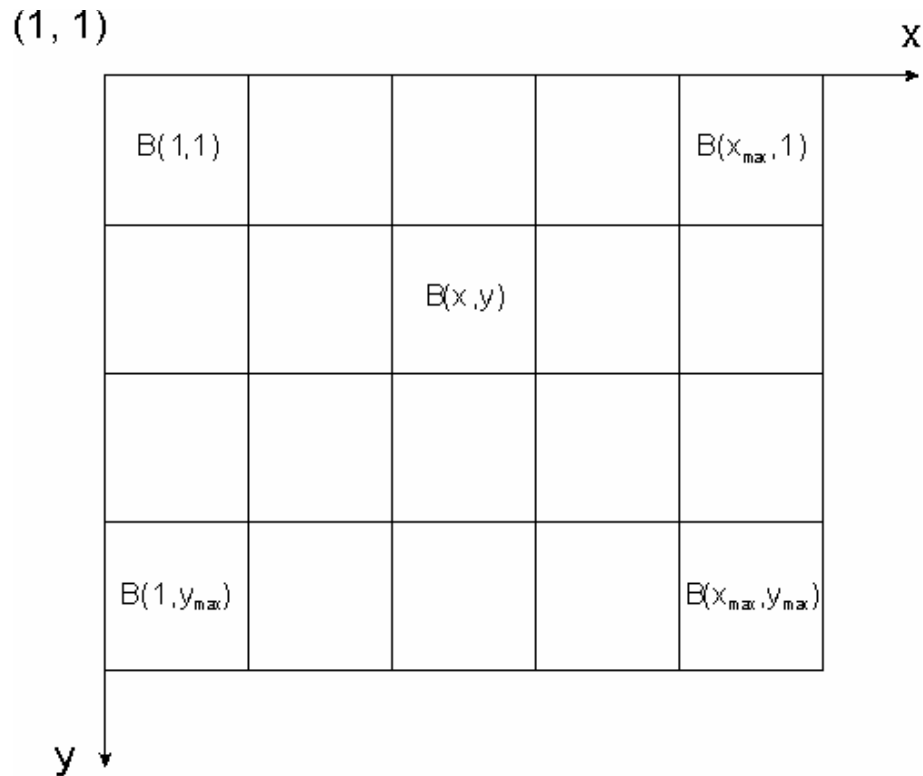
2.3. Stosowane pojęcia, wyjaśnienia terminologiczne

W opisie cech graficznych pisma ręcznego stosowanych jest wiele pojęć. W tym rozdziale zostały przedstawione podstawowe pojęcia i definicje wykorzystywane w niniejszych badaniach.

Obraz pisma w trybie off-line jest zapisywany w postaci rastrowej, stąd do opisu obrazu można użyć macierzy. W reprezentacji obrazu używa się układu współrzędnych pikselowych. Jest to kartezjański układ współrzędnych prostokątnych i z przyczyn technicznych najczęściej stosowany w technice komputerowej do opisu grafiki rastrowej. Oczywiście nie musi to być jedynym [56, s. 11–12] i najlepszym rozwiązaniem, ponieważ w pracy [79] wskazano układ współrzędnych biegunowych jako bardziej dopasowany do właściwości zmysłu wzroku.

Zbiór punktów (pikseli) obrazu oznaczymy jako B , wtedy $B(x, y)$ oznacza punkt obrazu o współrzędnych dyskretnych x, y . $B(x, y) \in \{0, 1, \dots, N_{kol}-1\}$, gdzie: N_{kol} oznacza liczbę kolorów lub odcieni szarości. Dla obrazu binarnego $B(x, y) \in \{0, 1\}$,

gdzie: 0 oznacza kolor podłoża pisarskiego (tła), 1 oznacza kolor narzędzia pisarskiego (ołówka, pióra, długopisu itp.). Reprezentację graficzną obrazu w prawoskrętnym, kartezjańskim układzie współrzędnych pokazano na Rys. 1.



Rys. 1. Układ współrzędnych stosowany do opisu obrazu

Do określenia wielkości pisma i innych jego cech istotne jest pojęcie grammy⁶. *Gramma* (ang. *stroke* lub *grapheme*) jest elementem graficznym, składowym litery będącym pojedynczym łukiem lub odcinkiem. *Słownik Terminów Pismoznawczych IES* definiuje grammę jako: „konstrukcyjnie wyodrębniona część znaku graficznego”. W innym miejscu znajdujemy definicję: „gramma to odrębnie kreślona linia w budowie litery bądź jakiejś jej części” [33, s. 409⁷]. Definicja odwołująca się do ruchu pisarskiego a nie do śladu narzędzia pisarskiego jest następująca: „gramma to element graficzny odzwierciedlający trajektorię pojedynczego ruchu pisarskiego” [67].

W kręgu nauki anglosaskiej jest znane pojęcie *grapheme* rozumiane jako najmniejsza możliwa do rozróżnienia, niepodzielna część pisma; abstrakcyjne pojęcie odnoszące się do litery alfabetu (ang. „The smallest identifiable unit of writing; not divisible; the abstract concept of a letter of the alphabet” [11]). Definicja ta opiera się na

⁶ Etym. - gr. *gramma* „litera; pismo, napis; księga” od *gráphein* „skrobać; rytować; rysować; pisać” [47].

⁷ Cytowane za [67].

innym kryterium wydzielenia tych elementów. Podstawą wydzielenia jest tutaj wynik technicznego procesu segmentacji i grupowania ⁸.

Bardziej praktyczną definicję grammy znajdujemy przy opisie parafy znajdującym się w [50]: „fragment linii pisma leżący między wyróżnionymi punktami”. Do rozwiązania pozostaje określenie tych punktów. Do tych wyróżnionych punktów zalicza się tam: punkty inicjacji, konstrukcyjne punkty zatrzymania, punkty ekstremalne i punkty zakończenia zakreslenia. Sposób wyznaczania pewnych typów tych punktów w oparciu o zastosowanie sztucznych sieci neuronowych z polami recepcyjnymi pokazano w pracy [20].

Liczbę gramm w literze można ustalić dowolnie. Istotne jest jednak to, aby w obliczeniach zachować te same kryteria dla całości analizowanego materiału [16][50][67]. W niniejszych badaniach przyjęto za Felusiem [16] następujący podział liter na grammy (Tabela 1). Podział liter na grammy zależy od sposobu pisania liter.

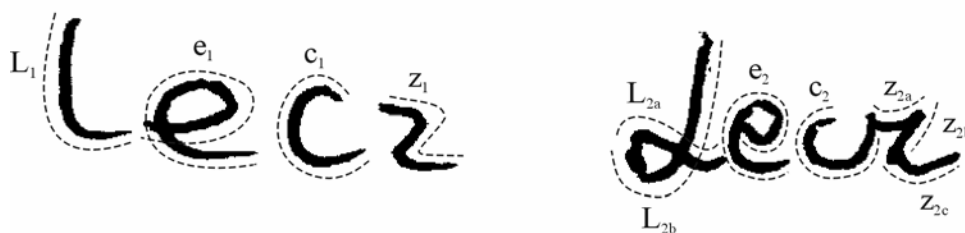
Tabela 1. Przykładowy podział liter ze względu na liczbę składową gramm

Rodzaj liter	Małe litery	Duże litery
Liczba gramm		
Jednogrammowe	c, e, l, o, r, s, v, z	C, I, J, L, O, S, V, Z
Dwugrammowe	a, b, ć, d, ę, f, g, h, i, j, k, ł, n, ó, p, q, ś, t, u, w, x, y, ź, ż	A, Ć, D, G, K, Ł, M, N, Ó, P, Q, Ś, T, U, W, X, Y, Ź, Ż
Trzygrammowe	ą, m, ń	Ą, B, F, H, Ń, R
Więcejgrammowe	—	E, E,

Grammy możemy rozumieć jako składowe konstrukcyjne liter. W konstrukcji liter pojawiają się elementy, które są określane specyficznym językiem: trzon, korpus, owal, łuk, znak diakrytyczny, łącznik, drzewiec, nóżka [107].

W opisie pisma ręcznego mówimy także o grammach wstępnych i wybiegowych. Są to dodatkowe części liter, które czasami pojawiają się na początku kreślonego wyrazu i/lub na jego końcu. Wynikają one z natury ruchu pisarskiego i nie niosą zasadniczo informacji o kształcie liter.

⁸ Mowa tu o algorytmach segmentacji: (ang.) connected component segmentation — segmentacja składników spójnych (tłumaczenie autora) i grupowania: (ang.) sequential clustering technique — technika grupowania sekwencyjnego (tłumaczenie autora) [4].



Rys. 2. Przykład podziału liter na grammy

Praktyczny przykład podziału liter na grammy został zaprezentowany na Rys. 2. Litera „z” w pierwszym wyrazie składa się z jednej grammy: z_1 , natomiast litera „z” w drugim wyrazie składa się z trzech gramm: z_{2a} , z_{2b} i z_{2c} . Duża litera „L” w drugim wyrazie posiada pętlicę i składa się z dwóch gramm: L_{2a} , L_{2b} w porównaniu z literą „L” z jedną gramką: L_1 w pierwszym wyrazie.

Ogólnie można powiedzieć, że gramma jest krzywą lub zbiorem krzywych mogących być opisywanymi krzywymi matematycznymi różnych stopni. Należy określić: do jakiego typu krzywych dana krzywa (lub fragment krzywej) należy, rodzinę krzywych oraz parametry równania krzywej [48].

Definicje dalszych używanych pojęć zostały przedstawione poniżej.

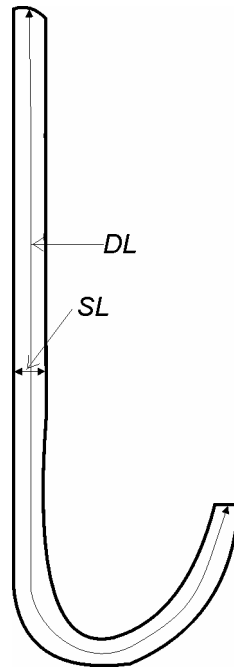
Linia (trajektoria) pisma (ang. *trajectory, trace of writing line*) — widoczna lub domniemana droga, jaką przebyło narzędzie pisarskie kierowane ludzką ręką. W aspekcie widocznej części linii pisma mówimy o śladzie narzędzia pisarskiego jaki został na podłożu. W wyniku pokrycia podłoża pisarskiego materiałem kryjącym (atramentem, tuszem, pastą długopisową, grafitem, pastelą, węglem drzewnym, kredą itd.) powstaje graficzny obraz pisma.

Określamy *długość linii pisma (DL)* i *szerokość linii pisma (SL)* nazywaną czasem grubością linii (ang. *stroke width*). Sposób określania tych wielkości pokazano na Rys. 3. W praktyce pismoznawczej, w niektórych wypadkach określa się jeszcze *głębokość linii pisma (GL)* jako element opisu struktury linii pisma nazywanej w *Słowniku Terminów Pismoznawczych IES* kreską [107].

W tym miejscu należy sprecyzować jeszcze termin *szerokość pisma* w celu uniknięcia pomyłki z szerokością linii pisma. Szerokość pisma jest cechą opisującą ogólny wygląd pisma. Oceniamy ją na podstawie szerokości znaków. Mierzy się ją na podstawie wymiarów poprzecznych liter śródlinijnych: „a”, „c”, „e”, „n”, „o”, „u” lub na podstawie odpowiednich wymiarów gramm śródlinijnych w literach dwustrefowych, np.: „d”, „g”, „h”, „p”. W praktyce wynik takiego pomiaru odnosi się do wysokości danej grammy. Dokonujemy określenia przez obliczenie stosunku bezwzględnej

szerokości znaku w tej strefie do bezwzględnej wysokości znaku. Zależnie od wartości tego stosunku wyróżnia się znaki smukłe, znaki proporcjonalne i znaki szerokie. Mówimy wtedy np. o piśmie smukłym, szerokim itp.

Wysokość pisma jest rozumiana jako synonim wielkości pisma. Definicja wielkości pisma i sposób jej pomiaru został omówiony w rozdziale ósmym.



Rys. 3. Sposób określania długości i szerokości linii pisma

Linia podstawowa pisma (ang. *base line*) — rozumiemy ją tu jako pojęcie ogólne obejmujące: linię podstawową wyrazu i linię podstawową wiersza. Linia podstawowa wyrazu to linia prosta łącząca najniższe punkty pierwszej oraz ostatniej grammy śródlinijnej w wyrazie. Jest to abstrakcyjna linia, na której opierają się (teoretycznie) poszczególne litery w wyrazie. Analogicznie definiuje się linię podstawową całego wiersza tekstu.

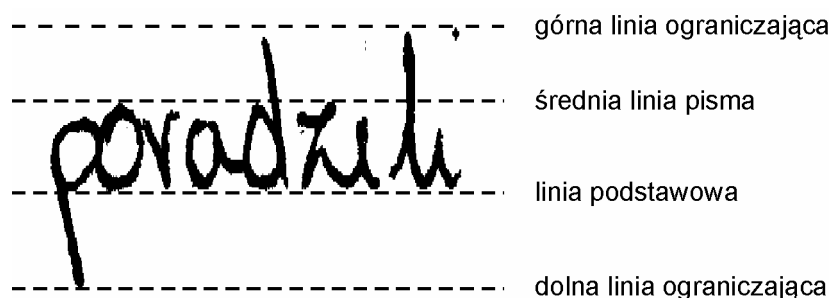
Średnia linia podstawowa pisma (ang. *x-height guideline*) — linia górnego ograniczenia obszaru środkowego pisma (gramm śródlinijnych) pokrywająca się z górną krawędzią minuskuł (czyli małych liter), bez wydłużeń górnych, np.: „a”, „c”, „e”. Nazwa angielskojęzyczna pochodzi od wysokości małej litery „x”.

Dolna linia ograniczająca pisma (ang. *descender line*) — linia pokrywająca się z dolną krawędzią minuskuł z wydłużeniami dolnymi, np. „g”, „j”, „p”.

Górna linia ograniczająca pisma (ang. *ascender line*) — linia pokrywająca się z górnymi krawędziami minuskuł oraz minuskuł z wydłużeniami górnymi, np. „A”, „B”, „C”, „b”, „d”, „f”.

Powyższe linie wydzielały następujące obszary pisma: *śródlinie* (strefa środkowa, ang. *core zone*) pomiędzy linią podstawową a średnią linią pisma, *obszar nadlinijny* (strefa górna, ang. *ascender zone*) ponad średnią linią pisma, *obszar podlinijny* (strefa dolna, ang. *descender zone*) poniżej linii podstawowej pisma (patrz Rys. 4).

Strefa (obszar) pisma — jedno z trzech wyróżnianych poziomych pasm, czasem określa się ją też mianem wstęgi (ang. *band of writing*). Jest to obszar ograniczony dwoma liniami prostymi lub łamanymi, czy też łukami, w którym mieszczą się wszystkie grammy śródlinijne, podlinijne lub nadlinijne.



Rys. 4. Linie w piśmie wyznaczające obszary: śródlinijny, nadlinijny i podlinijny

Jak już wspomniano wyżej, obszar pisma można podzielić na obszar śródlinijny, nadlinijny i podlinijny. Część liter posiada grammy, które przynależą nie tylko do jednej strefy. Mamy do czynienia wtedy z grammami nadlinijno-śródlinijnymi i podlinijno-śródlinijnymi. W skrócie mówi się o grammach nadlinijnych i podlinijnych, co nie prowadzi zasadniczo do niejednoznaczności. Litery należące do strefy śródlinijno-nadlinijnego to: b, d, h, k, l, ł, t. Litery należące do strefy śródlinijnego i podlinijnego to: j, p, q, y. Litera „f” należy do wszystkich trzech stref pisma. Pozostałe litery należą do strefy śródlinijnej. Prawie połowa z nich posiada także grammy elementów diakrytycznych. Elementy diakrytyczne z reguły wykraczają poza wspomniane obszary. Na przykład zasadnicza gramma litery „ą” jest śródlinijna. Element diakrytyczny, który wykracza poniżej tego pasma nie zmienia klasyfikowania tej litery jako śródlinijna.

Grammy śródlinijne posiadają następujące litery: a, ą, b, c, ć, d, e, ę, g, h, i, k, m, n, ń, o, ó, p, q, r, s, ś, u, v, w, x, y, z, ź, ż. Przez grammy śródlinijne rozumiemy tylko te

które należą do jednej strefy. Dlatego do liter tej grupy nie zaliczamy litery „f”, której zasadnicza gramma co prawda należy do pasma środkowego ale rozciąga się też na pozostałe dwa obszary. Trzon litery „f” jest grammatą nadlinijno-śródlinijno-podliniją.

Duże litery przynależą w zasadniczej części do stref nadlinijnej i śródlinijnej.

Pochylenie linii podstawowej pisma (ang. *slope, skew*) — kąt, jaki jest zawarty pomiędzy linią podstawową pisma a podstawą kartki.

Pochylenie pisma (ang. *slant*) — kąt, jaki jest zawarty pomiędzy linią podstawową pisma a elementami pionowymi w literach.

Podpis — nazwisko i imię napisane własnoręcznie stanowiące potwierdzenie pisma, nadanie mu ważności. Wyróżnia się podpis pełnobraźmiący i skrócony.

Parafa — najbardziej zautomatyzowana i krańcowo skrócona postać podpisu nieczytelnego, luźno lub wcale nie nawiązująca do literalnego brzmienia nazwiska lub imienia [51, s. 20][49].

Ważnym przyczynkiem zmierzającym do uporządkowania terminologii w dziedzinie badań pisma ręcznego jest opracowywanie *Słownika Terminów Pismoznawczych* przez Instytut Ekspertyz Sądowych (IES). Słownik ten został niedawno opublikowany w Internecie [107]. Jest on ciągle w trakcie opracowywania.

3. Cechy pisma ręcznego

Pismo ręczne jako obiekt badań jest opisywane za pomocą interesujących z danego badawczego punktu widzenia informacji, charakteryzujących obiekt. Można też powiedzieć, że obiekt niesie pewne informacje charakteryzujące. Każdą taką informację charakteryzującą nazywamy cechą. Synonimami cechy są pojęcia: dana, własność, właściwość.

Ponadto często pojawia się pojęcie parametru ⁹, które należy rozumieć jako synonim wartości cechy. Jest to charakterystyczna wielkość, często liczbowa odzwierciedlająca wartość danej cechy.

3.1. Zmienne

Jeśli o danej cesze możemy powiedzieć, że przyjmuje co najmniej dwie różne wartości, to jest to zmienna (ang. *variable*). Wyróżniamy zmienne dwuwartościowe i wielowartościowe, ciągłe i dyskretne.

Zmienna będąca przedmiotem danego badania, której związki z innymi zmiennymi chcemy określić nosi nazwę zmiennej zależnej (ang. *dependent variable*). Natomiast zmienne od których ona zależy, ponieważ te zmienne na nią oddziałują, noszą nazwę zmiennych niezależnych (ang. *independent variable*).

Liczba cech pisma ręcznego jest duża (o czym świadczy chociażby ich liczba w *Katalogu Graficznych Cech Pisma Ręcznego IES*), większa od liczby cech pisma maszynowego. Liczbą informacji identyfikujących znajdujących się w rękopisie jest ściśle związana z liczbą cech pisma. Liczbę tę można określać zgodnie z teorią informacji [80].

Cechy pisma ręcznego można wyróżniać na różnych poziomach subtelności: makrostrukturalnym, podstawowym i mikrostrukturalnym. Na poziomie makrostrukturalnym cechy pisma dotyczą dokumentu, wersetu oraz wyrazu. Na poziomie tym operujemy wielkościami powyżej kilku milimetrów. Poziom podstawowy obejmuje litery i ich składowe. W ramach tego poziomu operuje się wielkościami rzędu kilku milimetrów (zwykle 1,5–6 mm). Cechy na poziomie mikrostruktury dotyczą linii pisma jako elementu struktury na poziomie podstawowym. Szerokość i głębokość

⁹ Spotyka się także definicje, że parametr to zmienna, którą przyjmuje się za stałą w danym zagadnieniu, stałą dla danego zbioru obiektów.

(wysokość) linii pisma można rozpatrywać w zakresie mikrostruktury. Zwykle szerokość linii pisma wynosi 0,2–0,5 mm a głębokość rzędu ułamków milimetra [52].

W miarę gruntowna klasyfikacja cech graficznych została ujęta w *Katalogu Graficznych Cech Pisma Ręcznego IES*, opracowanym w ramach Jesiennej Szkoły Empirycznych Badań Pisma Ręcznego, działającej przy krakowskim Instytucie Ekspertyz Sądowych [51][34]. Ciekawym uzupełnieniem tego katalogu są propozycje zmian zaproponowane w pracy [51] i także nowa propozycja *Katalogu Graficznych Cech Paraf*. Cechy pisma ręcznego dzieli się na następujące grupy:

1. cechy syntetyczne,
2. cechy topograficzne,
3. cechy motoryczne,
4. cechy mierzalne,
5. cechy konstrukcyjne.

Jednakże podgrupa „budowa znaków” z grupy „cech konstrukcyjnych” jest dopiero w trakcie opracowania. Przyczynkiem jest opracowanie „Szczegółowego katalogu graficznych cech majuskuły B” [82][76]. Poza cechami graficznymi w analizie pismoznawczej pod uwagę bierze się też warstwę językowo-treściową.

Opracowano zestawienie tabelaryczne cech pisma ręcznego, które można mierzyć metodami komputerowymi. W tabeli poniżej (Tabela 2) pokazano systematykę mierzonych cech z podaniem, na jakim poziomie subtelności daną cechę można mierzyć. Numery cech odnoszą się do numeracji stosowanej w *Katalogu Graficznych Cech Pisma Ręcznego IES* aby ułatwić orientację. Grupa ostatnia oznaczona jako „Inne cechy” zawiera cechy z poza wspomnianego katalogu. Ponadto podano informację (ostatnie dwie kolumny), czy daną cechę mierzymy w systemach on-line czy off-line. Tabelę tę należy traktować jako syntezę prac autora oraz informacji zaczerpniętych z literatury. Niniejsza tabela stanowi pierwszy krok do opracowania pełnego *Katalogu Cech Rozpoznawanych Komputerowo*. Informacje w niej zawarte należy traktować jako propozycję i należy ją uzupełniać wraz z opracowywaniem kolejnych cech mierzonych komputerowo. Stanowi więc ona raczej szkic pełnego *Katalogu Cech Rozpoznawanych Komputerowo*.

Tabela 2. Katalog cech pisma ręcznego mierzonych komputerowo: systematyka cech

T — oznacza, że daną cechę można mierzyć w danym układzie, N — oznacza, że cechy nie można mierzyć, – (kreska) — zjawisko nie występuje (nie dotyczy), · (kropka) — brak informacji lub brak informacji wiarygodnych.

Nr	Cecha	Dokument	Werset	Linia (wiersz)	Wyraz	Litera	Gramma	On-line	Off-line	
1	Cechy syntetyczne									
1.1	Typ pisma	·	·	·	·	·	·	·	·	
1.2	Stopień naturalności	·	·	·	·	·	·	·	·	
1.3	Etap rozwoju pisma	·	·	·	·	·	·	·	·	
1.4	Klasa pisma	·	·	·	·	·	·	·	·	
1.5	Ogólny obraz pisma	·	·	·	·	·	·	·	·	
1.6	Stopień staranności	·	·	·	·	·	·	·	·	
1.7	Czytelność	·	·	·	·	·	·	·	·	
1.8	Uzupełnienia	·	·	·	·	·	·	·	·	
1.9	Sposób wykonania	·	·	·	·	·	·	·	·	
1.10	Inne cechy syntetyczne	·	·	·	·	·	·	·	·	
2	Cechy topograficzne									
2.1	Margines lewy: Kształt	T	T	–	–	–	–	T	T	
	"-": Tendencja	T	T	–	–	–	–	T	T	
	"-": Wielkość	T	T	–	–	–	–	T	T	
	"-": Proporcje	T	T	–	–	–	–	T	T	
2.2	Margines prawy: jw.	"-"								
2.3	Margines górny: Kształt	T	T	–	–	–	–	T	T	
	"-": Tendencja	T	T	–	–	–	–	T	T	
	"-": Wielkość	T	T	–	–	–	–	T	T	
	"-": Proporcje	T	T	–	–	–	–	T	T	
2.4	Margines dolny: jw.	"-"								
2.5	Wcięcia akapitowe: Głębokość	–	T	T	–	–	–	T	T	
	"-": Częstość	T	–	–	–	–	–	T	T	
2.6	Układ wierszy względem siebie	T	T	–	–	–	T	T	T	
2.7	Układ znaków względem siebie	T	T	T	T	T	T	T	T	
2.8	Układ znaków, wyrazów i wierszy względem liniatury	–	–	T	T	T	T	T	T	
2.9	Linia wyrazów i wierszy: Kształt	–	–	T	T	–	–	T	T	
	"-": Kierunek (tendencja linii podstawowej)	–	–	T	T	–	–	T	T	
2.10	Odstępy między wierszami	T	T	–	–	–	–	T	T	
2.11	Odstępy między wyrazami	T	T	T	–	–	–	T	T	
2.12	Odstępy między znakami	–	–	T	T	–	–	T	T	
2.13	Rozmieszczenie adresów: Pionowe	T	T	–	–	–	–	T	T	
	"-": Poziome	T	T	–	–	–	–	T	T	
2.14	Rozmieszczenie dat: Pionowe	T	T	–	–	–	–	T	T	
	"-": Poziome	T	T	–	–	–	–	T	T	
2.15	Rozmieszczenie nagłówków	T	T	–	–	–	–	T	T	
2.16	Rozmieszczenie podpisów	T	–	–	–	–	–	T	T	
3	Cechy motoryczne									
3.1	Tempo pisania (szybkość):									
	Tempo określane bezwzględnie	T	T	T	T	T	T	T	N	
	Tempo określane w ramach próbki pisma	T	T	T	T	T	T	T	N	
	Tempo określane względem normy osobniczej	T	T	T	T	T	T	T	N	
3.2	Impuls	T	T	T	T	T	–	T	T	
–	Współczynnik integracji pisma	T	T	T	T	T	–	T	T	
3.3	Następstwo elementów graficznych:	–	–	–	–	T	–	T	T	

Nr	Cecha	Dokument	Werset	Linia (wiersz)	Wyraz	Litera	Gramma	On-line	Off-line
	w pojedynczych literach lub cyfrach								
	"-": w zespołach graficznych	T	T	T	T	-	-	T	T
3.4	Nacisk: kierunek (zwrot)	T	T	T	T	T	T	T	N
	"-": siła nacisku	T	T	T	T	T	T	T	N
	"-": równomierność nacisku	T	T	T	T	T	T	T	N
	"-": miejsce wzmożenia nacisku	T	T	T	T	T	T	T	N
	Cieniowanie: kierunek (zwrot)	T	T	T	T	T	T	T	T
	"-": natężenie	T	T	T	T	T	T	T	T
	"-": równomierność cieniowania	T	T	T	T	T	T	T	T
	"-": miejsce wzmożenia cieniowania	T	T	T	T	T	T	T	T
4	Cechy mierzalne								
4.1	Pole pisma	T	-	T	T	T	T	T	T
4.2	Wielkość pisma	T	-	T	T	T	-	T	T
4.3	Szerokość znaków	-	-	-	-	T	-	T	T
4.4	Proporcje wysokości elementów nadlinijnych do wysokości znaków śródlinijnych	-	-	-	T	-	-	T	T
4.5	Proporcje wysokości elementów podlinijnych do wysokości znaków śródlinijnych	-	-	-	T	-	-	T	T
4.6	Nachylenie pisma	-	-	-	-	T		T	T
5	Cechy konstrukcyjne								
5.1	Budowa znaków	-	-	-	-	T	-	T	T
5.2	Odmiany znaków	T	-	-	-	-	-	T	T
5.3	Budowa wiązań	-	-	-	T	T	-	T	T
5.4	Formy powtarzalne	-	-	-	T	T	-	T	T
	Formy znaków interpunkcyjnych	T	-	-	-	-	-	T	T
6	Inne cechy								
	Entropia odcieni szarości	T	-	-	-	-	-	T	T
	Wartość progowa binaryzacji	T	-	-	-	-	-	T	T
	Liczba czarnych pikseli	T	T	T	T	T	T	T	T
	Liczba wewnętrznych i zewnętrznych konturów	T	T	T	T	T	T	T	T
	Liczba pochylonych elementów kierunkowych w 4 kierunkach	T	T	T	T	-	-	T	T
	Współczynnik kształtu (ang. <i>aspect ratio</i>)	T	T	-	T	T	-	T	T
	Współczynnik położenia środka ciężkości w pionie i poziomie (ang. centroid height and width ratio)	T	T	T	T	T	T	T	T
	Spatial features [22, s. 55–57]	-	-	-	-	T	-	T	T
	GSC [22, s. 50–55]	-	-	-	-	T	-	T	T

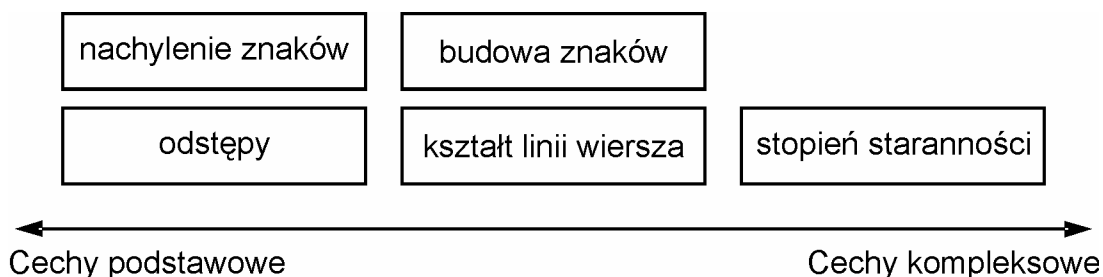
Części informacji w tabeli wymaga komentarza. Dla całości cech syntetycznych możliwość pomiaru oznaczono · (kropką), gdyż pomiar cech syntetycznych polega w dużej mierze na procesie interpretacji obrazu przez człowieka, co wymaga dużego nakładu intelektualnego. Sądzi się, że można opracować algorytmy komputerowe, które będą mierzyć pewne cechy syntetyczne, jednakże co do trafności danego pomiaru trudno wyciągnąć jakieś dokładniejsze wnioski.

3.2. Zależność zmiennych

Jak już wspomniano wyżej oprócz określania cech istotnym jest także określanie zależności pomiędzy cechami. Zależność cech będącymi zmiennymi można opisywać aparatem matematycznym. Cechy pisma można podzielić na podstawowe (elementarne) i kompleksowe.

Słownik Terminów Pismoznawczych IES definiuje cechy elementarne jako „cechy, których nie można rozłożyć na cechy prostsze” [107]. W praktycznych przypadkach takie określenie nie jest jednoznaczne, ponieważ nie zawsze można stwierdzić osiągnięcia granicy rozkładu. Proponuje się rozumienie trochę szersze tego pojęcia. Cechy podstawowe (np. wysokość pojedynczej grammy) są zależne od niewielkiej liczby innych cech (parametrów).

Cechy kompleksowe składają się z wielu cech podstawowych (np. cecha „stopień staranności” jest zależna od budowy poszczególnych znaków, nachyleń, odstępów, kształtu linii wiersza itd.) [51, s. 31]. Charakteryzują się one wyższym poziomem intersubiektywności, co obniża weryfikowalność wyników badań. Cechy kompleksowe są poza tym trudniejsze do pomiaru, gdyż są zależne od wielu cech prostych, które trzeba zmierzyć. Pewne grupy cech z *Katalogu Graficznych Cech Pisma Ręcznego IES* można uznać za bardziej podstawowe a inne za kompleksowe. W przybliżony sposób można to zilustrować umiejscawiając daną cechę na osi: cechy podstawowe — cechy kompleksowe. Można uzyskać układ jak na Rys. 5.



Rys. 5. Poglądowe zestawienie cech pisma ręcznego w odniesieniu do cech podstawowych i kompleksowych

Związek pomiędzy wartościami cech (c) można określać za pomocą współczynnika korelacji liniowej Pearsona. Jeśli wartości cech potraktujemy jako zmienne losowe, to niech C_1 i C_2 będą zmiennymi losowymi o ciągłych rozkładach. Ponadto niech c_{1i} i c_{2i} oznaczają wartości prób losowych tych zmiennych ($i = 1, 2, \dots, n$), natomiast \bar{c}_1 , \bar{c}_2 oznaczają średnie z tych prób, tj.:

$$\bar{c}_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_{1i}, \quad \bar{c}_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_{2i}, \quad (1), (2)$$

wówczas współczynnik korelacji definiuje się następująco:

$$r_{c_1c_2} = \frac{\sum_{i=1}^n (c_{1i} - \bar{c}_1)(c_{2i} - \bar{c}_2)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (c_{1i} - \bar{c}_1)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (c_{2i} - \bar{c}_2)^2}}, \quad r_{c_1c_2} \in \langle -1, 1 \rangle. \quad (3), (4)$$

Im większa wartość tego współczynnika, tym większa jest zależność liniowa między zmiennymi. Jeśli współczynnik $r_{c_1c_2} = 0$ oznacza to brak korelacji, dla wartości z zakresu $0,2$ – $0,4$ korelację określamy jako słabą, dla $0,4$ – $0,7$ jako średnią, $0,7$ – $0,9$ jako silną, a dla wartości z przedziału $0,9$ – 1 jako bardzo silną [32]. Natomiast $r_{c_1c_2} < 0$ oznacza korelację ujemną, tzn. jeżeli wartość zmiennej c_1 rośnie, to c_2 maleje i na odwrót.

Istnieje możliwość obliczeniowego określania cech syntetycznych np.: typu pisma lub stopnia staranności. Cechy syntetyczne mogą się przejawiać w innych grupach cech. Przykład podano w pracy [92]. Dla przykładu w piśmie niestarannym marginesy tekstu będą oczywiście miały inną postać niż w piśmie starannym. Istnieje więc potrzeba znalezienia zależności pomiędzy cechami syntetycznymi, a mierzalnymi i topograficznymi [96].

Kolejną rzeczą, na którą należy zwrócić uwagę jest zastosowanie badań pismoznawczych. W procesie identyfikacyjnych badań pisma istotnym jest wyodrębnienie właściwego zestawu cech. Do celów identyfikacji pisarza interesują nas bardziej cechy zależne od wykonawcy tekstu. Cechy niezależne od wykonawcy tekstu, czyli cechy elementarzowe są wspólne dla większości próbek pisma, w związku z tym mają one bardzo małą wartość identyfikacyjną [78]. Eliminuje się tutaj to, co jest istotne z punktu widzenia rozpoznawania pisma.

4. Stosowane rozwiązania i oprogramowanie

Zastosowanie komputerów w pismoznawstwie przyniosło zmiany w zakresie rejestracji i przetwarzania obrazu pisma, w sposobie pomiaru cech pisma oraz opracowywaniu i prezentacji wyników ekspertyz [55]. Komputer wraz z odpowiednim sprzętem i oprogramowaniem nadaje się np. do zastąpienia aparatu fotograficznego w procesie rejestracji obrazu pisma i liniiki w procesie pomiaru. Stosowane są tutaj programy graficzne ogólnego przeznaczenia (Adobe Photoshop [90], MegaCad [82], Corel Draw) czy też dedykowane, specjalistyczne programy (niemiecki system FISH [24][87] i holenderskie systemy: SCRIPT, WANDA [15][18][19]).

W przypadku praktycznej ekspertyzy pismoznawczej, kiedy nie mamy dostępu do specjalistycznego oprogramowania, przydatnym może być wykorzystanie powszechnie dostępnego oprogramowania graficznego, biurowego i inżynierskiego (np. program Matlab firmy MathWorks).

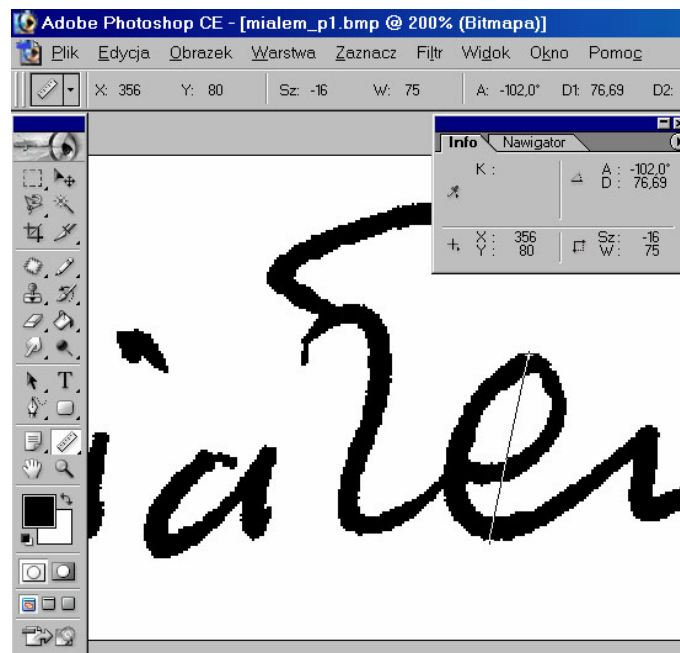
Matlab jest programem komputerowym będącym interaktywnym środowiskiem do wykonywania obliczeń naukowych i inżynierskich. Funkcjonalność Matlab'a poszerzają specjalne biblioteki zwane toolbox'ami. W dziedzinie przetwarzania obrazów i analizie pismoznawczej najbardziej przydatne są następujące toolbox'y: Image Processing Toolbox, Neural Network Toolbox, Fuzzy Logic Toolbox, Spline Toolbox [70][66].

Oprogramowanie biurowe może służyć do wszelakich obliczeń, pomóc w analizie i wnioskowaniu oraz sporządzić raport z ekspertyzy pismoznawczej. Przydatne mogą być: edytory tekstu, arkusze kalkulacyjny. Można tu wymienić np. programy: Word, Excel z pakietu Microsoft Office lub Write, Calc z pakietu OpenOffice.

Oprogramowanie graficzne wraz z potrzebnym sprzętem pozwala nam na przeniesienie obrazu z papieru czy też innego nośnika do pamięci komputera. Ponadto pozwala dokonać obróbki obrazu pisma oraz dokonać pomiaru cech pisma.

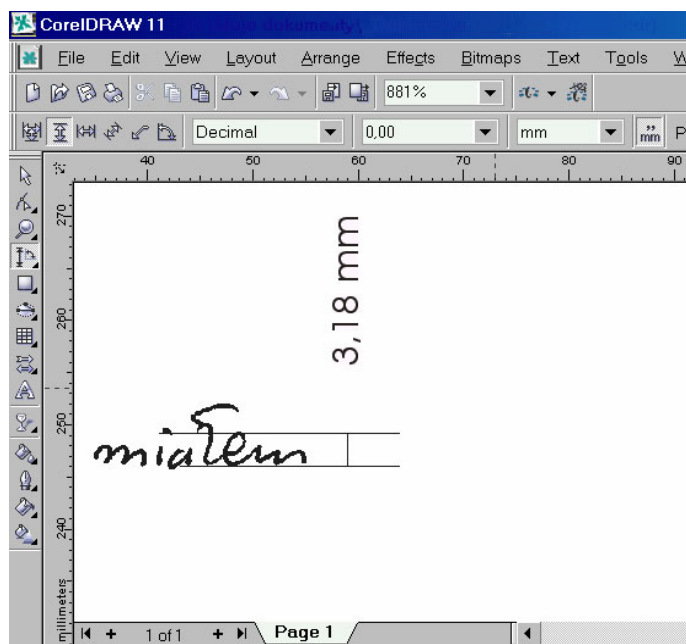
Program Photoshop firmy Adobe jest programem do przetwarzania grafiki rastrowej, kiedy obraz jest dwuwymiarowym zbiorem elementów jednostkowych zwanych pikselami. Nadaje się on świetnie do operacji na pojedynczych pikselach obrazu, mamy w nim szczególne bogactwo różnych filtrów. W programie Adobe Photoshop do pomiarów jest przeznaczony narzędzie: *Miarka* (ang. *Measure Tool*)

(patrz Rys. 6). Pozwala na pomiar wymiarów liniowych (szerokość, wysokość) i kątowych.



Rys. 6. Przykład użycia narzędzia *Miarka* w programie Adobe Photoshop CE 7.0

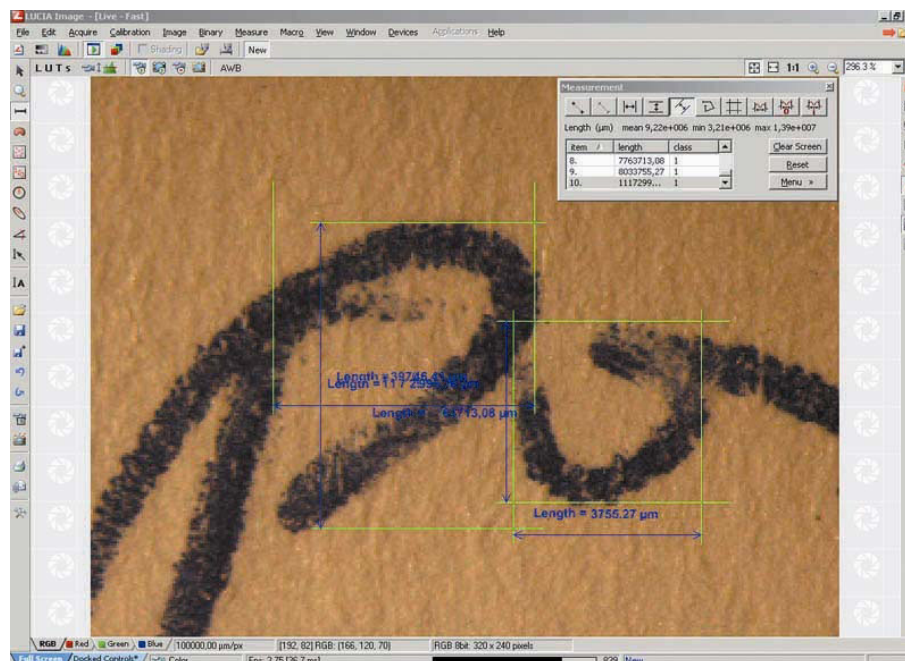
Corel DRAW jako program grafiki wektorowej nadaje się w mniejszym stopniu do przetwarzania obrazów rastrowych, jakimi są fotografie cyfrowe, czy też skany obrazu. Jednakże mamy w nim bardzo przydatne narzędzie: *Wymiary* (ang. *Dimension Tool*). Pozwala ono na pomiar wielkości liniowych pod różnymi kątami i na pomiar wielkości kątowych (patrz Rys. 7.). Corel DRAW nie jest programem fotograficznym, więc zasadniczo nie pozwala na modyfikację poszczególnych pikseli obrazu. Obrazy rastrowe należy w nim umieszczać na zasadzie importu pliku graficznego. Corel DRAW nadaje się lepiej do nanoszenia wszelakich adnotacji przy sporządzaniu sprawozdania z ekspertyzy pismoznawczej.



Rys. 7. Zastosowanie narzędzia *Wymiary* w programie Corel DRAW 11

Kolejnym komputerowym programem do analizy obrazu jest system LUCIA (*Laboratory Universal Computer Image Analysis*) [60]. System ten wykorzystywany jest we wszelkiego rodzaju badaniach i pracach, w których podstawą jest obraz analizowanego obiektu. Oprogramowanie LUCIA pozwala na dokonywanie oceny badanych próbek na podstawie pomiarów. Wykonuje się np.: zliczanie obiektów, pomiary planimetryczne (długość, pole powierzchni, średnica, obwód, współczynniki kształtu i inne) i densytometryczne (jasność, gęstość optyczna, odcień, nasycenie, poziomy składowych RGB). LUCIA umożliwia również edycję i zaawansowaną obróbkę (rastrową i wektorową) obrazu oraz posiada rozbudowane narzędzia do jego archiwizacji [109].

Wśród kilku wersji tego systemu przydatnym do badań pismoznawczych jest oprogramowanie *LUCIA Image* (Rys. 8) do pobierania i archiwizacji obrazu z prostymi pomiarami na płaszczyźnie jak i *LUCIA Measurement*, który oprócz powyższych funkcji posiada zaawansowane funkcje pomiarowe 2D. Do specjalistycznych badań w zakresie kryminalistycznego badania pisma ręcznego nadaje się tenże system w wersji: *LUCIA Forensic* [109][59].



Rys. 8. Interfejs programu LUCIA Image z przykładem użycia narzędzia do pomiarów liniowych

Przykładem specjalistycznego programu jest komputerowy system poszukiwawczo-klasyfikacyjny o nazwie *Forensisches Identifizierungssystem Handschriften* (FISH), opracowany przez Niemiecki Federalny Urząd Kryminalny. Program pozwala na znalezienie w stosunkowo krótkim czasie w zgromadzonych zbiorach wzorów zakodowanych cech pisma wzorów najbardziej zbliżonych do rozpatrywanego pisma ręcznego. Tryb jego pracy jest półautomatyczny. Pomiar mierzalnych cech grafizmu następuje w dużym stopniu w sposób zautomatyzowany. Praca systemu jest wspomagana obsługującą go osobą, której zadaniem jest wskazanie komputerowi znaków charakterystycznych pisma. Wskazanie to następuje za pomocą pióra elektronicznego i tabletu [87][24].

W interaktywnym systemie FISH mierzy się m. in. następujące cechy:

- Rozmiary pisma określa się poprzez obliczenie gabarytowych rozmiarów określonych liter obszaru śródlinijnego („u”, „n”, „m”) poprzez zaznaczenie pierwszej kreski za pomocą pióra świetlnego. Odstęp horyzontalny pomiędzy pierwszą a drugą kreską jest określany przez komputer automatycznie.
- Wysokość pisma mierzona jest na literach „e”, „i”, „n”, „u”, poprzez naniesienie przez operatora systemu dwóch linii pomocniczych.
- Nachylenie pisma zostaje określane poprzez naniesienie przez człowieka osi poprzez trzony liter „t”, „f” lub „d”.

- Proporcje obszarów pisma mierzone są poprzez pomiar łącznej wysokości liter „b”, „h”, „k”, „l”, „g”, „j” oraz „y”. Odjęcie środkowej wysokości pisma następuje automatycznie.
- Odstępy między wierszami określa się poprzez postawienie dwóch linii pomocniczych wyznaczonych za pomocą pióra świetlnego [25][42, s. 564–565].

Pewną wadą systemu FISH cechującą także inne współczesne systemy obliczeniowe jest to, że uwzględnia on tylko tzw. „ogólne cechy pisma” pomijając tzw. „szczególne cechy pisma”¹. „Szczególne cechy pisma” są dystynktywne, czyli mają duże znaczenie przy procesie identyfikacji (rozpoznawania) pisma ręcznego [24, s. 200].

System FISH jest ciągle rozwijany i kryminalistycy wiążą duże nadzieje z możliwością pełnej automatyzacji klasyfikacji pisma [27, s. 1008–1009].

Należy także wspomnieć program, który został opracowany ostatnio w Polsce przez Instytut Ekspertyz Sądowym w Krakowie. Program GRAPHOLOG służy do wspomaganie pracy eksperta pisma. Prace tutaj już są bardzo zawansowane jak informują twórcy tego systemu. Jest to system, który służy do przetwarzania obrazu pisma i pomiaru interaktywnego oraz wstępnej statystycznej obróbki danych [13].

¹ Oba pojęcia „ogólne” i „szczególne cechy pisma” mają obecnie już znaczenie historyczne [107].

5. Materiał badawczy

Dowód tej pracy zostały oparte na wynikach badań nad próbkami pisma ręcznego. Zebrano i opracowano szeroki materiał badawczy. Do każdego eksperymentu przygotowano kilka zestawów próbek pisma.

5.1. Zestaw 1.

Materiał badawczy stanowiły pobrane rękopisy od grupy studentów w wieku dwudziestu kilku lat (22, 23 lata). Próbki pisma zostały złożone na nieliniowanym, białym papierze formatu A4. Od każdego probanta (probantki) pobrano rękopis o tej samej treści; fragmenty „Małego Księcia”, Antoine de Saint-Exupery, w tłum. Jana Szwykowskiego:

„Gdy miałem sześć lat, zobaczyłem pewnego razu wspaniały obrazek w książce opisującej puszcę dziewiczą. Książka nazywała się "Historie prawdziwe". Obrazek przedstawiał węża boa, połykającego drapieżne zwierzę.

Dorośli poradzili mi, abym porzucił rysowanie węży zamkniętych oraz otwartych i abym się raczej zajął geografią, historią, arytmetyką i gramatyką. W ten sposób mając lat sześć, porzuciłem wspaniałą karierę malarską. Zraziłem się niepowodzeniem rysunku numer 1 i numer 2. Dorośli nigdy nie potrafią sami zrozumieć. A dzieci bardzo męczą konieczność stałego objaśniania. Musiałem wybrać sobie inny zawód: zostałem pilotem. Latałem po całym świecie i muszę przyznać, że znajomość geografii bardzo mi się przydała. Potrafiłem jednym rzutem oka odróżnić Chiny od Arizony. Ta wiedza oddaje duże usługi, szczególnie wówczas, gdy się błądzi nocą.

Zawód pilota dał mi okazję do licznych spotkań z wieloma poważnymi ludźmi. Wiele czasu spędziłem z dorosłymi. Obserwowałem ich z bliska. Lecz to nie zmieniło mej opinii o nich. Gdy spotykałem dorosłą osobę, która wydawała mi się trochę mądrzejsza, robiłem na niej doświadczenie z moim rysunkiem numer 1, który stale nosiłem przy sobie. Chciałem wiedzieć, czy mam do czynienia z osobą rzeczywiście pojętną. Lecz za każdym razem odpowiadano mi: — To jest kapelusz. — Wobec tego nie rozmawiałem ani o węzach boa, ani o lasach dziewiczych, ani o gwiazdach. Starłem się być na poziomie mego rozmówcy. Rozmawiałem o brydżu, golfie, polityce i krawatach. A dorosły był zadowolony, że poznał tak rozsądnego człowieka” [100].

Tekst ten zawiera 227 wyrazów. Z uwagi na to, że w dalszych badaniach pominięto wyrazy jednoliterowe oraz uwzględniono to, że u niektórych piszących

zdarzały się pominięcia pewnych wyrazów do dalszych badań pozostało do dyspozycji ok. 200 wyrazów z każdego rękopisu.

Z zebranego materiału wybrano pięć rękopisów. Obraz pisma został zeskanowany z rozdzielczością 600 dpi. Następnie każdą próbkę poddano binaryzacji, aby piksele obrazu pisma były reprezentowane przez dwie wartości 0 (obraz tła) lub 1 (obraz materiału kryjącego: pasta długopisowa). Obraz poddano przetwarzaniu wstępnemu mającemu na celu odszumienie obrazu z pojedynczych pikseli i nieregularności w obrazie pisma. Dokonano wcześniejszej segmentacji obrazu pisma na wiersze i wyrazy. Z każdej próbki wydzielono poszczególne wyrazy. Zdecydowano się na segmentację ręczną z tego względu aby zminimalizować błąd wynikły z niewłaściwego posegmentowania wyrazów czy też liter. Segmentacja ręczna też nie jest łatwym problemem szczególnie w piśmie wiązonym o dużym współczynniku integralności pisma. Często trudno jest jednoznacznie wskazać granice pomiędzy grammami. Z tego zadania ciągle lepiej wywiązuje się człowiek.

Tak przygotowane obrazy wyrazów poddano dalszemu przetwarzaniu w celu pomiaru wielkości pisma za pomocą metody ręcznej i metody automatycznej.

5.2. Zestaw 2.

Do pomiaru parametrów kształtu wykorzystano ten sam zestaw sześciu rękopisów co w przypadku 1. Także ten materiał badawczy został zeskanowany z rozdzielczością 600 dpi. Obraz został wstępnie przetworzony a następnie zbinaryzowany.

Ponieważ automatyczna segmentacja na litery nie jest rozwiązaniem dostatecznie problemem, zdecydowano się na segmentację ręczną. Potrzebna jest bowiem metoda pewna, nie wnosząca dodatkowych błędów. Do badań parametrów kształtu posegmentowano ręcznie litery z poszczególnych próbek. Najtrudniejszym zagadnieniem jest właściwe wydzielenie poszczególnych liter i gramm w literach. W przypadku wyizolowanych gramm jest to problem trywialny. Natomiast, kiedy poszczególne grammy się łączą jest to zagadnienie niejednokrotnie nierozwiązywalne. Przygotowano zbiory liter łacińskich rezygnując z liter ze znakami diakrytycznymi. Ponadto ze względu na to, że zbiory niektórych liter („f”, „g”, „h”, „j”, „l”) okazały się za mało liczne, nie wykorzystano ich w dalszych badaniach. Pozostało 18 zbiorów liter od „a” do „z” (patrz Tabela 3). Ten materiał badawczy został wykorzystany do eksperymentów związanych z pomiarem współczynnika wypukłości.

Tabela 3. Liczebność wybranych liter w poszczególnych próbkach pisma z 2. zestawu badawczego

Liczebność próbki						
Próbka	1	2	3	4	5	6
Litera						
a	38	60	114	108	77	114
b	9	9	24	22	15	23
c	10	18	42	41	25	26
d	10	16	47	45	31	44
e	22	40	102	92	64	56
i	29	59	119	105	63	90
k	10	13	18	23	15	22
m	21	23	60	59	42	59
n	21	25	55	49	32	51
o	30	39	99	96	64	96
p	16	16	32	32	25	32
r	32	37	60	60	46	55
s	25	25	52	52	40	53
t	17	18	34	35	25	36
u	11	13	22	16	18	19
w	16	21	40	38	28	41
y	20	24	37	47	30	46
z	30	40	81	76	57	76

5.3. Zestaw 3.

Do badania pisma w układzie z liniaturą zebrano próbki pisma złożone na liniowanym papierze. Probantom podyktowano tekst składających się z samodzielnych wyrazów należących do następujących klas: 1) wyrazy tylko z elementami śródlinijnymi, 2) wyrazy z elementami wśródlinijnymi z elementami diakrytycznymi, 3) wyrazy z elementami nadlinijnymi i śródlinijnymi 4) wyrazy z elementami podlinijnymi i śródlinijnymi oraz 5) wyrazy z elementami nadlinijnym, podlinijnymi i śródlinijnymi. Teksty te zeskanowane zostały z rozdzielczością 600 dpi. Dokonano segmentacji zebranych rękopisów na wyrazy. Obraz został zbinaryzowany.

Część materiału badawczego przetworzono do postaci cyfrowej za pomocą mikroskopu stereoskopowego (Nikon SMZ-10A) połączonego z kamerą. Obrazy uzyskiwane w ten sposób służyły do analizy próbek pisma przy dużych powiększeniach.

6. Przetwarzanie obrazu pisma

6.1. Przetwarzanie wstępne i związane z nim błędy pomiarowe

Przy akwizycji obrazu i pomiarze cech pisma wykonywanych jest cały szereg przekształceń i związanych z nimi błędów pomiarowych.

W procesie pobierania obrazu za pomocą skanera lub aparatu fotograficznego mamy do czynienia ze zamianą analogowej postaci obrazu na cyfrową. Aby przenieść obraz pisma z papieru do postaci elektronicznej należy dokonać przekształcenia zwanym digitalizacją (dyskretyzacją). Polega ono na przekształceniu ciągłego obrazu (sygnału analogowego) w obraz cyfrowy. Na ów proces składa się próbkowanie i kwantyzacja (kwantowanie). Urządzeniami dokonującymi przekształcenia obrazów analogowych do postaci cyfrowej są skaner i kamera cyfrowa wyposażone w przetwornik optyczno-elektryczny. Wartość sygnału uzyskana z przetwornika optyczno-elektronicznego może być próbkowana w różnych odstępach. Im te odstępy są mniejsze, tym wierniejsza będzie reprezentacja obrazu. Rozdzielczość (skanera, kamery) definiuje się zwykle w jednostkach dpi (ang. *dot per inch*; dot"/), czyli liczbie punktów (ang. *dot* lub *pixel*) obrazu na jednostkę długości jednego cala ("). Błąd próbkowania ε_p określony jest wzorem (5):

$$\varepsilon_p [mm] = \frac{1[\text{dot}] \cdot 25,4[mm]}{1["] \cdot \text{rozdzielczość}[dpi]} \quad (5)$$

Dla przykładu obraz zeskanowany z rozdzielczością 600 dpi daje błąd próbkowania $\varepsilon_p=0,04$ mm (jest to wielkość równa jednemu pikselowi obrazu).

Kwantyzacja polega na zamianie ciągłego zbioru wartości pewnej wielkości na dyskretny podzbiór tych wartości. Rzeczywista, spróbkowana wartość sygnału jest zastępowana najbliższą liczbą ze zbioru wartości z dyskretnego podzbioru wartości wielkości mierzonej. W przypadku kwantyzacji obrazu pisma mamy do czynienia ze zamianą pełnej gamy odcieni szarości (lub składowych kolorowych) obrazu na dyskretnie wartości. Kwantyzacja wnosi pewną niedokładność odwzorowania zwaną błędem kwantyzacji. Z reguły zbiór ciągły dzieli się na pewną liczbę (N_{kol}) równych przedziałów (ΔN_{kol}) wartości funkcji. Błąd kwantyzacji ε_k wynosi wtedy:

$$\varepsilon_k = \pm \frac{\Delta N_{kol}}{2} \quad (6)$$

Najczęściej mamy do czynienia z szesnastobitową reprezentacją odcieni szarości dającą liczbę przedziałów $N_{kol}=65.536$ lub dwudziestoczerobitową $N_{kol}=16.777.216$ (ponad 16 milionów odcieni szarości czy też kolorów).

Uzyskane dzięki tym przekształceniom wartości reprezentowane są w postaci cyfrowej.

Często obraz jest zamieniany z postaci kolorowej lub odcieni szarości na obraz czarno-biały w procesie binaryzacji. BINARYZACJA obrazu polega na zamianie wartości dyskretnych sygnałów na dwie grupy o wartościach 0 dla koloru podłoża (tła) i 1 dla koloru materiału kryjącego. Możemy tu popełnić błąd pierwszego rodzaju, polegający na zakwalifikowaniu obszaru liter jako punkty tła i błąd drugiego rodzaju, polegający na zakwalifikowaniu punktu tła jako obrazu liter. Wartość tego błędu zależy od jakości obrazu linii pisma.

Istnieje wiele algorytmów binaryzacji np. algorytm Otsu [75][23], Kavallieratou i inne [39]. Każdy z nich wnosi dodatkową niepewność do pomiaru. Należałoby przeanalizować działanie każdego algorytmu, aby móc określać wynikający z tego błąd pomiarowy.

Poza wcześniejszymi przekształceniami tak zwane przetwarzanie wstępne składa się z innych etapów np. z odszumienia obrazu. Mamy wtedy do czynienia z dalszymi błędami wynikającymi z ujmowania lub dodawania do obrazu pisma pojedynczych pikseli [95].

6.2. Segmentacja

Segmentacja obrazu (ang. *image segmentation*) oznacza podział obrazu na jednorodnie (homogeniczne) obszary pod względem pewnej własności. BINARYZACJA jest dla przykładu segmentacją obrazu pod względem jasności punktów obrazu. Segmentacja na wyrazy, litery i grammy odnosi się nie tylko do własności obrazu takich jak kolor czy jasność obrazu, ale także do właściwości treściowych czyli semantycznych. Nie można bowiem poprawnie dokonać segmentacji wyrazów nie znając treści tekstu pisma. W systemie percepcyjnym człowieka segmentacja obrazu często przebiega łącznie ze zrozumieniem treści niesionej przez dany obraz. Czyli segmentacja jest związana z rozumieniem treści wrażenia wzrokowego (ang. *image understanding*) [65, s. 98].

Obrazy pisma zostały posegmentowane na wyrazy i litery ręcznie przez człowieka. Podział zespołów znaków na poszczególne znaki związany jest z systemem wiązań. W przypadku, kiedy poszczególne wyrazy, litery ani grammy nie są powiązane

segmentacja jest problemem stosunkowo łatwym. W przypadku wiązań pomiędzy tymi elementami często aby przeprowadzić właściwą segmentację trzeba w praktyce śledzić przebieg linii pisma. Takie informacje w systemach on-line są dostępne. W przypadku systemów off-line, z jakimi mamy do czynienia w niniejszych badaniach, niestety takie informacje są niedostępne. Można oczywiście rekonstruować z danych off-line przebieg linii pisma. Te zagadnienia wykraczają poza ramy pracy.

7. Pomiar

Pomiarem jest umieszczenie wartości cechy badanego obiektu w określonym punkcie skali. W wyniku pomiaru uzyskujemy informacje o własnościach obiektu.

Wyróżnia się cztery skale pomiaru:

- skalę nominalną (mianowaną, ang. *nominal scale*),
- skalę porządkową (rangową, ang. *ordinal scale*),
- skalę interwałową (równomierną, ang. *interval scale*),
- skalę ilorazową (stosunkową, ang. *quotient scale*).

Poszczególne cechy pisma są poddawane procesowi pomiaru. Wielkość pisma, wielkości poszczególnych jego obszarów oraz wzajemne proporcje tych wielkości są jednymi z podstawowych cech poddawanych pomiarowi w procesie identyfikacji.

7.1. Pomiar ręczny

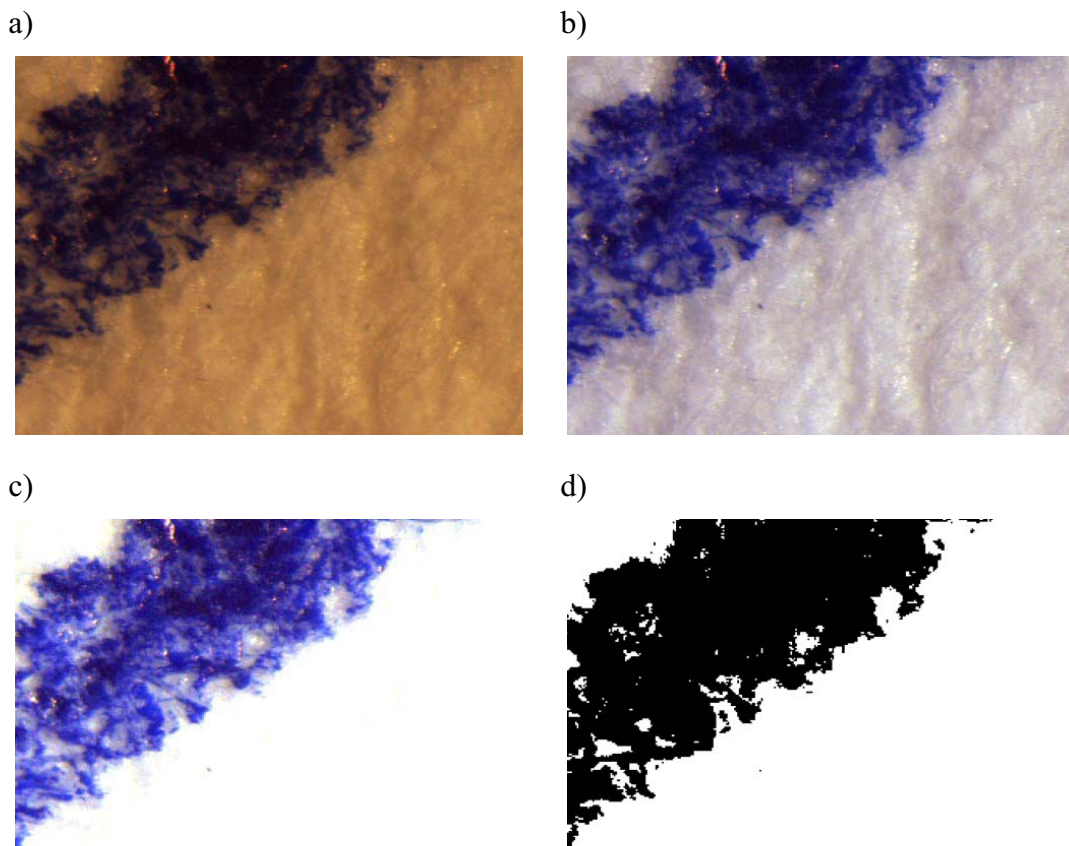
Pomiarem ręcznym nazywamy tradycyjny sposób pomiaru cech pisma ręcznego dokonywanym przez człowieka bezpośrednio na badanym materiale lub jego fotografiach za pomocą przymiarów liniowych i kątowych. Jako przymiar liniowy stosuje się: linijkę, suwmiarkę, lupę z naniesioną podziałką. Stosowanym przymiarem kątowym jest zwykły kątomierz.

Precyzja metod ręcznego pomiaru zależy od dokładności przyrządów pomiarowych oraz możliwości człowieka. Dokładność suwmiarki jest rzędu 0,1 mm (rzadziej 0,01 mm, a nawet 0,001 mm), mikrometru ok. 0,01 mm, kątomierza 5'.

Historyczna metoda grafometryczna Locarda (grafometria), która była jednym z etapów rozwoju do obowiązującej dziś najpowszechniej metody graficzno-porównawczej kładła nacisk na ścisły pomiar cech pisma ręcznego. Zalecała ona bardzo dużą liczbę pomiarów i obliczanie na ich podstawie wartości średnich dla uniknięcia wpływu rozrzutu wartości mierzonych. Pomiar w tej metodzie przeprowadzano na kilkukrotnych fotograficznych powiększeniach obrazów pisma. W metodzie tej mówimy o dokładności rzędu 0,1 mm przy podawaniu wartości średnich pomiarów. Natomiast dla pomiarów jednostkowych autor tej metody zaleca posługiwanie się linijką z podziałką co 0,5 mm [51, s. 53].

Są to metody bardzo pracochłonne i czasochłonne. Pomiar ręczny, mimo wykorzystania całej inteligencji i wiedzy człowieka nastęrcza pewne trudności. Podstawowy problem wynika z niejednorodności linii pisma jako struktury, co jest

związane z właściwościami kryjącymi materiałów pisarskich. Materiał kryjący pokrywa podłoże w sposób nierównomierny. Granica linii pisma jest niejednorodna i nie zawsze wyraźna, przez co niedokładnie wyznaczalna (Rys. 9).



Rys. 9. Przykłady obrazu linii pisma: a) obraz oryginalny; b) obraz ze zbalansowanym punktem bieli; c) obraz z usuniętym obrazem podłoża; d) obraz zbinaryzowany (próg=255)

Przy porównaniach metod ręcznych i automatycznych problem ten można pominąć, jeśli w obu rodzajach pomiarów uwzględnia się obrazy czarno-białe, czyli już zbinaryzowane obrazy pisma, pamiętając jednak o tym, że proces binaryzacji wnosi pewien błąd.

Należy uwzględnić ponadto błędy pomiarowe (zarówno w metodach ręcznych jak i automatycznych) wynikające z procesu pobierania obrazu pisma, czyli próbkowania i kwantyzacji (przy skanowaniu) oraz wpływu etapu przetwarzania wstępnego. Innymi przeszkodami przy pomiarze jest możliwość występowania braków pewnych gramm w piśmie. Takim samym utrudnieniem jest brak jednoznacznej granicy pomiędzy grammami np. w literach ze znakami diakrytycznymi. Często zdarza się bowiem, że grammy przechodzą płynnie w grammy elementów diakrytycznych. Trudno

wskazać wtedy wyraźną granicę między nimi. Jej wyznaczenie jest konieczne, bo znaków diakrytycznych nie uwzględnia się przy określaniu wielkości pisma.

7.2. Pomiar automatyczny

W kolejnych czterech rozdziałach przybliżono opracowane metody pomiaru automatycznego. Pomiar automatyczny (ang. *automatic*) czy też inaczej obliczeniowy (ang. *computational*) każdej z cech mierzonych ręcznie wymagał opracowania szeregu algorytmów komputerowych.

8. Wielkość pisma

W pismoznawstwie spotykane są różne definicje wielkości pisma (wysokości pisma). *Słownik Terminów Pismoznawczych IES* definiuje ją jako cechę „wyrażając[a] się wysokością strefy śródlinijnej” i dalej strefę śródlinijną określa jako jedną „z trzech poziomych pasm wyznaczonych elementarzewo czterolinia” [107]. Jest to definicja teoretyczna i przez to mało pomocna przy praktycznym określaniu wielkości pisma. Można ją rozumieć jako odnoszącą się zarówno do wielkości liter śródlinijnych (czy też średniej wielkości tychże liter), wielkości pasma śródlinijnego wyrazów, jaki i wielkości pasma śródlinijnego całego wiersza.

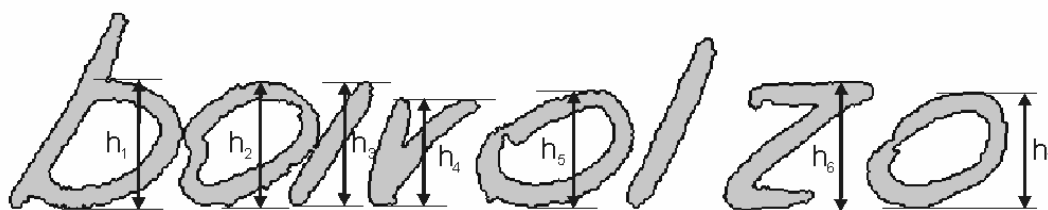
Horyszowski proponuje aby w celu obliczenia wysokości litery zmierzyć odległości podstawy litery i jej wierzchołka (najwyższy punkt litery). Punkty podstaw i wierzchołków wyznaczone są jako styczne do liter i równoległe do linii podstawowej. Wysokość wyrazu określana jest jako odległość linii podstawowej wyrazu, a równoległą do niej styczną przechodzącą przez wierzchołek najwyższej sięgającej grammy śródlinijnej w słowie. Analogicznie można postąpić w przypadku wiersza, gdzie trzeba wyznaczyć linię podstawową całego wiersza [28].

Za wielkość pisma można także przyjąć np. średnie odległości pomiędzy odcinkami: pierwszym wyznaczonym poprzez punkty podstaw pierwszej i ostatniej litery oraz drugim wyznaczonym przez wierzchołki tychże liter. Inną miarą mogą być odległości gabarytowych linii ograniczających wszystkie grammy śródlinijne (pionowa średnica Fereta).

W omawianych badaniach przyjmuje się za wielkość pisma średnią wysokość (\hat{h}_{sr}) liter, czy też gramm śródlinijnych (tylko takich, które nie mają ani części górnych, ani części dolnych) w wyrazie (patrz wzór (7)). W literach o dwóch lub więcej grammach uwzględnia się oddzielnie każdą gramnę. Sposób pomiaru wysokości poszczególnych gramm pokazano na Rys. 10.

$$\hat{h}_{sr} = \frac{\sum_{i=1}^{N_G} h_i}{N_G}, \quad (7)$$

gdzie: h_i — wysokość i -tej grammy,
 N_G — liczba mierzonych gramm.



Rys. 10. Sposób pomiaru wysokości gramm śródliniowych do określania wysokości wyrazu

Oblicza się w ten sposób średnią wielkość pisma w wyrazie. Analogicznie można wyznaczać średnie wielkości pisma w wierszu lub całej próbce.

8.1. Metoda pomiaru automatycznego

Z informatycznego punktu widzenia pomiar wysokości pisma wydawałby się problemem łatwym do rozwiązania. W literaturze przedmiotu analizowano możliwości pomiaru wielkości pisma ręcznego oraz określania obszarów pisma metodami automatycznymi. Spotykamy różne podejścia w opracowaniu metod określania tych wielkości, poczynając od wcześniejszych prac Arazi'ego [2][3] aż po publikacje współczesne [26]. Metoda Azari'ego oparta została na analizie histogramów rozkładów częstości występowania w rzutach poziomych i pionowych ciągów punktów w kolorach podłoża pisarskiego i materiału kryjącego o poszczególnych długościach. Pomiar wielkości pisma opiera się na hipotezie, że wielkość liter jest zależna od pustych przestrzeni wewnątrz konturów liter. W metodzie tej stosuje się globalny pomiar całego obrazu pisma.

Metoda określania obszarów pisma zaproponowana przez Henniga i Sherkata [26] opiera się na aproksymacji krzywymi sklejanymi. Pozwala ona bardziej subtelnie przybliżyć kształt stref pisma (tzw. wstęp pisma). Gruntownie zastosowanie krzywych w modelowaniu obiektów graficznych omówiono w monografiach: [17][45].

W pracach traktujących o rozpoznawaniu pisma nie zawsze skupia się należyta uwaga nad problemem pomiaru wielkości pisma. Często ten problem jest traktowany jako jeden z etapów procesu przetwarzania wstępnego. W spotykanych publikacjach często powyższe zagadnienie omawiane jest jedynie przy okazji rozważania problemu normalizacji obrazu pisma, który ma być następnie poddany procesowi rozpoznawania. Proces normalizacji jest omawiany jako jeden z etapów całościowego procesu rozpoznawania pisma. Dla przykładu, w pracy [14] przetwarzanie wstępne składa się z czterech etapów: normalizacji pochylenia linii podstawowej pisma, normalizacji

położenia średniej podstawowej linii pisma, korekcji pochylenia pisma i wygładzania. Etap pierwszy i drugi związany jest z wyznaczaniem obszaru śródlinijnego, czyli wyznaczaniem wysokości pisma.

Takie ujęcie powoduje, że często kwestia pomiaru wielkości pisma nie jest dogłębnie analizowana, zwłaszcza w odniesieniu do rezultatów pomiarów dokonywanych tradycyjnymi metodami przez człowieka

W procesie normalizacji stosowane są dwa podejścia. Jedno z nich oparte jest na regułach heurystycznych, w których mamy do czynienia z ręcznym doбором parametrów [6][105]. Drugie podejście to zastosowanie technik bez reguł heurystycznych [116].

W tej pracy automatycznemu pomiarowi wielkości pisma poddano poszczególne wyrazy z każdego rękopisu. Metoda pomiaru oparta została na analizie wykresów rozkładu wartości gęstości punktów w kolorze materiału kryjącego uzyskanych z rzutów poziomych obrazów rękopisów. Takie przekształcenie nazywamy rzutowaniem (na Rys. 14 podano przykład wykresu rzutu).

Rzut obrazu (w dziedzinie przetwarzania obrazów [56, s. 133]), czy też używając innej nazwy: rzutowanie (ang. *projection*) oznacza odwzorowanie obrazu w formie wykresu, którego wartości są sumami wartości poziomów jasności (intensywności) punktów obrazu wzdłuż poszczególnych kierunków [86, s. 80]. Rzut poziomy określamy według formuły (8), a pionowy według formuły (9).

$$p(y) = \sum_{x=1}^{\max(x)} B(x, y), \quad (8)$$

$$p(x) = \sum_{y=1}^{\max(y)} B(x, y), \quad (9)$$

gdzie: $B(x,y)$ — punkt obrazu o współrzędnych dyskretnych x i y .

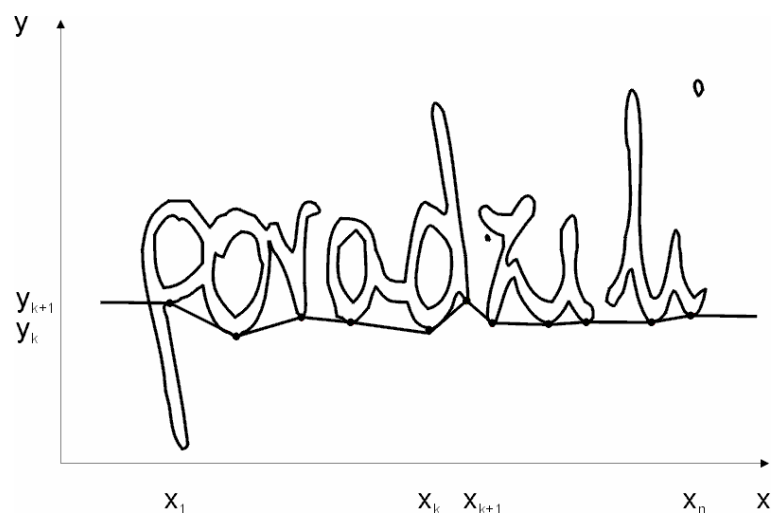
Wykrywanie obszaru śródlinia opiera się na hipotezie, że w rzucie poziomym gęstość linii obrazu pisma leżących w obszarze śródlinia jest wyższa w porównaniu z pozostałymi obszarami. Objawia się to większymi wartościami na wykresie rzutu w tym obszarze.

W celu oddzielenia obszaru środkowego (wartości dużej gęstości) od pozostałych obszarów (wartości małej gęstości) wyznacza się wartość progową α . Dzieli ona zbiór wartości rzutu na dwie części: poniżej progu i powyżej. Obszary (podzbiory odciętych) z wartościami (rzędne) powyżej progu mogą stanowić obszar śródlinia. Takich znalezionych obszarów może być więcej. Jest to zależne od

pojawiania się zakłócających elementów np. elementów poziomych czy też skośnych liter „t”, „ł” lub gramm wstępnych albo wybiegowych. Dobór progu może następować według różnych algorytmów, które omówione zastały w dalszej części pracy. Za obszar śródlinia przyjmuje się zwykle obszary wartości większych od wartości progowych, otaczające najwyższy szczyt gęstości. Jednakże ta technika jest wrażliwa na obecność w wyrazie długich poziomych linii, które dodają do rzutów duże piki, niekoniecznie leżących w obszarze śródlinia. Te piki mogą zostać pomyłone z rzeczywistym obszarem śródlinia, co może doprowadzić do istotnych błędów w określaniu obszarów w wyrazie.

Obszarem śródlinia można także uważać ten ze znalezionych obszarów, który posiada największą szerokość w rzucie lub obszar z największą sumą wartości powyżej progu w tymże rzucie. W niniejszych badaniach wybrano kryterium największej szerokości obszaru w rzucie ze względu na fakt, że obszar śródlinia jest szerszy od grubości pojedynczej grammy linii pisma.

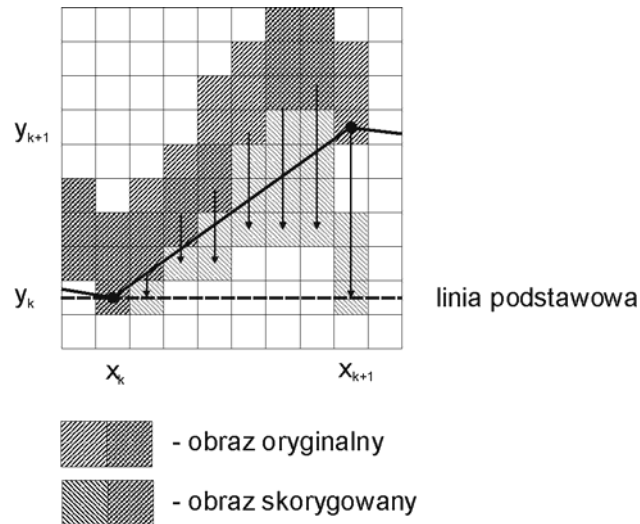
Rzuty poziome w porównaniu z podejściami spotykanymi w literaturze (Bozinovic i Srihari [6], Senior i Robinson [105]) dokonywane są przy skorygowanych obrazach pisma. Korekcji dokonuje się ze względu na pochylenie linii podstawowej pisma i brak współliniowości punktów podstaw liter. Obraz pisma jest najpierw korygowany a następnie obliczany jest rzut poziomy. Aby dokonać korekcji obrazu wyznacza się podstawy gramm śródlinijnych $B(x_k, y_k)$. W praktycznych przypadkach nie są one położone współlinijnie (patrz Rys. 11).



Rys. 11. Wyznaczanie punktów podstaw gramm

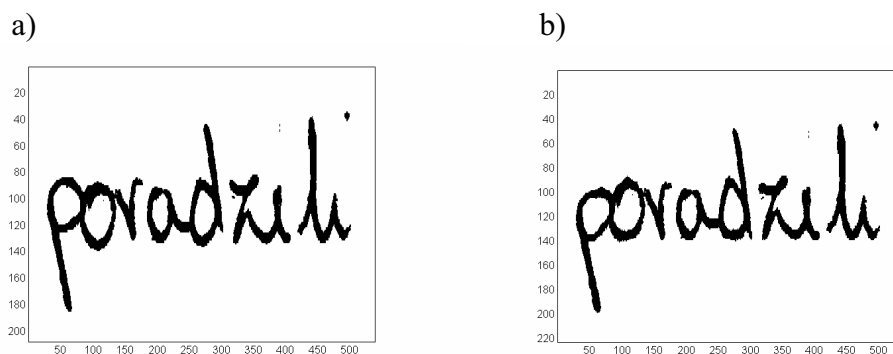
Aby pomiar wielkości pisma nie był obarczony błędem wynikającym z tego braku współliniowości podstaw gramm dokonywana jest wspomniana korekcja. Punkty

podstaw każdej grammy śródlinijnej są punktem odniesienia do następnego etapu algorytmu. Następnie dokonuje się lokalnego przesunięcia punktów obrazu z każdej kolumny aby uzyskać współliniowość podstaw liter. Przykład pokazano na Rys. 12.



Rys. 12. Sposób korekcji obrazu pisma

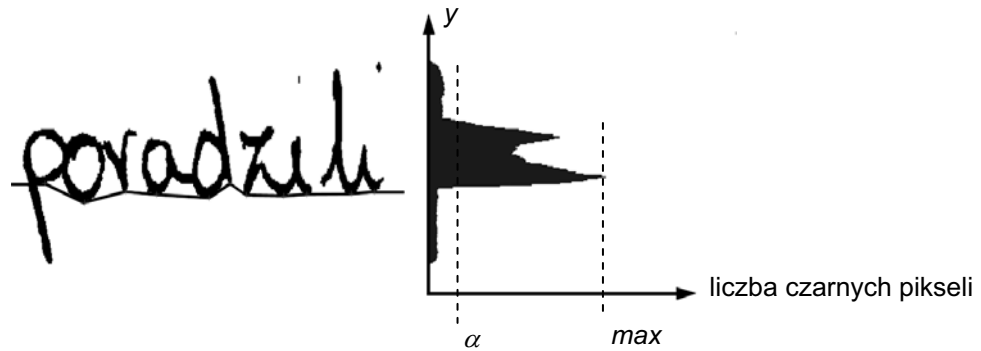
Na Rys. 13(a) pokazano przykład oryginalnego obrazu a na Rys. 13(b) po korekcji położenia podstaw gramm.



Rys. 13. Przykład dokonanej korekcji położenia podstaw gramm w wyrazie: a) obraz początkowy; b) obraz skorygowany

Wartość progu (α) jest dobierana jako ułamek wartości maksymalnej (max) w rzucie.

Jak już wspomniano, za obszar śródlinia przyjmuje się ten spośród znalezionych obszarów, który posiada największą szerokość. Granice tego obszaru stanowią ograniczenie strefy środkowej pisma i wyznaczają wysokość śródlinia. Za wielkość pisma w danym wyrazie przyjmuje się szerokość tego obszaru wyrażoną w pikselach.



Rys. 14. Przykład rzutu poziomego obrazu

Formalizując kroki postępowania uzyskujemy następujący algorytm:

Algorytm wyznaczania wielkości pisma

1. Określenie punktów podstaw gramm śródlinijnych.
2. Korekcja położenia podstaw gramm.
3. Obliczenie rzutu poziomego.
4. Odcięcie obszaru śródlinia za pomocą wartości progowej.
5. Pomiar szerokości uzyskanego obszaru.

Ze względu na różne obrazy rzutów poziomych wyrazy podzielono na cztery klasy (κ) pod względem posiadania poszczególnych obszarów pisma. W zbiorze wyrazów (\mathcal{W}) wydzielono klasy: tylko z obszarem śródlinijnym (klasa A), z obszarem śródlinijnym i nadlinijnym (klasa B), z obszarem śródlinijnym i podlinijnym (klasa C) oraz wyrazy ze wszystkimi obszarami (klasa D). Podobnego podziału można dokonać w zbiorze liter (\mathcal{L}).

W pierwszym etapie pomiaru automatycznego zmierzono wielkości pisma dla dobranego progu $\alpha=25\%$ wartości maksymalnej. Następnie dokonano tychże pomiarów w przypadku doboru optymalnych wartości progowych indywidualnie dla każdej z klas wyrazów. W badaniach wyznaczono eksperymentalnie optymalne wartości progów (Tabela 4).

Tabela 4. Optymalne wartości progów według klas wyrazów odniesione do wartości maksymalnych

Wielkość	α			
Skala	[%]			
Klasa wyrazów	A (śródlinijne)	B (nadlinijne)	C (podlinijne)	D (nad- i podlinijne)
Próbka				
1	27	32	30	35
2	25	34	30	38
3	30	41	36	37
4	30	36	34	39
5	20	30	25	31

Bezwzględne wartości progów mogą się różnić w przypadku innych próbek pisma. Można jednak zaobserwować, że wzajemna relacja między wielkościami wartości progowych w różnych klasach pisma jest zachowana. Wyjątkiem jest próbka 3 z wartością 37% dla klasy D.

Wartości progów dla wyrazów jedynie z elementami śródlinijnymi są najmniejsze, gdyż w obrazach rzutów poziomych w tym przypadku zasadniczo nie ma elementów, które znajdują się poza obszarem śródlinia. W obrazie rzutu w tym przypadku mamy jedynie do czynienia z pewną liczbą małych wartości. Poza zasadniczym obszarem śródlinia w tych wyrazach, w przypadku idealnym (kiedy grammy składowe są tej samej wielkości i położone współliniowo), możemy mieć jedynie do czynienia z elementami diakrytycznymi, które leżą poza obszarem śródlinia. Wnoszą one małe wartości do obrazu rzutu, w związku z czym „odcinająca” wartość progowa może być stosunkowo mała. Wartość progów dla wyrazów z elementami nadlinijnymi (klasa B) oraz wyrazów z wszystkimi obszarami (klasa D) jest większa ze względu na zakłócający charakter elementów nadlinijnych lub podlinijnych. Jest to spowodowane tym, że trudno uchwycić wyraźną granicę pomiędzy obszarami. Granica ta nie jest tak wyraźna, w związku z czym wartość progowa musi być większa. Wartość ta dla wyrazów z elementami podlinijnymi (klasa C) jest mniejsza od wartości dla obu wcześniejszych przypadków, ze względu na bardziej regularny przebieg skorygowanej w etapie wcześniejszym linii podstawowej.

Uzyskane średnie wartości wielkości pisma w każdej z próbek pokazano w tabeli poniżej (Tabela 5). Zamieszczono tam wyniki pomiaru ręcznego i pomiarów automatycznych. Wartości w tabeli podano w pikselach, milimetrach i w skali porządkowej. Niemal we wszystkich przypadkach pomiarów zaobserwowano, że

wielkości pisma mierzone automatycznie tą metodą są zawyżone w porównaniu z pomiarem ręcznym. W przypadku pomiaru ze stałym progiem ta nadwyżka jest większa niż w przypadku, kiedy stosujemy różne progi dla poszczególnych klas wyrazów. Można jednakże zaobserwować korelację (rzędu 0,95–0,99) wartości wielkości pisma pomiędzy różnymi rodzajami pomiarów we wszystkich tych przypadkach. Przy przechodzeniu ze skali ilorazowej na porządkową nie zaobserwowano odmiennego zaklasyfikowania wielkości pisma do innej wartości wielkości w przypadku pomiaru ręcznego w porównaniu z pomiarem automatycznym.

Tabela 5. Wielkość pisma w poszczególnych próbkach pisma

Wielkość	\hat{h}_{sr}			h'_{sr}			h'_{sr}			
	Skala	[pxl]	[mm]	[skala porządkowa]	[pxl]	[mm]	[skala porządkowa]	[pxl]	[mm]	[skala porządkowa]
Rodzaj pomiaru	Pomiar ręczny			Pomiar automatyczny (próg 25%)			Pomiar automatyczny (różne progi dla każdej z klas wyrazów)			
Próbka										
1	48,88	2,07	małe	56,56	2,39	małe	51,47	2,18	małe	
2	59,62	2,52	średnie	63,67	2,70	średnie	60,98	2,58	średnie	
3	37,48	1,59	małe	44,29	1,87	małe	35,68	1,51	małe	
4	51,05	2,16	małe	56,44	2,39	małe	51,72	2,19	małe	
5	44,55	1,89	małe	46,38	1,96	małe	45,85	1,94	małe	

8.2. Analiza porównawcza wyników pomiaru, błąd pomiarowy

Uzyskane w sposób automatyczny wartości wielkości pisma porównano z wynikami pomiarów uzyskanych odnośną metodą pomiaru ręcznego. Przeprowadzono analizę statystyczną wartości błędów pomiarowych w celu sprawdzenia dokładności metody automatycznej. Średni bezwzględny błąd pomiaru wielkości pisma dla próbki określono w następujący sposób (10), natomiast średni bezwzględny błąd tegoż pomiaru w przypadku wyrazów należących do danej klasy określono według wzoru (11):

$$\mathcal{E}_{sr} = \frac{\sum_{\kappa=1}^4 \sum_{i=1}^{N_{W\kappa}} |h'_{i,\kappa} - \hat{h}_{i,\kappa}|}{\sum_{\kappa=1}^4 N_{W\kappa}}, \quad (10)$$

$$\mathcal{E}_{sr\kappa} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{W\kappa}} |h'_{i,\kappa} - \hat{h}_{i,\kappa}|}{N_{W\kappa}}, \quad (11)$$

gdzie: \mathcal{E}_{sr} — średni błąd bezwzględny pomiaru wielkości pisma dla całej próbki,
 $\mathcal{E}_{sr\kappa}$ — średni błąd bezwzględny pomiaru wielkości pisma wyrazów klasy κ ,
 $h'_{i,\kappa}$ — wysokość i -tego wyrazu zmierzonego metodą automatyczną,
 $\hat{h}_{i,\kappa}$ — wysokość i -tego wyrazu zmierzonego metodą ręczną,
 $N_{W\kappa}$ — liczba mierzonych wyrazów klasy κ w danej próbce,
 κ — numer klasy wyrazu.

Średni względny błąd pomiaru wielkości pisma dla próbki określono według wzoru (12). Natomiast średni względny błąd pomiaru wielkości pisma dla wyrazów należących do danej klasy określono według wzoru (13).

$$\mathcal{E}_{sr} [\%] = \frac{\sum_{\kappa=1}^4 \sum_{i=1}^{N_{G\kappa}} \frac{|h'_{i,\kappa} - \hat{h}_{i,\kappa}|}{\hat{h}_{i,\kappa}} \cdot 100\%}{\sum_{\kappa=1}^4 N_{G\kappa}}, \quad (12)$$

$$\mathcal{E}_{sr\kappa} [\%] = \frac{\sum_{i=1}^{N_{G\kappa}} \frac{|h'_{i,\kappa} - \hat{h}_{i,\kappa}|}{\hat{h}_{i,\kappa}} \cdot 100\%}{N_{G\kappa}}. \quad (13)$$

Dla dobranej stałej wartości progu $\alpha=25\%$ wartości maksymalnej dla wszystkich klas wyrazów uzyskano następujące wartości średnich błędów pomiarowych (Tabela 6).

Tabela 6. Wartości średniego błędu bezwzględnego i względnego pomiaru wielkości pisma dla mojej metody (stałe i ustalone progi $\alpha=25\%$ wartości maksymalnej)

Wielkość	ε_{sr}		$\varepsilon_{sr\kappa}$							
	Skala	[pxl]	[%]	[pxl]	[%]	[pxl]	[%]	[pxl]	[%]	[pxl]
Klasa wyrazów	A+B+C+D (razem)		A (śródlinijne)		B (nadlinijne)		C (podlinijne)		D (nad- i podlinijne)	
Próbka										
1	8,03	16,83	6,82	12,72	10,05	21,59	4,85	10,30	8,03	17,19
2	4,74	8,13	3,52	5,91	5,31	8,96	1,88	3,21	5,57	9,70
3	7,16	26,24	5,22	14,47	7,37	19,90	4,65	12,90	8,89	24,38
4	6,57	14,68	4,49	8,76	6,86	13,37	6,42	13,35	7,60	15,83
5	4,68	10,39	6,75	13,39	3,94	8,88	2,95	6,99	4,74	11,19
Średnia	6,24	15,25	5,36	10,85	6,71	14,54	4,15	9,35	6,96	15,66

Średni względny błąd pomiarowy dla wszystkich próbek z całego materiału badawczego wyniósł 15,25%. Najgorszy wynik zaobserwowano dla próbki 3, gdzie w przypadku wyrazów z wszystkimi obszarami osiągnął wartość 26,24%.

Następnie obliczono wartości błędów pomiarowych dla przypadku różnych progów dla każdej klasy wyrazów. Wyniki pokazano w tabeli poniżej (Tabela 7).

Tabela 7. Wartości średniego błędu bezwzględnego i względnego pomiaru wielkości pisma dla mojej metody (dla optymalnych różnych progów)

Wielkość	ε_{sr}		$\varepsilon_{sr\kappa}$							
	Skala	[pxl]	[%]	[pxl]	[%]	[pxl]	[%]	[pxl]	[%]	[pxl]
Klasa wyrazów	A+B+C+D (razem)		A (śródlinijne)		B (nadlinijne)		C (podlinijne)		D (nad- i podlinijne)	
Próbka										
1	5,28	10,82	5,32	9,74	5,37	11,53	3,41	6,78	4,95	10,78
2	4,15	6,93	3,52	5,91	3,54	5,89	1,47	2,51	2,94	4,99
3	3,93	10,38	4,85	12,47	3,03	8,11	3,56	9,58	3,83	10,52
4	5,20	13,25	4,05	7,83	5,06	9,44	5,02	10,39	4,38	9,29
5	4,25	9,21	3,31	7,40	2,92	6,60	2,95	6,99	2,81	6,64
Średnia	4,56	10,12	4,21	8,67	3,98	8,31	3,28	7,25	3,78	8,44

W wyniku doboru wartości progowej indywidualnej dla każdej klasy wyrazów następuje poprawa wyników pomiarów. Dla przykładu: średni względny błąd dla wszystkich klas wyrazów zmalał z 15,25% do 10,12%, czyli prawie o 1/3. Natomiast w przypadku wyrazów z klas B i D średnia wartość błędów względnych zmalała niemal o połowę [93][91].

8.3. Adaptacja innych metod do pomiaru wysokości pisma

W dalszej części pracy zbadano możliwość zastosowania różnych metod do pomiaru wielkości pisma. Przedstawiono metody: Vinciarelli i Luettin [116] oraz Marti i Bunke [63]. Porównano owe rozpatrywane metody z metodą opracowywaną w niniejszych badaniach.

8.3.1. Metoda Vinciarelli i Luettin

Vinciarelli i Luettin zaproponowali w swojej pracy [116] zastosowanie nieheurystycznego algorytmu wyznaczania wartości progowej w rzutach. W tym celu zaadoptowali algorytm Otsu [75][23], oparty na minimalizacji wartości sumy ważonej wariancji dwóch dobieranych zbiorów: grupa elementów o gęstości punktów (obrazu w kolorze materiału kryjącego w każdej linii rzutu) mniejszej lub równej progowi i grupy elementów o gęstościach większych od progów. Wartość progowa dzieli zbiór wartości na dwa podzbiory tak aby uzyskać najmniejszą wartość sumy. Wagi są prawdopodobieństwami poszczególnych grup, obliczonych jako procent elementów należących do każdej grupy.

Algorytm nieheurystyczny został w metodzie Vinciarelli i Luettin zaproponowany, gdyż unika się w nich żmudnego doboru parametrów.

W niniejszych badaniach zastosowano metodę Vinciarelli i Luettin do pomiaru wielkości pisma w badanym materiale. Pomiaru wysokości wyrazów dokonano, jak w poprzednich przypadkach, dla wszystkich wyrazów w całej próbce i dla tychże próbek z podziałem na cztery klasy wyrazów: A, B, C, D.

Wartości średnich błędów pomiarowych obliczono według wzorów: (10), (11), (12) i (13). Wyniki pokazano w tabeli poniżej (Tabela 8).

Tabela 8. Wartości średniego błędu bezwzględnego i względnego pomiaru wielkości pisma dla metody Vinciarelli i Luettin

Wielkość	ε_{sr}		$\varepsilon_{sr k}$							
	[pxl]	[%]	[pxl]	[%]	[pxl]	[%]	[pxl]	[%]	[pxl]	[%]
Klasa wyrazów	A+B+C+D (razem)		A (śródlinijne)		B (nadlinijne)		C (podlinijne)		D (nad- i podlinijne)	
Próbka										
1	25,44	53,61	11,89	21,25	19,38	41,29	33,08	69,24	35,64	77,07
2	14,69	25,11	7,65	29,85	10,57	22,43	16,49	26,00	20,94	24,29
3	16,72	48,99	7,44	40,94	15,24	53,20	14,63	28,62	24,74	62,12
4	16,11	33,43	13,36	34,98	9,13	42,32	15,73	47,83	26,01	34,20
5	11,92	27,23	8,69	26,13	9,51	28,41	12,35	27,81	16,26	26,83
Średnia	16,98	37,67	9,81	30,63	12,76	37,53	18,46	39,90	24,72	44,90

Średni względny błąd pomiarowy osiągnął wartość ponad 37,00% z najgorszym wynikiem 44,90% dla wyrazów z klasy D. Porównanie pomiędzy metodą Vinciarelli i Luettin (Tabela 8) i opracowywaną metodą (Tabela 6, Tabela 7) pokazuje ponad trzykrotne zmniejszenie błędów pomiarowych. Dla wyrazów z poszczególnych klas wyrazów uzyskano następujące ilorazy: ponad 3 dla klasy A, 4 dla klasy B i 5 dla klasy C i D.

Zastosowanie algorytmów nieheurystycznych mimo zalet wymienionych wcześniej, pozbawia nas pewnej, jak się okazuje, wiedzy na temat cech pisma dostępnych dla człowieka. W tym przypadku zrezygnowanie z tej wiedzy o innych cechach pisma i danej próbce przynosi pogorszenie rezultatów pomiaru. W metodzie Vinciarelli i Luettin następuje podział obszarów pisma bez uwzględniania położenia granic poszczególnych gramm.

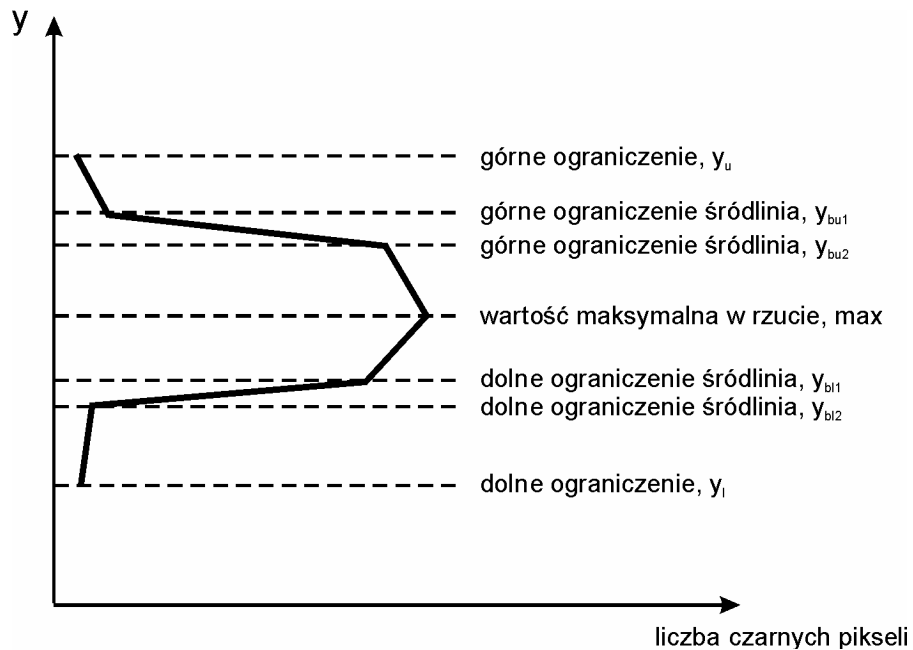
8.3.2. Metoda Marti i Bunke

Odmiernym podejściem, bazującym także na rzutach, jest metoda autorstwa Marti i Bunke. Do opisu obszarów pisma wyznaczyli oni następujące linie graniczne: dolne ograniczenie (ang. *lower bound* — y_l), dolną linię podstawową (ang. *lower baseline* — y_{bl}), górne ograniczenie śródlinia (ang. *upper baseline*; *x-height guideline* — y_{bu}) oraz górne ograniczenie (ang. *upper bound* — y_u). Ponadto uszczegółowili kształt idealnego wykresu wprowadzając po dwie linie dolnego ograniczenia śródlinia (y_{bl1} , y_{bl2}) i dwie linie górnego ograniczenia śródlinia (y_{bu1} , y_{bu2}). Gdzie y_{bu1} i y_{bl2} wyznaczają podnóża zbocza a y_{bu2} i y_{bl1} wyznaczają ich zwieńczenie (Rys. 15). Uczyniono to ze względu na to, że w wykresach rzutów pisma ręcznego, w porównaniu z pismem maszynowym, zbocza te nie są nachylone pod kątem prostym (co jest jedną z cech

charakterystycznych pisma ręcznego). Dolne i górne ograniczenie pasma śródlinijnego zostało obliczane jako średnia arytmetyczna obu wartości:

$$y_{bu} = \frac{y_{bu1} + y_{bu2}}{2}, \quad y_{bl} = \frac{y_{bl1} + y_{bl2}}{2}. \quad (14), (15)$$

Dla wyznaczenia granic powyższych obszarów zastosowali oni rzuty poziome obrazów. Uzyskany rzeczywisty wykres (Rys. 14) zostaje porównywany z wykresem modelowym (Rys. 15). Zmieniając położenia linii wyznaczających granice obszarów pisma wybiera się te, które dają najmniejszą różnicę pomiędzy wykresami rzeczywistym, a idealnym.



Rys. 15. Model idealnego wykresu według Marti i Bunke

Autorzy stosują powyższy algorytm do określania obszaru śródlinia dla całych wierszy pisma. W niniejszych badaniach zaadaptowano tenże algorytm do pomiaru wielkości pisma pojedynczych wyrazów. Przeanalizowano możliwość przyjęcia odległości pomiędzy linią podstawową y_{bl} , a górnym ograniczeniem strefy środkowej y_{bu} za wielkość pisma w wyrazie $h_i^{(m)}$, patrz wzór (16):

$$h_{wi}^{(m)} = y_{bu i} - y_{bl i} \quad (16)$$

gdzie: $h_{wi}^{(m)}$ — wielkość i -tego wyrazu mierzonego metodą Marti i Bunke,
 $y_{bu i}$ — górne ograniczenie śródlinia i -tego wyrazu,
 $y_{bl i}$ — dolne ograniczenie śródlinia i -tego wyrazu.

W tabeli (Tabela 9) pokazano uzyskane wartości średnich błędów pomiaru wielkości pisma dla poszczególnych próbek pisma. W ostatnim wierszu pokazano średnie wartości uzyskiwanych błędów w obrębie wszystkich próbek.

Tabela 9. Wartości średnich błędów pomiaru dla poszczególnych próbek pisma dla metody Marti i Bunke

Wielkość	ε_{sr}		$\varepsilon_{sr,k}$							
	Skala	[pxl]	[%]	[pxl]	[%]	[pxl]	[%]	[pxl]	[%]	[pxl]
Klasa wyrazów	A+B+C+D (razem)		A (śródlinijne)		B (nadlinijne)		C (podlinijne)		D (nad- i podlinijne)	
Próbka										
1	34,84	76,05	18,90	37,15	27,97	61,31	29,98	68,88	51,56	113,47
2	14,15	23,59	16,57	26,82	9,67	15,83	14,82	24,45	16,77	28,70
3	14,13	41,59	10,17	28,78	12,51	35,01	11,13	33,57	19,47	59,65
4	15,66	32,20	15,17	27,98	13,60	26,53	14,41	29,97	18,83	42,32
5	15,96	36,32	11,26	24,93	11,05	24,05	20,11	47,17	22,50	52,29
Średnia	18,95	41,95	14,41	29,13	14,96	32,55	18,09	40,81	25,83	59,29

Błąd pomiarowy uzyskany za pomocą opracowanej metody jest kilkakrotnie mniejszy niż w metodzie Marti i Bunke.

8.4. Podsumowanie

Zaprezentowana w pracy metoda pomiaru wielkości pisma została porównana z metodą ręczną. Porównując wyniki pomiarów w obu metodach uzyskujemy średni błąd pomiaru 15,25% (przypadek stałych wartości progowych) i 10,12% (przypadek optymalnych wartości progowych).

W tym rozdziale porównano opracowywaną metodę z innymi metodami pomiaru wielkości pisma. Wszystkie metody używały rzutowania poziomego. Opracowywana metoda dała dwukrotnie lepszy wynik pomiaru w porównaniu z obiema porównywanymi metodami: Vinciarelli i Luetin oraz Marti i Bunke.

W porównaniu z metodą Vinciarelli i Luetin stosującą nieheurystyczny algorytm wyznaczania wartości progowych, opracowywana metoda stosuje heurystyczny algorytm: wartości progowe zostały wybrane jako ułamek wartości maksymalnej w histogramie rzutu poziomego.

Metoda Marti i Bunke stosująca porównanie rzeczywistego i modelowego histogramu rzutu poziomego dawała średni błąd pomiaru rzędu 40,00%, co jest wartością stosunkowo dużą, ponieważ w proponowanej metodzie ten błąd pomiaru jest rzędu 10,00%. Metoda Marti i Bunke daje raczej dobre przybliżenie obszaru śródlinia do dalszego przetwarzania zamiast dokładnego pomiaru wielkości pisma.

Wielkości błędu pomiarowego we wszystkich omawianych metodach (ponad kilka procent błędu przy pomiarze względnym) powoduje, że nie można ich stosować

na razie w praktycznych badaniach pismoznawczych. Niezbędna jest dalsza ich optymalizacja w celu zmniejszenia błędu pomiarowego przy pomiarze na wszystkich skalach pomiarowych. Planowane są dalsze badania nad pomiarem tej cechy pisma.

9. Pole pisma

Wśród mierzonych cech pisma ręcznego znajduje się pole pisma. Jest to liczba charakteryzująca wielkość powierzchni poszczególnych elementów obrazu pisma.

Poza określaniem pola powierzchni można także określać kształt obszarów zajmowanych przez poszczególne elementy pisma. Elementy te są opisywane takimi samymi sposobami jak figury geometryczne. Pole może odnosić się do całości tekstu, wiersza, wyrazu, znaku. Taki opis jest szczególnie cenny w przypadku badań bardzo krótkich tekstów tj. skróconych podpisów czy też paraf. Przy badaniu podpisów stosuje się metodę geometryczno-strukturalną. W metodzie tej łączy się wierzchołki liter i tworzy figury, których własności są następnie badane [110].

Cechę pole pisma można określać za pomocą następujących wielkości:

- pole powierzchni ograniczonej tzw. liniami gabarytowymi ¹,
- pole powierzchni ograniczone innymi liniami prostymi,
- pole powierzchni zajęte przez linię pisma (długość tej linii pomnożona przez szerokość linii pisma),
- suma pola powierzchni zajętej przez linię pisma i tzw. pole „trawienia” [1],
- środek ciężkości, momenty bezwładności, itp.
- współczynniki kształtu.

W tym rozdziale przedstawiono proste cechy opisujące kształty geometryczne. Następnie przybliżono współczynniki kształtu, które są pewnymi parametrami liczbowymi opisującymi kształt obiektu. Pozwala to na użycie ich do automatycznego rozpoznawania obiektów. Informacje z dwu następujących podrozdziałów podano na podstawie literatury [46][111][83]. Kolejnym krokiem, w podrozdziale trzecim, było szersze omówienie zasadności zastosowania współczynnika wypukłości do opisu pola pisma.

9.1. Podstawowe parametry

Środek ciężkości (ang. *Center of Gravity*) O_{COG} . Współrzędne środka ciężkości wyznaczone są zgodnie z formułami:

¹ W pracy [110] podano praktyczny sposób określania linii wyznaczających gabaryty elementów pisma.

$$x_{COG} = \frac{\sum_i \sum_j iB(i, j)}{\sum_i \sum_j B(i, j)}, \quad y_{COG} = \frac{\sum_i \sum_j jB(i, j)}{\sum_i \sum_j B(i, j)}. \quad (17), \quad (18)$$

Wśród ekspertów pisma ta wielkość jest uznawana jako wielkość zdatna do opisu pola pisma [53].

Momenty bezwładności (ang. *moments*) figury względem osi środkowych, czyli takich, które przechodzą przez środek ciężkości figury i będących równoległymi do osi O_x i O_y , oznaczamy przez: M_x , M_y . Wyznaczanie momentów odbywa się poprzez sumowanie po wszystkich pikselach obrazu [111, s. 263]:

$$M_x = \frac{1}{\sum_i \sum_j B(i, j)} \sum_i \sum_j (iB(i, j) - x_{COG})^2, \quad (19)$$

$$M_y = \frac{1}{\sum_i \sum_j B(i, j)} \sum_i \sum_j (jB(i, j) - y_{COG})^2. \quad (20)$$

Momenty bezwładności względem osi nazywamy także osiowymi momentami bezwładności. Są one miarą rozproszenia punktów obiektu względem danej osi. Im osiowy moment bezwładności jest większy, tym rozproszenie punktów obrazu jest większe.

Biegunowy moment bezwładności względem środka ciężkości O_{COG} określamy w sposób następujący:

$$M_{xy} = \frac{1}{\sum_i \sum_j B(i, j)} \sum_i \sum_j (i \cdot B(i, j) - x_{COG})(j \cdot B(i, j) - y_{COG}). \quad (21)$$

Kąt najmniejszego momentu bezwładności θ [46]:

$$\theta = \arctg \left(\frac{M_x - M_y + \sqrt{(M_x - M_y)^2 + 4(M_{xy})^2}}{2M_{xy}} \right). \quad (22)$$

Kolejnymi parametrami są odległości „środku ciężkości” od brzegu konturu:

$R_{COG}(\alpha)$ — odległość od „środku ciężkości” O_{COG} figury B do jej brzegu w kierunku α .

$R_{COG \max}$ — maksymalna odległość „środku ciężkości” figury B od obrzeża konturu

$R_{COG \min}$ — minimalna odległość „środku ciężkości” figury B od obrzeża konturu

$R_{in}(B)$, $R_{out}(B)$ są promieniami największego okręgu wewnątrz figury B i najmniejszego okręgu zawierającego w sobie figurę B .

Widzi się zastosowanie tych promieni do określania zbliżenia danego kształtu do koła. W przypadku równości obu promieni mamy do czynienia z kształtem idealnego koła.

$D_P(B)$, $D_L(B)$ — współczynniki kolistości (cyrkularności) oznaczają odpowiednio średnice kół o polu równym polu danego obiektu $P(B)$, i obwodzie równym obwodowi analizowanego obiektu $L(B)$:

$$D_P(B) = 2\sqrt{\frac{P(B)}{\pi}}, \quad D_L(B) = \frac{L(B)}{\pi}. \quad (23), \quad (24)$$

Średnice Fereta (ang. *Feret's diameter*): F_{\max} , F_{\min} , F_x , F_y . Określone są maksymalna i minimalna średnica Fereta:

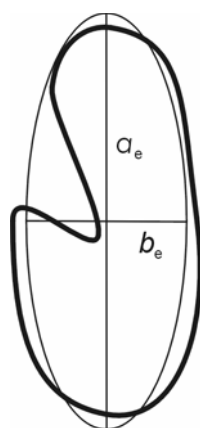
$$F_{\max} = \sup \left\{ \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} : (x_i, y_i), (x_j, y_j) \in B \right\}; \quad (25)$$

F_{\min} jest to średnica prostopadła do F_{\max} . F_x i F_y dotyczą odpowiednich wielkości dla kierunków ortogonalnych i są równoznaczne z rzutami ortogonalnymi.

$MD(B)$ Średnica Martina (ang. *Martin's diameter*) — odległość przeciwległych boków figury B mierzona w poprzek tej figury dla wybranego kierunku. Linia dzieli figurę na dwie równe powierzchniowo części. Wyróżnia się średnice Martina poziomą i pionową: MD_x , MD_y .

Ponieważ pewne elementy konstrukcyjne pisma kreślone są na kształt owali: okręgów, elips itp. to do opisu tych kształtów dobrze nadaje się równanie elipsy. Nie zawsze zachodzi potrzeba rozwiązywania równania elipsy. Można sięgnąć po podstawowe parametry opisujące tę figurę. Wyznacza się oś wielką i małą elipsy.

a_e , b_e — oś wielka i oś mała elipsy o polu P i obwodzie L . Przykład elipsy przybliżającej wybrany obiekt pokazano na Rys. 16. Wielkości osi elipsy są obliczane zgodnie z formułami: (26), (27).



Rys. 16. Elipsa przybliżająca kształt elementu obrazu

$$a_e = \frac{1}{3} \left(\sqrt{\frac{P}{\pi}} + \frac{L}{\pi} \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} \left(\sqrt{\frac{P}{\pi}} + \frac{L}{\pi} \right) \right)^2 - \frac{P}{\pi}}, \quad b_e = \frac{P}{\pi \cdot a_e}. \quad (26), \quad (27)$$

9.2. Współczynniki kształtu

W pismoznawstwie często ujmuje się wartości danych cech w odniesieniu do wartości innych cech. Czasami bardziej interesujące niż bezwzględne wartości są stosunki wielkościowe, czyli wartości względne. Bada się często proporcje pomiędzy wielkościami. Dla przykładu *Katalog Graficznych Cech Pisma Ręcznego IES* szerokości znaków podaje jako: proporcjonalne, smukłe, szerokie. Czyli możemy tu mówić o stosunku bezwzględnej wysokości znaku do bezwzględnej szerokości znaku.

Ogólnie o takich proporcjach można mówić na różnych poziomach subtelności pisma. Zdefiniujmy ogólnie rozumiany współczynnik kształtu dowolnego obiektu. Współczynnik proporcji (r_{hw}) kształtu obrazu obiektu (ang. *height-width ratio*, *aspect ratio*) określony jest zgodnie z formułą (28).

$$r_{hw} = \frac{h}{w} \quad (28)$$

gdzie: h oznacza wysokość a w szerokość obrazu wyrazu, litery itd.

Współczynnik ten charakteryzuje wydłużenie obiektu. W odniesieniu do znaków, zależnie od wartości tego stosunku, wyróżnia się pismo: smukłe, proporcjonalne i szerokie [107]. Jest to wielkość tożsama z współczynnikiem Fereta dla ortogonalnych średnic Fereta.

Szczególnie istotna, ze względu na przedmiot badań, czyli pismo, jest jeszcze jedna grupa parametrów, w których istotne są proporcje. Wyróżnia się proporcje wysokości elementów nadlinijnych do wysokości elementów śródlinijnych (ang. *upper zone ratio*) oraz proporcje wysokości elementów podlinijnych do wysokości elementów śródlinijnych (ang. *lower zone ratio*). *Katalog Graficznych Cech Pisma Ręcznego IES* określa te cechy na skali porządkowej — proporcje mogą być: zmniejszone (poniżej 1,5), średnie (1,5–2,5), powiększone (2,5–3) oraz przesadne (ponad 3) [51].

Wyróżnia się wiele współczynników opisujących kształt obiektów, określających: płaskość (ang. *flatness*), wydłużenie (ang. *elongation*), okrągłość (ang. *roundness*). Zestawiono je poniżej.

Na podstawie wcześniej wymienionych parametrów $R_{COG \max}$ i $R_{COG \min}$ można obliczyć tzw. liczbę kształtu lk_1 :

$$lk_1 = \frac{2 \cdot R_{COG \min}}{R_{COG \max} + R_{COG \min}} \quad (29)$$

oraz obliczać ich proporcje:

$$r_R = \frac{R_{COG \min}}{R_{COG \max}}. \quad (30)$$

Podobnie można wyznaczyć proporcje dla $R_{in}(B)$, $R_{out}(B)$. Wielkość tą nazywa się współczynnikiem promieni (ang. *radii ratio*):

$$r_r = \frac{R_{in}}{R_{out}} \quad (31)$$

Współczynnik eliptyczny (ang. *ellipse ratio*):

$$r_e = \frac{a_e}{b_e} \quad (32)$$

Współczynnik kształtu (ang. *form factor, area-perimeter ratio*):

$$r_s = \frac{4\pi \cdot P}{L^2} \quad (33)$$

lub w postaci odwróconej:

$$r'_s = \frac{L^2}{4\pi \cdot P}. \quad (34)$$

Czasami współczynnik ten jest używany w formie:

$$r''_s = 1 - \frac{4\pi \cdot P}{L^2} \quad (35)$$

gdzie: $P, P(B)$ — pole powierzchni obiektu B ,
 $L, L(B)$ — obwód obiektu B .

Współczynnik Fereta (ang. *Feret's ratio, aspect ratio*) charakteryzuje wydłużenie obiektu:

$$r_F = \frac{F_{\min}(B)}{F_{\max}(B)}. \quad (36)$$

Odmiana dla ortogonalnych średnic Fereta:

$$r'_F = \frac{F_x(B)}{F_y(B)}. \quad (37)$$

Stopień kolistości (ang. *degree of circularity*) stanowi pierwiastek kwadratowy z współczynnika kształtu:

$$r_C = \frac{2\sqrt{\pi \cdot P}}{L}. \quad (38)$$

Jest on stosunkiem dwóch współczynników kolistości: $D_P(B)$, $D_L(B)$.

Odwrotność stopnia kolistości stanowi współczynnik zwartości Hortona (ang. *Horton's compactness factor*):

$$r_{Hc} = \frac{L}{2\sqrt{\pi \cdot P}}. \quad (39)$$

$$r_M = \frac{L}{2\sqrt{\pi \cdot P}} - 1. \quad (40)$$

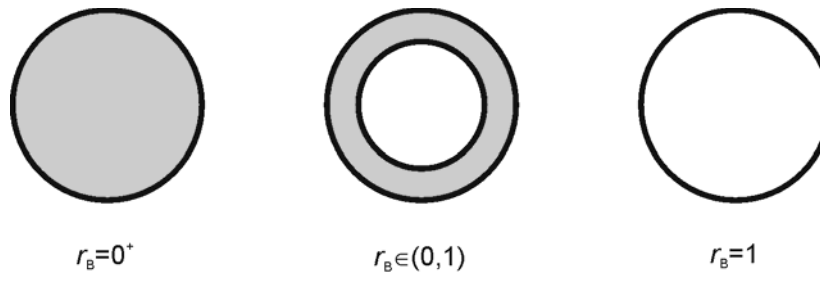
Współczynnik Malinowskiej mierzy stopień „okrągłości” obiektu. Własności: nie zależy od wielkości obiektu. Jest to współczynnik nienormowany.

Współczynnik Blaira-Blissa:

$$r_B = \frac{P}{\sqrt{2\pi \cdot \sum_i r_i^2}} \quad (41)$$

gdzie: P — pole powierzchni obiektu,
 r_i — odległość piksela obiektu od środka ciężkości obiektu (O_{COG}),
 i — numer piksela obiektu.

Mierzy stopień „wydrążenia” obiektu. Własności: nie zależy od wielkości obiektu, unormowany.



Rys. 17. Wartości współczynnika Blaira-Blissa dla wybranych kształtów

Współczynnik Danielsona:

$$r_D = \frac{P^3}{\left(\sum_i l_i\right)^2} \quad (42)$$

gdzie: P — pole powierzchni obiektu,
 l_i — minimalna odległość piksela obiektu od konturu obiektu,
 i — numer piksela obiektu.

Współczynnik Haralicka:

$$r_H = \sqrt{\frac{\left(\sum_i d_i\right)^2}{n \cdot \sum_i d_i^2 - 1}} \quad (43)$$

gdzie: d_i — odległość pikseli konturu obiektu od jego środka ciężkości (O_{COG}),
 n — liczba pikseli konturu,
 i — numer piksela obiektu.

Współczynnik kolistości kształtu Wadella (ang. *Wadell's ratio*):

$$r_w = \frac{D_p(B)}{F_{\max}(B)} \quad (44)$$

jest równy 1 dla koła, w przeciwnym wypadku jest mniejszy od 1.

Współczynnik kolistości kształtu Drainage-Basin (ang. *Drainage-basin circularity shape ratio*):

$$r_{DB} = \frac{P(B)}{D_L(B)} \quad (45)$$

jest równy 1 dla koła, w przeciwnym wypadku jest mniejszy od 1.

Innymi parametrami są zaproponowane przez Owoca [83] współczynniki pod nazwą liczby kształtu. Te proste parametry można by uznać za wystarczające, gdyby porównywane kształty były podobnego rodzaju, np., gdyby były elipsami lub wielobokami foremnymi wypukłym. Co najczęściej się nie zdarza w praktyce. Dlatego koniecznym jest wprowadzenie kolejnych parametrów [83, s. 110]:

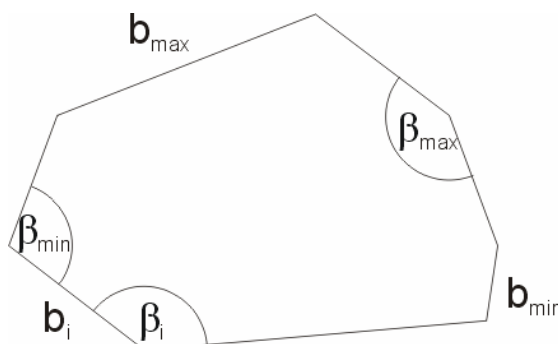
lk_2 — liczba wierzchołków wypukłych,

lk_3 — liczba wierzchołków wklęsłych.

Możemy je wyznaczyć jeśli przyjmiemy, że dany kształt jest estymowany wielobokiem (patrz Rys. 1). Kolejne liczby kształtu określone są formułami:

$$lk_4 = \frac{b_{\min}}{b_{\max}} \quad lk_5 = \frac{b_{\min}}{b_{sr}} \quad lk_6 = \frac{b_{\min}}{b_{\text{mod}}} \quad (46), \quad (47), \quad (48)$$

gdzie: b_i — długość i -tego boku,
 b_{\min} — długość najkrótszego boku,
 b_{\max} — długość najdłuższego boku,
 b_{sr} — średnia długość boków,
 b_{mod} — najczęściej występująca długość boków.



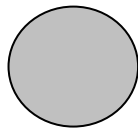
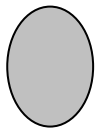

Rys. 18. Parametry spotykane przy opisie kształtu za pomocą wieloboku

$$lk_7 = \frac{\beta_{\min}}{\beta_{\max}} \quad lk_8 = \frac{\beta_{\min}}{\beta_{\text{sr}}} \quad lk_9 = \frac{\beta_{\min}}{\beta_{\text{mod}}} \quad (49), \quad (50), \quad (51)$$

gdzie: β_i — miara i -tego kąta wewnętrznego,
 β_{\min} — najmniejszy kąt wewnętrzny,
 β_{\max} — największy kąt wewnętrzny,
 β_{sr} — średnia wielkość kątów wewnętrznych,
 β_{mod} — najczęściej występująca wielkość kąta wewnętrznego.

Zestawienie wartości poszczególnych parametrów przedstawiono w tabeli poniżej (Tabela 10). Podano tam wartości dla koła oraz dla elips o różnych polach powierzchni.

Tabela 10. Wartości poszczególnych współczynników opisujących kształt obiektów

Parametr			
r_S	1	<1	0^+
r'_S	1	>1	$\rightarrow\infty$
r''_S	0	>0	$\rightarrow 1$
r_F	1	<1	0^+
r_C	1	<1	0^+
r_{Hc}	1	>1	$\rightarrow\infty$
r_M	0	>0	$\rightarrow\infty$
r_W	1	<1	0^+
r_{DB}	1	<1	0^+
r_T	1	<1	0^+
r_e	1	>1	$\rightarrow\infty$
lk_1	1	<1	0^+
r_R	1	<1	0^+

Kolejnym parametrem jest współczynnik wypukłości. Do jego obliczenia niezbędne jest wyjaśnienie pojęcia powłoki wypukłej.

9.3. Powłoka wypukła i współczynnik wypukłości

Powłoką wypukłą (ang. *convex hull*) H zbioru punktów obrazu B jest najmniejszy wypukły zbiór punktów zawierający w sobie B . Wypukłą powłokę (otoczkę) zbioru B oznaczamy przez $H=\text{ConvH}(B)$. Powłoka wypukła zbioru punktów B to najmniejszy wielokąt wypukły taki, że każdy punkt ze zbioru B leży albo na brzegu tego wielokąta wypukłego albo w jego wnętrzu, patrz Rys. 19

Algorytmy znajdowania powłoki wypukłej[31][30][29]:

- przyrostowy (ang. *Incremental*),

- „zawijanie prezentu” czy też inaczej „zamiatanie obrotowe” (ang. *Gift Wrap*) — np. algorytm Jarvisa, algorytm Grahama,
- „dziel i zwyciężaj” (ang. *Divide and Conquer*),
- algorytm szybki (ang. *Quick Hull*) — odmiana algorytmu przyrostowego,
- algorytmy morfologiczne (ang. *Morphology*).



Rys. 19. Domknięcie wypukłe figury

Informacje o powłoce wypukłej pozwalają wyznaczyć tzw. współczynnik wypukłości. Do tej pory w pismoznawstwie nie wykorzystywano informacji o współczynniku wypukłości. W pracy proponuje się zastosowanie współczynnika wypukłości do określania kształtu elementów pisma. Znaczenie otoczki wypukłej jest podobne do linii podstawowej, linii przykrywowej i linii gabarytowych [51, s. 159] [110].

Współczynnik wypukłości (ang. *convexity ratio*) lub zwartość, spoistość (ang. *solidity*):

$$r_{conv} = \frac{P(B)}{P(\text{ConvH}(B))} \quad (52)$$

gdzie: P — Pole powierzchni figury

charakteryzuje odstępstwo od wypukłości. Figura wypukła ma ten współczynnik równy 1, w innym przypadku jest on mniejszy od 1.

Można także definiować ten współczynnik w postaci odwrotnej:

$$r'_{conv} = \frac{P(\text{ConvH}(B))}{P(B)}. \quad (53)$$

Innym współczynnikiem określającym wypukłość jest:

$$r''_{conv} = \frac{L(\text{ConvH}(B))}{L(B)} \quad (54)$$

gdzie: L — obwód figury.

Kolejnym określanym parametrem jest niedobór wypukłości (ang. *convex deficiency*):

$$\text{Conv}D = H-B \quad (55)$$

Niedobór wypukłości jest przydatnym parametrem, ponieważ różne figury mogą mieć tą samą powłokę wypukłą wówczas ten parametr ma wartość różnicującą.

W dalszej części pracy podano przykłady wyznaczania powłoki wypukłej. W tym celu posłużono się między innymi algorytmami morfologicznymi.

9.3.1. Przekształcenia morfologiczne

Przekształcenia morfologiczne są narzędziem do wyodrębniania z obrazu składowych, które są użyteczne w reprezentowaniu i opisie kształtów obiektów graficznych. Podstawowymi operacjami są: *dylatacja* (ang. *dilation*), *erozja* (ang. *erosion*) oraz *otwieranie* (ang. *opening*) i *zamykanie* (ang. *closing*). Przetwarzanie morfologiczne (często nazywane także filtracją morfologiczną) jest także wykorzystywane do szkieletonowania, obrysowania oraz wyznaczania powłoki wypukłej.

Niech B i S oznaczają zbiory punktów w przestrzeni dwuwymiarowej, ze składowymi $b = (b_1, b_2)$, $s = (s_1, s_2)$.

Przesunięcie (ang. *translation*) obiektu B przez punkt $x = (x_1, x_2)$ definiujemy jako:

$$(B)_x = \{c: c = b + x, \text{ dla } b \in B\}. \quad (56)$$

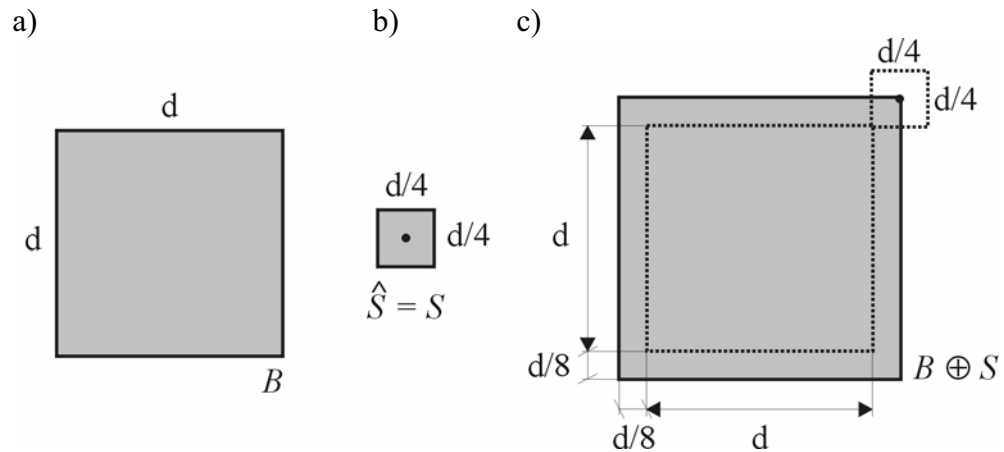
Odbicie (ang. *reflection*) S zapisane jako \hat{S} definiujemy jako:

$$\hat{S} = \{x: x = -s, \text{ dla } s \in S\}. \quad (57)$$

- Wtedy dylatację określamy jako:

$$B \oplus S = \{x: (\hat{S})_x \cap B \neq \emptyset\}. \quad (58)$$

Jest to zbiór tych wszystkich przemieszczonych punktów x których część wspólna \hat{S} i B zawiera co najmniej jeden element. Innymi słowy jest to zbiór środków wszystkich elementów strukturalnych (środek zaznaczono na poniższych rysunkach wytłuszczonym punktem), których choć jeden punkt pokrywa się z jakimkolwiek punktem figury początkowej B . Dylatacja „rozszerza” granice obiektu, patrz Rys. 20. Skutkuje to zamykaniem małych „otworów” i wąskich „zatok”. Może też prowadzić do łączenia figur.

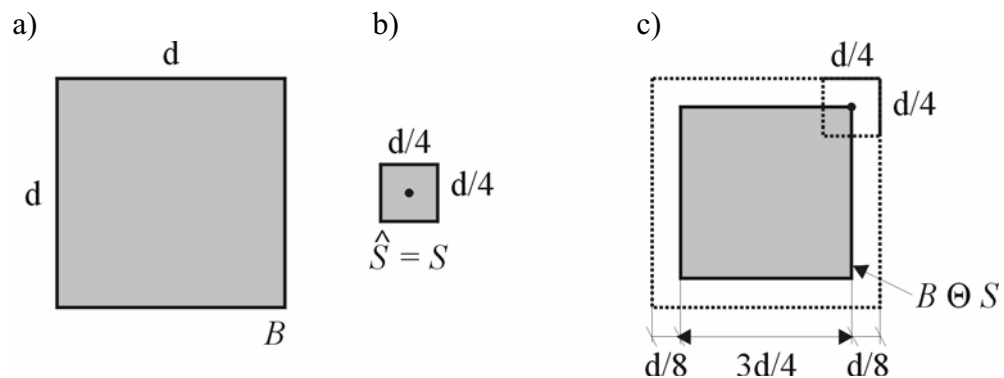


Rys. 20. Przykład dylatacji: a) obraz oryginalny; b) kwadratowy element strukturalny i jego odbicie; c) dylatacja obrazu B przez element strukturalny S

- Erozję określamy jako:

$$B \ominus S = \{x : (S)_x \subseteq B\}. \quad (59)$$

Jest to zbiór wszystkich punktów x takich, że S przesunięte o x jest zawarte w B . Innymi słowy jest to zbiór środków wszystkich elementów strukturalnych (środek zaznaczono na rysunku wytłuszczonym punktem), które w całości zawarte są we wnętrzu figury B . Erozja „zwęża” granice obiektu, patrz Rys. 21. Skutkuje to usunięciem z obrazu małych figur, usunięciem wąskich „wypustek” i wygładzeniem brzegów figur.



Rys. 21. Przykład erozji: a) obraz oryginalny; b) kwadratowy element strukturalny i jego odbicie; c) erozja obrazu B przez element strukturalny S

Złożenie powyższych operacji daje otwarcie i zamknięcie.

- Otwarcie określamy jako:

$$B \circ S = (B \ominus S) \oplus S. \quad (60)$$

Otwarcie wygładza kontury obiektów.

- Zamknięcie określamy jako:

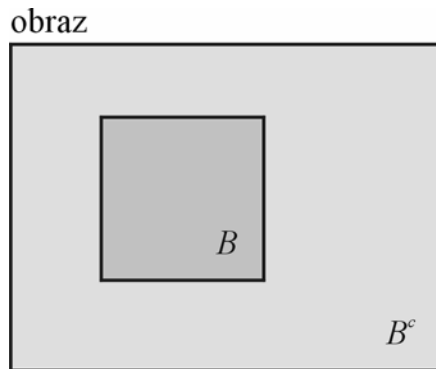
$$B \bullet S = (B \oplus S) \ominus S. \quad (61)$$

Zamknięcie eliminuje w obrazie nieciągłości, małe „dziury” itp.

Stosowane są jeszcze inne operacje morfologiczne typu: oczyszczanie (ang. *pruning*), szkieletyzacja (ang. *skeletoning*). Ich omówienie znajdzie czytelnik w literaturze [21] [72] [23][118].

Sformułujmy definicję morfologicznego algorytmu wyznaczania powłoki wypukłej. Niech S^i ($i=1, 2, 3, 4$ lub $i=1, 2, \dots, 8$) oznacza 4 lub 8 elementów strukturalnych. Ponadto określmy dopełnienie zbioru B w obrazie (Rys.22) jako:

$$B^c = \{x : x \notin B\}. \quad (62)$$



Rys. 22. Ilustracja dopełnienia B^c podzbioru B w obrazie

Definiujemy dodatkowo operację trafi – nie trafi (ang. *hit-or-miss transform*), która jest niezbędna do rozwiązania zadania wyznaczania powłoki wypukłej. Wykorzystujemy tutaj dwie odmiany elementów strukturalnych S_1, S_2 („pozytywowy” i „negatywowo”), gdzie $S_1 \cap S_2 = \emptyset$. Operacja trafi – nie trafi jest zdefiniowana za pomocą równania:

$$B \otimes S = (B \ominus S_1) \cap (B^c \ominus S_2) \quad (63)$$

ponadto definiujemy:

$$X_k^i = (X_{k-1}^i \otimes S^i) \cup B \quad (64)$$

i

$$D^i = X_{conv}^i \quad (65)$$

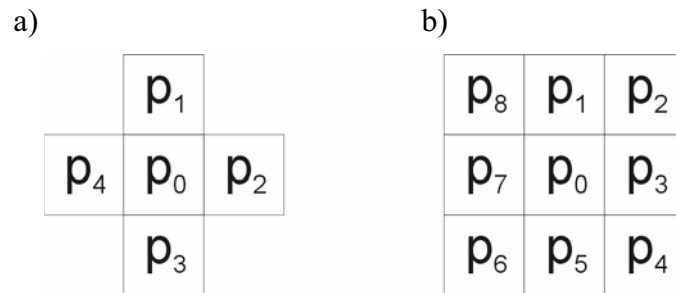
gdzie X_{conv}^i oznacza zbiór uzyskany jako wynik zbieżności (ang. *convergence*) iteracji operacji, ciągu: X_k^i, X_{k+1}^i, \dots . Wtedy dopełnienie wypukłe obrazu B określamy wzorem:

$$ConvH(B) = \bigcup_{i=1}^L D^i \quad (66)$$

gdzie: $X_0^i = B$,
 S^i oznacza i -ty element strukturalny,
 $i=1, \dots, L$,
 L oznacza liczbę elementów strukturalnych, $L=\{4, 8\}$,
 $k=1, 2, 3, \dots$.

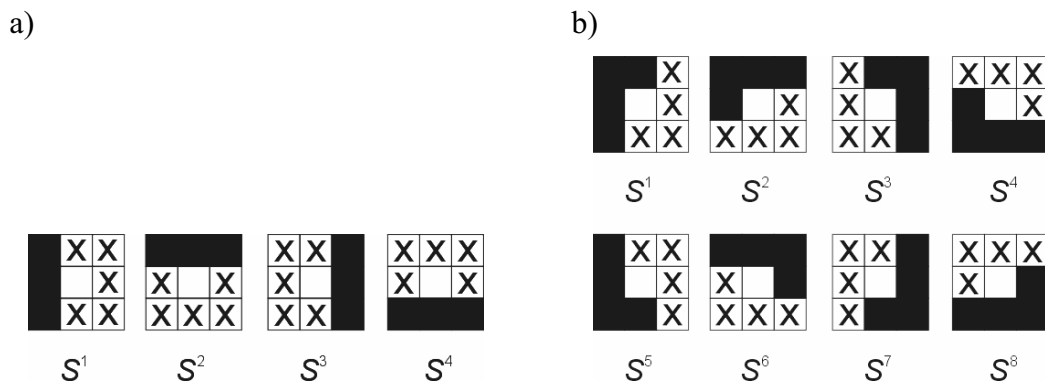
Procedura wyznaczania powłoki wypukłej składa się z iteracyjnego zastosowania operacji trafi – nie trafi w odniesieniu do obrazu B za pomocą elementu strukturalnego S^1 aż do momentu, kiedy nie następują żadne zmiany. Ta operacja jest powtarzana z kolejnymi elementami strukturalnymi: S^2, S^3 , itd. Suma uzyskanych zbiorów D^i tworzy powłokę wypukłą obrazu, zbioru B .

Rozpatrywane tutaj elementy strukturalne dotyczą sąsiedztwa punktu w ramach ósmiospójnego sąsiedztwa (Rys 23).



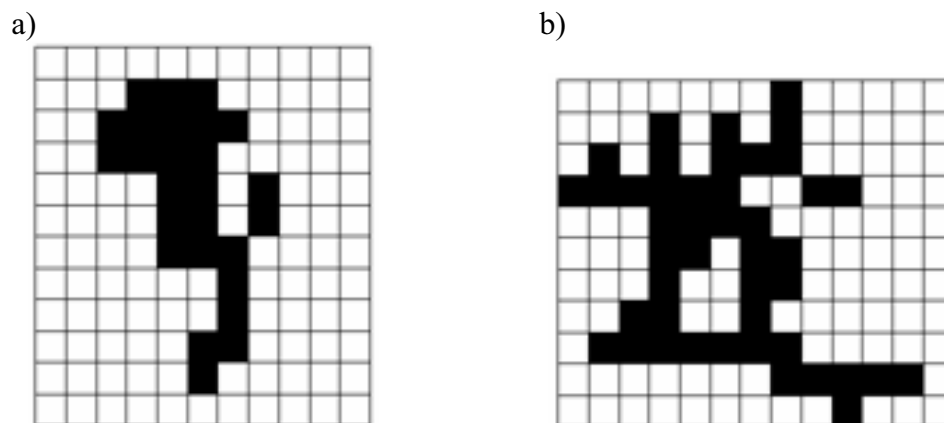
Rys. 23. Sąsiedztwo a) czterospójne i b) ósmiospójne punktu p_0

Rozważmy przykłady wyznaczania powłoki wypukłej za pomocą algorytmów morfologicznych znanych z literatury [21] [72]. Elementy strukturalne użyte w rozpatrywanych algorytmach pokazano na Rys. 24 (a) i (b). Element zaczerpniony na rysunku oznacza piksel w kolorze materiału kryjącego, biały w kolorze tła a x element dowolny.



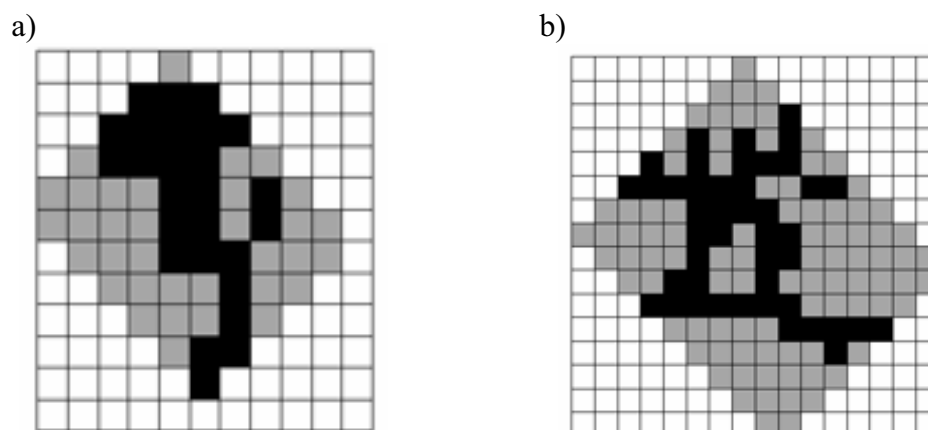
Rys. 24. Elementy strukturalne do wyznaczania powłoki wypukłej: a) dla algorytmu Gonzalesa i Woodsa; b) dla algorytmu Nieniewskiego

Jako przykładowymi przetwarzanymi danymi posłużono się obrazami z Rys. 25 (a) i (b).



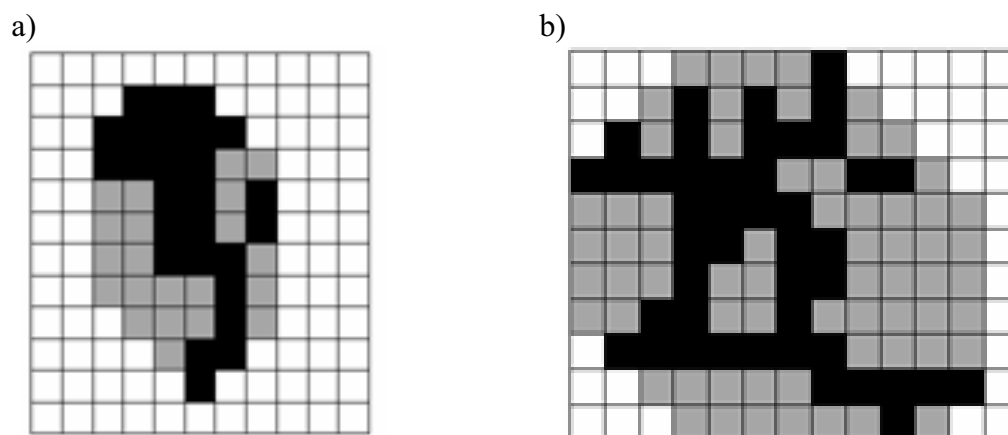
Rys. 25. Przykładowe obrazy do wyznaczenia powłoki wypukłej

W wyniku działania algorytmów uzyskano poniższe obrazy powłok wypukłych. Powłokę wypukłą uzyskaną algorytmem Gonzalesa i Woodsa [21] pokazano na Rys. 26:



Rys. 26. Powłoka wypukła uzyskana algorytmem Gonzalesa i Woodsa

Powłokę wypukłą uzyskaną algorytmem Nieniewskiego [72] pokazano na Rys. 27:



Rys. 27. Powłoka wypukła uzyskana algorytmem Nieniewskiego

Pojawia się następujący problem: na płaszczyźnie dyskretnej (kracie) półpłaszczyzna (prosta) może być poprowadzona tylko pod kątem będącym wielokrotnością $\pi/2$ lub $\pi/4$. Dlatego domknięcie wypukłe jest tu określane jako część wspólna takich półpłaszczyzn:

$$\{(x, y): ax + by \leq c, \quad x, y \in Z\} \quad (67)$$

gdzie: $a, b \in \{-1, 0, 1\}, c \in Z$.

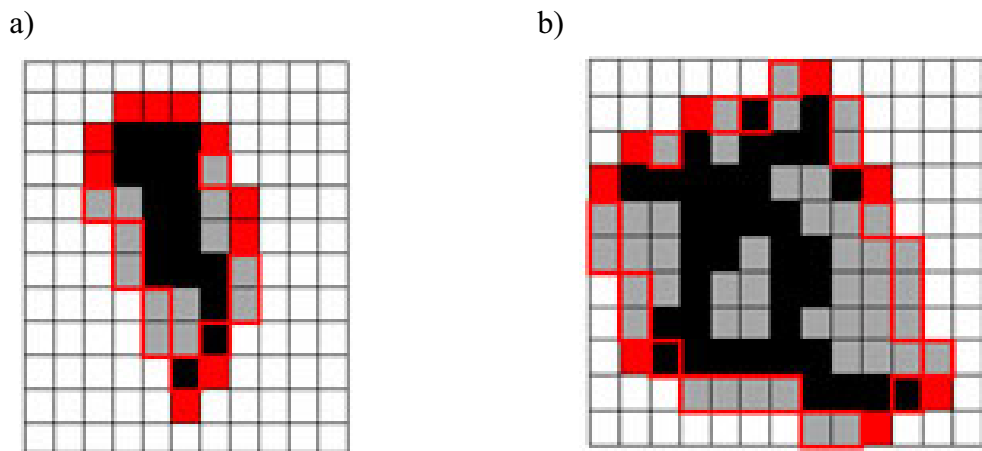
9.3.2. Algorytm wyznaczania powłoki wypukłej

W badaniach zastosowano następujący algorytm wyznaczania powłoki wypukłej:

Algorytm wyznaczania powłoki wypukłej

1. Określenie wierzchołków figury wypukłej algorytmem QuickHull.
2. Wyznaczenie pośrednich punktów brzegowych algorytmem Bresenhama [7] [17] [37]
3. Suma punktów brzegowych i wnętrza stanowi powłokę wypukłą.

W wyniku zastosowania tego algorytmu uzyskuje się powłokę wypukłą o powierzchni mniejszej niż w poprzednich algorytmach (Rys. 28).



Rys. 28. Powłoka wypukła uzyskana stosowanym w pracy algorytmem (kolorem ciemno szarym zaznaczono wierzchołki)

Ponadto zbadano jakie wyniki dają spotykane w programie Matlab funkcje i wartości: *ConvexArea*, *convhull* i *bwarea*. Wartość *ConvexArea* jest uzyskiwana dzięki funkcji *regionprops* z Image Processing Toolbox. Wartość ta przechowuje liczbę pikseli powłoki wypukłej. Funkcja *regionprops* oblicza także wartość spoistości (pole *Solidity*). Druga funkcja *convhull* (funkcja wbudowana Matlaba) także zwraca pole powłoki wypukłej uzyskanej za pomocą algorytmu Quickhull. Kolejne funkcje *bwarea* (Image

Processing Toolbox) i *polyarea* (funkcja wbudowana Matlaba) obliczają pole powierzchni figury wypukłej uzyskanej dowolnym algorytmem. Z tym, że funkcja *bwarea* zwraca wartość zbliżoną do liczby pikseli danego obrazu.

Tabela 11. Pola powłoki wypukłej uzyskiwane różnymi algorytmami

Przypadek	1	2	3	4	5	6
Algorytm	Proponowany	Gonzales i Woods	Nieniewski	<i>ConvexArea</i> (Matlab)	<i>bwarea</i> (Matlab)	<i>convhull</i> (Matlab)
Jednostki Obraz	[pxl]	[pxl]	[pxl]	[pxl]	—	[pxl]
1 (Rys. 25 a)	39	60	47	44	40,0	28
2 (Rys. 25 b)	90	135	109	96	91,4	74

Dobór algorytmu wyznaczania powłoki wypukłej jest istotny ze względu na to, że każdy z nich daje różne pola. Algorytm stosowany w funkcji *convhull* Matlaba daje zbyt niskie wyniki tak, że trudno brać go pod uwagę.

9.3.3. Pomiar współczynnika wypukłości

Dokonano pomiaru współczynnika wypukłości dla liter z próbek materiału badawczego (Zestaw 2.). Liczebność przykładów w tych próbkach pokazano w tabeli poniżej (**Tabela 3**). Można tu zaobserwować, że te zestawy są różniczne dla każdej z próbek. Jest to spowodowane tym, że z każdego rękopisu można było uzyskać tylko część liter np. z powodu pominięcia w dyktowanym tekście itp.

Uzyskano następujące średnie wartości współczynnika r'_{conv} , patrz **Tabela 12**. Pokazano tam także wartości odchylenia standardowego wielkości r'_{conv} .

Wartości tak wyznaczonego współczynnika wypukłości są odwrotnie proporcjonalne do grubości linii pisma. Jeśli porównamy dane z tabel poniżej (**Tabela 12** i **Tabela 15**) to okazuje się, że wartości współczynnika wypukłości i szerokości linii pisma są ujemnie skorelowane (patrz **Tabela 13**).

Tabela 12. Zestawienie wartości współczynnika wypukłości dla wybranych liter

Śr. oznacza wartość średnią a Od. oznacza odchylenie standardowe.

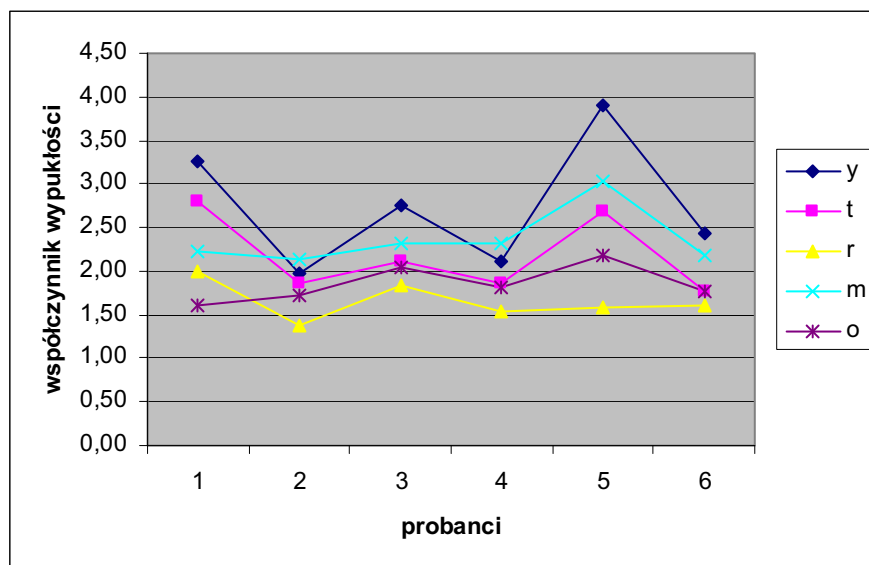
Probant	1		2		3		4		5		6	
	r'_{conv}		r'_{conv}		r'_{conv}		r'_{conv}		r'_{conv}		r'_{conv}	
Wielkość	Śr.	Od.	Śr.	Od.	Śr.	Od.	Śr.	Od.	Śr.	Od.	Śr.	Od.
Jednostki	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Litera												
a	1,68	0,34	1,84	0,20	2,16	0,14	1,67	0,14	2,44	0,21	1,82	0,15
b	1,90	0,30	1,77	0,18	1,92	0,12	2,02	0,24	2,64	0,24	1,80	0,18
c	2,18	0,32	1,95	0,16	2,32	0,12	1,87	0,30	2,47	0,31	2,23	0,26
d	1,99	0,16	1,94	0,14	2,05	0,09	2,01	0,21	2,56	0,23	1,99	0,19
e	1,98	0,29	1,72	0,12	1,82	0,14	1,77	0,20	2,07	0,16	1,78	0,16
i	2,98	0,80	1,92	0,27	2,32	0,39	2,35	1,05	3,47	0,58	3,34	0,72
k	2,41	0,22	1,94	0,17	2,33	0,16	2,15	0,25	2,78	0,31	2,34	0,18
m	2,22	0,30	2,13	0,16	2,33	0,19	2,31	0,25	3,04	0,30	2,17	0,19
n	1,78	0,31	1,94	0,17	2,04	0,16	2,18	0,25	2,61	0,31	2,01	0,20
o	1,60	0,23	1,72	0,13	2,04	0,14	1,80	0,20	2,19	0,23	1,78	0,21
p	2,01	0,35	1,81	0,20	1,99	0,16	2,16	0,22	1,94	0,15	1,95	0,16
r	2,00	0,41	1,37	0,12	1,83	0,18	1,53	0,26	1,59	0,32	1,61	0,21
s	1,95	0,25	1,74	0,16	2,01	0,15	1,75	0,18	2,05	0,26	2,04	0,27
t	2,81	0,36	1,87	0,16	2,12	0,15	1,86	0,35	2,69	0,33	1,78	0,19
u	2,01	0,22	1,90	0,19	2,31	0,13	2,29	0,25	2,41	0,18	2,00	0,20
w	2,32	0,27	1,90	0,27	2,32	0,19	2,13	0,25	2,59	0,22	2,43	0,23
y	3,26	0,76	1,98	0,19	2,76	0,23	2,12	0,28	3,89	0,50	2,43	0,25
z	2,29	0,32	1,77	0,17	2,12	0,24	1,90	0,23	2,23	0,27	2,31	0,25

Tabela 13. Wartości współczynnika korelacji współczynnika wypukłości i szerokości linii pisma

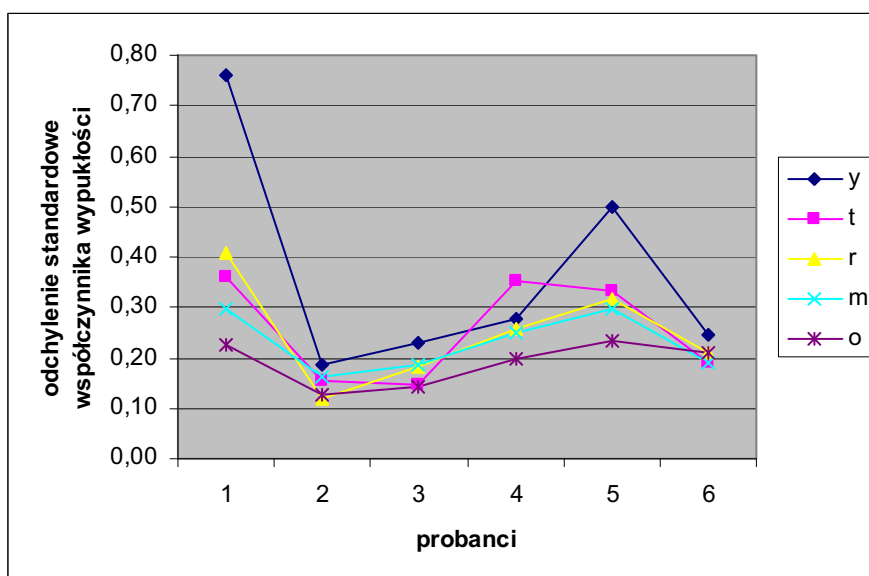
Litera	a	b	c	d	e	i	k	m	n
Korelacja	-0,21	-0,28	-0,69	-0,34	-0,55	-0,90	-0,76	-0,30	-0,16
Litera	o	p	r	s	t	u	w	y	z
Korelacja	-0,20	-0,26	-0,58	-0,87	-0,39	-0,23	-0,90	-0,61	-0,97

Największe wartości korelacji ujemnej dotyczą zasadniczo liter jednogrammowych. Warto zwrócić uwagę, że wyjątkiem są przypadki liter: „w” i „y”.

Wykresy wartości średniej współczynnika i odchylenia standardowego r'_{conv} dla wybranych liter pokazano na Rys. 29 i Rys. 30. Wybrano 3 litery z śródlinijnymi grammami „r”, „m”, „o” oraz po jednej literze podlinijno-śródlinijnej „y” i nadlinijno-śródlinijnej „t” aby różne klasy liter były reprezentowane.



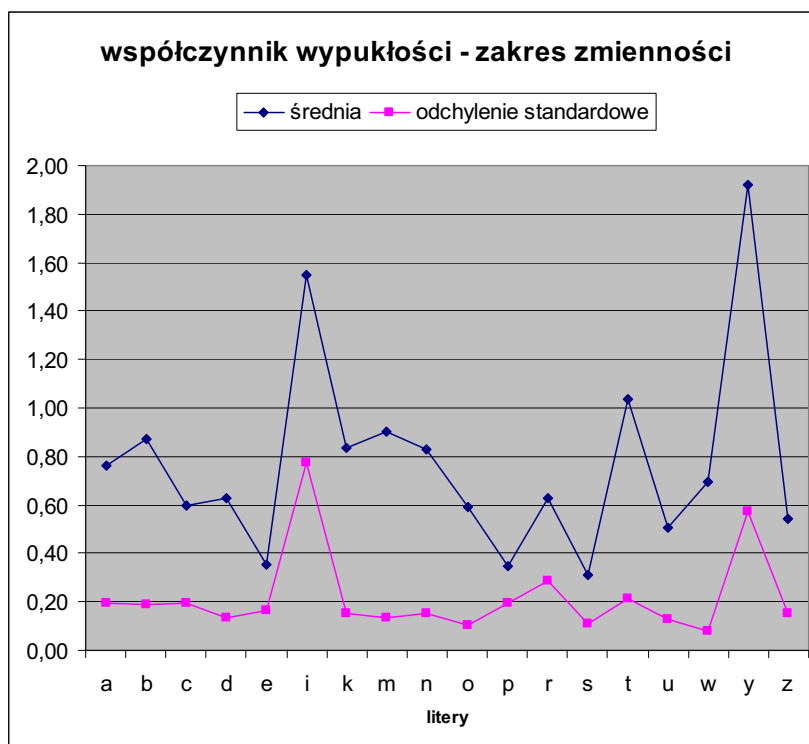
Rys. 29. Wykresy średnich wartości współczynnika wypukłości wybranych liter dla poszczególnych próbek pisma



Rys. 30. Wykresy średnich wartości odchylenia standardowego współczynnika wypukłości wybranych liter dla poszczególnych próbek pisma

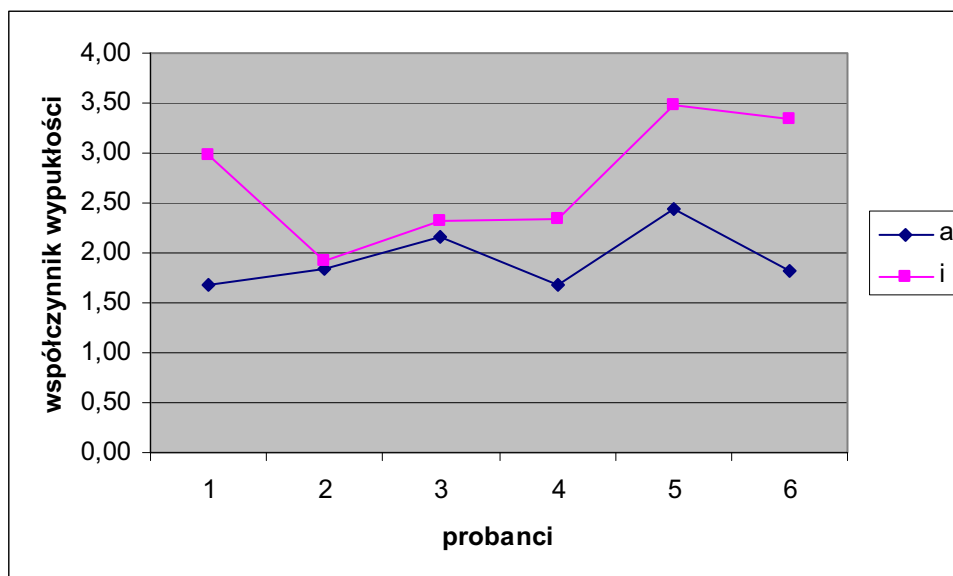
Wartość danej cechy zależy od zakresu zmienności tej cechy u badanych osób. Jeżeli jakaś cecha posiada większy zakres zmienności to można postawić hipotezę, że jest ona bardziej przydatna do celów identyfikacyjnych. Zakres zmienności (ang. *range of variable*) wybranej cechy pokazano na Rys. 31. Największy zakres zmienności wykazuje litera „y” (zarówno dla wartości średniej jak i odchylenia standardowego). Dzieje się tak ze względu na duży wpływ różnicujący elementu podlinijnego tej litery, który jest kształtowany w postaci łuku. Może on występować w różnych odmianach

typologicznych jak i mieć duży zakres zmienności wielkości. Dla przykładu Łuszczuk [61] wyróżnia ponad 50 form podlinijnych liter „f”, „g”, „j”, „p” i „y”.

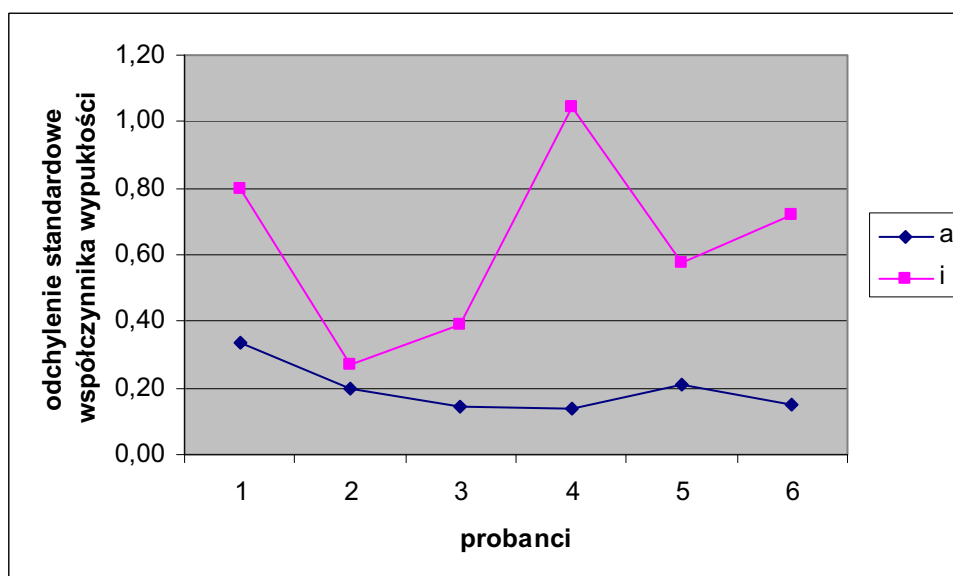


Rys. 31. Zakres zmienności średniej wartości współczynnika wypukłości i zakres zmienności odchylenia standardowego współczynnika wypukłości dla badanych probantów w przypadku wybranych liter

Zakres zmienności współczynnika wypukłości dla litery „i” jest większy (patrz **Tabela 12**) w porównaniu z przypadkiem dla innych liter (za wyjątkiem litery „y”) ze względu na element diakrytyczny tej litery. Element diakrytyczny litery „i” jest kreślony z reguły na kilka sposobów (kreski, kropki, itp.) oraz może znajdować się w różnych położeniach względem zasadniczej grammy litery „i”. Zarówno średnie wartości współczynnika wypukłości, jak i odchylenie standardowe tego współczynnika są z reguły większe od przeciętnej, patrz Rys. 32 i Rys. 33.



Rys. 32. Wykresy średnich wartości współczynników wypukłości liter „a” i „i” dla poszczególnych próbek pisma



Rys. 33. Wykresy średnich wartości odchylenia standardowego współczynników wypukłości liter „a” i „i” dla poszczególnych próbek pisma

Na podstawie wyników badań uzyskujemy następujące wnioski:

1. Współczynnik wypukłości okazuje się cechą dystynktywną.
2. Dobór algorytmu wyznaczania powłoki wypukłej jest istotny ze względu na wynik pomiaru.

Zbadanie zależności pomiędzy cechami jest interesującym problemem. W tabeli (Tabela 14) pokazano uzyskane współczynniki korelacji pomiędzy wartościami współczynnika wypukłości dla obrazów wybranych liter alfabetu.

Tabela 14. Współczynniki korelacji pomiędzy współzynnikiem wypukłości poszczególnych liter

a	1	0,76	0,81	0,85	0,55	0,08	0,19	0,56	0,35	-0,14	0,68	0,55	0,83	0,76	0,94	-0,31	-0,05	0,58	0,35	0,65	0,59	0,65	0,23
b	0,76	1	0,59	0,98	0,79	0,29	0,45	0,83	0,54	-0,25	0,81	0,68	0,99	0,92	0,78	0,11	-0,05	0,39	0,57	0,76	0,64	0,77	0,25
c	0,81	0,59	1	0,71	0,72	0,43	0,54	0,42	0,70	0,43	0,87	0,67	0,66	0,46	0,68	-0,22	0,42	0,93	0,57	0,43	0,88	0,84	0,74
d	0,85	0,98	0,71	1	0,79	0,25	0,43	0,81	0,60	-0,20	0,84	0,66	0,99	0,91	0,82	-0,06	-0,06	0,51	0,55	0,69	0,70	0,81	0,33
e	0,55	0,79	0,72	0,79	1	0,78	0,89	0,83	0,69	0,30	0,90	0,58	0,78	0,49	0,43	0,06	0,48	0,60	0,93	0,45	0,75	0,98	0,62
f	0,08	0,29	0,43	0,25	0,78	1	0,97	0,52	0,37	0,66	0,56	0,29	0,27	-0,10	-0,04	0,24	0,86	0,40	0,92	0,16	0,44	0,74	0,57
g	0,19	0,45	0,54	0,43	0,89	0,97	1	0,62	0,56	0,60	0,72	0,41	0,43	0,07	0,06	0,21	0,78	0,51	0,96	0,22	0,60	0,85	0,67
h	0,56	0,83	0,42	0,81	0,83	0,52	0,62	1	0,34	-0,21	0,62	0,25	0,82	0,60	0,43	-0,13	0,03	0,15	0,79	0,40	0,35	0,76	0,11
i	0,35	0,54	0,70	0,60	0,69	0,37	0,56	0,34	1	0,41	0,85	0,67	0,54	0,41	0,29	0,08	0,31	0,79	0,48	0,21	0,90	0,72	0,87
j	-0,14	-0,25	0,43	-0,20	0,30	0,66	0,60	-0,21	0,41	1	0,34	0,27	-0,23	-0,49	-0,24	0,17	0,92	0,63	0,42	-0,15	0,47	0,37	0,79
k	0,68	0,81	0,87	0,84	0,90	0,56	0,72	0,62	0,85	0,34	1	0,82	0,82	0,63	0,63	0,12	0,42	0,83	0,72	0,58	0,95	0,94	0,77
l	0,55	0,68	0,67	0,66	0,58	0,29	0,41	0,25	0,67	0,27	0,82	1	0,68	0,65	0,70	0,51	0,34	0,71	0,34	0,82	0,87	0,64	0,63
m	0,83	0,99	0,66	0,99	0,78	0,27	0,43	0,82	0,54	-0,23	0,82	0,68	1	0,92	0,83	0,03	-0,05	0,45	0,56	0,75	0,67	0,79	0,28
n	0,76	0,92	0,46	0,91	0,49	-0,10	0,07	0,60	0,41	-0,49	0,63	0,65	0,92	1	0,86	0,09	-0,36	0,28	0,19	0,78	0,52	0,50	0,06
o	0,94	0,78	0,68	0,82	0,43	-0,04	0,06	0,43	0,29	-0,24	0,63	0,70	0,83	0,86	1	-0,02	-0,12	0,49	0,18	0,84	0,58	0,53	0,15
p	-0,31	0,11	-0,22	-0,06	0,06	0,24	0,21	-0,13	0,08	0,17	0,12	0,51	0,03	0,09	-0,02	1	0,33	-0,06	0,04	0,50	0,17	0,01	0,13
r	-0,05	-0,05	0,42	-0,06	0,48	0,86	0,78	0,03	0,31	0,92	0,42	0,34	-0,05	-0,36	-0,12	0,33	1	0,54	0,63	0,08	0,45	0,51	0,69
s	0,58	0,39	0,93	0,51	0,60	0,40	0,51	0,15	0,79	0,63	0,83	0,71	0,45	0,28	0,49	-0,06	0,54	1	0,44	0,31	0,92	0,73	0,90
t	0,35	0,57	0,57	0,55	0,93	0,92	0,96	0,79	0,48	0,42	0,72	0,34	0,56	0,19	0,18	0,04	0,63	0,44	1	0,26	0,53	0,89	0,53
u	0,65	0,76	0,43	0,69	0,45	0,16	0,22	0,40	0,21	-0,15	0,58	0,82	0,75	0,78	0,84	0,50	0,08	0,31	0,26	1	0,52	0,49	0,12
w	0,59	0,64	0,88	0,70	0,75	0,44	0,60	0,35	0,90	0,47	0,95	0,87	0,67	0,52	0,58	0,17	0,45	0,92	0,53	0,52	1	0,82	0,88
y	0,65	0,77	0,84	0,81	0,98	0,74	0,85	0,76	0,72	0,37	0,94	0,64	0,79	0,50	0,53	0,01	0,51	0,73	0,89	0,49	0,82	1	0,69
z	0,23	0,25	0,74	0,33	0,62	0,57	0,67	0,11	0,87	0,79	0,77	0,63	0,28	0,06	0,15	0,13	0,69	0,90	0,53	0,12	0,88	0,69	1

Charakterystyczne jest to, że współczynniki wypukłości dla litery „p” słabo korelują się z odpowiednimi wartościami dla wszystkich pozostałych liter. Dotyczy to także liter, które we wzorcach elementarzowych są kreślone w podobny sposób do „p”, czyli liter: „b”, „d”. Stało się to ze względu na próbki liter 5. probanta, gdzie sposoby kreślenia tych liter się różnią (patrz Rys. 34). W tym przypadku trzon litery „p” kreślony jest w postaci pętlicy, inaczej niż trzon liter „b” i „d”. Wynika z tego wniosek, że dla badanego parametru silna korelacja lub jej brak nie musi wynikać z podobieństwa wzorców elementarzowych danych liter.

a)

b b b d d d p p p

b)

b b b o i d d d p p p

c)

b b b d d d p p p

d)

h h h d d d p p p

e)

s s s d d d p p p

f)

b b b d d d p p p

Rys. 34. Przykłady próbek liter „b”, „d” i „p” w kolejnych próbkach pisma: a)–f) próbki pisma odpowiednio dla 1–6 osoby

Można natomiast zaobserwować korelacje pomiędzy badanymi współczynnikami liter, które składają się w większości z tych samych gramm np.: dla liter „o” i „a” współczynnik ten wynosi 0,94 a dla „n” i „m” 0,92. Podobnie jest dla liter „b” i „d” (odpowiednio: 0,78 i 0,82). Natomiast dla zestawu „o” — „g” i „o” — „p” obserwujemy brak korelacji. Można to tłumaczyć większym wpływem elementów

podlinijnych niż nadlinijnych na kształt liter. Podobnie dla zestawu „l” — „t” korelacja jest słaba, co można tłumaczyć zakłócającym wpływem kreski diakrytycznej.

9.4. Podsumowanie

W tym rozdziale przybliżono różne parametry, które opisują pole pisma. Dokładnie przeanalizowano zaproponowany współczynnik wypukłości.

Okazało się przy tym, że nie jest obojętne jaki algorytm jest użyty do wyznaczania powłoki wypukłej. Dla przykładu algorytmy morfologiczne dają zawyżone wartości pola domknięcia wypukłego. Proponowany sposób wyznaczania powłoki wypukłej najlepiej przybliża domknięcie wypukłe. Taki sposób wyznaczania spełnia definicję powłoki wypukłej w przestrzeni dyskretnej.

Dystynktywną cechą okazuje się zarówno średnia wartość współczynnika wypukłości jak i wartości odchylenia standardowego owego współczynnika.

Współczynnik wypukłości pozwala nam także badać zależności pomiędzy wartościami tego parametru dla różnych liter.

Przewiduje się praktyczne zastosowanie współczynnika wypukłości szczególnie do badania prostych tworów graficznych typu: podpisy i parafy. W przypadku tak prostych tworów mamy do dyspozycji małą liczbę potencjalnych cech identyfikujących wykonawcę pisma. Korzyść może przynieść zastosowanie większej liczby parametrów.

10. Parametry związane z liniaturą

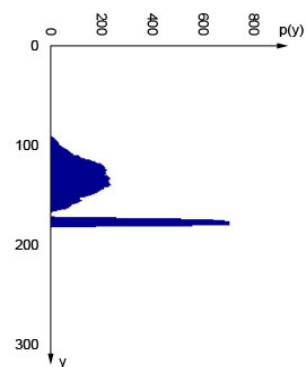
W tym rozdziale zostaną przedstawione wybrane parametry związane z położeniem pisma względem liniatury. Parametry te można odnieść do cech zamieszczonych w *Katalogu Graficznych Cech Pisma Ręcznego IES* w grupie cech topograficznych. W tej grupie spotykamy się z takimi cechami jak: układ znaków, wyrazów i wierszy względem liniatury.

Liniatura oznacza linie nadrukowane na podłożu w celu ułatwienia umiejscawiania tekstu. Z liniaturą spotykamy się w zeszytach do pisania, różnego rodzaju formularzy itp. Liniatura występuje najczęściej w postaci linii poziomych ułożonych równolegle do kierunku podstawy kartki w normalnej orientacji lub dodatkowo z prostopadłymi liniami, wtedy w postaci tzw. kratek.

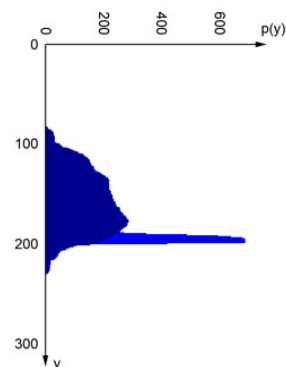
Wybrano najprostszą postać liniatury naniesionej na kartkę formatu A4 w układzie pionowym, liniowanej poziomymi kreskami w odległościach co 9 mm. W przypadku kartki kratkowanej poniższe rozważania zostają aktualne. W rzutach ortogonalnych do wartości rzutów dodaje się wtedy stałą wartość równą grubości liniatury pomnożonej przez liczbę linii. Wystarczy wtedy od wartości rzutów odjąć pewną stałą wartość aby uzyskać postać wykresów podobną do tej dla przypadku kartki niekratkowanej. Zakłada się, że pismo zostało naniesione w bliskim związku z położeniem liniatury. W przypadku (jak się okazało hipotetycznym w zebranych materiale badawczym) gdyby linia podstawowa pisma była położona pod dużym kątem nachylenia w stosunku do liniatury próbka taka była by odrzucona. W tym miejscu pominięto także omawianie algorytmów orientowania położenia i nachylenia kartki. Zestawienie literaturowe tych algorytmów znajdzie czytelnik w [12].

Do badań tych cech wykorzystano materiał z przygotowanego trzeciego zestawu badawczego. Wybrano próbki posegmentowanych binarnych obrazów wyrazów z liniaturą i obliczono rzuty poziome. Przykładowe obrazy pisma wraz z liniaturą i ich rzuty pokazano na Rys. 35. Możemy spotkać przypadek z Rys. 35 (a), kiedy obraz pisma znajduje się całkowicie ponad liniaturą. Wówczas mamy wyraźnie oddzielone fragmenty wartości rzutów dla pisma i dla liniatury. Natomiast w przykładzie z Rys. 35 (b) w rzucie mamy połączone fragmenty wykresów dla pisma i liniatury. Należy w tym przypadku wydzielić część wynikającą z obrazu liniatury.

a)



b)



Rys. 35. Przykłady rzutów poziomych wybranych wyrazów z liniaturą; y oznacza współrzędną punktów obrazu o wartościach dyskretnych y_i , $p(y)$ oznacza wartości rzutu poziomego obrazu

10.1. Wyznaczanie obszarów w rzucie

W praktycznym przypadku możemy mieć kilka (i) obszarów rozłącznych na wykresie rzutu poziomego. Każdy taki obszar można określić współrzędną położenia początku tego obszaru $y_{p,i}$ i współrzędną końca $y_{k,i}$. Za strefę środkową pisma ograniczoną wartościami y_p i y_k uznawany jest obszar najszerszy wyznaczany zgodnie z formułą (68).

$$(y_p, y_k) = (y_{p,i}, y_{k,i}) : (y_{p,i} - y_{k,i} + 1) = \max(y_{k,j} - y_{p,j} + 1), \quad j \in N. \quad (68)$$

Jako y_{\max} (lub $\{y_{\max}\}$) oznaczmy współrzędną (współrzędne) wartości największej w rzucie poziomym. W przypadku, kiedy $y_k < y_{\max}$ strefa śródlinia nie styka się z liniaturą. Do dalszej analizy bierzemy wtedy ciąg wartości: $p(y_p), \dots, p(y_k)$ o współrzędnych: y_p, \dots, y_k .

Natomiast w przypadku przeciwnym, kiedy $y_p < y_{\max} < y_k$ musimy wydzielić z wykresu rzutu część wnoszoną przez liniaturę. Podstawą algorytmu oddzielenia w rzucie poziomym strefy pisma od obszaru liniatury jest następująca obserwacja: rzut

poziomy w obszarze liniatury jest znacznie (czasem nawet kilkakrotnie) większy od wartości rzutów w pozostałych przypadkach. Ta duża wartość jest odcinana wartością progową (α). Przyjmuje się, że dla wartości $p(y) > \alpha$, $p(y)$ są interpolowane wartościami z sąsiedztwa odcinanego obszaru. Wartość α jest zależna od grubości linii pisma. W praktyce dobiera się ją jako 50% z wartości maksymalnej w rzucie poziomym. Opisując to w sposób formalny tworzymy następujący algorytm:

Algorytm wydzielenia strefy pisma od liniatury w rzucie

1. Wyznaczenie wartości maksymalnej w rzucie $p(y)$: *max*.
2. Obliczenie wartości progowej $\alpha = 0,5 \cdot \text{max}$.
3. Wyznaczenie przedziału wartości y dla których $p(y) > \alpha$: $\langle y_a, y_b \rangle$.
4. Wartości $p'(y_a) \dots p'(y_b)$ ¹ są interpolowane z wartości $p(y_{a-1}) \dots p(y_{b+1})$ według formuły (69):

$$p'(y_i) = \text{round} \left(p(y_{a-1}) + \frac{p(y_{b+1}) - p(y_{a-1})}{y_{b+1} - y_{a-1}} \cdot (y_i - y_{a-1}) \right) \quad (69)$$

gdzie: round oznacza funkcję zaokrąglania zgodną z zasadami matematycznymi,

y_i — kolejna rozpatrywana wartość odciętych.

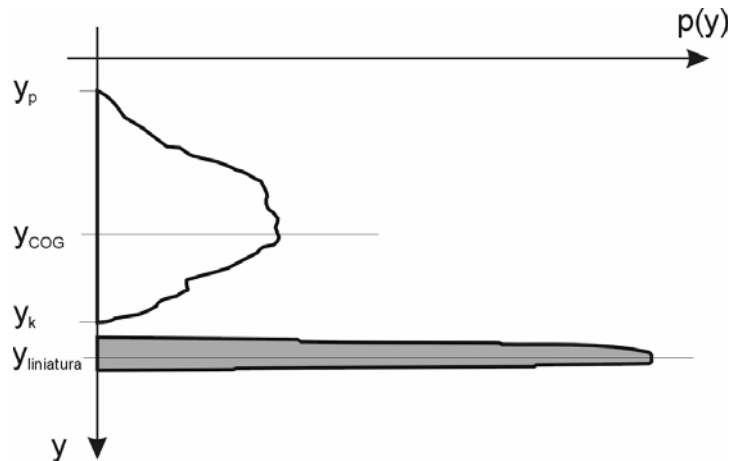
5. Uzyskuje się do analizy następujący ciąg wartości: $p(y_p), \dots, p(y_{a-1}), p'(y_a), \dots, p'(y_b), p(y_{b+1}), \dots, p(y_k)$ o współrzędnych: $y_p, \dots, y_{a-1}, y_a, \dots, y_b, y_{b+1}, \dots, y_k$.

10.2. Proponowane parametry

Sposób oznaczania elementów rzutu poziomego w odniesieniu do liniatury pokazano na Rys. 36.

Jako parametry opisujące położenie strefy pisma w odniesieniu do liniatury wybrano następujące cechy: odległość środka ciężkości obrazu rzutu poziomego od liniatury, szerokość rzutu poziomego, „masa” wartości rzutów na szerokości n -pikseli oraz współczynnik zmienności.

¹ Symbol prim dodano ze względu na to, że są to wartości interpolowane.



Rys. 36. Rzut poziomy obrazu pokazujący położenie środka ciężkości obszaru śródlinijnego względem liniatury oraz inne parametry

Odległość środka ciężkości od liniatury określona jest wzorem:

$$f_1 = y_{liniatura} - y_{COG} \quad (70)$$

Położenie liniatury wyznacza wartość maksymalna w rzucie poziomym:

$$y_{liniatura} = \{y : p(y) = \max(p(y_i)), i \in N\} \quad (71)$$

W przypadku kiedy istnieje m wartości maksymalnych w rzucie to wybierana jest wartość środkowa:

$$y_{liniatura} = \left\{ y_{\lfloor m/2 \rfloor} : (y_i)_{i=1}^m \text{ i } p(y_i) = \max(p(y)) \right\} \quad (72)$$

Szerokość pasma śródlinijnego w rzucie poziomym (f_2) określana jest zgodnie z formułą:

$$f_2 = y_k - y_p + 1 \quad (73)$$

gdzie: $y_p = \min\{y : p(y) > 0\}$, $y_k = \max\{y : p(y) > 0\}$.

„Masa” na szerokości n -pikseli powyżej liniatury (f_3) określana jest zgodnie ze wzorem (74). W badaniach przyjęto $n=20$ pikseli.

$$f_3 = \sum_{i=liniatura-n+1}^{liniatura} p(y_i) \quad (74)$$

W wersji znormalizowanej wzór przyjmuje postać:

$$f'_3 = \frac{\sum_{i=liniatura-n+1}^{liniatura} p(y_i)}{\sum_{i=p}^k p(y_i)} \quad (75)$$

Współczynnik zmienności (v, ang. *coefficient of variation*) wartości w rzucie poziomym określony jest według wzoru:

$$v = \frac{s}{\overline{p(y)}} \quad (76)$$

gdzie: s jest odchyleniem standardowym,
 $\overline{p(y)}$ jest wartością średnią (arytmetyczną) z próby.

Średnia arytmetyczna ($\overline{p(y)}$) wartości z liczb $p(y_p)$, $p(y_{p+1})$, $p(y_{p+2})$, ... $p(y_k)$ określona jest wzorem:

$$\overline{p(y)} = \frac{1}{k - p + 1} \sum_{i=p}^k p(y_i). \quad (77)$$

Odchylenie standardowe (ang. *standard deviation*) s jest określane jako pierwiastek kwadratowy z wariancji s^2 :

$$s = \sqrt{s^2}. \quad (78)$$

Wariancja (ang. *variance*) s^2 jest średnią arytmetyczną kwadratów odchyień poszczególnych wartości $p(y_i)$ od średniej arytmetycznej $\overline{p(y)}$ obliczana jest według wzoru:

$$s^2 = \frac{1}{k - p + 1} \sum_{i=p}^k (p(y_i) - \overline{p(y)})^2. \quad (79)$$

10.3. Podsumowanie

W tym rozdziale zaproponowano metody pomiaru kilku cech opisujących położenie pisma względem liniatury. W omawianej metodzie zastosowano rzuty poziome dokonane na zbinaryzowanych obrazach pisma. W poprzednich rozdziałach zakładano, że pismo zostało napisane na papierze nieliniowanym. Uwzględnianie liniatury, które jest wymagane w tym podejściu niesie ze sobą konieczność rozwiązania problemu segmentacji: oddzielenia obrazu liniatury w rzucie od obrazu pisma. Gdybyśmy z założenia dysponowali kolorowymi obrazami pisma to problem segmentacji można by rozwiązać w inny sposób, bazujący na odmienności kolorystycznej liniatury i materiału kryjącego.

W rozdziale dotyczącym identyfikacji pismoznawczej omówiono przydatność powyższych cech do celów klasyfikacyjnych.

11. Inne cechy

11.1. Szerokość linii pisma

Szerokość (grubość) linii pisma jest jedną z elementarnych cech charakteryzujących pismo ręczne. Informacja o tej wielkości może być przydatna w określaniu innych cech pisma. Może być zastosowana jako parametr w algorytmach pomiaru cech pisma.

Do automatycznego pomiaru grubości linii pisma wykorzystano analizę rozkładu histogramów długości ciągów 1-pikseli w obrazie binarnym reprezentujących obraz materiału kryjącego. Zliczamy długości ciągów 1-pikseli i budujemy na tej podstawie histogram rozkładu tych wartości.

Analizując obraz binarny w poziomie albo pionie mamy do czynienia z ciągami: 0, 1 np. 00001111100000. Można wyznaczać długości tych ciągów, które są wyrażone w pikselach obrazu:

$l_{x,i}$ — długość i -tego ciągu w x kolumnie obrazu

$l_{y,i}$ — długość i -tego ciągu w y wierszu obrazu

Wartości histogramu dla kierunku pionowego wyznaczamy według formuły:

$$h_x(m) = \sum_x \sum_i l_{x,i} : l_{x,i} = m \quad (80)$$

gdzie: m — kolejna wartość odciętej

natomiast wartości histogramu dla kierunku poziomego według formuły:

$$h_y(m) = \sum_y \sum_i l_{y,i} : l_{y,i} = m \quad (81)$$

Wartości te odkładamy na wykresie, gdzie na osi odciętych odkładamy długości ciągów a na osi rzędnych liczbę ciągów danej długości.

Właściwszym do obliczania szerokości linii pisma jest histogram długości ciągów dla kierunku poziomego ze względu na konstrukcję liter w łańskim piśmie ręcznym. W przypadku modelowym, czyli kiedy mamy do czynienia z pismem elementarnym, najczęściej fragmentów gram jest ułożonych prostopadle do podłoża. Grubość takiej gramy odpowiada grubości linii pisma. W całościowej liczbie ciągów 1-pikseli o danej długości odpowiadające im grubości linii pisma mają największy udział. W przypadku praktycznym pismo ręczne jest pochylone, co może powodować pewne różnice w wyznaczaniu tej wielkości. Wpływ ten jednak nie jest duży w przypadkach spotykanych wartości pochylenia pisma.

Wartość największa w wykresie takiego histogramu reprezentuje najczęściej spotykaną grubość linii pisma (porównaj Rys. 37). Szerokość linii pisma wyrażoną w pikselach wyznaczamy według formuły:

$$SL = m : h_y(m) = \max(h_y(i)), i \in N. \quad (82)$$

Następnie dokonujemy przeliczenia na stosowaną w praktyce pismoznawczej jednostkę, czyli milimetry.

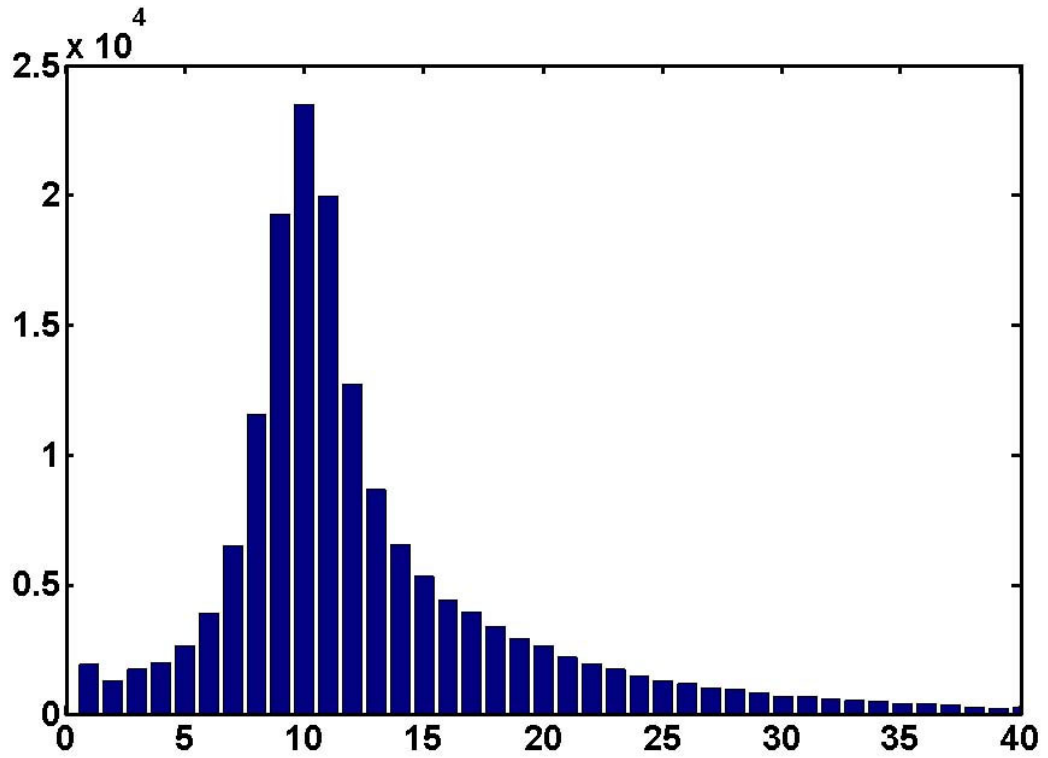
Obliczenia grubości linii pisma najlepiej dokonać dla całej próbki pisma jeśli chcemy uzyskać najbardziej uśrednioną wartość. Na potrzeby pomiarów na poziomie wierszy czy też wyrazów, obliczenia wykonywane są analogicznie.

Dokonano pomiaru wielkości grubości pisma dla rękopisów z zestawu badawczego numer 1. Wyniki pomiarów wyrażone w pikselach i w milimetrach pokazano w tabeli poniżej (**Tabela 15**).

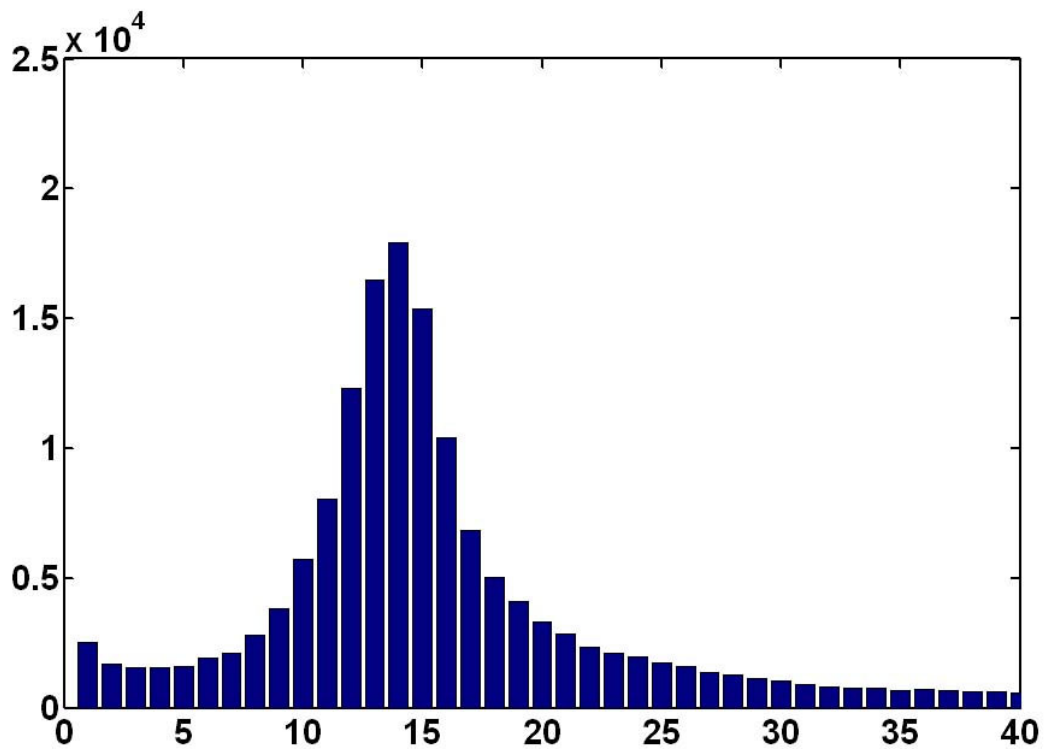
Tabela 15. Wartości szerokości linii pisma dla wybranych rękopisów

Wielkość	<i>SL</i>					
Próbka	1	2	3	4	5	6
piksele	10	14	11	12	10	9
mm	0,42	0,59	0,47	0,51	0,42	0,38

a)



b)



Rys. 37. Wykres histogramu liczby długości ciągów pikseli 0-1 (na wykresach pokazano tylko 40 pierwszych wartości odciętych)

11.2. Współczynnik integracji

W tym podrozdziale zaprezentowano algorytm pomiaru parametru aproksymującego jedną z cech charakteryzujących motorykę pisma [94]. W algorytmie tym wykorzystano wiedzę na temat parametru sterującego (szerokość linii pisma) zmierzonego zgodnie z opisem z podrozdziału poprzedniego.

Wyróżnianą cechą pisma ręcznego związaną z jego motoryką jest impuls pisma (*IM*, ang. *impulse*) [69]. W *Katalogu Graficznych Cech Pisma Ręcznego IES* umiejscowiony impuls pisma został wśród grupy cech motorycznych. Cecha ta związana jest z częstotliwością odrywania materiału pisarskiego od podłoża, co jest pewną miarą szybkości pisania. „Rozróżniamy impuls: *grammowy* (gdy dany znak jest zbudowany z kilku oddzielnych *gramm*), *literowy* (gdy dany znak jest zbudowany z jednej linii ciągłej), *syلابowy* (gdy dwa albo więcej znaków jest nakreślonych bez odrywania narzędzia pisarskiego od podłoża), *wyrazowy* (gdy całe wyrazy są nakreślone bez odrywania narzędzia pisarskiego od podłoża), *wielowyrazowy* (gdy dwa lub więcej wyrazów jest połączonych razem). Ponieważ najczęściej występuje kombinacja podstawowych rodzajów impulsu, w badaniach identyfikacyjnych określa się dominujący rodzaj impulsu. [107]” W tym przypadku mamy do czynienia z pomiarem na skali porządkowej trudnym do przeprowadzenia metodami obliczeniowymi.

Kolejną miarą będącą liczbowym odpowiednikiem impulsu jest współczynnik integracji pisma *WI*:

$$WI = \frac{w_G}{w_G + nw_G} \quad (83)$$

gdzie: w_G — liczba gramm związanych,
 nw_G — liczba gramm niewiązanych

oraz poziom integracji pisma *IN* [16]:

$$IN = \frac{w_G}{nw_G} \quad (84)$$

Suma gramm związanych (w_G) i niewiązanych (nw_G) równa się liczbie wszystkich gramm w danym tekście:

$$\overline{\mathcal{G}(B)} = w_G + nw_G \quad (85)$$

gdzie: $\overline{\mathcal{G}(B)}$ — moc zbioru wszystkich gramm w obrazie *B*.

Pomiaru w tym przypadku dokonujemy na skali ilorazowej. Współczynnik integracji pisma i poziom integracji pisma są łatwiej wyznaczalne metodami obliczeniowymi niż impuls pisma.

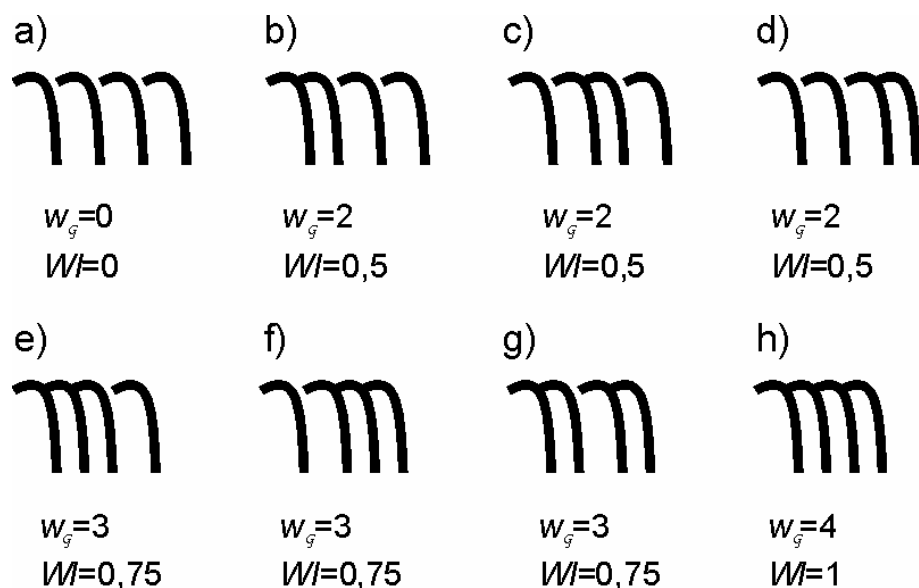
Ponieważ w literaturze nie definiuje się precyzyjnie pojęć: liczba gramm wiązanych i niewiązanych stosowanych w powyższych definicjach, dlatego należy je uściślić. W pracy [16] mówi się o „grammach powiązanych” i „grammach nie powiązanych, pozostających luźno”. Trudno zinterpretować pojęcie „pozostających luźno” może ono bowiem oznaczać, że dana gramma nie jest powiązana z żadną inną (w takim przypadku dla sytuacji z Rys. 38 (g) mielibyśmy $w=4$) jak i to, że nie jest wiązana z poprzednią lub następną grammatą (wtedy $w=2$).

W niniejszej pracy proponuje się natomiast wyjść od pojęcia połączenia pomiędzy grammami. Liczbę gramm wiązanych (w_G) uzależniamy od liczby połączeń (n_p), patrz formuła (86).

$$w_G=0 \text{ dla } n_p=0 \text{ i } w_G=n_p+1 \text{ dla } n_p>0 \quad (86)$$

Rozpatrzmy przykłady zestawu wiązań w układzie czterogrammowym (poligrammy) z Rys. 38. Liczba połączeń (n_p) przyjmuje wartość 0, kiedy żadna gramma nie jest wiązana z inną (Rys. 38 (a)). W pozostałych przypadkach liczba połączeń (n_p) jest z zakresu od 1 do liczby wszystkich gramm pomniejszonej o 1 ($\overline{G(B)}-1$).

Współczynnik integracji pisma przyjmuje wartości od 0 do 1. Im większa wartość tego współczynnika, tym wyższa integracja pisma.



Rys. 38. Przykłady wyznaczania wartości współczynnika integracji pisma wybranych układów poligramm

Obliczenie powyższych parametrów wymaga jednak dokonania segmentacji pisma na poszczególne grammy, co nie jest problemem łatwym. Dlatego można próbować znaleźć parametr przybliżający te wartości.

Dobłą aproksymacją współczynnika integracji pisma jest liczba obszarów spójnych *LOS* (ang. *number of connected regions*). Obszarem spójnym nazywamy taki podzbiór obrazu, którego dowolne dwa punkty da się połączyć ścieżką całkowicie zawartą w tym podzbiornie (Rys. 39).

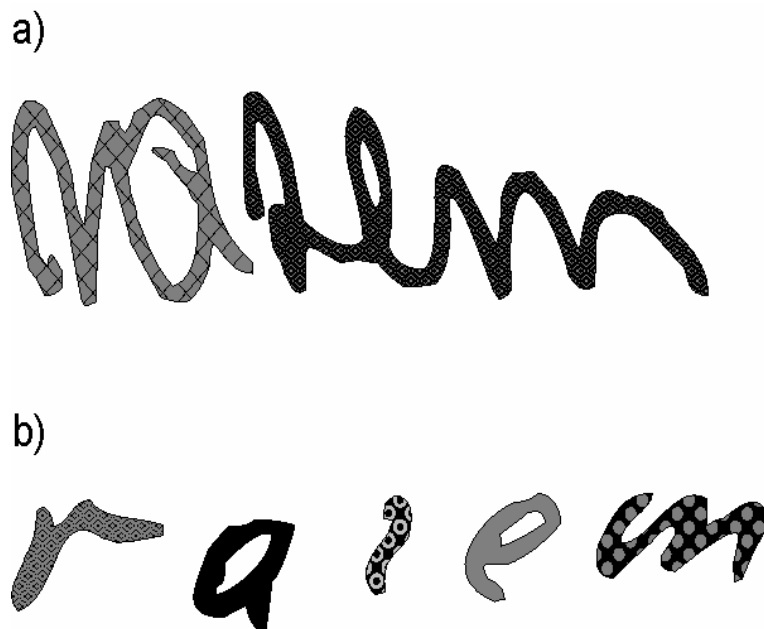


Rys. 39. Ilustracja obszaru spójnego

Oczywiście zastosowanie tego parametru ma sens tylko w przypadku obrazów tekstów tej samej treści. W takim przypadku mówimy o identyfikacji zależnej od treści tekstu (ang. *text-dependent*) w przeciwieństwie do identyfikacji niezależnej od treści tekstu (ang. *text-independent*) [99]. Badania porównawcze w oparciu o ten sam tekst (identyfikacja zależna od treści tekstu) są możliwe. Autorzy podręczników kryminalistyki zalecają, aby dyktowany tekst porównawczy był treściowo taki sam jak

tekst referencyjny (kwestionowany dokument), bądź co najmniej zawierał wiele takich samych wyrazów, zwrotów, kombinacji liter jak znalezionych w badanym dokumencie [98, s. 470]. Tak zebrany materiał badawczy da się więc badać proponowaną metodą.

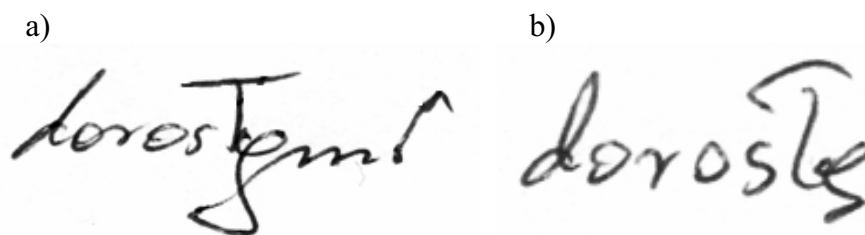
Gdy w danym wyrazie obszarów spójnych jest mniej, wówczas mamy do czynienia z większym współczynnikiem integracji pisma, natomiast jeśli w takim samym wyrazie obszarów spójnych jest więcej, to mamy do czynienia z mniejszym współczynnikiem integracji. Dwa przykłady poetykietowanych obrazów pokazano na Rys. 40 (poszczególne poetykietowane obszary zaznaczono różnymi wypełnieniami). W przypadku z Rys. 40 (a) mamy dwa obszary spójne, a z Rys. 40 (b) mamy pięć obszarów spójnych.



Rys. 40. Obrazy etykietowane służące do zliczenia elementów

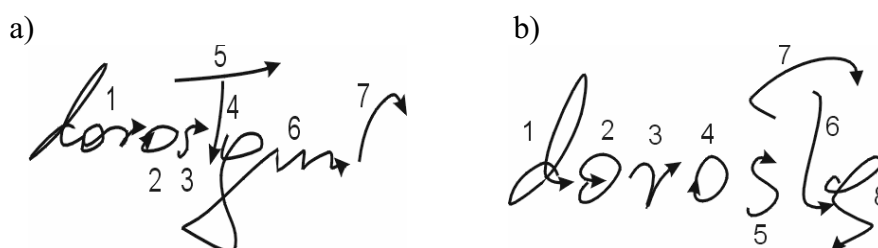
Przy przechodzeniu od ruchu pisarskiego do próbki pisma mamy oczywiście przekłamanie w torze informacyjnym. Może się zdarzyć, że na poziomie mikroskopowym ślad ruchu pisarskiego nie oddaje prawidłowo trajektorii ruchu pisarskiego. W praktycznych przypadkach możemy mieć do czynienia z zakłóceniami kilku rodzajów. Możemy się spotkać z nieciągłością linii pisma w przypadku kiedy ruch pisarski był ciągły. Linia śladu pisma może być przerywana. Możemy też mieć do czynienia z pozornym powiązaniem gramm wynikającym z nakładania się materiału kryjącego w przypadku, kiedy nie ma takiego powiązania w odpowiadającym ruchu pisarskim. Rozpatrzmy dwa przykłady wyrazów z próbki pisma (zestaw 1, próba nr 1,

linia, wiersz 15, wyraz 6: „dorosłymi” oraz w tym samym rękopisie wiersz 16, wyraz 11: „dorosłą”) (Rys. 41).



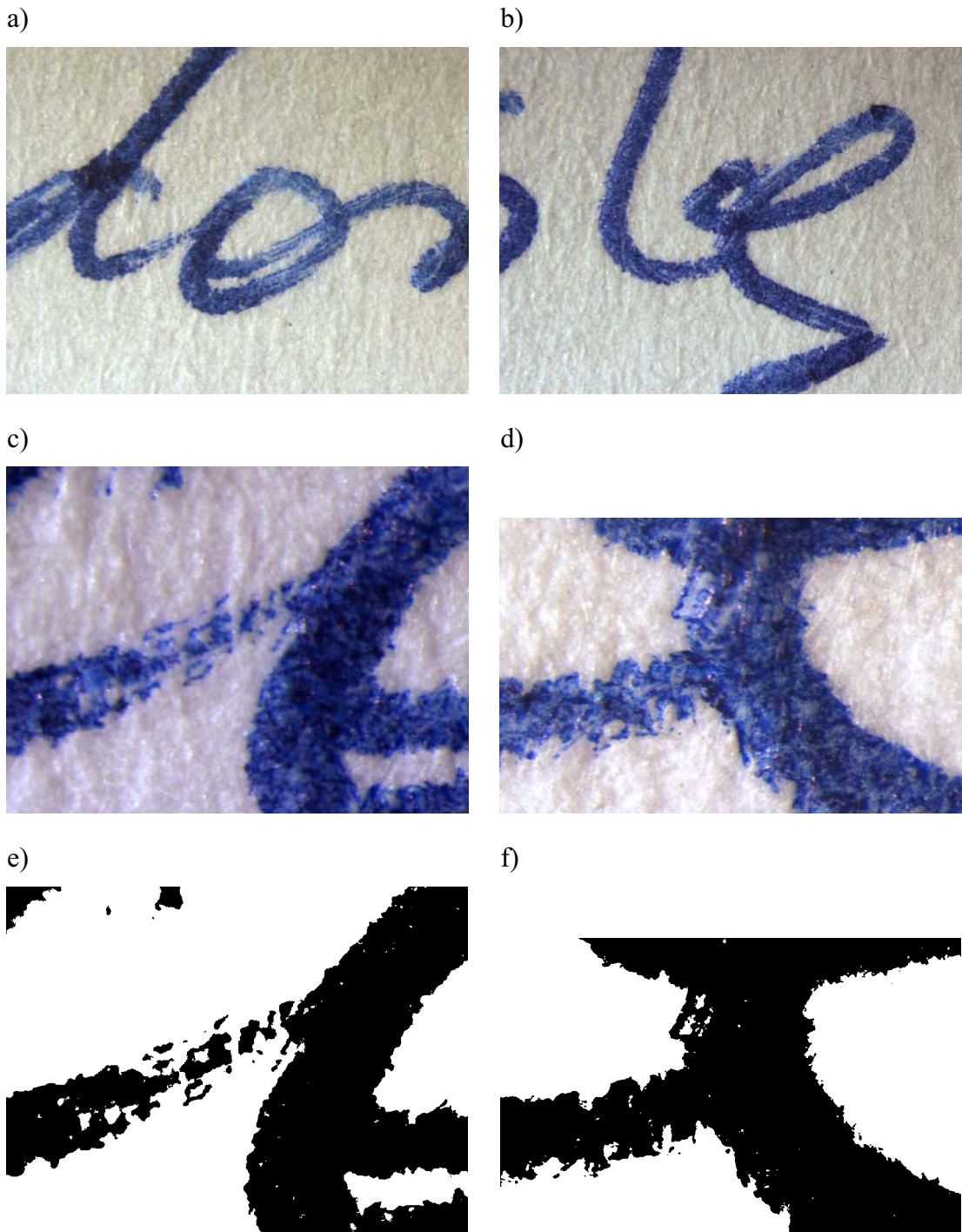
Rys. 41. Przykłady wyrazów

Trajektorię przebiegu linii pisma dla powyższych próbek pisma zrekonstruowano i przedstawiono na rysunkach poniżej (Rys.42).



Rys. 42. Trajektoria przebiegu linii pisma w przykładowych wyrazach. Liczby reprezentują domniemaną kolejność kreślenia gramm lub grup gramm

W przykładzie pierwszym (Rys. 42 (a)) mamy powiązanie pomiędzy grammami litery „d” i „o”. Jeśli zobaczymy obrazy pisma w dużym powiększeniu (Rys. 43), to można zaobserwować w jaki sposób materiał kryjący został naniesiony na podłoże. W przypadku z Rys. 43 (a), (c) i (e) linia pisma jest przerywana ze względu na właściwości materiału kryjącego i podłoża. W przypadku drugim (Rys. 42 (b)), Rys. 43 (b), (d) i (f)) mamy przypadkową zbieżność lokalizacji położenia materiału kryjącego. Teoretycznie nie ma w tym przypadku wiązania pomiędzy grammami liter „ł” i „ą”.



Rys. 43. Przykłady powiązania gramm; a), b) obrazy fragmentów wyrazów; c), d) obraz w dużym powiększeniu; e), f) obrazy zbinaryzowane

W rozumieniu teorii informacji taką sytuację określamy jako dezinformowanie [68, s. 141–152]. Akt pisania rozumiemy jako transformację informacji, gdzie jako oryginał możemy przyjąć trajektorię narzędzia pisarskiego, a obrazem przekształcenia (wynikiem transformacji) jest ślad materiału kryjącego.

Powyższe niejednoznaczności wymagają wyraźnego rozróżnienia samego aktu pisarskiego od śladu, jaki w wyniku procesu pisania zostaje na podłożu pisarskim.

Powyższe spostrzeżenia nasuwają następujący wniosek: należy przededefiniować pojęcia związane z miarą integracji pisma na potrzeby systemu obliczeniowego. Przy definiowaniu takich pojęć należy je odnieść do stosowanych obecnie w praktyce pismoznawczej miar integracji pisma.

Algorytm zliczania obszarów spójnych opiera się w części na algorytmie etykietowania obszarów spójnych omówionym w pracy [23, s. 40–48]. Algorytm ten w praktyce został zaimplementowany w Matlabie w postaci funkcji bibliotecznej *bwlabel*. Etykietowanie jest operacją przekształcenia obrazu binarnego B (Rys. 44 (a)) w reprezentację symboliczną w tzw. obraz etykietowany (Rys. 44 (c)) reprezentowany przez zbiór E . Etykietę punktu obrazu $B(x,y)$ oznaczono przez $E(x,y)$. Przez e_i oznaczmy wartość kolejnej etykiety. Początkowo zbiór E inicjalizujemy wartościami $e_1=1$ dla punktów w kolorze materiału kryjącego. W wyniku końcowym etykietowania, liczba obszarów spójnych jest równa numerowi największej etykiety: $e_{N_{ety}}$ (N_{ety} oznacza liczbę etykiet). W celu wyznaczenia powierzchni każdego z obszarów spójnych zliczamy liczbę punktów l_i z etykietą e_i według formuły (87).

$$\forall i: l_i = \sum_x \sum_y (E(x,y) = e_i) \quad (87)$$

Ze znalezionych obszarów spójnych odrzucane są te o małej powierzchni, nie przekraczającej pewnej progowej wartości powierzchni. Takimi elementami o małej powierzchni mogą być różne fragmenty kresek, które nie zostały usunięte w etapie przetwarzania wstępnego, nieciągłe fragmenty linii pisma itd. Próg (γ) jest uzależniony od szerokości linii pisma SL :

$$\gamma = SL^2 \quad (88)$$

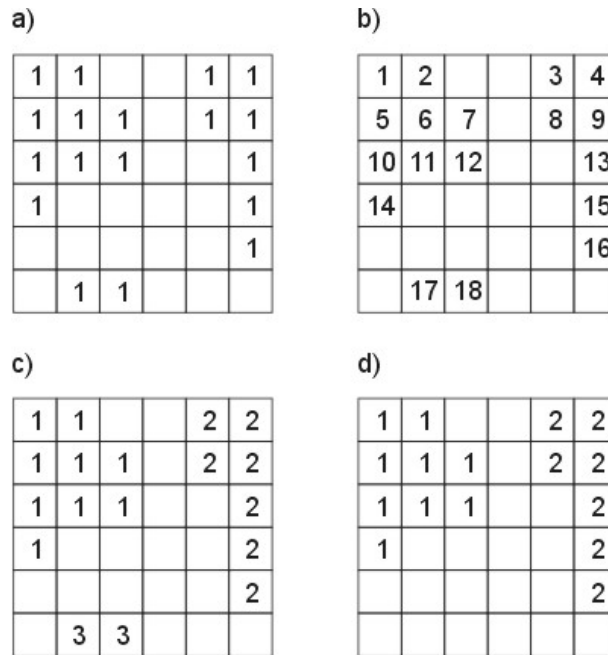
Jest to wartość zbliżona do powierzchni kropki. Ze zbiorów obszarów wybieramy tylko te o większej powierzchni od wartości progu γ . Liczba tych obszarów wyznacza LOS :

$$LOS = \overline{\{l_i > \gamma: i \in 1..N_{ety}\}} \quad (89)$$

Algorytm obliczania LOS

1. Zakodowanie kodów łańcuchowych obrazu pisma (Rys. 44 (b)).
2. Przegląd łańcuchów, oznaczanie wstępnych etykiet i zapis odpowiedników w *Lokalnej Tablicy Odpowiedników*.
3. Rozpatrzenie (rozłożenie, rozwiązanie) równoważnych klas.

4. Przeetykietowanie kodów łańcuchowych w oparciu o rozpatrzone klasy (Rys. 44 (c)).
5. Wybranie z obszarów poetykietowanych tych, które spełniają kryterium minimalnej powierzchni (Rys. 44 (d)).
6. LOS =liczba etykiet spełniających kryterium z punktu 5.



Rys. 44. Ilustracja kolejnych kroków algorytmu etykietowania obrazu: a) obraz binarny; b) obraz wstępnie poetykietowany; c) obraz z ostateczną postacią etykiet; d) etykiety obszarów, które spełniają wymóg minimalnej powierzchni

Przeprowadzono szereg eksperymentów, które wykazały związek pomiędzy współczynnikiem integracji pisma a liczbą obszarów spójnych. Przygotowano dwa zbiory badawcze: jeden testowy i jeden walidacyjny zawierający próbki pisma 8 osób. Każda próbka pisma składała się z $n=25$ posegmentowanych wyrazów. Dla każdego wyrazu człowiek zmierzył liczbę gramm wiązanych i niewiązanych. Na podstawie tego zostały obliczone współczynniki integracji pisma dla każdego z badanych wyrazów. Za pomocą opracowywanego algorytmu zmierzono automatycznie liczbę obszarów spójnych tych samych wyrazów. Policzone następnie średnie wartości współczynnika integracji pisma (\overline{WI}) patrz formuła (90) oraz odwrotność średnich wartości liczby obszarów spójnych ($1/\overline{LOS}$) patrz formuła (91). Zdecydowano się na obliczanie odwrotności LOS ponieważ wartości WI i LOS są wielkościami odwrotnie proporcjonalnymi. Jeśli mamy w wyrazie mniejszą liczbę obszarów spójnych świadczy

to o większej integracji pisma. Natomiast gdy obszarów spójnych jest więcej to mamy do czynienia z mniejszą integracją pisma.

$$\overline{WI} = \frac{\sum_{i=1}^n WI(B_i)}{n} \quad (90)$$

gdzie: $WI(B_i)$ — współczynnik integracji i -tego obrazu pisma B_i ,
 n — liczba rozpatrywanych obrazów pisma.

$$\frac{1}{\overline{LOS}} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n LOS(B_i)} \quad (91)$$

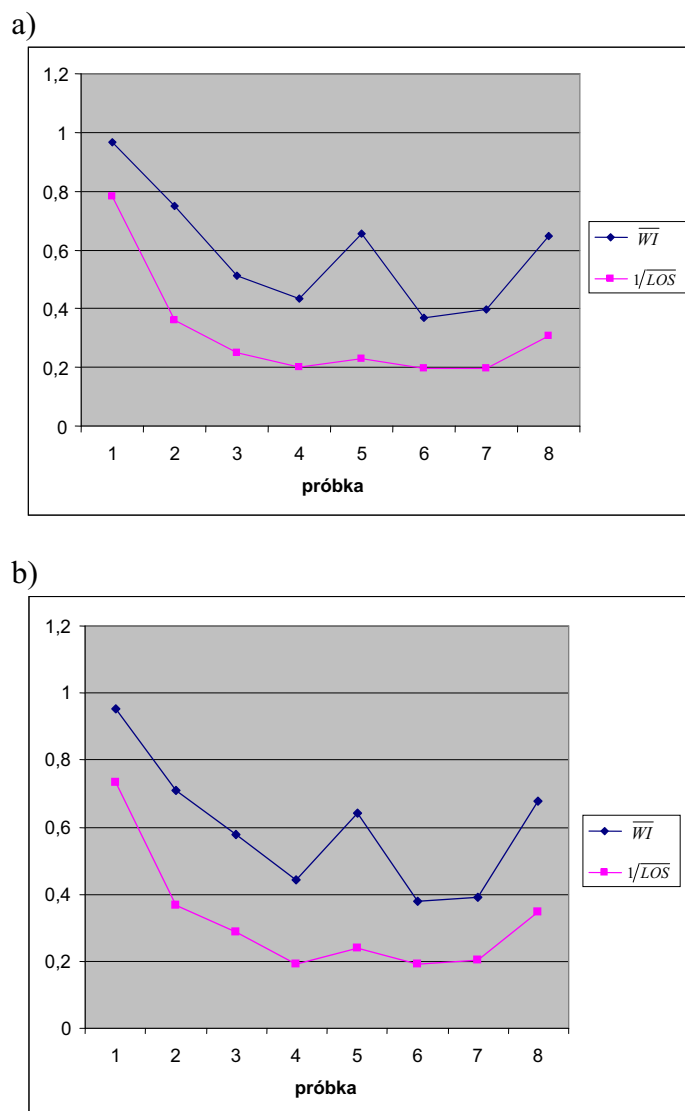
gdzie: $LOS(B_i)$ — liczba obszarów spójnych i -tego obrazu pisma B_i .

W tabeli poniżej pokazano uzyskane średnie wyniki pomiarów badanych cech pisma ręcznego.

Tabela 16. Średnie wartości współczynnika WI i odwrotności średnich wartości współczynnika LOS

Próbka	1	2	3	4	5	6	7	8
Zestaw badawczy	1							
\overline{WI}	0,97	0,75	0,51	0,44	0,65	0,37	0,40	0,65
$1/\overline{LOS}$	0,78	0,36	0,25	0,20	0,23	0,20	0,20	0,78
Zestaw badawczy	2							
\overline{WI}	0,95	0,71	0,58	0,44	0,64	0,38	0,39	0,68
$1/\overline{LOS}$	0,74	0,37	0,29	0,19	0,24	0,19	0,20	0,35

Na Rys. 45 przedstawiono wykresy tych dwóch parametrów dla zbioru testowego i walidacyjnego. W obu przypadkach widać podobne charakterystyki wartości poszczególnych parametrów. Kształt krzywej dla średnich wartości WI (\overline{WI}) i odwrotności średnich wartości LOS ($1/\overline{LOS}$) jest podobny. Można zaobserwować, że wartości \overline{WI} są około dwukrotnie większe niż wartości $1/\overline{LOS}$.



Rys. 45. Zestawienie średnich wartości współczynnika integracji pisma i odwrotności średnich wartości liczby obszarów spójnych dla dwóch grup próbek pisma: a) pierwsza próbka pisma; b) druga próbka pisma

Można więc zastosować wielkość LOS do określania współczynnika integracji pisma. Należy tu jednak zaznaczyć, że nie jest to miara tożsama z WI w rozumieniu definicji ze względu na to, że ograniczamy się do przypadku zależnego od treści tekstu jak i to, że nie zawsze jesteśmy w stanie odróżnić miejsc oderwania i ponownego przyłożenia narzędzia pisarskiego do podłoża, co zachodzi w obrazie zbinaryzowanym. Parametr związany z LOS jest w stanie uchwycić tylko te miejsca nieciągłości pisma w których miejsce oderwania narzędzia pisarskiego nie jest tożsame z miejscem inicjalizacji kolejnej grammy, czy też z obszarem dowolnego fragmentu innych gramm. W obrazie binarnym nie jesteśmy w stanie przeprowadzać subtelnych analiz odcieni koloru materiału kryjącego, które są np. śladami wznowienia ruchu pisarskiego.

11.3. Entropia

Kolejną cechą, zaczerpniętą z teorii informacji, jest entropia będąca stopniem nieuporządkowania. Jeśli dokonamy kwantyzacji obrazu na N_{kol} poziomów (odcieni szarości), wtedy prawdopodobieństwo wystąpienia w obrazie piksela o odcieniu szarości x_i jest określone jako $P(x_i)=n_i/M$ gdzie n_i oznacza liczbę pikseli o odcieniu szarości i a M jest całkowitą liczbą pikseli $M=n_1+n_2+ \dots +N_{kol}$. Wtedy entropię (E) definiujemy jako:

$$E = -\sum_{i=1}^{N_{kol}} (P(x_i) \cdot \log_2(P(x_i))) \quad (92)$$

Entropię można uważać za cechę bardzo syntetyczną.

Dokonano eksperymentu obliczając entropię dla 5 próbek rękopisów z zestawu nr 1. Badane próbki pisma były w postaci obrazów z 24 bitowymi odcieniami szarości. Uzyskane w wyniku eksperymentu wartości tej wielkości pokazano w tabeli poniżej (**Tabela 17**). Entropia zaproponowana w pracy [22] okazuje się cechą mało dystynktywną. W związku z tym trudno w praktycznych badaniach uwzględniać tę cechę. Poza tym bardzo trudno weryfikować zależność tej cechy z jakąkolwiek mierzoną cechą przez pismoznawców.

Tabela 17. Wartości entropii dla próbek pisma różnych wykonawców (w skali liniowej i logarytmicznej)

Nr próbki	E	$\ln(E)$
1	0,0386	-3,25
2	0,0404	-3,21
3	0,0379	-3,27
4	0,0387	-3,25
5	0,0366	-3,31

Można zaobserwować, że cecha ta nie pozwala nam na skali logarytmicznej odróżnić próbki 1 i 4. W pozostałych przypadkach zarówno na skali liniowej jak i logarytmicznej zróżnicowanie wartości tej cechy jest na tyle małe, że trudno uznać istotność tych różnic. Powoduje to, że w praktyce przydatność tej cechy jest wątpliwa.

Poza małą dystynktywnością tej cechy można wywnioskować silną zależność wartości tego parametru od treści zapiski i wielkości tła, co z kolei jest związane z topografią pisma. Ponadto występuje tu duża zależność od materiału pisarskiego. Ogranicza to stosowanie tego parametru w praktycznych badaniach pismoznawczych.

11.4.Podsumowanie

W tym rozdziale zaprezentowano metody pomiaru pozostałych cech, które nie umieszczono w poprzednich rozdziałach, ze względu na to, że należą one do innych grup.

Na wstępie opracowano algorytm pomiaru szerokości linii pisma, którą następnie użyto jako parametr sterujący kolejnego opracowywanego algorytmu (obliczania *Liczy Obszarów Spójnych*).

W kolejnym podrozdziale zaprezentowano obliczeniową metodę pomiaru parametru aproksymującego (przybliżającego) jedną z wybranych cech motorycznych pisma ręcznego. Wychodząc od pojęcia impulsu pisma dochodzimy do pojęcia współczynnika integracji pisma. Współczynnik ten stanowi jedną z mierzonych cech w pismoznawstwie współczesnym. Na potrzeby systemu obliczeniowego opracowano metodę pomiaru parametru aproksymujący tę wielkość. Zaproponowano parametr zwany *Liczbą Obszarów Spójnych* do pomiaru motoryki pisma w przypadku próbek zależnych od tekstu w systemach off-line identyfikujących wykonawcę pisma. Zastosowanie nowego parametru nadaje się do określania motoryki pisma. Jest to cecha aproksymująca współczynnik integracji pisma. Można stosować tenże parametr na potrzeby klasycznej identyfikacji (dokonywanej przez człowieka) jak i do pomiaru tejże cechy na potrzeby systemu ekspertowego automatycznej analizy pismoznawczej.

Jako przykład cechy bardzo syntetycznej wybrano proponowaną w literaturze Entropię. Badania wykazały jednak małą dystynktywność tej cechy, czyli małą wartość identyfikacyjną.

12. Proces identyfikacji pismoznawczej

Identyfikacja wykonawcy pisma ręcznego jest procedurą przypisującą dany rękopis do konkretnego wykonawcy. W praktyce różni się dwa podejścia: identyfikacja pisarza (ang. *writer identification*) i weryfikacja pisarza (ang. *writer verification*). Precyzyjniej należałoby powiedzieć: identyfikacja i weryfikacja wykonawcy pisma (w przeciwieństwie do identyfikacji i weryfikacji autora pisma ²). Pierwsze zadanie sprowadza się do określenia wykonawcy pisma na podstawie próbki pisma wybranej ze zbioru próbek pisma wielu autorów. Zadanie weryfikacji pisarza polega na określeniu, czy dany rękopis został, czy też nie został wykonany przez określoną osobę [88].

Najczęściej istnieje zależność pomiędzy systemami do identyfikacji jak i weryfikacji pisma. Systemy identyfikujące wyszukują w dużych bazach danych informacji o możliwych wykonawcach badanego rękopisu. W wykonaniu kwerendy na wielu tysiącach danych szybkość takich systemów jest niewątpliwym ich atutem. Dalsze dokładniejsze badania potwierdzające wykonują eksperci pisma lub stosowane są systemy do weryfikacji wykonawcy pisma. Etap ten jest trudniejszy i wymaga wnikliwszych badań porównawczych np. precyzyjnej analizy porównawczej kształtów wybranych liter. Dokonuje się tego często nie na podstawie danych globalnych a jedynie na podstawie informacji lokalnych często na bardzo dużym poziomie subtelności pisma.

Pismoznawstwo kryminalistyczne do którego niniejsza praca się odnosi, definiuje identyfikację jako utożsamienie kogoś z kimś lub czegoś z czymś. Identyfikacja ze względu na cel badań rozumiana jest jako proces utożsamiania lub nie pomiędzy zbiorami cech badanej pary obiektów: kwestionowanego i porównawczego [107]. Identyfikacji wykonawcy pisma możemy dokonywać na różnym zakresie przybliżeń. Mówimy o identyfikacji: szerokogrupowej, grupowej, wąskogrupowej oraz identyfikacji indywidualnej, kiedy mamy już do czynienia z przypadkami jednostkowymi. Węższy zakres identyfikacji w sposób oczywisty wymaga objęcia badaniem większej liczby cech.

Identyfikacja jest zagadnieniem związanym z rozpoznawaniem obiektów (obrazów), w naszym wypadku obrazów pisma ręcznego. Zagadnienie rozpoznawania obrazów jest omówione w monografii [112]. Rozpoznawanie rozumiemy jako proces

² Autor pisma jest twórcą treści pisma i nie zawsze musi być tą samą osobą co wykonawca.

przetwarzania informacji wejściowej, selekcji cech, analizy i klasyfikacji dający w efekcie przyporządkowanie obrazom odpowiednich wykonawców pisma. Częścią decyzyjną procesu rozpoznawania jest proces klasyfikacji, czyli przyporządkowania rozpoznawanym obiektom odpowiedniego symbolu klasy do której należy dany obiekt. Przyjmijmy, że mamy do czynienia z M klasami, które możemy oznaczyć poprzez ponumerowanie kolejnymi liczbami naturalnymi: 1, 2, ..., M . W przypadku identyfikacji pismoznawczej poprzez klasę obiektu rozumiemy konkretnego wykonawcę danego rękopisu.

Istnieje wiele algorytmów klasyfikacji, które są obecnie wykorzystywane. Wśród nich są stosowane algorytmy statystyczne: parametryczne jak i nieparametryczne [57]. Wśród nieparametrycznych (heurystycznych) algorytmów powszechnie stosowane są: algorytm k -najbliższych sąsiadów oraz algorytm najbliższa średnia. Ponadto powszechnie stosowane są algorytmy neuronowe [64][73][74] rozmyte i genetyczne [97][117] itp.

W przeciwieństwie do identyfikacji tożsamej z rozpoznawaniem, sztuczna inteligencja rozumie identyfikację także jako proces określania charakterystyki problemu do rozwiązania [71, s. 109]. Identyfikacja jest rozumiana jako „wynik celowego działania polegającego na utożsamianiu układu z innym wcześniej już poznanym. Identyfikacja (...) służy do głębszego zrozumienia istoty układu i przedstawienia odpowiedniego modelu formalnego” [44]. W tym przypadku buduje się model matematyczny rozpatrywanego obiektu. Praktyczną dyscypliną związaną z omawianymi zagadnieniami jest identyfikacja systemów (ang. *system identification*), która służy do stworzenia modeli dynamicznych służących do opisu danych pomiarowych.

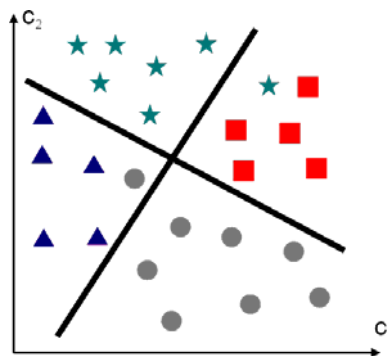
W praktyce pismoznawczej zadanie identyfikacji może sprowadzać się do wyboru rozpatrywanych cech pisma ręcznego, opisu matematycznego owych cech w celu algorytmizacji ich pomiaru. Wtedy wyznaczamy liczbę wszystkich cech opisujących obiekt (D) do danego zadania rozpoznawania. Interesują nas wszystkie cechy sensownie opisujące pismo na potrzeby identyfikacji pismoznawczej.

12.1. Klasyfikacja

Klasyfikacja (ang. *classification*) jest procedurą przyporządkowującą rozpoznawanemu obrazowi (obiektowi) pewnego symbolu (numeru) klasy [57]. Klasa jest podzbiorem

obiektów do którego są przyporządkowane obiekty według kryterium posiadania wspólnych cech.

Przeanalizujmy przykład, w którym obraz pisma ręcznego możemy opisać dwiema wybranymi cechami w postaci dwuwymiarowego wektora cech $c=(c_1, c_2)$. Przestrzeń tak określonych cech można przedstawić na płaszczyźnie we współrzędnych kartezjańskich c_1, c_2 . Na Rys.46 przedstawiono cztery klasy wykonawców pisma odpowiadające czterem wykonawcom pisma, oznaczone graficznie jako „koła”, „kwadraty”, „trójkąty” i „gwiazdki”.



Rys. 46. Przykład klasyfikacji obrazów do 4 klas

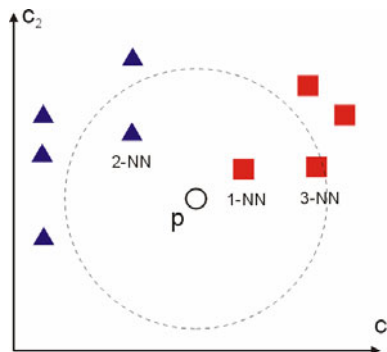
Linie proste rozdzielające dzielą przestrzeń parametrów na cztery rozłączne obszary. Poszczególne instancje „kół”, „kwadratów”, „trójkątów” i „gwiazdek” oznaczają różne wersje takich samych rękopisów, wyrazów czy liter wytworzone przez poszczególnych wykonawców pisma. Można stwierdzić, że nie wszystkie punkty w prezentowanym przykładzie zostały poprawnie zaklasyfikowane np.: jedna realizacja „kółek” została niewłaściwie zaklasyfikowana do klasy „trójkątów”, co jest źródłem błędów. Aby usunąć ten zaistniały błąd należy dodać kolejne cechy, które mogą różnicować poszczególnych wykonawców pisma. Będziemy wtedy mieli do czynienia z przestrzenią trój- lub więcej wymiarową. W związku z tym mówimy o przestrzeni d-wymiarowej (gdzie d oznacza liczbę rozpatrywanych cech w procesie klasyfikacji). W praktyce uwzględnia się dziesiątki czy setki cech, ponieważ trzeba wydać jak najbardziej wiarygodną ekspertyzę odnośnie rzeczywistych zbiorów pisma, w którym analizujemy rękopisy wielu osób. W dużym zbiorze rękopisów możemy mieć na przykład do czynienia z przypadkowym podobieństwem grafizmów [114][115].

12.2. Metoda k-NN

Jedną z najefektywniejszych metod klasyfikacji, aczkolwiek już klasyczną, jest nieparametryczna reguła decyzyjna zwana metodą k-najbliższych sąsiadów (ang. *k-Nearest Neighbours*, k-NN). Klasyfikacja za pomocą klasyfikatora k-NN przebiega według poniższego algorytmu.

Algorytm klasyfikacji metodą k-NN

1. Wyznaczenie odległości między klasyfikowanym obiektem, a obiektami zestawu uczącego.
2. Uporządkowanie uzyskanych ciągów odległości w ciąg niemalejący.
3. Wybranie k pierwszych elementów z ciągu uczącego odpowiadających k pierwszym odległościom.
4. Wartością funkcji klasyfikującej jest klasa (lub indeks klasy) obiektów z zestawu uczącego, która jest reprezentowana najliczniej w wybranym k-elementowym podciągu.
5. W przypadku gdy żaden podciąg nie jest najliczniejszy, to za klasę klasyfikującą przyjmuje się pierwszy wyraz tego ciągu.



Rys. 47. Przykład klasyfikacji punktu p dla metody 3-NN

Liczbę k dobiera się eksperymentalnie, tak aby prawdopodobieństwo błędnej klasyfikacji było jak najmniejsze. Przykład klasyfikacji metodą k-NN dla k=3 zilustrowano na Rys. 47. W tym przykładzie punkt p zostanie zaklasyfikowany do klasy „prostokątów”.

W przeprowadzonych badaniach dobrano eksperymentalnie k=1.

Prawdopodobieństwo błędnej klasyfikacji określa się przez użycie zbioru testowego. Stosunek liczby błędnie sklasyfikowanych punktów do liczebności całego zbioru testowego estymuje prawdopodobieństwo błędnej decyzji w rozpoznawaniu:

$$\varepsilon_c = \frac{n}{T} \quad (93)$$

gdzie: n — liczba błędnie zaklasyfikowanych próbek,
 T — liczba elementów zbioru testowego.

W celach identyfikacyjnych, jako rozpatrywane, wybrano dziewięć następujących cech:

- 1) odległość środka ciężkości obszaru śródliniowego od liniatury (f_1),
- 2) szerokość obszaru śródliniowego (f_2),
- 3) współczynnik zmienności wartości w rzucie poziomym (v),
- 4) „masa” obszaru śródliniowego w rzucie poziomym na odległości 20 pikseli od liniatury (f_3),
- 5) szerokość rzutu pionowego obrazu wyrazów ($F_x, p(x)$),
- 6) współczynnik wypukłości dla litery „m” w wyrazach (r'_{conv}),
- 7) współczynnik proporcji szerokości i wysokości litery „m” (r'_F),
- 8) współczynnik proporcji szerokości i wysokości wyrazów (r'_F),
- 9) liczba obszarów spójnych (LOS).

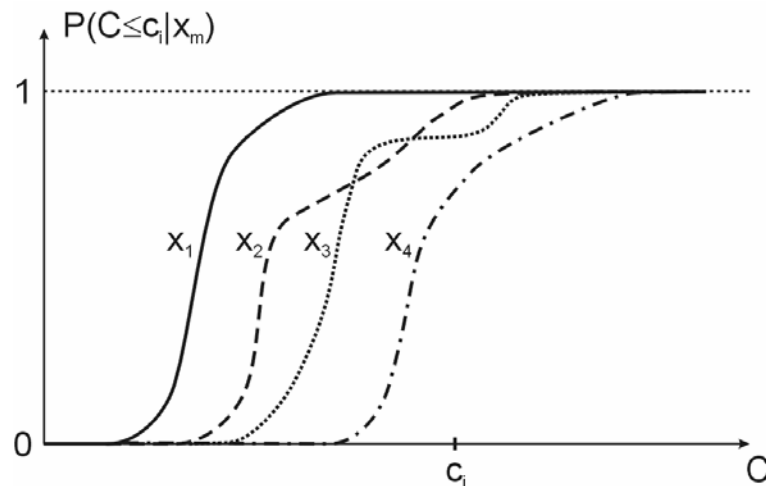
Jako kryterium wyboru powyższych cech kierowano się zamiarem sprawdzenia stosowalności w klasyfikacji rozpatrywanych cech. Wybrano wszystkie cechy, których metody pomiaru opracowywano w niniejszych badaniach a które można mierzyć w kontekście zebranego materiału badawczego.

12.3. Selekcja cech

Istotnym problemem pozostaje ocena przydatności rozpatrywanych cech klasyfikowanego obiektu. Należy dokonać selekcji cech na te o większej i mniejszej przydatności do zadania klasyfikacji. W tym celu tworzy się ranking dystynktywności cech. Jako kryterium wyznaczenia rankingu cech wybrano miarę Kołmogorowa. Szczegółowo zastosowanie miary Kołmogorowa do selekcji cech omówiono w pracy [108]. Miarę Kołmogorowa K możemy określić zgodnie ze wzorem (94).

$$K = \frac{M-1}{M^2} \sum_{m=1}^M \sum_{c \in C} \left| P(c|x_m) - \frac{1}{M-1} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq m}}^M P(c|x_j) \right| \quad (94)$$

gdzie: M — liczba klas obiektów (tutaj: liczba wykonawców pisma),
 m — numer klasy,
 C — zmienna losowa opisująca rozkład statystyczny cech c ,
 $P(c|x_i)$ dla $i = 1, 2, \dots, M$ — prawdopodobieństwo warunkowe przynależności danego obiektu opisanego wektorem cech c do poszczególnych klas x_i .



Rys. 48. Przykładowe rozkłady warunkowe zmiennych losowych cech dla czterech klas obiektów x_m (od x_1 do x_4)

W celu obliczenia miary Kołmogorowa badamy właściwości statystyczne cech c opisywanych zmiennymi losowymi C . Na rysunku powyżej (Rys.48) pokazano przykładowe rozkłady cech dla czterech klas. Analiza tych rozkładów daje nam informacje o dystynktywności danej cechy c . Im większe zróżnicowanie tych rozkładów tym lepszy opis właściwości obiektów, czyli wyższa wartość informatywna cech opisujących obiekty. Jest to także oznaka silniejszych powiązań statystycznych klas (odpowiadającym wykonawcom pisma) z opisującymi obiekty cechami [108, s. 72].

Miara Kołmogorowa posiada następujące własności:

1. miara nie przyjmuje wartości ujemnych;
2. wartość zero osiąga wówczas, gdy klasy i cechy są statystycznie niezależne;
3. we wszystkich innych przypadkach niż w przypadku 2. wartości miary są dodatnie;
4. wartość największą osiąga wówczas, gdy dla dowolnego spośród dopuszczalnych c istnieje taka klasa której prawdopodobieństwo występowania równa się 1, a wartości prawdopodobieństw warunkowych pozostałych klas są równe zero.

Selekcja cech oparta na mierze Kołmogorowa nie jest wyborem optymalnym, ale zwalnia nas od uciążliwej analizy wszystkich możliwości. Selekcję taką określamy jako suboptymalną pozwalającą jednak w przypadkach praktycznych minimalizować średnie prawdopodobieństwo błędu klasyfikowania obiektów. Przegląd wszystkich możliwości wyboru cech uwzględnianych w analizie pismoznawczej w sytuacjach

praktycznych nie jest możliwy. Wymagałby on przeanalizowania kombinacji podzbiorów których liczbę obliczamy zgodnie z formułą (95).

$$\binom{D}{d} = \frac{D!}{d!(D-d)!} \quad (95)$$

gdzie: d — liczba rozpatrywanych cech,
 D — liczba wszystkich cech którymi opisujemy obiekt.

Wszystkich możliwych uwzględnianych cech może być kilkadziesiąt czy też kilkaset (jeśli spojrzymy do *Katalogu Graficznych Cech Pisma Ręcznego IES* w pierwszym przybliżeniu jest ich ok. 75) albo nawet tysiące (jeśli dodatkowo uwzględni się np. katalogi cech konstrukcyjnych poszczególnych liter). Wiadomo jednakże, że te katalogi nie muszą wcale być kompletne co sprowadzałoby liczbę możliwych cech nawet do wielu tysięcy potencjalnie rozważanych cech. Oczywiście uwzględnienie wszystkich cech nie jest w praktyce pożądane, potrzebne czy też możliwe np. z powodu takiego, że pewnych cech nie znajdziemy w każdym rękopisie. Z kolei uwzględnianie wielu setek czy tysięcy cech jest dla komputera jak i człowieka zadaniem niewykonalnym. Uwzględnianie dużej liczby cech może też być nieprzydatne w przypadku identyfikacji szerokogrupowej.

Do wyznaczenia rankingu cech wykorzystano zbiór uczący. Obliczono miarę Kołmogorowa dla zestawu cech próbek pisma z tego zbioru. Uzyskano następujący ranking cech: 1, 8, 3, 2, 6, 5, 7, 4, 9. Pierwsza pozycja oznacza cechę najlepszą do zadania klasyfikacji, natomiast ostatnia cechę potencjalnie najgorzej nadającą się do klasyfikacji. Cechą najlepszą w badanym przypadku okazała się odległość środka ciężkości obszaru śródlinijnego od liniatury. Najgorszą zaś liczba obszarów spójnych, gdyż w badanym przypadku jeśli obliczamy liczbę takich obszarów w wyrazach to mamy mały zakres zmienności wartości tej cechy (w rozpatrywanych przypadkach najczęściej mamy do czynienia tylko z kilkoma obszarami spójnymi).

12.4. Wyniki klasyfikacji

Przeprowadzono eksperymenty mające na celu sprawdzenie efektywności rozpoznawania na praktycznym przykładzie w oparciu o analizowane cechy.

Przygotowano następujący materiał treningowy i testowy: 28 zestawów próbek pisma spośród rękopisów po 6 osób. Próbką pisma każdej z osób składa się z 25 wyrazów należących do klasy wyrazów śródlinijnych: po 5 instancji wyrazów: „czasem”, „czemu”, „mama”, „numer”, „razem”. Wartości błędów klasyfikacji dla 7

z zestawów pisma zaprezentowano w tabeli poniżej (**Tabela 18**). Podano tam wyniki klasyfikacji dla różnej liczby i konfiguracji cech. Dla przykładu zapis 1-2-3-4-5 oznacza, że do klasyfikacji użyto pięciu cech oznaczonych (na stronie 111) numerami: 1, 2, 3, 4 i 5. Kolejność reprezentacji cech w następnym tabeli odzwierciedla dodatkowo wagę cech w ich rankingu według miary Kołmogorowa.

Jak można zauważyć średni błąd rozpoznawania sięga kilkunastu procent. Dla analizowanego przypadku relatywnie mały błąd rozpoznawania daje już zastosowanie sześciu cech pisma ręcznego. Rozpatrywanie kolejnych cech często nie daje znacznej poprawy rozpoznawania, a w niektórych przypadkach nawet pogarsza jego wynik w przypadku zastosowania większej liczby cech, np., dla zestawów próbek: 4, 6.

Tabela 18. Wartości błędów rozpoznawania w metodzie k-NN dla próbek po 25 wyrazów w przypadku losowego doboru cech

Wielkość	ϵ_c					
	Zestaw cech	1-2	1-2-3-4-5	1-2-3-4-5-6	1-2-3-4-5-6-7	1-2-3-4-5-6-7-8-9
Skala		%	%	%	%	%
Zestaw próbek						
1		39,3	26,7	22,0	20,0	18,0
2		44,0	22,7	18,0	17,3	14,7
3		41,3	26,7	19,3	18,7	16,0
4		50,0	16,0	8,7	7,3	8,7
5		47,3	18,7	10,0	9,3	8,7
6		51,3	16,7	8,7	9,3	6,7
7		63,3	36,7	22,7	22,7	16,7
Średnia		48,1	23,5	15,6	14,9	12,8

Tożsame badania błędów pomiarowych dla cech dobranych według rankingu uzyskanego z miary Kołmogorowa pokazano w tabeli poniżej (**Tabela 19**).

Tabela 19. Wartości błędów rozpoznawania w metodzie k-NN dla próbek po 25 wyrazów w przypadku cech dobranych miarą Kołmogorowa

Wielkość	ϵ_c					
	Zestaw cech	1-8	1-8-3-2-6	1-8-3-2-6-5	1-8-3-2-6-5-7	1-8-3-2-6-5-7-4
Skala		%	%	%	%	%
Zestaw próbek						
1		40,0	22,0	23,3	19,3	18,7
2		40,7	22,7	18,0	16,7	17,3
3		51,3	24,0	19,3	18,0	18,7
4		40,0	21,3	10,0	8,0	7,3
5		47,3	16,7	9,3	8,7	9,3
6		44,7	16,7	9,3	10,0	9,3
7		45,3	36,0	25,3	22,0	23,3
Średnia		44,2	22,8	16,4	14,7	14,8

Jak już wspomniano dobór cech za pomocą miary Kołmogorowa jest jedynie rozwiązaniem suboptymalnym. W związku z tym w celach porównawczych

przeprowadzono przegląd wszystkich możliwości kombinacji cech i sprawdzono jakie pojawiają się wtedy błędy w klasyfikacji. Uzyskane wartości dla 1. i 4. zestawu badawczego pokazano w tabeli poniżej (Tabela 20). Pokazano tam błąd minimalny oznaczający błąd klasyfikacji występujący przy doborze najoptymalniejszego zestawu cech w danym przypadku. Podano także średnią arytmetyczną wartości błędów klasyfikacji z wszystkich kombinacji cech. Porównanie danych z obu tabel (Tabela 19, Tabela 20) pokazuje, że w dwóch przypadkach posługując się miarą Kołmogorowa udało się znaleźć rozwiązanie optymalne zadania klasyfikacji: przypadek zestawu ośmiu cech przy klasyfikacji rękopisów z 1. zestawu próbek oraz ośmiu cechy przy klasyfikacji rękopisów z 4. zestawu próbek.

Tabela 20. Zależność względnego błędu pomiarowego od liczby cech stosowanych w metodzie k-NN dla zestawu próbek nr 1, 4

Wielkość Zestaw	ε_c			
	1		4	
Rodzaj błędu	Błąd minimalny	Błąd średni	Błąd minimalny	Błąd średni
Skala	%	%	%	%
Liczba rozpatrywanych cech				
1	51,3	57,8	50,0	57,1
2	28,0	42,1	26,7	41,4
3	20,7	33,2	15,3	29,0
4	21,3	28,9	8,0	22,4
5	19,3	26,5	7,3	18,3
6	18,0	24,6	6,0	15,2
7	18,7	22,9	6,0	13,1
8	18,7	21,2	7,3	11,6
9	18,0	18,0	8,7	8,7

By uzyskać mniejsze błędy klasyfikacji klasyfikatorami k-NN należy zwiększać liczbę cech (wymiarów) na podstawie których dokonują one klasyfikacji. Widać jednakże, że czasem dodanie pewnych cech (patrz wyniki dla próbki 1) może zwiększyć błąd klasyfikacji, co jest związane z nieoptymalnym doбором cech. Wartość błędu klasyfikacji można także zmniejszyć zwiększając ilość punktów uczących tak, aby reprezentowały one możliwie szeroki zakres spotykanych wartości cech u danego wykonawcy pisma. Mała liczba punktów uczących powoduje występowanie dużej liczby błędów niezależnie od klasyfikatora.

12.5. Wykorzystanie sztucznych sieci neuronowych

Jak już wspomniano, w badaniach do klasyfikacji użyte zostały także sztuczne sieci neuronowe (SSN). Oparto się na architekturze jednokierunkowych sieci typu Perceptron

składających się z trzech warstw: wejściowej, ukrytej i wyjściowej lub z czterech warstw z dwiema warstwami ukrytymi. Liczba neuronów w warstwie wejściowej (u) odpowiada liczbie cech, zaś liczba neuronów w warstwie wyjściowej (w) odpowiada liczbie pozycji liczby binarnej potrzebnej do zakodowania liczby rozpoznawanych probantów. Przy określaniu liczby neuronów ukrytych skorzystano z *reguły piramidy geometrycznej* [64, s. 170]. Do obliczenia liczby neuronów w warstwie ukrytej (v) używa się następującego wzoru:

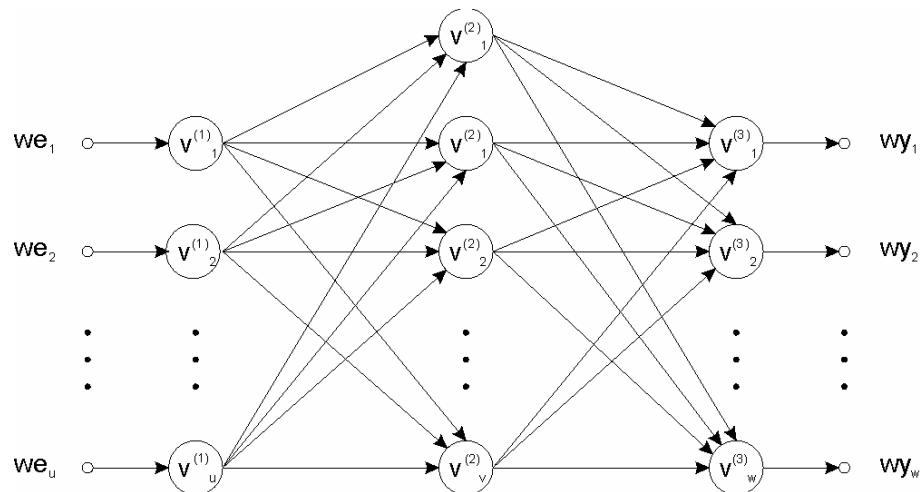
$$v = \sqrt{u \cdot w} \quad (96)$$

gdzie: u — liczba neuronów w warstwie wejściowej,
 w — liczba neuronów w warstwie wyjściowej.

W przypadku sieci dwuwarstwowej wyznacza się liczbę neuronów w obu warstwach ukrytych v_1 i v_2 zgodnie z formułami [64, s. 170]:

$$v_1 = w \cdot \left(\sqrt[3]{\frac{u}{w}} \right)^2 \quad v_2 = w \cdot \sqrt[3]{\frac{u}{w}} \quad (97), \quad (98)$$

Powyższe wzory należy traktować jako przybliżenie idealnego rozmiaru warstw ukrytych. W przypadku prostych problemów często wystarczy mniej neuronów. Dlatego zbudowano sieci o trzech neuronach w warstwach ukrytych.



Rys. 49. Schemat trójwarstwowej sztucznej sieci neuronowej

Dokonano szeregu eksperymentów mających na celu określenia efektywności zastosowania SSN do stawianego zadania klasyfikacji. Zbudowano sieć typu Perceptron wielowarstwowy. Zbudowano sieci trzy- (jedna warstwa ukryta) i czterowarstwowe (o dwóch warstwach ukrytych): o strukturach: 9-3-3, 9-3-3-3. Wszystkie neurony posiadają funkcję wyjścia typu tangensoidalnego. Łączenie neuronów sąsiednich warstw przebiega zgodnie z zasadą „każdy z każdym” (Rys. 49). Proces uczenia SSN

przebiegał zgodnie z gradientowym algorytmem Levenberga-Marquarda [74]. W praktyce wykorzystano narzędzia z *Neural Network Toolbox* z Matlaba.

Przygotowano po dwa zestawy zbiorów trenujących i testowych. Każdy zbiór składał się z 150 próbek. Błędy uczenia osiągały w praktyce wartość równą zero. Natomiast wartości błędów klasyfikacji na etapie rozpoznawania pokazano w tablicy poniżej (Tabela 21).

Tabela 21. Wartości błędów pomiarowych uzyskiwanych za pomocą SSN

Wielkość	ϵ_c	
	1-2-3-4-5-6-7-8-9	1-2-3-4-5-6-7-8-9
Zestaw cech	1-2-3-4-5-6-7-8-9	1-2-3-4-5-6-7-8-9
Architektura sieci	9-3-3	9-3-3-3
Skala	%	%
Zestaw próbek		
1	20,0	19,3
2	18,0	17,3
3	21,3	20,7
4	15,3	13,3
5	10,0	16,0
6	13,3	16,7
7	23,7	21,3
Średnia	17,4	17,8

Za wyjątkiem przypadku próbki nr 5 i 6 sieć neuronowa o większej liczbie warstw ukrytych dawała lepsze wyniki identyfikacji niż sieć trójwarstwowa. Przyrost efektywności rozpoznawania nie jest jednak na tyle duży aby usprawiedliwić znacznie dłuższy czas uczenia sieci czterowarstwowej. Średnie wartości błędów są nawet gorsze w przypadku sieci o czterech warstwach.

Podobnie jak w przypadku wcześniejszym, aby uzyskać mniejsze błędy klasyfikacji klasyfikatorami SSN należy zwiększać liczbę cech (wymiarów) na podstawie których dokonują one klasyfikacji. Efektywność działania metod k-NN i SSN okazała się podobna w zadaniu klasyfikacji. Sumaryczny średni błąd dla pierwszej metody wyniósł 12,8%, a dla metody SSN 17,4% i 17,8%. Algorytm k-NN okazuje się lepszym klasyfikatorem od algorytmu SSN. W takiej sytuacji zasadne okazuje się zastosowanie prostego klasyfikatora jakim jest stosowany w metodzie k-NN. Nieopłacalnym okazuje się w tym przypadku stosowanie SNN, gdyż wymagają one dużego nakładu na uczenie sieci, co przy braku lepszych wyników klasyfikacji wskazuje na zastosowanie prostszej metody. Szybkość algorytmu klasyfikacji jest szczególnie istotna w przypadku zadania identyfikacji wykonawcy pisma dla dużej liczby potencjalnych wykonawców znajdujących się w bazie danych wzorców, kiedy dokonuje się wiele tysięcy porównań z badaną próbką pisma.

Duże błędy są spowodowane nachodzeniem na siebie poszczególnych klastrów klas. Jest to zjawisko oczywiste z tego względu, że pismo ręczne cechuje pewna zmienność u danej osoby i wzajemne nachodzenie na siebie zakresów zmiennych w pismach różnych osób.

12.6. Inne rozwiązania

W pismoznawstwie kryminalistycznym w celach identyfikacyjnych badane cechy dzieli się na zbiory cech zbieżnych (zgodnych), sprzecznych czy też przeciwnych w dwóch próbkach pisma [85]. Na tej podstawie można wnioskować opinie co do wykonawcy dwóch badanych próbek pisma. W przypadku pełnej zbieżności cech możemy powiedzieć o pochodzeniu dwu próbek pisma od tej samej osoby. Natomiast w przypadku pełnej sprzeczności lub pełnego przeciwieństwa mamy do czynienia z pochodzeniem próbek od różnych wykonawców. Są to oczywiście przypadki modelowe, nie spotykane często w praktyce. Występowanie obok cech zbieżnych cech sprzecznych lub przeciwnych nie pozwala na wyprowadzanie miarodajnych wniosków co do pochodzenia próbek pisma. W celu umożliwienia wyciągania miarodajnych wniosków zaleca się „pogłębienie analitycznego rozbioru cech pisma” oraz stosowanie jak najdłuższych tekstów porównawczych i badanych (dowodowych) [85]. Sformułowania o możliwych wzajemnych relacjach pomiędzy cechami można opisywać za pomocą rachunku zdań albo rachunku zbiorów.

Przykładem podejścia bazującym na opisie zbiorowym jest metoda zaproponowana przez Owoca [78]. W podejściu tym także wychodzi się od pojęcia cechy. W procesie wnioskowania określa się liczbowe podobieństwo dowolnych par próbek pisma. Porównuje się w ten sposób wszystkie badane próbki z próbką odnośnikową, która stanowi np., dowodową próbkę pisma. Podobieństwo określa się w sposób następujący:

$$Pod(g, g') = \frac{\sum_{i=1}^d w_i (g_i \wedge g'_i)}{\sum_{i=1}^d w_i (g_i \vee g'_i)} \quad (99)$$

gdzie: $Pod()$ — funkcja podobieństwa,
 g_i, g'_i oznaczają wartości d-wymiarowych wektorów g, g' i oznaczają występowanie lub brak danej cechy c_i i c'_i ,
 d — liczba uwzględnianych cech,
symbol \wedge oznacza iloczyn logiczny, a symbol \vee oznacza sumę logiczną.

Warto wyrazić explicite założenie, że nie może być przypadku kiedy wszystkie wartości wektorów g i g' przyjmują wartości 0 bo prowadziłyby to do nieokreśloności.

Taka metoda wymaga jednakże określenia znaczenia każdej z cech, czyli wag w_i . Wagi te należy ustalić a posteriori na podstawie szerokich badań statystycznych na reprezentatywnych próbkach pisma [78]. Tak szeroko zakrojone badania statystyczne mogą zostać wydatnie przyspieszone poprzez zastosowanie komputerowych systemów obliczeniowych.

Sugeruje się jednak, że w mianowniku formuły (99) powinny być sumowane wszystkie cechy bowiem brak występowania danej cechy jest także informacją.

Powyższa metoda bazuje na funkcji podobieństwa [36, s. 135–137] (ang. *similarity*). Funkcja podobieństwa może być przekształcona do funkcji odległości i odwrotnie. Im mniejsza odległość pomiędzy dwoma zbiorami cech, tym większe jest podobieństwo pomiędzy nimi i odwrotnie, jeśli odległość jest większa to wartość funkcji podobieństwa przyjmuje mniejszą wartość.

Można więc problem określania podobieństwa sprowadzić do zagadnienia pomiaru odległości wybranych wartości cech. W monografii [36] wymienia się odległości Minkowskiego: typu Manhattan, euklidesową oraz Czybyszewa, odległość Mahonobiusa, uogólnioną odległość euklidesową, odległość Canberra, odległość Hamminga.

12.7. Porównanie algorytmów rozpoznawania

Istnieje wiele algorytmów rozpoznawania z których w tej pracy część została przybliżona i omówiona w kontekście badań pismoznawczych. Ta różnorodność powoduje, że postać tworzonego Systemu Ekspertowego może być oparta na różnorodnej architekturze pod względem maszyny wnioskującej lub reprezentacji wiedzy.

Część ze stosowanych algorytmów bliskie są sposobowi postępowania człowieka w czasie ekspertyzy pismoznawczej oraz bliska (przynajmniej intuicyjnie) pojmowaniu pojęć przez człowieka. Niektóre z nich np. algorytmy neuronowe wymykają się takiemu ujęciu. Działanie takich algorytmów, co do których nie można w bezpośredni sposób interpretować etapów wnioskowania, może powodować brak akceptacji w środowiskach dla których takie systemy miałyby działać. Zastosowanie systemów komputerowych w miejscach przeznaczenia, czyli w przypadku ekspertyzy

kryminalistycznej w sądach, wymaga aby były one akceptowane przez środowisko prawnicze.

Zaprezentowane metody mogą być także źródłem opracowania nowej metodologii w klasycznej kryminalistycznej ekspertyzie pismoznawczej dokonywanej przez ekspertów pismoznawców.

13. Podsumowanie i wnioski

W pracy zaproponowano katalog cech pisma ręcznego mierzonych komputerowo wzorowany na *Katalogu Graficznych Cech Pisma Ręcznego IES*. Katalog ten jest syntezą informacji zaczerpniętych z literatury przedmiotu i propozycji autora w oparciu o przeprowadzone badania. Kompletność owego katalogu wymaga opracowania metodologii obliczeniowego pomiaru zamieszczonych tam cech. Opracowane w kolejnych rozdziałach pracy metody pomiaru pewnych cech uzupełniają katalog cech pisma ręcznego mierzonych komputerowo o nowe informacje. W ten sposób liczba skatalogowanych i uwzględnianych cech, które zostały opracowane i podane w literaturze przedmiotu zostaje poszerzona o nowe cechy lub opis nowych metod pomiaru cech już stosowanych. Wymagane będzie opracowanie metodologii pomiaru kolejnych cech zamieszczonych w omawianym katalogu.

W dalszej części pracy zaprezentowano obliczeniowe metody pomiaru wybranych cech pisma ręcznego z *Katalogu Graficznych Cech Pisma Ręcznego IES*. Zaproponowano metody pomiaru cech z grup: *cech topograficznych*, *cech mierzalnych* i *cech motorycznych*. Spośród cech topograficznych przebadano możliwość określania układu wyrazów względem liniatury. Z grupy cech mierzalnych określone są następujące cechy: wielkości pisma i pole pisma. Natomiast z grupy cech motorycznych wprowadzono parametr aproksymujący współczynnik integracji (*WI*) jakim jest liczba obszarów spójnych (*LOS*).

Odnośnie układu wyrazów względem liniatury zaproponowano pomiar kilku cech. Opracowano algorytm określający: położenie środka ciężkości gramm ze strefy śródlinijnej względem liniatury, szerokość rzutu poziomego, rozłożenie „masy” pikseli w strefie śródlinijnej oraz współczynnik zmienności charakteryzujący rozkład wartości w rzucie poziomym. Poczynione obserwacje tak samo są aktualne odnośnie układu znaków jak i wierszy względem liniatury.

W pracy zaproponowano metodę automatycznego pomiaru wielkości pisma. Wyniki pomiarów uzyskiwanych tą metodą porównano z wynikami uzyskiwanymi w metodzie ręcznej oraz z wynikami dwóch metod znanych z literatury. Opracowana metoda daje średnio dwukrotnie mniejsze błędy przy pomiarze wysokości pisma niż automatyczne metody odnośnikowe.

Jak już wspomniano drugą cechą z tej grupy poddaną badaniom jest pole pisma. W pracy pokazano wykorzystanie współczynnika wypukłości jako cechy charakteryzującej pismo ręczne.

Parametrem z kolejnej grupy, cech motorycznych zaproponowanym w pracy, służącym do pomiaru współczynnika integracji pisma jest liczba obszarów spójnych. Pewnym ograniczeniem stosowalności tego parametru jest warunek użycia go w przypadku tekstów tej samej treści. Problem ten jednak można rozwiązać, kiedy możemy dowolnie zebrać materiał porównawczy. W przypadku, kiedy mielibyśmy do czynienia jedynie z ograniczonym materiałem dowodowym, wówczas należałoby wybrać z rozpatrywanych rękopisów tylko te fragmenty pisma będące tożsame, co do treści.

W pracy opracowano obliczeniowe metody pomiaru cech pisma, które nie były do tej pory mierzone przez komputery oraz w przypadku metod pomiaru cech znanych już z literatury opracowano lepsze algorytmy, np. metodę pomiaru wysokości pisma.

Wkładem pracy jest ponadto zebranie i opracowanie rękopiśmiennej materiału badawczego. Włożono duży nakład pracy w poprawną segmentację tekstu, w pewnym zakresie dokonywaną ręcznie. Dzięki temu uzyskano bazę danych próbek pisma zapisanych w języku polskim. Pozwala to na pewne badania, których nie wykonamy mając do dyspozycji podobną bazę danych zapisaną w języku angielskim.

Częścią podsumowującą pracę nad pomiarami cech pisma ręcznego jest rozdział traktujący o procesie wnioskowania. Przeanalizowano możliwości identyfikacji wykonawców pisma w oparciu o proponowane cechy. Uzyskano średnie wartości stopnia poprawnie zidentyfikowanych wykonawców na poziomie dochodzącym do ok. 90%. Poziom względny błąd trafnej identyfikacji w najlepszym przypadku osiąga ok. 8%. Jeszcze mniejsze wartości błędów identyfikacji można by uzyskać uwzględniając większą liczbę cech charakteryzujących daną próbkę tekstu, wymagałoby to jednakże opracowania automatycznych metod pomiaru jak najpełniejszego zestawu cech pisma ręcznego.

Zastosowanie zmierzonych cech do celów identyfikacyjnych pokazuje, że różnicują one pismo ręczne tak, że można identyfikować wykonawców danych rękopisów. Średnia wielkość popełnianych błędów w identyfikacji nie jest jeszcze wystarczająca do praktycznych zastosowań ale pokazuje ona, że można na podstawie proponowanych cech dokonywać identyfikacji.

Znaczenie wyników tej pracy może być także przydatne dla rozwiązania zagadnień rozpatrywanych przez OCR, bowiem wiedza na temat zmienności osobniczej cech pisma ręcznego może być pomocna przy podniesieniu efektywności rozpoznawania obrazu tekstu. Ogólnie rzecz ujmując, dorobek każdej z tych dwóch dyscyplin (rozpoznawanie tekstu, identyfikacja wykonawcy) może być wzajemnie wykorzystywany. Można tu być większym optymistą niż profesor Owoc [84, s. 45], gdyż istnieje duża zależność metodologiczna w obu tych podejściach. Potrzebna jest współpraca ekspertów pismoznawców i informatyków w celu rozwiązania poszczególnych problemów związanych z pismem ręcznym.

Podsumowując:

1. W pracy zaproponowano katalog cech, które można rozpoznawać komputerowo. Jego układ ma postać znaną z *Katalogu Graficznych Cech Pisma Ręcznego IES*. Dodano do niego dział oznaczony jako *cechy inne*, w którym zamieszczono cechy, które umykają możliwości pomiaru przez człowieka, a są dokonywane przez komputery. Postać tego katalogu wskazuje na jego przyczynkarski charakter, może bowiem otworzyć dyskusję nad poruszoną kwestią.
2. Zdefiniowano obliczeniowe metody pomiaru kilkunastu cech pisma ręcznego. Spośród zaprezentowanych metod zaproponowano metody pomiaru nowych cech pisma ręcznego.
3. Jako kryteriami wyboru cech do celów rozpoznawania kierowano się przesłankami przydatności danej cechy, rzetelnością i trafnością pomiaru. Rozpatrzono dystynktywność badanych cech, która wskazuje na ich stosowalność do celów klasyfikacyjnych. Przeanalizowano także istniejące zależności pomiędzy cechami na podstawie współczynnika korelacji. Spośród metod automatycznej selekcji cech oparto się na mierze Kołmogorowa. Należy w tym miejscu nadmienić zastrzeżenie ze strony ekspertów pisma, które zostało zawarte w pracy [84], gdzie wspomina się, że „metody te realizują raczej to, co na podstawie prostych algorytmów potrafi uczynić maszyna niż to, co akurat jest istotne w badaniach pismoznawczych”. Na podstawie zmierzonych cech dokonano praktycznej identyfikacji pismoznawczej opierając się na dwóch wybranych algorytmach klasyfikacji. Możliwość klasyfikacji wykonawców na potrzeby identyfikacyjne wskazuje na przydatność tych cech. Mogą one bowiem różnicować wykonawców pisma.

Powyższe wnioski wskazują na udowodnienie tezy pracy.

W przyszłości autor planuje opracowanie obliczeniowych metod pomiaru cech pisma ręcznego z całego *Katalogu Graficznych Cech Pisma Ręcznego IES*. Rozwiązanie tego problemu także nie rozwiąże całości problemów jakie stają przed ekspertami pisma. Dokończenie bowiem prac, którego niniejsza publikacja jest zaledwie przyczynkiem, doprowadzi nas zaledwie do identyfikacji szerokogrupowej, czy też grupowej. Problemem zostanie nadal tzw. identyfikacja wąskogrupowa. Wymaga ona szczegółowych badań jeszcze większej liczby specyficznych cech.

Przewiduje się ponadto opracowanie komputerowych metod pomiaru cech pisma ręcznego na poziomie mikrostrukturalnym. Wymagać to będzie użycia lepszego sprzętu do pobierania obrazu niż skaner optyczny czy też kamera, jakim jest np. skaner trójwymiarowy.

Bibliografia

- [1] Andrzejkowicz M., Półautomatyczny pomiar pola podpisu, (w:) Kryminalistyczna ekspertyza pismoznawcza a grafologia. Materiały X Wrocławskiego Sympozjum Badań Pisma, Wrocław 19–21 czerwca 2002 roku, Wrocław 2003, s. 13–20.
- [2] Arazi B., Handwriting Identification by Means of Run-Length Measurements, IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics, 1977, No. 12, p. 878–881.
- [3] Arazi B., Automatic Handwriting Identification Based on the External Properties of the Samples, IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics, 1983, No. 4, p. 635–642.
- [4] Bensefia A., Paquet T., Heutte L., Grapheme based writer verification, 11th Conference of the International Graphonomics Society (IGS'2003), Scottsdale, Arizona, 2003, p. 274–277.
- [5] Bensefia A., Paquet T., Heutte L., Handwritten Document Analysis for Automatic Writer Recognition, Electronic Letters on Computer Vision and Image Analysis, 2005, Vol. 5, No. 2, p. 72–86.
- [6] Bozinovic R. M., Srihari S. N., Off-line Cursive Script Word Recognition, IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1989, Vol. 11, No. 1, p. 68–83.
- [7] Bresenham, J.E., Algorithm for Computer Control of Digital Plotter, IBM System Journal. 4(1), 1965, p. 25–30.
- [8] Bulacu, M., Schomaker, L., Vuurpijl, L., Writer Identification Using Edge-Based Directional Features, International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR'2003), 2003, p. 937–941.
- [9] Cha S.-H., Chee Y.-M., Tappert C.C., Automatic Detection of Handwriting Forgery Using a Fractal Number Estimate of Wrinkliness, Proc. 8th Int. Workshop Frontiers Handwriting Recognition (IWFHR-8), Niagara, Canada, August 2002, p. 264–267.
- [10] Chen H.-C., Cha S.-H., Chee Y.-M., Tappert C.C., The Detection of Forged Handwriting Using a Fractal Number Estimate of Wrinkliness, Proc. 11th Int. Graphonomics Soc. Conf. (IGS 2003), Scottsdale, AZ, November 2003, p. 312–315.
- [11] Czermak M., Frequently Asked Questions and Glossary of Terms about Forensic Examination: <http://www.documents-examiner.com/Documents-Examiner-Glossary-FAQs.htm> (aktualne na dzień: 2006.02.16).
- [12] Detection and Correction of Document Skew, and other Distortions: <http://iris.usc.edu/Vision-Notes/bibliography/char976.html> (aktualizacja dnia 17 sierpnia 2006 r.).
- [13] Dziedzic T., Fabiańska E., Kunicki M., Zadora G., GRAPHOLOG — Komputerowy system wspomagający badanie cech pisma ręcznego, (w:) Materiały XII Wrocławskiego Sympozjum Badań Pisma, Wrocław 7–9 czerwca 2006 r. (w druku).
- [14] El-Yacoubi A., Gilloux M., Sabouri R., Suen C. Y., An HMM-Based Approach for Off-line Unconstrained Handwritten Word Modeling and Recognition, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1999, Vol. 21, No. 8, p. 752–760.
- [15] van Erp M., Vuurpijl L. G., Franke K. and Schomaker L. R. B., The WANDA Measurement Tool for forensic document examination, Proc. 11th Conference of the International Graphonomics Society (IGS), Scottsdale, Arizona, USA, 2003, p. 282–285.
- [16] Feluś A., Poziom integracji pisma jako element składowy metody statystycznej w ekspertyzie pisma, Materiały II Wrocławskiego Sympozjum Badań Pisma Ręcznego, 19–21 września 1985, Wrocław 1987, s. 193–202.
- [17] Foley J. D., van Dam A., Feiner S. K., Hughes J. F., Philips R. L., Wprowadzenie do grafiki komputerowej, WNT, Warszawa 1995, ss. 674.
- [18] Franke K., Schomaker L. R. B., Veenhuis C., Vuurpijl L. G., van Erp M. and Guyon I., WANDA: A common ground for forensic handwriting examination and writer identification, ENFHEX news - Bulletin of the European Network of Forensic Handwriting Experts, No. 1/04, 2004, p. 23–47.

- [19] Franke K., Schomaker L. R. B., Veenhuis C., Taubenheim C., Guyon I., Vuurpijl L. G., van Erp M. and Zwarts G., WANDA: A Generic Framework applied in Forensic Handwriting Analysis and Writer Identification. In A. Abraham, M. Köppen, and K. Franke, editors, Design and Application of Hybrid Intelligent Systems, Proc. 3rd International Conference on Hybrid Intelligent Systems (HIS'03), IOS Press, Amsterdam, The Netherlands, 2003, p. 927–938.
- [20] Garbacz R., Ptak R., Artificial Neural Networks and Fuzzy Sets in the Expert System for the Recognition of Geometrical Objects, (w:) Proceedings of the Fourth Conference Neural Networks and their Applications, Zakopane 18–22 V 1999, Polish Neural Networks Society, Częstochowa 1999, s. 197–202.
- [21] Gonzales R. C., Woods R. E., Digital Image Processing, Addison-Wesley, Reading 1993, pp. 716.
- [22] Handwriting Identification: Research to Study Validity of Individuality of Handwriting & Develop Computer-Assisted Procedures for Comparing Handwriting. Technical Report CEDAR-TR-01-1, February 26, 2001, pp. 59.
- [23] Haralick R. M., Shapiro L. G., Computer and Robot Vision, Vol. I., Addison-Wesley, Reading 1992, pp. XVI+672.
- [24] Hecker M. R., Traktat über den wissenschaftlichkeitsanspruch der forensischen schriftvergleichung, „Kolonial Limited“, Wrocław 2000, ss. 213.
- [25] Hecker M. R., Sądowy system informacyjny „Rękopisy” (FISH), Materiały II Wrocławskiego Sympozjum Badań Pisma Ręcznego, 19–21 września 1985, Wrocław 1987, s. 215–221.
- [26] Hennig A., Sherkat N., Exploiting Zoning Based on Approximating Splines in Cursive Script Recognition, Pattern Recognition, 2002, Vol. 35, p. 445–454.
- [27] Hołyst B., Kryminalistyka, Wydawnictwo LexisNexis, Warszawa 2004, ss. 1484.
- [28] Horoszowski P., Kryminalistyka, PWN, Warszawa 1955, ss. 684.
- [29] http://softsurfer.com/Archive/algorithm_0109/algorithm_0109.htm (aktualne na dzień: 2006.02.16).
- [30] http://www.cs.princeton.edu/~ah/alg_anim/version2/ConvexHull.html (aktualne na dzień: 2006.02.16).
- [31] <http://www.cse.unsw.edu.au/~lambert/java/3d/ConvexHull.html> (aktualne na dzień: 2006.02.16).
- [32] <http://www.ekonometria.4me.pl/wzory.htm> (aktualne na dzień: 2006.02.16).
- [33] Huber R. A., Headrick A. M., Handwriting Identification: Facts and Fundamentals, CRC Press, 1999, pp. 500.
- [34] Instytut Ekspertyz Sądowych, Kraków: <http://www.ies.krakow.pl/> (aktualne na dzień: 2006.02.16).
- [35] International Graphonomics Society: http://www.cedar.buffalo.edu/igs/igs_the_term_graphonomics.html (aktualne na dzień: 2006.07.27).
- [36] Jajuga K., Statystyczna teoria rozpoznawania obrazów, PWN, Warszawa 1990, ss. 248.
- [37] Jarnicki J., Rysowanie odcinka i łuku okręgu w przestrzeni dyskretnej: http://www.zsk.ict.pwr.wroc.pl/zsk/repository/dydaktyka/gk/wyklady/w_2_bw.pdf (aktualne na dzień: 2006.03.16).
- [38] Katalog Graficznych Cech Pisma Ręcznego, Katalog Cech Językowo-Treściowych: <http://www.prawo.amu.edu.pl/katkry/zasoby/aneks.htm> (aktualne na dzień: 2006.03.17).
- [39] Kavallieratou E., A Binarization Algorithm specialized on Document Images and Photos, Proceedings of 8th International Conference of Document Analysis and Recognition (ICDAR 2005), Vol. I, Seoul, 2005, p. 463–467.
- [40] Kegel Z. (red.), Kryminalistyczna ekspertyza pismoznawcza a grafologia. Materiały X Wrocławskiego Sympozjum Badań Pisma, Wrocław 19–21 czerwca 2002 roku, Wrocław 2003, ss. 357.
- [41] Kegel Z. (red.), Logiczne podstawy opiniowania ekspertyz dokumentów a praktyka. Materiały XI Wrocławskiego Sympozjum Badań Pisma, Wrocław 16–18 czerwiec 2004, Wrocław 2006, ss. 411.
- [42] Kegel Z. (red.), Problematyka dowodu z ekspertyzy dokumentów, Wrocław 2002, t. 1, ss. XX+834.

- [43] Kegel Z. (red.), Problematyka dowodu z ekspertyzy dokumentów, Wrocław 2002, t. 2, ss. XVI+835–1468.
- [44] Kempisty M. (red.), Mały Słownik Cybernetyczny, Wiedza Powszechna, Warszawa 1973, ss. 536.
- [45] Kiciak P., Podstawy modelowania krzywych i powierzchni: zastosowania w grafice komputerowej, WNT, Warszawa 2000, ss. 428.
- [46] Kindratenko V., Development and Application of Image Analysis Techniques for Identification and Classification of Microscopic Particles – Ph.D. Thesis, University of Antwerp, Belgium, 1997, pp. 182.
- [47] Kopaliński W., Słownik wyrazów obcych i zwrotów obcojęzycznych, Wiedza Powszechna, Warszawa 1989, ss. 576.
- [48] Koziczak A., Analiza pojęcia krzywizny w pismoznawstwie, Materiały V Wrocławskiego Sympozjum Badań Pisma Ręcznego, 16-18 września 1992 r., Wrocław 1993, s. 35–38.
- [49] Koziczak A., Definicja parafy — potrzeba konwencji, Materiały VII Wrocławskiego Sympozjum Badań Pisma, 12–14 czerwca 1996 r., Wrocław 1997, s. 129–134.
- [50] Koziczak A., Gamma jako element składowy parafy, Materiały VII Wrocławskiego Sympozjum Badań Pisma, 12–14 czerwca 1996 r., Wrocław 1997, s. 135–138.
- [51] Koziczak A., Metody pomiarowe w badaniach pismoznawczych, Instytut Ekspertyz Sądowych, Kraków 1997, ss. 209.
- [52] Koziczak A., Poziom subtelności struktur graficznych a dokładność metod pomiarowych, Materiały III Wrocławskiego Sympozjum Badań Pisma Ręcznego, 17–19 września 1987, Wrocław 1992, s. 271–278.
- [53] Koziczak A., Środek ciężkości jako element opisu pola pisma, Materiały IV Wrocławskiego Sympozjum Badań Pisma, Wrocław 13-15 września 1990 roku, Wrocław 1992, s. 111–112.
- [54] Koziczak A., Terminologia w badaniach pomiarowych pisma, Problemy dowodu z dokumentu. Materiały VIII Wrocławskiego Sympozjum Badań Pisma 17–19 czerwca 1998 r., Wrocław 2000, s. 113–116.
- [55] Kozieł T., Żuchewicz K., Komputerowe metody przetwarzania obrazu w badaniach kryminalistycznych, „Problemy Kryminalistyki”, Warszawa 1989, nr 185–186, s. 282–293.
- [56] Kuchariew G., Przetwarzanie i analiza obrazów cyfrowych, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 1998, ss. 137.
- [57] Kurzyński M., Rozpoznawanie obiektów. Metody statystyczne, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1997, ss. 250.
- [58] Legień M., Pozakryminalistyczne kierunki badań grafologicznych, Problemy Kryminalistyki, R. 28, Warszawa 1982, nr 156, s. 225–234.
- [59] Lucia Forensic: Tutorial. Manual for LUCIA Forensic software v. 4.80/2, ss. 50 (w formacie PDF).
- [60] Lucia: <http://www.lim.cz/> (aktualne na dzień: 2006.03.03).
- [61] Łuszczuk A., Próba wprowadzenia klasyfikacyjnej formuły pisma ręcznego, „Problemy Kryminalistyki”, Warszawa 1995, nr 169, s. 401–421.
- [62] Malczewski J., Słownik szkolny. Nauka o języku, WSiP, Warszawa 1990, ss. 200.
- [63] Marti U.-V., Bunke H., Using a Statistical Language Model to Improve the Performance of an HMM-Based Cursive Handwriting Recognition System, International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2001, Vol. 15, No. 1, p. 65–90.
- [64] Master T., Sieci neuronowe w praktyce. Programowanie w języku C++, WNT, Warszawa 1996, ss. 456.
- [65] Materka A. (red.), Elementy cyfrowego przetwarzania i analizy obrazów, PWN, Warszawa — Łódź 1991, ss. 220.
- [66] MATLAB Manuals, The MathWorks, Inc.

- [67] Matuszewski S., Gramma jako odzwierciedlenie trajektorii ruchu pisarskiego, (w:) Logiczne podstawy opiniowania ekspertyz dokumentów a praktyka. Materiały XI Wrocławskiego Sympozjum Badań Pisma, Wrocław 16–18 czerwiec 2004, Wrocław 2006, s. 205–209.
- [68] Mazur M., Jakościowa teoria informacji, WNT, Warszawa 1970, ss. 224.
- [69] Morris R. N., Forensic Handwriting Identification: Fundamental Concepts and Principles, San Diego, San Francisco, New York, Boston, London, Sydney, Tokyo, 2000; Academic Press, ss. XVI+238.
- [70] Mrozek B., Mrozek Z., Matlab 5.x, Simulink 2.x poradnik użytkownika, Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa 1998, ss. 428.
- [71] Mulawka J., Systemy ekspertowe, WNT, Warszawa 1996, ss. 236.
- [72] Nieniewski M., Morfologia matematyczna w przetwarzaniu obrazów, Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa 1998, ss. 313.
- [73] Osowski S., Sieci neuronowe, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1994, ss. 241.
- [74] Osowski S., Sieci neuronowe w ujęciu algorytmicznym, WNT, Warszawa 1996, ss. 352.
- [75] Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms, IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics, 1979, Vol. SMC-9, No. 1, p. 62–66.
- [76] Owoc M., Algorytm badania cech graficznych inicjałów, Problemy dowodu z dokumentu. Materiały VIII Wrocławskiego Sympozjum Badań Pisma 17–19 czerwca 1998 r., Wrocław 2000, s. 153–160.
- [77] Owoc M., Cechy jakościowe i cechy ilościowe w badaniach identyfikacyjnych podpisów, Materiały II Wrocławskiego Sympozjum Badań Pisma Ręcznego, 19–21 września 1985, Wrocław 1987, s. 39–47.
- [78] Owoc M., Cechy niezależne i cechy zależne w badaniach identyfikacyjnych pisma ręcznego, Materiały I Wrocławskiego Sympozjum Badań Pisma Ręcznego 21–23 września 1983, Wrocław 1986, s. 131–137.
- [79] Owoc M., Dobór układu współrzędnych w analizie geometrii pisma, Materiały III Wrocławskiego Sympozjum Badań Pisma Ręcznego, 17–19 września 1987, Wrocław 1992, s. 161–168.
- [80] Owoc M., Ilość informacji identyfikujących w podpisach czytelnych i nieczytelnych, Materiały VII Wrocławskiego Sympozjum Badań Pisma, 12–14 czerwca 1996 r., Wrocław 1997, s. 5–10.
- [81] Owoc M., Komputerowe systemy doradcze w badaniach pisma ręcznego; (w:) Nauka wobec prawdy sądowej: księga pamiątkowa ku czci profesora Zdzisława Kęgla, paca. zbiorowa pod red. Ryszarda Jaworskiego i Macieja Szostaka, Wrocław 2005, s. 401–405.
- [82] Owoc M., Komputerowe wspomaganie ekspertyzy pismoznawczej, Kraków 1997, (CD-ROM: ss. 83 w formacie PDF).
- [83] Owoc M., Liczba kształtu w charakterystyce pola pisma, Materiały IV Wrocławskiego Sympozjum Badań Pisma, Wrocław 13-15 września 1990 roku, Wrocław 1992, s. 109–110.
- [84] Owoc M., Modele matematyczne w ekspertyzie podpisów, Materiały V Wrocławskiego Sympozjum Badań Pisma Ręcznego, 16-18 września 1992 r., Wrocław 1993, s. 43–50.
- [85] Owoc M., Zbieżność, sprzeczność i przeciwieństwo cech w badaniach krótkich tekstów, Materiały III Wrocławskiego Sympozjum Badań Pisma Ręcznego, 17–19 września 1987, Wrocław 1992, s. 230–238.
- [86] Pavlidis T., Grafika i przetwarzanie obrazów. Algorytmy, WNT, Warszawa 1987 ss. 365.
- [87] Piaseczny A., FISH czyli automatyczny system identyfikacji (klasyfikacji) pisma ręcznego, (w:) Problemy Współczesnej Kryminalistyki, Warszawa 2003, t. 6, s. 191–194.
- [88] Plamond R., Lorette G., Automatic Signature Verification and Writer Identification: The State of the Art, Pattern Recognition, Vol. 22, No. 2, 1989, p. 107–131.
- [89] Plamond R., Srihari S. N., On-Line and Off-Line Handwriting Recognition: A Comprehensive Survey, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 22, No. 1, January 2000, p. 63–84.

- [90] Podręcznik użytkownika Adobe® Photoshop® CS dla systemów Windows® i Macintosh, Adobe Systems Incorporated 2003.
- [91] Ptak R., Handwriting size measurement by horizontal projection in digital images, (w:) Materiały International Conference on Signal and Electronic System (ICSES'2006), Łódź 2006, (w druku).
- [92] Ptak R., Metoda pomiaru i zastosowania cech strukturalnych obrazu pisma ręcznego (w:) Inżynieria wiedzy i systemy ekspertowe pod redakcją: Zdzisława Bubnickiego i Adama Grzecha, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2000, s. 326–333.
- [93] Ptak R., Metoda pomiaru wielkości pisma ręcznego z zastosowaniem rzutowania, Inżynieria komputerowa. Praca zbiorowa pod redakcją Wojciecha Zamojskiego, WKiŁ, Warszawa 2005, s. 36–49.
- [94] Ptak R., Obliczeniowa metoda pomiaru parametru aproksymującego współczynnik integracji pisma, (w:) Materiały XII Wrocławskiego Sympozjum Badań Pisma, Wrocław 7–9 czerwca 2006 r. (w druku).
- [95] Ptak R., Wybrane aspekty technicznego pomiaru cech pisma ręcznego dokonywanego przez systemy komputerowe, (w:) Logiczne podstawy opiniowania ekspertyz dokumentów a praktyka. Materiały XI Wrocławskiego Sympozjum Badań Pisma, Wrocław 16–18 czerwiec 2004, Wrocław 2006, s. 269–277.
- [96] Ptak R., Zastosowania metod komputerowych w analizie pismoznawczej (w:) VII Krajowa Konferencja Komputerowe Wspomaganie Badań Naukowych VII KK KOWBAN '2000 Materiały, Wrocław — Polanica Zdrój 26–28 października 2000 r, Wrocław 2000, s. 177–180.
- [97] Rutkowska D., Piliński M., Rutkowski L., Sieci neuronowe, algorytmy genetyczne i systemy rozmyte, PWN, Warszawa-Łódź 1997, ss. 411.
- [98] Saferstein R., *Criminalistic: An Introduction to Forensic Science* (eighth edition), Prentice Hall 2004, ss. 608.
- [99] Said H. E. S., Tan T. N., Baker K. D., Personal identification based on handwriting, *Pattern Recognition*, 2000, Vol. 33, No. 1, p. 149–160.
- [100] de Saint-Exupery A., *Mały Książę*, tł. z fr. Jan Szwykowski, Instytut Wydawniczy PAX, Warszawa 1994, ss. 83.
- [101] Schlapbach A., Bunke H., Off-line Handwriting Identification Using HMM Based Recognizers, 17th International Conference on Pattern Recognition (ICPR 2004), 4-Volume Set, 23-26 August 2004, Cambridge, UK. IEEE Computer Society, 2004, Vol. 2, p. 654–658.
- [102] Schlapbach A., Bunke H., Using HMM-based Recognizers for Writer Identification and Verification, *Proc. 9th Int. Workshop on Frontiers in Handwriting Recognition*, 2004, p. 167–172.
- [103] Schomaker L., Bulacu M., Automatic Writer Identification Using Connected-Component Contours and Edge-Based Features of Uppercase Western Script, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 26, No. 6, June 2004, p. 787–798.
- [104] Schomaker L., Bulacu M., Franke K., Automatic Writer Identification Using Fragmented Connected-Component Contours. In: *Proc. of 9th International Workshop on Frontiers in Handwriting Recognition (IWFHR)*, Tokyo, Japan, Los Alamitos: IEEE Computer Society, 2004, p. 185–190.
- [105] Senior A. W., Robinson A. J., An Off-Line Cursive Handwriting Recognition System, *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1998, Vol. 20, No. 3, p. 309–321.
- [106] Słowiński J., Dawna sztuka pisania a możliwości identyfikacji pisma, (w:) *Res Historica*, Wydawnictwo Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin 1998, z. 3, s. 209–219 + 4 il.
- [107] Słownik Terminów Pismoznawczych IES: <http://www.prawo.amu.edu.pl/katkry/zasoby/index.htm> (aktualizacja dnia 26 lipca 2005 r.).
- [108] Sobczak W., Malina W., *Metody selekcji i redukcji informacji*, WNT, Warszawa 1985, ss. 252.
- [109] System analizy obrazu LUCIA: <http://www.precoptic.pl/lucia.htm> (aktualne na dzień: 2006.03.03).
- [110] Szota-Koziczak A., Teoretyczna ocena przydatności figur geometrycznych w badaniach identyfikacyjnych podpisów, *Materiały II Wrocławskiego Sympozjum Badań Pisma Ręcznego*, 19–21 września 1985, Wrocław 1987, s. 165–174.
- [111] Tadeusiewicz R., Korohoda P., *Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów*, Wydawnictwo Fundacji Postępu Telekomunikacji, Kraków 1997, ss. 272.

- [112] Tadeusiewicz R., Flasiński M., Rozpoznawanie obrazów, PWN, Warszawa 1991, ss. 216.
- [113] Widła T., Cechy płci w piśmie ręcznym, Uniwersytet Śląski, Katowice 1986, ss. 171.
- [114] Widła T., Przypadkowe podobieństwo grafizmów, (w:) Materiały VII Wrocławskiego Sympozjum Badania Pisma, Wrocław 1996, s. 101–114.
- [115] Widła T., Rodzinne podobieństwo grafizmów, (w:) Problemy dowodu z dokumentu: materiały VIII Wrocławskiego Sympozjum Badań Pisma 17–19 czerwca 1998 r., Wrocław 2000, s. 207–219.
- [116] Vinciarelli A., Luettin J., A New Normalization Technique for Cursive Handwritten Words, Pattern Recognition Letters, 2001, Vol. 22, p. 1043–1050.
- [117] Yager R. R., Filev D. P., Podstawy modelowania i sterowania rozmytego, WNT, Warszawa 1995, ss. 388.
- [118] Zawada-Tomkiewicz A., Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 1999, ss. 78.
- [119] Zuo L., Wang Y., Tan T., Personal Handwriting Identification Based on PCA, Proc. Second International Conference on Image and Graphics (ICIG), Wei Sui, Ed. SPIE, Vol. 4875, Hefei (China) 2002, p. 766–771.

Skorowidz

A

Adobe Photoshop.....	34
alfabet	19
Analiza głównych składowych	13

B

baza wiedzy	21
biegły	<i>Patrz</i> ekspert
binaryzacja.....	40, 41

C

cecha pisma.....	17
cechy	
elementarne	32
kompleksowe	32
konstrukcyjne.....	29
mierzalne.....	29
motoryczne.....	29
podstawowe.....	32
przeciwnie	118
sprzeczne.....	118
syntetyczne.....	29
topograficzne.....	29
zbieżne	118
Corel Draw.....	34, 35

D

długość linii pisma	24
dolna linia ograniczająca pisma	25
drzewiec.....	23
dylatacja	72

E

ekspert.....	10
entropia	105
erozja	73
etykietowanie	101

F

FISH.....	34, 37
fraktal.....	20
funkcja podobieństwa	119

G

górną linia ograniczająca pisma.....	26
grafizm.....	<i>Patrz</i> warstwa pisma: graficzna
grafologia.....	10, 18
gramma	22
GRAPHOLOG.....	38

H

histogram	49, 92, 93, 94
-----------------	----------------

I

identyfikacja	
niezależna od treści tekstu.....	97

pisarza.....	107
systemów	108
zależna od treści tekstu	97

K

<i>Katalog graficznych cech pisma ręcznego</i> 18, 29, 137	
klasyfikacja.....	108
korpus	23
kryminalistyka.....	10
kwantyzacja.....	42

L

liczba kształtu	69
liczba obszarów spójnych.....	97
linia	
gabarytowa	63
pisma.....	24
podstawowa pisma.....	25
przykrywowa	71
liniatura.....	87
LUCIA.....	36

Ł

łącznik	23
łuk.....	23

M

Mapy samoorganizujące się Kohonena	13
materiał kryjący	24, 43, 46
Matlab.....	34, 77
MegaCad	34
metoda	
geometryczno-strukturalna	63
graficzno-porównawcza.....	45
grafometryczna	45
k-NN	109
miara Kołmogorowa.....	111
Microsoft Office	
Excel	34
Word	34
moment bezwładności	64

N

narzędzie pisarskie	19, 22
niedobór wypukłości	72
nóżka	23

O

obszar	
nadlinijny	26
podlinijny.....	26
spójny	97
śródlinijny.....	26
oczyszczanie	74
odbicie	72
off-line.....	19

on-line	19	szkieletyzacja	74
OpenOffice		Ś	
Calc	34	średnia linia podstawowa pisma	25
Write	34	średnica	
operacja trafi – nie trafi.....	74	Fereta	65
optyczne rozpoznawanie znaków	10	Martina	65
oś elipsy		środek ciężkości	63
mała.....	65	śródlinie	<i>Patrz</i> obszar śródlinijny
wielka.....	65	T	
otwarcie	73	tekstura	20
owal	23	trafność	14
P		trzon.....	23
parafa	27	U	
Perceptron	115	układ współrzędnych	
pochylenie		biegunowych.....	21
linii podstawowej pisma.....	27	kartezjańskich	21
pisma	27	Ukryte Modele Markowa	12
podłoże pisarskie	22	W	
podpis.....	27	WANDA.....	34
pole pisma.....	63	warstwa pisma	
pomiar	45	graficzna	17
powłoka wypukła.....	70	językowa.....	17
poziom integracji pisma.....	95	techniczna	17
proporcje	66	treściowa.....	17
przekształcenia morfologiczne.....	72	weryfikacja pisarza.....	107
przesunięcie	72	wiązanie.....	43, 145
przetwarzanie wstępne.....	13, 42, 49	wielkość pisma	48
R		współczynnik	
rozpoznawaniem	107	Blaira-Blissa	68
rzut obrazu	50	Danielsona	68
S		eliptyczny	67
sąsiedztwo.....	75	Fereta	67
czterospójne	75	Haralicka.....	68
ośmiospojne	75	integracji pisma.....	95
SCRIPT.....	34	kolistości.....	65
segmentacja.....	40, 43	kolistości kształtu Drainge-Basin	69
sieć neuronowa	115	kolistości kształtu Wadella	69
skala		korelacji Pearsona	32
ilorazowa.....	45	kształtu.....	66, 67
interwałowa.....	45	Malinowskiej	68
nominalna.....	45	promieni.....	67
porządkowa.....	45	wypukłości.....	71
<i>Słownik Terminów Pismoznawczych IES..</i>	22, 48	zwartości Hortona.....	67
stopień kolistości	67	Z	
subtelność pisma	28	zamknięcie.....	74
makrostrukturalna	28	zmienna	28
mikrostrukturalna	28	niezależna	28
podstawowa.....	28	zależna	28
system ekspertowy.....	19	znak diakrytyczny.....	23
szerokość			
linii pisma.....	24, 92		
pisma	24		

Spis ilustracji

Rys. 1. Układ współrzędnych stosowany do opisu obrazu.....	22
Rys. 2. Przykład podziału liter na grammy.....	24
Rys. 3. Sposób określania długości i szerokości linii pisma	25
Rys. 4. Linie w piśmie wyznaczające obszary: śródlinijny, nadlinijny i podlinijny	26
Rys. 5. Poglądowe zestawienie cech pisma ręcznego w odniesieniu do cech podstawowych i kompleksowych	32
Rys. 6. Przykład użycia narzędzia <i>Miarka</i> w programie Adobe Photoshop CE 7.0	35
Rys. 7. Zastosowanie narzędzia <i>Wymiary</i> w programie Corel DRAW 11	36
Rys. 8. Interfejs programu LUCIA Image z przykładem użycia narzędzia do pomiarów liniowych	37
Rys. 9. Przykłady obrazu linii pisma: a) obraz oryginalny; b) obraz ze zbalansowanym punktem bieli; c) obraz z usuniętym obrazem podłoża; d) obraz zbinaryzowany (próg=255)	46
Rys. 10. Sposób pomiaru wysokości gramm śródlinijnych do określania wysokości wyrazu.....	49
Rys. 11. Wyznaczanie punktów podstaw gramm	51
Rys. 12. Sposób korekcji obrazu pisma.....	52
Rys. 13. Przykład dokonanej korekcji położenia podstaw gramm w wyrazie: a) obraz początkowy; b) obraz skorygowany	52
Rys. 14. Przykład rzutu poziomego obrazu	53
Rys. 15. Model idealnego wykresu według Marti i Bunke	60
Rys. 16. Elipsa przybliżająca kształt elementu obrazu	65
Rys. 17. Wartości współczynnika Blaira-Blissa dla wybranych kształtów	68
Rys. 18. Parametry spotykane przy opisie kształtu za pomocą wieloboku	69
Rys. 19. Domknięcie wypukłe figury	71
Rys. 20. Przykład dylatacji: a) obraz oryginalny; b) kwadratowy element strukturalny i jego odbicie; c) dylatacja obrazu B przez element strukturalny S	73
Rys. 21. Przykład erozji: a) obraz oryginalny; b) kwadratowy element strukturalny i jego odbicie; c) erozja obrazu B przez element strukturalny S	73
Rys. 22. Ilustracja dopełnienia B^c podzbioru B w obrazie.....	74
Rys. 23. Sąsiedztwo a) czterospójne i b) ośmiospojne punktu p_0	75
Rys. 24. Elementy strukturalne do wyznaczania powłoki wypukłej: a) dla algorytmu Gonzalesa i Woodsa; b) dla algorytmu Nieniewskiego.....	75
Rys. 25. Przykładowe obrazy do wyznaczenia powłoki wypukłej.....	76
Rys. 26. Powłoka wypukła uzyskana algorytmem Gonzalesa i Woodsa	76
Rys. 27. Powłoka wypukła uzyskana algorytmem Nieniewskiego	76
Rys. 28. Powłoka wypukła uzyskana stosowanym w pracy algorytmem (kolorem ciemno szarym zaznaczono wierzchołki)	77
Rys. 29. Wykresy średnich wartości współczynnika wypukłości wybranych liter dla poszczególnych próbek pisma	80
Rys. 30. Wykresy średnich wartości odchylenia standardowego współczynnika wypukłości wybranych liter dla poszczególnych próbek pisma.....	80
Rys. 31. Zakres zmienności średniej wartości współczynnika wypukłości i zakres zmienności odchylenia standardowego współczynnika wypukłości dla badanych probantów w przypadku wybranych liter	81
Rys. 32. Wykresy średnich wartości współczynników wypukłości liter „a” i „i” dla poszczególnych próbek pisma	82

Rys. 33. Wykresy średnich wartości odchylenia standardowego współczynników wypukłości liter „a” i „i” dla poszczególnych próbek pisma	82
Rys. 34. Przykłady próbek liter „b”, „d” i „p” w kolejnych próbkach pisma: a)–f) próbki pisma odpowiednio dla 1–6 osoby.....	85
Rys. 35. Przykłady rzutów poziomych wybranych wyrazów z liniaturą; y oznacza współrzędną punktów obrazu o wartościach dyskretnych y_i , $p(y)$ oznacza wartości rzutu poziomego obrazu.....	88
Rys. 36. Rzut poziomy obrazu pokazujący położenie środka ciężkości obszaru śródliniowego względem liniatury oraz inne parametry	90
Rys. 37. Wykres histogramu liczby długości ciągów pikseli 0-1 (na wykresach pokazano tylko 40 pierwszych wartości odciętych)	94
Rys. 38. Przykłady wyznaczania wartości współczynnika integracji pisma wybranych układów poligramm	97
Rys. 39. Ilustracja obszaru spójnego	97
Rys. 40. Obrazy etykietowane służące do zliczenia elementów.....	98
Rys. 41. Przykłady wyrazów	99
Rys. 42. Trajektoria przebiegu linii pisma w przykładowych wyrazach. Liczby reprezentują domniemaną kolejność kreślenia gramm lub grup gramm	99
Rys. 43. Przykłady powiązania gramm; a), b) obrazy fragmentów wyrazów; c), d) obraz w dużym powiększeniu; e), f) obrazy zbinaryzowane.....	100
Rys. 44. Ilustracja kolejnych kroków algorytmu etykietowania obrazu: a) obraz binarny; b) obraz wstępnie poetykietowany; c) obraz z ostateczną postacią etykiet; d) etykiety obszarów, które spełniają wymóg minimalnej powierzchni.....	102
Rys. 45. Zestawienie średnich wartości współczynnika integracji pisma i odwrotności średnich wartości liczby obszarów spójnych dla dwóch grup próbek pisma: a) pierwsza próbka pisma; b) druga próbka pisma.....	104
Rys. 46. Przykład klasyfikacji obrazów do 4 klas	109
Rys. 47. Przykład klasyfikacji punktu p dla metody 3-NN	110
Rys. 48. Przykładowe rozkłady warunkowe zmiennych losowych cech dla czterech klas obiektów x_m (od x_1 do x_4)	112
Rys. 49. Schemat trójwarstwowej sztucznej sieci neuronowej	116

Spis tabel

Tabela 1. Przykładowy podział liter ze względu na liczbę składową gramm	23
Tabela 2. Katalog cech pisma ręcznego mierzonych komputerowo: systematyka cech	30
Tabela 3. Liczebność wybranych liter w poszczególnych próbkach pisma z 2. zestawu badawczego	41
Tabela 4. Optymalne wartości progów według klas wyrazów odniesione do wartości maksymalnych	54
Tabela 5. Wielkość pisma w poszczególnych próbkach pisma	55
Tabela 6. Wartości średniego błędu bezwzględnego i względnego pomiaru wielkości pisma dla mojej metody (stałe i ustalone progi $\alpha=25\%$ wartości maksymalnej)	57
Tabela 7. Wartości średniego błędu bezwzględnego i względnego pomiaru wielkości pisma dla mojej metody (dla optymalnych różnych progów)	57
Tabela 8. Wartości średniego błędu bezwzględnego i względnego pomiaru wielkości pisma dla metody Vinciarelli i Luettin	59
Tabela 9. Wartości średnich błędów pomiaru dla poszczególnych próbek pisma dla metody Marti i Bunke61	
Tabela 10. Wartości poszczególnych współczynników opisujących kształt obiektów	70
Tabela 11. Pola powłoki wypukłej uzyskiwane różnymi algorytmami	78
Tabela 12. Zestawienie wartości współczynnika wypukłości dla wybranych liter	79
Tabela 13. Wartości współczynnika korelacji współczynnika wypukłości i szerokości linii pisma	79
Tabela 14. Współczynniki korelacji pomiędzy współczynnikami wypukłości poszczególnych liter	83
Tabela 15. Wartości szerokości linii pisma dla wybranych rękopisów	93
Tabela 16. Średnie wartości współczynnika WI i odwrotności średnich wartości współczynnika LOS	103
Tabela 17. Wartości entropii dla próbek pisma różnych wykonawców (w skali liniowej i logarytmicznej)	105
Tabela 18. Wartości błędów rozpoznawania w metodzie k-NN dla próbek po 25 wyrazów w przypadku losowego doboru cech	114
Tabela 19. Wartości błędów rozpoznawania w metodzie k-NN dla próbek po 25 wyrazów w przypadku cech dobranych miarą Kołmogorowa	114
Tabela 20. Zależność względnego błędu pomiarowego od liczby cech stosowanych w metodzie k-NN dla zestawu próbek nr 1, 4	115
Tabela 21. Wartości błędów pomiarowych uzyskiwanych za pomocą SSN	117

Dodatki

Katalog Graficznych Cech Pisma Ręcznego IES — cytowany za [51].

Przykładowe próbki pisma z zestawu badawczego nr 1.

1. CECHY SYNTETYCZNE

1.1. TYP PISMA:

- zwykłe,
- blokowe (techniczne),
- na wzór druku,
- szablonowe,
- inne;

1.2. STOPIEŃ NATURALNOŚCI:

- naturalne,
- nienaturalne:
 - zamierzone,
 - niezamierzone;

1.3. ETAP ROZWOJU PISMA:

- szkolne,
- dojrzałe,
- starcze;

1.4. KLASA PISMA:

- wyrobione,
- średnio wyrobione,
- niewyrobione;

1.5. OGÓLNY OBRAZ PISMA:

- owalne,
- okrągłe,
- kątowe;

1.6. STOPIEŃ STARANNOŚCI:

- staranne,
- niestaranne;

1.7. CZYTELNOŚĆ:

- czytelne,
- częściowo czytelne,
- nieczytelne;

1.8. UZUPEŁNIENIA:

- poprawki,
- retusze,
- przekreślenia,
- wstawki,
- podkreślenia;

1.9. SPOSÓB WYKONANIA:

- ręką nawykłą do pisania,
- ręką nienawykłą do pisania,
- inne sposoby;

1.10. INNE CECHY SYNTETYCZNE:

- ozdoby,
- grifonaże ¹,
- manieryzmy ²,
- inicjały,
- pozostałe.

¹ „Grifonaże to spontaniczne wytwory graficzne w formie rysunków, często abstrakcyjnych, rozmieszczonych przeważnie na marginesach dokumentów” [107].

² „Manieryzmy to zaskakujące, nienaturalne ze względu na ekonomię ruchu pisarskiego rozwiązania graficzne w piśmie, wynikające z upodobań, maskowania albo będące objawem patologii. (...) Przykłady manieryzmów w piśmie to: 1) sposób i miejsce pisania dat, np. umieszczanie daty w górnym lewym rogu dokumentu; 2) rozmieszczanie wierszy pisma ukośnie do formatu podłoża; 3) zdobienie elementów liter usytuowanych w środku wyrazów” [107].

2. CECHY TOPOGRAFICZNE

2.1. MARGINES LEWY:

- kształt:
 - prosty,
 - wypukły,
 - wklęsły,
 - nieregularny;
- tendencja:
 - prosty (pionowy),
 - lewoskośny,
 - prawoskośny;
- wielkość ... (w mm);
- proporcje:
 - zmniejszony,
 - proporcjonalny,
 - powiększony;

2.2. MARGINES PRAWY: jw.

2.3. MARGINES GÓRNY:

- kształt:
 - prosty,
 - wypukły,
 - wklęsły,
 - nieregularny;
- tendencja:
 - prosty,
 - lewoskośny,
 - prawoskośny;
- wielkość ... (w mm);
- proporcje:

- zmniejszony,
- proporcjonalny,
- powiększony;

2.4. MARGINES DOLNY: jw.

2.5. WCIĘCIA AKAPITOWE:

- głębokość ... (liczba znaków);
- częstość;

2.6. UKŁAD WIERSZY WZGLĘDEM SIEBIE:

- równoległe,
- zbieżne,
- rozbieżne,
- nieregularne;

2.7. UKŁAD ZNAKÓW WZGLĘDEM SIEBIE: jw.

2.8. UKŁAD ZNAKÓW, WYRAZÓW I WIERSZY WZGLĘDEM LINIATURY:

- nad linią,
- na linii,
- po linii,
- pod linią,
- niezależnie od liniatury;

2.9. LINIA WYRAZÓW I WIERSZY:

- kształt:
 - prosta,
 - zagięta,
 - łukowała,
 - łamana,
 - falista;
- kierunek (tendencja linii podstawowej):

- poziomy,
- wznoszący się,
- opadający;

2.10. ODSZTĘPY MIĘDZY WIERSZAMI:

- wzorcowe (odstęp = 3 pasma śródlinijne),
- zmniejszone,
- powiększone;

2.11. ODSZTĘPY MIĘDZY WYRAZAMI:

- przeciętne (1,5–2.0 pasm śródlinijnych),
- zmniejszane,
- powiększone;

2.12. ODSZTĘPY MIĘDZY ZNAKAMI:

- wzorcowe (odstęp między pionowymi elementami sąsiednich znaków = średniej szerokości liter: h, n, u),
- zmniejszone,
- powiększone;

2.13. ROZMIESZCZENIE ADRESÓW:

- pionowe:
 - po stronie lewej,
 - po stronie prawej,
 - w środku;
- poziome:
 - u góry,
 - na dole,
 - w środku;

2.14. ROZMIESZCZENIE DAT:

- pionowe:
 - po stronie lewej,

- po stronie prawej,
- w środku;
- poziome:
 - u góry,
 - na dole,
 - w środku;

2.15. ROZMIESZCZENIE NAGŁÓWKÓW:

- po stronie lewej,
- po stronie prawej,
- w środku;

2.16. ROZMIESZCZENIE PODPISÓW:

- w rękopisach:
 - podpisy są ciągłością tekstu,
 - podpisy pod tekstem po lewej stronie,
 - podpisy pod tekstem po prawej stronie,
 - podpisy pod tekstem w środku;
- w dokumentach z nadrukiem.

3. CECHY MOTORYCZNE

3.1. TEMPO PISANIA (SZYBKOŚĆ):

- tempo określane bezwzględnie:
 - małe,
 - średnie,
 - duże;
- tempo określane w ramach próbki pisma:
 - stałe,
 - zmienne;
- tempo określane względem normy osobniczej:
 - zwolnione,
 - naturalne,

- przyspieszone;

3.2. IMPULS:

- gramkowy,
- literowy,
- sylabowy,
- wyrazowy,
- wielowyrazowy;

3.3. NASTĘPSTWO ELEMENTÓW GRAFICZNYCH:

- w pojedynczych literach lub cyfrach,
- w zespołach graficznych;

3.4. NACISK (CIENIOWANIE):

- kierunek (zwrot) nacisku:
 - wstępujący,
 - zstępujący,
 - w lewo,
 - w prawo;
- siła nacisku:
 - mała,
 - średnia,
 - duża;
- równomierność nacisku:
 - stały (niezróżnicowany),
 - zmienny:
 - rytmiczny,
 - nierytmiczny;
- miejsce wzmożenia nacisku:
 - na górze,
 - na dole,
 - z lewej strony znaku,
 - z prawej strony znaku.

4. CECHY MIERZALNE

4.1. POLE PISMA:

- pole tekstu,
- pole wiersza,
- pole wyrazu,
- pole znaku;

4.2. WIELKOŚĆ PISMA:

- pismo drobne (pasma śródlinijne do 1,5 mm>),
- pismo małe (1,5–2,5 mm>),
- pismo średnie (2,5–4,0 mm>),
- pismo duże (4,0 mm–6,0 mm>),
- pismo bardzo duże (ponad 6,0 mm);

4.3. SZEROKOŚĆ ZNAKÓW:

- proporcjonalne,
- smukłe,
- szerokie;

4.4. PROPORCJE WYSOKOŚCI ELEMENTÓW NADLINIJNYCH DO WYSOKOŚCI ZNAKÓW ŚRÓDLINIJNYCH:

- zmniejszone (do 1,5>),
- średnie (1,5–2,5>),
- powiększone (2,5–3,0>),
- przesadne (ponad 3,0);

4.5. PROPORCJE WYSOKOŚCI ELEMENTÓW PODLINIJNYCH DO WYSOKOŚCI ZNAKÓW ŚRÓDLINIJNYCH:

- zmniejszone (do 1,5>),
- średnie (1,5–2,5>),
- powiększone (2,5–3,0>),

- przesadne (ponad 3,0);

4.6. NACHYLENIE PISMA:

- pismo prawoskośne,
- pismo proste (80° – 90°),
- pismo lewoskośne,
- pismo o zmiennym nachyleniu,
- pismo wachlarzowate.

5. CECHY KONSTRUKCYJNE

5.1. BUDOWA ZNAKÓW

5.2. ODMIANY ZNAKÓW:

- występują odmiany:
 - w znakach: ...,
 - liczba odmian dla każdego znaku: ...,
 - usytuowanie odmian: ...;
- brak odmian;

5.3. BUDOWA WIAZAŃ:

- wiązania girlandowe,
- wiązania arkadowe,
- wiązania kątowe,
- wiązania stykowe,
- wiązania pętlicowe,
- brak wiązań;

5.4. FORMY POWTARZALNE:

- występują w:
 - elementach nadlinijnych (trzonach),
 - elementach podlinijnych,
 - elementach śródlinijnych,
 - adiustacjach,

- wiązaniach,
- innych elementach znaków;
- brak form powtarzalnych.

6. DODATKOWE CECHY PODPISÓW

6.1. RODZAJ PODPISU:

- pełnobrzmiący,
- skrócony,
- parafa,
- monogram;

6.2. ODNIESIENIE DO KLASY I OBRAZU PISMA:

- o klasie lub obrazie zbliżonym do pisma,
- o klasie lub obrazie innym niż pismo.

Przykładowe próbki pisma z zestawu badawczego nr 1

Próbka pisma nr 1 (w skali ok. 1:1,38)

Gdy miałem sześć lat, zobaczyłem pewnego razu wspaniały obrazek, w książce opisującej puszczę drzewiczą. Książka nazywała się „Historie prawdziwe”. Obrazek przedstawiał węża boa, gotującego drogiego zuberę. Dorosli poradzi mi, abym porucił rysowanie węża zamkniętych drzwi oraz otwartych i abym się raczej zajął geografis, historią, arytmetyką i gramatyką. W ten sposób mając lat sześć, poruciłem wspaniałe zawody malarskie. Zrazem się niepowodzeniem rysunku numer 1 i numer 2. Dorosli nigdy nie potrafili sami zrozumieć. A dzieć bardzo mocno koniecznie stałego objaśnienia. Musiałem wybrać sobie inny zawód: zostałem pilotem. Lataniem całym świecie i muszę przyznać, że znajomość geografii bardzo mi się przydała. Trafiłem jednym razem do dwóch Chin od Arizony. Ta wiedza oddaje duże usterki, szczególnie wówczas, gdy się błędnie nocą.

Zawód pilota był mi ciężki do kłopotliwych gotowań z wieloma powołanymi ludźmi. Wiele czasu spędziłem z dorosłymi. Obserwowałem ich z bliska. Lecz to nie zmieniło mego opinii o nich. Gdy spotykałem dorosłe osoby, która wydawała mi się trochę mądrzejsza, robiłem na niej doświadczenie z moim rysunkiem numer 1, który stale nosiłem przy sobie. Chciałem wiedzieć, czy mam do wypełnienia z osobą racjonalne pojęcie. Lecz za każdym razem odpowiadało mi: - To jest kapelusze. - Wobec tego nie rozmawiałem ani o węży bo, ani o lasach drzewiczych, ani o piwardach. Starłem się być na poziomie mego rozmówcy. Rozmawiałem o grydku, golfie, polityce i krawatach. A dorosły był zadowolony, że poznał tak rozsądnego człowieka.

Próbka pisma nr 2 (w skali ok. 1:1,38)

Gdy miałem 6 lat zobaczyłem pewnego razu wspaniały obrazek w książce opisującej puszcę olziewiczą. Książka nazywała się "Historie prawdzine", obrazek przedstawiał węży boa polującego drapieżne zwierzę. Dorosli poradzili mi abym porzucił rysowanie węży zamkniętych oraz otwartych. Abym się raczej zajął geografiją, historią, arytmetyką i gramatyką. Mając lat 6 porzuciłem wspaniałą karierę malarbką. Zraziłem się niepowodzeniem rysunku nr 1 i nr 2. Dorosli nigdy nie potrafili sami zrozumieć, a dzieci bardzo mocno konieczność stałego wyjaśniania. Musiałem wybrać inny zawód, zostałem pilotem. Lataniem po całym świecie i muszę przyznać, że znajomość geografii bardzo mi się przydała. Potrafiłem jednym rzutem oka odróżnić Chiny od Arizony. Ta wiedza oddaje duże usługi szczególnie wówczas gdy się błądzi nocą. Zawód pilota dał mi okazję do licznych spotkań z wieloma poważnymi ludźmi. Wiele czasu spędziłem z dorosłymi i obserwowałem ich z bliska, lecz to nie zmieniło mej opinii o nich. Gdy spotkałem dorosłą osobę, która wydawała mi się trochę mądrzejsza, zobitem na niej doświadczenie z moim rysunkiem nr 1, który stale nosiłem przy sobie. Chciałem wiedzieć czy mam do czynienia z osobą rzeczywiście pojętną. Lecz za każdym razem odpowiadało mi, że to jest kapelusz. Wobec tego nie rozmawiałem ani o węzach boa, ani o losach dziewczycy, ani o gwiazdach. Starałem się być na poziomie mego rozmowcy. Rozmawiałem o brydżu, golfie, polityce i krawatach, a dorosły był zadowolony, że poznał tak rozsądnego człowieka.