ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2000
Seria: AUTOMATYKA z. 129 Nr kol. 1474

Cezary SZWED
Politechnika Warszawska

SPOSOBY MODELOWANIA I METODY ROZWIĄZYWANIA PROBLEMÓW UKŁADANIA ROZKŁADÓW ZAJĘĆ

Streszczenie. W referacie przedstawiono przegląd zagadnień dotyczących problemów układania rozkładów zajęć. Scharakteryzowano najważniejsze elementy problemu, najczęściej spotykane sposoby jego modelowania oraz metody rozwiązywania. Do pracy załączono obszerny spis literatury.

METHODS FOR MODELLING AND SOLVING TIMETABLING PROBLEMS

Summary. In this contribution the brief survey of the timetabling problem is presented. The paper outlines the major components of the problem, mathematical formulation methods and solution algorithms presented in the literature. The wide bibliography is also included.

1. Wprowadzenie

Układanie rozkładów zajęć należy do najtrudniejszych problemów badań operacyjnych. Na przestrzeni ostatnich kilkudziesięciu lat powstały setki prac poświęconych temu zagadnieniu i opracowano wiele systemów wspomagających rozwiązywanie praktycznych zadań. Proponowane podejścia często znacząco się różnią zarówno sposobem opisu lub modelowania problemu, jak też metodą jego rozwiązywania. W tym kontekście istnieje potrzeba usystematyzowanego przedstawienia zagadnień dotyczących harmonogramowania zajęć, co powinno pozwolić na dokonanie syntezy wyników dotychczasowych prac oraz wskazanie obszarów, które wymagają dalszych, pogłębionych badań. Taki jest główny cel niniejszej pracy.

W kolejnych rozdziałach opisano elementy charakteryzujące problem układania rozkładu zajęć, przedstawiono proponowane w literaturze sposoby jego modelowania oraz metody rozwiązywania. W ostatnim rozdziale dokonano podsumowania przeprowadzonych rozważań.

2. Elementy charakteryzujące problem układania rozkładu zajęć

W ogólnym przypadku ułożenie rozkładu zajęć polega na przypisaniu do zajęć terminów realizacji, słuchaczy, nauczycieli oraz sal. Rozkład zajęć powinien być wolny od konfliktów, tzn. w tym samym terminie żaden słuchacz, żaden nauczyciel oraz żadna sala nie może być przypisana do więcej niż jednego zajęcia. Ponadto należy spełnić ograniczenia narzucone na dostępność wykorzystywanych zasobów.

Tak więc w rozkładzie zajęć występują następujące elementy: zajęcia, terminy, słuchacze, zasoby kadrowe oraz zasoby lokalowe. Liczbę oraz tematykę poszczególnych zajęć określa program nauczania danej szkoły. Terminy tworzą horyzont planowania, którym zwykle jest rok szkolny podzielony na tygodnie i dni. Zasoby kadrowe to nauczyciele posiadający kwalifikacje wymagane do prowadzenia zajęć. Zasoby lokalowe tworzą sale uniwersalne, w których można realizować typowe zajęcia oraz sale ze specjalistycznym, przypisanym na stałe wyposażeniem.

Ze względu na charakter programu nauczania problem planowania zajęć można analizować w dwóch przypadkach: przypadku szkół ze sztywnym programem nauczania oraz przypadku szkół z elastycznym programem nauczania. W pierwszym z nich ustalone grupy słuchaczy, zwykle tworzące klasy zajęciowe, muszą w ustalonym okresie, np. roku szkolnym, zrealizować zestaw zajęć przewidziany dla nich programem nauczania szkoły. W drugim przypadku z programu nauczania szkoły wynika pewien ramowy zakres wiedzy, którą w trakcie całego okresu nauki w szkole powinni posiąść jej słuchacze. Na ten zakres mogą składać się zajęcia obowiązkowe oraz zajęcia, w których uczestnictwo zależy od indywidualnych decyzji słuchaczy.

Głównym celem stawianym przed rozkładem zajęć jest umieszczenie w planie wszystkich zajęć wynikających z programu nauczania szkoły w taki sposób, aby każdy słuchacz mógł uczestniczyć w każdym zajęciu, które chce lub musi zrealizować. Do najważniejszych wymagań szczegółowych należy zaliczyć wspomnianą już eliminację konfliktów, uwzględnienie ograniczeń dotyczących dopuszczalnej liczby zajęć oraz dostępności w poszczególnych terminach nauczycieli i słuchaczy, uwzględnienie ograniczeń dotyczących dostępności sal o wymaganych przez zajęcia liczbach miejsc. Zwykle część z wymagań można traktować jako konieczne do spełnienia, aby można było ułożyć dopuszczalny rozkład zajęć a część jako wymagania, które w pewnym stopniu można przekroczyć.

Problemy rozważane w literaturze dotyczącej układania rozkładów zajęć można sklasyfikować w następujący sposób [7]: przydział terminów do zajęć z ustalonymi nauczycielami i grupami słuchaczy, przydział sal do zajęć z ustalonymi terminami, nauczycielami i grupami słuchaczy, planowanie kursów, planowanie sesji egzaminacyjnych. W pierwszym problemie dla każdej pary nauczyciel-grupa słuchaczy jest ustalony rodzaj oraz liczba zajęć, które muszą zostać przez tę parę zrealizowane. Do zajęć należy przydzielić terminy w taki sposób, aby żaden nauczyciel ani żadna grupa słuchaczy nie miała w tym samym terminie więcej niż jednego zajęcia. W drugim problemie do zajęć należy dodatkowo przydzielić sale. W trzecim problemie dla każdego studenta jest określony pewien zbiór zajęć, które chciałby on lub musi zrealizować. Należy przydzielić terminy do zajęć w taki sposób, aby żaden student nie miał w tym samym terminie więcej niż jednego zajęcia.

3. Modele matematyczne

Modele matematyczne problemów układania rozkładów zajęć są najczęściej formułowane jako zadania teorii grafów lub jako zadania programowania matematycznego.

W teorii grafów problemy planowania zajęć w szkołach ze sztywnym programem nauczania zwykle są reprezentowane za pomocą modeli kolorowania krawędzi grafu. W najbardziej typowym modelu wierzchołki grafu odpowiadają nauczycielom lub klasom a krawędzie zajęciom. Liczba krawędzi łączących parę wierzchołków klasa-nauczyciel jest równa liczbie zajęć, które muszą być zrealizowane przez tę parę. Wszystkie zajęcia mają taką samą długość, a nauczyciele oraz klasy są dostępni w każdym terminie horyzontu planowania. W celu znalezienia dopuszczalnego rozwiązania problemu należy pokolorować krawędzie w taki sposób, aby żadne dwie krawędzie incydentne nie miały przypisanego tego samego koloru [15].

Z kolei problemy planowania zajęć w szkołach z elastycznym programem nauczania są modelowane jako zadania kolorowania wierzchołków. Wierzchołkom grafu odpowiadają zajęcia o jednakowej długości, a krawędzie łączą wierzchołki związane z zajęciami, które nie mogą odbywać się w tych samych terminach, ponieważ angażują tych samych nauczycieli lub zostały zadeklarowane przez tego samego studenta [15]. W ten sposób powstaje graf konfliktów dla tego problemu. W celu otrzymania rozwiązania dopuszczalnego wierzchołki grafu należy pokolorować w taki sposób, aby każde dwa z nich, które są połączone krawędzią, miały przypisany inny kolor. W sytuacji, gdy należy uwzględnić zajęcia o różnej długości, realizowane w ciągu kilku kolejnych terminów, stosuje się tzw. modele multikolorowania wierzchołków. W takim przypadku, rozwiązując problem, do każdego wierzchołka grafu konfliktów należy przydzielić tyle kolorów, ile terminów ma zajęcie. Kolory muszą przy tym reprezentować ściśle następujące po sobie terminy [25].

W programowaniu matematycznym problemy planowania zajęć są najczęściej modelowane jako zadania całkowitoliczbowego programowania liniowego – ZCPL [15, 18, 3, 34] lub jako zadania sieciowe [8, 28].

4. Metody stosowane do układania rozkładów zajęć

Złożoność problemów związanych z harmonogramowaniem zajęć jest bardzo duża. Nawet stosunkowo niewielkie zadania zawierają tysiące zmiennych binarnych lub całkowitych oraz tysiące ograniczeń. Dodatkowym utrudnieniem jest skomplikowana struktura tych zadań. Ze względu na te uwarunkowania metody stosowane do układania rozkładów zajęć zwykle mają charakter przybliżony.

Metody te można sklasyfikować w następujący sposób: metody kolorowania grafów, dokładne metody rozwiązywania zadań programowania matematycznego, metody rozwiązywania zadań spełnienia ograniczeń, metody przeszukiwania tabu, metody wykorzystujące algorytmy genetyczne, metody wykorzystujące symulowane wyżarzanie oraz heurystyki dedykowane do rozwiązywanych problemów.

Pierwsza grupa omawianych prac dotyczy algorytmów kolorowania grafów, które analogicznie do modeli można podzielić na algorytmy kolorowania krawędzi oraz algorytmy kolorowania wierzchołków. W pracach [10, 20] pokazano, w jaki sposób problem kolorowania krawędzi grafu można rozwiązać algorytmami o złożoności $O(E \log V)$, $O(E \log^2 V)$

i $O(V^2 \log V)$, gdzie E jest liczbą krawędzi, a V — liczbą wierzchołków grafu. Z kolei w przypadku problemów kolorowania wierzchołków stosunkowo najlepsze rezultaty dają algorytmy sekwencyjne, algorytmy zbiorów niezależnych oraz algorytmy agregacyjne.

W algorytmach sekwencyjnych kolory przydziela się kolejnym wierzchołkom według pewnych ściśle określonych reguł, zwykle zależnych od stopnia wierzchołka, stopnia nasycenia wierzchołka, czy też pokolorowania sąsiednich wierzchołków [29]. Ich złożoność obliczeniowa jest rzędu $O(V+E)$, $O(V^2)$ lub $O(E \log V)$. W algorytmach zbiorów niezależnych kolory przydziela się maksymalnym zbiorom niezależnym, kolejno wyznaczanym w grafie [26]. Reguły służące do wyznaczania zbiorów niezależnych mają charakter heurystyczny. Złożoność obliczeniowa tego typu algorytmów jest rzędu $O(V^2 + VE)$. Uogólnieniem algorytmów zbiorów niezależnych jest podejście agregacyjne, w którym wierzchołki i krawędzie grafu są agregowane tak długo, aż zagregowany graf stanie się kliką. Do każdego zagregowanego wierzchołka przydziela się wtedy inny kolor. Tego rodzaju podejście wykorzystano w pracy [35].

Kolejna grupa omawianych prac dotyczy dokładnych metod rozwiązywania zadań programowania matematycznego. Problemy analizowane w pracach [5, 32] zostały rozwiązane za pomocą komercyjnego pakietu MIP firmy CPLEX. W pracy [4] przedstawiono rozwiązanie problemu harmonogramowania sesji egzaminacyjnej, do którego zastosowano pakiet MIP o nazwie LINDO. Kilka prac dotyczy wykorzystania relaksacji Lagrange'a do wyznaczenia oszacowań wartości funkcji celu rozwiązywanych problemów. Tego typu podejście najczęściej jest stosowane w ramach proponowanych przez autorów specjalizowanych wersji algorytmu podziału i oszacowań [34, 19, 28]. W pracy [31] do rozwiązania problemu planowania kursów został wykorzystany algorytm generacji kolumn.

Dla drugiego rodzaju zadań programowania matematycznego – zadań sieciowych – są znane szczególnie efektywne metody rozwiązywania, które mogą być zastosowane do rzeczywistych problemów o dużych rozmiarach. Jednak w przypadku tego rodzaju zadań często nie można uwzględnić wszystkich ograniczeń rozwiązywanego problemu [28].

Trzecia grupa omawianych metod to metody rozwiązywania zadań spełnienia ograniczeń. Zadania spełnienia ograniczeń są opisywane za pomocą zbioru zmiennych z określonymi, skończonymi dziedzinami oraz zbioru narzuconych na te zmienne ograniczeń. W harmonogramowaniu zajęć zmienne zwykle reprezentują zajęcia, do których należy przydzielić terminy, nauczycieli oraz sale. Przestrzeń rozwiązań ma strukturę drzewiastą.

Zadania spełnienia ograniczeń są rozwiązywane za pomocą algorytmów przeszukiwania przestrzeni rozwiązań. Podstawową techniką stosowaną do tego celu jest przeszukiwanie z powrotami. Technika ta polega na przypisywaniu wartości do poszczególnych zmiennych w taki sposób, aby wszystkie ograniczenia ich dotyczące były spełnione. Zmienne są szeregowane w pewnym porządku i każdej z nich przypisuje się kolejno dopuszczalne wartości spośród jej dziedziny. Proces ten trwa aż do momentu, gdy przypisana wartość jest zgodna, w sensie spełnienia ograniczeń problemu, z wartościami przypisanymi do wcześniejszych zmiennych. Tego typu podejście zastosowano między innymi w pracach [14, 16, 13]. W części prac zadania spełnienia ograniczeń są rozwiązywane za pomocą programów pisanych w językach programowania w logice – najczęściej w PROLOG-u [24, 9].

Kolejna grupa omawianych prac dotyczy metod przeszukiwania tabu. Przeszukiwanie to polega na systematycznym przeglądaniu zbioru rozwiązań dopuszczalnych w celu znalezienia najlepszego rozwiązania problemu w sensie zadanej funkcji celu. Proces ten zaczyna się od znalezienia, w dowolny sposób, pierwszego rozwiązania dopuszczalnego. Następnie, w kolejnych iteracjach są wykonywane następujące operacje: konstruowanie sąsiedztwa bieżącego rozwiązania, wybór najlepszego rozwiązania z sąsiedztwa, przejście do wybranego rozwiązania. W celu unikania cykli, na budowanej w taki sposób drodze poszukiwań, w algorytmie jest tworzona lista ruchów zabronionych, tzw. ruchów tabu. Na tej liście są zapamiętywane rozwiązania przejrzane w kilku ostatnich iteracjach. W harmonogramowaniu zajęć tego typu podejście zastosowano między innymi w pracach [12, 22, 21].

Piąta grupa metod to metody wykorzystujące algorytmy genetyczne. Istotnym elementem algorytmów genetycznych jest powstawanie, w procesie krzyżowania różnych osobników należących do tego samego gatunku, potomstwa charakteryzującego się najlepszymi cechami z punktu widzenia warunków panujących w środowisku. Różne rozwiązania problemu najczęściej odpowiadają chromosomom różnych osobników, a ograniczenia i kryteria jakości opisują warunki panujące w środowisku. Przystępując do rozwiązywania problemu należy wyznaczyć w miarę dużą populację rodziców oraz określić sposób reprezentacji problemu oraz strategii krzyżowania. Dla przykładu, rozkład zajęć może być reprezentowany przez chromosom, w którym pojedynczy gen odpowiada terminowi przypisanemu do zajęcia. Geny potomka mogą być otrzymywane od rodziców losowo lub w sposób deterministyczny. W innym przypadku problem może być określony nie wprost, gdzie chromosomy reprezentują zbiór instrukcji do sposobu tworzenia rozkładu zajęć. W harmonogramowaniu zajęć algorytmy genetyczne zostały wykorzystane między innymi w pracach [6, 1, 11].

Kolejna grupa metod to metody wykorzystujące symulowane wyżarzanie, które jest techniką w pewnym stopniu podobną do przeszukiwania tabu. W ramach tej metody poszukuje się rozwiązania problemu poprzez przejścia z jednego rozwiązania dopuszczalnego do innego rozwiązania wewnątrz ustalonego sąsiedztwa. Przejścia dające poprawę wskaźnika jakości są akceptowane bezwarunkowo, przejścia powodujące pogorszenie tego wskaźnika tylko z pewnym prawdopodobieństwem, które jest zmniejszane podczas działania algorytmu. Początkowe prawdopodobieństwa poszczególnych rozwiązań są wysokie, co powoduje, że większość z nich jest akceptowana. W trakcie działania algorytmu prawdopodobieństwa maleją – analogia do spadku temperatury – aż do osiągnięcia przez algorytm najlepszego rozwiązania w sensie zdefiniowanego wskaźnika jakości [33, 17, 23].

Ostatnia grupa omawianych metod to heurystyki dedykowane do rozwiązywanych problemów. Ze względu na złożoność problemów harmonogramowania zajęć większość algorytmów proponowanych do ich rozwiązywania należy do kategorii metod przybliżonych. Część z nich, omówiona wcześniej, wykorzystuje w trakcie działania pewien uniwersalny schemat rozwiązywania problemu. Pozostałe metody przybliżone bazują na analizie szczególnych własności rozwiązywanego problemu i w tym sensie są dedykowane tylko do tego problemu. W konstruowaniu heurystyk dedykowanych do problemu często stosowanym mechanizmem jest wybór, według pewnych zasad, i umieszczanie w planie kolejnych zajęć oraz przypisywanie im najbardziej dogodnych terminów. Konsekwencją tego jest przydział wymaganych zasobów. Inny stosowany mechanizm to relaksacja problemu, polegająca na wyodrębnieniu spośród wszystkich ograniczeń pewnej ich grupy, których niespełnienie wiąże się z pewnym dodatkowym kosztem. W planowaniu zajęć algorytmy heurystyczne dedykowane do rozwiązywanych problemów zaproponowano między innymi w pracach [27, 36, 19, 30].

5. Podsumowanie

Literatura dotycząca układania rozkładów zajęć jest bardzo bogata. Tak jak to zostało pokazane w referacie dużej liczbie autorów udało się rozwiązać wiele praktycznych zagadnień, przy wykorzystaniu różnorodnych metod i sposobów modelowania problemu.

Ze względu na złożoność rzeczywistych problemów planowania zajęć w praktyce najczęściej stosuje się podejścia polegające na upraszczaniu problemu pierwotnego oraz zastosowaniu do rozwiązywania jednej z metod przybliżonych. Pomimo tego tylko stosunkowo niewielka liczba proponowanych rozwiązań znalazła zastosowania aplikacyjne i do tej pory nie opracowano całkowicie zautomatyzowanego systemu układania rozkładu zajęć. Z analizy literatury wynika, że nie opracowano również uniwersalnych metod, które mogłyby być wykorzystywane do różnego typu problemów, dotyczących różnych szkół.

Jednak w związku z obserwowanym w ostatnich latach nasileniem prac dotyczących harmonogramowania zajęć należy mieć nadzieję, że wymienione zagadnienia znajdą w najbliższym czasie zadowalające rozwiązania.

LITERATURA

1. Abramson D., Abela J.: A Parallel Genetic Algorithm for Solving the School Timetabling Problem, Technical Report, Division of Information Technology C.S.I.R.O., Carlton, Australia (1991).
2. Arani T., Lotfi V.: A Three Phased Approach To Final Exam Scheduling, IIE Transactions 21/1 (1989), s. 86-96.
3. Aubin J., Ferland J.A.: A Large Scale Timetabling Problem, Computer and Operations Research 16/1 (1989), s. 67-77.
4. Ben-Ayed O.: Scheduling small groups examinations, OR Insight 10/4 (1997), s. 28-32.
5. Birbas T., Daskalaki S., Housos E.: Timetabling for Greek high schools, Journal of the Operational Research Society 48 (1997), s. 1191-1200.
6. Burke E., Elliman D., Weare R.: Specjalised Recombinative Operators for Timetabling Problems, Lecture Notes in Computer Science 993 (1995), s. 75-85.
7. Carter M.W., Laporte G.: Recent Developments in Practical Course Timetabling, Lecture Notes in Computer Science 1408 (1998), s. 3-19.
8. Chahal N., de Werra D.: An Interactive System for Constructing Timetables on a PC, European Journal of Operational Research 40 (1989), North-Holland, s. 32-37.

9. Cheng C., Kang L., Leung N., White G.M.: Investigations of a Constraint Logic Programming Approach to University Timetabling, Lecture Notes in Computer Science 1153 (1996), s. 112-129.
10. Cole R., Hopcroft J.: On Edge Coloring Bipartite Graph, SIAM Journal on Computing 11 (1982), s. 540-546.
11. Coloroni A., Doringo M., Maniezzo V.: Genetic Algorithms and Highly Constrained Problems: The Timetable Case, Lecture Notes in Computer Science 496, s. 55-59.
12. Costa D.: A Tabu Search Algorithm for Computing an Operational Timetable, European Journal of Operational Research 76 (1994), North-Holland, s. 98-110.
13. David P.: A Constraint-Based Approach for Examination Timetabling Using Local Repair Techniques, Lecture Notes in Computer Science 1408 (1998), s. 169-186.
14. Deris S.B., Omatu S., Ohta H., Samat P.A.B.D.: University timetabling by constraint-based reasoning: A case study, Journal of the Operational Research Society 48 (1997), s. 1178-1190.
15. de Werra D.: An Introduction to Timetabling, European Journal of Operational Research 19 (1985), s. 151-162.
16. Dechter R.: Enhancement Schemes for Constraint Processing: Backjumping, Learning, and Cutset Decomposition, Artificial Inteligence 41 (1989/90), s. 273-312.
17. Eglese R.W., Rand G.K.: Conference Seminar Timetabling, Journal of the Operational Research Society 38 (1987), s. 591-598.
18. Even S., Itai A., Shamir A.: On the complexity of timetable and multicommodity flow problems, SIAM Journal on Computing 5/4 (1976), s. 691-703.
19. Ferland J.A., Lavoie A.: Exchanges procedures for timetabling problems, Discrete Applied Mathematics 35/3 (1992), North-Holland, s. 237-253.
20. Gabow H.N., Kariv O.: Algorithms for Edge Coloring Bipartite Graphs and Multigraphs, SIAM Journal on Computing 11/1 (1982), s. 117-129.
21. Hertz A.: Finding a feasible course schedule using Tabu search, Discrete Applied Mathematics 35/3 (1992), North-Holland, s. 255-270.
22. Hertz A.: Tabu search for large scale timetabling problems, European Journal of Operational Research 54 (1991), North Holland, s. 39-47.
23. Johnson D.: Timetabling University Examinations, Journal of the Operational Research Society 41 (1990), s. 39-47.
24. Kang L., White G.M.: A logic approach to the resolution of constraints in timetabling, European Journal of Operational Research 61 (1992), North Holland, s. 306-317.
25. Kubale M.: Interval vertex-coloring of a graph with forbidden colors, Discrete Mathematics 74 (1989), s. 125-136.
26. Leighton F.T.: A Graph Coloring Algorithm for Large Scheduling Problems, Journal of Research of the National Bureau of Standards 84/6 (1979), s. 489-506.
27. Lotfi V., Cerveny R.: A Final-exam-scheduling Package, Journal of the Operational Research Society 42 (1991), s. 205-216.
28. Mulvey J.A.: A classroom/time assignment model, European Journal of Operational Research 9 (1982), North Holland, s. 64-70.

29. Peemöller J.: Numerical experiences with graph coloring algorithms, European Journal of Operational Research 24 (1986), North Holland, s. 146-151.
30. Sampson S.E., Weiss E.N.: Increasing Service Levels in Conference and Educational Scheduling: A heuristic Approach, Management Science 41/11 (1995), s. 1816-1825.
31. Sankaran J.K.: Column generation applied to linear programs in course registration, European Journal of Operational Research 87 (1995), North Holland, s. 328-342.
32. Szwed C., Toczyłowski E.: Dezagregacja zasobów lokalowych w harmonogramowaniu zajęć, T. Trzaskalik (red.) „Metody i zastosowania badań operacyjnych", Wyd. AE w Katowicach, s. 211-220.
33. Thompson J., Dowsland K.A.: A Robust Simulated Annealing Based Examination Timetabling System, Computers Operations Research 25/7-8 (1998), s. 637-648.
34. Tripathy A.: A Lagrangean Relaxation Approach to Course Timetabling, Journal of the Operational Research Society 31 (1980), s. 599-603.
35. Wood D.C.: A technique for colouring a graph applicable to large scale timetabling problems, The Computer Journal 12 (1969), s. 317-319.
36. Wright M.: School Timetabling Using Heuristic Search, Journal of the Operational Research Society 47 (1996), s. 347-357.

Recenzent: Prof. dr inż. T. Puchałka

Abstract

School and university timetabling is a very difficult combinatorial problem. Hundreds of papers on the subject and hundreds of computer programs implemented to solve practical problems are presented in OR literature. The purpose of this paper is to discuss the major components of the problem.

Timetabling problems consist of a set of lectures, a set of periods and a set of resources. The set of resources contents teachers, rooms and students. Problems considered in the practice can be classified as follows: class-teacher timetabling, classroom assignment, course scheduling and examination timetabling. The main requirements of the problem concern absence of any conflicts – teachers, students and rooms cannot be allocated to simultaneous lectures.

Mathematical formulations of timetabling problems are given in graph theory (edge/node coloring) and in mathematical programming (linear programming, network-flows). Solution methods proposed in the literature may be classified as follows: graph coloring algorithms, mathematical programming algorithms, constraint satisfaction based algorithms, tabu search, genetic algorithms, simulated annealing and „specific" heuristic algorithms.