

Pravljenje rasporeda smena za kontrolore letenja svođenjem na CSP, SAT i probleme zasnovane na SAT problemu.

Mirko Stojadinović

Matematički fakultet
Univerzitet u Beogradu

ARGO seminar 02.07.2014.

Pregled

- 1 Uvod
- 2 Opis problema
- 3 Kodiranje i rešavanje problema
- 4 Zaključci i dalji rad

Motivacija

- Napraviti raspored smena za kontrolore letenja za aerodrom u Vršcu. Potrebno je da u svakom trenutku dovoljan broj kontrolora bude na svakoj poziciji i da budu zadovoljeni mnogi drugi uslovi.
- Cilj je ispuniti što više želja zaposlenima pa je ovo optimizacioni problem.
- Dati formalan opis problema jer do sada nije postojao u literaturi.
- Razviti više specifikacija problema i isprobati više različitih metoda i rešavača.
- Prilagoditi razne optimizacione tehnike ovom problemu.

Pozadina

- Problem raspoređivanja kontrolora je mnogo puta neformalno opisan u literaturi. Načini rešavanja i softver za rešavanje ovog problema nisu opisivani.
- Mnogi problemi raspoređivanja su već razmatrani u literaturi.
 - Raspoređivanje medicinskih sestara je detaljno proučavano. Međutim, najčešće se raspoređivanje vrši samo na nivou dana, a ne na nivou sata.
 - Pravljenje rasporeda časova je takođe dosta proučavan problem u kome se raspoređivanje vrši na nivou sata.
- Heuristike podrazumevaju lako nalaženje početnog rešenja koje dalje treba poboljšati. Problem koji mi razmatramo ima veoma veliki broj ograničenja koje se moraju zadovoljiti (*tvrda ograničenja*), a veoma mali broj opcionih ograničenja (*meka ograničenja*). Zato je vrlo teško prilagoditi heuristike navedena dva, kao i drugih problema.

Opis problema

- Potrebno je dodeliti smene kontrolorima u svim danima u periodu od mesec dana. Potrebno je i rasporediti kontrolore na pozicije u okviru smena.
- U jednom danu kontroloru se dodeljuje jedna od 3 vrste aktivnosti.
 - Jedna od više radnih smena u kojima je kontrolor na poslu od prvog do poslednjeg sata te smene.
 - Dani pauze su neophodni kontrolorima zbog stresnosti njihovog posla. Ovi dani ne podrazumevaju vikend kao kod većine drugih zanimanja već mogu biti bilo kog dana.
 - Svakom kontroloru je dostupan određen broj dana godišnjeg odmora.

Tvrda ograničenja koja se odnose na smene

- Kontrolor ne može raditi više od 2 dana za redom.
- Kontrolor ne može imati više od 2 dana pauze za redom.
- Kontrolor ne sme da radi više od određenog broja radnih sati u periodu od mesec dana.
- U svakom trenutku, na poslu mora da je prisutan jedan od kontrolora koji ima dozvolu da bude *šef smene*.
- Mnoga druga ograničenja.

Tvrda ograničenja koja se odnose na pozicije

- Postoje različite vrste pozicija: kontrolor može raditi na tornju ili u prilaznoj kontroli. Kontrolori mogu da rade samo na pozicijama za koje imaju dozvolu.
- U 2 uzastopna sata, kontrolor može biti na 2 različite pozicije.
- Posle najviše 3 uzastopna sata na poziciji, kontrolor mora imati barem sat pauze.
- U svakom satu, na svakoj poziciji mora da je prisutan određen (unapred određen) broj kontrolora.

Meka ograničenja

- Kontrolor može preferirati konkretnu radnu smenu ili neku od podgrupa radnih smena (npr. popodnevene smene).
- Kontrolor može želeći da što češće ima dva vezana dana pauze (npr. kontrolori koji ne žive u gradu gde rade).
- Kontrolor može želeći da što ređe ima dva vezana radna dana (ovo je obično želja starijih kontrolora).

Kodiranja problema

- Prvo kodiranje koristi ograničenja linearne aritmetike i *count* globalno ograničenje.
- Drugo kodiranje koristi samo ograničenja linearne aritmetike i slično je prvom. Razvijeno je jer neki rešavači ne podržavaju globalna ograničenja.
- Treće kodiranje koristi *Pseudo boolean* (PB) ograničenja, tj. ograničenja linearne aritmetike nad bulovskim promenljivama.

Optimizacija

- Za svaku želju kontrolora c uvedena je promenljiva $x_{c,i}$ koja odgovara toj želji, i pridružen ceo broj $w_{c,i}$ koji predstavlja težinu (značaj) te želje. Svaka od promenljivih $x_{c,i}$ uzima vrednost 0 ako je odgovarajuća želja ispunjena, a 1 ako nije.
- U sva tri kodiranja i za svakog kontrolora c formira se funkcija optimizacije oblika $opt(c) = \sum_{i=1}^{m_c} w_{c,i} \cdot x_{c,i}$. Cilj je ispuniti maksimalan broj želja po kontroloru, tj. naći minimalnu vrednost promenljive $cost$ tako da je za svakog kontrolora c :
 $opt(c) \leq cost$.

Prva tehnika rešavanja

- Prva tehnika koristi binarnu pretragu. Generiše se početna instanca sa fiksiranom vrednošću promenljive *cost* i pokreće rešavač na njoj.
- Ako se pronađe zadovoljivo rešenje, binarnom pretragom se određuje naredna (manja) vrednost promenljive *cost* za koju treba generisati instancu i početi rešavanje iz početka.
- Ako ne postoji rešenje, binarnom pretragom se određuje naredna (veća) vrednost promenljive *cost* za koju treba generisati instancu i početi rešavanje iz početka.
- Po završetku binarne pretrage nađeno je *optimalno rešenje*.

Druga tehnika rešavanja

- Druga tehnika je velikim delom ista kao prva.
- Razlika je što se posle svakog pronađenog rešenja lokalnom pretragom pokušava poboljšanje tog rešenja. Pokušava se sa razmenom smena.

Ime	Dan 1	Dan 2	Dan 3	Dan 4
Ana	2 (08-16)	4 (pauza)	2 (08-16)	3 (12-20)
Boban	4 (pauza)	3 (12-20)	3 (12-20)	4 (pauza)
Ceca	1 (04-12)	4 (pauza)	1 (04-12)	2 (08-16)
Dejan	4 (pauza)	3 (12-20)	5 (odmor)	5 (odmor)

Tabela 1: Primer rasporeda (samo smena) za 4 dana. Smene su 1 (04-12), 2 (08-16), 3 (12-20), 4 (dan pauze), 5 (dan odmora).

Treća tehnika rešavanja

- Treća tehnika je slična drugoj.
- Pretpostavka za ovu tehniku je da svi imaju dozvole za sve pozicije.
- Pokušava se sa pravljenjem manje popunjenog rasporeda u odnosu na nađeno rešenje. Cilj je dobiti veću fleksibilnost pri poboljšanju rasporeda.
- Fiksira se deo pronađenog rešenja i pokušava sa rešavanjem manjih instanci gde su ograničenja koja se odnose na pozicije zamenjena onim koja se odnose na smene.

Primer treće tehnike optimizacije

Dati rasporedi po pozicijama za 2 različita dana; T-toranj, P-prilazna kontrola.

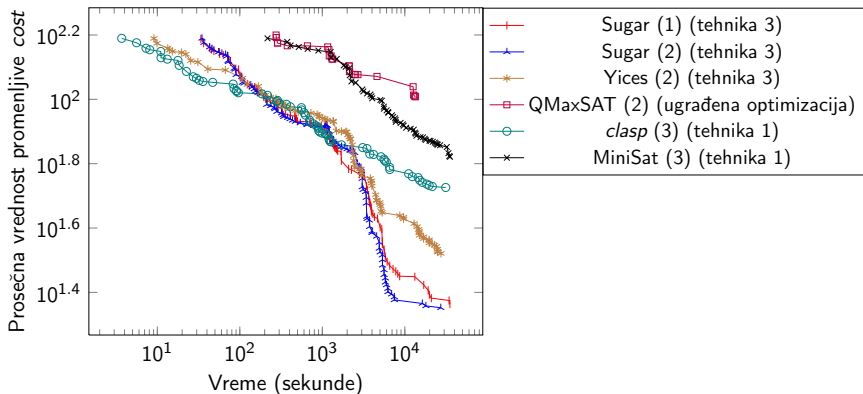
Ime	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15
Ana	T	T	T	-	P	P	-
Boban	P	P	-	P	T	-	T
Ceca	-	-	P	T	-	T	P
Dejan	-	-	-	-	-	-	-

Ime	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15
Ana	P	T	-	P	P	P	-
Boban	P	-	T	P	T	-	T
Ceca	-	P	P	T	-	T	P
Dejan	T	-	P	-	T	T	P

Metode rešavanja

- Korišćenjem savremenih CSP rešavača na instancama prva dva kodiranja.
- Svođenjem CSP instanci prva dva kodiranja na druge probleme: SAT, Partial MaxSAT i SMT.
- Direktno korišćenje PB i SAT solvera na instancama trećeg kodiranja.
- Rešavanje instanci drugog kodiranja preko sistema CPLEX.

Ekperimentalni rezultati



Slika 1: Prosečna postignuta vrednost promenljive *cost* tokom vremena na 13 instanci problema.

Zaključci i dalji rad

Zaključci

- Problemi zasnovani na SAT problemu mnogo pogodniji za pravljenje rasporeda smena za kontrolore.
- Rešenja se značajno mogu unaprediti koristeći lokalnu pretragu u kojoj su pojedini delovi rešenja fiksirani.

Dalji rad

- Korišćenje drugih vrsta lokalnih pretraga.
- Pravljenje rasporeda koji je otporan na neočekivane događaje (npr. bolest zaposlenih)