

Biblioteka Główna
i Ośrodek Informacji Naukowo-Technicznej
Politechniki Wrocławskiej

Raport serii PRE 152

METODA WYSZUKIWANIA INFORMACJI W BAZIE OPISÓW PROBLEMÓW NAUKOWYCH

rozprawa doktorska

Janusz Sobecki

Słowa kluczowe: wyszukiwanie informacji,
problem naukowy, system
informacyjny, hypertext

Promotor:

prof. dr hab. inż. Zbigniew Huzar

Wrocław 1994

Mgr inż. Janusz Sobecki

Biblioteka Główna i Ośrodek
Informacji Naukowo-Technicznej
Politechniki Wrocławskiej

Zakład Systemów Informacyjnych
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

Raport wpłynął do Redakcji
Biblioteki Główniej i OINT
Politechniki Wrocławskiej
10.01.1994 r.

Promotorowi Panu prof. dr hab. inż. Zbigniewowi Huzarowi pragnę złożyć podziękowania za stałą pomoc w trakcie pisania pracy.

Panu prof. dr hab. inż. Czesławowi Daniłowiczowi składam podziękowanie za zainspirowanie moich zainteresowań zagadnieniami wyszukiwania informacji o problemach naukowych.

Szczególne wyrazy podziękowania składam współpracownikom Zakładu Systemów Informacyjnych biorących udział w przeprowadzonych eksperymentach.

Wdzięczny jestem Pani mgr Barbarze Makarskiej za sprawną i szybką redakcję mojej pracy.

Chciałbym także podziękować mojej żonie za wykazaną cierpliwość i udzieloną pomoc w trakcie pisania mojej pracy.

SPIS TREŚCI

WSTĘP	6
1. REPREZENTACJA PROBLEMU NAUKOWEGO W SYSTEMIE WYSZUKIWANIA INFORMACJI	13
1.1. Określenie pojęcia problem naukowy	13
1.2. Struktura opisu problemu naukowego	17
1.3. Baza opisów problemów naukowych	20
1.4. System Wyszukiwania Informacji o Problemach Naukowych (SWIP)	22
1.5. Porównanie efektywności wyszukiwania systemów: SWIP i bibliograficznego	25
2. MODEL ROZSZERZONEGO WIELOWARTOŚCIOWEGO SYSTEMU INFORMACYJNEGO	29
2.1. Model wielowartościowego systemu informacyjnego	29
2.1.1. Wielowartościowy system informacyjny	29
2.1.2. Język wielowartościowego systemu informacyjnego	32
2.2. Model rozszerzonego wielowartościowego systemu informacyjnego	35
2.2.1. Rozszerzony wielowartościowy system informacyjny	36
2.2.2. Język rozszerzonego wielowartościowego systemu informacyjnego	41
3. METODA WYSZUKIWANIA INFORMACJI W ROZSZERZONYM WIELOWARTOŚCIOWYM SYSTEMIE INFORMACYJNYM	42
3.1. Przestrzeń stanów rozszerzonego wielowartościowego systemu informacyjnego	43
3.2. Język L_{sr} w przestrzeni stanów U	46
3.3. Wyszukiwanie informacji w przestrzeni stanów rozszerzonego wielowartościowego systemu informacyjnego	47
3.3.1. Algorytm heurystycznego przeszukiwania przestrzeni stanów U	48
3.3.2. Uporządkowanie zbioru odpowiedzi	51
3.4. Analiza strategii przeszukiwania przestrzeni stanów	52

	5
3.4.1. Zbieżność strategii przeszukiwania.....	52
3.4.2. Dopuszczalność strategii A	53
3.4.3. Złożoność strategii A*	53
4. WYSZUKIWANIE INFORMACJI W BAZIE OPISÓW PROBLEMÓW NAUKOWYCH.....	55
4.1. Baza opisów problemów naukowych w modelu rozszerzonego wielowartościowego systemu informacyjnego	59
4.1.1. Język systemu Sr_{SWTP}	60
4.2. Przestrzeń stanów systemu Sr_{SWTP}	61
4.2.1. Przestrzeń $U_{Sr_{SWTP}}$	61
4.2.2. Stan początkowy przestrzeni stanów systemu Sr_{SWTP}	62
4.2.3. Zbiór przekształceń przestrzeni $U_{Sr_{SWTP}}$	63
4.2.4. Określenie przestrzeni stanów systemu Sr_{SWTP}	74
4.3. Postać zbioru odpowiedzi	74
4.3.1. Modyfikacja zasad tworzenia zbioru odpowiedzi.....	75
5. EKSPERYMENTALNA OCENA EFEKTYWNOŚCI METODY WYSZUKIWANIA W BAZIE OPISÓW PROBLEMÓW NAUKOWYCH.....	76
5.1. Opis eksperymentu	77
5.1.1. Implementacja metody MMCW	81
5.2. Miary efektywności wyszukiwania.	82
5.3. Wyniki przeprowadzonego eksperymentu.	85
5.4. Omówienie wyników eksperymentu.....	92
6. PODSUMOWANIE.....	95
LITERATURA	100
DODATEK A	106
DODATEK B	110

WSTĘP

Wymiana informacji jest istotą nauki. Niektórzy metodolodzy twierdzą nawet, że za działalność naukową można uznać tylko taką, której efekty zostały opublikowane [Pri 73], gdyż tylko one wzbogacają wiedzę naukową. Na podstawie tej wiedzy są stawiane i rozwiązywane nowe problemy naukowe [Bun 67]. Rozwiązania problemów wprowadzane są obecnie w obieg informacji w danej dziedzinie nauki poprzez publikację, np. w czasopismach naukowych, w materiałach konferencyjnych czy monografiach pomnażając zasoby wiedzy.

Korzystanie z tak rozbudowanych zasobów byłoby utrudnione bez wydawnictw informacyjnych, takich jak indeksy cytowań czy wydawnictwa abstraktowe. Ich rolę coraz częściej przejmują skomputeryzowane systemy wyszukiwania informacji, głównie różnego rodzaju systemy bibliograficzne. Jednakże posiadają one wiele wad, które powodują, że obecnie wykorzystanie systemów bibliograficznych jest niewielkie [Sar 88]. Przede wszystkim systemy te nie są przystosowane do potrzeb naukowców pracujących nad rozwiązywaniem problemów naukowych. Wynika to z wielu przyczyn, spośród których można wymienić następujące:

- a) użytkownicy systemów bibliograficznych mają bardzo często trudności z samodzielnym wyszukiwaniem informacji i są zmuszeni do korzystania z pośrednictwa służb informacyjnych [Sew 86];
- b) korzystanie z usług służb informacyjnych prowadzi z jednej strony do otrzymywania gorszych odpowiedzi, niż w przypadku, gdyby wyszukiwania dokonywał bezpośrednio zainteresowany użytkownik odpowiednio przeszkolony w obsłudze systemu wyszukiwania [Ing 86], a z drugiej strony prowadzi do wzrostu kosztów utrzymania systemu informacyjnego;
- c) dostęp do treści dokumentów, których opisy bibliograficzne zostały wyszukane, jest często utrudniony bądź też niemożliwy [Sal 83];
- d) nawet pobieżny przegląd treści wyszukanych dokumentów rodzi bardzo często nowe potrzeby informacyjne, których zaspokojenie wymaga ponownego odwołania się do pomocy systemu bibliograficznego [Dav 90];

- e) bazy systemów bibliograficznych zawierają obok dokumentów problemowych także dokumenty nieproblemowe, a dostępne mechanizmy wyszukiwania nie pozwalają na ich wyselekcjonowanie [Cho 90].

Prace w dziedzinie wyszukiwania informacji poszukują różnych dróg prowadzących do wyeliminowania lub przynajmniej do ograniczenia powyższych wad. Niedogodności systemów bibliograficznych wymienione w punktach a) i b) mogą zostać usunięte, o ile system zostanie wyposażony w przyjazny dla użytkownika interfejs. Najbardziej naturalną formą komunikacji między ludźmi jest język naturalny, więc wykorzystanie go jako języka komunikacji systemu bibliograficznego pozwoli uwolnić użytkownika od konieczności posługiwania się sformalizowanymi językami komunikacyjnymi i informacyjnymi [Davi 86, Kem 88, Sob 88]. Oczywiście, komunikacja w języku naturalnym jest najbardziej dogodna, gdy odbywa się w języku ojczystym użytkownika systemu [Vet 88]. Innym sposobem wyeliminowania tych wad jest wykorzystanie do formułowania instrukcji wyszukiwawczej zestawu menu, pozwalającego dobrać odpowiednie terminy z tezaursu; jako przykład takiego rozwiązania może służyć system CANSEARCH [Pol 87].

Wady wymienione w punktach c) i d) można wyeliminować poprzez wykorzystanie systemów hipertekstowych [Con 87, Sch 89]. Uważa się nawet, że hipertekst stanie się rewolucyjną techniką, m.in. w obiegu informacji w nauce [Dav 90]. Najprostszą definicję hipertekstu przytoczył Roy Rada: '**hipertekst**, to *tekstowa baza danych + sieć semantyczna + interfejs*' [Rad 89]. Hipertekst jest ideą bardzo ogólną i do tej pory w opisach powstających systemów zwraca się większą uwagę na techniki i mechanizmy hipertekstu, niż na charakter informacji zawartych w tych systemach [Sca 89]. Należy sądzić, że pewna strukturalizacja informacji, odpowiednia do zakładanego zastosowania, może przynieść pozytywne efekty, tzn. poprawić efektywność wyszukiwania informacji.

W systemach hipertekstowych wykorzystuje się zwykle dwa sposoby dostępu do informacji. Pierwszy umożliwia użytkownikowi zlokalizowanie informacji na podstawie jej semantycznej reprezentacji. Drugi pozwala na przechodzenie z jednego elementu do drugiego na podstawie łączących je odsyłaczy. Metody wyszukiwania informacji stosowane

w tych systemach są raczej proste i w większości wypadków obejmują wyszukiwanie pełnotekstowe, czasem uzupełnione o wyszukiwanie z wykorzystaniem słów kluczowych [Sch 89]. Wyszukiwanie pełnotekstowe nie wymaga, co prawda, ponoszenia znacznych nakładów na indeksowanie, jednak przeprowadzone dla bardzo dużych baz badania efektywności wyszukiwania tej metody, mierzonej za pomocą powszechnie używanych miar kompletności i dokładności [Spa 81], pokazały, że kompletność wyszukiwania jest raczej niska i wynosi zaledwie ok. 20% [Bla 86, Bla 90].

Na gruncie krytyki systemów bibliograficznych oraz hipertekstowych została opracowana koncepcja reprezentacji problemów naukowych w systemie wyszukiwania informacji. Koncepcja ta wywodzi się z przedstawionego powyżej poglądu głoszącego, że wiedza naukowa jest wzbogacana na drodze rozwiązywania problemów naukowych. Aby umożliwić reprezentację problemów naukowych w systemie wyszukiwania informacji została opracowana struktura opisu problemu naukowego [Dan 86]. Wyróżniono w niej trzy główne elementy, a mianowicie: *dane*, *transformacje* oraz *wyniki* rozwiązania problemu. Dodatkowo każdy opis został uzupełniony odsyłaczami do problemów związanych.

W celu weryfikacji koncepcji reprezentacji problemów naukowych w systemie wyszukiwania informacji, w oparciu o strukturę opisu problemu naukowego zostały opracowane opisy problemów naukowych z zakresu kompresji obrazów [Dan 89c], a następnie został zaprojektowany oraz oprogramowany system wyszukiwania informacji o problemach naukowych (SWIP) [Cho 90].

Użytkownik systemu SWIP, podobnie jak w przypadku systemów hipertekstowych, może posłużyć się dwoma rodzajami wyszukiwania: wyszukiwaniem na podstawie semantycznej reprezentacji opisów oraz wyszukiwaniem na podstawie odsyłaczy hipertekstowych, reprezentujących powiązania pomiędzy opisami problemów. Powiązania pomiędzy problemami są odpowiednikami cytowań w publikacjach naukowych. Cytowania są także wykorzystywane w wyszukiwaniu informacji, np. przez Science Citation Index (SCI) [Gar 79]. Ciekawe rezultaty przyniosły eksperymenty porównujące efektywność wyszukiwania metod opartych na semantycznej zawartości dokumentów oraz na

cytowaniach [Pao 89]. Pokazały one, że co prawda, pierwsza z metod jest bardziej efektywna, jednak druga, oparta na cytowaniach, wyszukuje takie relewantne dokumenty, które nie są wyszukiwane przez metodę opartą na semantycznej zawartości dokumentów.

Jako, że cytowania reprezentują także pewien rodzaj relacji pomiędzy obiektami reprezentowanymi w bazie informacyjnej, można założyć, iż odpowiednie wykorzystanie takich relacji w procesie wyszukiwania w bazie opisów problemów naukowych przyczyni się do poprawy efektywności wyszukiwania informacji w tej bazie.

Stąd teza niniejszej pracy brzmi:

Efektywność systemu wyszukiwania informacji o problemach naukowych może ulec poprawie, o ile charakterystyka wyszukiwawcza każdego z tych opisów oparta na jego semantycznej zawartości będzie modyfikowana z uwzględnieniem semantycznej zawartości opisów problemów z nim powiązanych.

W pracy zaproponowano metodę wyszukiwania informacji z bazy opisów problemów naukowych wykorzystującą związki zachodzące pomiędzy nimi. Przy konstrukcji tej metody przyjęto założenie, że informacji o opisie problemu dostarcza nie tylko treść tego opisu, ale także treść opisów problemów z nim powiązanych.

Językami najczęściej stosowanymi w systemach wyszukiwania informacji są języki oparte o semantyczną reprezentację treści obiektów bazy systemu, stąd informacje dotyczące ich powiązań należy w jakiś sposób "przełożyć" na reprezentację semantyczną. Zaproponowano więc, że charakterystykę wyszukiwawczą opisu problemu (obejmującą m.in. *słowa kluczowe*, *nazwy*, *danych*, *transformacji* i *wyników* opisu problemu) można rozszerzyć o charakterystykę wyszukiwawczą opisu problemu, który jest z nim powiązany [Sob 93]. Analiza opisów problemów naukowych wchodzących w skład bazy systemu SWIP pozwoliła określić kilka typów powiązań pomiędzy opisami problemów [Cho 90]. Na ich podstawie można proponować różne możliwe sposoby modyfikacji charakterystyk wyszukiwawczych opisów problemów. Modyfikacje w proponowanej metodzie, zwanej skrótowo MMCW, reprezentowane są jako pewien zestaw przekształceń (lub inaczej reguł). Przekształcenia te są przeprowadzane w zależności od postaci konkretnej instrukcji

wyszukiwawczej. Zadaniem metody jest więc wybór odpowiednich charakterystyk opisów problemów, przekształceń oraz kolejności ich przeprowadzania, które pozwolą na wyszukanie dodatkowych opisów na zadaną instrukcję wyszukiwawczą.

Baza opisów problemów może liczyć wiele tysięcy elementów, przy czym każdy z nich może być powiązany z wieloma innymi opisami, które z kolei pociągają za sobą możliwość przeprowadzenia przynajmniej kilku przekształceń. Dodatkowo przekształcenia te mogą być składane. Nie jest więc możliwe, ze względów czasowych i pamięciowych, przeprowadzenie wszystkich dopuszczalnych przekształceń. W takich przypadkach stosuje się algorytmy przeszukiwania heurystycznego [Nil 80], które powstały na gruncie sztucznej inteligencji. Polegają one zwykle na doborze takich ścieżek przeszukiwania, które według zadanej heurystyki prowadzą najkrótszą drogą do celu, bardzo często pomijając ścieżki nie rokujące nadziei na dotarcie do niego.

W celu formalnego opisanie metody MMCW został zbudowany model rozszerzonego wielowartościowego systemu informacyjnego, który jest modyfikacją modelu wielowartościowego [Paw 83]. Na jego podstawie została określona przestrzeń stanów rozszerzonego wielowartościowego systemu informacyjnego, która powstaje na drodze przeprowadzania przekształceń charakterystyk wyszukiwawczych.

W rozdziale pierwszym przedstawiono ideę wykorzystania reprezentacji problemu naukowego w systemie wyszukiwania informacji. Prezentowane są tu rezultaty prac prowadzonych w ramach zlecenia "Opracowanie i weryfikacja metody reprezentacji problemów naukowych w systemach wyszukiwania informacji" przedstawionych w [Cho 90]. Rozdział ten obejmuje: określenie pojęcia problemu naukowego, opis struktury problemu naukowego, opis systemu wyszukiwania informacji (SWIP) oraz porównanie efektywności systemu SWIP z systemem bibliograficznym.

W rozdziale drugim został opisany model rozszerzonego wielowartościowego systemu informacyjnego. Opis modelu obejmuje definicję podstawowych pojęć, w tym definicję języka informacyjnego, oraz charakterystykę podstawowych własności systemu. Ponieważ model ten jest modyfikacją modelu wielowartościowego systemu informacyjnego [Paw 83], jego podstawowe definicje i własności również zostały przytoczone.

W rozdziale trzecim przedstawiono opis formalny proponowanej metody MMCW. Opis metody obejmuje określenie przestrzeni stanów rozszerzonego wielowartościowego systemu informacyjnego, języka informacyjnego oraz metody wyznaczenia znaczenia termów należących do tego języka.

W rozdziale czwartym przedstawiono implementację metody MMCW w przypadku, gdy rozszerzony wielowartościowy system informacyjny reprezentuje problemy naukowe. Implementacja ta polegała głównie na określeniu zestawu przekształceń przestrzeni stanów systemu informacyjnego. Zestaw przekształceń został podzielony na cztery grupy w zależności od relacji warunkującej jego przeprowadzenie. Opis przekształceń obejmuje opis formalny i słowny przekształcenia, jego uzasadnienie oraz przykład z bazy opisów problemów naukowych. W rozdziale tym scharakteryzowano także postać zbioru odpowiedzi systemu oraz możliwość jego uporządkowania ze względu na malejącą relewancję (w stosunku do pytania).

W rozdziale piątym opisany został eksperyment porównujący efektywność dwóch metod wyszukiwania informacji w bazie opisów problemów naukowych systemu SWIP. Pierwsza z nich to proponowana w niniejszej pracy metoda MMCW. Druga, natomiast, to metoda nie uwzględniająca modyfikacji charakterystyk wyszukiwawczych opisów problemów naukowych, opisana formalnie w rozdz. 2 jako język wielowartościowego systemu informacyjnego. Podstawą porównania były trzy zasadnicze parametry: kompletność, dokładność i czas wyszukiwania. W eksperymencie brało udział 7 uczestników, którzy zadali w sumie 36 pytań informacyjnych. Ocenę relewancji przyznawali zarówno zadający pytania, jak i prowadzący wyszukiwania. Jako miarę efektywności wyszukiwania wykorzystano m.in. liczbę bezwzględną, różnicę oraz procentowy wzrost liczby wyszukanych opisów relewantnych, a także dokładność, makrodokładność, mikrodokładność oraz czas wyszukiwania. Wyniki eksperymentu zostały omówione oraz przedstawione w tabelach i wykresach. Istotność statystyczną otrzymanych wyników zbadano za pomocą testu znaków.

Pracę kończy podsumowanie, w którym obok krótkiego streszczenia pracy oraz przytoczenia jej najważniejszych wyników, umieszczono także informacje dotyczące możliwości rozszerzenia zastosowania proponowanej metody.

1. REPREZENTACJA PROBLEMU NAUKOWEGO W SYSTEMIE WYSZUKIWANIA INFORMACJI

Niniejszy rozdział jest krótkim streszczeniem prac wykonanych w ramach zlecenia KASK cel nr 48 pt. "Weryfikacja metody reprezentacji problemów naukowych w systemie wyszukiwania informacji" wykonanych przez zespół pracowników Zakładu Systemów Informacyjnych pod kierownictwem prof. Czesława Daniłowicza. Moim indywidualnym wkładem w prace tego zespołu było m.in. zaprojektowanie oraz zaimplementowanie oprogramowania Systemu Wyszukiwania Informacji o Problemach Naukowych (SWIP). Dokładne informacje na temat prac zrealizowanych w ramach tego zlecenia można znaleźć w pracach [Dan 86, Tra 87, Sie 87, Sob 87, Dan 89a, Dan 89b, Dan 89c] oraz ich podsumowanie w pracy [Cho 90].

1.1. Określenie pojęcia *problem naukowy*

Problem oraz problem naukowy stanowią przedmiot zainteresowania przynajmniej kilku dziedzin nauki [Sob 87]. Należą do nich głównie: naukoznawstwo, psychologia, logika i sztuczna inteligencja [Koz 69b, Ster 85, Ajd 75, Sim 81]. Fakt ten pociąga za sobą spore zróżnicowanie w definiowaniu tych pojęć. Na gruncie psychologii problem utożsamiany jest często z pewnym zadaniem (sytuacją), którego podmiot nie może rozwiązać na podstawie posiadanej wiedzy, a jedynie na drodze myślenia produktywnego, które prowadzi do wzbogacenia wiedzy podmiotu [Koz 69a]. Problemy w rozumieniu psychologii są subiektywne (podmiotowe), natomiast problemy naukowe są obiektywne i nazywane socjologicznymi [Rud 75a, Rud 76]. Problemy naukowe nie powstają w "próżni", ale są stawiane i rozwiązywane na podstawie zgromadzonej wiedzy naukowej [Bun 67]. Niektórzy metodolodzy jako podstawową cechę problemów naukowych traktują metodę ich rozwiązywania, tzn. za naukowe uważają tylko takie problemy, które zostały rozwiązane za pomocą metod uważanych za naukowe [Ajd 75].

Definiowania problemu naukowego nie da się oddzielić od dyskusji na temat nauki. Także w tym zakresie poglądy są bardzo zróżnicowane. Nauka bywa definiowana jako



działalność ludzka, której jesteśmy skłonni przyznać miano naukowej, jako zbiór publikacji czy też instytucji uznanych za naukowe bądź jako łączne określenie tych znaczeń [Rud 75b]. Nauka pojęta jako rzemiosło uczonych (działalność naukowa) jest procesem rozwijającym się w czasie przy udziale czynności umysłowych, może więc być przedmiotem badań historii, socjologii, psychologii i metodologii. Metodologia zajmuje się m.in. wyodrębnieniem i analizą czynności wykonywanych w pracy naukowej, czyli metodami naukowymi [Cac 64]. Przy czym metoda rozumiana jest bardzo szeroko, gdyż odnosi się do całości badań i jest niezależna od ich tematu. Metodologia zajmuje się także strukturą wiedzy. Wiedzę można podzielić na: naukową, potoczną, artystyczno-literacką, spekulatywną i irracjonalną [Suc 69]. Istnieją również liczne inne podziały wyodrębniające m.in.: wiedzę techniczną, pseudonaukę czy protonaukę [Bun 67]. Także sama nauka bywa dzielona na różne sposoby. Najczęściej stosowanymi kryteriami podziału są: przedmiot badań, metoda badania, rodzaj stawianych problemów, cele i zadania stawiane sobie przez naukę oraz stopień ogólności, abstrakcji i prostoty. Na podstawie tych kryteriów nauka dzielona bywa na: naukę czystą i stosowaną, naukę formalną i empiryczną, naukę indukcyjną i dedukcyjną.

Nie istnieje także pełna zgodność, co do rozróżnienia nauki i techniki. Struktura problemów rozwiązywanych w nauce i technice jest taka sama [Alt 72, Wal 75, Nos 90], stąd za podstawowe kryterium ich rozróżnienia uważany jest często cel, jaki sobie one stawiają. Celem nauki jest poznanie prawd o świecie, natomiast celem techniki jest projektowanie przeobrażania fragmentu świata [Wal 75]. Na podstawie tego kryterium można dosyć łatwo odróżnić naukę czystą od techniki, jednak o wiele trudniej jest tego dokonać w przypadku nauki stosowanej. Inne kryterium proponuje Derek J. de Solla Price [Pri 73], który uważa że tylko wzbogacanie wiedzy poprzez publikację wyników, może zostać uznane za uprawianie nauki, natomiast jeżeli efektem pracy jest towar (coś co można sprzedać), to mamy do czynienia z uprawianiem techniki. Podejście takie jest krytykowane, gdyż wiedza naukowa jest obecnie rodzajem drogiego "surowca" nadającego się do wykorzystania po odpowiednim przetworzeniu [Nos 77].

Czym jest więc problem naukowy, a przede wszystkim jaka jego struktura mogłaby stanowić podstawę do reprezentacji w systemie wyszukiwania informacji o problemach naukowych? W literaturze zajmującej się zagadnieniem reprezentacji problemu można znaleźć przynajmniej kilka propozycji [Sob 87]. Z. Cackowski uważa, że bezpośrednią formą uświadomienia sobie i wyróżnienia sytuacji problemowej - problemu jest zdanie pytajne [Cac 64]. Stąd, do analizy problemów można używać aparatu logiki pytań. Pytania w logice pytań dzielone są na dwa zasadnicze człony: *założenie pytania* oraz *datum questionis* (schemat każdej logicznie poprawnej odpowiedzi). Na tej podstawie M. Bunge [Bun 67] sformułował logiczną strukturę problemu składającą się z następujących elementów:

- generatora problemu (*datum questionis*): $C(x)$;
- założenia: $\exists x C(x)$;
- problemu (zdania pytajnego): $(?x) C(x)$;
- rozwiązania: $C(c)$.

Wychodząc z podobnego założenia, A. Rozwadowski [Roz 85] sformułował język indeksowania problemów oparty na zdaniach pytajnych, jednak jako strukturę problemu przyjął dość powszechnie stosowaną strukturę, która wyróżnia: *dane*, *transformacje*, *ograniczenia* i *cel*. Wiele ciekawych przykładów struktur problemów można znaleźć w literaturze z dziedziny sztucznej inteligencji [Cal 82, Lop 82, Pet 85], np. B. Pethoff i E. Oeser [Oes 93] uważają, że problem składa się z części deklaratywnej, zawierającej: dane, hipotezy, teorie oraz modele i wnioski (prognozy), oraz części proceduralnej, zawierającej metody: indukcyjne, konstrukcyjne, dedukcyjne i redukcyjne.

Prócz określenia pojęcia problemu naukowego i jego struktury dodatkowych trudności dostarcza określenie jego rozmiaru. Dla przykładu, wspomniany już A. Rozwadowski [Roz 85], posługując się językiem zdań pytajnych do indeksowania problemów, wyróżnia w treści artykułu naukowego o niewielkiej objętości do kilkudziesięciu podproblemów opisujących problem naukowy. Wynika to z faktu, że rozwiązanie problemu polega zwykle na jego dekompozycji na mniejsze problemy (podproblemy) [Sim 81], które mogą zostać przedstawione w postaci pytań stawianych

sobie przez naukowca w trakcie rozwiązywania problemu. Nie wszystkie te podproblemy można oczywiście uznać za problemy naukowe. W nauce bardzo często zdarza się, że odpowiednie zestawienie wyników znanych i rozwiązanych problemów tworzy nowe i oryginalne rozwiązanie problemu wzbogacające wiedzę naukową [Wil 84]. Dobierając jednak problemy (ich rozwiązania) do bazy systemu informacyjnego, należy się kierować głównie celem, jakiemu ma ona służyć. Z bazy tej mają korzystać inni naukowcy rozwiązujący swoje problemy i w bazie takiej powinni znaleźć informacje przydatne do ich pracy. Jednak określenie, które z problemów oraz na jakim poziomie szczegółowości zawrzeć w bazie nie jest rzeczą prostą nawet dla specjalisty w danej dziedzinie.

W takiej sytuacji C. Daniłowicz [Dan 89a] proponuje, by posłużyć się definicją problemu naukowego na gruncie nauki o informacji. Dziedzina ta traktuje naukę jako samoorganizujący się system informacyjny, w którym naukowcy poprzez rozwiązywanie problemów tworzą nowe informacje, wykorzystując równocześnie informacje wytworzone przez siebie samych lub innych naukowców. Wiedza naukowa jest wzbogacana i weryfikowana dzięki nieustannemu wytwarzaniu, przepływowi i selekcji informacji. Obecnie służą temu głównie takie instytucje i organizacje, jak: zespoły badawcze, komitety i rady naukowe, redakcje wydawnictw itp. Tak więc za **problem naukowy** można uznać *każdy problem rozwiązany przez pracownika lub zespół pracowników naukowych w procesie badań, jeżeli wynik tych badań zostanie uznany przez kompetentną instytucję naukową jako poszerzenie wiedzy w dziedzinie, w której były prowadzone badania*. Poglądy takie są szczególnie obecnie krytykowane [Dav 90]. Podawane są przykłady nieuznawania pewnych osiągnięć bądź też mylnego przyjmowania innych; proces legitymizacji wyników badań spowalnia także proces przebiegu informacji (okres od przesłania do redakcji treści artykułu do jego opublikowania sięga czasem roku i więcej). Jednak nie oznacza to, że należy zupełnie zrezygnować z obligatoryjnych ocen powołanych do tego instytucji. Staranna recenzja dwóch, trzech autorytetów z danej dziedziny, dokonana zanim dana informacja wejdzie w obieg, pozwala jej potencjalnym użytkownikom wykorzystać ją z większą ufnością. Nie oznacza to wcale, że nie mogą oni czy też nie powinni z nią polemizować.

1.2. Struktura opisu problemu naukowego

W celu reprezentacji problemu jako elementu systemu wyszukiwania informacji została opracowana jego struktura (diag. 1), składająca się z trzech podstawowych elementów: *danych*, *transformacji* i *wyników* [Cho 90]. Taka definicja struktury opiera się na założeniu, że rozwiązanie problemu naukowego wymaga posiadania pewnych informacji początkowych - *danych* (obejmujących informacje o rzeczywistych lub abstrakcyjnych obiektach, zjawiskach czy procesach [Cho 90], a także odpowiednią wiedzę w zakresie rozwiązywanego problemu [Nos 79]). Proces przekształcania odbywa się na drodze



Diagram 1. Struktura problemu naukowego.

twórczej pracy naukowca poprzez wykorzystanie znanych, odpowiednio zmodyfikowanych bądź zupełnie nowych *transformacji*. Efektem tych transformacji są nowe informacje - *wyniki*, które wzbogacają wiedzę naukową. Przyjęta struktura jest dość często spotykana w literaturze [Sob 87], przy czym bywa ona uzupełniona o dodatkowe elementy (np. ograniczenia) bądź wymienione elementy są nieco inaczej pojmowane. Struktura ta może nie być adekwatna w przypadku niektórych nauk, np. nauk społecznych czy humanistycznych. Jednak w przypadku problemów naukowych z zakresu nauk przyrodniczych czy formalnych może stanowić odpowiednią metodę reprezentacji w systemie informacyjnym.

Problem naukowy reprezentowany jest w systemie wyszukiwania informacji za pomocą struktury przedstawionej na diagramie nr 2.

Nazwa problemu jest równoważnikiem zdania jednoznacznie wyróżniającym problem w zbiorze i prezentuje istotne elementy jego danych, transformacji (użytych metod) oraz ewentualnie osiągnięte rezultaty. Przykłady:

- a) Kodowanie konturów za pomocą transformaty Fouriera.

- b) Dobór optymalnej rozdzielczości i liczby poziomów kwantowania do kodowania grafiki wielopoziomowej.
- c) Kompresja obrazów za pomocą polilinii.

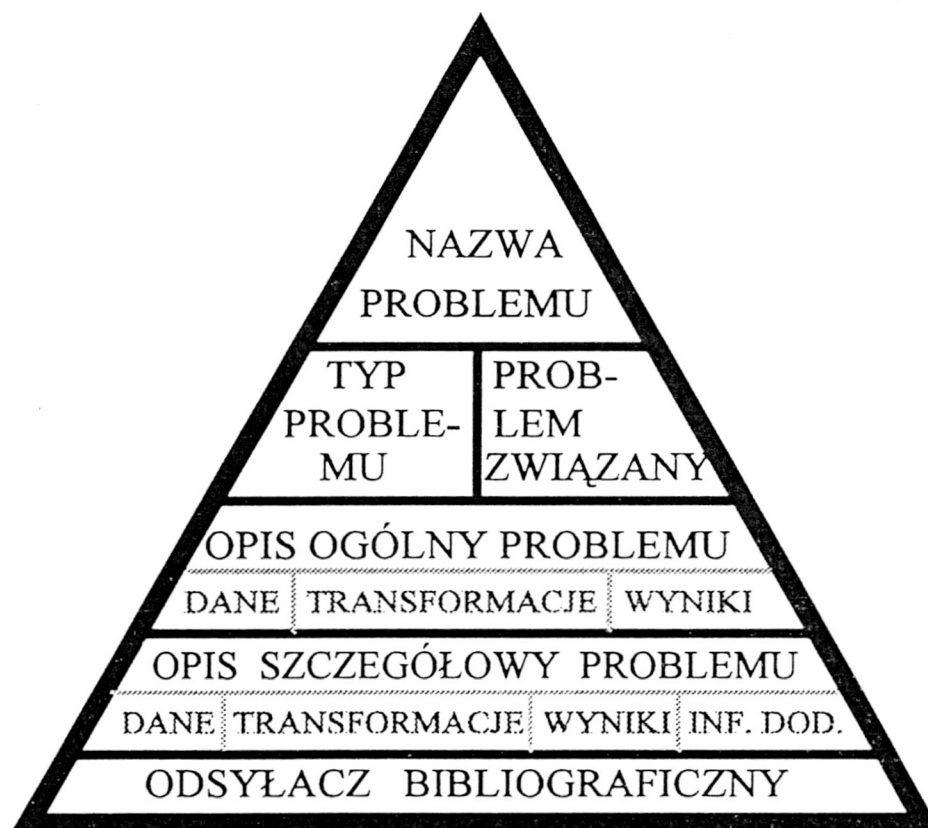


Diagram 2. Struktura opisu problemu naukowego.

Typ problemu reprezentowany jest w bazie opisów problemów przez termin pochodzący z ustalonej listy. Lista ta została opracowana na podstawie typologii problemów zaproponowanej przez M. Bungego [Bun 67] i B. Trawińskiego [Tra 87], jednak obejmuje tylko te typy problemów, które zostały wyodrębnione na podstawie analizy artykułów naukowych z zakresu metod i technik kompresji obrazów:

- a) *Badanie własności*
- b) *Dobór parametrów*
- c) *Konstrukcja metody*
- d) *Model matematyczny*
- e) *Modyfikacja metody*
- f) *Porównanie metod*
- g) *Weryfikacja metody*

h) Zastosowanie metody.

Podczas określania typu problemu napotyka się na podobne trudności, jak w przypadku określania jego rozmiaru. Polegały one głównie na tym, że problem typu *Konstrukcja metody* posiada często podproblemy typu *Weryfikacja metody*, *Porównanie metod* czy też *Zastosowanie metody*.

Uzupełnieniem informacji o typie problemu są *Odsyłacze do problemów związanych*. Występują one obligatoryjnie w opisach problemów typu *b)*, *e)*, *f)*, *g)* i *h)*. Ich rolą jest bezpośrednie wskazanie takich opisów znajdujących się w bazie, które są z nim związane w sposób wynikający z typu problemu. Przykładowo, gdy typem problemu jest *Dobór parametrów*, odsyłacze zapewniają powiązanie z problemem opisującym metodę, do której będą dobierane parametry, natomiast w przypadku gdy typem problemu jest *Porównanie metod*, odsyłacze wskazują na problemy opisujące porównywane metody.

Opis rozwiązania problemu przedstawiony jest na dwóch poziomach: *ogólnym* i *szczegółowym*. W obu przypadkach ich elementami są *dane*, *transformacje* i *wyniki* (diagram 1). Wynika to z przyjętej struktury problemu naukowego przedstawionej powyżej.

Opis ogólny prezentuje informacje dotyczące *danych*, *transformacji* i *wyników* problemu w sposób syntetyczny, niemal hasłowy. Idea *opisu ogólnego* jest pewnego rodzaju abstraktem problemowym zaproponowanym przez B. Trawińskiego [Tra 85, Tra 89]. Jego rolą w opisie problemu jest szybkie zorientowanie się przez użytkownika czy wyszukany opis okazał się dla niego przydatny czy nie.

Opis szczegółowy zawiera natomiast informacje dotyczące rozwiązania problemu przedstawione w sposób wystarczająco dokładny, by mógł być on zrozumiany przez specjalistę z danej dziedziny. Opis ten, tam gdzie było to konieczne, został uzupełniony odpowiednimi wzorami i tabelami. *Opis szczegółowy* został rozszerzony w stosunku do opisu ogólnego o jeden element, a mianowicie o *informacje dodatkowe*. Rozwiązanie problemu bardzo często uzupełnione jest przez swych autorów o dodatkowe informacje, które choć nie są jego częścią, to stanowią interesujące poszerzenie tematu. Dotyczą one np. możliwych (ale nie sprawdzonych) zastosowań i modyfikacji oraz, wynikających z rozwiązania problemu, nowych problemów.

Ostatnim elementem struktury problemu jest *Odsyłacz bibliograficzny*, który wskazuje na publikacje zawierające opis rozwiązania tego problemu. Element ten był wykorzystywany w trakcie tworzenia eksperymentalnej bazy opisów problemów naukowych. Nie został on jednak usunięty w ostatecznej wersji, gdyż opisy problemów naukowych z zakresu metod i technik kompresji obrazów bardzo często ilustrowane są przez wykresy i zdjęcia, które są bardzo istotne dla jego zrozumienia czy też uzasadnienia. Wprowadzenie tego typu danych do bazy obrazów nie było możliwe na podstawie kopii zamieszczonych w publikacjach.

1.3. Baza opisów problemów naukowych

Baza opisów problemów naukowych została opracowana na podstawie publikacji z zakresu metod i technik kompresji obrazów. Selekcja tych publikacji została dokonana dwuetapowo. W pierwszym etapie na podstawie wydawnictw informacyjnych, takich jak *Science Citation Index* i *Computer and Control Abstracts* wybrano publikacje z przyjętej dziedziny otrzymując zbiór 217 publikacji. W drugim etapie po zapoznaniu się z treścią tych artykułów wybrano 59 z nich [Cho 90].

Na podstawie wybranego zbioru publikacji opracowano 80 opisów problemów naukowych zgodnie z przedstawioną w pkt. 1.2 strukturą. Opracowanie problemów polegało więc na nadaniu im odpowiedniej nazwy i typu problemu oraz na wskazaniu dla określonych typów problemów związanych. Następnie opracowywane były *opisy ogólne* i *szczegółowe*. W ramach opisów szczegółowych używano, tam gdzie było to uzasadnione, *odsyłaczy tekstowych*. *Odsyłacze tekstowe* są w systemie SWIP numerami problemów, które są powiązane z danym problemem i odpowiadają w zasadzie odsyłaczom w systemach hypertextowych. W bazie zidentyfikowano następujące typy powiązań [Cho 90]:

- a) *problem A jest modyfikacją problemu B;*
- b) *w problemie A wykorzystuje się metodę rozwiązania problemu B;*
- c) *problem A jest analizą jednego z elementów problemu B;*
- d) *problem A jest weryfikacją rozwiązania problemu B;*
- e) *problem A opisuje zastosowanie rozwiązania problemu B;*

- f) rozwiązanie problemu A może być przydatne do modyfikacji rozwiązania problemu B;*
- g) rozwiązanie A jest rozwiązaniem tego samego problemu co rozwiązanie B;*
- h) rozwiązanie problemu A wzoruje się na rozwiązaniu problemu B;*
- i) problem A jest porównaniem rozwiązań B i C;*
- j) problem A odwołuje się do elementu problemu B, gdzie podano definicję, wzór lub określono sposób obliczania.*

Wymienione powiązania pokrywają się częściowo z opracowaną listą typów problemów. Wynika to z faktu, że rozwiązanie problemu naukowego polega na jego dekompozycji na odpowiednie podproblemy (w opisie problemu reprezentowane jako kolejne transformacje), które z kolei mogą posiadać już rozwiązania (wtedy należy zastosować odpowiednią metodę) bądź istniejące rozwiązanie należy odpowiednio zaadaptować (czyli zmodyfikować) itp. Także opisy problemów, na które się powołujemy są najczęściej zdekomponowane na mniejsze elementy, do których także można się odwoływać, np. powiązanie typu *j*). Przedstawione powyżej typy powiązań nie wyczerpują oczywiście wszystkich możliwości. Np. w zbiorze opisanych rozwiązań problemów nie stwierdzono powiązania typu zaprzeczenie lub podważenie rezultatów badań.

W celu umożliwienia prowadzenia wyszukiwań w bazie opisów problemów naukowych elementy struktury, tzn. nazwa problemu oraz poszczególne elementy opisu ogólnego, zostały zaindeksowane słowami kluczowymi [Bie 79]. Powstał w ten sposób dwujęzyczny słownik, który zawiera zarówno terminy w języku polskim, jak i w języku angielskim oraz ich synonimy. Terminy angielskie zostały wprowadzone do słownika w celu uniknięcia niejednoznaczności mogących wynikać stąd, że wiele terminów z zakresu metod i technik kompresji obrazów nie posiada jednoznacznych odpowiedników w języku polskim.

1.4. System Wyszukiwania Informacji o Problemach Naukowych (SWIP)

System Wyszukiwania Informacji o Problemach Naukowych (SWIP) służy do wprowadzania i aktualizacji opisów problemów naukowych oraz do prowadzenia wyszukiwania w bazie tych opisów. Jest on przeznaczony dla użytkowników pracujących nad rozwiązywaniem problemów naukowych.

System SWIP został oprogramowany w języku Turbo Prolog 2.0 (TPr 2.0) oraz Turbo C 2.0 z przeznaczeniem na mikrokomputery typu PC AT/386/486 pracujące pod systemem DOS. Język TPr 2.0 jest implementacją języka programowania w logice [Kow 89] i doskonale nadaje się do przetwarzania danych tekstowych zmiennej długości oraz rekordów o złożonej strukturze. Obecnie opracowywana jest także wersja SWIP dla systemu WINDOWS w wersji sieciowej.

System SWIP umożliwia wprowadzanie i aktualizację opisów problemów naukowych. Odbywa się to na drodze wypełniania odpowiednich pól, edytowanych w pięciu maskach edycyjnych, zawierających dane charakteryzujące opis problemu. Dodatkowo system daje możliwość obsługi dwujęzycznego (w języku polskim i angielskim) słownika słów kluczowych używanych do indeksowania i wyszukiwania opisów problemów.

Wyszukiwanie pertynentnej informacji, czyli informacji będącej w stanie zaspokoić potrzeby użytkownika [Sar 75], odbywa się w oparciu o sformułowaną przez niego instrukcję wyszukiwawczą oraz na drodze penetrowania sieci wzajemnie powiązanych opisów problemów naukowych. W wersji SWIP dla systemu DOS zastosowano prosty niesformalizowany boolowski język wyszukiwania informacji. W czasie formułowania kwerendy użytkownik może korzystać ze słowników zawierających wszystkie występujące w bazie opisów wartości poszczególnych indeksowalnych elementów struktury problemu naukowego. W wersji SWIP dla WINDOWS zastosowano język informacyjny opisany formalnie w punkcie 2.3. W trakcie wprowadzania kwerendy użytkownik może korzystać z mechanizmu ułatwiającego poprawne jej formułowanie.

Strukturalizacja opisu problemu i odrębne indeksowanie nazwy problemu oraz *danych, transformacji i wyników* umożliwia precyzyjne formułowanie pytań za pomocą

słów kluczowych. Dodatkowe uściślenie można uzyskać, podając *typ problemu*. Bardzo ważną rolę w wyszukiwaniu za pomocą słów kluczowych spełnia *opis ogólny* rozwiązania problemu. Aby stwierdzić, czy odpowiedź systemu jest zadowalająca, wystarczy zapoznać się z *opisem ogólnym* i następnie, w zależności od uznania, przejść do studiowania *opisu szczegółowego* lub kontynuować wyszukiwanie za pomocą słów kluczowych. *Opis szczegółowy* dostarcza w miarę wyczerpujących informacji o rozwiązaniu problemu oraz daje użytkownikowi możliwość bezpośredniego przejścia do opisu każdego problemu związanego z danym. Ta możliwość przejścia do opisu problemu związanego rozszerza się na każdy kolejny w łańcuchu wyszukiwania opis problemu naukowego.

W celu zapewnienia systemowi takiej zdolności wykorzystany został mechanizm hipertekstu. Hypertekst pozwala w czasie przeglądania pewnego fragmentu tekstu na bezpośrednie przejście do innego fragmentu, którego temat czy nagłówek został wyszczególniony w tekście. W systemie SWIP w opisie problemu wyszczególnione są tylko numery tych problemów, które dotyczą omawianego zagadnienia. Tak skonstruowana baza opisów nie tylko nie zawiera powtórzeń, ale także umożliwia użytkownikowi śledzenie powiązań pomiędzy opisami, a co za tym idzie, pomiędzy problemami. Możliwość penetrowania bazy opisów problemów w dużym stopniu stanowi o przydatności systemu SWIP w dziedzinie wyszukiwania informacji. Dokładniejsze informacje na temat obsługi systemu SWIP można znaleźć w pracy [Sob 92].

Możliwości wykorzystania struktury oraz powiązań między problemami do wyszukiwania informacji w bazie opisów problemów naukowych ilustrują następujące przykłady [Cho 90]:

- a) Jaki współczynnik kompresji można uzyskać, stosując metodę obcinania tła i obcinania bitów do kompresji obrazów medycznych?

Instrukcja wyszukiwawcza:

- *słowa kluczowe:*
 - *dane* : obraz medyczny
 - *transformacje* : obcinanie tła i obcinanie bitów

Odpowiedź na pytanie znajduje się w wyszukanim opisie P14, w polu *wyniki*.

- b) Czy metodę kodowania obrazów za pomocą transformaty Fouriera porównywano z innymi metodami?

Instrukcja wyszukiwawcza:

- *typ problemu* : porównanie metod
- *słowa kluczowe*:
 - *nazwa* : transformata Fouriera

lub jeśli wiadomo, że transformata Fouriera opisana jest w problemie P35 :

Instrukcja wyszukiwawcza:

- *typ problemu* : porównanie metod
- *problemy związane* : P35

Odpowiedź na pytanie jest twierdząca, gdyż wyszukany został opis problemu P43, w którym porównuje się różne transformaty liniowe (transformata Fouriera jest jedną z nich).

- c) Jak można kodować linie w przypadku obrazów rysunków technicznych ?

Instrukcja wyszukiwawcza:

- *słowa kluczowe*
 - *dane* : linia i rysunek techniczny
 - *transformacje* : kodowanie linii

W wyniku wyszukiwania otrzymano opis problemu P47, jego nazwa brzmi:

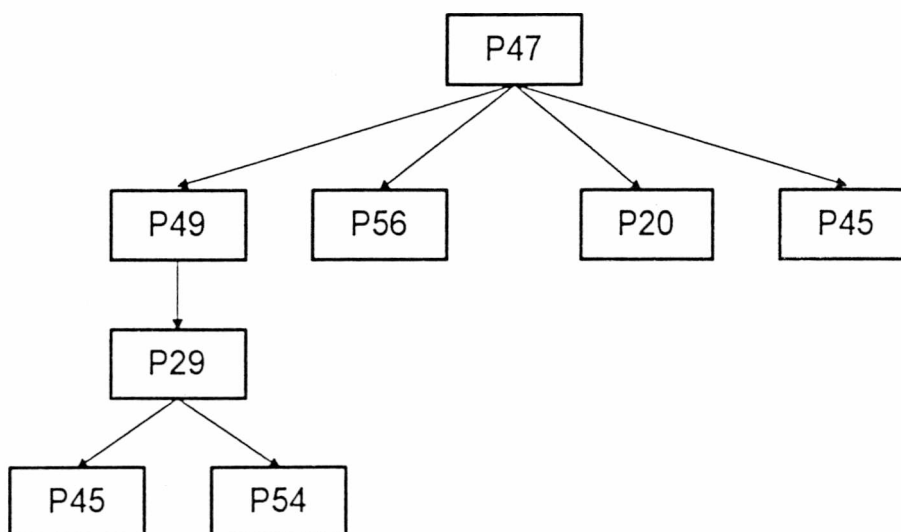
Kodowanie linii oraz regionów wyodrębnionych na rysunkach technicznych metodą Arvinda.

Studiując opis szczegółowy problemu natrafiamy na odsyłacz do problemów, w których opisana jest metoda Arvinda (P49) oraz jej zmodyfikowana wersja (P56). Przechodząc do opisu metody Arvinda uzyskać można informacje, że linie mogą być wyodrębnione na rysunkach technicznych nie tylko metodą Arvinda, ale również inną metodą opisaną w problemie P29, w której ponadto zastosowano rozwiązania metod opisanych w P45 i P54.

Jeśli wrócimy do kontynuowania studiowania wyszukanego na wstępie opisu P47, to dowiemy się, iż opisana metoda może być jeszcze efektywniejsza, gdy wykorzystamy

kody Huffmana zdefiniowane w P45 oraz siatkę prostokątną, której konstrukcja opisana jest w problemie P20, o czym informują odpowiednie odsyłacze.

W wyniku uzyskujemy informacje zawarte w opisach następujących problemów: P20, P29, P45, P47, P49, P54 i P56. Problemy te tworzą drzewo przedstawione na diagramie 3.



Diag.3. Drzewo powiązań pomiędzy wyszukanymi opisami problemów naukowych.

1.5. Porównanie efektywności wyszukiwania systemów: SWIP i bibliograficznego

W ramach realizacji zlecenia KASK cel nr 48 weryfikacja metody reprezentacji problemów naukowych w systemie wyszukiwania informacji dokonana została poprzez porównanie wyszukiwania w systemie SWIP i w równoważnym mu systemie bibliograficznym [Cho 90]. Równoważność systemu bibliograficznego z systemem SWIP osiągnięto poprzez wprowadzenie do jego bazy tylko tych odsyłaczy bibliograficznych dokumentów, które były podstawą do opracowania opisów problemów wchodzących w skład SWIP, oraz poprzez zastosowanie do indeksowania dokumentów słownika użytego do indeksowania opisów problemów. System bibliograficzny został zaimplementowany pod pakietem mikro CDS ISIS, jego opis można znaleźć w pracy [Cho 92].

Porównanie obu tych systemów polegało na opisowym przedstawieniu procesów wyszukiwania przeprowadzonych z ich użyciem dla kilku pytań problemowych. Ze względu na małą liczbę przykładowych pytań, brak określonego kryterium tego porównania oraz dokonany wybór reprezentanta systemu bibliograficznego, można mieć wiele zastrzeżeń co do istotności wyników takiego porównania. Należy jednak przyznać, że porównanie ze sobą tak różnych systemów nie jest wcale rzeczą prostą. To, co je ze sobą łączy to prawie wyłącznie cel jakiemu służą, natomiast sam proces wyszukiwania informacji jest niemal zupełnie różny.

System SWIP posiada w porównaniu z tradycyjnymi systemami bibliograficznymi bezsprzecznie trzy walory. Po pierwsze, zawarcie w bazie danych systemu informacji niezbędnych do zrozumienia rozwiązania problemu uwalnia jego użytkowników od wszelkich trudności związanych z dotarciem do dokumentu. Po drugie mechanizm odsyłaczy tekstowych i odsyłaczy do problemów związanych daje możliwość bezpośredniego dotarcia do informacji powiązanej w jakiś sposób z rozwiązaniem danego problemu. Po trzecie, mechanizm ten pozwala na skrócenie zapisu rozwiązania problemów do niezbędnego minimum, bez konieczności powtórzeń informacji, która znajduje się gdzie indziej.

Podobne walory posiadają systemy pełnotekstowe (pierwsza z wymienionych cech) oraz systemy hipertekstowe (pierwsza, druga i trzecia cecha). Wydaje się jednak, że przyjęta koncepcja systemu SWIP daje dodatkowo inne możliwości, które czynią z niego lepsze, w porównaniu z innymi znanymi systemami informacyjnymi, narzędzie wyszukiwania informacji przeznaczone dla ludzi rozwiązujących problemy naukowe.

Żeby to sprawdzić, należałoby przeprowadzić badania nad efektywnością rozwiązywania problemów przy użyciu różnych narzędzi wyszukiwania informacji, takich jak system oparty o reprezentację problemów naukowych, systemy bibliograficzne, pełnotekstowe i hipertekstowe. Jednak przeprowadzenie takiego eksperymentu jest niemal niemożliwe, gdyż sam proces rozwiązywania problemu wymaga prócz dostępu do wiedzy z określonego zakresu także sporego nakładu pracy twórczej, który jest na tyle

indywidualizowany, że aby uzyskać wiarygodne rezultaty, liczba uczestników takiego eksperymentu musiałaby być naprawdę duża.

Wobec niemożności przeprowadzenia tak kompleksowego eksperymentu został zaprojektowany eksperyment, który koncentruje się nie na efektywności rozwiązywania problemów, a na efektywności całego procesu wyszukiwania informacji. W przypadku badań nad systemami bibliograficznymi badanie ich efektywności koncentruje się na otrzymaniu odpowiednio relewantnej odpowiedzi systemu w postaci odsyłaczy bibliograficznych. Proces wyszukiwania informacji za pomocą systemu SWIP jest nieco bardziej skomplikowany, stąd i badanie jego efektywności musi brać pod uwagę jego złożoność. Tak więc przyjęto, że podstawą porównania będzie nakład pracy włożony w wyszukanie odpowiedzi na zadane pytania. Wykorzystanie w eksperymencie przedstawionym w raporcie [Cho 90], konkretnego systemu bibliograficznego, i to o niezbyt skomplikowanej konstrukcji, może być krytykowane. Od dawna znane są i wprowadzane do użycia różnego rodzaju udoskonalenia systemów bibliograficznych. Można tu wymienić indeksowanie ważone, wyszukiwanie ze sprzężeniem zwrotnym, interfejsy do systemu w języku naturalnym czy też wyszukiwanie po pełnym tekście i wiele innych. Tak więc użycie do porównania prostego systemu bibliograficznego, jako reprezentanta pewnej klasy systemów, musi budzić pewne zastrzeżenia. Dlatego też, w celu porównania zdecydowano się na użycie pewnej symulacji systemu bibliograficznego, która mogłaby reprezentować system bibliograficzny o dobrych parametrach efektywności wyszukiwania [Sob 91]. Symulacja ta polegała na wyeliminowaniu operacji formułowania instrukcji wyszukiwawczej i zastąpieniu jej poprzez bezpośrednie podanie dla każdego pytania odpowiednich "wyszukanych" dokumentów, tak, by dla listy pytań wartości przyjętych parametrów efektywności wyszukiwania, tj. kompletność i dokładność, osiągnęły wcześniej określony poziom [Sob 91].

W eksperymencie przyjęto, że nakład pracy poniesionej na zlokalizowanie odpowiedzi mierzony będzie za pomocą liczby i czasu trwania określonych operacji wykonanych przez uczestników eksperymentu w trakcie dochodzenia do właściwych odpowiedzi na poszczególne pytania.

Dokładny opis przeprowadzonego eksperymentu, jak i jego wyniki zostały przedstawione w raporcie [Sob 91].

Porównanie nakładu pracy włożonego w znalezienie trafnych odpowiedzi na zadane pytania, mierzonego liczbą wykonywanych operacji, wykazuje, że w systemie SWIP wystarczy wykonać ich mniej, niż w systemie symulacyjnym, aby otrzymać taką samą liczbę trafnych odpowiedzi. Istotność otrzymanych wyników udało się potwierdzić statystycznie przy wykorzystaniu procedury t-testu i testu znaków [Bet 84, Pawł 76].

W ramach eksperymentu testowano także liczbę operacji przypadającą na jeden analizowany dokument (opis problemu). Wyniki tych badań potwierdzają, że średnio (dla wszystkich pytań) w systemie SWIP wymagana jest ich mniejsza liczba, niż w systemie symulacyjnym, jednak wyników tych nie można potwierdzić za pomocą testów statystycznych.

Zdecydowanie na korzyść systemu SWIP przemawiają wyniki porównania czasu potrzebnego na znalezienie odpowiedzi na pytania. Czas potrzebny na znalezienie jednej trafnej odpowiedzi, jak i przypadający na jeden wyszukany dokument (opis problemu) jest mniejszy w systemie SWIP niż w systemie symulacyjnym. Wyniki te dały się potwierdzić statystycznie przy użyciu t-testu i testu znaków.

2. MODEL ROZSZERZONEGO WIELOWARTOŚCIOWEGO SYSTEMU INFORMACYJNEGO

Model rozszerzonego wielowartościowego systemu informacyjnego jest modyfikacją modelu wielowartościowego systemu informacyjnego zaproponowanego przez Z. Pawlaka [Paw 83]. Modyfikacja ta polega na wyróżnieniu w modelu relacji zachodzących pomiędzy obiektami reprezentowanymi przez system. Tak więc przed omówieniem modelu rozszerzonego zaprezentowany zostanie model wielowartościowy.

2.1. Model wielowartościowego systemu informacyjnego

2.1.1. Wielowartościowy system informacyjny

W każdym wielowartościowym systemie informacyjnym [Paw 83] można wyróżnić przede wszystkim zbiór (skończony) obiektów, o których system zawiera informacje. Obiektami takimi mogą być np. pracownicy, publikacje czy też urządzenia. W każdym systemie obiekty mogą być tylko jednego rodzaju. Ograniczenie to uzasadnione jest faktem wyróżnienia w systemie wielowartościowym skończonego zbioru atrybutów, których wartości będą opisywały każdy obiekt w systemie. Dobór atrybutów w każdym systemie zależy nie tylko od rodzaju obiektów, które są reprezentowane w systemie, ale także od przewidywanego przeznaczenia systemu informacyjnego, a co za tym idzie od rodzaju pytań, które użytkownik będzie kierował do systemu. Przykładowo, w systemie informacyjnym o studentach inne atrybuty będą opisywały studenta, jeżeli system będzie przeznaczony dla dziekanatu wydziału, a częściowo inne, jeśli będzie on przeznaczony dla ośrodka zdrowia.

Reasumując, w każdym systemie wyróżnić można skończony zbiór obiektów X oraz skończony zbiór atrybutów A . Z każdym atrybutem a należącym do A związany jest pewien niepusty zbiór V_a , który jest zbiorem wartości atrybutu a , zwany także dziedziną atrybutu a . Oczywiście niektóre dziedziny mogą częściowo lub całkowicie się pokrywać i tak np. dla atrybutów *rok rozpoczęcia studiów* i *rok ukończenia studiów* zbiorem wartości są liczby całkowite z przyjętego zakresu.

Dla opisu własności obiektów reprezentowanych w systemie służy funkcja dwuargumentowa ρ , która każdemu obiektowi $x \in X$ i atrybutowi $a \in A$ przyporządkowuje podzbiór zbioru V_a (stąd wzięła się nazwa wielowartościowy system informacyjny).

System wielowartościowy jest rozszerzeniem systemu jednowartościowego [Paw 78, Paw 80], tzn. takiego, który dopuszcza jedynie następującą postać funkcji $\rho: X \times A \rightarrow V$. Takie ograniczenie jest dosyć uciążliwe, gdy chcemy w systemie reprezentować informację np. o zaliczonych przez studenta przedmiotach czy o temacie, którego dotyczy określona publikacja.

Poniżej zostaną skrótowo przedstawione podstawowe definicje i własności wielowartościowego systemu informacyjnego [Paw 83]. Do modelu zaproponowanego przez Z. Pawlaka wprowadziłem drobne modyfikacje.

Def.1.1. Wielowartościowym systemem informacyjnym nazywa się czwórkę

$$S = \langle X, A, V, \rho \rangle,$$

gdzie:

X - zbiór obiektów;

A - zbiór atrybutów;

$V = \bigcup_{a \in A} V_a$, gdzie V_a - dziedziną atrybutu a ;

$\rho: X \times A \rightarrow 2^V$, gdzie $\rho(x, a) \subseteq V_a$ dla każdego $x \in X$ i $a \in A$.

Def.1.2. Informacją o obiekcie x w systemie S jest funkcja ρ_x określona w następujący sposób: $\rho_x: A \rightarrow 2^V$, przy czym $\rho_x(a) = \rho(x, a)$ dla każdego $x \in X$ i $a \in A$.

Wielowartościowy system informacyjny, w którym każdej informacji odpowiada co najwyżej jeden obiekt, będziemy nazywali systemem selektywnym.

Def.1.3. Obiekty $x, y \in X$ są nierozróżnialne w systemie S ze względu na atrybut $a \in A$ (symbolicznie $x \sim y$) wtedy i tylko wtedy, gdy $\rho_x(a) = \rho_y(a)$.

Def.1.4. Obiekty $x, y \in X$ są w systemie S nierozróżnialne ze względu na zbiór atrybutów $B \subseteq A$ (symbolicznie $x \bar{\sim} y$) wtedy i tylko wtedy, gdy dla każdego $a \in B$ zachodzi $\rho_x(a) = \rho_y(a)$.

W przypadku, gdy obiekty $x, y \in X$ są nierozróżnialne w systemie S ze względu na zbiór atrybutów $B=A$, to mówimy krótko, że obiekty x i y są nierozróżnialne w systemie S i oznaczamy $x \bar{\sim} y$, lub $x \sim y$.

Relacja nierozróżnialności ma następującą własność:

Własność 1.1. Dla każdego systemu informacyjnego $S = \langle X, A, V, \rho \rangle$ relacje $\bar{a}$ i $\bar{b}$ są relacjami równoważności określonymi na zbiorze obiektów X i ponadto spełniają warunek $\bar{b} = \bigcap_{a \in B} \bar{a}$.

W konsekwencji $\bar{s} = \bigcap_{a \in A} \bar{a}$.

Każda relacja równoważności dzieli zbiór, na którym jest określona, na rozłączne klasy, które będą nazywane blokami podziału. Bloki podziału wyznaczone przez relację $\bar{s}$, nazywa się blokami (lub zbiorami) elementarnymi systemu informacyjnego S .

Def.1.5. Jeżeli systemy informacyjne S, S' mają ten sam zbiór obiektów, to powiemy, że S i S' są równoważne (symbolicznie $S \sim S'$) wtedy i tylko wtedy, gdy generują tę samą relację równoważności na zbiorze X , tj. $\bar{s} = \bar{s}'$.

Def.1.6. Jeżeli systemy informacyjne S, S' mają ten sam zbiór obiektów, to powiemy, że system S jest dokładniejszy od systemu S' wtedy i tylko wtedy, gdy $\bar{s} \subset \bar{s}'$.

Def.1.7. System S' jest podsystemem systemu S , gdy $X' \subseteq X$, $A' \subseteq A$, przy czym $X' \neq X$ lub $A' \neq A$, oraz $\rho' = \rho|_{X' \times A'}$ co oznaczamy symbolicznie $S' < S$ lub $S' <_{X', A'} S$ bądź $S' = S|_{X' \times A'}$.

Def.1.8. Jeżeli $S' < S$ oraz $X' = X$, to powiemy, że S' jest podsystemem systemu S z ograniczonymi atrybutami i zapiszemy $S' <_A S$ bądź $S' = S|_{A'}$.

Def.1.9. Jeżeli $S' < S$ oraz $A' = A$, to powiemy, że S' jest podsystemem systemu S z ograniczonymi obiektami i zapiszemy $S' <_X S$ bądź $S' = S|_{X'}$.

Własność 1.2. Jeżeli S' jest podsystemem S z ograniczonymi atrybutami to $\hat{s} \subseteq \hat{s}'$.

Własność 1.3. Jeżeli S' jest podsystemem systemu S z ograniczonymi obiektami, to $\hat{s}' = \hat{s} \cap (X')^2$.

Własność 1.4. Jeżeli system S' jest podsystemem S z ograniczonymi obiektami oraz S jest selektywny, to również S' jest selektywny.

Uwaga: Jeżeli system S' jest podsystemem S z ograniczonymi atrybutami oraz S jest selektywny, to system S' nie musi być selektywny.

2.1.2. Język wielowartościowego systemu informacyjnego

Język systemu służy do formułowania przez użytkownika pytań dotyczących informacji zawartych w tym systemie i nazywany jest często językiem zapytań, językiem informacyjnym bądź językiem wyszukiwania informacji. Tworząc język informacyjny należy mieć na uwadze po pierwsze: jakiego rodzaju pytania będzie można kierować do systemu oraz jakich odpowiedzi się spodziewamy, a po drugie: aby uzyskiwanie odpowiedzi na pytanie było jak najbardziej efektywne (pod względem szybkości, odpowiedniości odpowiedzi, nakładu pracy użytkownika potrzebnego do poznania języka i formułowania pytań, itp.).

Weźmy dla przykładu system informacji o studentach. Przykładowymi pytaniami do takiego systemu mogą być następujące pytania:

Wyszukaj studenta o numerze albumu X.

Wyszukaj studentów, którzy studiują na wydziale X oraz zaliczyli przedmioty Y i Z.

Odpowiedzią na wyżej wymienione pytania jest pewien podzbiór zbioru studentów, o których informacje zawarte są w systemie. Pytania takie nazywane są pytaniami mnogościowymi [Paw 83]. Taki rodzaj pytań występuje w systemach wyszukiwania informacji, np. w systemach bibliograficznych.

Do systemów informacyjnych można zadawać także inne rodzaje pytań, a co za tym idzie, otrzymywać odpowiedzi w postaci innej niż podzbiór zbioru obiektów. Należą do nich pytania logiczne, relacyjne, liczbowe i numeryczne [Paw 83]. Pytania tego rodzaju, a więc języki zapytań, leżą poza sferą zainteresowania niniejszej pracy i nie będą szerzej omawiane.

2.1.2.1. Składnia języka zapytań

Niech $S = \langle X, A, V, \rho \rangle$ będzie systemem informacyjnym wielowartościowym oraz L_S niech oznacza jego język.

Termy języka L_S (tzn. wyrażenia poprawne) buduje się z następujących symboli:

- a) stałych θ, I .
- b) deskryptorów (a, v) , $v \in V_a$, $a \in A$,
- c) symboli operacji $+$, $*$.

Termy języka L_S można zdefiniować indukcyjnie w następujący sposób:

- 1) stałe θ i I są termami,
- 2) termem jest każdy deskryptor (a, v) , $v \in V_a$, $a \in A$,
- 3) jeżeli t, t' są termami, to również termami są następujące wyrażenia $(t + t')$, $(t * t')$.

2.1.2.2. Semantyka języka zapytań

Znaczeniem termów w systemie jest pewien podzbiór zbioru obiektów, który stanowi odpowiedź na pytanie reprezentowane przez term. Znaczenie termów w systemie S jest określone przez funkcję $\sigma_S: L_S \rightarrow 2^X$, której argumentami są termy języka L_S ,

wartościami zaś podzbiory zbioru obiektów systemu S . Funkcja ta nazywać się będzie semantyką języka L_S . Jeżeli system S jest ustalony, zamiast pisać σ_S będziemy pisać σ .

Funkcja σ dla języka systemu $S = \langle X, A, V, \rho \rangle$ musi mieć następujące własności:

- (1) $\sigma(0) = \emptyset$, $\sigma(1) = X$;
- (2) $\sigma(a, v) = \{x \in X : v \in \rho_x(a)\}$, $a \in A$;
- (3) $\sigma(t + t') = \sigma(t) \cup \sigma(t')$;
- (4) $\sigma(t * t') = \sigma(t) \cap \sigma(t')$.

Def.1.10. Termy $t, t' \in L_S$ nazywamy semantycznie równymi wtedy i tylko wtedy, gdy $\sigma(t) = \sigma(t')$.

2.1.2.3. Reguły przekształcania termów języka L_S

Poniższe reguły z grupy A i B są zmodyfikowanymi aksjomatami algebry Boole'a.

Niech t, p, s będą termami.

- | | |
|-----------------------------------|---------------------------------------|
| A1. $(t + p) + s = t + (p + s)$ | B1. $(t * p) * s = t * (p * s)$ |
| A2. $t + p = p + t$ | B2. $t * p = p * t$ |
| A3. $t * (p + s) = t * p + t * s$ | B3. $t + (p * s) = (t * p) + (t * s)$ |
| A4. $t + t = t$ | B4. $t * t = t$ |
| A5. $t + 0 = t$ | B5. $t * 0 = 0$ |
| A6. $t + 1 = 1$ | B6. $t * 1 = t$ |

Niech t, t' będą termami języka L_S . Jeżeli term t' może być otrzymany z termu t za pomocą reguł A, B, to termy są semantycznie równe.

2.1.2.4. Własności języka L_S

Def.1.11. Powiemy, że term t języka L_S jest prosty, gdy t jest postaci $(a_1, v_1) * (a_2, v_2) * \dots * (a_k, v_k)$, gdzie $a_i \in A$ oraz $v_i \in V$, dla $i = 1, 2, \dots, k$.

Def.1.12. Powiemy, że term t jest w postaci normalnej wtedy i tylko wtedy, gdy $t=0$, $t=1$ lub $t = t_1 + t_2 + \dots + t_k$, gdzie $t_1, t_2, \dots, t_k$ są termami prostymi.

Własność 1.5. Dla każdego termu $t \in L_S$ istnieje term, w postaci normalnej, $t' \in L_S$ równoważny t (tj. $t=t'$).

Dowód własności 1.5.

Dowód zostanie przeprowadzony indukcyjnie.

1. Term t' : $t'=0 \vee t'=1 \vee t'=(a,v)$, z def. 1.11 t' jest termem prostym więc jest także w postaci normalnej.
2. Niech t^n będzie w postaci normalnej.
3. Wtedy $t^{(n+1)}=(t^n+t^m) \vee t^{(n+1)}=(t^n*t^m)$, gdzie $m \leq n$, stąd t^m jest również w postaci normalnej;

$$\begin{aligned}
 t^{n+1} &= (t^n + t^m) \stackrel{\text{z def. 1.12}}{=} ((t_1^n + t_2^n + \dots + t_k^n) + (t_1^m + t_2^m + \dots + t_p^m)) = t_1^n + t_2^n + \dots + t_k^n + t_1^m + t_2^m + \dots + t_p^m \\
 t^{n+1} &= (t^n * t^m) \stackrel{\text{z def. 1.12}}{=} ((t_1^n + t_2^n + \dots + t_k^n) * (t_1^m + t_2^m + \dots + t_p^m)) = t_1^n * t_1^m + t_1^n * t_2^m + \dots + t_1^n * t_p^m + \\
 &+ t_2^n * t_1^m + t_2^n * t_2^m + \dots + t_2^n * t_p^m + \dots + t_k^n * t_1^m + t_k^n * t_2^m + \dots + t_k^n * t_p^m
 \end{aligned}$$

to z def.1.11 i 1.12 term $t^{(n+1)}$ jest w postaci normalnej (cbdo).

2.2. Model rozszerzonego wielowartościowego systemu informacyjnego

Zaprezentowany wcześniej model wielowartościowego systemu informacyjnego umożliwia tworzenie systemów reprezentujących informacje o różnych obiektach (oczywiście w ramach jednego systemu obiekty muszą być jednego typu). W systemie informacyjnym obiekty opisywane są poprzez pewien zestaw cech, zwanych atrybutami, przy czym cechy te można podzielić na dwie grupy. Do pierwszej należą takie cechy, które charakteryzują obiekt jako taki, czyli niezależnie od innych obiektów reprezentowanych przez system. Natomiast do drugiej grupy należą właśnie te cechy, które odnoszą się bezpośrednio do innych obiektów. Dla przykładu, w systemie reprezentującym informacje o osobach do cech pierwszej grupy mogą należeć np. wzrost, wiek, kolor oczu, natomiast do drugiej takie cechy, które reprezentują relacje, np. rodzic-dziecko. W modelu

wielowartościowego systemu informacyjnego wartości atrybutów, które reprezentują relacje pomiędzy obiektami, mogą być zapisywane jako identyfikatory obiektów, wtedy jednak pojawiają się pewne problemy z opisanymi wcześniej operacjami na systemie informacyjnym. Dla przykładu, jeżeli dla danego systemu $S = \langle X, A, V, \rho \rangle$ chcemy wyznaczyć jego podsystem $S' = \langle X', A', V', \rho' \rangle$ ograniczonymi obiektami, to w przypadku, gdy któryś z atrybutów ze zbioru A , np. a , reprezentuje relacje między obiektami (tzn. V_a jest zbiorem identyfikatorów obiektów ze zbioru X), może się zdarzyć, że w systemie S' wartości $\rho(x', a)$ dla pewnych $x' \in X'$ nie będą posiadały interpretacji (gdyż $\rho(x', a)$ będzie identyfikatorem obiektu, który, co prawda, należy do X , ale nie należy do X'). Dodatkowo, jeżeli dla danego obiektu nie występuje określona relacja, to w modelu wielowartościowym należy stworzyć sztuczną wartość atrybutu reprezentującą informację pustą, gdyż jak wynika z definicji wielowartościowego systemu informacyjnego informacja o obiekcie jest funkcją.

Z powyższego wynika, że dla pewnego typu obiektów, tzn. takich, które opisywane są także poprzez relacje pomiędzy nimi zachodzące, należy zaproponować nowy, bardziej zgodny z intuicją i klarowniejszy model. Model ten zwany modelem rozszerzonego wielowartościowego systemu informacyjnego, tym różni się od modelu wielowartościowego systemu informacyjnego, że w ramach systemu obok zbioru obiektów, zbioru atrybutów, zbioru wartości tych atrybutów oraz funkcji informacyjnej, wyróżnia dodatkowo zbiór relacji zachodzących pomiędzy obiektami.

2.2.1. Rozszerzony wielowartościowy system informacyjny

Def.2.1. Rozszerzonym wielowartościowym systemem informacyjnym nazywa się następującą piątkę:

$$Sr = \langle X, R, A, V, \rho \rangle, \text{ gdzie:}$$

X - zbiór obiektów; A - zbiór atrybutów;

$R = \{r_1, r_2, \dots, r_k\}$, gdzie $r_i \subseteq X \times X$, dla $i = 1, 2, \dots, k$;

$V = \bigcup_{a \in A} V_a$, gdzie V_a - dziedziną atrybutu a ;

$\rho: X \times A \rightarrow 2^V$, gdzie $\rho(x, a) \subseteq V_a$ dla każdego $x \in X$ i $a \in A$.

Rozszerzony wielowartościowy system informacyjny, w którym każdej informacji odpowiada jeden obiekt, będziemy nazywali systemem selektywnym.

Def.2.2. Informacją o obiekcie x w systemie Sr jest funkcja ρ_x określona w następujący sposób: $\rho_x: A \rightarrow 2^V$, przy czym $\rho_x(a) = \rho(x, a)$ dla każdego $x \in X$ i $a \in A$.

Def.2.3. Obiekty $x, y \in X$ są nierozróżnialne w systemie Sr ze względu na atrybut $a \in A$ (symbolicznie $x \bar{a} y$) wtedy i tylko wtedy, gdy $\rho_x(a) = \rho_y(a)$.

Własność 2.1. Dla każdego rozszerzonego wielowartościowego systemu informacyjnego $Sr = \langle X, R, A, V, \rho \rangle$ relacja $\bar{a}$ jest relacją równoważności określoną na zbiorze obiektów X .

Dowód własności 2.1.

1. $x \bar{a} x$, gdyż $\rho_x(a) = \rho_x(a)$
2. $x \bar{a} y \Rightarrow y \bar{a} x$, gdyż $\rho_x(a) = \rho_y(a) \Rightarrow \rho_y(a) = \rho_x(a)$
3. $(x \bar{a} y \wedge y \bar{a} z) \Rightarrow x \bar{a} z$, gdyż $(\rho_x(a) = \rho_y(a) \wedge \rho_y(a) = \rho_z(a)) \Rightarrow \rho_x(a) = \rho_z(a)$

cbdo.

Def.2.4. Obiekty $x, y \in X$ są w systemie Sr nierozróżnialne ze względu na zbiór atrybutów $B \subseteq A$ (symbolicznie $x \bar{B} y$) wtedy i tylko wtedy, gdy dla każdego $a \in B$ zachodzi $\rho_x(a) = \rho_y(a)$.

Własność 2.2. Dla każdego rozszerzonego wielowartościowego systemu informacyjnego $Sr = \langle X, R, A, V, \rho \rangle$ relacja $\bar{B} = \bigcap_{a \in B} \bar{a}$.

Dowód własności 2.2.

$$\begin{aligned} \bar{B} = \{(x, y) : \forall (a \in B) [x \bar{a} y]\} & \stackrel{B = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}}{=} \{(x, y) : x \bar{a}_1 y \wedge x \bar{a}_2 y \wedge \dots \wedge x \bar{a}_n y\} = \\ & = \{(x, y) : x \bar{a}_1 y\} \cap \{(x, y) : x \bar{a}_2 y\} \cap \dots \cap \{(x, y) : x \bar{a}_n y\} = \bigcap_{a \in B} \bar{a} \end{aligned}$$

cbdo.

Własność 2.3. Dla każdego rozszerzonego wielowartościowego systemu informacyjnego $Sr = \langle X, R, A, V, \rho \rangle$ relacja $\tilde{B}$ jest relacją równoważności określoną na zbiorze obiektów X .

Dowód własności 2.3.

Relacja $\tilde{B}$ jest relacją równoważności, gdyż jest iloczynem relacji równoważności (z własności 2.1 i 2.2)

cbdo.

Def.2.5. Obiekty $x, y \in X$ są nierozróżnialne w systemie Sr ze względu na relację $r \in R$ (symbolicznie $x \tilde{r} y$) wtedy i tylko wtedy, gdy:

$$\forall (z \in X) [(x, z) \in r \Leftrightarrow (y, z) \in r] \wedge \forall (z \in X) [(z, x) \in r \Leftrightarrow (z, y) \in r].$$

Własność 2.4. Dla każdego rozszerzonego wielowartościowego systemu informacyjnego $Sr = \langle X, R, A, V, \rho \rangle$ relacja $\tilde{r}$ jest relacją równoważności określoną na zbiorze obiektów X .

Dowód własności 2.4.

1. $x \tilde{r} x$, gdyż $\forall (z \in X) [(x, z) \in r \Leftrightarrow (x, z) \in r] \wedge \forall (z \in X) [(z, x) \in r \Leftrightarrow (z, x) \in r]$
2. $x \tilde{r} y \Rightarrow y \tilde{r} x$, gdyż $\{ \forall (z \in X) [(x, z) \in r \Leftrightarrow (y, z) \in r] \wedge \forall (z \in X) [(z, x) \in r \Leftrightarrow (z, y) \in r] \} \Rightarrow \{ \forall (z \in X) [(y, z) \in r \Leftrightarrow (x, z) \in r] \wedge \forall (z \in X) [(z, y) \in r \Leftrightarrow (z, x) \in r] \}$
3. $(x \tilde{r} y \wedge y \tilde{r} q) \Rightarrow x \tilde{r} q$, gdyż $\{ \forall (z \in X) [(x, z) \in r \Leftrightarrow (y, z) \in r] \wedge \forall (z \in X) [(z, x) \in r \Leftrightarrow (z, y) \in r] \wedge \forall (z \in X) [(y, z) \in r \Leftrightarrow (q, z) \in r] \wedge \forall (z \in X) [(z, y) \in r \Leftrightarrow (z, q) \in r] \} \Rightarrow \{ \forall (z \in X) [(x, z) \in r \Leftrightarrow (q, z) \in r] \wedge \forall (z \in X) [(z, x) \in r \Leftrightarrow (z, q) \in r] \}$

cbdo.

Def.2.6. Obiekty $x, y \in X$ są w systemie Sr nierozróżnialne ze względu na zbiór relacji $Q \subseteq R$ (symbolicznie $x \tilde{Q} y$) wtedy i tylko wtedy, gdy dla każdego $r \in Q$ zachodzi $x \tilde{r} y$.

Własność 2.5. Dla każdego rozszerzonego wielowartościowego systemu informacyjnego $Sr = \langle X, R, A, V, \rho \rangle$ relacja $\tilde{Q} = \bigcap_{r \in Q} \tilde{r}$.

Dowód własności 2.5.

$$\begin{aligned}\tilde{Q} = \{(x,y) : \forall (r \in Q) [x \tilde{r} y]\} & \stackrel{Q=\{r_1, r_2, \dots, r_n\}}{=} \{(x,y) : x \tilde{r}_1 y \wedge x \tilde{r}_2 y \wedge \dots \wedge x \tilde{r}_n y\} = \\ & = \{(x,y) : x \tilde{r}_1 y\} \cap \{(x,y) : x \tilde{r}_2 y\} \cap \dots \cap \{(x,y) : x \tilde{r}_n y\} = \bigcap_{r \in Q} \tilde{r}\end{aligned}$$

cbdo.

Własność 2.6. Dla każdego rozszerzonego wielowartościowego systemu informacyjnego $Sr = \langle X, R, A, V, \rho \rangle$ relacja $\tilde{Q}$ jest relacją równoważności określoną na zbiorze obiektów X .

Dowód własności 2.6 można przeprowadzić analogicznie jak dowód własności 2.3.

W przypadku, gdy obiekty $x, y \in X$ są nierozróżnialne w systemie Sr ze względu na zbiór atrybutów $B=A$ i zbiór relacji $Q=R$ mówimy krótko, że obiekty x i y są nierozróżnialne w systemie Sr i oznaczamy $x \tilde{s}_r y$, lub $x \sim y$.

Własność 2.7. Dla każdego rozszerzonego wielowartościowego systemu informacyjnego $Sr = \langle X, R, A, V, \rho \rangle$ relacja nierozróżnialności w systemie Sr jest relacją równoważności określoną na zbiorze obiektów X i ponadto spełnia warunek:

$$\tilde{s}_r = \bigcap_{a \in A} \tilde{a} \cap \bigcap_{r \in R} \tilde{r}.$$

Dowód własności 2.7.

$$\tilde{s}_r = \{(x,y) : x \tilde{a} y \wedge x \tilde{r} y\} = \{(x,y) : \forall (a \in A) [x \tilde{a} y]\} \cap \{(x,y) : \forall (r \in R) [x \tilde{r} y]\} = \bigcap_{a \in A} \tilde{a} \cap \bigcap_{r \in R} \tilde{r}$$

$\tilde{s}_r$ jest iloczynem relacji równoważności (z własności 2.3 i 2.6), stąd jest relacją równoważności.

cbdo.

Każda relacja równoważności dzieli zbiór, na którym jest określona, na rozłączne klasy, które będą nazywane blokami podziału. Bloki podziału wyznaczone przez relację $\sim$, nazywa się blokami (lub zbiorami) elementarnymi rozszerzonego wielowartościowego systemu informacyjnego Sr .

Def.2.7. Jeżeli systemy informacyjne Sr , Sr' mają ten sam zbiór obiektów, to powiemy, że Sr i Sr' są równoważne (symbolicznie $Sr \sim Sr'$) wtedy i tylko wtedy, gdy generują tę samą relację równoważności na zbiorze X , tj. $\hat{s}_r = \hat{s}_{r'}$.

Def.2.8. Jeżeli rozszerzone wielowartościowe systemy informacyjne Sr , Sr' mają ten sam zbiór obiektów, to powiemy, że system Sr jest dokładniejszy od systemu Sr' wtedy i tylko wtedy, gdy $\hat{s}_r \subset \hat{s}_{r'}$.

Niech $Sr = \langle X, R, A, V, \rho \rangle$ oraz $Sr' = \langle X', R', A', V', \rho' \rangle$ będą rozszerzonymi wielowartościowymi systemami informacyjnymi.

Def.2.9. System Sr' jest podsystemem systemu Sr , gdy $X' \subseteq X$, $R' \subseteq R$, $A' \subseteq A$, przy czym $X' \neq X$ lub $R' \neq R$ lub $A' \neq A$, oraz $\rho' = \rho|_{X', R', A'}$ (symbolicznie $Sr' < Sr$ lub $Sr' <_{X', R', A'} Sr$ bądź

$$Sr' = Sr|_{X', R', A'}.$$

Własność 2.8. Jeżeli Sr' jest podsystemem systemu Sr i $X' = X$ to $\hat{s}_r \subseteq \hat{s}_{r'}$.

Dowód własności 2.8.

$$\begin{aligned} \hat{s}_r &= \bigcap_{a \in A} \hat{a} \cap \bigcap_{r \in R} \hat{r} \stackrel{A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}}{=} \bigcap_{R = \{r_1, r_2, \dots, r_k\}} \{(x, y): \rho(x, a_1) = \rho(y, a_1)\} \cap \dots \cap \{(x, y): \rho(x, a_n) = \rho(y, a_n)\} \cap \\ &\cap \{(x, y): \forall_{z \in X} ((x, z) \in r_1 \Leftrightarrow (y, z) \in r_1) \cap \forall_{z \in X} ((z, x) \in r_1 \Leftrightarrow (z, y) \in r_1)\} \cap \dots \cap \\ &\cap \{(x, y): \forall_{z \in X} ((x, z) \in r_k \Leftrightarrow (y, z) \in r_k) \cap \forall_{z \in X} ((z, x) \in r_k \Leftrightarrow (z, y) \in r_k)\} \\ &\stackrel{A' = \{a_1', a_2', \dots, a_m'\} \subseteq A}{=} \bigcap_{R' = \{r_1', r_2', \dots, r_l'\} \subseteq R} \{(x, y): \rho(x, a_1') = \rho(y, a_1')\} \cap \dots \cap \{(x, y): \rho(x, a_m') = \rho(y, a_m')\} \cap \\ &\cap \{(x, y): \forall_{z \in X} ((x, z) \in r_1' \Leftrightarrow (y, z) \in r_1') \cap \forall_{z \in X} ((z, x) \in r_1' \Leftrightarrow (z, y) \in r_1')\} \cap \dots \cap \\ &\cap \{(x, y): \forall_{z \in X} ((x, z) \in r_l' \Leftrightarrow (y, z) \in r_l') \cap \forall_{z \in X} ((z, x) \in r_l' \Leftrightarrow (z, y) \in r_l')\} \\ &= \bigcap_{a \in A'} \hat{a} \cap \bigcap_{r \in R'} \hat{r} = \hat{s}_{r'} \end{aligned}$$

cbdo

Własność 2.9. Jeżeli system Sr' jest podsystemem Sr , gdzie $A' = A$ i Sr jest selektywny, to również Sr' jest selektywny.

Uwaga: Jeżeli system Sr' jest podsystemem Sr , gdzie $A' \subset A$ oraz Sr jest selektywny, to system Sr' nie musi być selektywny.

2.2.2. Język rozszerzonego wielowartościowego systemu informacyjnego

Niech system $S = \langle X, A, V, \rho \rangle$ będzie wielowartościowym systemem informacyjnym, L_S językiem tego systemu; niech dodatkowo system $Sr = \langle X, R, A, V, \rho \rangle$ będzie rozszerzonym wielowartościowym systemem informacyjnym, a L_{Sr} oznacza jego język. Wtedy językiem L_{Sr} nazywamy taki język, którego składnia, semantyka oraz własności są identyczne z odpowiednimi elementami języka L_S .

Język L_{Sr} w prosty sposób można wzbogacić o elementy umożliwiające wyszukiwanie oparte o relacje ze zbioru R . Jednak nie jest to istotą proponowanej metody wyszukiwania, tak więc zagadnienie to nie zostało ujęte w niniejszej pracy.

3. METODA WYSZUKIWANIA INFORMACJI W ROZSZERZONYM WIELOWARTOŚCIOWYM SYSTEMIE INFORMACYJNYM

Metoda wyszukiwania informacji oparta jest na założeniu, że do modyfikacji charakterystyki wyszukiwawczej danego obiektu w systemie, wyrażonej w postaci wartości funkcji informacyjnej ρ , można wykorzystać charakterystyki wyszukiwawcze obiektów będących z nim w pewnej relacji [Sob 93]. Modyfikacje charakterystyk wyszukiwawczych mogą zostać sprecyzowane jedynie na podstawie przyjętego typu obiektów wchodzących w skład zbioru obiektów, przyjętego zbioru atrybutów oraz przyjętych typów relacji łączących te obiekty. Metoda ta skrótowo będzie zwana metodą MMCW.

Metoda MMCW może mieć zastosowanie w tego rodzaju systemach wyszukiwania informacji, w których osiągnięcie zadowalających wartości efektywności systemu mierzonej przez kompletność i dokładność wyszukiwania jest bardzo istotne. Dawniej tego typu systemami były głównie systemy bibliograficzne, jednak wraz ze wzrostem różnorodnych zastosowań komputerów oraz wzrostem objętości informacji zawartych w systemach komputerowych problemy tego rodzaju pojawiają się coraz częściej.

Ogólnie rzecz biorąc zaproponowana metoda wyszukiwania odpowiedzi na zadane przez użytkownika pytanie polega na sukcesywnym modyfikowaniu rozszerzonego wielowartościowego systemu informacyjnego i uzupełnianiu zbioru odpowiedzi o obiekty należące do znaczenia tego pytania w kolejnych jego modyfikacjach. Modyfikacje te są dokonywane przez pewien przygotowany zestaw przekształceń systemu, będących pewnego rodzaju regułami o sprecyzowanych warunkach zastosowania i ich konkluzji. Zestaw tych przekształceń jest związany z typem obiektów reprezentowanych w systemie, a co za tym idzie z przyjętymi dla tych obiektów: zbiorem atrybutów i jego wartości oraz zbiorem relacji zachodzących między obiektami.

W niniejszym rozdziale metoda MMCW została przedstawiona w sposób ogólny, tzn. bez wnikania w semantykę określonego systemu. Wydaje się, że tego typu metodę można zastosować dla różnego typu systemów zamodelowanych w postaci rozszerzonego wielowartościowego systemu informacyjnego, jednak w niniejszej pracy jej weryfikację przeprowadzono jedynie dla systemu informacji o problemach naukowych.

3.1. Przestrzeń stanów rozszerzonego wielowartościowego systemu informacyjnego

Wspomniane we wstępie tego rozdziału modyfikacje systemu informacyjnego tworzą pewnego rodzaju przestrzeń stanów tego systemu. O tym, jaką mają one postać, decydują: postać rozszerzonego wielowartościowego systemu informacyjnego, przyjęty zbiór przekształceń oraz pewnego rodzaju strategia decydująca o kolejności wykonywanych przekształceń. Strategia ta powinna być uwarunkowana pytaniem użytkownika skierowanym do systemu, gdyż wyszukiwanie informacji (na zadane pytanie) jest istotą systemów wyszukiwania informacji.

Modyfikacje systemu informacyjnego mogą obejmować nie tylko wartości funkcji ρ , ale także zbioru obiektów, a co za tym idzie, zbioru relacji pomiędzy obiektami. Modyfikacja zbioru obiektów polega na generowaniu podziałów tego zbioru. Wykorzystanie podziałów jest uogólnionym sposobem korzystania ze zbioru obiektów, gdyż istnieje taki podział, który składa się wyłącznie ze zbiorów jednoelementowych. Interpretacja wykorzystania zbioru podziałów podana zostanie w następnym rozdziale omawiającym szczegółowo implementację metody MMCW w bazie opisów problemów naukowych systemu SWIP.

Zdefiniowanie przestrzeni stanów rozszerzonego wielowartościowego systemu informacyjnego zostanie poprzedzone definicją przestrzeni tego systemu stanowiącą dziedzinę zmienności wartości tego systemu.

Def.3.1. Przestrzenią rozszerzonego wielowartościowego systemu informacyjnego $Sr = \langle X, R, A, V, \rho \rangle$ nazywa się taki zbiór U_{Sr} , że:

$$U_{Sr} = \{St : St = \langle C(X), R^*, A, V, \rho^* \rangle\},$$

gdzie:

$C(X)$ - dowolny podział zbioru X ;

$R^* = \{r_1^*, r_2^*, \dots, r_k^*\}$, gdzie: $|R^*| = |R|$ oraz $r_j^* \subset C(X) \times C(X)$, dla $j = 1, 2, \dots, k$;

$\rho^*: C(X) \times A \rightarrow 2^V$.

Def.3.2. Informacją o elemencie podziału $c \in C(X)$ nazywamy funkcję ρ_c^* określoną w następujący sposób: $\rho_c^*: A \rightarrow 2^V$, przy czym $\rho_c^*(a) = \rho^*(c, a)$ dla każdego $c \in C(X)$ i $a \in A$.

Każdy element przestrzeni $St \in U_{Sr}$ różni się tym od rozszerzonego wielowartościowego systemu informacyjnego Sr , że zbiór obiektów X z systemu Sr zastąpiony jest pewnym podziałem $C(X)$ tego zbioru. W konsekwencji zamiast informacji o obiektach $x \in X$ tzn. ρ_x , mamy informację o podzbiorach zbioru obiektów tworzących pewien podział zbioru X , tzn. ρ_c^* , gdzie $c \in C(X)$ oraz zamiast zbioru relacji R , zachodzących pomiędzy obiektami $x \in X$, mamy zbiór relacji R^* , pomiędzy elementami podziału $C(X)$.

Def.3.3. Zbiorem przekształceń przestrzeni U_{Sr} nazywamy zbiór $P = \{p_1, p_2, \dots, p_k\}$, gdzie $p_j: U_{Sr} \rightarrow U_{Sr}$, $j = 1, 2, \dots, k$.

Z definicji 3.1 wynika, że spośród pięciu elementów każdego $St \in U_{Sr}$ dwa z nich, a mianowicie zbiór atrybutów A i zbiór wartości atrybutów V nie ulegają zmianie. Tak więc każde z przekształceń $p \in P$ dotyczy trzech elementów St , a mianowicie: $C(X)$, R^* i ρ^* . Można więc zapisać p jako trójkę $\langle p^c, p^r, p^\rho \rangle$, która reprezentuje przekształcenia odpowiednio: podziału zbioru X , zbioru relacji i funkcji informacyjnej.

Niech p będzie dowolnym przekształceniem ze zbioru P , niech systemy $St^{(i)} = \langle C^{(i)}(X), R^{(i)}, A, V, \rho^{(i)} \rangle$ i $St^{(i+1)} = \langle C^{(i+1)}(X), R^{(i+1)}, A, V, \rho^{(i+1)} \rangle$ należą do U_{Sr} oraz $p(St^{(i)}) = St^{(i+1)}$, co inaczej można zapisać: $p^c(C^{(i)}(X)) = C^{(i+1)}(X)$, $p^r(R^{(i)}) = R^{(i+1)}$, $p^\rho(\rho^{(i)}) = \rho^{(i+1)}$, wtedy odpowiednie elementy $St^{(i+1)}$ posiadają następujące własności:

1) Podział $C^{(i)}(X)$ jest podziałem drobniejszym od podziału $C^{(i+1)}(X)$, co oznacza, że każdy element zbioru $C^{(i+1)}(X)$ jest także elementem $C^{(i)}(X)$ lub powstał poprzez zsumowanie (teoriomnogościowe) pewnych elementów $C^{(i)}(X)$, stąd każdy element $C^{(i+1)}(X)$ spełnia następujący warunek:

$$\forall_{c \in C^{(i+1)}(X)} \exists_{b \in C^{(i)}(X)} b \subseteq c$$

2) Przekształcenie zbioru relacji jest tego rodzaju, że przekształca każdy element zbioru $R^{(i)}$ w jeden element zbioru $R^{(i+1)}$, tzn.:

$$p^r(R^{(i)}) = p^r(\{r^{(i)}: r^{(i)} \in R^{(i)}\}) = \{p^r(r^{(i)}): p^r(r^{(i)}) \in R^{(i+1)}\} = \{r^{(i+1)}: r^{(i+1)} \in R^{(i+1)}\} = R^{(i+1)}$$

przy czym każda relacja $r^{(i+1)} \in R^{(i+1)}$ dla określonych wartości $C^{(i)}(X)$, $C^{(i+1)}(X)$ i $R^{(i+1)}$ ma następującą postać:

$$r^{(i+1)} = \{(c_1', c_2'): (c_1, c_2) \in r^{(i)} \wedge c_1, c_2 \in C^{(i)}(X) \wedge c_1', c_2' \in C^{(i+1)}(X) \wedge c_1' \neq c_2' \wedge c_1 \subseteq c_1' \wedge c_2 \subseteq c_2'\}$$

Powyższe oznacza, że relacja $r^{(i+1)}$ jest równa relacji $r^{(i)}$ w przypadku, gdy podział $C^{(i+1)}(X)$ jest równy podziałowi $C^{(i)}(X)$. Natomiast gdy podziały nie są sobie równe, wtedy relacja ze zbioru relacji $R^{(i+1)}$ zawiera te same pary uporządkowane co odpowiadająca mu relacja ze zbioru $R^{(i)}$, oprócz par pomiędzy tymi elementami podziału $C^{(i)}(X)$, które w podziale $C^{(i+1)}(X)$ należą do tego samego elementu.

3) Funkcja informacyjna $\rho^{(i+1)}$ spełnia następujące dwa warunki:

- $\forall (a \in A) \forall (c \in C^{(i)}(X) \cap C^{(i+1)}(X)) [\rho^{(i)}(c, a) \subseteq \rho^{(i+1)}(c, a)]$
- $\forall (a \in A) \forall (c' \in C^{(i+1)}(X) - C^{(i)}(X)) \exists (c \in C^{(i)}(X) - C^{(i+1)}(X)) [\rho^{(i)}(c, a) \subseteq \rho^{(i+1)}(c', a)]$

Powyższe oznacza, że wartość funkcji informacyjnej dla każdego atrybutu oraz każdego elementu zbioru $C^{(i+1)}(X)$ zawiera wartość funkcji informacyjnej dla tego samego atrybutu elementu zbioru $C^{(i)}(X)$, o ile elementy tych zbiorów są sobie równe bądź w przypadku, gdy element zbioru $C^{(i+1)}(X)$ nie jest równy żadnemu elementowi ze zbioru $C^{(i)}(X)$, ale jest sumą dwóch lub więcej elementów tego zbioru, wartość funkcji informacyjnej dla każdego atrybutu zawiera wartość funkcji informacyjnej dla tego samego atrybutu dla przynajmniej jednego elementu zbioru $C^{(i)}(X)$.

Uwaga: Na tym etapie rozważań bardziej szczegółowa charakterystyka przekształceń wchodzących w skład zbioru P nie jest możliwa, gdyż zależą one od konkretnego systemu informacyjnego, oraz od znaczenia powiązań pomiędzy poszczególnymi obiektami systemu informacyjnego. W dalszej części podana zostanie konkretna postać zbioru P dla systemu reprezentującego informacje o problemach naukowych.

Def.3.4. Niech St^0 będzie elementem przestrzeni U_{St} , a P zbiorem przekształceń tej przestrzeni; z elementu St^0 na podstawie przekształceń należących do zbioru P można

wygenerować pewną podprzestrzeń przestrzeni U_{Sr} zwaną przestrzenią stanów systemu Sr i oznaczaną $U_{Sr}^P(St^0)$ lub dla skrócenia zapisu po prostu U .

Def.3.5. Stanem przestrzeni U nazywamy system St , który należy do przestrzeni stanów U , natomiast taki system St^0 , z którego została wygenerowana ta podprzestrzeń nazywamy stanem początkowym.

3.2. Język L_{Sr} w przestrzeni stanów U

Wyszukiwanie informacji w przestrzeni U odbywa się z wykorzystaniem języka zapytań, który jest identyczny z językiem L_{Sr} ze względu na rodzaj stawianych pytań, składnię języka oraz reguły przekształcania termów, natomiast jeżeli chodzi o jego semantykę to występują tu pewnego rodzaju modyfikacje.

Rozpatrzmy najpierw znaczenie termów języka L_{Sr} w stanie St przestrzeni U . Niech $Sr = \langle X, R, A, V, \rho \rangle$ będzie rozszerzonym wielowartościowym systemem informacyjnym, L_{Sr} niech będzie językiem tego systemu oraz niech $St = \langle C(X), R^*, A, V, \rho^* \rangle$ będzie stanem przestrzeni U . Znaczeniem termu $t \in L_{Sr}$ w stanie St jest pewien podzbiór podziału $C(X)$, który stanowi odpowiedź na pytanie reprezentowane przez term t . Znaczenie termu w stanie St jest określone przez funkcję $\sigma_{St}: L_{Sr} \rightarrow 2^{C(X)}$, której argumentami są termy języka L_{Sr} , wartościami zaś podzbiory podziału $C(X)$. Funkcja ta nazywać się będzie semantyką języka L_{Sr} w stanie St . Jeżeli stan St jest znany, to zamiast pisać σ_{St} będziemy pisać σ .

Funkcja σ dla języka L_{Sr} w stanie $St = \langle C^n, R^n, A, V, \rho^n \rangle$ przestrzeni U musi mieć następujące własności:

- $\sigma(0) = \emptyset, \sigma(1) = C(X)$
- $\sigma(a, v) = \{c \in C(X) : v \in \rho_c^*(a)\}$, gdzie $a \in A$ i $v \in V$
- $\sigma(t + t') = \sigma(t) \cup \sigma(t')$
- $\sigma(t * t') = \sigma(t) \cap \sigma(t')$

Uwaga: Jeżeli $St', St'' \in U$, $St' \neq St''$ i term $t \in L_{Sr}$, to $\sigma_{St'}(t)$ nie musi być równe $\sigma_{St''}(t)$.

Dla $t, t' \in L_{Sr}$, zachodzi $\sigma_{St}(t) = \sigma_{St}(t')$, tzn. że są semantycznie równe w stanie St , jeżeli term t' powstał z termu t po zastosowaniu przekształceń przedstawionych w pkt. 2.1.2.3.

Po rozważaniach dotyczących znaczenia termów języka L_{Sr} w stanie St przestrzeni U można zdefiniować znaczenie tego termu w całej przestrzeni U .

Def.3.6. Znaczeniem termu $t \in L_{Sr}$ w przestrzeni U nazywamy taki zbiór $\sigma_U(t)$, że

$$\sigma_U(t) = \bigcup_{St \in U} \sigma_{St}(t).$$

3.3. Wyszukiwanie informacji w przestrzeni stanów rozszerzonego wielowartościowego systemu informacyjnego.

Niech $Sr = \langle X, R, A, V, \rho \rangle$ będzie rozszerzonym wielowartościowym systemem informacyjnym, P zbiorem przekształceń, $St^0 \in U_{Sr}$ stanem początkowym, $U = U_{Sr}^P(St^0)$ przestrzenią stanów, $St = \langle C(X), R^*, A, V, \rho^* \rangle$ stanem przestrzeni U oraz L_{Sr} językiem systemu Sr . Wyszukiwanie informacji w przestrzeni U oznacza wyznaczenie znaczenia termu $t \in L_{Sr}$ wyrażającego pytanie użytkownika w tej przestrzeni. W rzeczywistości nie zawsze jest to możliwe ze względu na dużą liczbę stanów w przestrzeni. Tak więc wyszukiwanie w przestrzeni U można potraktować jako wyznaczenie pewnego podzbioru znaczenia termu t w przestrzeni stanów U , czyli podzbioru $\sigma_U(t)$. Podzbiór ten będziemy nazywać zbiorem odpowiedzi $Odp(t)$. Wyszukiwanie odbywa się na drodze działania algorytmu, którego istotą jest generowanie stanów St przestrzeni U poprzez stosowanie odpowiednich przekształceń ze zbioru P oraz wyznaczanie dla nich wartości semantyki $\sigma_{St}(t)$. Następnie zbiór $Odp(t)$, który na początku działania algorytmu jest pusty, rozszerzany jest o elementy $\sigma_{St}(t)$ dla kolejnych wygenerowanych stanów przestrzeni U .

Jak wspomniano, przestrzeń U jest na tyle liczna, że jej całkowite przeszukiwanie nie jest możliwe. W takich sytuacjach stosuje się algorytmy przeszukiwania heurystycznego, które przeszukując jedynie fragment przestrzeni, pozwalają osiągnąć zadowalające rezultaty w sensie efektywności wyszukiwania informacji, tj. osiągnięcie zadowalającej kompletności i dokładności wyszukiwania.

Tak więc można przyjąć, że algorytm przeszukiwania heurystycznego przestrzeni stanów skończy swoje działanie po wygenerowaniu pewnej liczby N stanów, czyli ostatecznie zbiór odpowiedzi $Odp(t)$ będzie miał następującą postać: $Odp(t) = \bigcup_{i=0}^N \sigma_{St^{(i)}}(t)$.

3.3.1. Algorytm heurystycznego przeszukiwania przestrzeni stanów U

Istnieje wiele algorytmów przeszukiwania heurystycznego. Do takich algorytmów należą np. algorytmy typu A [Nil 80, Mar 77, Bol 89]. Algorytmy te, a w szczególności algorytmy typu A^* , skoncentrowane są na znajdowaniu rozwiązania optymalnego, pod względem odległości wężła celu od wężła początkowego (więcej informacji na temat ich własności znajduje się w pkt. 3.4), natomiast w wielu przypadkach pożądane jest znalezienie rozwiązania nieoptymalnego, ale w dopuszczalnym czasie [Kor 90]. Z tego też względu przy konstrukcji algorytmu heurystycznego przeszukiwania przestrzeni stanów systemu informacyjnego skoncentrowałem się na tym, by czas znalezienia rozwiązań był akceptowalny przez użytkownika systemu informacyjnego, stało się to jednak kosztem optymalności znajdowanych przez niego rozwiązań.

Proponowany przeze mnie algorytm jest modyfikacją algorytmu A^* przedstawionego w pracy [Bol 89] jako procedura HPA^* . Parametrami tej procedury są:

- p : wężel początkowy;
- C : własność celu;
- K : własność końcowa;
- h : estymacja heurystyczna;
- c : funkcja kosztu.

Uwaga: Do opisu algorytmu będę używał nazewnictwa z dziedziny sztucznej inteligencji.

Tak więc stan $St \in U$ nazywany jest wężlem.

1. Wężlem początkowym algorytmu heurystycznego przeszukiwania przestrzeni U będzie stan $St^0 = \langle C^0(X), R^0, A, V, \rho^0 \rangle$,

gdzie:

$$C^0(X) = \{\{x\} : x \in X\};$$

$$R^0 = \{r_1^0, r_2^0, \dots, r_k^0\}, \text{ gdzie } R = \{r_1, r_2, \dots, r_k\} \text{ oraz } r_j^0 = \{(\{x_1\}, \{x_2\}) : (x_1, x_2) \in r_j\} \text{ dla } j = 1, 2, \dots, k;$$

$$\rho^0 : \rho_{\{x\}}^0 = \rho_x.$$

2. Własnością celu będzie znalezienie takiego stanu $St \in U$, który spełnia warunek: $\sigma_{St}(t) - Odp(t) \neq \emptyset$, gdzie $Odp(t)$ zawiera do tej pory zgromadzone odpowiedzi.
3. Własnością końcową będzie osiągnięcie przez drzewo przeszukiwań zadanej głębokości d (co oznacza, że licząc od węzła początkowego zastosowano d dowolnych przekształceń ze zbioru P).
4. Estymacja heurystyczna $h(w)$, w każdym węźle w estymuje minimalny koszt ścieżki z węzła w do węzła celu. W algorytmach przeszukiwania heurystycznego prawidłowe określenie estymacji heurystycznej ma bardzo duże znaczenie, gdyż jej jakość decyduje o tym, jak szybko algorytm przeszukiwania heurystycznego zakończy się sukcesem (określonym przez własność celu). Estymacja heurystyczna $h(w)$ określona jest w następujący sposób:

$$h(w) = \min_{c \in C^{(w)} - Odp(t)} \left(\min \left(\frac{k_{t_i} - s_{t_i}}{k_{t_i}} \right) \right)$$

gdzie $w = St^{(w)}$, $C^{(w)}(X) \in St^{(w)}$. Z własności 1.5, wynika że każdy term $t \in L_{Sr}$ przedstawić można w postaci normalnej, tak więc, niech t' będzie termem w postaci normalnej, równoważnym termowi t , gdzie $t' = t_1 + t_2 + \dots + t_k$ oraz każdy term t_i dla $i = 1, 2, \dots, k$ jest termem prostym (def. 1.11); s_{t_i} jest największą liczbą różnych deskryptorów (a, v) tworzących term t_i , które dla pewnego $c \in C^{(w)}(X) - Odp(t)$ spełniają następującą własność: $v \in \rho^{(w)}(c, a)$, natomiast k_{t_i} jest liczbą wszystkich różnych deskryptorów wchodzących w skład termu t_i .

5. Funkcja kosztu c , określa koszt drogi od węzła w_1 do jego potomka w_2 i wynosi $c(w_1, w_2) = l/d$, dla wszystkich węzłów w_1, w_2 .

W procedurze HPA wykorzystano dodatkowo następujące oznaczenia:

- **O**: lista węzłów otwartych;
- **Z**: lista węzłów zamkniętych;
- $g(w)$: funkcja kosztu minimalnej ścieżki z węzła początkowego p do węzła w ;
- $f(w) = g(w) + h(w)$: funkcja estymacyjna, która w każdym węźle w estymuje sumę kosztu minimalnej drogi z węzła p do węzła w oraz minimalnego kosztu ścieżki z węzła w do węzła celu;

- $Odp(t)$: zbiór odpowiedzi na pytanie wyrażone termem t ;
- m : pożądana liczba odpowiedzi.

Uwaga: Na początku działania algorytmu zbiory O , Z , $Odp(t)$ są puste. Objaśnienie podprocedur i funkcji wykorzystanych w procedurze HPA zostanie podane poniżej.

```

procedure HPA(p, C, K, H, c):
  begin
    ROZSZERZENIE (O, {p});
    g(p):=0;
    ROZSZERZENIE (Odp(t),  $\sigma_p(t)$ );
    while O $\neq\emptyset$  and |Odp(t)| < m do
      begin
        a:=WYBÓR_HA(O);
        USUNIĘCIE({a}, O);
        ROZSZERZENIE(Z, {a});
        G:=GENERACJA_HA(a);
        for b $\in$ G do
          if TEST(b,C) then
            begin
              ROZSZERZENIE(Odp(t),  $\sigma_a(t)$ );
              UPORZĄDKOWANIE_HA(b);
              goto KK
            end;
          for b $\in$ G do
            if TEST(b,K) then
              begin
                UPORZĄDKOWANIE_HA(b);
                goto KK
              end;
            for b $\in$ G do
              begin
                if b $\notin$ O and b $\notin$ Z then
                  begin
                    WYZNACZENIE_h(b);
                    g(b):=g(a)+c(a,b);
                    f(b):=h(b)+g(b);
                    ROZSZERZENIE(O, {b})
                  end;
                else
                  begin
                    MODYFIKACJA_f(b);
                    if b $\in$ Z then
                      begin
                        ROZSZERZENIE(O, {b});
                        USUNIĘCIE({b}, Z);
                      end
                    end
                  end
                end
              end
            end
          end
        end
      end
    end;
    if Odp(t)= $\emptyset$  then
      WYJŚCIE_Z_NIEPOWODZENIEM
    else
      WYPISZ(Odp(t));
    end;
  end;

```


Objaśnienie procedur i funkcji:

- ROZSZERZENIE(A,B) : rozszerza zbiór A o zbiór B;
- WYBÓR_HA(O): wybiera z listy O element o minimalnej wartości funkcji f ;
- USUNIĘCIE(A,B): usuwa ze zbioru B wszystkie elementy należące do A;
- GENERACJA_HA(w): dokonuje ekspansji węzła w ;
- TEST(w,War): sprawdza, czy węzeł w spełnia warunek War;
- UPORZĄDKOWANIE_HA(w): usuwa z listy Z przodków węzła w, nie mających potomków na liście O;
- WYZNACZENIE_h(w): wyznacza wartość estymacji heurystycznej $h(w)$;
- MODYFIKACJA_f(w): porównuje nową wartość $g(w)$ z wartością poprzednio wykorzystywaną przy obliczaniu funkcji $f(w)$; mniejsza z nich przyporządkowana zostaje węzłowi w; w ścieżce rozwiązania węzeł w ma tego przodka, który zapewnia mniejszą wartość $g(b)$;
- WYJŚCIE_Z_NIEPOWODZENIEM: wyjście z procedury z pustym zbiorem odpowiedzi;
- WYPISZ(A): wypisuje elementy ze zbioru A.

3.3.2. Uporządkowanie zbioru odpowiedzi

Metoda wyszukiwania informacji w przestrzeni stanów rozszerzonego wielowartościowego systemu informacyjnego umożliwia uporządkowanie zbioru odpowiedzi systemu pod względem malejącej relewancji odpowiedzi na zadane pytanie. Uporządkowanie zbioru odpowiedzi daje użytkownikowi możliwość przejrzenia najpierw odpowiedzi znajdujących się na początku zbioru z pominięciem odpowiedzi znajdujących się w dalszej kolejności. Cecha ta jest szczególnie istotna w przypadku licznego zbioru odpowiedzi.

Odpowiedzią uporządkowaną na pytanie wyrażone w postaci termu t - $Odp_{up}(t)$, będziemy nazywać zbiór o następującej postaci: $Odp_{up}(t) = \{(o_1, k_1), (o_2, k_2), \dots, (o_n, k_n)\}$, gdzie $o_j \in Odp(t)$, k_j - liczba całkowita, $k_j \leq k_{j+1}$ oraz $j = 1, 2, \dots, n$. Wartość liczby k_j równa jest liczbie

przekształceń $p \in P$, które wykonano, by otrzymać ze stanu początkowego St^0 stan $St^{(i)}$, dla którego znaczenie termu zawiera odpowiedź o_j , tzn. $o_j \in \sigma_{St^{(i)}}(t)$.

Tak więc w zbiorze $Odp_{up}(t)$ w pierwszej kolejności znajdują się takie odpowiedzi $o \in Odp_{up}(t)$, takie że $o \in \sigma_{St^0}(t)$, a następnie $o \in \sigma_{St^{(i)}}(t)$, jeżeli stan $St^{(i)} \in U$ powstał po przekształceniu stanu początkowego St^0 poprzez użycie jednego, dwóch, itd. przekształceń $p \in P$.

3.4. Analiza strategii przeszukiwania przestrzeni stanów

Analiza strategii przeszukiwania polega na określeniu pewnych jego cech, do których należą: zbieżność, dopuszczalność i złożoność obliczeniowa strategii.

Strategia przeszukiwania jest zbieżna, gdy gwarantuje znalezienie drogi lub grafu rozwiązania, gdy takie istnieją, albo informacji o braku rozwiązania (w przypadku gdy przestrzeń przeszukiwania jest skończona). Strategia, która gwarantuje osiągnięcie rozwiązania optymalnego (o ile takie rozwiązanie istnieje) nazywana jest strategią dopuszczalną. Złożoność obliczeniowa strategii przeszukiwania jest kosztem wyznaczenia rozwiązania, utożsamiana najczęściej z kosztem generowania i sprawdzania węzłów oraz wykrywania niepożądanych kierunków przeszukiwania.

3.4.1. Zbieżność strategii przeszukiwania

Strategia A dla dowolnej skończonej sieci z nieujemną funkcją kosztu jest zbieżna, gdyż liczba acyklicznych dróg skończonego grafu jest skończona, natomiast ponowne włączenie do przeszukiwania już raz zbadanego węzła w może nastąpić tylko wtedy, gdy została wyznaczona nowa droga do węzła w , o koszcie ściśle mniejszym od kosztu drogi uprzednio wyznaczonej. Jako, że funkcja kosztu jest nieujemna, możliwe jest tylko jednokrotne badanie krawędzi grafu, więc strategia A jest zbieżna [Nil 80, Bol 91].

Strategia A jest również zbieżna dla sieci nieskończonej (grafu lokalnie skończonego) z dodatnią funkcją kosztu. Graf lokalnie skończony posiada skończoną liczbę acyklicznych dróg z ograniczoną długością (wyrażoną liczbą krawędzi). Badanie

nieskończonych dróg w grafie musi być w pewnym momencie przerwane, gdyż ich koszt rośnie wraz ze wzrostem długości, tak więc zbieżność strategii można wykazać analogicznie jak w przypadku grafu skończonego [Nil 80, Bol 91].

3.4.2. Dopuszczalność strategii A

Dopuszczalność strategii A zależy od użytej funkcji heurystycznej. W pracy [Nil 80] przedstawiono dowód na to, że strategia A jest dopuszczalna, jeżeli funkcja heurystyczna dla każdego wężła badanego grafu spełnia nierówność $h(w) \leq h^*(w)$, gdzie $h^*(w)$ jest minimalnym kosztem drogi z wężła w do wężła celu. Funkcja heurystyczna spełniająca taką nierówność nazywana jest funkcją redukującą. Strategię A z redukującą funkcją heurystyczną nazywa się strategią A^* .

Warunek redukowalności funkcji można wyrazić w sposób łatwiejszy do sprawdzenia. W tym celu należy wprowadzić własność monotoniczności funkcji heurystycznej, która jest spełniona, gdy dla każdego wężła grafu w oraz każdego jego potomka v zachodzi nierówność $h(w) - h(v) \leq c(w, v)$, gdzie $c(w, v)$ jest kosztem drogi z wężła w do wężła v , oraz należy wprowadzić własność zgodności funkcji heurystycznej, która jest spełniona gdy dla każdego wężła w spełniającego kryterium celu $h(w) = 0$. Jeżeli funkcja heurystyczna jest monotoniczna i zgodna, to jest ona funkcją redukującą [Nil 80].

W przypadku gdy funkcja heurystyczna spełnia następujące nierówności:

$$h^*(w) - d \leq h(w) \leq h^*(w) - e$$

dla każdego wężła w , to można mówić, że strategia wykorzystująca taką funkcję heurystyczną jest e - optymalna lub e - dopuszczalna [Har 74]. Oczywiście w przypadku gdy $e = 0$ i $d > h^*(w)$ strategia jest po prostu dopuszczalna.

3.4.3. Złożoność strategii A^*

Złożoność strategii A^* jest często trudna do oszacowania [Bol 89]. Badania nad strategią A^* wykorzystującą prawie dokładną funkcję heurystyczną, tzn. taką, która uporządkowuje zbiór wszystkich wężłów dokładnie tak jak h^* , pozwoliły wyznaczyć złożoność strategii na poziomie $O(M)$, gdzie M jest liczbą wężłów drogi optymalnej.

W przypadku gdy funkcja heurystyczna jest monotoniczna złożoność strategii A^* można ograniczyć z góry do $O(N)$, gdzie N jest liczbą węzłów możliwych do rozszerzenia w badanym grafie [Nil 80].

W przypadku strategii *najpierw wszerz* (ang. *breadth-first search*), która jest szczególnym przypadkiem strategii A^* ($h=0$), oczekiwana liczba węzłów możliwych do rozszerzenia wynosi [Pea 83]:

$$\frac{1}{2} * \frac{m+1}{m-1} * m^M$$

gdzie m jest liczbą potomków każdego węzła, a M długością drogi z węzła startowego do węzła celu.

W ramach badań nad złożonością algorytmu A^* prowadzono również badania średniej złożoności obliczeniowej w zależności od prawdopodobieństwa błędu pomiędzy h^* a h [Pea 83]. Pozwoliły one udowodnić, że w celu zachowania wielomianowej złożoności obliczeniowej (w zależności od liczby węzłów drogi optymalnej) strategii przeszukiwania, musi wykorzystywać heurystykę o precyzji logarytmicznej. Tak więc w przypadku, gdy bardzo dobra informacja heurystyczna nie jest dostępna, to wykorzystanie strategii A^* ogranicza się do grafów, dla których droga rozwiązania liczy jedynie kilkadziesiąt węzłów [Bol 89].

4. WYSZUKIWANIE INFORMACJI W BAZIE OPISÓW PROBLEMÓW NAUKOWYCH.

W niniejszym rozdziale zostanie przedstawiona implementacja metody MMCW w bazie opisów problemów naukowych systemu SWIP. Metoda MMCW została przedstawiona w rozdziale 3, natomiast dokładne omówienie opisów problemów naukowych zostało zamieszczone w rozdziale 1.

Baza opisów problemów naukowych tworzy pewien model wiedzy z danej dziedziny nauki. W bazie istnieją wzajemnie ze sobą powiązane opisy rozwiązań problemów, które dobrze odzwierciedlają elementy i związki tworzące wiedzę. Rozwiązanie każdego problemu naukowego opiera się na zgromadzonej do tej pory wiedzy, gdyż w rozwiązaniu każdego nowego problemu wykorzystuje się już poznane i opisane fakty, metody czy modele, bez względu na dziedzinę wiedzy, której dotyczy to rozwiązanie. Występuje także zależność odwrotna, gdyż wprowadzenie nowego rozwiązania problemu do wiedzy powoduje jej aktualizację. Aktualizacja taka może mieć mniejsze lub większe znaczenie dla zgromadzonej wiedzy. Może np. zwiększyć zakres stosowania znanej wcześniej metody, ale także może obalić powszechnie stosowany model bądź całą teorię czy też wprowadzić nowy model, który dopiero z czasem uzyska akceptację uczonych [Pet 85]. Oczywiście większość rozwiązań problemów nie powoduje tak drastycznych skutków.

Wyżej wymienionych zależności nie są w stanie reprezentować dotychczas stosowane systemy wyszukiwania informacji. Natomiast baza opisów rozwiązań problemów naukowych zawiera zależności (powiązania) pomiędzy opisami problemów. Dotychczasowe wykorzystanie ich w procesie wyszukiwania jest niepełne, gdyż związki te nie są brane pod uwagę w trakcie znajdowania odpowiedzi systemu na instrukcję wyszukiwawczą. Mogą one natomiast pozwolić użytkownikowi przeglądającemu wyszukane opisy na przejście do opisów problemów związanych (za pomocą mechanizmów hipertekstu). Wydaje się jednak, że jest to niewystarczające. Związki pomiędzy problemami mogą i powinny wpływać na obrazy wyszukiwawcze opisów problemów tak, aby poprawić efektywność wyszukiwania. Inną kwestią jest oczywiście

określenie charakteru zachodzących związków oraz wprowadzanie na tej podstawie odpowiednich modyfikacji do obrazu wyszukiwawczego.

Dobrym przykładem wykorzystania związków pomiędzy elementami bazy w celu wyszukiwania informacji jest Science Citation Index [Gar 79]. Idea wyszukiwania oparta na indeksowaniu cytowaniami jest prosta, gdyż niemal wszystkie publikacje naukowe zawierają cytowania (tytuł, nazwisko autora oraz miejsce i czas publikacji dokumentu). Cytowania występują w dokumentach z wielu różnych powodów, Garfield w swojej pracy wyliczył ich aż piętnaście. Należą do nich między innymi:

- składanie hołdu pionierom
- określanie metodologii
- dostarczanie bibliografii podstawowej
- poprawianie swojej lub cudzej pracy
- krytykowanie poprzednich prac
- ukonkretnianie tez
- wskazywanie mało znanych prac
- identyfikowanie oryginalnych prac.

Indeks cytowań jest zbudowany wokół tego typu połączeń i umożliwia, po zlokalizowaniu pewnego relewantnego dokumentu, dotarcie do wielu innych potencjalnie relewantnych dokumentów.

Ograniczenie wyszukiwania jedynie do związków pomiędzy dokumentami, bez wnikiwania w treść danych dokumentów i w charakter ich powiązań powoduje, że efektywność wyszukiwania nie jest zadowalająca. Szczególnie, że do tej pory nie opracowano praktycznej metody etykietowania cytowań do celów wyszukiwania [Lio 93]. Daleko lepsze rezultaty osiąga się na podstawie wyszukiwania bazującego wyłącznie na semantycznej reprezentacji dokumentów [Pao 89]. Jednak ciekawie wygląda połączenie tych dwóch typów wyszukiwań. Okazuje się, że chociaż wyszukiwanie oparte o reprezentację semantyczną dokumentów daje w efekcie większą część dokumentów relewantnych, a wyszukiwanie oparte o cytowania - mniejszą, to jednak zbiory te nie pokrywają się całkowicie, a zatem połączenie dwóch sposobów wyszukiwania poprawia

efektywność wyszukiwania (szczególnie jeżeli chodzi o jego kompletność) [Pao 89]. Wynika z tego, że relewancja dokumentów wyszukanych na podstawie reprezentacji semantycznej i cytowań opiera się na całkowicie różnych związkach między dokumentami, przy czym związki w przypadku cytowań nie są do końca rozumiane. Nie ma w tym nic dziwnego, gdyż dopiero dokładne badania nad problemami naukowymi przeprowadzone w ramach tworzenia i weryfikacji metody reprezentacji problemów naukowych w systemie wyszukiwania informacji [Cho 90] pozwoliły na wyodrębnienie tych związków i określenie ich roli w wyszukiwaniu informacji.

Idea metody wyszukiwania informacji MMCW bazuje na połączeniu wyszukiwania opartego na semantycznej reprezentacji opisów problemów naukowych oraz na związkach pomiędzy tymi opisami (a właściwie wpływu tych związków na reprezentację semantyczną). Przyjrzyjmy się przykładom związków pomiędzy problemami oraz możliwymi modyfikacjami semantycznej reprezentacji tych problemów:

1) Związki mające wpływ na stosowaną terminologię.

Naukowcy w celu bardzo szeroko pojętej ekonomizacji komunikacji między sobą używają w opisach rozwiązań problemów naukowych publikowanych w literaturze fachowej coraz to bardziej złożonych pojęć. Pojęcia te bardzo często reprezentowane są przez zwięzłe terminy, które są zrozumiałe jedynie dla specjalistów z danej, wąskiej dziedziny wiedzy. Nazwy tych pojęć są np. nazwami metod lub teorii często pochodzących od nazwisk autorów (metoda Arvinda, kodowanie Huffmana, teoria Shanonna). Jak widać, terminy takie nie oddają istoty pojęć, które reprezentują, a przez to mają negatywny wpływ na kompletność wyszukiwania. Użytkownik systemu wyszukiwania informacji, formułując instrukcję wyszukiwawczą posługuje się takimi terminami, które zna. Jego wiedza niekoniecznie musi być taka sama jak wiedza specjalistów z pewnej dziedziny nauki (co obecnie w dobie bardzo wąskiej specjalizacji często się zdarza). Użytkownik może też rozmyślnie posłużyć się terminem o szerszym znaczeniu. W jednym i drugim przypadku odpowiedź systemu może być niekompletna. Obecnie używane systemy wyszukiwania informacji nie radzą sobie najlepiej w takich sytuacjach, gdyż nawet zastosowanie tezaursów, opartych głównie

na relacji całość-część [Ait 87], nie umożliwia znalezienia związku z innymi terminami, które reprezentują istotę pewnego pojęcia złożonego. Weźmy dla przykładu wspomniany już termin "kodowanie Huffmana". Reprezentuje on pewną bardzo popularną, optymalną metodę kodowania ciągów bitów za pomocą kodu zwięzłego, w metodzie tej słowa kodowe przyporządkowuje się ciągom bitów na podstawie prawdopodobieństwa ich wystąpienia. Jak widać, w objaśnieniu pojawiły się terminy, takie jak: "ciąg bitów", "prawdopodobieństwo wystąpienia słowa kodowego" czy "kod zwięzły", które niewątpliwie są związane z kodowaniem Huffmana. Jednak związki te bardzo często są pomijane nawet przez tezaursy.

2) Związki mające wpływ na postać problemu.

Obecne systemy wyszukiwania informacji, jako odpowiedź systemu na instrukcję wyszukiwawczą reprezentującą pytanie użytkownika wyrażające jego potrzebę informacyjną, zwracają pewien zestaw rekordów (np. odsyłaczy bibliograficznych lub pełnych dokumentów), których poszczególne obrazy wyszukiwawcze są relewantne (w przyjętym przez system sensie) do tego pytania. Wydaje się jednak, że zarówno wiedza, która jest reprezentowana w systemie wyszukiwania, jak i potrzeby użytkowników tych systemów są bardziej złożone i mogą wykraczać poza ramy poszczególnych rozwiązań problemów naukowych. W konsekwencji instrukcja wyszukiwawcza może być tak skonstruowana, że żaden opis problemu z osobna nie będzie do niej relewantny; natomiast pewien zestaw opisów problemów, które są ze sobą powiązane mogą stanowić doskonałą odpowiedź w pełni zaspokajającą potrzeby użytkownika. Dzieje się tak zwykle, gdy jeden problem jest kontynuacją drugiego. Posłużmy się przykładami z bazy opisów problemów naukowych systemu SWIP oraz używanymi w tej bazie identyfikatorami opisów. Przykładowo w jednym opisie rozwiązania problemu przedstawiono metodę ekstrakcji z obrazów rysunków technicznych linii i regionów P49, a w drugim (opracowanym przez zupełnie innych naukowców) wyodrębnione linie i regiony kodowane są za pomocą pewnej złożonej metody opartej o kodowanie offsetowe i kodowanie Huffmana P47. W niektórych modelach systemów wyszukiwania informacji np. w modelu wektorowym czy

złożonym (asocjacyjnym) [Cho 86, Dan 92], pewna częściowa zgodność obrazu wyszukiwanego elementu systemu z instrukcją pozwala na jego wyszukanie, jednak równocześnie są wyszukiwane inne, częściowo zgodne elementy, które nawet w przypadku odpowiedzi uporządkowanej mogą poprzedzać pertynentną odpowiedź.

4.1. Baza opisów problemów naukowych w modelu rozszerzonego wielowartościowego systemu informacyjnego

Niech rozszerzony wielowartościowy system informacyjny, którego obiektami są opisy rozwiązań problemów naukowych będzie oznaczany Sr_{SWIP} . Tak więc Sr_{SWIP} ma następującą postać: $Sr_{SWIP} = \langle X, R, A, V, \rho \rangle$, gdzie:

X - zbiór opisów problemów naukowych;

R - zbiór relacji występujących pomiędzy opisami problemów naukowych:

$$R = \{pz, od_d, od_t, od_w\}, \text{ gdzie } \forall (r \in R) \ r \subset X \times X$$

pz - relacja reprezentująca powiązania przez problemy związane;

od_d - odsyłacz od danych opisu problemu naukowego;

od_t - odsyłacz od transformacji opisu problemu naukowego;

od_w - odsyłacz od wyników problemu naukowego;

A - zbiór atrybutów,

$$A = \{\text{typ problemu, słowa kluczowe nazwy, słowa kluczowe danych, słowa kluczowe transformacji, słowa kluczowe wyników}\} = \{\text{typ, sk_n, sk_d, sk_t, sk_w}\};$$

V - zbiór wartości atrybutów,

$$V = \bigcup_{a \in A} V_a$$

$$V_{typ} = \{\text{badanie własności, dobór parametrów, konstrukcja metody, model matematyczny, modyfikacja metody, porównanie metod, weryfikacja metody, zastosowanie metody}\} = \{\text{bad_wl, dob_par, kon_met, mod_mat, mod_met, por_met, wer_met, zast_met}\};$$

$$V_{sk_n} = V_{sk_d} = V_{sk_t} = V_{sk_w} = Sk, \text{ gdzie } Sk \text{ jest zbiorem słów kluczowych użytych do zaindeksowania opisów problemów naukowych w systemie } SWIP;$$

$\rho: X \times A \rightarrow 2^V$, gdzie funkcja ρ jest określona przez charakterystyki wyszukiwawcze poszczególnych opisów problemów naukowych wchodzących w skład bazy opisów problemów naukowych systemu *SWIP*.

Relacje ze zbioru R reprezentują powiązania przez problemy związane oraz odsyłacze tekstowe umieszczone odpowiednio w *opisie szczegółowym problemu*, a mianowicie w *danych*, *transformacjach* i *wynikach*. Powiązania te zostały omówione przy opisie bazy opisów problemów naukowych systemu *SWIP*. Relacje te spełniają następujące warunki:

- każda $r \in R$ jest przeciwzwrotna,
- każda $r \in R$ jest przeciwsymetryczna.

4.1.1. Język systemu Sr_{SWIP}

Mając już określony konkretny system informacyjny, można przedstawić przykładowe pytania kierowane do systemu oraz zapis formalny tych pytań.

Jako przykłady pytań mogą posłużyć pytania, które zostały wykorzystane w eksperymencie porównania efektywności wyszukiwania systemu *SWIP* z systemem bibliograficznym [Sob 91]:

- Jakie predyktory stosowano w kompresji obrazów binarnych dokumentów (tekstów drukowanych)?
- Na czym polega i jakie efekty kompresji daje adaptacyjne kodowanie wektorowe dla obrazów z gradacją kontrastu?
- W jaki sposób otrzymuje się reprezentację obrazu binarnego w postaci drzewa czwórkowego?

Zapis formalny powyższych pytań w języku systemu Sr_{SWIP} przedstawia się odpowiednio:

- $(sk_d, obraz \text{ binarny}) * ((sk_d, tekst \text{ drukowany}) + (sk_d, dokument \text{ tekstowy})) * (sk_t, predyktor \text{ dwuwymiarowy})$
- $(sk_d, obraz \text{ z gradacją kontrastu}) * (sk_t, kodowanie \text{ wektorowe})$
- $(sk_d, obraz \text{ binarny}) * (sk_w, reprezentacja \text{ obrazu}) * (sk_w, drzewo \text{ czwórkowe})$

Należy oczywiście dodać, że słowa kluczowe użyte w powyższych pytaniach należą do zbioru słów kluczowych Sk .

Znaczeniem termów języka systemu Sr_{SWTP} , tzn. odpowiedzią systemu jest podzbiór zbioru opisów problemów naukowych, które dla danego terminu spełniają własności od 1 do 4 z pkt. 2.1.2.2.

Natomiast w przypadku, gdy do wyszukiwania informacji wykorzystano metodę MMCW znaczenie terminu reprezentującego pytanie użytkownika do systemu będzie miało inną postać, która dokładnie zostanie omówiona poniżej.

4.2. Przestrzeń stanów systemu Sr_{SWTP}

W celu określenia przestrzeni stanów systemu Sr_{SWTP} należy określić kolejno następujące elementy: przestrzeń $U_{Sr_{SWTP}}$, stan początkowy przestrzeni oraz zbiór przekształceń P .

4.2.1. Przestrzeń $U_{Sr_{SWTP}}$

Z definicji 3.1 wynika, że przestrzenią systemu $Sr_{SWTP} = \langle X, R, A, V, \rho \rangle$ (system ten został dokładnie opisany w pkt. 4.1) nazywamy zbiór $U_{Sr_{SWTP}}$, taki że:

$$U_{Sr_{SWTP}} = \{St_{SWTP} : St_{SWTP} = \langle C(X), R^*, A, V, \rho^* \rangle\},$$

gdzie:

$C(X)$ - dowolny podział zbioru X (tak jak określono go w pkt. 4.1);

R^* - zbiór relacji $R^* = \{pz^*, od_d^*, od_t^*, od_w^*\}$, gdzie dla każdego $r^* \in R^*$, $r^* \subset C(X) \times C(X)$ przy czym relacje $pz^*, od_d^*, od_t^*, od_w^*$ reprezentują semantycznie takie same związki jak relacje ze zbioru R (tak jak określono go w pkt. 4.1);

A - zbiór atrybutów (tak jak określono go w pkt. 4.1);

V - zbiór wartości atrybutów (tak jak określono go w pkt. 4.1);

$\rho^* : C^*(X) \times A \rightarrow 2^V$.

W opisie przestrzeni stanów rozszerzonego wielowartościowego systemu informacyjnego zaznaczono, że interpretacja obiektów ze zbioru obiektów stanu przestrzeni, tzn. elementów podziału zbioru obiektów systemu Sr zostanie podana dla jego konkretnego przypadku, a mianowicie dla systemu Sr_{SWTP} .

Obiektami systemu Sr_{SWTP} są opisy problemów naukowych, natomiast obiektami systemów St_{SWTP} wchodzących w skład przestrzeni $U_{Sr_{SWTP}}$ są obiekty złożone, tzn. pewne podzbiory zbioru opisów problemów naukowych tworzące podział całego zbioru opisów. Taka postać zbioru obiektów każdego elementu przestrzeni ma swoje uzasadnienie przedstawione pokrótce we wstępie rozdziału 4 podpunkt 2. Wynika z niego, że niejednokrotnie naukowiec stawiając i rozwiązując pewien problem "otwiera drogę" następcom do formułowania i rozwiązywania nowych problemów, które są jego kontynuacją bądź pogłębieniem jedynie fragmentu zagadnienia. Postawmy się teraz w roli użytkownika, który poprzez pytanie do systemu wyraża swoją potrzebę informacyjną. Postawienie pytania oznacza zwykle pewien brak wiedzy [Cac 64] w danym zakresie; tym bardziej więc użytkownik nie zna zakresu poszczególnych pojedynczych rozwiązań tworzących pewną całość. Tak więc nie wie jak należy zdekomponować problem na podproblemy, które mogłyby być umieszczone w bazie. Aby to ułatwić, system powinien automatycznie zgrupować powiązane ze sobą opisy problemów. Grupowanie nie powinno być uwarunkowane podobieństwem ich zawartości [Dąb 78], ale generalizacją opisów problemów. Jest to jak gdyby proces odwrotny do procesu dekompozycji problemu [Roz 85]. Przykłady takiej generalizacji podane zostaną poniżej w punkcie dotyczącym omówienia zbioru przekształceń przestrzeni $U_{Sr_{SWTP}}$.

4.2.2. Stan początkowy przestrzeni stanów systemu Sr_{SWTP}

W celu zdefiniowania przestrzeni stanów systemu Sr_{SWTP} konieczne jest określenie stanu początkowego St_{SWTP}^0 oraz oczywiście zbioru przekształceń przestrzeni - P . Niech $Sr_{SWTP} = \langle X, R, A, V, \rho \rangle$ wtedy:

$$St_{SWTP}^0 = \langle C^0(X), R^0, A, V, \rho^0 \rangle,$$

gdzie:

$$C^0(X) = \{\{x\} : x \in X\};$$

$$R^0 = \{pz^0, od_d^0, od_t^0, od_w^0\}, \text{ gdzie dla każdego } r^0 \in R^0, r^0 = \{(\{x_1\}, \{x_2\}) : (x_1, x_2) \in r\};$$

$$\rho^0 : \rho_{\{x\}}^0 = \rho_x$$

4.2.3. Zbiór przekształceń przestrzeni $U_{Sr_{SWP}}$

Mając określony rozszerzony wielowartościowy system informacyjny Sr_{SWP} o problemach naukowych, można wyspecyfikować elementy zbioru przekształceń P . Przekształcenia te zostały opracowane na podstawie analizy semantycznej powiązań pomiędzy opisami problemów naukowych. W niniejszym punkcie obok definicji tych przekształceń zostanie podane także ich uzasadnienie. Natomiast weryfikacja przekształceń nierozłącznie związana jest z weryfikacją całej metody wyszukiwania informacji w przestrzeni $U_{Sr_{SWP}}$.

Każde z przekształceń $p \in P$ jest następującej postaci: $p(St') = St''$, gdzie $St' = \langle C'(X), R', A, V, \rho \rangle$, $St'' = \langle C''(X), R'', A, V, \rho'' \rangle \in U_{Sr_{SWP}}$, przy czym przekształcenie może zostać przeprowadzone, o ile zachodzi określony warunek dla danego przekształcenia p , który będzie zapisywany jako war_p . Przekształcenia zostały podzielone według typów relacji, które muszą zachodzić pomiędzy obiektami stanu St' , aby przekształcenie p mogło go przekształcić w stan St'' . W ten sposób przekształcenia ze zbioru P zostały pogrupowane w cztery grupy przekształceń.

4.2.3.1. Przekształcenia oparte na relacji *problemy związane*

Powiązanie przez *problemy związane* wynika bezpośrednio z typu problemu, od którego następuje odesłanie [Cho 90]. Wiąże ono problemy bardzo mocno ze sobą, gdyż wnika bezpośrednio w samą istotę opisywanego problemu. Inaczej mówiąc, problem ten (a nawet jego postawienie) nie mógłby powstać, o ile wcześniej nie zostałby postawiony i rozwiązany ten problem, do którego występuje odesłanie.

a) Przekształcenie p_1 :

$$war_{p_1} : \exists (c_1, c_2 \in C'(X)) [(c_1, c_2) \in pz']$$

$$C''(X) = C'(X)$$

$$R''=R'$$

$$\rho_c''(a) = \begin{cases} \rho_{c_1}'(sk_n) \cup \rho_{c_2}'(sk_n), & \text{gdy } a = sk_n, c = c_1 \\ \rho_c'(a), & \text{w pozostałych przypadkach} \end{cases}$$

Objaśnienie przekształcenia p_i :

Wartość atrybutu *słowa kluczowe nazwy problemu* pewnego obiektu, nazwijmy go c_1 , może być rozszerzony o wartość tego samego atrybutu innego obiektu, nazwijmy go c_2 , o ile pomiędzy obiektami c_1 i c_2 zachodzi relacja pz , co oznacza, że obiekt c_1 jest związany z obiektem c_2 poprzez odsyłacz *problemy związane*.

Rozpatrzmy następujący przykład, w którym obiektem c_1 jest opis problemu P4, a obiektem c_2 opis problemu P25:

- *Numer problemu* : P4
 - *Nazwa problemu* : Kodowanie grafiki wielopoziomowej metodą BTC
 - *Typ problemu* : Modyfikacja metody
 - *Problemy związane* : P25
 - *Słowa kluczowe*
 - *Nazwy problemu* : BTC, grafika wielopoziomowa
-
- *Numer problemu* : P25
 - *Nazwa problemu* : Kodowanie bloków z obcinaniem (BTC)
 - *Typ problemu* : Konstrukcja metody
 - *Słowa kluczowe*
 - *Nazwy problemu* : BTC, bloki rozłączne, poziom szarości piksla

Zastosowanie przekształcenia p_i powoduje, że informacja o opisie problemu c_1 w stanie St'' zamiast przyjąć wartość $\rho''(c_1, sk_n) = \{\text{BTC, grafika wielopoziomowa}\}$, tak, jak to jest w stanie St' , przyjmuje wartość $\rho''(c_1, sk_n) = \{\text{BTC, bloki rozłączne, poziom szarości piksla, grafika wielopoziomowa}\}$. Słowa kluczowe, które zostały dodatkowo wprowadzone jako wartości atrybutu sk_n dokładniej charakteryzują metodę BTC, tak więc rozszerzenie to jest na pewno prawidłowe.

b) Przekształcenie p_2 :

$$war_{p_2}: \quad \exists(c_1, c_2 \in C'(X)) \quad \{(c_1, c_2) \in p_2' \wedge [\rho(c_1, typ) \cap \{bad_wł, \quad mod_met, \quad wer_met, \\ zas_met\} \neq \emptyset] \wedge [\rho(c_2, typ) \cap \{kon_met, mod_mat\} \neq \emptyset]\}$$

$$C''(X) = C'(X) - \{c_1, c_2\} \cup \{c_1 \cup c_2\}$$

$$R'' = \{r'' : r'' = p_2(r')\}, \text{ gdzie}$$

$$r'' = \begin{matrix} e, f \in C''(X) - \{c_1, c_2\} \\ \{(e, f) : (e, f) \in r'\} \cup \{(\{c_1 \cup c_2\}, f) : (c_1, f) \in r' \vee (c_2, f) \in r'\} \cup \\ \cup \{(e, \{c_1 \cup c_2\}) : (e, c_1) \in r' \vee (e, c_2) \in r'\} \end{matrix}$$

$$\rho_c''(a) = \begin{cases} \rho_{c_1}'(a) \cup \rho_{c_2}'(a), & \text{gdy } c = \{c_1 \cup c_2\} \\ \rho_c'(a), & \text{w pozostałych przypadkach} \end{cases}$$

Objaśnienie przekształcenia p_2 :

W przypadku gdy pomiędzy obiektami c_1 , c_2 systemu zachodzi warunek war_{p_2} , tj. gdy np. c_1 jest modyfikacją czy też weryfikacją problemu c_2 , który jest konstrukcją pewnej metody, wówczas przekształcenie p_2 może przekształcić stan St' w St'' , gdzie na podstawie informacji o obiektach c_1 , c_2 powstaje jeden obiekt, którego wartości poszczególnych atrybutów stanowią sumę wartości tych atrybutów dla obiektów c_1 i c_2 . Takie przekształcenie może być uzasadnione faktem podobieństwa poszczególnych elementów problemów (*danych, transformacji i wyników*). Podobieństwo to dotyczy głównie metody, która jest opisywana w obu problemach. Obiekty mogą się natomiast różnić słowami kluczowymi użytymi do reprezentacji tych samych pojęć bądź też jeden z nich może wprowadzać nowe pojęcia, które opisują np. modyfikację metody. Rozpatrzmy następujący przykład, w którym obiektem c_1 jest opis problemu P16, a obiektem c_2 opis problemu P58:

- *Numer problemu* : P16
- *Nazwa problemu*: Kodowanie obrazów z gradacją kontrastu za pomocą drzew czwórkowych.
- *Typ problemu* : Modyfikacja metody
- *Problemy związane* : P58
- *Słowa kluczowe*

- *Nazwy problemu*: obraz z gradacją kontrastu, kodowanie hierarchiczne, drzewo czwórkowe
 - *Danych*: obraz z gradacją kontrastu, poziom szarości piksla, próg wariancji
 - *Transformacji*: kontur regionu, współczynnik kompresji, próg wariancji, poziom szarości piksla, drzewo czwórkowe, podział obrazu
 - *Wyników* : obraz skompresowany, współczynnik kompresji
-
- *Numer problemu*: P58
 - *Nazwa problemu*: Kodowanie obrazów binarnych za pomocą drzew czwórkowych.
 - *Typ problemu*: Konstrukcja metody
 - *Problemy związane*:
 - *Słowa kluczowe*
 - *Nazwy problemu*: obraz binarny, kodowanie hierarchiczne, drzewo czwórkowe
 - *Danych*: obraz binarny
 - *Transformacji*: reprezentacja obrazu, drzewo czwórkowe, kodowanie hierarchiczne
 - *Wyników*: reprezentacja obrazu, obraz binarny, drzewo czwórkowe, obraz skompresowany

Problem P16 jest modyfikacją metody z problemu P58 polegającą na rozszerzeniu metody o rodzaj kompresowanych obrazów. Aby to umożliwić, *transformacje* rozwiązania problemu P16 obejmują, w porównaniu z rozwiązaniem problemu P58, dodatkowe elementy, a mianowicie: rozpoznanie odpowiednich fragmentów obrazu, a następnie, na podstawie założonych progów poziomu szarości piksla, ich skwantowanie.

c) Przekształcenie p_3 :

$$war_{p_3} : \exists (c_1, c_2 \in C'(X)) \{ (c_1, c_2) \in p_3' \wedge [\rho(c_1, typ) \cap \{por_met, wer_met\} \neq \emptyset] \wedge$$

$$\wedge [\rho(c_2, typ) \cap \{kon_met, mod_mat\} \neq \emptyset] \}$$

$$C''(X) = C'(X)$$

$$R'' = R''$$

$$\rho_c''(a) = \begin{cases} \rho_{c_1}'(sk_d) \cup \rho_{c_2}'(sk_d), & \text{gdy } a = sk_d, c = c_2 \\ \rho_c'(a), & \text{w pozostałych przypadkach} \end{cases}$$

Objaśnienie przekształcenia p_3 :

W przypadku porównania metod możliwe jest zastosowanie pewnych specyficznych danych i to nawet takich, które nie zostały uwzględnione w oryginalnych porównywanych metodach. Jest więc oczywiste, że obraz wyszukiwawczy opisów problemów dotyczących konstrukcji jakiejś metody powinien zostać wzbogacony o nowe *słowa kluczowe danych* znajdujące się w opisie problemu dotyczącego porównania bądź weryfikacji tej metody.

4.2.3.2. Przekształcenia oparte na relacji *odsylacze od danych*.

Odsylacze tekstowe w *danych* występują głównie w dwóch przypadkach. Po pierwsze, gdy dane do opisywanego rozwiązania problemu powstają po zastosowaniu pewnych operacji opisanych w innym problemie. Po drugie, gdy opisywane rozwiązanie problemu jest pewnego rodzaju kontynuacją prac opisanych w innym problemie.

a) Przekształcenie p_4 :

$$war_{p_4}: \exists (c_1, c_2 \in C'(X)) [(c_1, c_2) \in od_d' \wedge (c_1, c_2) \notin pz']$$

$$C''(X) = C'(X)$$

$$R'' = R'$$

$$\rho_c''(a) = \begin{cases} \rho_{c_1}'(sk_d) \cup \rho_{c_2}'(sk_n), & \text{gdy } a = sk_d, c = c_1 \\ \rho_c'(a), & \text{w pozostałych przypadkach} \end{cases}$$

Objaśnienie przekształcenia p_4 :

Przypadek ten jest bardzo podobny do omawianego w punkcie 4.2.3.1. podpunkt (a), z tą różnicą, że jeżeli pomiędzy obiektami c_1 , c_2 zachodzi relacja *od_d*, a nie zachodzi *pz*, to informacja o obiekcie c_1 zostaje rozszerzona w ten sposób, że wartość atrybutu *słowa kluczowe danych* zostaje uzupełniona o wartość atrybutu *słowa kluczowe nazwy problemu* obiektu c_2 . Przekształcenie to może być uzasadnione faktem zastosowania pewnych operacji opisanych w c_2 do danych opisanych w c_1 .

b) Przekształcenie p_5 :

$$war_{p_5}: \exists(c_1, c_2 \in C'(X)) \{ (c_1, c_2) \in od_d' \wedge (c_1, c_2) \notin pz' \}$$

$$C''(X) = C'(X)$$

$$R'' = R'$$

$$\rho_c''(a) = \begin{cases} \rho_{c_1}'(sk_d) \cup \rho_{c_2}'(sk_w), & \text{gdy } a = sk_d, c = c_1 \\ \rho_c'(a), & \text{w pozostałych przypadkach} \end{cases}$$

Objaśnienie przekształcenia p_5 :

W niektórych przypadkach wyniki rozwiązania pewnego problemu są danymi wejściowymi do rozwiązania innego problemu. Jeżeli więc pomiędzy obiektami c_1, c_2 zachodzi relacja $od_d(c_1, c_2)$, to wtedy informacja o obiekcie c_1 zostaje rozszerzona w ten sposób, że wartość atrybutu *słowa kluczowe danych* zostaje uzupełniona o wartość atrybutu *słowa kluczowe wyników* problemu obiektu c_2 .

c) Przekształcenie p_6 :

$$war_{p_6}: \exists(c_1, c_2 \in C'(X)) \{ (c_1, c_2) \in od_d' \wedge (c_1, c_2) \notin pz' \}$$

$$C''(X) = C'(X) - \{c_1, c_2\} \cup \{c_1 \cup c_2\}$$

$$R'' = \{r'' : r'' = p_6(r')\}, \text{ gdzie}$$

$$r'' = \begin{matrix} e, f \in C'(X) - \{c_1, c_2\} \\ \{(e, f) : (e, f) \in r'\} \cup \{(\{c_1 \cup c_2\}, f) : (c_1, f) \in r' \vee (c_2, f) \in r'\} \cup \\ \cup \{(e, \{c_1 \cup c_2\}) : (e, c_1) \in r' \vee (e, c_2) \in r'\} \end{matrix}$$

$$\rho_c''(a) = \begin{cases} \rho_{c_2}'(sk_d), & \text{gdy } a = sk_d, c = \{c_1 \cup c_2\} \\ \rho_{c_2}'(sk_t) \cup \rho_{c_2}'(sk_w) \cup \rho_{c_1}'(sk_d) \cup \rho_{c_1}'(sk_t), & \text{gdy } a = sk_t, c = \{c_1 \cup c_2\} \\ \rho_{c_1}'(sk_w), & \text{gdy } a = sk_w, c = \{c_1 \cup c_2\} \\ \rho_c'(a), & \text{w pozostałych przypadkach} \end{cases}$$

Objaśnienie przekształcenia p_6 :

Niekiedy, szczególnie w dziedzinie nauk przyrodniczych, pewne problemy o szerszym zakresie rozwiązywane są etapami. Użytkownik systemu wyszukiwania informacji o problemach może formułować pytania o problemy w dowolnym zakresie, więc także wykraczającym poza ramy poszczególnych opisów problemów zapisanych w bazie, gdyż najczęściej nie wie, jakimi etapami został rozwiązany dany problem. W takich przypadkach

należy podobnie jak dla przekształcenia p_2 utworzyć obiekt, którego informacja pochodzi od dwóch, powiązanych ze sobą przez *odsyłacz od danych*, obiektów.

Rozpatrzmy następujący przykład, w którym obiektem c_1 jest opis problemu P47, a obiektem c_2 opis problemu P49:

- *Numer problemu*: P47
- *Nazwa problemu*: Kodowanie linii oraz regionów wyodrębnionych na rysunkach technicznych metodą Arvinda.
- *Typ problemu*: Konstrukcja metody
- *Problemy związane* :
- *Słowa kluczowe*
 - *Nazwy problemu* : kodowanie linii, kodowanie regionów, rysunek techniczny, metoda Arvinda
 - *Danych*: linia, region
 - *Transformacji* : metoda Arvinda, kodowanie regionów, kodowanie linii, śledzenie linii, siatka prostokątna, kodowanie offsetowe, kod Huffmana
 - *Wyników*: obraz zakodowany
- *Numer problemu*: P49
- *Nazwa problemu*: Wyodrębnianie linii i regionów metodą Arvinda.
- *Typ problemu* :Konstrukcja metody
- *Problemy związane*:
- *Słowa kluczowe*
 - *Nazwy problemu*: metoda Arvinda, wyodrębnianie linii, wyodrębnianie regionu, rozpoznawanie linii
 - *Danych*: rysunek techniczny
 - *Transformacji*: DAT, wypełnianie pustych miejsc, śledzenie konturu, śledzenie linii, wyodrębnianie konturu, wyodrębnianie linii
 - *Wyników* : linia, region

Dodatkowo pomiędzy opisami problemów P47 i P49 zachodzi relacja *od_d*.

Problem P47 jest kontynuacją problemu P49, w tym sensie, że danymi problemu P47 są linie i regiony wydzielone z obrazu rysunku technicznego na podstawie metody opisanej w P49. Tak więc, połączenie tych obiektów na podstawie przekształcenia p_ϕ tworzy nowy obiekt, którego charakterystyka wyszukiwawcza pozwala wyszukać go jako odpowiedź na pytania dotyczące problemu bardziej złożonego, a mianowicie dotyczące kompresji obrazów rysunków technicznych za pomocą metody Arvinda z wykorzystaniem kodowania Huffmana.

4.2.3.3. Przekształcenia oparte na relacji *odsyłacze od transformacji*

Odsyłacze tekstowe w polu *transformacje* są najczęściej występującymi odsyłaczami w bazie problemów naukowych. To właśnie w opisie transformacji problemu naukowego prezentowane są kolejne transformacje danych prowadzące do otrzymania wyników. Transformacje te bardzo często wykorzystują znane już w danej dziedzinie metody i nie ma sensu w pełni ich opisywać ponownie wszędzie tam, gdzie są one stosowane. Ma to także wpływ na wartość funkcji informacyjnej dla atrybutu *słowa kluczowe transformacji*, gdyż metody, do których następuje odesłanie są charakteryzowane poprzez pojedyncze słowa kluczowe, bardzo często nie oddające istoty tych metod bądź też wcale nie są uwzględniane.

a) Przekształcenie p_7 :

$$war_{p_7}: \exists (c_1, c_2 \in C'(X)) [(c_1, c_2) \in od_t' \wedge (c_1, c_2) \notin pz']$$

$$C''(X) = C'(X)$$

$$R'' = R'$$

$$\rho_c''(a) = \begin{cases} \rho_{c_1}'(sk_t) \cup \rho_{c_2}'(sk_n), & \text{gdy } a = sk_t, c = c_1 \\ \rho_c'(a), & \text{w pozostałych przypadkach} \end{cases}$$

Objaśnienie przekształcenia p_7 :

Przypadek ten jest bardzo podobny do omawianego w pkt. 4.2.3.1. podpunkt (a), z tą różnicą, że jeżeli pomiędzy obiektami c_1 , c_2 zachodzi relacja *od_t*, a nie zachodzi relacja *pz*, to informacja o obiekcie c_1 zostaje rozszerzona w ten sposób, że wartość atrybutu *słowa kluczowe transformacji* zostaje uzupełniona o wartość atrybutu *słowa kluczowe nazwy problemu* obiektu c_2 .

Rozpatrzmy następujący przykład, w którym obiektem c_1 jest opis problemu P34, a obiektem c_2 opis problemu P13:

- *Numer problemu*: P34
- *Nazwa problemu*: Dobór optymalnej rozdzielczości i liczby poziomów kwantowania dla kodowania grafiki wielopoziomowej metodą kodowania długości runów.
- *Typ problemu* : Badanie własności
- *Problemy związane*: P54
- *Słowa kluczowe*
 - *Nazwy problemu*: rozdzielczość obrazu, próg kwantowania, kodowanie długości runów
 - *Danych*: obraz monochromatyczny, grafika wielopoziomowa
 - *Transformacji*: kwantowanie obrazu, entropia obrazu, kodowanie długości runów
 - *Wyników* : entropia obrazu, jakość obrazu, rozdzielczość obrazu, próg kwantowania, grafika wielopoziomowa, kodowanie długości runów
- *Numer problemu*: P13
- *Nazwa problemu*: Probabilistyczny model metody kodowania długości runów dla obrazów binarnych
- *Typ problemu*: Model matematyczny
- *Problemy związane*: P54
- *Słowa kluczowe*
 - *Nazwy problemu*: model probabilistyczny, kodowanie długości runów, obraz binarny
 - *Danych*: obraz binarny
 - *Transformacji*: obraz binarny, proces Markowa
 - *Wyników*: obraz binarny, statystyka obrazu, kodowanie długości runów, model probabilistyczny, reprezentacja obrazu

Dodatkowo pomiędzy opisami problemów P34 i P13 zachodzi relacja od_t .

W opisie problemu P34 jedną z transformacji jest zastosowanie modelu probabilistycznego kodowania długości runów do rozwiązania problemu określenia optymalnej rozdzielczości i liczby poziomów szarości piksela dla obrazów z gradacją kontrastu. Zastosowanie przekształcenia p_7 pozwala uzupełnić wartość atrybutu sk_t dla opisu P34 o następujące dodatkowe słowa kluczowe: model probabilistyczny, obraz binarny, które występują w *słowach kluczowych nazwy opisu problemu P13*.

b) Przekształcenie p_8 :

$$war_{p_8}: \exists(c_1, c_2 \in C'(X)) [(c_1, c_2) \in od_t' \wedge (c_1, c_2) \notin pz']$$

$$C''(X) = C'(X)$$

$$R'' = R'$$

$$\rho_c''(a) = \begin{cases} \rho_{c_1}'(sk_t) \cup \rho_{c_2}'(sk_d) \cup \rho_{c_2}'(sk_t) \cup \rho_{c_2}'(sk_w), & \text{gdy } a = sk_t, c = c_1 \\ \rho_c'(a), & \text{w pozostałych przypadkach} \end{cases}$$

Objaśnienie przekształcenia p_8 :

Przekształcenie p_8 jest pewnego rodzaju rozszerzeniem przekształcenia p_7 . Różnica pomiędzy nimi polega na tym, że zamiast uzupełniać wartość atrybutu *słowa kluczowe transformacji* dla obiektu c_1 o wartość atrybutu *słowa kluczowe nazwy problemu* obiektu c_2 , uzupełnia się je o wartości atrybutów *słowa kluczowe danych*, *słowa kluczowe transformacji* i *słowa kluczowe wyników* obiektu c_2 . Natomiast podobieństwo pomiędzy przekształceniami p_7 i p_8 polega na tym, że *nazwa problemu* charakteryzuje problem, którego podstawowymi elementami są *dane*, *transformacje* i *wyniki*.

4.2.3.4. Przekształcenia oparte na relacji *odsyłacze od wyników*.

Odwołanie w polu wyników opisu problemu może pojawić się w co najmniej dwóch przypadkach. W pierwszym z nich odwołanie następuje wówczas, gdy wyniki jednego problemu chcemy porównać z wynikami drugiego problemu. Natomiast w drugim przypadku odwołanie następuje wówczas, gdy wyniki jednego problemu mogą być użyte jako dane do następnego problemu.

a) Przekształcenie p_9 :

$$war_{p_9}: \exists(c_1, c_2 \in C'(X)) [(c_1, c_2) \in od_w' \wedge (c_1, c_2) \notin pz']$$

$$C''(X) = C'(X)$$

$$R''=R'$$

$$\rho_c''(a) = \begin{cases} \rho_{c_1}'(sk_w) \cup \rho_{c_2}'(sk_n), & \text{gdy } a = sk_w, c = c_1 \\ \rho_c'(a), & \text{w pozostałych przypadkach} \end{cases}$$

Objaśnienie przekształcenia p_9 :

Przekształcenie p_9 odnosi się do pierwszego z wymienionych na wstępie niniejszego punktu przypadków. Przekształcenie p_9 jest bardzo podobne do przekształcenia p_1 omawianego w punkcie 4.2.3.1. podpunkt (a), z tą różnicą, że jeżeli pomiędzy obiektami c_1, c_2 zachodzi relacja od_w , a nie zachodzi pz , to informacja o obiekcie c_1 zostaje rozszerzona w ten sposób, że wartość atrybutu *słowa kluczowe wyników* zostaje uzupełniona o wartość atrybutu *słowa kluczowe nazwy problemu* obiektu c_2 .

b) Przekształcenia p_{10} :

$$war_{p_{10}}: \exists(c_1, c_2 \in C'(X)) [(c_1, c_2) \in od_w' \wedge (c_1, c_2) \notin pz']$$

$$C''(X) = C'(X)$$

$$R''=R'$$

$$\rho_c''(a) = \begin{cases} \rho_{c_1}'(sk_w) \cup \rho_{c_2}'(sk_d), & \text{gdy } a = sk_w, c = c_1 \\ \rho_{c_1}'(a), & \text{w pozostałych przypadkach} \end{cases}$$

Objaśnienie przekształcenia p_{10} :

Przekształcenie p_{10} odnosi się do drugiego z wymienionych na wstępie niniejszego punktu przypadków, tzn. przypadku, gdy wyniki rozwiązania jednego problemu mogą zostać użyte jako dane do innego problemu. Tak więc, jeżeli pomiędzy obiektami c_1, c_2 zachodzi relacja od_w , a nie zachodzi relacja pz , to *słowa kluczowe wyników* obiektu c_1 mogą zostać rozszerzone o *słowa kluczowe danych* obiektu c_2 , gdyż zarówno wyniki, jak i dane obejmują te same bądź zbliżone pojęcia.

c) Przekształcenie p_{11} :

$$war_{p_{11}}: \exists(c_1, c_2 \in C'(X)) [(c_1, c_2) \in od_w' \wedge (c_1, c_2) \notin pz']$$

$$C''(X) = C'(X) - \{\{c_1\}, \{c_2\}\} \cup \{\{c_1, c_2\}\}$$

$$R'' = \{r'': r'' = p_{11}(r')\}, \text{ gdzie:}$$

$$r'' = \begin{matrix} e, f \in C'(X) - \{c_1, c_2\} \\ \{(e, f): (e, f) \in r'\} \cup \{(\{c_1 \cup c_2\}, f): (c_1, f) \in r' \vee (c_2, f) \in r'\} \cup \\ \cup \{(e, \{c_1 \cup c_2\}): (e, c_1) \in r' \vee (e, c_2) \in r'\} \end{matrix}$$

$$\rho_c''(a) = \begin{cases} \rho_{c_1}'(sk_d), & \text{gdy } a = sk_d, c = \{c_1 \cup c_2\} \\ \rho_{c_1}'(sk_t) \cup \rho_{c_1}'(sk_w) \cup \rho_{c_2}'(sk_d) \cup \rho_{c_2}'(sk_t), & \text{gdy } a = sk_t, c = \{c_1 \cup c_2\} \\ \rho_{c_2}'(sk_w), & \text{gdy } a = sk_w, c = \{c_1 \cup c_2\} \\ \rho_c'(a), & \text{w pozostałych przypadkach} \end{cases}$$

Objaśnienie przekształcenia p_{11} :

Przekształcenie p_{11} można przeprowadzić, o ile pomiędzy obiektami c_1 i c_2 zachodzi relacja od_w i nie zachodzi relacja pz . Przekształcenie to, tak jak przekształcenie p_{10} , odnosi się do przypadku, gdy wyniki jednego rozwiązania problemu mogą zostać użyte jako dane do rozwiązania drugiego problemu. Jest ono jednak bardziej złożone i powoduje, tak jak w przypadku przekształcenia p_6 opisanego w punkcie 4.2.3.2. podpunkt (c), utworzenie na podstawie dwóch obiektów jednego obiektu $\{c_1, c_2\}$, którego dane są danymi c_1 , transformacje transformacjami i wynikami c_1 oraz danymi i transformacjami c_2 , a wyniki wynikami c_2 .

4.2.4. Określenie przestrzeni stanów systemu Sr_{SWTP}

Mając określoną przestrzeń systemu $Sr_{SWTP} - U_{Sr_{SWTP}}$, stan początkowy $St_{SWTP}^0 \in U_{Sr_{SWTP}}$ oraz zbiór przekształceń tej przestrzeni - P , można na podstawie definicji 3.3 określić przestrzeń stanów systemu Sr_{SWTP} jako $U_{Sr_{SWTP}}^P (St_{SWTP}^0) = U$.

4.3. Postać zbioru odpowiedzi

Odpowiedzią na pytanie użytkownika, wyrażone jako term języka $L_{Sr_{SWTP}}$, jest zbiór otrzymany na podstawie działania metody MMCW dla systemu Sr_{SWTP} . Przypomnijmy, że zbiór odpowiedzi na pytanie wyrażone jako term t jest podzbiorem zbioru $\sigma_U(t)$, przy czym tworzenie zbioru $Odp(t)$ odbywa się na drodze wyznaczania znaczenia termu t w każdym stanie $St_{SWTP} \in U$ oraz generowania nowych stanów na podstawie zbioru przekształceń P , o których wyborze decyduje algorytm przedstawiony w rozdziale 3.

Na podstawie wzoru z rozdziału 3 zbiór odpowiedzi: $Odp(t) = \bigcup_{i=1}^N \sigma_{St_{SWTP}^{(i)}}(t)$, gdzie N jest liczbą stanów przestrzeni U analizowanych przez algorytm heurystyczny przeszukiwania stanów. Na tak wyznaczony zbiór można nałożyć pewne ograniczenie, wykluczające ze zbioru takie podzbiory, które zawierają opisy problemów występujące już

w innych podzbiorach wchodzących w skład zbioru $Odp(t)$. Ograniczenie to pozwala wykluczyć powtórzenia w zbiorze $Odp(t)$. Zmodyfikowaną postać zbioru odpowiedzi można zapisać formalnie, korzystając z zasady indukcji, w następujący sposób:

$$Odp^0(t) = \sigma_{St_{SWTP}^0}(t), \text{ oraz}$$

$$Odp^{(i)}(t) = Odp^{(i-1)}(t) \cup \sigma_{St_{SWTP}^{(i)}}(t) - \{c: c \in \sigma_{St_{SWTP}^{(i)}}(t) \wedge e \in Odp^{(i-1)}(t) \wedge c \cap e \neq \emptyset\},$$

- wówczas $Odp(t) = Odp^{(N)}(t)$.

4.3.1. Modyfikacja zasad tworzenia zbioru odpowiedzi

W rozdziale 3 przedstawiony został sposób na uporządkowanie zbioru odpowiedzi $Odp(t)$. Tworzenie uporządkowanego zbioru odpowiedzi $Odp_{up}(t)$ może zostać zmodyfikowane. Załóżmy, że podczas działania algorytmu przeszukiwania po zanalizowaniu i stanów, uporządkowany zbiór $Odp_{up}^{(i-1)}(t) \neq \emptyset$ oraz $\sigma_{St_{SWTP}^{(i)}}(t) \neq \emptyset$. Niech dodatkowo istnieje takie $c \in \sigma_{St_{SWTP}^{(i)}}(t)$, dla którego istnieje $(o, m) \in Odp^{(i-1)}(t)$ spełniające warunek: $c \cap o \neq \emptyset$, jeżeli dodatkowo miara k przypisana c jest mniejsza od miary m przypisanej o , to parę (o, m) w zbiorze $Odp_{up}(t)$ można zastąpić parą (c, k) .

Powyższą modyfikację można uzasadnić w następujący sposób:

Algorytm przeszukiwania heurystycznego przestrzeni U nie daje pewności, że liczba przekształceń potrzebnych do znalezienia pewnej odpowiedzi jest zawsze minimalna, tzn. nie jest dopuszczalny. Tak więc może się zdarzyć, że do zbioru $Odp_{up}(t)$ trafi najpierw pewna odpowiedź (o, m) , a dopiero w dalszej kolejności działania algorytmu pojawi się odpowiedź (c, k) oraz o i c posiadają choć jeden wspólny element, a także k jest mniejsze od m . Gdyby więc nie wprowadzać takiej modyfikacji, to uzyskane uporządkowanie odpowiedzi byłoby gorsze i poniekąd sprzeczne z ideą uporządkowanego zbioru odpowiedzi.

5. EKSPERYMENTALNA OCENA EFEKTYWNOŚCI METODY WYSZUKIWANIA W BAZIE OPISÓW PROBLEMÓW NAUKOWYCH.

Przedmiotem eksperymentu jest porównanie efektywności dwóch metod wyszukiwania informacji w bazie opisów problemów naukowych systemu SWIP. Pierwsza z nich to opisana w rozdziałach trzecim i czwartym metoda wyszukiwania wykorzystująca do modyfikacji charakterystyk wyszukiwawczych opisów problemów, charakterystyki opisów problemów powiązanych z nimi za pomocą odsyłaczy hipertekstowych, skrótowo zwana dalej MMCW. Druga, natomiast, to metoda wyszukiwania nie uwzględniająca modyfikacji charakterystyk wyszukiwawczych opisana formalnie w rozdziale drugim jako język wielowartościowego systemu informacyjnego, skrótowo zwana dalej MJWSI. Wyszukiwanie informacji metodą MJWSI odpowiada wyznaczeniu znaczenia termu $t \in L_{St_{SWIP}}$ w stanie St_{SWIP}^0 , tzn. określeniu wartości $Od p^0(t) = \sigma_{St_{SWIP}^0}(t)$ w metodzie MMCW.

Badając efektywność systemów wyszukiwania informacji stosuje się następujące kryteria ocen [Sal 83]:

1. *Kompletność wyszukiwania* - zdolność systemu do wyszukiwania wszystkich relewantnych obiektów.
2. *Dokładność wyszukiwania* - zdolność systemu do wyszukiwania jedynie relewantnych obiektów.
3. *Nakład pracy* - intelektualnej lub fizycznej użytkownika koniecznej do sformułowania instrukcji wyszukiwawczej, prowadzenia wyszukiwania i przeglądania efektów wyszukiwania.
4. *Czas odpowiedzi* - upływający pomiędzy wprowadzeniem instrukcji wyszukiwawczej do systemu a prezentacją wyników wyszukiwania.
5. *Forma prezentacji wyników wyszukiwania* - wpływa ona na możliwość ich późniejszego wykorzystania.
6. *Pokrycie kolekcji* - świadczy o stopniu w jakim wszystkie relewantne obiekty są reprezentowane w systemie.

W przeprowadzonym eksperymencie porównuje się jedynie metody wyszukiwania stosowane w tym samym systemie wyszukiwania informacji, stąd parametry wymienione w punktach 5 i 6 są takie same. Zostały one omówione w rozdziale pierwszym i czwartym. Obie metody wyszukiwania: MMCW i MJWSI oparte są na języku informacyjnym o tej samej składni, stąd parametr 3 oceny efektywności systemu dla obu metod jest taki sam. Reasumując, podstawą porównania obu metod będą parametry 1, 2 i 4, tj. kompletność i dokładność wyszukiwania oraz czas odpowiedzi systemu. Dokładny opis tych parametrów zostanie przedstawiony poniżej.

5.1. Opis eksperymentu

Eksperymentalne badanie efektywności systemu wyszukiwania powinno być przeprowadzone w warunkach jak najbardziej zbliżonych do rzeczywistej pracy z systemem. Do systemu powinny być kierowane pytania informacyjne, wynikające z rzeczywistych potrzeb informacyjnych użytkowników. Dodatkowo w przypadku systemu wyszukiwania informacji o problemach naukowych potrzeby informacyjne powinny wynikać z pracy związanej z rozwiązywaniem przez użytkowników problemów naukowych. Niestety, znalezienie przynajmniej kilku uczestników eksperymentu, którzy rozwiązywaliby obecnie problemy z zakresu kompresji obrazów nie było możliwe, tak więc zdecydowałem się na zasymulowanie tej sytuacji. Symulacja ta polegała w pierwszej kolejności na wybraniu z dostępnej literatury przedmiotu takich publikacji, które nie stanowiły podstawy do opracowania żadnego z opisów problemów znajdujących się w bazie systemu SWIP, ale jednocześnie cytowały przynajmniej jedną z takich publikacji. Celem takiego doboru było z jednej strony zapewnienie zgodności tematycznej tych artykułów z zawartością bazy, a z drugiej strony uniknięcie zbytniej dosłowności pytań, które miały być utworzone na podstawie tych artykułów. Następnie, na podstawie wyselekcjonowanych w ten sposób osiemnastu artykułów, siedmiu uczestników eksperymentu utworzyło 36 pytań informacyjnych (3 osoby po 4 pytania i 4 osoby po 6 pytań), przy czym dla każdego artykułu sformułowano po dwa pytania. Artykuły zostały

przydzielone uczestnikom eksperymentu na drodze losowania. Sformułowanie pytania polegało na:

- znalezieniu w treści artykułu rozważanego tam problemu [Roz 85, Tra 89];
- postawieniu pytania w oparciu o rozważany problem;
- wypełnieniu w specjalnym formularzu (patrz tabela 1) pola *Treść pytania* oraz pola *Dokładna lokalizacja* informującego o umiejscowieniu w treści artykułu tego problemu; jeżeli formułujący pytanie uznał za stosowne podanie dodatkowych objaśnień dotyczących pytania miał możliwość wypełnienia pola *Dodatkowe objaśnienia pytania*.

Numer pytania: 4		Nazwisko i imię osoby formułującej pytanie (FO): R. Katarzyniak									
Nr art. wg ZSI: 9		Dokładna lokalizacja: s. 1285-1286									
Treść pytania: Wykorzystanie Fast Discrete Cosine Transform w kompresji obrazów											
Dodatkowe objaśnienie pytania: odszukaj przykłady zastosowań											
Nazwisko i imię osoby prowadzącej wyszukiwanie (WY): A. Zgrzywa											
Postać I instrukcji wyszukiwawczej: ((typ,zas_met)+(typ,wer_met)+(typ,por_met))*(sk_t,DCT)											
Ocena z lewej WY, prawej FO	L. odp.	Odp. 1		Odp. 2		Odp. 3		Odp. 4		Odp. 5	
		Nr	Oc	Nr	Oc	Nr	Oc	Nr	Oc	Nr	Oc
MJWSI	2	P41	5,3	P65	5,3						
MMCW	5	P41	5,3	P65	5,3	P15	5,3	P37, P30	5,3	P11	5,3
Postać II instrukcji wyszukiwawczej:											
Ocena z lewej WY, prawej FO	L. odp.	Odp. 1		Odp. 2		Odp. 3		Odp. 4		Odp. 5	
		Nr	Oc	Nr	Oc	Nr	Oc	Nr	Oc	Nr	Oc
MJWSI											
MMCW											
Postać III instrukcji wyszukiwawczej:											
Ocena z lewej WY, prawej FO	L. odp.	Odp. 1		Odp. 2		Odp. 3		Odp. 4		Odp. 5	
		Nr	Oc	Nr	Oc	Nr	Oc	Nr	Oc	Nr	Oc
MJWSI											
MMCW											

Tabela 1. Przykładowy formularz dla jednego z 36 pytań

Kolejnym krokiem eksperymentu było przypisanie na drodze losowania pytań, na które poszczególni uczestnicy eksperymentu będą wyszukiwali odpowiedzi za pomocą

systemów wyszukiwania informacji. Każdemu uczestnikowi przydzielono tyle pytań, ile sam uprzednio sformułował.

Następnie uczestnicy eksperymentu dla przydzielonych im pytań formułowali instrukcje wyszukiwawcze pod systemem SWIP. Liczba instrukcji, które dotyczyły poszczególnego pytania zależała od efektów wyszukiwania, tzn. od stopnia satysfakcji odniesionej przez osobę prowadzącą wyszukiwanie z otrzymanej odpowiedzi. Każda odpowiedź systemu, tj. lista wyszukanych opisów problemów naukowych, była oceniana pod względem relewancji do pytania informacyjnego. Przy czym odpowiedzią dla metody MJWSI była lista pojedynczych opisów problemów, natomiast dla metody MMCW lista zawierająca opisy pojedyncze, ich pary lub trójki. Takie pary i trójki opisów problemów w opisywanym eksperymencie traktowano jako jeden złożony opis problemu, któremu nadawano jedną zbiorczą ocenę relewancji i do obliczeń liczby wyszukanych opisów zaliczano tylko jeden raz. Pojęcie relewancji rozumiane jest w literaturze w różny sposób [Boo 79, Boy 82, Buc 83, Dee 83, Sar 75]. Do celów eksperymentu została przyjęta dość często spotykana definicja określająca relewancję jako stopień zgodności tematycznej wyszukanego dokumentu z pytaniem informacyjnym [Sal 83]. Tak rozumiane pojęcie relewancji zwane jest także obiektywną wizją relewancji, która jest logiczną własnością łączącą treść pytania informacyjnego z dokumentem i jest mierzona stopniem powiązania treści dokumentu z tematem pytania [Sar 75].

Baza opisów problemów dotyczy bardzo wąskiej dziedziny wiedzy, tak więc i pytania informacyjne kierowane do bazy systemu SWIP były bardziej szczegółowe w porównaniu z pytaniami kierowanymi do powszechnie używanych systemów bibliograficznych. Taki poziom szczegółowości pytań wymagał od uczestników eksperymentu znacznej wiedzy z dziedziny kompresji obrazów, aby przyznawane przez nich oceny relewancji wyszukanych opisów były poprawne. Na przyznawaną ocenę wpływała dodatkowo forma przedstawienia pytania, a co za tym idzie zrozumienie jego istoty przez osobę prowadzącą wyszukiwanie. Aby ograniczyć możliwość popełnienia błędu polegającego na ocenie opisu relewantnego jako nirelewantnego lub odwrotnie,

postanowiłem, że relewancja każdego wyszukanego opisu będzie oceniana w skali od 0 do 5.

Ocenę 0 przyznawano opisowi problemu, który w żadnym aspekcie nie poruszał tematu występującego w pytaniu informacyjnym. Oceny 1 lub 2 przyznawano w przypadku, gdy w opisie został przynajmniej poruszony temat zbliżony do tematu pytania. Oceny 3 lub 4 przyznawano, gdy opis problemu zawierał informacje pozwalające chociaż na częściową odpowiedź na pytanie. Ocenę 5 przyznawano tylko wówczas, gdy opis problemu pozwalał na udzielenie wyczerpującej odpowiedzi na pytanie.

Takie bądź podobne skale ocen relewancji wykorzystywane były w opisywanych w literaturze eksperymentach [Fos 77, Bie 77, Boo 79], np. w eksperymencie Carnfield II zastosowano następującą skalę ocen relewancji wyszukanych dokumentów:

- 1 - wyczerpująca odpowiedź na pytanie
- 2 - wysoki stopień relewancji
- 3 - użyteczne jako podstawy lub poruszające pewne aspekty
- 4 - minimalnie interesujące, np. ze względów historycznych

W kolejnym kroku eksperymentu sformułowane przez uczestników eksperymentu instrukcje wyszukiwawcze zostały skierowane do systemu wyszukiwania wykorzystującego proponowaną w niniejszej pracy metodę wyszukiwania (MMCW). Otrzymane odpowiedzi zostały ocenione pod względem relewancji przez osobę prowadzącą wyszukiwanie.

W ostatniej fazie eksperymentu oceny relewancji odpowiedzi wyszukanych przez obie metody (MJWSI i MMCW) w stosunku do odpowiednich pytań informacyjnych dokonali ci uczestnicy eksperymentu, którzy formułowali te pytania. Dokonując tej oceny, nie znali ocen przyznanych przez osoby prowadzące wyszukiwanie.

W wyniku przeprowadzonego eksperymentu otrzymano dla każdego pytania zbiory wyszukanych opisów problemów naukowych przez MJWSI i MMCW wraz z oceną ich relewancji dokonaną przez wyszukującego informację (skrót WY) i formułującego to pytanie (skrót FO).

Przykładowe wyszukiwanie przeprowadzone w ramach eksperymentu zostało przedstawione w dodatku B.

5.1.1. Implementacja metody MMCW

Metoda MMCW została zaimplementowana eksperymentalnie jako oddzielny program w Turbo Prologu 2.0 na mikrokomputer klasy PC. Prolog jest odpowiednim narzędziem do oprogramowania algorytmów przeszukiwania heurystycznego [Gri 87], jednak ze względów technicznych, głównie wymagań pamięciowych algorytmu, nie udało mi się połączyć go z oprogramowaniem systemu SWIP, gdyż program LINK dołączony do pakietu TPr 2.0 nie umożliwia nakładkowania.

Obecnie opracowywana jest wersja SWIP dla systemu WINDOWS oprogramowywana w języku C++, która będzie dodatkowo umożliwiała realizację wyszukiwania opisów problemów naukowych metodą MMCW.

Badana metoda MMCW wykorzystuje procedurę heurystycznego przeszukiwania przestrzeni stanów HPA* opisaną w pkt. 3.3.1. Jej parametrami są:

- p: węzeł początkowy;
- C: własność celu;
- K: własność końcowa;
- h: estymacja heurystyczna;
- c: funkcja kosztu.

Parametry te zostały opisane w pkt. 3.3.1 oraz 4.2.2 (węzeł/stan początkowy), jednak do dokładnego określenia parametrów K, h i c potrzebne jest nadanie wartości stałych **d** (głębokości drzewa przeszukiwań) oraz **m** (pożądaney liczby odpowiedzi). W przeprowadzonym eksperymencie stałej **d** nadano wartość 4, a stałej **m** wartość 5. Przyjęta wartość **m** powoduje, że w przypadku gdy metoda MJWSI wyszukuje 5 opisów problemów lub więcej, wtedy metoda MMWC nie generuje dodatkowych stanów (tzn. analizuje jedynie stan początkowy) i zwraca w odpowiedzi jedynie te opisy, które wyszukała metoda MJWSI. Wartość stałej **d** została przyjęta na podstawie wcześniej przeprowadzonych testów, natomiast wartość **m** wynikała z preferencji uczestników eksperymentu.

5.2. Miary efektywności wyszukiwania

Podstawowymi miarami efektywności systemów wyszukiwania informacji stosowanymi we wszystkich eksperymentalnych badaniach nad efektywnością systemów są: *kompletność* i *dokładność* [Spa 81]. Miary te określają odpowiednio: zdolność systemu do wyszukiwania elementów relewantnych (*kompletność*) i zdolność systemu do wyszukiwania jedynie elementów relewantnych (*dokładność*). *Kompletność* (K) i *dokładność* (D) definiowane są następująco:

$$K = \frac{\text{liczba elementów wyszukanych i relewantnych}}{\text{całkowita liczba elementów relewantnych w kolekcji}}$$

$$D = \frac{\text{liczba elementów wyszukanych i relewantnych}}{\text{całkowita liczba elementów wyszukanych}}$$

Powyższe miary odnoszą się do oceny efektywności wyszukiwania dla pojedynczego pytania informacyjnego. Natomiast w przypadku, gdy trzeba obliczyć *kompletność* i *dokładność* dla pewnej serii pytań stosuje się tzw. miary *makro-* i *mikrokompletności* i *dokładności*. Miary te definiowane są odpowiednio [Sal 75]:

$$MakroK = \frac{1}{N} * \sum_{i=1}^N \frac{Wysz\ Rel_i}{Rel_i} \quad MakroD = \frac{1}{N} * \sum_{i=1}^N \frac{Wysz\ Rel_i}{Wysz_i}$$

$$MikroK = \frac{\sum_{i=1}^N Wysz\ Rel_i}{\sum_{i=1}^N Rel_i} \quad MikroD = \frac{\sum_{i=1}^N Wysz\ Rel_i}{\sum_{i=1}^N Wysz_i}$$

gdzie:

N - liczba pytań informacyjnych w badanej serii;

$WyszRel_i$ - liczba wyszukanych relewantnych elementów na pytanie i ;

$Wysz_i$ - liczba wszystkich wyszukanych elementów na pytanie i ;

Rel_i - liczba wszystkich elementów relewantnych do pytania i w całej kolekcji.

Miary *makro* przykładają równą wagę do każdego pytania i zwane są często *miarami zorientowanymi na użytkownika*. Miary *mikro* natomiast, zależą bardziej od pytań,

które mają większą niż pozostałe liczbę dokumentów relewantnych i zwane są *miarami zorientowanymi na system wyszukiwania* [Sal 83].

Stosowanie w praktyce wyżej wymienionych miar niesie za sobą pewne trudności. Pierwszą z nich jest określenie relewantnych dokumentów w całej kolekcji, szczególnie, gdy kolekcja liczy wiele tysięcy dokumentów. W praktyce stosuje się bądź ocenę całej kolekcji, bądź jedynie statystycznie wyznacza się liczbę relewantnych dokumentów w kolekcji [Fos 77, Sal 83]. Kolejną trudność stanowi określenie wartości kompletności dla pytania, dla którego w całej kolekcji nie ma dokumentu relewantnego lub dla którego nie wyszukano żadnego dokumentu, gdyż w takich przypadkach występuje dzielenie przez 0.

W omawianym tutaj eksperymencie, wyznaczenie liczby relewantnych opisów problemów naukowych do każdego z 36 pytań, tzn. ocena każdego z 80 opisów zarówno przez uczestnika eksperymentu, który formułował pytanie, jak i przez uczestnika, który wyszukiwał informacje byłaby bardzo czasochłonna. Dlatego też posłużyłem się innym stosowanym rozwiązaniem [Cho 86, Cho 91]. Polega ono na zastąpieniu miar kompletności liczbą wyszukanych opisów problemów. Dla porównania efektywności wyszukiwania metod MJWSI i MMCW przyjęcie takich miar jest dopuszczalne, gdyż:

- a) obie metody przeszukują tę samą bazę opisów problemów,
- b) MMCW wyszukuje z założenia co najmniej wszystkie te opisy co MJWSI, czyli ma przynajmniej taką samą kompletność bez względu na liczbę relewantnych opisów w całej bazie.

Jeżeli MMCW wyszuka na to samo pytanie więcej opisów niż MJWSI, będzie to oznaczało, że MMCW ma większą kompletność dla tego pytania, a więc także dla serii pytań MMCW ma większą makro- i mikrokompletność niż MJWSI.

Obok miar *kompletności* i *dokładności* istotne znaczenie dla oceny efektywności systemów wyszukiwania informacji ma również, jak wynika z przedstawionych we wstępie rozdz. 5 kryteriów, *czas odpowiedzi*. Metoda MMCW wyszukuje zawsze przynajmniej te same odpowiedzi co metoda MJWSI, a co za tym idzie jej czas odpowiedzi jest zawsze dłuższy niż czas odpowiedzi drugiej metody. Jako, że *czas odpowiedzi* jest w dużej mierze zależny od typu komputera, na którym przeprowadza się wyszukiwanie, stąd dodatkowym

parametrem oceny czasu odpowiedzi (wynikającym ze złożoności obliczeniowej zastosowanych w metodzie algorytmów) będzie liczba stanów rozszerzonego wielowartościowego systemu informacyjnego analizowanych przez metodę MMCW. W przypadku metody MJWSI parametr ten nie jest istotny, gdyż zawsze wyszukiwanie prowadzone jest tylko w jednym stanie systemu, czyli wynosi 1. Należy również zaznaczyć, że zarówno czas odpowiedzi jak i liczba analizowanych stanów będą odnosiły się do pojedynczej instrukcji wyszukiwawczej wprowadzonej do systemu, a nie do pytania informacyjnego, gdyż pojedyncze pytanie najczęściej pociąga za sobą konieczność wprowadzenia do systemu nawet kilku instrukcji wyszukiwawczych.

W eksperymencie mającym na celu porównanie efektywności wyszukiwania metod MJWSI i MMCW wykorzystano następujące wskaźniki:

- a) liczba relewantnych opisów problemów wyszukanych na pojedyncze pytanie oraz różnica liczby wyszukanych przez dwie metody opisów problemów;
- b) średnia liczba relewantnych opisów problemów wyszukanych dla 36 pytań, różnica średnich wartości dwóch metod oraz procentowy wzrost liczby relewantnych opisów;
- c) dokładność odpowiedzi na pojedyncze pytanie oraz różnica dokładności dwóch metod;
- d) makrodokładność dla zbioru pytań oraz różnica makrodokładności dwóch metod;
- e) mikrodokładność dla zbioru pytań oraz różnica mikrodokładności dwóch metod;
- f) czas uzyskania odpowiedzi i liczba analizowanych stanów na poszczególną instrukcję wyszukiwawczą oraz różnica czasów odpowiedzi i liczby analizowanych stanów dla obu metod,
- g) średni czas odpowiedzi i średnia liczba analizowanych stanów, ich różnice oraz procentowy wzrost średniego czasu odpowiedzi i średniej liczby analizowanych stanów dla obu metod.

Ponieważ relewancja opisu problemu na poszczególne pytanie jest oceniana przez formułującego pytanie (FO) oraz przez wyszukującego (WY), powyższe miary będą przedstawione osobno dla FO i WY. Dodatkowo relewancja oceniana jest w skali od 0 do 5, więc miary te będą prezentowane dla sześciu różnych poziomów. Poziom 5 będzie

oznaczał, że za relewantne uważa się te opisy, które zostały ocenione na 5; poziom 4 za relewantne będzie uważał te opisy, które zostały ocenione na co najmniej 4, itd. (z wyjątkiem poziomu 0). Powyższe miary zostaną także przedstawione dla przypadków, gdy za relewantne uważa się te opisy, które w ocenie FO i WY otrzymały ocenę co najmniej 3.

Uwaga: Metoda MMCW umożliwia otrzymanie uporządkowanego zbioru odpowiedzi, jednak w przeprowadzonym eksperymencie jakość tego uporządkowania nie była badana.

5.3. Wyniki przeprowadzonego eksperymentu

Wartości wskaźników podanych w poprzednim punkcie zostały przedstawione w tabelach. Porównanie czasów dla obu metod zostało przeprowadzone na mikrokomputerze typu PC 486DX-2 z zegarem 66MHz.

W tabeli 2 zostały umieszczone informacje o liczbie wyszukanych opisów na poszczególnych poziomach ocen WY i FO, wyszukanych dla każdego z 36 pytań przez metody MJWSI i MMCW.

METODA MJWSI													METODA MMCW													
Nr	L	wy-0	FO-0	wy-1	FO-1	wy-2	FO-2	wy-3	FO-3	wy-4	FO-4	wy-5	FO-5	L	wy-0	FO-0	wy-1	FO-1	wy-2	FO-2	wy-3	FO-3	wy-4	FO-4	wy-5	FO-5
1	2	0	0	2	2	0	2	0	0	0	0	0	5	0	1	5	4	3	4	1	1	0	1	0	1	
2	8	0	0	8	8	8	8	8	8	8	2	2	8	0	0	8	8	8	8	8	8	8	8	2	2	
3	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
4	2	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	5	0	0	5	5	5	5	5	5	5	5	0	5	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	8	8	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	12	8	0	4	12	4	4	3	4	3	3	2	0	
7	3	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
8	3	2	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	0	3	2	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	0
9	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	1	4	4	4	4	4	3	3	3	3	1	
10	7	0	1	7	6	4	3	2	3	0	2	0	10	0	1	10	9	7	6	5	5	2	4	0	2	
11	3	1	0	2	3	2	2	2	2	1	1	1	1	3	1	0	2	3	2	2	2	2	1	1	1	1
12	2	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	4	0	0	4	4	4	4	4	4	4	2	3	
13	3	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	
14	2	0	0	2	2	2	2	1	2	1	2	1	0	2	0	0	2	2	2	2	1	2	1	2	1	0
15	2	1	0	1	2	1	2	0	0	0	0	0	0	2	1	0	1	2	1	2	0	0	0	0	0	0
16	2	0	0	2	2	2	2	1	2	0	0	0	0	2	0	0	2	2	2	2	1	2	0	0	0	0
17	3	0	0	3	3	1	3	1	1	0	0	0	0	3	0	0	3	3	1	3	1	1	0	0	0	0
18	3	0	0	3	3	1	3	1	1	0	0	0	0	3	0	0	3	3	1	3	1	1	0	0	0	0
19	3	2	0	1	3	1	1	1	0	1	0	0	0	3	2	0	1	3	1	1	1	0	1	0	0	0
20	3	2	0	1	3	1	1	0	0	0	0	0	0	3	2	0	1	3	1	1	0	0	0	0	0	0
21	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
22	10	0	0	10	10	10	10	10	1	10	0	10	0	10	0	0	10	10	10	10	1	10	0	10	0	0
23	3	0	3	3	0	1	0	1	0	1	0	0	0	3	0	3	3	0	1	0	1	0	1	0	0	0
24	11	9	10	2	1	2	1	2	1	2	1	0	1	11	9	10	2	1	2	1	2	1	2	1	0	1
25	9	0	4	9	5	9	3	9	2	2	1	1	0	12	0	4	12	8	12	5	12	4	2	3	1	0
26	3	2	3	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	4	2	4	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0
27	4	0	3	4	1	2	1	2	1	1	1	0	1	4	0	3	4	1	2	1	2	1	1	1	0	1
28	9	0	7	9	2	9	2	6	1	5	0	3	0	9	0	7	9	2	9	2	6	1	5	0	3	0
29	4	3	0	1	4	0	4	0	1	0	0	0	0	5	3	0	2	5	0	5	0	1	0	0	0	0
30	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	4	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
32	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	3	1	0	2	3	0	3	0	2	0	2	0	2	3	1	0	2	3	0	3	0	2	0	2	0	2
34	3	3	0	0	3	0	3	0	1	0	0	0	0	3	3	0	0	3	0	3	0	1	0	0	0	0
35	4	2	4	2	0	2	0	1	0	1	0	0	0	5	3	5	2	0	2	0	1	0	1	0	0	0
36	4	2	0	2	4	2	4	2	4	2	2	2	2	4	2	0	2	4	2	4	2	4	2	2	2	2

Tabela 2. Liczba opisów relewantnych, na poszczególnych poziomach ocen WY i FO wyszukanych dla każdego z 36 pytań przez metody MJWSI i MMCW.

W tabeli 3 zostały umieszczone wartości współczynnika dokładności wyszukanych odpowiedzi na poszczególne pytania na poziomach ocen od 1 do 5 (w przypadkach oceny 0 wyszukany opis problemu uznawany jest za nerelewantny) WY i FO dla metod MJWSI i MMCW.

W tabeli 4 przedstawiono wartości różnych współczynników dla zestawu 36 pytań na poszczególnych poziomach ocen WY i FO dla MJWSI i MMCW, wartościami tymi są :

- a) suma wyszukanych opisów przez MJWSI;
- b) suma wyszukanych opisów przez MMCW
- c) różnica liczby wyszukanych opisów przez MMCW i MJWSI;
- d) procentowy wzrost liczby wyszukanych opisów przez MMCW w stosunku do liczby wyszukanych przez MJWSI;
- e) średnia liczba wyszukanych opisów;
- f) różnica średnich liczb wyszukanych opisów przez MMCW i MJWSI.

Nr	METODA MJWSI										METODA MMCW									
	WY-1	FO-1	WY-2	FO-2	WY-3	FO-3	WY-4	FO-4	WY-5	FO-5	WY-1	FO-1	WY-2	FO-2	WY-3	FO-3	WY-4	FO-4	WY-5	FO-5
1	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,80	0,60	0,80	0,20	0,20	0,00	0,20	0,00	0,20
2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,25	0,25	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,25	0,25
3	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
4	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00
5	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
6	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	1,00	0,33	0,33	0,25	0,33	0,25	0,25	0,17	0,00
7	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
8	0,33	0,67	0,33	0,67	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,00	0,33	0,67	0,33	0,67	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,00
9	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,60	0,60	0,60	0,60	0,20
10	1,00	0,86	0,57	0,43	0,29	0,43	0,00	0,29	0,00	0,00	1,00	0,90	0,70	0,60	0,50	0,50	0,20	0,40	0,00	0,20
11	0,67	1,00	0,67	0,67	0,67	0,67	0,33	0,33	0,33	0,33	0,67	1,00	0,67	0,67	0,67	0,67	0,33	0,33	0,33	0,33
12	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,75	0,75
13	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,67	0,67	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,67	0,67
14	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	0,50	1,00	0,50	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	0,50	1,00	0,50	0,00
15	0,50	1,00	0,50	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	1,00	0,50	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17	1,00	1,00	0,33	1,00	0,33	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,33	1,00	0,33	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00
18	1,00	1,00	0,33	1,00	0,33	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,33	1,00	0,33	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00
19	0,33	1,00	0,33	0,33	0,33	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,33	1,00	0,33	0,33	0,33	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00
20	0,33	1,00	0,33	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	1,00	0,33	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
22	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,10	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,10	1,00	0,00	1,00	0,00
23	1,00	0,00	0,33	0,00	0,33	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,33	0,00	0,33	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00
24	0,18	0,09	0,18	0,09	0,18	0,09	0,18	0,09	0,00	0,09	0,18	0,09	0,18	0,09	0,18	0,09	0,18	0,09	0,00	0,09
25	1,00	0,56	1,00	0,33	1,00	0,22	0,22	0,11	0,11	0,00	1,00	0,67	1,00	0,42	1,00	0,33	0,17	0,25	0,08	0,00
26	0,33	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
27	1,00	0,25	0,50	0,25	0,50	0,25	0,25	0,25	0,00	0,25	1,00	0,25	0,50	0,25	0,50	0,25	0,25	0,25	0,00	0,25
28	1,00	0,22	1,00	0,22	0,67	0,11	0,56	0,00	0,33	0,00	1,00	0,22	1,00	0,22	0,67	0,11	0,56	0,00	0,33	0,00
29	0,25	1,00	0,00	1,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	1,00	0,00	1,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00
30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
31	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
33	0,67	1,00	0,00	1,00	0,00	0,67	0,00	0,67	0,00	0,67	0,67	1,00	0,00	1,00	0,00	0,67	0,00	0,67	0,00	0,67
34	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00
35	0,50	0,00	0,50	0,00	0,25	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,40	0,00	0,20	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00
36	0,50	1,00	0,50	1,00	0,50	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	0,50	1,00	0,50	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50

Tabela 3. Wartości współczynnika dokładności wyszukanych odpowiedzi na poszczególne pytania na poziomach ocen od 1 do 5 WY i FO dla metod MJWSI i MMCW.

	L. W.	WY 0	FO 0	WY1	FO 1	WY2	FO2	WY3	FO 3	WY4	FO 4	WY5	FO 5
MJWSI	137	43	41	94	96	78	78	67	50	52	35	35	22
MMCW	163	45	45	118	118	101	99	86	67	65	48	44	27
Róż. MMCW, MJWSI	26	2	4	24	22	23	21	19	17	13	13	9	5
Proc. wzrost MMCW, MJWSI	19	4,7	9,8	25,5	22,9	29,5	26,9	28,4	34	25	37,1	25,7	22,7
Średnia MJWSI	3,806	1,194	1,139	2,611	2,667	2,167	2,167	1,861	1,389	1,444	0,972	0,972	0,611
Średnia MMCW	4,528	1,25	1,25	3,278	3,278	2,806	2,75	2,389	1,861	1,806	1,333	1,222	0,75
Róż. śred. MMCW, MJWSI	0,722	0,056	0,111	0,667	0,611	0,639	0,583	0,528	0,472	0,361	0,361	0,25	0,139

Tabela 4. Wartości współczynników związanych z liczbą wyszukanych odpowiedzi przez MJWSI i MMCW, na poszczególnych poziomach ocen WY i FO, uśrednione dla zestawu 36 pytań.

W tabeli 5 przedstawiono wartości współczynników makro- i mikrodokładności dla zestawu 36 pytań na poszczególnych poziomach ocen od 1 do 5 WY i FO, dla systemu MJWSI i MMCW, wartościami tymi są:

- makrodokładność na poziomach od 1 do 5 dla MJWSI;
- makrodokładność na poziomach od 1 do 5 dla MMCW;
- różnica makrodokładności na poziomach od 1 do 5 MMCW i MJWSI;
- mikrodokładność na poziomach od 1 do 5 dla MJWSI;
- mikrodokładność na poziomach od 1 do 5 dla MMCW;
- różnica mikrodokładności na poziomach od 1 do 5 MMCW i MJWSI.

	WY1	FO 1	WY2	FO2	WY3	FO 3	WY4	FO 4	WY5	FO 5
Makrodokładność MJWSI	0,702	0,759	0,567	0,666	0,483	0,466	0,402	0,34	0,311	0,262
Makrodokładność MMCW	0,714	0,754	0,595	0,674	0,497	0,476	0,402	0,351	0,306	0,246
Róż. makrod. MMCW, MJWSI	0,012	0	0,028	0,008	0,014	0,01	0	0,011	-0,005	-0,02
Mikrodokładność MJWSI	0,686	0,701	0,569	0,569	0,489	0,365	0,38	0,255	0,255	0,161
Mikrodokładność MMCW	0,724	0,724	0,62	0,607	0,528	0,411	0,399	0,294	0,294	0,166
Róż. mikrod. MMCW, MJWSI	0,038	0,023	0,05	0,038	0,039	0,046	0,019	0,039	0,014	0,005

Tabela 5. Wartości współczynników makro- i mikrodokładności dla metod MJWSI i MMCW, na poziomach ocen od 1 do 5 WY i FO.

W tabeli 6 przedstawiono wartości wszystkich współczynników przedstawionych w punkcie 5.3 dla takich opisów, które zostały ocenione przez WY i FO na ocenę co najmniej 3 dla metod MJWSI i MMCW.

W tabeli 7 przedstawiono liczbę wyszukanych opisów, które zostały ocenione przez WY i FO na ocenę co najmniej 3 dla metod MJWSI i MMCW, oraz wartość współczynnika dokładności dla poszczególnych pytań.

MJWSI	38
MMCW	53
Róż. MMCW, MJWSI	15
Proc. wzrost MMCW, MJWSI	39,5
Średnia MJWSI	1,056
Średnia MMCW	1,472
Róż. śred. MMCW, MJWSI	0,417
Makrodokładność MJWSI	0,369
Makrodokładność MMCW	0,376
Róż. makrod. MMCW, MJWSI	0,007
Mikrodokładność MJWSI	0,277
Mikrodokładność MMCW	0,325
Róż. mikrod. MMCW, MJWSI	0,048

Tabela 6. Wartości różnych współczynników dla MJWSI i MMCW, dla ocen WY i FO co najmniej równych 3.

Nr Pytania	MJWSI	MMCW	Dokład. MJWSI	Dokład. MMCW
1	0	0	0	0
2	8	8	1	1
3	1	1	1	1
4	2	5	1	1
5	0	0	1	1
6	0	3	0	0,25
7	2	3	0,67	0,75
8	1	1	0,33	0,33
9	1	3	1	0,6
10	0	2	0	0,2
11	1	1	0,33	0,33
12	2	4	1	1
13	3	3	1	1
14	1	1	0,5	0,5
15	0	0	0	0
16	1	1	0,5	0,5
17	1	1	0,33	0,33
18	1	1	0,33	0,33
19	0	0	0	0
20	0	0	0	0
21	1	1	1	1
22	1	1	0,1	0,1
23	0	0	0	0
24	1	1	0,09	0,09
25	2	4	0,22	0,33
26	0	0	0	0
27	1	1	0,25	0,25
28	1	1	0,11	0,11
29	0	0	0	0
30	0	0	0	0
31	4	4	1	1
32	0	0	0	0
33	0	0	0	0
34	0	0	0	0
35	0	0	0	0
36	2	2	0,5	0,5

Tabela 7. Wartości liczby wyszukanych opisów na poszczególne pytania oraz wartości współczynnika dokładności dla systemu MJWSI i MMCW ocenionych przez WY i FO na co najmniej 3.

W tabeli 8 przedstawiono wartości parametrów metod MJWSI i MMCW dla poszczególnych instrukcji wyszukiwawczych. Instrukcje te oznaczono identyfikatorami, składającymi się z numeru pytania i kolejnej litery odpowiadającej kolejnej instrukcji wyszukiwawczej dla poszczególnego pytania. W tabeli przedstawiono następujące parametry:

d. pyt.	Czas odp. MJSC	Czas odp. MMCW	Roż. czasu MMCW i MJWSI	L. analiz. węzł. MMCW
1A	0.05	19.22	19.17	90
1B	0.06	17.13	17.07	61
1C	0.11	1.26	1.15	4
2A	0.06	0.06	0	1
2B	0.11	0.11	0	5
3A	0.05	0.05	0	1
4A	0.06	1.32	1.26	9
5A	0.01	0.01	0	1
6A	0.05	14.22	14.17	60
6B	0.06	8.02	7.96	34
6C	0.11	0.11	0	1
7A	0.06	45.26	45.2	124
7B	0.06	37.19	37.13	114
7C	0.06	15.87	15.81	74
7D	0.05	0.11	0.06	1
8A	0.06	0.17	0.11	1
8B	0.05	0.5	0.45	1
9A	0.05	2.74	2.69	12
10A	0.06	15.05	14.99	48
10B	0.05	36.78	36.73	67
10C	0.06	0.11	0.05	1
10D	0.01	6.42	6.41	17
10E	0.05	0.61	0.56	4
11A	0.06	0.06	0	1
11B	0.05	0.05	0	1
12A	0.05	12.25	12.2	80
12B	0.06	0.17	0.11	2
13A	0.05	0.12	0.07	1
14A	0.01	7.2	7.19	42
14B	0.06	0.33	0.27	1
14C	0.05	0.17	0.12	1
15A	0.06	0.33	0.27	1
16A	0.05	0.22	0.17	1
17A	0.06	0.11	0.05	1
18A	0.01	0.01	0	1
18B	0.06	0.11	0.05	1
19A	0.05	0.11	0.06	1
19B	0.05	0.28	0.23	1
19C	0.05	0.05	0	1
20A	0.06	0.11	0.05	1
21A	0.05	9.78	9.73	55
22A	0.11	0.11	0	1
23A	0.05	0.05	0	1
23B	0.06	0.16	0.1	1
24A	0.05	11.15	11.1	55
24B	0.06	0.22	0.16	1
24C	0.07	0.5	0.43	1
25A	0.05	5.65	5.6	39
25B	0.11	0.11	0	1
26A	0.06	12.25	12.19	80
26B	0.11	5.16	5.05	32
26C	0.06	0.32	0.26	1
27A	0.05	7.8	7.75	27
27B	0.06	0.11	0.05	1
28A	0.11	0.11	0	1
28B	0.06	14.72	14.66	62
29A	0.05	0.17	0.12	2
30A	0.01	0.17	0.16	1
30B	0.05	0.11	0.06	1
31A	0.11	0.11	0	1
32A	0.06	0.22	0.16	1
33A	0.05	0.11	0.06	1
34A	0.11	0.22	0.11	1
34B	0.05	3.41	3.36	21
35A	0.06	0.22	0.16	1
35B	0.05	0.05	0	2
35C	0.06	0.06	0	1
36A	0.05	0.17	0.12	1

Tabela 8. Czas odpowiedzi i liczba analizowanych stanów na poszczególną instrukcję wyszukiwawczą.

- a) czas odpowiedzi dla obu metod,
- b) różnicę czasu odpowiedzi metody MMCW i MJWSI,
- c) liczbę analizowanych stanów rozszerzonego wielowartościowego systemu informacyjnego dla metody MMCW.

W tabeli 9 przedstawiono następujące parametry metod MJWSI i MMCW:

- a) średnią czasów odpowiedzi dla obu metod mierzoną w sekundach,
- b) różnicę średnich czasów odpowiedzi metod MMCW i MJWSI w sekundach,
- c) procentowy wzrost czasu odpowiedzi metody MMCW w stosunku do metody MJWSI,
- d) średnią liczbę przeanalizowanych stanów rozszerzonego wielowartościowego systemu informacyjnego dla metody MMCW.

Średni czas odpowiedzi na instrukcję wyszukiwawczą metodą MJWSI	0,069
Średni czas odpowiedzi na instrukcję wyszukiwawczą metodą MMCW	4,66
Różnica średnich czasów odpowiedzi metod MMCW i MJWSI	4,6
Procentowy wzrost czasu odpowiedzi metody MMCW w stos. do MJWSI	7790%
Średnia liczba przeanalizowanych stanów metodą MMCW	18,56

Tabela 9. Wartości średnie czasu odpowiedzi dla metod MJWSI i MMCW i wartość średnia liczby przeanalizowanych stanów dla metody MMCW.

Przedstawione powyżej wyniki wykazują, że MMCW charakteryzuje się większą kompletnością wyszukiwania niż MJWSI. Jednak żeby uznać MMCW za metodę bardziej efektywną od MJWSI, należy porównać ich dokładność wyszukiwania. Z tabeli 5 wynika, że dla każdego poziomu ocen (od 1 do 5) metoda MMCW ma większą mikrodokładność niż MJWSI, jednak różnice sięgają maksymalnie 0,05, a więc są nieznaczne. Natomiast odnośnie makrodokładności MMCW ma większą wartość tego wskaźnika niż MJWSI w sześciu przypadkach, równą w jednym i mniejszą w trzech przypadkach. We wszystkich tych przypadkach różnice nie są wielkie i wynoszą maksymalnie 0,02. Także z tabeli 5 wynika, że MMCW ma większą makro- i mikrodokładność niż MJWSI (różnice wynoszą

odpowiednio 0,007 i 0,048). Z powyższego wynika, że dokładność metody MMCW nie jest mniejsza od dokładności wyszukiwania metody MJWSI.

Istotność otrzymanych wyników była także przedmiotem testów statystycznych. W tym celu został wykorzystany bardzo często używany w badaniach efektywności systemów wyszukiwania test znaków [Sal 75, Sal 83].

Niech X będzie zmienną losową dla różnych badanych parametrów metody MJWSI oraz niech Y będzie zmienną losową dla różnych badanych parametrów metody MMCW. Hipotezą zerową H_0 dla wszystkich badanych parametrów związanych z kompletnością (liczbą wyszukanych opisów) i dokładnością wyszukiwania będzie hipoteza zakładająca, że dystrybuanty dla zmiennych losowych X i Y , odpowiednio $F_1(x)$ i $F_2(y)$, są sobie równe, tzn. $H_0: F_1(x) = F_2(y)$. Natomiast hipotezy alternatywne H_1 , dla parametrów związanych z liczbą wyszukanych opisów (a i b z pkt. 5.2) będą zakładały, że Y jest zmienną losową stochastycznie większą od X , natomiast w przypadku parametrów związanych z dokładnością wyszukiwania (c i d z pkt. 5.2) będą zakładały, że $H_1: F_1(x) \neq F_2(y)$ [Pawł 83].

Nie biorąc pod uwagę przypadków remisów (tj. takich, gdy wartość określonego parametru jest równa dla obu metod), hipotezę H_0 można odrzucić dla następujących parametrów (w nawiasie podano poziom istotności takiej decyzji, wyniki z tabel statystycznych [Zie 87]):

- liczba wszystkich wyszukanych opisów (0,005);
- liczba opisów wyszukanych i ocenionych przez WY i FO na poziomach od 1 do 3 (0,005);
- liczba wyszukanych opisów, dla których ocena WY i FO wynosi co najmniej 3 (0,01);
- liczba wyszukanych opisów ocenionych na poziomie 4 przez WY (0,025) przez FO (0,01);
- liczba wyszukanych opisów ocenionych przez WY na poziomie 5 (0,05).

Nie da się odrzucić hipotezy H_0 nawet na poziomie istotności 0,05 w następujących przypadkach:

- liczba wyszukanych opisów ocenionych przez FO na poziomie 5;
- liczba wyszukanych opisów ocenionych przez WY i FO jako zupełnie nerelewantne (poziom oceny - 0).

W przypadku testowania parametrów związanych z dokładnością hipotezy H_0 nie da się odrzucić dla żadnego z nich.

5.4. Omówienie wyników eksperymentu

Wyniki przeprowadzonego eksperymentu, pozwalają stwierdzić, że metoda wyszukiwania MMCW pozwala znaleźć więcej relewantnych opisów problemów niż MJWSI. Przyrost opisów relewantnych waha się od 23% do 40% dla różnych poziomów ocen. Stosunkowo najmniejszy jest przyrost wyszukanych opisów uznanych za słabo relewantne, tzn. ocenionych na oceny 1 lub 2, natomiast największy przyrost wyszukanych opisów nastąpił dla opisów ocenianych przez WY i FO na ocenę co najmniej 3. Najważniejsze jest jednak to, że zwiększenie liczby wyszukanych opisów relewantnych, a co za tym idzie kompletności wyszukiwania, nie spowodowało spadku dokładności wyszukiwania.

Z tabeli 4 wynika, że w serii 36 pytań MMCW wyszukała o 26 opisów problemów więcej niż MJWSI, co daje 19% wzrost liczby wyszukanych opisów. Z tabeli tej wynika dodatkowo, że stosunkowo najmniejszy przyrost liczby wyszukanych opisów nastąpił w przypadku opisów ocenionych przez WY i FO jako nerelewantne (ocena 0); wyniósł on odpowiednio 4,7% i 9,8% (w liczbach bezwzględnych 2 i 4). Natomiast na poziomach od 1 do 5 przyrost wyszukanych opisów wynosi od 22,7% do 37,1%. Na diagramie 4 pokazano, jaki procent z 26 opisów wyszukanych przez MMCW, a nie wyszukanych przez MJWSI stanowią opisy z ocenami od 0 do 5 nadanymi przez WY i FO. Wynika z tego diagramu, że 50% z wyszukanych opisów zostało ocenionych przez WY i FO na oceny 4 lub 5, a 73,1% w przypadku ocen WY i 65,4% w przypadku ocen FO zostało ocenionych na ocenę 3, 4 lub 5.

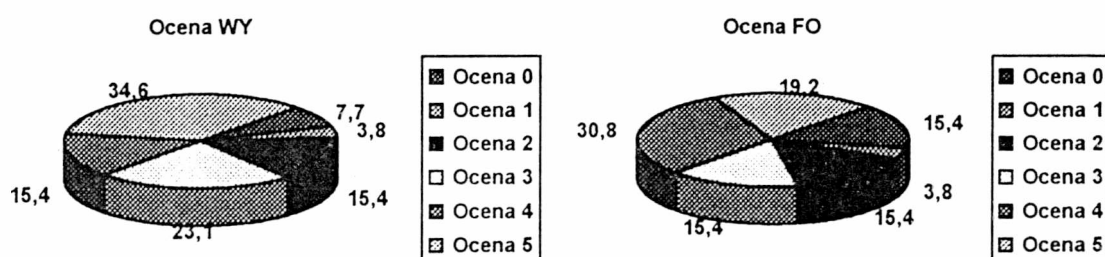


Diagram 4. Procentowa proporcja dodatkowo wyszukanych opisów, wg ocen przyznanych przez WY i FO.

W tabeli 4 przedstawiono także średnie wartości liczby wyszukanych opisów na poszczególnych poziomach. Średnia liczba wszystkich wyszukanych opisów przez MMCW wynosi 4,5; a przez MJWSI średnia ta wynosi 3,8. Średnia liczba wyszukanych opisów na poziomie 3 dla ocen nadanych przez WY wynosi dla MMCW 2,4, dla MJWSI 1,9, a dla ocen nadanych przez FO odpowiednio 1,9 i 1,4. Tak więc różnica średnich wartości w obu przypadkach wynosi ok. 0,5. Jeszcze lepsze rezultaty wyszukiwania osiąga MMCW w porównaniu z MJWSI wówczas, gdy za relewantne uznaje się takie opisy, które zostały ocenione przez WY i FO na ocenę co najmniej 3. Wartości wszystkich współczynników dotyczących tego przypadku zostały umieszczone w tabeli 5. Wynika z niej, że MMCW wyszukuje 53 relewantne opisy, a MJWSI 38 (wzrost wynosi więc 15 opisów, tzn. ok. 40%).

Niestety metoda MMCW, w porównaniu z metodą MJWSI, pociąga za sobą wzrost czasu odpowiedzi systemu na pojedynczą instrukcję wyszukiwawczą o średnio 4,6 sekundy, co stanowi około 78-krotny wzrost (patrz tab. 9). Oczywiście, taki czas oczekiwania jest akceptowalny dla użytkownika i na pewno nie zniechęci użytkownika do korzystania z takiej metody wyszukiwania w bazie opisów problemów naukowych.

Bardziej obiektywną od średniego czasu uzyskania odpowiedzi miarą złożoności algorytmów wykorzystywanych przez metodę MMCW jest średnia liczba analizowanych stanów rozszerzonego wielowartościowego systemu informacyjnego. W przeprowadzonym eksperymencie wynosi ona 18,56; dla przypomnienia, liczba analizowanych stanów w przypadku metody MJWSI wynosi 1.

Liczba analizowanych stanów dla metody MMCW zależy od przyjętego algorytmu przeszukiwania heurystycznego, który w porównaniu z przeszukiwaniem typu wszerz [Bol 89] daje bardzo dobre rezultaty, gdyż z jednej strony, znajduje rozwiązania (tzn. przyczynia się do wzrostu kompletności wyszukiwania), a z drugiej strony średnia liczba analizowanych stanów nie przekracza 19. W ramach pracy nad metodą wyszukiwania informacji w bazie opisów problemów naukowych testowana była także strategia przeszukiwania wszerz (zaimplementowana w języku C pod systemem WINDOWS), który analizuje dziesiątki tysięcy stanów, i to nawet dla maksymalnej głębokości drzewa przeszukiwań 3, a nie 4 jak w przypadku metody MMCW. Średnia liczba analizowanych stanów przez tę strategię wyraża się wzorem przedstawionym w pkt. 3.4.3, natomiast czas takiego przeszukiwania dla bazy opisów problemów naukowych systemu SWIP wynosi dziesiątki minut. Zaimplementowany program realizujący strategię wszerz bardzo często kończy się niepowodzeniem z powodu przepełnienia pamięci, gdyż w strategii wszerz pamiętane są wszystkie przeanalizowane stany o danej głębokości drzewa przeszukiwań, przed wygenerowaniem jakiegokolwiek stanu o głębokości o jeden większej [Bol 91].

W zastosowanym w metodzie MMCW algorytmie przeszukiwania stanów można sterować liczbą analizowanych stanów nie tylko poprzez zmianę parametrów **d** i **m** (maksymalna głębokość drzewa i maksymalna liczba odpowiedzi), ale także można modyfikować procedurę GENERACJA_HA, która będzie wstawiała na listę OPEN tylko najbardziej " obiecujące " węzły.

6. PODSUMOWANIE

Celem pracy było opracowanie i eksperymentalna weryfikacja metody wyszukiwania informacji w bazie opisów problemów naukowych wykorzystującej związki pomiędzy opisami problemów do modyfikacji ich charakterystyk wyszukiwawczych.

Przedstawiono metodę reprezentacji problemów naukowych w systemie wyszukiwania informacji, metodę wyszukiwania informacji w tym systemie, implementację obu metod w postaci systemu SWIP oraz ocenę efektywności wyszukiwania realizowanego przez system SWIP w porównaniu z wyszukiwaniem w systemie bibliograficznym. System SWIP, wykorzystujący mechanizmy hypertextowe, okazał się efektywnym narzędziem wyszukiwania informacji o problemach naukowych [Cho 90, Sob 91]. Jego zaletą, w porównaniu z systemem bibliograficznym, jest głównie bardzo precyzyjne wyszukiwanie informacji, której kompletność może być podniesiona poprzez penetrację sieci powiązanych opisów problemów naukowych.

Powiązania występujące pomiędzy opisami problemów w bazie opisów problemów naukowych systemu SWIP umiejscawiają każdy z problemów w obrębie wiedzy z danej dziedziny nauki. Stąd powiązania te są źródłem informacji bardzo istotnych dla rozwiązania danego problemu. Jednakże informacje te nie są w pełni reprezentowane w samym opisie problemu, a zatem brak ich również w charakterystyce wyszukiwawczej opisu problemu, występują natomiast w charakterystykach wyszukiwawczych opisów problemów z nim powiązanych. Wykorzystanie tego faktu w procesie automatycznego wyszukiwania stało się podstawą do opracowania metody wyszukiwania będącej przedmiotem niniejszej pracy. Metoda ta wykorzystuje do modyfikacji charakterystyk wyszukiwawczych opisów problemów, charakterystyki opisów powiązanych z nimi za pomocą odsyłaczy hypertextowych i zwana jest skrótowo metodą MMCW.

W celu formalnego opisanie metody MMCW opracowano model rozszerzonego wielowartościowego systemu informacyjnego będącego modyfikacją modelu wielowartościowego systemu informacyjnego [Paw 83]. Następnie zdefiniowano pojęcie przestrzeni stanów rozszerzonego wielowartościowego systemu informacyjnego, języka

informacyjnego w tej przestrzeni oraz zaimplementowano algorytm heurystycznego przeszukiwania przestrzeni stanów typu A.

Ocena działania metody MMCW polegała głównie na eksperymentalnym porównaniu jej efektywności wyszukiwania w bazie opisów problemów naukowych systemu SWIP z efektywnością wyszukiwania metody nie wykorzystującej modyfikacji charakterystyk wyszukiwawczych, opisanej w rozdz. 2 jako język wielowartościowego systemu informacyjnego, zwanej skrótoowo MJWSI. Podstawą tego porównania była liczba relewantnych opisów problemów wyszukanych przez obie metody dla pewnego zestawu pytań informacyjnych, dokładność tych wyszukiwań oraz czas odpowiedzi na poszczególną instrukcję wyszukiwawczą. Eksperyment wykazał, że metoda MMCW pozwoliła znacznie zwiększyć (od 23% do 40% w zależności od poziomu oceny relewancji) liczbę wyszukanych opisów przy jednoczesnym zachowaniu dokładności wyszukiwania, mierzonej współczynnikami makro- i mikrodokładności. Istotność osiągniętych wyników eksperymentu została potwierdzona statystycznie przy pomocy testu znaków.

Porównanie czasu wyszukiwania pokazało, że metoda MMCW w porównaniu z metodą MJWSI powoduje znaczny wzrost czasu odpowiedzi systemu na pojedynczą instrukcję wyszukiwawczą. Przyczyną jest konieczność generowania i analizowania wielu stanów systemu (w przeprowadzonym eksperymencie metoda MMCW analizuje ok. 19 wygenerowanych stanów na jedną instrukcję wyszukiwawczą), podczas gdy metoda MJWSI analizuje zawsze tylko **jeden** stan. Decydujący o czasie odpowiedzi w metodzie MMCW jest przyjęty algorytm heurystycznego przeszukiwania przestrzeni stanów. Algorytm ten, w porównaniu ze strategią przeszukiwania wszecz [Bol 89] jest bardzo efektywny, gdyż z jednej strony znajduje rozwiązania przyczyniające się do wzrostu kompletności wyszukiwania, a z drugiej analizuje średnio tylko kilkanaście stanów, a nie, jak ma to miejsce w przypadku strategii wszecz, kilkadziesiąt tysięcy.

Podkreślając wagę znacznego wzrostu kompletności wyszukiwania z zastosowaniem metody MMCW przy jednoczesnym zachowaniu dokładności można stwierdzić, iż wykazana została teza niniejszej pracy, w myśl której wykorzystanie powiązań pomiędzy problemami naukowymi reprezentowanymi w bazie opisów problemów do

modyfikacji charakterystyk wyszukiwawczych przyczynia się do wzrostu efektywności wyszukiwania.

W przeprowadzonym eksperymencie proponowana metoda została porównana z metodą będącą odmianą wyszukiwania boolowskiego. Zakres prac nie objął eksperymentalnego porównania z innymi metodami wyszukiwania tj. wykorzystującymi tezaury lub sieć semantyczną. Jednakże próba przeprowadzenia takiego porównania na drodze teoretycznych rozważań pozwala wnioskować o poprawności tezy niniejszej pracy. Tezaury są wykorzystywane np. do rozszerzenia użytego w instrukcji wyszukiwawczej słownictwa poprzez zastąpienie terminów początkowych identyfikatorami odpowiednich klas z tezaury [Sal 83]. Nieco bardziej skomplikowane procedury stosuje się w przypadku wykorzystania sieci semantycznych [Bra 77]. Np. w systemie GRANT [Coh 87] wyszukiwane są instytucje skłonne finansować określone badania naukowe. Wyszukiwanie polega na wyznaczeniu w sieci semantycznej ścieżek łączących terminy opisujące zakres badań z terminami opisującymi badania jakie skłonne są finansować te instytucje. Algorytm wykorzystuje dodatkowo mechanizm zwany "preferencją ścieżki" pozwalający odróżnić ścieżki istotne od mniej istotnych. Pomimo wielu istotnych różnic, obie metody, zarówno metoda wyszukiwania informacji wykorzystująca tezaurus, jak i metoda zaimplementowana w systemie GRANT, koncentrują się na poszczególnych pojęciach charakteryzujących reprezentowaną w systemie wyszukiwania informację i poszukują w tezaursie lub sieci semantycznej innych terminów dotyczących tego pojęcia lub pojęć z nim w jakiś sposób związanych. Takie podejście musi zawsze być obciążone pewnym błędem, gdyż związki te nie muszą dotyczyć wszystkich przypadków. Pytanie informacyjne operuje najczęściej kilkoma pojęciami, tworzącymi pewien wzajemny kontekst, dla którego nie wszystkie związki pomiędzy pojęciami reprezentowane w tezaursie bądź w sieci semantycznej, właściwe dla każdego z pojęć z osobna, są poprawne. Dodatkowo, niektóre związki mogą na tyle rzadko występować, że nie są wcale reprezentowane w tezaursie.

Tezaury i sieci semantyczne, bez względu na to, czy tworzone są przez ekspertów czy też automatycznie, są zawsze wtórne w stosunku do rozwiązywanych w danej dziedzinie problemów, gdyż to właśnie one definiują nowe pojęcia i określają ich własności,

posługując się w tym celu pojęciami już przyjętymi w danej dziedzinie wiedzy. Z tych właśnie względów wykorzystanie tezaurusów oraz sieci semantycznych prowadzi zwykle, w porównaniu do wyszukiwania opartego na modelu boolowskim [Rij 79], do wzrostu kompletności wyszukiwania przy jednoczesnym spadku dokładności wyszukiwania [Bie 77, Coh 87, Kje 87]. Natomiast powiązania pomiędzy opisami problemów, będące podstawą niniejszej pracy, są zawsze odzwierciedleniem występujących w konkretnym przypadku związków pomiędzy problemami. Związki te są określane przez autora (autorów) rozwiązania problemu i weryfikowane przed publikacją rozwiązania przez odpowiednie komitety naukowe, tak więc są zawsze prawidłowe. A zatem, także przekształcenia charakterystyk wyszukiwawczych opartych na tych związkach mają większą szansę być poprawne, niż w przypadku wykorzystania tezauryśa bądź sieci semantycznej.

Przeprowadzony eksperyment potwierdza powyższe stwierdzenie, gdyż w systemie SWIP nie zaobserwowano spadku dokładności wyszukiwania metody MMCW w porównaniu z metodą MJWSI. Dodatkowo, dla pierwszej metody w porównaniu z drugą, liczba wyszukanych opisów uznanych za nerelevantne wzrosła w mniejszym stopniu niż liczba wszystkich wyszukanych opisów.

Dynamiczny rozwój wykorzystania mikrokomputerów oraz wzrost ich możliwości (mocy obliczeniowej, pamięci dyskowej, prezentacji graficznej oraz dźwiękowej) spowodował, że powstają różnego rodzaju systemy wyszukiwania informacji, w tym wykorzystujące techniki multimedialne [Ste 93]. Systemy te obejmują zakres informacji różny od tzw. informacji naukowo - technicznej, a mianowicie przepisy prawne, historię sztuki czy w końcu różnorodne informacje encyklopedyczne. Informacje przechowywane w takich systemach, tak jak informacje o problemach naukowych, charakteryzują się występowaniem pomiędzy nimi różnorodnych związków. Stąd można przypuszczać, że proponowana w niniejszej pracy metoda wyszukiwania informacji może znaleźć szersze zastosowanie. Należy tu jednak podkreślić, że możliwość jej wykorzystania wymaga uprzedniego zbadania i określenia charakteru powiązań występujących pomiędzy poszczególnymi elementami reprezentowanej w tych systemach informacji oraz określenia zestawu przekształceń ich charakterystyk wyszukiwawczych wynikających z istnienia tych

powiązań. Jednoznaczne potwierdzenie przydatności proponowanej metody w wyżej wymienionych zakresach zastosowań może nastąpić po przeprowadzeniu dodatkowych badań. Jednakże fakt, iż we wszystkich tych przypadkach reprezentowana jest wiedza (naukowa, techniczna czy też prawnicza), pozwala sądzić, że wykorzystanie proponowanej metody również w innych zakresach zastosowań może przyczynić się do wzrostu efektywności wyszukiwania informacji w porównaniu z efektywnością metod tradycyjnych.

LITERATURA

- [Ait 87] Aitchison J., Gilchrist A., Thesaurus Construction, A Practical Manual. Second edition. London: Aslib 1972, 1987.
- [Ajd 75] Ajdukiewicz K., Logika pragmatyczna. Warszawa: PWN 1975.
- [Alt 72] Altszuler H., Algorytm wynalazku. Warszawa: Wiedza Powszechna 1972.
- [Bet 84] Bethea R.M., Duran B.S., Boullion T.L., Statistical Methods for Engineers and Scientists. New York: Marcel Dekker 1984.
- [Bie 77] Bielicka L.A., Języki informacyjne - przegląd analityczny badań efektywności. Prace IINTE 8, Warszawa 1977.
- [Bie 79] Bielicka L.A., Konwencjonalne metody indeksowania współrzędnego. Prace IINTE 25, Warszawa 1979.
- [Bla 86] Blair D. C., Maron M. E., An Evaluation of Retrieval Effectiveness for a Full-Text Document-Retrieval System. Communications of the ACM, 3 (28), 1986, s. 289-299.
- [Bla 90] Blair D. C., Maron M. E., Full-Text Information Retrieval further Analysis and Information Retrieval. Information Processing & Management, 3 (26), 1990, s. 437-447.
- [Bol 89] Bolc L., Cytowski J., Metody przeszukiwania heurystycznego - tom 1. Warszawa: PWN 1989.
- [Bol 91] Bolc L., Cytowski J., Metody przeszukiwania heurystycznego - tom 2. Warszawa: PWN 1991.
- [Boo 79] Bookstein A., Relevance. Journal of the American Society for Information Science, Sept. 1979, s.269-273.
- [Boy 82] Boyce B., Beyond Topicality. Two Stage View of Relevance and the Retrieval Process. Information Processing & Management, 3 (18), 1982, s.105-109.
- [Bra 77] Brachman R.J., What's in a concept: structural foundations for semantic networks. Int. J. Man-Machine Studies (9), 1977, s. 127-152.
- [Buc 83] Buckland M.K., Relatedness, Relevance and Responsiveness in Retrieval Systems. Information Processing & Management, 3 (19), 1983, s. 237-241.
- [Bun 67] Bunge M., Scientific Research. 1. The Search for Systems. Berlin: Springer Verlag 1967.
- [Cac 64] Cackowski Z., Problemy i pseudoproblemy. Warszawa: KiW 1964.

- [Cal 82] Callebaut W., Van Bendegem J.P., The Distribution Approach to Problem-Solving in Science: Prospects for G.S.M. W: R. Trappl (ed.) Cybernetics and Systems Research, s. 51-56. North-Holland Publishing Company 1982.
- [Cho 86] Choroś K., Metoda automatycznego indeksowania względnego w systemie wyszukiwania dokumentów (rozprawa doktorska). Raporty BG i OINT PWr 1986, ser. PRE nr 76.
- [Cho 90] Choroś K., Daniłowicz Cz., Dudek T., Kukla E., Sobecki J., Opracowanie i weryfikacja metody reprezentacji problemów naukowych w systemach wyszukiwania informacji. Raporty BG i OINT PWr 1990, ser. SPR 149.
- [Cho 91] Choroś K., Relative Indexing of Documents in Microcomputer Systems. Principles, Testing and Evaluation. Computers in the Humanities and the Social Sciences. Achievements of the 1980s. Prospects for the 1990s. Proceedings of the Cologne Computer Conference 1988. Uses of the Computer in the Humanities and Social Sciences. Zentralarch. empir. Sozialforsch., Zentr. hist. Sozialforsch., Univ. Koeln. Cologne, [7th-10th] September 1988. Muenchen: K.G. Saur 1991 s. 379-384.
- [Cho 92] Choroś K. (ed), Mikrokomputerowe systemy biblioteczno-informacyjne. Wrocław: Wydawnictwo PWr 1992.
- [Coh 87] Cohen P.R., Kjeldsen R., Information Retrieval in Constrained Spreading Activation in Semantic Networks, Information Processing & Management, 4 (23), 1987, s. 255-268.
- [Con 87] Conklin J., Hypertext: an Introduction and Survey. IEEE Computer 1987, 9 (20), 1987, s. 17-41.
- [Dąb 78] Dąbrowski M., Laus-Maczyńska K., Metody wyszukiwania i klasyfikacji. Warszawa: WNT 1978.
- [Dan 86] Daniłowicz Cz., Opracowanie i weryfikacja metody reprezentacji problemów naukowych w systemach wyszukiwania informacji. Założenia. Raporty BG i OINT PWr 1986, ser. SPR nr 89.
- [Dan 89a] Daniłowicz Cz., Struktura problemu naukowego. Raporty BG i OINT PWr 1989, ser. SPR nr 122.
- [Dan 89b] Daniłowicz Cz., Sobecki J., Struktura eksperymentalnej bazy danych o problemach naukowych. Raporty BG i OINT PWr 1989, ser. SPR nr 124.
- [Dan 89c] Daniłowicz Cz., Sobecki J., Opracowanie i weryfikacja metody reprezentacji problemów naukowych w systemach wyszukiwania informacji (etap II). Raporty BG i OINT PWr 1989, ser. SPR nr 132.
- [Dan 92] Daniłowicz Cz., Modele systemów wyszukiwania informacji uwzględniające preferencje użytkowników końcowych. Wrocław: Wydawnictwo PWr 1992. Prace Naukowe BG i OINT PWr nr 6, Seria: Monografie nr 3.

- [Dav 90] Davenport E., Cronin B., Hypertext and the Conduct of Science. *Journal of Documentation*, 3 (46), September 1990, s. 175-192.
- [Davi 86] Davies R. (ed), *Intelligent Information Systems*. New York: Ellis Horwood 1986.
- [Dee 83] Deer R.L., A Conceptual Analysis of Information Need. *Information Processing & Management*, 5 (19), 1983, s. 273-278.
- [Fos 77] Foskett A.C., *The Subject Approach to Information*, (3rd edition). London: Clive Bingley 1977.
- [Gar 79] Garfield E., *Science Citation Index - Its Theory and Application in Science, Technology and Humanities*. New York: John Wiley & Sons 1979.
- [Gri 87] Griffiths M., Palissier C., *Algorithmic Methods for Artificial Intelligence*. London: Kogan Page, Hermes 1987.
- [Har 74] Harris L.R., The Heuristic Search Under Conditions of Error. *Artificial Intelligence* (5), 1974, s. 217-234.
- [Ing 86] Ingwersen P., Cognitive Analysis and the Role of the Intermediary in Information Retrieval. W: Davies R. (ed), *Intelligent Information Systems*. New York: Ellis Horwood 1986.
- [Kem 88] Kemp D.A., *Computer-Based Knowledge Retrieval*. London: Aslib 1988.
- [Kje 87] Kjeldsen R., Cohen P.R., The Evolution and Performance of the GRANT System. COINS Technical Report 88-03, Jan. 1987, Univ. of Massachusetts, Amherst USA.
- [Kor 90] Korf R.K., Real-Time Heuristic Search. *Artificial Intelligence* (42), s. 189-211, 1990.
- [Kow 89] Kowalski R.: *Logika w rozwiązywaniu zadań*. Warszawa: WNT 1989.
- [Koz 69a] Koziński J., *Rozwiązywanie problemów*. Warszawa: BN 1969.
- [Koz 69b] Koziński J., *Zagadnienia psychologii myślenia*. Warszawa: BN 1969.
- [Lio 93] Liou M, Progress in Documentation the Complexities of Citation Practice: A Review of Citation Studies. *Journal of Documentation* 4 (49), s. 370-408, 1993.
- [Lop 82] Lopes M.A., Veloso P.A., Operations on Problems and their Solution Space. W: Trappl W. (ed.), *Cybernetics and Systems Research*. North-Holland 1982, s.379-383.
- [Mar 77] Martelli A., On the Complexity of Admissible Search Algorithms. *Artificial Intelligence* (4), s. 1-13, 1977.
- [Nil 80] Nilson N., *Principles of Artificial Intelligence*. Palo Alto: Tioga 1980.

- [Nos 77] Nosal C., Kryteria klasyfikacji sytuacji zadań i problemów. Komunikaty Ośr. Bad. Prognost. PWr. 1977 nr 71.
- [Nos 79] Nosal C., Mechanizmy funkcjonowania intelektu: zdolności style poznawcze, przetwarzanie informacji. Wrocław: Wydawnictwo PWr 1992. Prace Naukowe Instytutu Organizacji i Zarządzania PWr. nr 5, Seria: Monografie nr 6.
- [Nos 90] Nosal C. : Psychologiczne modele umysłu. Warszawa: PWN 1990.
- [Oes 93] Oeser E., Computational Philosophy of Science - The Technological Turn of the Philosophy of Science. W: Bazewicz M. (ed.), Information Systems' Architecture and Technology ISAT '93, s. 6-22. Wrocław: Wydawnictwo PWr 1993.
- [Pao 89] Pao L.M., Worthen D.B., Retrieval Effectiveness by Semantic and Citation Searching. Journal of the American Society for Information Science, 4 (40), 1989, s. 226-235.
- [Paw 78] Pawlak Z., Information Systems. Institute of Computer Science Polish Academy of Science Report, 1978, nr 338, Warszawa.
- [Paw 80] Pawlak Z., Toward the Theory of Information Systems. Institute of Computer Science Polish Academy of Science Report, 1980, nr 419, Warszawa.
- [Paw 83] Pawlak Z., Systemy informacyjne. Podstawy teoretyczne. Warszawa: WNT 1983.
- [Pawł 76] Pawłowski Z., Statystyka matematyczna. Warszawa: WNT 1976.
- [Pea 83] Pearl J., Knowledge versus search: A quantitative analysis using A*. Artificial Intelligence, 1 (20), 1983, s. 1-13.
- [Pet 85] Petkoff B., Artificial Intelligence and Computer Simulation of Scientific Discovery. W: Bibel W., Petkoff B. (ed.): Artificial Intelligence - Methodology, Systems, Applications. North-Holland 1985, s. 19-34.
- [Pol 87] Pollit A.S., CANSEARCH: An Expert Systems Approach to Document Retrieval. Information Processing & Management, 2 (23), 1987, s. 119-138.
- [Pri 73] Price Derek J. de Solla, Czym różni się nauka od techniki. Kwartalnik Historii Nauki i Techniki 1973 nr 1, s.13-15.
- [Rad 89] Rada R., Writing and Reading Hypertext: An Overview, Journal of of the American Society for Information Science, 3 (40), 1989, s. 164-171.
- [Rij 79] van Rijsbergen C. J., Information Retrieval (second edition). London: Butterworths 1979.

- [Roz 85] Rozwadowski R., Problemowy język indeksowania oparty na warunkowych zdaniach pytajnych z jedną niewiadomą (rozprawa doktorska) Raporty BG i OINT PWr 1985, ser. PRE nr 63.
- [Rud 75a] Rudniański J., Fazy rozwiązywania problemów naukowych. Zagadnienia Naukoznawstwa 1 (41) 1975, s. 19-45.
- [Rud 75b] Rudniański J., Informacja w procesie twórczym naukowca. Zagadnienia Naukoznawstwa 3-4 (43) 1975, s. 421-442.
- [Rud 76] Rudniański J., Nauka, twórczość i organizacja. Warszawa: PWN 1976.
- [Sal 75] Salton G. (ed.): SMART automatyczny system wyszukiwania informacji. Warszawa: WNT 1975.
- [Sal 83] Salton G., McGill M.J: Introduction to Modern Information Retrieval. New York: McGraw-Hill Book Co. 1983.
- [Sar 75] Saracevic T., Relevance: A Review of and a Framework for the Thinking on the Notion in Information Science. Journal of the American Society for Information Science, Nov-Dec 1975, s. 321-343.
- [Sar 88] Saracevic T., Kantor P., A Study of Information Seeking and Retrieving. III. Searchers, Searches and Overlap. Journal of the American Society for Information Science, (39), 1988, s. 197-216.
- [Sca 89] Scacchi W., On the Power of Domain-Specific Hypertext Enviroments, Journal of the American Society for Information Science, 3 (40), 1989, s. 183-191.
- [Sch 89] Schneiderman B., Kearsley G., Hypertext Hands - On!, An Introduction to a New Way of Organizing and Accessing Information. Reading: Addison-Wesley Publishing Company 1989.
- [Sew 86] Sewell W., Teitelbaum S., Observations of End-User Online Searching Behaviour Over Eleven Years. Journal of the American Society for Information Science, (37), 1986, s. 234-245.
- [Sie 87] Siemiński A., Propozycja języka opisu problemów naukowych. Raporty BG i OINT PWr 1987, ser. SPR nr 92.
- [Sim 81] Simon H.A., Langley P.W., Bradshaw G.L., Scientific Discovery as Problem Solving. Synthese 47, 1981, s. 1-27.
- [Sob 87] Sobecki J., Co to jest problem naukowy? Przegląd literatury. Raporty BG i OINT PWr 1987, ser. SPR nr 94.

- [Sob 88] Sobecki J., Inteligentne systemy informacyjne. Informatyka w zarządzaniu przedsiębiorstwem (nowe generacje systemów). IX Kołobrzesckie Dni Informatyki. INFOGRYF '88. TNOiK Oddz. w Szczecinie. Kołobrzeg [18-21.10.1988]. Zbiór referatów uczestników konferencji. Sekc. 2. Systemy wspomagania decyzji (istota, zasady, możliwości zastosowań). Szczecin 1988 s.186-195.
- [Sob 91] Sobecki J., Eksperymentalne porównanie efektywności wyszukiwania informacji w systemie wyszukiwania informacji o problemach naukowych. BG i OINT PWr 1991, ser. SPR nr 171.
- [Sob 92] Sobecki J., Wyszukiwanie informacji z bazy problemów naukowych. W: Choroś K. (ed), Mikrokomputerowe systemy biblioteczno-informacyjne. Wrocław: Wydawnictwo PWr 1992, s. 134-146.
- [Sob 93] Sobecki J., A method for retrieval of information from a data-base of related items. W: Bazewicz M. (ed.), Information Systems' Architecture and Technology ISAT '93. Wrocław: Wydawnictwo PWr 1993 s. 270-284.
- [Spa 81] Sparck Jones K. (ed.), Information Retrieval Experiment. London: Butterworths 1981.
- [Ste 93] Steinbrink B., Multimedia u progu technologii XXI w. Wrocław: Wydawnictwo Robomatic 1993.
- [Ster 85] Sternberg R.J.: Reasoning, Problem Solving and Intelligence. Handbook of Human Intelligence. New York 1985, s.225-307.
- [Suc 69] Such J., Wstęp do metodologii nauk. Poznań: UAMI 1969.
- [Tra 85] Trawiński B., Abstrakt dokumentu jako odwzorowanie procesu rozwiązywania problemu (rozprawa doktorska). Raporty BG i OINT PWr 1985, ser. PRE nr 64.
- [Tra 87] Trawiński B., Propozycja typologii problemów rozwiązywanych w nauce. Raporty BG i OINT PWr 1987, ser. SPR nr 91.
- [Tra 89] Trawiński B., A Methodology for Writing Problem Structured Abstracts, Information Processing & Management, 6 (25), 1989, s. 693-702, 1989.
- [Vet 88] Vetulani Z., Prolog Implementation of an Access in Polish to a Database. Poznańskie Tow. Przyjaciół Nauk. Tom XII - 1988, s. 6-23.
- [Wal 75] Walentynowicz B., O rozwiązywaniu problemów w nauce i technice. Zagadnienia Naukoznawstwa 2 (42) 1975, s. 289-305.
- [Wil 84] Wilson T.D., The Cognitive Approach to Information Seeking Behaviour and Information Use. Social Science and Information Studies, (4), 1984, s. 197-204.
- [Zie 87] Zieliński R., Zieliński W., Podręczne tablice statystyczne. Warszawa: WNT 1987.

DODATEK A

Przykładowy opis problemu naukowego z bazy opisów problemów naukowych systemu SWIP.

OPIS PROBLEMU

Identyfikator problemu: P04

Nazwa problemu: Kodowanie grafiki wielopoziomowej metodą BTC.

Typ problemu: Modyfikacja metody

Problemy związane: **P25**

Opis ogólny problemu

Dane

- a) Obrazy o niewielkiej liczbie poziomów szarości (tzw. grafika wielopoziomowa), podzielone na rozłączne bloki.
- b) Obrazy kolorowe.

Transformacje

- a) Kodowanie łączne wartości średniej i odchylenia standardowego dla różnej liczby poziomów szarości.
- b) Zastosowanie filtra wygładzającego w algorytmie kodowania bloków z obcinaniem.
- c) Eliminacja bloków z zerową wariancją.
- d) Kodowanie pikseli jako zmiennych zależnych.
- e) Zastosowanie rozdzielczości wprost proporcjonalnej do wartości wariancji.
- f) Ochrona przed błędami.

Wyniki

- a) Skompresowany i zdekompresowany obraz.
- b) Liczba bitów na piksel dla różnych parametrów obrazu i poziomów błędów.

Opis szczegółowy

Dane

- a) Obrazy o niewielkiej liczbie poziomów szarości (tzw. grafika wielopoziomowa), podzielone na rozłączne bloki.
- b) Obrazy kolorowe.

Transformacje

- a) W zmodyfikowanej wersji algorytmu kodowania bloków z obcinaniem (BTC) **P25** zaproponowano łączne kodowanie kombinacji odchylenia standardowego i wartości średnich dla bloków 4 x 4 piksele. Dopuszczalne kombinacje wartości średnich i odchylenia standardowego dla obrazów z 32 i 16 poziomami szarości piksela przedstawiają poniższe tabele:

Odchylenie standardowe	Średnia	Liczba słów kodowych
0	0-31	32
1	1-22,24,26,28,30	26
2	1,3,5,7,9,11,13,15,17,19,21,23,25,27,29,31	16
3	2,5,8,11,14,17,20,23,26,29	10
4	2,5,8,11,14,18,20,23,26,29	10
5	2,6,10,14,18,22,26,30	8
7	2,6,10,14,18,22,26,30	8
9	3,8,13,18,23,28	6
11	4,10,16,22,28	5
13	6,12,19,26	4
15	10,16,22	3
	W sumie:	128

Odchylenie standardowe	Średnia	Liczba słów kodowych
0	0-15	16
1	1-14	14
2	1,3,5,7,9,11,13,15	8
3	2,4,6,8,10,12,14	7
4	2,4,6,8,10,12,14	7
5	2,5,8,11,14	5
6	3,6,9,12	4
7	4,7,10	7
	W sumie:	64

Z analizy tabel wynika, że w przypadku obrazów o 32 poziomach szarości potrzeba 128 kodów (2 do potęgi 7) oraz 64 kody (2 do potęgi 6) w przypadku 16 poziomów szarości.

b) Ponadto zastosowano filtr wygładzający:

0	0,1	0
0,1	0,6	0,1
0	0,1	0

- c) Każdy punkt obrazu zastępowany jest przez sumę ważoną swoich 4 sąsiadów. Dla bloków z wariancją równą zero nie przesyła się danych dotyczących podziału bloku na dwa stopnie szarości.
- d) Część pikseli w bloku można potraktować jako zmienne zależne. Odbiornik działa wtedy zgodnie z odpowiednim dla danej zależności pikseli wyrażeniem logicznym. Wyrażenie to opisuje sposób dekodowania wartości bitów dla pikseli. Dla bloku 4 x 4 o pikselach oznaczonych następująco:

A	B	C	D
E	F	G	H
I	J	K	L
M	N	O	P

wyrażenie to może mieć np. taką postać (1 oznacza, że piksel przyjmuje wyższą wartość stopnia szarości):

$B=1$ jeśli $[(A \text{ i } B) = 1]$ lub $[(F \text{ i } J) = 1]$
 $C=1$ jeśli $[(A \text{ i } D) = 1]$ lub $[(G \text{ i } K) = 1]$
 $E=1$ jeśli $[(A \text{ i } M) = 1]$ lub $[(F \text{ i } G) = 1]$
 $H=1$ jeśli $[(D \text{ i } P) = 1]$ lub $[(F \text{ i } G) = 1]$
 $I=1$ jeśli $[(A \text{ i } M) = 1]$ lub $[(J \text{ i } K) = 1]$
 $L=1$ jeśli $[(D \text{ i } P) = 1]$ lub $[(J \text{ i } K) = 1]$
 $N=1$ jeśli $[(M \text{ i } P) = 1]$ lub $[(F \text{ i } J) = 1]$
 $O=1$ jeśli $[(M \text{ i } P) = 1]$ lub $[(G \text{ i } K) = 1]$

- e) Zastosowano także zmianę rozdzielczości dla różnych wartości odchylenia standardowego. Dla odchylenia standardowego 5-16 użyto pełną rozdzielczość (16 bitów), dla 1-4 użyto 8 bitów, a dla mniejszych wartości zero bitów.
- f) W celu ochrony przed wpływem błędów w kanale zastosowano dodatkowe bity w kodzie.

Wyniki:

Dla równoczesnego kodowania wartości średnich i odchyłeń standardowych uzyskano rezultaty:

0,473 bit/piksel przy rozmiarze bloku 4 x 4 i 32 poziomach szarości
 oraz 0,375 bit/piksel przy 16 poziomach szarości.

Przy kodowaniu oddzielnym uzyskano odpowiednio:

0,625 bit/piksel
 oraz 0,437 bit/piksel.

Stosowanie filtrów wygładzających redukuje wariancję szumu zakłócającego do 40%. Jeżeli nie przesyłamy przez kanał bloków o zerowej wariancji, to użyte kody są zmiennej długości, a więc wrażliwe na zakłócenia w trakcie transmisji. Dla prawdopodobieństwa błędu 10-3% ochrona może być uzyskana przez dodanie 3/16 bit/piksel. Przy stosowaniu zmiany rozdzielczości w zależności od wartości odchylenia standardowego uzyskujemy rezultat około 0,9 bit/piksel.

Informacje dodatkowe:

(informacje dodatkowe w opisie problemu P4 nie występują)

Odsyłacz bibliograficzny

Tytuł: Multilevel Graphics Representation Using Block Truncation Coding.

Autorzy: Mitchell O.R., Delp E.J.

Nazwa dokumentu: Proceedings of the IEEE

Rok: 1980

Dodatkowe dane: Vol.68, Nr 7, s. 868-873.

Słowa kluczowe

Nazwy:	BTC, grafika wielopoziomowa
Danych:	bloki rozłączne, poziom szarości piksła, obraz kolorowy, wartość średnia, odchylenie standardowe
Transformacji:	wartość średnia, odchylenie standardowe, poziom szarości piksła, filtr wygładzający, BTC, wariancja, rozdzielczość obrazu
Wyników:	obraz skompresowany, obraz zdekompresowany, miara bit na piksel, błąd kanału

DODATEK B

**Przykład wyszukiwania metodami MJWSI i MMCW w bazie systemu SWIP
przeprowadzonego w ramach eksperymentu.**

Numer pytania: 12		Nazwisko i imię osoby formułującej pytanie (FO): A. Zgrzywa									
Nr art. wg ZSI: 37		Dokładna lokalizacja: s. 987-988									
Treść pytania: Jakie są wady metody FFBA (pełnoramowej alokacji bitów)											
Dodatkowe objaśnienie pytania:											
Nazwisko i imię osoby prowadzącej wyszukiwanie (WY): Nguyen Ngoc Thanh											
Postać I instrukcji wyszukiwawczej: (typ, kon_met)*(sl_n,pełnoramowa alokacja bitów)											
Ocena z lewej WY, prawej FO	L. odp.	Odp. 1		Odp. 2		Odp. 3		Odp. 4		Odp. 5	
		Nr	Oc	Nr	Oc	Nr	Oc	Nr	Oc	Nr	Oc
MJWSI	0										
MMCW	1	P63 P10	4 4								
Postać II instrukcji wyszukiwawczej: (sl_n,pełnoramowa alokacja bitów)											
Ocena z lewej WY, prawej FO	L. odp.	Odp. 1		Odp. 2		Odp. 3		Odp. 4		Odp. 5	
		Nr	Oc	Nr	Oc	Nr	Oc	Nr	Oc	Nr	Oc
MJWSI	2	P10	4 5	P11	5 5						
MMCW	3	P10	4 5	P11	5 5	P15	5 5				
Postać III instrukcji wyszukiwawczej:											
Ocena z lewej WY, prawej FO	L. odp.	Odp. 1		Odp. 2		Odp. 3		Odp. 4		Odp. 5	
		Nr	Oc	Nr	Oc	Nr	Oc	Nr	Oc	Nr	Oc
MJWSI											
MMCW											

Formularz wyszukiwania dla pytania nr 12.

Pytanie nr 12 zostało przygotowane na podstawie artykułu Huang H.K. (et. al.), *Radiological image compression using error-free and irreversible two-dimentional direct-cosine-transform coding techniques. J. of the Optical Society of America, vol 4, p. 984-992, 1987* oznaczonego w ewidencji ZSI pod nr 37.

Na podstawie pierwszej wprowadzonej instrukcji (12A) metoda MJWSI nie wyszukiwała żadnego opisu, natomiast metoda MMCW wyszukiwała jedną parę opisów {P63,P10} ocenionych przez WY i FO na ocenę 4. Wyszukane opisy mają następujące nazwy:

P63 - Kodowanie obrazów adaptacyjną metodą kwantowania bloków.

P10 - Kompresja zdjęć medycznych metodą pełnoramowej alokacji bitów.

Na wyszukanie powyższej odpowiedzi metoda MMCW przeanalizowała 80 stanów w czasie 12,25 sekundy. Aby wyszukać tę odpowiedź, wykonane zostało jedno przekształcenie, a mianowicie p_2 , gdzie obiekty $c_1=\{\mathbf{P63}\}$, a $c_2=\{\mathbf{P10}\}$.

Niepowodzenie pierwszej instrukcji wyszukiwawczej dla metody MJWSI (tzn. brak odpowiedzi) spowodował, że prowadzący wyszukiwanie wprowadził drugą instrukcję, a mianowicie 6B. W jej efekcie metoda MJWSI wyszukała dwa opisy **P10** i **P11**, natomiast metoda MMCW wyszukała dodatkowo opis **P15**. Opisy **P11** i **P15** mają następujące nazwy:

P11 - Porównanie metod kompresji: obcinanie tła i obcinanie bitów, kodowanie długości runów, kodowanie Huffmana i pełnoramowa alokacja bitów, dla obrazów cyfrowych zdjęć medycznych.

P15 - Kompresja obrazów cyfrowych zdjęć rtg.

Opisy **P10** i **P11** zostały ocenione przez WY odpowiednio na oceny 4 i 5, oraz przez FO na oceny 5 i 5. Czas wyszukiwania tą metodą wynosił 0,6 sekundy. Wyszukany dodatkowo przez metodę MMWC opis **P15**, został zaliczony do zbioru odpowiedzi na podstawie przekształcenia p_1 , gdzie obiekty $c_1=\{\mathbf{P15}\}$ i $c_2=\{\mathbf{P10}\}$, po przeanalizowaniu 2 stanów w czasie 0,17 sekundy. Opis **P15** został oceniony przez WY i FO na ocenę 5.



WYKAZ ODBIORCÓW

Lp.	Odbiorca	Liczba egz.
1.	Wydział Elektroniki Politechniki Wrocławskiej	2
2.	Promotor	1
3.	Recenzenci	1
4.	Redakcja Biblioteki Głównej i OINT Politechniki Wrocławskiej	2
5.	Autor	1