



SISTEM ZA OPTIMIZACIJU RASPOREDA NASTAVE FAKULTETA TEHNIČKIH NAUKA

TIMETABLE OPTIMIZATION SYSTEM FOR FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES

Eva Janković, Nikola Luburić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIČKO I RAČUNARSKO INŽENJERSTVO

Kratak sadržaj – U sklopu ovog rada dizajniran je i implementiran sistem za optimizaciju rasporeda nastave, sa posebnim fokusom na organizacionu strukturu Fakulteta tehničkih nauka. Opisan je domen problema, korisnički zahtevi i arhitektura sistema, dat je pogled na implementaciju sistema, kao i moguća unapređenja sistema. Rezultat rada jeste softver koji pruža mogućnost optimizacije rasporeda nastave koji je dodatno integrisan u širi sistem. Širi sistem omogućava korisniku upravljanje celim tokom, od ulaznih podataka, preko optimizacije i zaključno sa kreiranjem rasporeda u različitim formatima.

Ključne reči: sistem baziran na pravilima, problem planiranja rasporeda, predstava domenskog znanja

Abstract – As part of this paper, a system for optimization of teaching schedules was designed and implemented. The system has a special focus on the organizational structure of the Faculty of Technical Sciences. The problem domain, user requirements and system architecture are described. An overview of the system implementation is given, as well as the possible system improvements. The result of the paper is a teaching schedule optimization software. The software is furthermore integrated into a wider system that allows the user to manage the entire process, from input data, through optimization, and exports of the schedule into different formats.

Keywords: rule-based system, scheduling problem, representation of domain knowledge

1. UVOD

Problem kreiranja rasporeda (engl. scheduling problem) prisutan je u različitim aspektima savremenog društva. Dobro planirani raspored doprinosi efikasnosti i boljem iskorišćenju vremena i resursa. Efikasno upravljanje vremenom utiče na smanjenje stresa i povećanje produktivnosti. Ovo se odnosi na individualne nivoe, ali i na kolektivne strukture kao što su obrazovne institucije [1] i kompanije.

Rad se fokusira na rešavanje problema rasporeda u kontekstu visokoškolskih ustanova, i to konkretno rasporeda nastave Fakulteta tehničkih nauka (FTN).

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio doc. dr Nikola Luburić.

Raspored nastave podrazumeva definisanje nastavnih termina za sve studijske programe Fakulteta na nivou semestra. Studenti su u okviru studijskih programa raspoređeni u studentske grupe koje pohađaju termine nastave kao celina. Na nivou akreditacije studentskog programa, propisani su predmeti koje studenti pohađaju. Predavanja i vežbe propisanih predmeta održavaju predavači u adekvatnim prostorijama. Termin nastave okuplja studentske grupe i predavače i potrebno mu je na optimalan način dodeliti prostoriju i vremenski interval održavanja.

Srž problema trenutnog rasporeda nastave, na čije rešavanje je rad usmeren, jeste izbacivanje radnih subota i ranih i kasnih termina, kao i smanjenje perioda nekorisnog vremena (pauza) u rasporedima studenata i nastavnog osoblja. Motivacija za izučavanje i rešavanje opisanog problema javlja se iz želje za podizanjem kvaliteta obrazovanja i radnog okruženja kroz bolje organizovanje vremena.

Primarni cilj rada jeste razvijanje sistema za automatizovano kreiranje rasporeda na osnovu ulaznih podataka uz oslanjanje na enkapsulirano domensko znanje. Prikupljanje ograničenja koje raspored treba da ispuni urađeno je kroz anketiranje predavača i razgovore sa domenskim ekspertom. Time je domen problema sužen i predstavljen u vidu pravila, činjenica i zaključaka. Ovakav problem spada u grupu problema koji se mogu rešavati upotrebom ekspertskih sistema [2]. Ekspertski sistemi su računarski sistemi koji enkapsuliraju znanje eksperta iz određene oblasti [3].

U narednom poglavlju dat je osvrt na domen problema i stanje u oblasti. Poglavlje 3 opisuje potrebne slučajeve korišćena i arhitekturu sistema. U poglavlju 4 nalazi se opis konkretne implementacije. Na kraju se nalazi poglavlje zaključka koje rezimira celokupan rad.

2. DOMEN PROBLEMA

Zainteresovanost za poddomen problema rasporeda obrazovnih ustanova značajno je porasla 2002. godine kada je kreirano prvo internacionalno takmičenje, International Timetabling Competition (ITC-2002). Takmičenje nastoji da pruža nove javno dostupne skupove podataka. Najskorije takmičenje, ITC2019 [4], uvelo je nov skupa podataka prikupljen u realnim uslovima na visokoškolskim ustanovama.

Generalno, u literaturi i takmičenjima, problem rasporeda visokoškolskih ustanova podrazumeva dodelu prostorija i fiksnih vremenskih intervala terminima prateći određeni

skup ograničenja [5]. Rad [6] daje opsežan pregled oblasti problema rasporeda u obrazovanju. Ovakvi problemi spadaju u grupu NP-teških problemi (nedeterministički u polinomijalnom vremenu teški) [7][8]. Skup ograničenja kojim su definisani ovi problemi se najčešće deli u dve podgrupe, ograničenja koja se moraju ispoštovati da bi se rešenje smatralo prihvatljivim i ograničenja koja bi trebalo ispoštovati, opciona ograničenja. Broj prekršaja opcionih ograničenja obrnuto je proporcionalan kvalitetu rešenja.

Glavna razlika problema rasporeda opisanog kroz ITC takmičenje i problema rasporeda FTN-a je što vremenski intervali nisu fiksni u slučaju FTN-a. Dodatno, takmičenje posmatra sve prostorije ravnopravno, uzimajući u obzir samo njihov kapacitet; ne postoji pojam o pripadnosti organizacionim jedinicama.

Zbog opisanog, implementacija sistema nije bazirana samo na informacijama iz literature već prvenstveno na znanju domenskog eksperta.

U okviru rada [9], pobednici ITC2019, ističu značaj upotrebe dve faze prilikom rešavanja problema. Prva faza je konstrukciona heuristika (engl. construction heuristic), gde se vodi računa samo o obaveznim ograničenjima. Druga faza je faza lokalne pretrage (engl. local search) koja teži da pronađe što bolje rešenje. Zbog istaknutog, u okviru rada je odlučeno da se optimizacija sastoji iz dve faze.

U literaturi se javljaju različiti organizacioni algoritmi kao uspešni. Autori rada [9] oslanjaju se na upotrebu algoritma baziranog na grafovima. U okviru radova [10][11][12] autori ističu tabu pretragu, baziranu na metaheuristikama, kao izuzetno korisnu, dok autori radova [13][14] baziraju optimizaciju na genetskom algoritmu. Testiranjem različitih algoritama na realnim podacima i praćenjem dokumentovanih smernica [15], odabran je algoritam baziran na metaheuristikama.

3. SPECIFIKACIJA SISTEMA

U okviru poglavlja detaljnije su prikazani konkretni korisnički zahtevi, arhitektura sistema, kao i globalna arhitektura sistema u okviru koga je predloženi sistem integrisan.

3.1. Korisnički zahtevi

Kao uvodna faza izrade sistema, posmatranjem organizacione strukture Fakulteta, izdvojene su najznačajnije osobe za prikupljanje zahteva. Inicijalno su izdvojene dve grupe: studenti i nastavno osoblje. Zahtevi studenata su bazirani na razgovoru i prethodnim iskustvima. Dodatno, pregledana je i arhiva dotadašnjih žalbi na prethodne rasporede.

Prikupljanje zahteva za unapređenje rasporeda nastavnog osoblja urađeno je kroz anketiranje. Anketirani su zaposleni Katedre za informatiku koji predstavljaju podskup svih zaposlenih Fakulteta. Zbog velike brojnosti katedre i opštosti pitanja, zaključci su generalizovani na nivo Fakulteta. Anketa se sastoji iz sedam pretpostavki vezanih za optimalni raspored gde se od anketirane osobe očekuje da na skali od 1 do 5 navede nivo slaganja sa svakom pretpostavkom. U tabeli 3.1. nalaze se sumirani rezultati.

Tabela 3.1. Opis zahteva i srednja vrednost njihove značajnosti

Opis pretpostavljenog zahteva	Srednja vrednost značajnosti
Održavanje predavanja i vežbi samo radnim danima	4,95
Održavanje predavanja i vežbi na OAS i OSS između 9:00 i 17:00	4,17
Održavanje predavanja i vežbi na OAS i OSS između 7:00 i 15:00	2,43
Održavanje predavanja i vežbi na MAS između 15:00 i 19:00	2,64
Održavanje svih vežbi u učionicama katedre	4,36

Kako bi se kreirao optimalan raspored nastave, nije dovoljno uvažiti samo zahteve nastavnog osoblja. Pošto je FTN visokoškolska ustanova na teritoriji Republike Srbije, potrebno je ispoštovati i zakonska ograničenja, kao i sve dodatne propise koje sam Fakultet postavlja. Sledeći korak istraživanja podrazumevao je pronalaženje svih značajnih dostupnih dokumenata. Kao najznačajniji dokument istakao se „Pravilnik o izradi rasporeda časova nastave i rasporeda ispita na Fakultetu tehničkih nauka“ koji je javno dostupan na internet stranici FTN-a [16]. Pravilnik navodi značajne zahteve za kreiranje rasporeda nastave koji su navedeni u nastavku:

- student može imati najviše 8 sati nastave u jednom danu,
- pauze između termina nastave su 15 minuta, osim ako drugačije nije odobreno,
- članovi dekanata i organizacije Fakulteta sredom od 8 do 14 časova ne smeju imati nastavu,
- u terminima nastave sa više izvođača, raspored nastave se formira na osnovu jednog predavača.

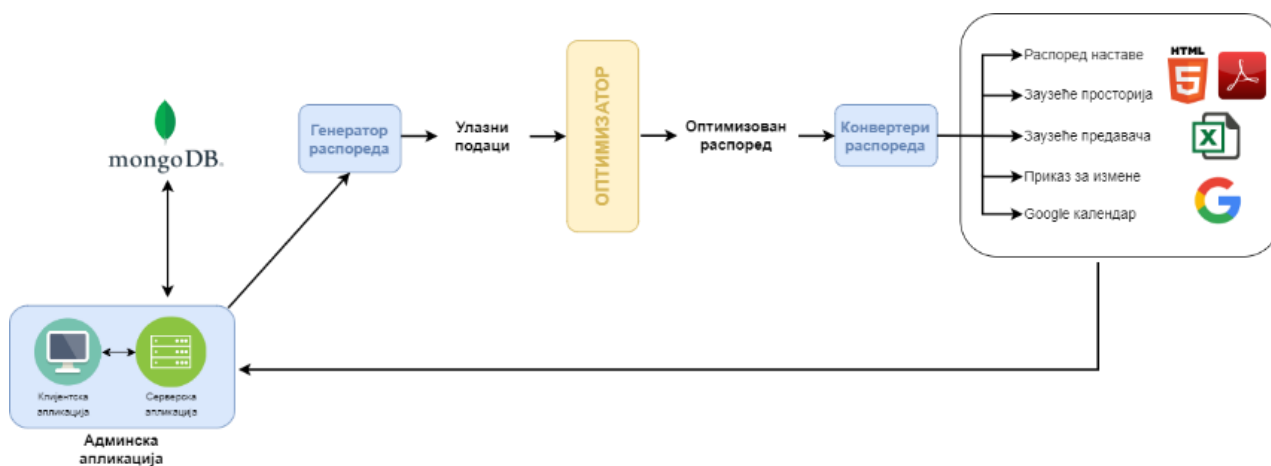
3.2. Slučajevi korišćenja

Proučavanjem trenutnog informacionog sistema FTN-a, kao i organizacione strukture, zaključeno je da bi sistem optimizacije imao jednog tipa korisnika, administratora. Administrator bi bio zaposleni zadužen za formiranje rasporeda nastave, ili više zaposlenih u daljoj perspektivi. Izdvojeni su sledeći slučajevi korišćenja:

- dopremanje podataka značajnih za optimizaciju,
- pokretanje optimizacije,
- prekidanje optimizacije,
- iterativna optimizacija,
- simulaciona optimizacija,
- preuzimanje optimizovanog rasporeda,
- preuzimanje rezultata optimizacije i
- preuzimanje podataka o ispunjenosti ograničenja.

3.3. Arhitektura sistema

Arhitektura sistema prikazana je na slici 3.1. Sistem je kreiran kao serverska veb aplikacija upotrebom SpringBoot radnog okvira [17].



Slika 3.1. Arhitektura integracionog sistema

Srж aplikacije bazira se na OptaPlanner biblioteci [18] koja pruža mogućnost rešavanja problema sa definisanim ograničenjima (engl. constraint satisfaction problems) među koje spada problem rasporeda nastave.

3.4. Arhitektura integracionog sistema

U cilju lakše upotrebe i veće održivosti sistema, dizajniran je integracioni sistem koji nudi konzistentan tok kreiranja rasporeda nastave od ulaznih podataka, preko optimizacije do izlaznih podataka, to jest rasporeda.

4. Implementacija sistema

Izvorni kod celokupne aplikacije je javno dostupan.¹ U daljem tekstu opisan je pristup rešavanju problema rasporeda i sva pravila u sistem, kao i konfiguracija OptaPlanner biblioteke i upotrebljeni optimizacioni algoritam.

4.1. Rešavanje problema rasporeda

Problem rasporeda spada u probleme sa ograničenjima. Težina i vreme optimizacije varira od ulaznih podataka. U slučaju optimizacije rasporeda nastave FTN-a, za potrebni vremenski interval (72 sata), testiranjem je zaključeno da optimalno rešenje nije dostižno. Rešenje nije dostižno kada krši neka od obaveznih pravila, to jest postignuto rešenje nije prihvatljivo. Kako bi sistem proizveo prihvatljivo rešenje za zadati vremenski interval, promenjen je pogled na optimizacioni problem. Problem je modelovan kao problem sa nedosežnim skupom ograničenja (engl. overconstrained problem).

Promena pogleda na problem omogućila je postizanje prihvatljivog rešenja u zadatom vremenskom roku. Optimizacioni proces je promenjen tako da omogući da se nekim terminima ne dodeli vremenski interval održavanja, čime se oni ne uvrštavaju u finalni raspored nastave. Naknadno, administrator ima mogućnost ručnog dodavanja vremenskog intervala takvim terminima.

4.2. Ograničenja u okviru problema rasporeda

Sva ograničenja prikupljena su u prvoj fazi istraživanja. Obuhvataju osnovna ograničenja koja su nametnuta fizičkim zakonima, gde predavač ili studentska grupe ne mogu biti na dva mesta istovremeno, ali i složenija ograničenja koja su indirektna posledica organizacione

strukture FTN-a, kao pripadnost prostorija određenim katedrama. Prilikom izrade sistema, broj nivoa koji se pokazao optimalan bio je tri: ograničenja koja je neophodno ispoštovati, ograničenja koja je poželjno ispoštovati i preostala ograničenja. Ograničenja koja je poželjno ispoštovati dodatno delimo u još dva nivoa. Na ovaj način određena pravila istog nivoa imaju prednost nad drugima. Na slici 4.1. izlistana su sva ograničenja.

ОБАВЕЗНА ОГРАНИЧЕЊА	конфликт просторије
	конфликт предавача
	конфликт студентске групе
	конфликт члана организације факултета
	конфликт члана деканата
	максималан број часова за студента
	обавезан тип просторије
	обавезан капацитет просторије
ПОЖЕЉНА ОГРАНИЧЕЊА - НИВО 1	веза предавача и просторије
	избегавање прековременог рада
	лимитирање времена почетка
	лимитирање времена краја
ПОЖЕЉНА ОГРАНИЧЕЊА - НИВО 2	употреба опште просторије
	одржавање предавања истог предмета у истом дану
	лимитирање пауза за студента
	лимитирање пауза за предавача
	максималан број часова за предавача
ПРЕОСТАЛА ОГРАНИЧЕЊА	лимитирање радних дана за предавача
	непромењивост просторије за студента
	непромењивост просторије за предавача

Slika 4.1. Ograničenja grupisana po nivoima

4.3. Konfiguracija OptaPlanner biblioteke

OptaPlanner biblioteka nudi moćnu podršku za rešavanje optimizacionih problema, i to posebno problema sa ograničenjima. Pruža bogat interfejs i poseban način definisanja pravila koji se oslanja na kombinaciju funkcionalnog programiranja i SQL jezika. Rešavač (engl. solver) predstavlja srж biblioteke i omogućava proces optimizacije. Biblioteka je konfigurisana kroz konfiguracioni fajl. Istaknuta su sledeća dva parametra:

- podešavanje konstrukcione heuristike – odabran je *First fit decreasing* algoritam [19]. Prilikom konstrukcije rešenja, algoritam kreće od „kompleksnijih“ objekata (veći broj studenata, duži vremenski interval).
- podešavanje uslova završetka optimizacije – optimizacija će biti prekinuta ukoliko nije pronađeno bolje rešenje u prethodna 3 časa ili ukoliko je ukupno prošlo 72 časa od početka optimizacije.

¹ <https://github.com/evaj10/raspored-optimizator/releases/tag/v2.1.1>

- podešavanje algoritma optimizacije – odabran je *Late acceptance* [20]. Algoritam pamti najbolje rešenje koje je staro par koraka (ne mora biti trenutno najbolje). Proverava mali broj kombinacija pri svakom koraku, te pravi brze korake. Ovo je posebno značajno za probleme velikih dimenzija, kakav je problem rasporeda FTN-a.

5. ZAKLJUČAK

U radu je prikazan sistem za optimizaciju rasporeda nastave, sa posebnim fokusom na organizacionu strukturu Fakulteta tehničkih nauka. Glavni povod razvoja sistema je automatizacija procesa kreiranja rasporeda nastave u cilju podizanja kvaliteta obrazovanja i radnog okruženja. Ideja iza sistema je okupljanje svih ograničenja i faktora za kreiranje optimalnog rasporeda nastave i njegovo kreiranje. Kroz programski kod i prateću dokumentaciju, koja podrazumeva i ovaj rad, enkapsulirano je domensko znanje.

Glavni vid unapređenja sistema ogleda se u daljem istraživanju pogodnih algoritama optimizacije u cilju smanjenja vremena izvršavanja i povećanja efikasnosti sistema. Odabir algoritma je moguće uraditi oslanjajući se na benčmark (engl. benchmark) testove podržane od strane OptaPlanner biblioteke. Jedna od značajnih tehnika jeste „zavadi, pa vladaj“ (engl. divide and conquer), gde se raspored nastave može zgodno podeliti na računarske i laboratorijske vežbe i auditorne tipove nastave (vežbe i predavanja) koja, u osnovi, predstavljaju dva disjunktna skupa termina.

6. LITERATURA

- [1] Häfner, A., Stock, A., & Oberst, V. (2015). Decreasing students' stress through time management training: An intervention study. *European journal of psychology of education*, 30, 81-94.
- [2] Jackson, P. (1986). *Introduction to expert systems*. Introduction to expert systems.
- [3] Jacob, R. J. K., & Froscher, J. N. (1990). A software engineering methodology for rule-based systems. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 2(2), 173-189.
- [4] Jackson, P. (1986). *Introduction to expert systems*.
- [5] Takmičeње u optimizaciji rasporeda nastave za 2019. godinu, <https://www.itc2019.org/home> [datum pristupa avgust 2023]
- [6] Wren, A. (1995, August). Scheduling, timetabling and rostering—a special relationship?. In *International conference on the practice and theory of automated timetabling* (pp. 46-75). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- [7] Kristiansen, S., & Stidsen, T. R. (2013). A comprehensive study of educational timetabling—A survey. Department of Management Engineering, Technical University of Denmark. DTU Management Engineering Report, 8.
- [8] Al-Betar, M. A., Khader, A. T., & Liao, I. Y. (2010). A harmony search with multi-pitch adjusting rate for the university course timetabling. *Recent advances in Harmony search algorithm*, 147-161.
- [9] Garey, M. R., & Johnson, D. S. (1979). *Computers and intractability. A Guide to the*
- [9] Holm, D. S., Mikkelsen, R. Ø., Sørensen, M., & Stidsen, T. J. (2022). A graph-based MIP formulation of the International Timetabling Competition 2019. *Journal of Scheduling*, 25(4), 405-428.
- [10] Hertz, A. (1991). Tabu search for large scale timetabling problems. *European journal of operational research*, 54(1), 39-47.
- [11] Alvarez-Valdes, R., Crespo, E., & Tamarit, J. M. (2002). Design and implementation of a course scheduling system using tabu search. *European Journal of Operational Research*, 137(3), 512-523.
- [12] Minh, K. N. T. T., Thanh, N. D. T., Trang, K. T., & Hue, N. T. T. (2010). Using tabu search for solving a high school timetabling problem.
- [13] Weare, R., Burke, E., & Elliman, D. (1995). A hybrid genetic algorithm for highly constrained timetabling problems. Department of Computer Science.
- [14] Burke, E. K., & Petrovic, S. (2002). Recent research directions in automated timetabling. *European journal of operational research*, 140(2), 266-280.
- [15] Актиуелна документација OptaPlanner библиотеке, <https://www.optaplanner.org/docs/optaplanner/latest/optimization-algorithms/optimization-algorithms.html#whichOptimizationAlgorithmsShouldIU> se [datum pristupa avgust 2023]
- [16] Правилник о изради распореда nastave, ФТН, <http://www.ftn.uns.ac.rs/520569743/pravilnik-o-izradi-rasporeda-casova-nastave-i-rasporeda-ispita-na-fakultetu-tehnickih-nauka-od-31-01-2019-> [datum pristupa avgust 2023]
- [17] SpringBoot радни оквир, <https://spring.io/projects/spring-boot> [datum pristupa avgust 2023]
- [18] OptaPlanner библиотека, <https://www.optaplanner.org/docs/optaplanner/latest> [datum pristupa avgust 2023]
- [19] First fit decreasing алгоритам, <https://www.optaplanner.org/docs/optaplanner/latest/construction-heuristics/construction-heuristics.html#firstFitDecreasing> [datum pristupa avgust 2023]
- [20] Late acceptance алгоритам, <https://www.optaplanner.org/docs/optaplanner/latest/local-search/local-search.html#lateAcceptance> [datum pristupa avgust 2023]

Kratka biografija:



Eva Janković rođena je 10. oktobra 1998. godine u Šapcu. Nakon završetka Šabačke gimnazije, 2017. godine upisuje Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, smer Softversko inženjerstvo i informacione tehnologije. Studije završava u roku, 2021. godine i iste godine upisuje master akademske studije istog smera.