

KIWIEL



POLSKA AKADEMIA NAUK
Instytut Badań Systemowych

WSPOMAGANIE DECYZJI

SYSTEMY EKSPERCKIE

pod redakcją

Romana Kulikowskiego i Lucyny Bogdan

Warszawa 1995

WSPOMAGANIE DECYZJI

SYSTEMY EKSPERCKIE

pod redakcją

Romana Kulikowskiego i Lucyny Bogdan

Warszawa 1995

Wydano z wykorzystaniem dotacji
KOMITETU BADAŃ NAUKOWYCH

Materiały konferencji: "Analiza Decyzyjna, Systemy Ekspertskie, Zastosowania Systemów Komputerowych",
Warszawa, 25-27 maja 1994r.

Komitet Programowy Konferencji:

Andrzej Ameljańczyk, Zdzisław Bubnicki, Wiesław Grudzewski, Olgierd Hryniewicz, Janusz Kacprzyk, Lech Kruś, Roman Kulikowski (przewodniczący), Kazimierz Mańczak, Ireneusz Nykowski, Zdzisław Pawlak, Roman Słowiński, Andrzej Straszak, Andrzej Weryński, Andrzej Wierzbicki.

Wykonano z oryginałów tekstowych dostarczonych przez autorów

© Instytut Badań Systemowych PAN, Warszawa 1995

ISBN 83-85847-85-5

Analiza strukturalna problemów decyzyjnych zarządzania procesami elastycznego studiowania

Eugeniusz Toczyłowski
Instytut Automatyki i Informatyki Stosowanej
Politechniki Warszawskiej

Poprawa jakości, elastyczności i efektywności funkcjonowania uczelni w warunkach konkurencji wymaga nowych rozwiązań organizacyjnych oraz wprowadzenia zintegrowanych systemów informacyjnych. W szczególności, realizacja indywidualnych programów i toków studiów wymaga zupełnie nowej organizacji rejestracji zapisów i postępów studiowania, nowych zasad układania rozkładu zajęć, podejmowania wielu nietrywialnych decyzji mających wpływ na sprawność administrowania, na realne możliwości zaspokojenia indywidualnych potrzeb wyboru przedmiotów i zajęć przez studentów oraz na efektywne gospodarowanie ograniczonymi zasobami kadrowymi i materialnymi uczelni.

Komputeryzacja procesów administrowania dydaktyką i związanych z nimi procesów decyzyjnych wymaga przygotowania odpowiedniej infrastruktury informatycznej, lepszej organizacji oraz podniesienia poziomu kultury organizacyjnej poprzez przygotowanie ludzi do bardziej efektywnego i niezawodnego działania. Udana komputeryzacja wymaga też umiejętnego, kompleksowego podejścia do analizy całości zagadnień decyzyjnych, w tym konstruowania, upraszczania i rozwiązywania adekwatnych matematycznych modeli zadań menedżerskich oraz zadań planowania i harmonogramowania złożonych procesów dyskretnych związanych z elastycznym studiowaniem.

W pracy dokonana zostanie analiza problemów decyzyjnych dla potrzeb zarządzania procesami elastycznego studiowania na wyższej uczelni w oparciu o doświadczenia autora z wdrażania takiej reformy na Wydziale Elektroniki i Technik Informatycznych PW w latach 1990-1993 [1, 2, 5, 7, 8], kiedy to autor był odpowiedzialny za opracowanie i wdrożenie *organizacji* elastycznego studiowania. W niniejszej pracy uwaga zostanie skupiona na hierarchizacji problemów decyzyjnych i analizie wybranych problemów decyzyjnych modelowanych jako problemy rozdziału zasobów [6]. Przedstawimy kolejno: hierarchiczną strukturę problemów decyzyjnych;

opis organizacji elastycznego systemu studiów, analizę problemów decyzyjnych układania rozkładów zajęć i planów studiów oraz wielostopniową agregację problemów planowania.

Struktura hierarchiczna problemów decyzyjnych

Ze względu na różnorodność i złożoność problemów decyzyjnych zarządzania procesami dydaktycznymi na uczelni, w tym organizacji elastycznego studiowania, zagadnienia te należy rozważać w różnych skalach czasu w strukturze warstwowej zarządzania, w której w warstwie najniższej są rozważane szczegółowe problemy decyzyjne w skali czasu rzędu godzin i dni, np. wspomagana komputerowo rejestracja studentów czy też zagadnienia efektywnego wykorzystania zasobów w celu realizacji ustalonych już zajęć dydaktycznych. W warstwie nieco wyższej (w skali czasu semestru) są np. rozważane problemy planowania zajęć semestralnych oraz zagadnienia uruchamiania kursów i nitek specjalnościowych, przydziału zadań dydaktycznych nauczycielom, itp..

W dłuższej perspektywie czasu rozważa się wprowadzanie nowych kierunków i specjalności, nowych programów studiów na istniejących kierunkach i specjalnościach, prowadzi się politykę kadrową, uruchamia nowe laboratoria, zwiększa przepustowość laboratoriów i sal wykładowych stanowiących ograniczenia. Wprowadza się też różnorodne zmiany organizacyjne, np. ustala się nowe formy organizacji zajęć dydaktycznych, organizacji jednostek dydaktyczno-badawczych.

W perspektywie wieloletniej pojawiają się zagadnienia strategiczne o szczególnym znaczeniu, takie jak reforma programów studiów, programy rozwoju kadr i kierunków naukowych, wprowadzanie programów poprawy i doskonalenia jakości dydaktyki i prac badawczych oraz poprawy efektywności i niezawodności działania.

Efektywne funkcjonowanie uczelni wymaga ponadto właściwych decyzji długofalowych z zakresu organizacji i zarządzania, mających wpływ na elastyczność, adaptacyjność i efektywność funkcjonowania wyodrębnionych organizacyjnie jednostek realizujących zadania dydaktyczne i badawcze. Do problemów tych należą zagadnienia polityki kadrowej, zasady finansowania działalności jednostek organizacyjnych [3], zasady przydziału i realokacji zasobów materialnych (np. środków finansowych na rozwój laboratoriów i bazy technicznej, przydział pomieszczeń i środków technicznych) pomiędzy jednostki organizacyjne, stworzenie jak najlepszych warunków rozwoju jednostek organizacyjnych w celu nadążania za zmieniającymi się potrzebami dydaktycznymi i badawczymi. Ważnym celem strategicznym jest zapewnienie dużej adaptowalności oraz udoskonalanie i dostosowawcze przekształcanie struktur organizacyjnych.

Zestawienie wybranych problemów decyzyjnych przedstawia Rys. 1.

Warstwa decyzyjna	Zadania
planowanie strategiczne (wieloletnie)	reformy organizacyjne i programowe studiów, dostosowywanie się do zmian technologii i rynku, wprowadzanie nowych programów studiów, długofalowa polityka kadrowa, uruchamianie nowych specjalności, kierunków badań, laboratoriów, rozwój bazy materialnej, przekształcenia struktur, zwiększanie przepustowości, nowe formy organizacji, rozwój systemów informacyjnych, adaptacja zasad finansowania i rozdziału zasobów materialnych
planowanie taktyczne (wielosemestralne)	uruchamianie grup specjalnościowych, tworzenie stałego rdzenia rozkładu zajęć, korekty programów specjalności, decyzje finansowe, analiza efektywności
harmonogramowanie (semestralne)	planowanie ramowego rozkładu zajęć, przydział studentów do kursów semestralnych na podstawie zapisów i postępów studiowania, uruchamianie kursów, przydział zadań dydaktycznych
sterowanie operacyjne i adaptacyjne	korekty zapisów na przedmioty, planowanie i korekta terminów zajęć, korekty przydziału sal i nauczycieli
sterowanie lokalne	realizacja zajęć dydaktycznych, kontrola jakości i efektywności nauczania

Figure 1: Zadania decyzyjne w poszczególnych warstwach

Opis organizacji elastycznego studiowania

Reforma elastycznego studiowania należy do zasadniczych elementów przekształceń strategicznych uczelni. Opracowanie zasad reformy elastycznego studiowania wymaga prac programowych, regulaminowych oraz organizacyjnych [1, 2, 5, 8]. W ogólnych zarysach funkcjonowanie systemu można przyrównać do systemu amerykańskiego, jednakże występują zasadnicze różnice wynikające m.in. z tego, że koszty studiów w Polsce nawet w części nie są pokrywane z wnoszonych przez studentów opłat, lecz wyłącznie z budżetu państwa. W założeniach reformy chodziło nie tylko o zwiększenie swobody studiowania, w tym złagodzenie, a nawet zniesienie rygorów rejestracji semestralnej, ale również o zwiększenie odpowiedzialności, jaką bierze na siebie student planując cały okres studiów. Częściowo w założeniach re-

formy [1], a zwłaszcza w projekcie systemu rejestracji ERES [2, 7] wprowadzono szereg wzajemnie zgodnych rozwiązań systemowych, umożliwiających odpowiedzialne zachowanie studentów, przy zapewnieniu im elastyczności programowej i wyboru tempa studiowania. Najważniejszym zadaniem przy projektowaniu systemu ERES było stworzenie jak najbardziej elastycznego systemu, umożliwiającego znalezienie rozsądnych kompromisów pomiędzy elastycznością a efektywnością studiowania, np. poprzez wprowadzanie wielu reguł i unikanie luk regulaminowych jakie mogłyby być wykorzystane przez niektórych studentów do nieefektywnego lub zbyt długiego studiowania, narażając uczelnię na duże koszty.

Rozważamy organizację elastycznego studiowania w jednostce organizacyjnej będącej małą, lub średniej wielkości uczelnią lub dużym wydziałem lub grupą wydziałów większej uczelni. Przyjmujemy, że w rozważanej jednostce organizacyjnej jest realizowanych kilka kierunków nauczania (lub specjalności). Programy studiów poszczególnych kierunków i specjalności są składane z pełnej oferty wszystkich przedmiotów oferowanych w rozważanej jednostce. Każdy z przedmiotów jest charakteryzowany przez liczbę tzw. *jednostek kredytowych*, przy czym liczba jednostek kredytowych jest miarą semestralnych obciążeń studenta zajęciami dydaktycznymi danego przedmiotu (na ogół jest to liczba średniej liczby godzin pracy studenta w tygodniu).

Zasadniczym elementem organizacji elastycznego systemu studiów jest definiowanie planów i programów studiów. Na Wydziale Elektroniki i Technik Informatycznych jest obecnie wprowadzana reforma programowa oparta na założeniach organizacyjnych opracowanych w [5]. W elastycznym systemie studiów wszyscy studenci studiują według indywidualnych programów i planów studiów. Wymagania ogólne dotyczące programów studiów oraz indywidualne programy studiów są tworzone na podstawie *oferty programowej* wydziału (jednostki odpowiedzialnej za organizację procesu kształcenia).

Oferta programowa jest zbiorem wszystkich przedmiotów oferowanych studentom wydziału. Każdy przedmiot jest charakteryzowany przez program, określający jego zawartość treściową, oraz pewną liczbę tzw. atrybutów takich jak: liczba jednostek dydaktycznych (punktów) określająca *wagę* przedmiotu; liczba jednostek kosztu określających (relatywny) koszt studiowania przedmiotu przez pojedynczego studenta; lista przedmiotów podobnych oraz stopnie podobieństwa przedmiotów wyrażone liczbami wspólnych jednostek dydaktycznych. Podobieństwo przedmiotów oznacza, że w przypadku częściowego pokrywania się zawartości treści dwóch lub większej liczby przedmiotów podobnych student otrzymuje liczbę jednostek dydaktycznych pomniejszoną o wspólną część.

Z punktu widzenia struktury oferty programowej jest ważne, aby przedmioty były odpowiednio dużymi, zintegrowanymi jednostkami programowymi o charakterze zamkniętych modułów łączących nabywanie wiedzy i wyrabianie umiejętności i

obejmujących różnorodne zajęcia takie jak wykłady, projekty, laboratoria, ćwiczenia, konwersatoria itp. Ze względu na wymagania elastyczności wyboru modułów, dopuszcza się tylko standardowe wymiary modułów określone przez dopuszczalne liczby jednostek dydaktycznych.

Przedmioty należące do oferty programowej muszą być częściowo uporządkowane w taki sposób, aby treści programowe wymagane do studiowania przedmiotów mogły być przyswojone z odpowiednio wymaganym wyprzedzeniem tak, aby wybieranie danego przedmiotu było możliwe tylko wtedy, gdy student nabędzie dostateczne podstawy z przedmiotów bardziej podstawowych (poprzedzających). Pełna relacja poprzedzania przedmiotów jest określana poprzez tzw. *graf G_p poprzedzania* przedmiotów należących do oferty programowej. Graf poprzedzania G_p zawiera wierzchołki odpowiadające przedmiotom oraz łuki określające warunki poprzedzania przedmiotów skierowane od poprzednika do następnika. Mamy trzy rodzaje relacji poprzedzania: bezwarunkową, warunkową i relację jednoczesności. Przed wyborem danego przedmiotu, poprzedzanie bezwarunkowe pewnego przedmiotu oznacza konieczność jego zaliczenia z oceną co najmniej dostateczną (3), warunkowe - z oceną co najmniej niedostateczną (2), natomiast warunek jednoczesności wymaga równoległego (lub wcześniejszego) zaliczenia odpowiedniego przedmiotu poprzedzającego. Przyjmujemy, że długość łuku poprzedzania bezwarunkowego wynosi 2, warunkowego - 1, natomiast łuku jednoczesności - 0. Spłaszczanie grafu G_p i skracanie ścieżek krytycznych jest szczególnie ważnym zagadnieniem podczas podziału programu studiów na przedmioty, zwłaszcza podstawowe. Przykładowo, warto tak pogrupować treści przedmiotów matematyczno-fizycznych, aby w pierwszym semestrze znalazły się w nich (wariantowo) najpilniejsze treści umożliwiające prowadzenie niektórych przedmiotów technicznych na jak niższych semestrach.

Relacje programowe pomiędzy przedmiotami i grupami przedmiotów są określone przez tzw. *graf tematyczny G_t* . Graf G_t zawiera wierzchołki odpowiadające przedmiotom i grupom przedmiotów, natomiast łuki określają relacje inkluzji, tzn. zawierania się obszarów tematycznych reprezentowanych przez wierzchołki grafu. Wierzchołki grafu G_t mogą przykładowo reprezentować przedmioty w tzw. wersji "małej" i dużej, oraz wariantowe i tematyczne grupy przedmiotów.

Dla uporządkowania wymagań oferty programowej wprowadzono tzw. *klasy przedmiotów* [2, 7], dzięki czemu zestaw wszystkich przedmiotów oferowanych na wydziale jest pogrupowany w (niekoniecznie rozłączne) klasy przedmiotów np. tematycznie podobnych lub pełniących podobną rolę w wymaganiach programowych. W wyniku operacji sumowania wybranych elementów zbioru przedmiotów można tworzyć zbiory przedmiotów pogrupowanych według ustalonych kryteriów. W ten sposób mogą np. powstawać grupy (bloki) przedmiotów traktowanych wariantowo oraz grupy przedmiotów tematycznie podobnych.

Najważniejszym rodzajem grupowania przedmiotów jest grupowanie tematyczne,

w wyniku czego przedmioty występujące w ofercie programowej są grupowane w tzw. klasy tematyczne. *Klasa tematyczna* jest zbiorem wszystkich przedmiotów należących do pewnego obszaru tematycznego. Klasy tematyczne nie muszą być rozłączne, a zatem jeden przedmiot może należeć do wielu klas tematycznych.

Określenie struktury klas tematycznych jest zadaniem niełatwym, realizowanym centralnie na poziomie danej jednostki organizującej kształcenie. Dzięki wyodrębnieniu klas tematycznych jest możliwe: uelastycznienie i dekompozycja projektowania programów studiów; okiełznanie całkowitej dowolności obieralności przedmiotów i eliminacja bałaganu organizacyjnego uwidaczniającego się przy układaniu zajęć; dekompozycja prac programowych w określonych obszarach tematycznych, stworzenie warunków współdziałania zespołów; poprawa efektywności poprzez zachęcanie do wyboru przedmiotów będących przedmiotami obowiązkowymi drugich specjalności; koordynacja treści i form realizacji przedmiotów w określonych obszarach tematycznych, uzgodnienie terminologii i pojęć.

W wyniku operacji sumowania klas tematycznych powstają klasy ogólniejsze, zwane klasami programowymi. Klasy programowe nie muszą być rozłączne, a zatem jeden przedmiot może należeć do kilku klas, o ile jest to merytorycznie uzasadnione. W takim przypadku zaliczenie tego przedmiotu przez studenta oznacza spełnienie części wymagań programowych w *każdej* z tych klas programowych, do których dany przedmiot należy.

Definiowanie programu studiów. Z daną specjalnością lub kierunkiem studiów jest związany tzw. *program studiów*. W elastycznym systemie program studiów jest definiowany poprzez: zestaw przedmiotów obowiązkowych programu; podzbiór klas programowych z których są wybierane określone przedmioty obieralne programu; wymagania programowe odnoszące się do poszczególnych klas programowych.

Wymagania programowe programu w odniesieniu do danej klasy programowej polegają na podaniu minimalnej liczby jednostek dydaktycznych jakie należy uzyskać zaliczając przedmioty z danej klasy. Wymagania programowe danej specjalności są określane w sposób *skumulowany* dla kolejnych etapów studiów, tzn. wymagania etapu poprzedzającego są podzbiorem wymagań etapu kolejnego. Zarówno wykazy przedmiotów obowiązkowych jak i wymagania dotyczące wyboru przedmiotów obieralnych mogą być różne dla różnych programów.

Wymagania programów studiów są definiowane w sposób modułowy i mogą np. zawierać wymagania dotyczące specjalizacji głównej i dodatkowej oraz pomniejszych "wątków" programowych.

Każdy ze studentów planujących i realizujących indywidualne studia według danego programu studiów wybierając przedmioty do zaliczenia w semestrze musi brać pod uwagę zarówno wymagania programowe jak i warunki następstwa przed-

miotów określone przez graf oferty programowej. Dodatkowo, ze względu na konieczność zagwarantowania efektywności studiów, musi on brać pod uwagę bilans kosztów. Z chwilą przyjęcia na określony etap studiów student otrzymuje pewną liczbę (umownych) jednostek kosztu studiowania, którymi następnie "płaci" za udział w zajęciach. W przypadku nadmiernie rozrzuconego programu lub konieczności powtórnego zaliczania przedmiotów student jest zobowiązany do pokrywania dodatkowych kosztów (po przekroczeniu przyznanego limitu).

Układanie rozkładów zajęć i planów studiów – unifikacja modelu

Rozważamy zagadnienie układania zajęć i planów studiów w postaci bardzo ogólnej, z uwzględnieniem wielu nietrywialnych, ważnych praktycznie elementów problemu, takich jak wariantowe przydzielanie pracowników i sal do zajęć, blokowanie grup zajęć oraz zagwarantowanie elastyczności wyboru tempa studiowania przez studentów.

Kalendarz. W ogólnym przypadku będziemy przyjmować, że horyzont planowania ma wielopoziomową strukturę hierarchiczną w której wieloletni okres studiów dzieli się na etapy (fazy), etapy studiów dzielą się na stopnie, które z kolei składają się z okresów, a te składają się z terminów. Przyjęty, ogólny model kalendarza zezwala nam na liczne zastosowania modelu o różnych poziomach szczegółowości, począwszy od klasycznego problemu układania elementarnych zajęć godzinnych w okresie tygodnia lub wielu tygodni, a skończywszy na zagregowanym zagadnieniu układania *planu* studiów wieloletnich, w którym podstawowym terminem jest pewien agregat terminów etapu studiów a podstawową jednostką zajęć jest agregat wszystkich zajęć pojedynczego przedmiotu (kursu) w ciągu semestru. Dwa przykładowe zastosowania modelu są przedstawione w tabeli

Problem	Stopień	Okres	Termin
tygodniowy rozkład zajęć	tydzień	dzień	godzina
plan studiów	5 lat	semestr	blok term.

Zasoby. Przyjmujemy wygodną do dalszych rozważań konwencję, traktując studentów, nauczycieli, sale, ich agregaty oraz inne zasoby materialne wymagane do prowadzenia zajęć w jednolity sposób jako tzw. *zasoby* wymagane przez zajęcia. **Atrybuty zasobów.** Zasoby posiadają na ogół szereg właściwości i parametrów istotnych z punktu widzenia planowania zajęć. Wielkości te nazywać będziemy atrybutami.

Ogólnie, w celu sprecyzowania wymagań zasobowych przyjmujemy, że na danym poziomie szczegółowości jest dany zbiór S studentów (lub grup studenckich) oraz

zbiór R wszystkich pozostałych rodzajów zasobów (nauczycieli lub klas nauczycieli, rodzajów i atrybutów sal, środków audiowizualnych itp.) wymaganych do odbycia zajęć.

Dostępność zasobów. Dla ustalonego terminu t funkcja dostępności F_{rt} pewnego zasobu $r \in R$ (lub $s \in S$) jest to kawałkami liniowa (często wypukła) funkcja kosztów określająca poziomy dostępności zasobu r o różnym stopniu niedogodności. Przykładowo, dla trzech poziomów dostępności, dostępność w danym terminie t możemy podawać jako wektor trzech (monotonicznie niemalejących) poziomów dostępności warunkowej:

$$(Q_{rt}^0, Q_{rt}^1, Q_{rt}^2)$$

przy czym Q_{rt}^0 - liczba jednostek zasobu dostępnych w terminie t bezwarunkowo, Q_{rt}^1 - łączna liczba jednostek zasobu dostępnych w terminie t bezwarunkowo i warunkowo (łącznie z tymi jednostkami zasobu, które są trudno dostępne w tym terminie i ich użycie wiąże się z pewnymi niedogodnościami i kosztami), Q_{rt}^2 - liczba jednostek zasobu dostępnych łącznie z tymi jednostkami zasobu, które są trudno lub bardzo trudno dostępne w tym terminie (ich użycie wiąże się ze średnimi i poważnymi niedogodnościami i kosztami).

Odpowiednio do rozróżnianych poziomów dostępności definiuje się wektor kosztów dostępności warunkowej:

$$(c_r^0, c_r^1, c_r^2)$$

gdzie c_r^0 jest kosztem użycia jednostki zasobu r w przedziale $[0, Q_{rt}^0]$, c_r^1 jest kosztem użycia jednostki zasobu r w przedziale $[Q_{rt}^0, Q_{rt}^1]$, itd., patrz Rys. 2.

Funkcja dostępności F_{rt} jest zatem określona przez wektor par $[(Q_{rt}^0, c_r^0), (Q_{rt}^1, c_r^1), (Q_{rt}^2, c_r^2), \dots]$, który oznaczamy w skrócie przez $[Q_r, c_r]$. Identyczną konwencję zapisu zróżnicowanych stopni dostępności zasobów stosujemy również dla okresów i stopni.

Wykorzystanie funkcji dostępności umożliwia jednolite traktowanie różnorodnych warunków i ograniczeń. W szczególności, niemożność rozstrzygnięcia konfliktu związanego z odbywaniem się wielu zajęć w tym samym terminie dla jednego studenta zapisanego na te zajęcia można sprowadzić do badania dostępności zasobu jakim jest czas dostępności studenta w danym terminie (koszt c_r^1 może być kosztem związanym z nie zakwalifikowaniem studenta na kurs).

Ogólny problem planowania. Problem ogólny planowania zajęć na określonym poziomie szczegółowości modelu można sformułować w języku badań operacyjnych następująco. Dane są funkcje dostępności zasobów różnych rodzajów w terminach, okresach i stopniach. Naszym zadaniem jest jak określenie najlepszych terminów realizacji wszystkich wymaganych operacji (zajęć, kursów) tak, aby

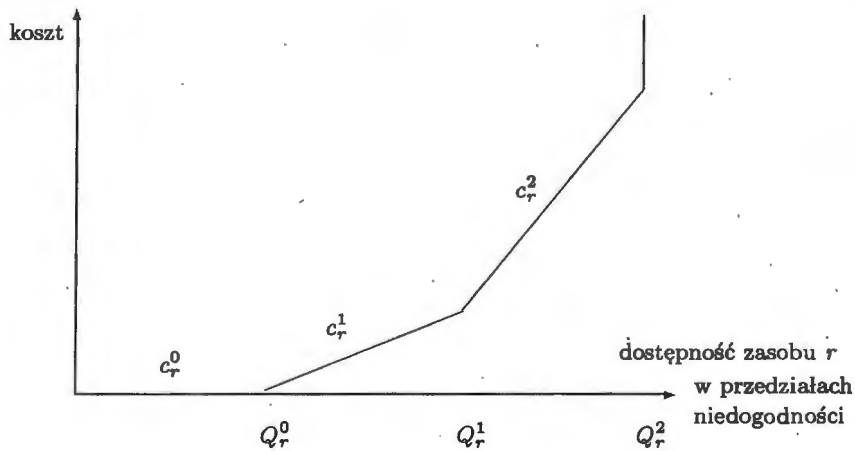


Figure 2: Ilustracja poziomów dostępności zasobu r o różnych poziomach niedogodności

spełnić wymagania dostępności zasobów, relację poprzedzania operacji oraz minimalizować zestaw kryteriów jakości związanych z niedogodnościami wykorzystania zasobów.

Wielostopniowa agregacja problemu planowania

Ze względu na stopień kombinatorycznej złożoności problemu planowania, jesteśmy zainteresowani redukcją rozmiarów problemu w wyniku wielokrotnej (rekurencyjnej) agregacji elementów problemu, a więc zasobów (nauczycieli, sal, studentów), zajęć i terminów, co prowadzi do transformacji szczegółowego problemu o dużej wymiarowości w tzw. "jądro" problemu o zredukowanej liczbie zmiennych i ograniczeń.

Na każdym poziomie agregacji problemu mamy do czynienia z pewnym sformułowaniem problemu planowania zajęć, przy czym zostaje zachowana ogólna struktura matematyczna problemu układania zajęć (rodzaje elementów problemu, postać ograniczeń), natomiast ulega redukcji liczba elementów i warunków ograniczających

w wyniku agregacji elementów problemu o niższym poziomie agregacji.

Do zasobów związanych z zajęciami zaliczamy zarówno zasoby materialne, takie jak sale i środki pomocnicze, np. audiowizualne, jak i zasoby ludzkie zaangażowane w realizację zajęcia. Należą do nich zarówno nauczyciele jak i studenci uczestniczący w danym zajęciu. *Agregacja zasobów* polega na jedno lub wielostopniowej konstrukcji kategorii zasobów o identycznych lub zbliżonych właściwościach zezwalających na ich wymienne wykorzystywanie. Dotyczy to oczywiście zasobów materialnych oraz nauczycieli, natomiast traktowanie w sposób wymienny studentów wybierających zajęcia na ogół nie ma oczywiście sensu.

Agregowanie zajęć polega na łączeniu dwóch lub kilku zajęć i tworzeniu zajęcia zagregowanego nazywanego *blokiem zajęć* lub *agregatem* (zajęć). W wyniku agregacji zajęć zwiększa się możliwość terminów oraz dalszej agregacji niektórych zasobów.

Ogólny schemat agregacji. Podstawowy schemat agregacji elementów problemu układania zajęć jest ogólny i dotyczy wszystkich rodzajów elementów problemu, a więc nauczycieli, sal, grup studenckich, zajęć i terminów.

W wyniku wieloetapowych procesów agregacji, z elementarnych obiektów tworzymy struktury zagregowane – agregaty, stanowiące kompozycję elementów składowych. Wieloetapową agregację pewnej kategorii elementów można w ogólności reprezentować za pomocą skierowanego grafu acyklicznego, patrz Rys. 3.

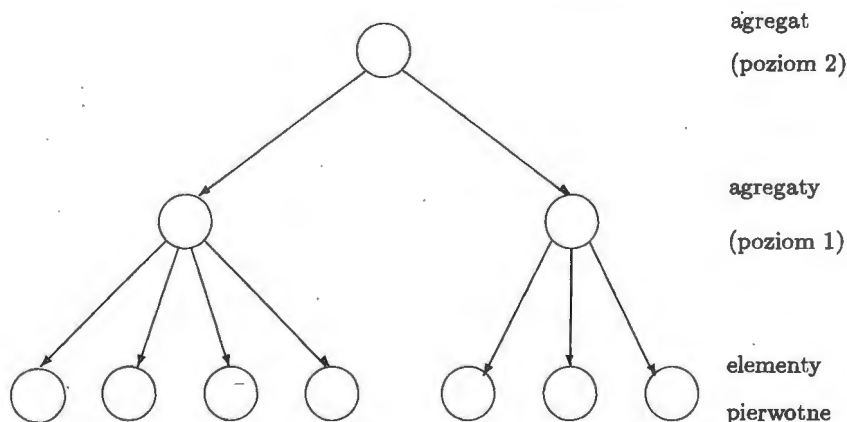


Figure 3: Schemat wielokrotnej agregacji danych

W grafie tym na najniższym poziomie są umieszczane wierzchołki *liście* (nie mające następników) odpowiadające elementom pierwotnym, nie poddanym agregacji. Na

wyższym poziomie są umieszczane wierzchołki *agregaty*, reprezentujące (w formie zagregowanej) pewien podzbiór wierzchołków niższego poziomu. Uki są skierowane od wierzchołków agregatów do tych wierzchołków z niższego poziomu, których kompozycja tworzy element reprezentowany przez agregat. Dowolny wierzchołek grafu nie będący liściem jest zatem reprezentantem (agregatem) pewnego podzbioru tych wierzchołków niższego poziomu, do których wchodzi luka od tego wierzchołka agregatu. Mówiąc inaczej, każdy wierzchołek położony w drzewie powyżej jest agregatem reprezentującym pewną grupę wierzchołków umiejscowionych poniżej.

Dany wierzchołek-agregat może być traktowany jako element reprezentujący wszystkie wierzchołki-liście bezpośrednio i pośrednio następujące poniżej tego wierzchołka w grafie i połączone z nim lukami lub ścieżkami. Przykładowo, jeżeli graf dotyczy agregacji zajęć, to dany wierzchołek agregat jest reprezentantem tych zajęć elementarnych, którym odpowiadają wierzchołki liście, i do których można dojść z tego wierzchołka-agregatu (czyli do których istnieją ścieżki). Zbiór wierzchołków grafu pokrywających wszystkie liście nazywamy *selekcją pokrycia*.

Na określonym poziomie agregacji danych, dysponujemy jedną selekcją pokrycia indeksowaną przez numer stopnia agregacji n . Wyróżniamy grafy agregacji nauczycieli, sal, zajęć, grup studenckich i terminów.

Jeżeli przynajmniej jeden z wierzchołków niższego poziomu jest reprezentowany przez więcej niż jeden agregat, to graf agregacji nie jest lasem. W przypadku agregacji nauczycieli jeden nauczyciel może należeć do kilku zagregowanych klas nauczycieli, a zatem graf agregacji może nie być lasem. Podobnie może być z agregacją sal, jeżeli np. utworzymy kategorię sal dużych oraz kategorię sal *co najmniej* średnich, zawierającą sale duże i średnie.

Warunki agregacji. W pracy [6] są rozważane warunki poprawności agregacji zasobów, zajęć i terminów. Problem ten jest bardzo złożony i jego naświetlenie przekracza zakres pracy. W tym punkcie podamy tylko przykładowe warunki dotyczące agregacji zasobów nauczycielskich. Z punktu widzenia procesu dydaktycznego jest oczywiste, że każdy nauczyciel posiada w pewnym sensie unikalne umiejętności i nie może być dowolnie zastępowany na zajęciach przez innych nauczycieli. Z planowego punktu widzenia zachodzi jednak potrzeba przydziału zajęcia jednemu z nauczycieli wybranemu z klasy nauczycieli równoważnych mogących prowadzić dane zajęcie. Jest normalną praktyką cosemestralną przydzielanie nauczycielom zadań dydaktycznych przed rozpoczęciem każdego semestru. Zamiana nauczycieli jest typowa przy zajęciach laboratoryjnych oraz ćwiczeniach rachunkowych, lecz jest również częsta przy prowadzeniu wykładów. Dla zwiększenia elastyczności obsługi zajęć jest konieczne, aby odpowiednia jednostka dydaktyczna posiadała zmienników do prowadzenia każdego zajęcia. Z punktu widzenia

elastyczności wyboru jest pożądané aby nauczyciele mogli prowadzić możliwie szeroki asortyment zajęć.

Zakładamy, że każde zajęcie wymaga dokładnie jednego nauczyciela. Dla danej klasy zajęć dydaktycznie równoważnych Z_ℓ oraz nauczyciela T_i niech $a_{i\ell} = 1$ oznacza, że nauczyciel T_i może prowadzić zajęcie Z_ℓ oraz $a_{i\ell} = 0$ w przeciwnym przypadku. Przyjmijmy, że rozważamy macierz $A = [a_{i\ell}]$ stopnia $n \times m$, $n \leq m$, których wiersze odpowiadają pojedynczym nauczycielom natomiast kolumny – pojedynczym zajęciom. Macierz A nazywamy macierzą wymagań nauczycieli. Jeżeli dla danego podzbioru zajęć $\{Z_\ell | \ell \in \mathcal{L}\}$ dwaj nauczyciele T_i i T_j spełniają warunek $a_{i\ell} = a_{j\ell}$ dla każdego $\ell \in \mathcal{L}$, to mogą oni być traktowani w pełni równoważnie, tzn. wymiennie przy rozdziale zajęć dydaktycznych. Zatem można utworzyć agregat zasobu kadrowego w postaci klasy nauczycieli równoważnych, traktowanych wymiennie. Okazuje się, że powyższy warunek identyczności nauczycieli podczas agregacji można znacznie osłabić. Odpowiedź na pytanie, przy jakich założeniach odnośnie struktury macierzy wymagań nauczycieli A jest możliwa agregacja grupy n nauczycieli do jednej klasy nauczycieli, idealna w tym sensie, że dla dowolnego podzbioru k zajęć, $k \leq n$, istnieje zawsze możliwość wyboru z zagregowanego zbioru n nauczycieli podzbioru k nauczycieli zdolnych do prowadzenia tych zajęć w jednym terminie jest następująca:

Twierdzenie 1 ([6]) *Warunkiem koniecznym i dostatecznym agregacji idealnej jest strukturalna nieosobliwość każdej kwadratowej podmacierzy stopnia n macierzy wymagań nauczycieli A .*

Twierdzenie precyzuje warunki agregacji nauczycieli o zbliżonych, lecz niekoniecznie identycznych możliwościach nauczania.

Hierarchiczne planowanie zadań elastycznego studiowania. Pojedynczy cykl agregacji problemu planowania obejmuje agregację zasobów, zajęć lub terminów, ułożenie planu zagregowanego oraz jego dezagregację.

Zapis pojedynczego cyklu:

- Na n -tym poziomie agregacji danych dysponujemy zestawem zadań zagregowanych wykorzystujących zasoby kadrowe, lokalowe oraz grupy studentów określone na tym poziomie agregacji.
- Jeżeli n -ty poziom agregacji problemu umożliwia ułożenie zagregowanego planu to przejdź na $n - 1$ poziom agregacji w wyniku odpowiedniej dezagregacji.
- Jeżeli na aktualnym poziomie agregacji problemu nie jest możliwe ułożenie planu dopuszczalnego za pomocą bezpośrednich algorytmów, to przejdź na $n + 1$ poziom agregacji.

Stosując wielokrotnie agregację zasobów, terminów i zajęć jest możliwe konstruowanie ciągu zgodnych problemów planowania o mniejszych rozmiarach i mniejszej złożoności. W szczególności, na największym poziomie agregacji można w ten sposób otrzymać tzw. zagregowany problem układania wieloletniego planu studiów. Do rozwiązywania problemów planowania został opracowany system ARES.

Podziękowanie. Praca została wykonana w ramach grantu KBN.

References

- [1] *Reforma studiów na Wydziale Elektroniki Politechniki Warszawskiej*, praca zbiorowa, Wydział Elektroniki PW, Warszawa, maj 1990.
- [2] W. Macewicz, E. Toczyłowski, T. Traczyk *Założenia użytkowe do projektu technicznego systemu rejestracji studentów dla Wydziału Elektroniki (ERES)*, Raport techniczny, Instytut Automatyki PW, 22 listopada 1990.
- [3] E. Toczyłowski *Zasady finansowania dydaktyki w szkole - projekt* Raport Prodziekana d/s Ogólnych, Wydział Elektroniki PW, 9 listopada 1992.
- [4] E. Toczyłowski *Organizacja elastycznego systemu studiów na Wydziale Elektroniki PW*, III Ogólnopolskie Spotkanie Dziekanów Wydziałów Elektrycznych i Wydziałów Elektroniki, Kraków - Krynica, 27-29 maja 1993.
- [5] E. Toczyłowski *Zasady organizacyjne definiowania planów studiów w elastycznym systemie studiowania*, Raport Prodziekana d/s Ogólnych, Wydział Elektroniki PW, 5 maja 1993.
- [6] E. Toczyłowski, *Analiza problemów harmonogramowania zajęć elastycznego studiowania*, Raport Instytutu Automatyki PW, (wersja 1, wrzesień 1991; wersja 2, kwiecień 1993)

- [7] E. Toczyłowski, T. Traczyk, On Cost-Effective Flexible Enrollment Information System ERES, *Proc. American Society for Engineering Education Annual Conf.*, Edmonton, pp. 1558-1563, June 1994.
- [8] E. Toczyłowski, J. Wonicki, Restructuring an Electronic Engineering Faculty, *Proc. American Society for Engineering Education Annual Conf.*, Edmonton, pp. 2495-2499, June 1994.

ISBN 83-85847-85-5

**W celu uzyskania bliższych informacji i zakupu dodatkowych egzemplarzy
prosimy o kontakt**

**z Instytutem Badań Systemowych PAN
ul. Newelska 6, 01-447 Warszawa**

tel. 36-19-01 w. 241 e-mail: kotuszew@ibspan.waw.pl