

Rozvrhování předmětů pro univerzitu*

Hana Rudová¹, Tomáš Müller², and Keith Murray¹

¹ Fakulta informatiky Masarykovy univerzity
Botanická 68a, Brno, Česká republika
hanka@fi.muni.cz

² Space Management and Academic Scheduling, Purdue University
400 Centennial Mall Drive, West Lafayette, USA
muller@unitime.org, kmurray@purdue.edu

Abstrakt Cílem článku je prezentace projektu, jehož snahou bylo vytvoření rozvrhu předmětů na Purdue University v USA. Navržené řešení se nyní používá ke koordinovanému vytváření rozvrhů předmětů na celé Purdue University, která má zhruba 39 000 studentů a 9 000 předmětů. Řešení využívající programování s omezujícími podmínkami umožňuje generování jak iniciálního rozvrhu tak jeho interaktivní úpravy.

Klíčová slova: školní rozvrhování, omezující podmínky

1 Úvod

Rozvrhování univerzitních předmětů spočívá v přiřazení předmětů do konkrétních časových period a místností tak, že musí být splněna řada pevných (neporušitelných) omezení a kvalita řešení je vyhodnocena v závislosti na splnění měkkých podmínek [12]. Základní informace o tomto klasickém problému je možné nalézt např. v přehledových pracích [1,12,3]. Je zde vidět, že řada existujících prací se soustřeďuje na řešení problémů jedné fakulty nebo dokonce jen její části (jedné nebo více kateder). Bohužel je také velmi časté řešení zjednodušených problémů a používání nerealistických datových sad, jak bylo diskutováno v práci [4].

Cílem tohoto článku je tedy stručně představit projekt, jehož snahou bylo vytvoření rozvrhu předmětů pro Purdue University v USA. Hodnota práce spočívá zejména v jeho rozsahu umožněném *obecností navržených metod* a jeho skutečném používání pro vytváření rozvrhů předmětů na celé Purdue University každý semestr. Podstata navrženého a realizovaného řešení spočívá v modelování problému pomocí pevných a měkkých omezujících podmínek, které umožňují snadnou modifikaci a rozšíření problému, a aplikaci tohoto modelu prostřednictvím iterativního dopředného prohledávání s konfliktní statistikou [11], které kombinuje výhody omezujících podmínek a metod lokálního prohledávání. Dle našich informací se jedná o jedinečné řešení, které se reálně používá pro koordinované rozvrhování celé univerzity. Z dalších prací řešících takto rozsáhlý problém můžeme uvést pouze práci [2], popisované řešení však už aktuálně využívané není.

* Tento výzkum byl podporován projekty ve spolupráci s Purdue University a výzkumným záměrem 0021622419 Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy.

2 Popis řešeného problému

Problém rozvrhování na Purdue University je přirozeným způsobem rozdělen na následující problémy: (1) centrální problém velkých učeben (téměř 900 předmětů rozvrhovaných do 55 místností s místy až pro 474 studentů), (2) individuální problémy jedné nebo více kateder, resp. fakult (cca 70 problémů s 10 až 500 předměty rozvrhovanými do místností určených pro výuku kateder/fakult a do centrálně spravovaných místností v přidělených časech), (3) centrální problém počítačových laboratoří (asi 200 předmětů rozvrhovaných do 31 místností s místy pro 20 až 45 studentů). Jednotlivé problémy mají řadu společných i odlišných rysů, jejichž details je možné nalézt v pracích [8,11] nebo na stránkách projektu <http://www.unitime.org>. Na tomto místě bychom rádi shrnuli pouze hlavní charakteristiky celého problému. Rozvrh je vytvářen pro asi 39 000 studentů a každý ze studentů individuálně specifikuje, které předměty chce navštěvovat (celkem asi 259 000 požadavků). K dispozici je asi 570 místností a celkově je vyučováno asi 9 000 předmětů. Předměty jsou provázány vzájemnými vazbami danými výukou přednášek, cvičení a laboratoří (některé z předmětů jsou takto provázány s desítkami až stovkami dalších předmětů, např. výuka jazyků). Jednotlivé předměty pak mohou být vyučovány několikrát týdně, často v pravidelně daných hodinách (např. pondělí-středa-pátek ve stejné době). Cílem řešení je nalézt pro každý předmět vhodný čas a místnost tak, aby bylo optimalizováno splnění následujících měkkých podmínek. Každý předmět má specifikovány preference na čas a na místnosti a některé předměty jsou provázány preferenčními podmínkami (např. výuka předmětů v navazujících časech). Velký vliv na rozvrhování mají konflikty mezi předměty každého ze studentů (rozvrh není generován na základě curricula ale individuálních požadavků studentů na absolvování předmětů), cílem rozvrhování je samozřejmě počet takovýchto konfliktů minimalizovat. Ukázka vytvořeného rozvrhu zároveň s používaným webovým uživatelským rozhraním je na obrázku 1.

3 Průběh řešení

Práce na projektu byla zahájena v roce 2001 pětíměsíční stáží H. Rudové na Purdue University. Prvním cílem bylo řešení problému velkých učeben, který je nejen největším ale i nejnáročnějším problémem, a to zejména vzhledem k velké obsazenosti učeben (využití časů pro čtyři největší místnosti je dokonce stoprocentní). V rámci tohoto prvního kroku byl formulován model problému pomocí pevných a měkkých podmínek [10], který je používán i v dosavadním řešení. Prvotní řešící metodologie byla založena na logickém programování s omezujícími podmínkami a nově navrženém řešiči pro měkké podmínky [9]. V následujících letech (2001–2004) byly pak mezi Masarykovou univerzitou a Purdue University uzavřeny tři projekty, jejichž cílem bylo pokračování v řešení problému velkých učeben. Do druhého z projektů se pak zapojil Tomáš Müller, který implementoval vlastní řešič omezujících podmínek v Javě [5]. Tento přístup se ukázal jako vhodnější vzhledem ke snadnější manipulaci se změnami problému. Nestačí totiž

The screenshot shows the 'Purdue Timetabling' web application. The browser address bar indicates the URL: <https://oregano.smas.purdue.edu:18443/Timetabling/selectPrimaryRole.do>. The interface is divided into a sidebar on the left and a main grid on the right. The sidebar contains a 'Filter' section and a 'Timetable' section with various checkboxes for course, instructor, room, and feature settings. The main grid displays a weekly timetable with columns for time slots (7:30a, 8:00a, 8:30a, 9:00a, 9:30a, 10:00a, 10:30a, 11:00a, 11:30a, 12:00p, 12:30p, 1:00p, 1:30p, 2:00p, 2:30p, 3:00p, 3:30p, 4:00p, 4:30p, 5:00p) and rows for days of the week (Mon-Fri). Each cell in the grid contains course codes and section numbers, such as 'MA 16200 Lec 1', 'PSY 12000 Lec 4', 'ECON 21000 Lec 1', etc. A legend is located at the top right of the grid area.

Obr. 1. Ukázka grafického rozhraní s vygenerovaným rozvrhem.

vygenerovat rozvrh na základě zadaných požadavků, je také potřeba ho vhodným způsobem upravit na základě dodatečných požadavků zejména školy a vyučujících, které vzniknou po prvotním publikování rozvrhu. Navržené řešení umožňuje změny rozvrhu pomocí optimalizačního řešiče pro řešení problému minimálních perturbací [5] ale i interaktivní úpravy vytvořeného rozvrhu [7]. Od roku 2006 pokračovala práce především na Purdue University, kde byly realizovány rozsáhlé implementace zahrnující vedle řady požadavků ve formě dodatečných omezujících podmínek kladených na rozvrh i práci na datovém modelování, grafickém uživatelském rozhraní a optimalizace kódu. Cílem pak bylo koordinované řešení všech problémů pro jednotlivé katedry/fakulty na Purdue University, které se svým charakterem a vlastnostmi často lišily. Výsledky v této oblasti jsou publikovány v [8] a zejména pak budou publikovány v práci [11] shrnující jak dosažené teoretické tak i praktické výsledky.

4 Závěr

Rozvrhy generované pomocí vytvořeného systému UniTime jsou na Purdue University nyní využívány pro koordinované vytváření všech zhruba 70 rozvrhovacích problémů kateder/fakult i centrálních problémů. Aktuální informace o systému je možné najít na stránkách <http://www.unitime.org/>, kde je dostupná i demoverze systému. Navržené řešení bylo použito i jako základ dalších rozvrhovacích aplikací, a to zejména rozvrhování zkoušek nebo rozdělení studentů

velkých předmětů na sekce [6]. V současné době je na Fakultě informatiky Masarykovy univerzity realizována bakalářská práce, jejímž cílem je aplikace systému UniTime na problém rozvrhování Fakulty informatiky a diskuse vhodných a nutných rozšíření systému pro jeho použití na tento rozvrhovací problém.

Reference

1. Edmund K. Burke and Sanja Petrovic. Recent research directions in automated timetabling. *European Journal of Operational Research*, 140:266–280, 2002.
2. Michael W. Carter. A comprehensive course timetabling and student scheduling system at the University of Waterloo. In E. Burke and W. Erben, editors, *Practice and Theory of Automated Timetabling III*, pages 64–82. Springer-Verlag LNCS 2079, 2001.
3. Michael W. Carter and Gilbert Laporte. Recent developments in practical course timetabling. In E. Burke and M. Carter, editors, *Practice and Theory of Automated Timetabling II*, pages 3–19. Springer-Verlag LNCS 1408, 1998.
4. Barry McCollum. A perspective on bridging the gap between theory and practice in university timetabling. In E. Burke and H. Rudová, editors, *Practice and Theory of Automated Timetabling VI*, pages 3–23. Springer-Verlag LNCS 3867, 2007.
5. Tomáš Müller, Roman Barták, and Hana Rudová. Minimal perturbation problem in course timetabling. In E. Burke and M. Trick, editors, *Practice and Theory of Automated Timetabling V*, pages 126–146. Springer-Verlag LNCS 3616, 2005.
6. Tomáš Müller and Keith Murray. Comprehensive approach to student sectioning. In E. Burke and M. Gendreau, editors, *7th International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling*. Université de Montréal, Canada, 2008.
7. Tomáš Müller, Hana Rudová, and Keith Murray. Interactive course timetabling. In *MISTA 2009 – Proceedings of the 4th Multidisciplinary International Conference on Scheduling: Theory and Applications*, pages 732–736, 2009.
8. Keith Murray, Tomáš Müller, and Hana Rudová. Modeling and solution of a complex university course timetabling problem. In E. Burke and H. Rudová, editors, *Practice and Theory of Automated Timetabling VI*, pages 189–209. Springer-Verlag LNCS 3867, 2007.
9. Hana Rudová. Soft CLP(FD). In S. Haller and I. Russell, editors, *Proceedings of the 16th International Florida Artificial Intelligence Symposium, FLAIRS-03*, pages 202–206. AAAI Press, 2003.
10. Hana Rudová and Keith Murray. University course timetabling with soft constraints. In E. Burke and P. De Causmaecker, editors, *Practice and Theory of Automated Timetabling IV*, pages 310–328. Springer-Verlag LNCS 2740, 2003.
11. Hana Rudová, Tomáš Müller, and Keith Murray. Complex university course timetabling. *Journal of Scheduling*, 2009. Under minor revision.
12. Andrea Schaerf. A survey of automated timetabling. *Artificial Intelligence Review*, 13(2):87–127, 1999.

Annotation:

University Course Timetabling

Long-term project on automated university course timetabling is presented. Resulting coordinated timetabling is now used at Purdue University (USA) with about 39,000 students and 9,000 courses. Solution applying constraint programming allows both initial timetable generation and its interactive changes.