

Organizacija rada sa klijentima u vanrednim uslovima COVID-19 uz pomoć programiranja sa ograničenjima

MIODRAG T. STRAK, Addiko Bank, Beograd
RAJNA M. LEČIĆ, Akademija tehničkih
strukovnih studija, Beograd

Prethodno saopštenje
UDC: 005.346
616.98:578.834
DOI: 10.5937/tehnika2102239S

U realnim uslužnim i proizvodnim sistemima često se javlja potreba donošenja odluka koje se tiču alokacije ograničenog broja vrsta i ograničene količine različitih resursa tokom vremena, u okviru zadatih aktivnosti, uz optimizaciju zadate funkcije cilja. Resursi mogu biti ljudi, mašine, sirovine, učionice i sl. Aktivnosti su skupovi operacija u nekom proizvodnom ili uslužnom procesu, kao što su ispiti, rad na mašini i sl. Alokacija resursa predstavlja problem od velikog praktičnog značaja kojim su se duže vreme bavili naučnici iz oblasti operacionih istraživanja. Matematički, alokacija resursa predstavlja problem optimizacije, gde su ograničenja u potpunosti poznata, kriterijum optimizacije jasno i tačno definisan, a sve se to odigrava u predvidljivim uslovima. Razvoj potpuno automatizovanih sistema za rešavanje problema alokacije se često odbacuje od strane krajnjih korisnika. Razlog mogu predstavljati ograničenja koja je, često, teško u potpunosti registrovati, kriterijume za odlučivanje je teško odrediti, a korisnici nisu eksperti u korišćenju kompleksnih matematičkih koncepata kao što su velike matrice matematičkog programiranja ili težinski faktori višekriterijumske optimizacije.

KLjučne reči: korisnički servis, programiranje sa ograničenjima, solveri

1. UVOD

Zadovoljstvo klijenata je jedan od najvažnijih, ako ne i ključni faktor konkurentnosti u velikom broju industrija. Kako se danas funkcionisanje velikog broja sistema u velikoj meri oslanja na primenu savremenih tehnologija, što utiče i na svakodnevni život klijenata, organizacijama koje rade sa klijentima ne nedostaju prilike za inovacije i poboljšanje usluga. Problemi, kao što su neadekvatna komunikacija ili nemogućnost da se odgovori na hitne potrebe, lako mogu uticati na sveukupni utisak klijenta i u ekstremnom slučaju do njegovog prelaska kod konkurencije.

Svaka organizacija koja radi sa klijentima, želi da svoje korisničke servise učini što pristupačnijim i efikasnijim za klijente, ali ujedno i profitabilnim. Ako se radi o organizacijama od javnog interesa, kao što su npr. zdravstvene ustanove, onda je jedan od važnih motiva funkcionisanje u okvirima planiranog budžeta, uz eventualne uštede. Da bi se to postiglo, neophodno je, između ostalog, ostvariti optimalnu alokaciju i isko-

rišćenje raspoloživih resursa.

Dobar raspored ljudi i opreme omogućava korišćenje resursa koje će dati optimalne ili, drugačije rečeno, najbolje rezultate po zadatom kriterijumu. Probleme alokacije čini skup zadataka i skup resursa kojima je potrebno upravljati. Rešavanje ovih problema otežano je pratećim zahtevima, izraženim kroz ograničenja koja su često sukobljena.

Alokacija resursa predstavlja problem diskretne optimizacije i spada u grupu NP-teških (nedeterministički u polinomijalnom vremenu teški - non-deterministic polynomial-time hardness). Ovi problemi predstavljaju klasu problema koji se neformalno nazivaju teški najmanje kao NP problemi.

Pronalaženje rešenja koja zadovoljavaju sva ograničenja, podrazumeva pretraživanje ogromnog prostora mogućih rešenja. Njegova veličina u slučaju alokacije najčešće je eksponencijalna u odnosu na veličinu problema.

2. RAD SA KLIJENTIMA U USLOVIMA COVID-19

Čitav svet se trenutno suočava sa vanrednom situacijom prouzrokovanom pandemijom COVID-19. Od velike važnosti je da se svi pridržavaju propisanih mera. Organizacije koje direktno rade sa klijentima u

Adresa autora: Miodrag Strak, Addiko Bank, Beograd, Milutina Milankovića 7v

e-mail: miodrag.strak@gmail.com

Rad primljen: 12.02.2021.

Rad prihvaćen: 13.03.2021.

obavezi su da posebnu pažnju posvete bezbednosti na radu i da zaštite, kako klijente tako i svoje zaposlene.

Mnoge zemlje objavile su smernice za rad sa klijentima u uslovima pandemije:

Velika Britanija <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5ef2889986650c12970e9b57/working-safely-during-covid-19-close-contact-041120.pdf>

Kanada - <https://www.canada.ca/en/public-health/services/diseases/2019-novel-coronavirus-infection/guidance-documents/risk-informed-decision-making-workplaces-businesses-covid-19-pandemic.html>

Finska - <https://www.ttl.fi/en/guidelines-to-the-service-industry-for-preventing-covid-19-infections/>

Neke od preporuka su:

- Analiza mogućnosti pripreme rasporeda pružanja usluga, uključujući i direktan kontakt sa klijentima, u cilju smanjenja interakcija, posebno u delu koji se odnosi na stvaranje redova ili pružanje usluga većem broju klijenata istovremeno.
- Pravovremeno informisanje klijenata (pre dolaska kod pružaoca usluge) o novim uslovima ponašanja u prostorijama gde se pruža usluga, kao i svim neophodnim uslovima i dokumentima koje klijenti moraju da pripreme da bi im usluga bila pružena u najkraćem mogućem roku. Na primer, informisati klijente preko internet sajta ili SMS porukom šta je sve od dokumentacije potrebno da pripreme unapred i ponesu. Na ovaj način smanjuje se mogućnost zastoja ili da klijent ne može da bude uslužen iako se pojavio u prostorijama pružaoca usluge, a predstavlja potencijalnog prenosioca virusa ili kao neko ko se može zaraziti.
- Određivanje pravaca kretanja u prostorijama u cilju smanjenja kontakata između klijenata.
- Pridržavanje mera održavanja distance u delu za čekanje, uz mogućnost primene „one-in-one-out“ principa.

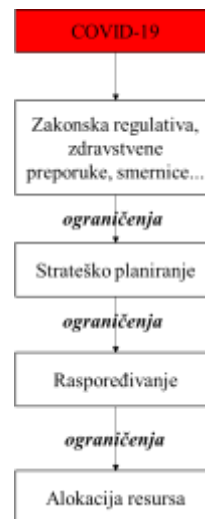
Da bi se ovo postiglo potrebno je obezbediti odgovarajuće uslove i pravilno alocirati neophodne resurse.

3. PROBLEM ALOKACIJE RESURSA

Planiranje, raspoređivanje i alokacija resursa u jednom sistemu su povezane aktivnosti, vremenski razdvojene, koje se odvijaju sekvencijalno.

To su razdvojene operacije koje su hijerarhijski poređane i odluke koje se donesu na jednom nivou, a na niži nivo se prenose kao ograničenja (slika 1) [1, 2, 3]. Planiranje je, po definiciji, proces kojim se definišu akcije u budućnosti radi postizanja odabranih ciljeva u realnim sistemima. Strožije, planiranje predstavlja izbor i uređenje aktivnosti tako da se postiže jedan ili više odabranih ciljeva i zadovoljava skup ograničenja [4].

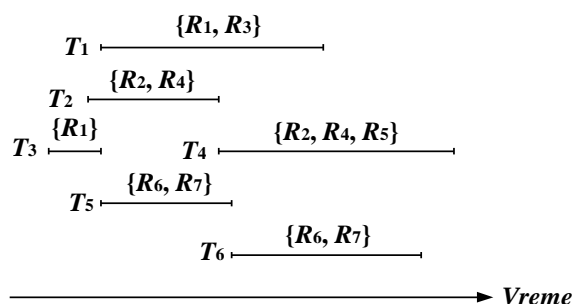
Alokacijom se vrši izbor između alternativnih planova i resursi dodeljuju aktivnostima u vremenu, vodeći računa o zavisnostima između aktivnosti i ograničenjima koja se tiču kapaciteta resursa. Opšti problem raspoređivanja podrazumeva utvrđivanje dopustivog redosleda po kome poslovi zauzimaju resurse. To znači odrediti raspored koji je dopustiv ili optimalan u odnosu na odabrane kriterijume. Raspoređivanje se u tom smislu može posmatrati kao podklasa problema planiranja koja svoju pažnju fokusira na alokaciju resursa u vremenu [4].



Slika 1 – Prenosenje ograničenja

Na primer, u jednoj organizaciji koja radi sa klijentima razlikuju se sledeći nivoi. Nabavka potrebnih materijala (medicinskih, za održavanje higijene itd.) stvar su politike organizacije i odvijaju se na nivou strateškog planiranja. Redovno održavanje prostorija ili raspoređivanje rada po smenama, odnose se na kraći period vremena, mesečno na primer. U još manjim vremenskim intervalima donose se odluke o alokaciji dostupnih resursa, kao što je termin kada će određeni klijent biti uslužen [1, 2, 3].

Problem alokacije resursa podrazumeva proces dodeljivanja slobodnih resursa R_i aktivnostima čije je vreme trajanja T_i poznato, tako da nijedan resurs nije angažovan za dve aktivnosti istovremeno (slika 2) [1, 2, 3].



Slika 2 – Alokacija resursa

Formalno, problem alokacije resursa (AR) može se izraziti na sledeći način [5]:

$$AR = (\{R_1, \dots, R_m\}, \{T_1, \dots, T_n\}) \quad (1)$$

gde su skupovi resursa $\{R_1, \dots, R_m\}$ i trajanja aktivnosti $\{T_1, \dots, T_n\}$ dati. Za svaku aktivnost, domen $D(T_i) \subseteq \{R_1, \dots, R_m\}$, predstavlja skup resursa koji se ovoj aktivnosti mogu dodeliti.

U opštem slučaju alokacije, aktivnosti koje se moraju izvršiti na određen način „konkurišu” za resurse koji se mogu ponovo upotrebiti. Svaka od aktivnosti koristi resurs tokom vremena izvršenja, nakon čega resursi postaju slobodni za ponovno korišćenje. Problem alokacije sastoji se u određivanju aktivnosti koje se mogu odigravati u istom trenutku vremena, ali tako da broj angažovanih resursa na njihovom izvršenju ne bude veći od ukupnog broja raspoloživih resursa [6].

Za svaku aktivnost postoji više mogućnosti u pogledu vremena izvršenja. Dužina trajanja aktivnosti može, ali ne mora, da zavisi od ukupnog broja angažovanih resursa. Kod pojedinih problema dužina trajanja aktivnosti uvek je ista.

Na primer, kod sastavljanja rasporeda časova u obrazovnim ustanovama tačno se zna dužina trajanja pojedinih predavanja i ona je uvek ista bez obzira na potrebne resurse. Sa druge strane, za aktivnosti u okviru nekog projekta, npr. izgradnje objekta, dužina trajanja zavisi od broja angažovanih resursa (npr. radnika).

Kod pružanja usluga takođe je teško predvideti tačno vreme rada sa određenim klijentom, ali se ono može proceniti na osnovu prethodnog iskustva ili primenom npr. redova čekanja.

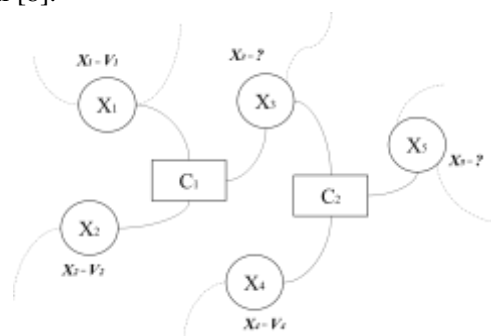
Problemi alokacije resursa ili opštije raspoređivanja, teški su za rešavanje iz više razloga [4]:

- problemi spadaju u kategoriju NP-teških problema, tj. nije poznat deterministički algoritam za rešavanje ovih problema koji će se okončati u polinomijalnom vremenu. S druge strane, prostor mogućih rešenja za većinu realnih problema je suviše veliki da bi metode neusmerenog pretraživanja bile izvodljive,
- napredne tehnike koriste različite efikasne heuristike za sužavanje prostora pretraživanja, ali ne garantuju pronalaženje rešenja koje je blisko optimalnom. Jasno je da je generisanje ovakvih heuristika vrlo komplikovano,
- generalni algoritamski pristup problemu nije moguć, jer partikularni slučajevi zahtevaju neka specijalna ograničenja, i
- ograničenja u realnim problemima su kompleksna i dinamička, i kao takva ne mogu se precizno reprezentovati, pa čak ni precizno opisati.

Kao što je ranije rečeno, samo jedna aktivnost može da koristi resurs u jednom trenutku vremena. Osim toga, veoma je važno voditi računa o zavisnosti između aktivnosti. Može se reći da se odnos između dve aktivnosti može opisati na tri načina [7]:

- aktivnost se završava pre početka druge aktivnosti (npr. na slici 2. aktivnosti T3 i T4),
- aktivnost se završava tačno u trenutku kada druga aktivnost počinje (T5 i T6), i
- dve aktivnosti se odvijaju uporedo (T2 i T5).

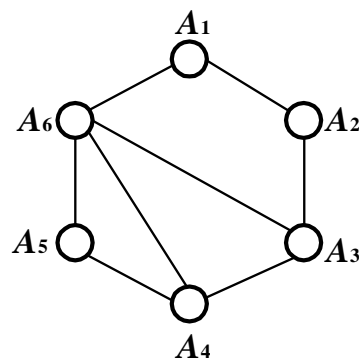
S obzirom na broj ograničenja koji prati rešavanje, problem alokacije resursa često se u literaturi predstavlja kao problem mreža ograničenja (slika 3) gde aktivnosti predstavljaju promenljive, a resursi su vrednosti [8].



Slika 3 – Mreža ograničenja

Najvažnije od svih ograničenja je da se neki resurs može dodeliti većem broju aktivnosti samo pod uslovom da se vreme njihovog izvršavanja ne preklapa. Aktivnosti se dele u grupe onih koje se međusobno isključuju. Ove grupe čine kompletnu mrežu u skladu sa binarnim ograničenjima. Svaka vrednost (resurs) može se dodeliti samo jednoj promenljivoj (aktivnosti) iz grupe onih koje se međusobno isključuju [8].

U teoriji grafova problem alokacije resursa definiše se kao problem intervalskog bojenja čvorova grafa [3, 9, 10, 11]. Čvorovi predstavljaju aktivnosti (A_i), a grana povezuje dva čvora, ukoliko se odgovarajuće aktivnosti u bilo kom delu odvijaju istovremeno (slika 4).



Slika 4 – Alokacija resursa kao problem intervalskog bojenja čvorova grafa

Za rešavanje ovih problema u poslednje vreme se sa velikim uspehom koriste metode zasnovane na ograničenjima.

4. RESURSI I OGRANIČENJA U RADU SA KLIJENTIMA

U realnim uslužnim sistemima odluke se često donose u uslovima ograničenog broja vrsta i ograničene količine različitih resursa. Ograničena raspoloživost resursa stvara probleme u planiranju aktivnosti što često dovodi do nepovoljnog raspoređivanja resursa u vremenu.

Što se resursa tiče, oni se dele u dve kategorije: obnovljivi (renewable, reusable) i potrošni (consumable).

Obnovljivi resursi su oni koji se mogu ponovo koristiti i nakon korišćenja u periodu izvršenja neke aktivnosti. Obnovljivi resursi se često dele na unarne (unary), diskretne (discrete) i kontinualne (continuous). Unarni su oni kojih ima samo u jednom primerku, na primer, u zdravstvenim ustanovama često se dešava da postoji samo jedan skener. Diskretni su oni koji se koriste u jednom komadu. Lekar ili blagajnik u banci ne mogu da se dele. Kontinualni resursi su oni koji se mogu koristiti u proizvoljnim količinama [12].

Svaka aktivnost ima svoje trajanje i skup potrebnih resursa. Ovaj skup može se podeliti na nekoliko podskupova nazvanih grupe resursa [7, 13]. Svaka od ovih grupa može biti konjunktivna ili disjunktivna. Konjunktivna grupa označava grupu resursa od kojih je svaki potreban za izvršavanje aktivnosti. Disjunktivna grupa znači da je za aktivnost potreban samo jedan od resursa iz grupe.

Na primer, pregled u zdravstvenoj ustanovi zavisi od više resursa. Pregled bolesnika se izvodi po utvrđenom rasporedu. Da bi se pregled održao u predviđenom terminu nije potrebno da dođu svi bolesnici, pa se može smatrati da ovaj resurs pripada disjunktivnoj grupi. Sa druge strane, pregled je teško zamisliti bez lekara ili odgovarajuće ordinacije, što ove resurse svrstava u konjunktivnu grupu.

5. PRIMENA PROGRAMIRANJA SA OGRANIČENJIMA U ORGANIZACIJI RADA SA KLIJENTIMA

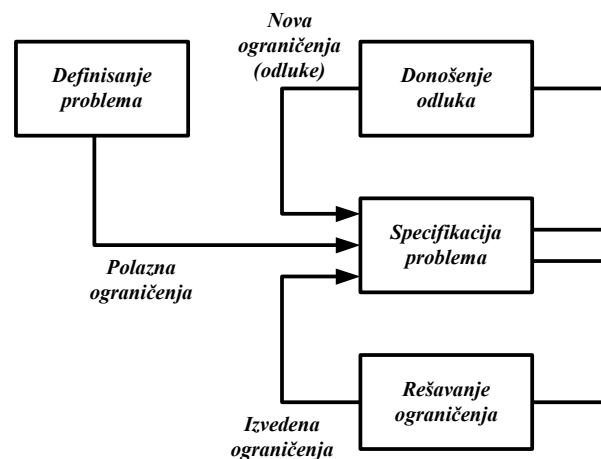
Generalno, o ograničenju se može razmišljati kao o restrikciji vezanoj za prostor mogućih rešenja. Matematička ograničenja su tačno definisane relacije između više nepoznatih (promenljivih), koje svoje vrednosti dobijaju iz datih domena. Ograničenja ograničavaju moguće vrednosti koje promenljiva može da dobije i predstavljaju prirodan medijum za formalizovanje pravila kojima se omogućava veza između prirodnog, fizičkog sveta i njegove matematičke apstrakcije, što

datira još od vremena Euklidove geometrije, a možda i pre [14]. Na primer, zbir tri ugla trougla je uvek 180 stepeni, četiri baze koje čine lanac DNK mogu se kombinovati samo po tačno određenom redosledu, stubovi nekog mosta mogu da izdrže tačno definisano statičko i dinamičko opterećenje,...

Programiranje sa ograničenjima (Constraint Programming - CP) predstavlja računarski sistem baziran na ograničenjima. To je rezultat vekovima starih razmišljanja o analizi i zaključivanju u matematici uz dodatak nekoliko savremenih tehnika, opštih jezika za predstavljanje u računaru na primer, a sve to u svrhu izrade i implemetacije programskog sistema, modeliranja i rešavanja problema u različitim domenima.

Osnovu ovog sistema čine dva nivoa. Prvi se uopšteno definiše kao sistem ograničenja, odnosno sistem zaključivanja na osnovu parcijalnih informacija, baziran na nekim osnovnim operacijama: propagaciji, pozivanju, zadovoljenju, normalizaciji i optimizaciji. Drugi nivo čini programski jezik koji dozvoljava korisniku da opiše informacije o ograničenjima, koja od njih treba generisati, kako se ona mogu obrađivati ili kombinovati i sl. Uz pomoć ova dva nivoa korisniku je omogućen okvir za generisanje, manipulaciju i testiranje ograničenja, uz očuvanje njihove deklarativnosti. Ova realizacija jedinstvenog okvira može se koristiti zajedno sa nekoliko drugih opštih sistema, što nalazi široku primenu.

Faze u radu sistema zasnovanog na ograničenjima opisane su na slici 5 [15]. Može se videti da su definisanje problema, rešavanje ograničenja i proces donošenja odluka jasno razdvojene celine. Problem se definiše uz pomoć promenljivih i odgovarajućih ograničenja. Korisnik najčešće koristi unapred definisana ograničenja koja važe za određeni domen (ograničenja nad celobrojnim vrednostima, konačnim skupovima,...) za koje već postoje algoritmi koji problem rešavaju. U procesu donošenja odluka definiše se način kojim se u sistem dodaju nova ograničenja.



Slika 5 – Faze rada sistema sa ograničenjima

U jednom sistemu zasnovanom na ograničenjima ključno je razdvajanje procesa rešavanja ograničenja od ostalih delova. Na ovaj način omogućeno je korišćenje istih algoritama na različite probleme sa sličnim ograničenjima [15].

Posebnu grupu čine jezici za modeliranje koji koriste logičke konstrukcije. U ovu grupu spadaju jezici logičkog programiranja sa ograničenjima (Constraint Logic Programming - CLP) i konkurentnog programiranja sa ograničenjima (Concurrent Constraint Programming - CCP) o kojima će više reči biti kasnije.

Veliku prednost korišćenja CP programiranja u odnosu na ostale metode predstavlja korišćenje ograničenja za redukovanje vremena potrebnog za rešavanje problema. Ograničenja se koriste ne samo za proveru tačnosti rešenja, kao u konvencionalnim programskim jezicima, već i za rešavanje problema kroz proces detektovanja nekonzistentnosti [16].

U ovom radu razmatra se opšti problem organizacije procesa usluživanja klijenata, gde je potrebno uslužiti veliki broj klijenata na više različitih mesta. Na primer, u zdravstvenim ustanovama, korisnici zdravstvenih usluga, posebno oni koji su došli na pregled u vezi sa COVID-19, prolaze više tačaka, počev od predaje dokumentacije, merenja temperature, osnovnog pregleda, pregleda na skeneru itd. Sve ovo se odvija uz poštovanje propisanih mera – odnosno ograničenja. Neke od ovih aktivnosti mogu se odvijati paralelno za više pacijenata, npr. merenje temperature, dok je snimanje moguće npr. samo na jednom skeneru.

Svaki korak u pregledu sastoji se od sekvence određenih aktivnosti koje se moraju izvesti po određenom redosledu. Problem je rasporediti sve predviđene resurse i aktivnosti tako da se minimizira vreme trajanje pregleda.

Neka osnovna ograničenja koja se moraju uzeti u obzir prilikom rešavanja problema su:

- Aktivnost ne može započeti pre završetka prethodne aktivnosti (npr. pacijent ne može da dođe u fazu pregleda skenerom dok ne bude prikupljena sva potrebna dokumentacija);
- Jedan resurs usluživanja može biti dodeljen samo jednom klijentu u određenom vremenskom trenutku (jedan lekar može pregledati samo jednog pacijenta);
- Jednom započeta aktivnost mora se sprovesti od početka do kraja;

Izrada ovakvog plana, npr. pregleda pacijenata, praćena je velikim brojem ograničenja. Neophodno je voditi računa da je za određene periode rada potrebno obezbediti određeni, minimalan broj resursa [17].

U mnogim organizacijama kao što su bolnice, hoteli i druge uslužne organizacije, zaposleni obavljaju svoje poslove po smenama. U pojedinim slučajevima

radnici obavljaju svoje poslove u stalnim smenama, a u nekim preduzećima osoblje se upošljava u skladu sa rasporedom koji se sastavlja periodično. Na ovaj proces utiče dosta parametara: pravila organizacije preduzeća, zahtevi osoblja, unapred poznata dostupnost radnika itd.

Kompleksnost pravila planiranja i uzimanje u obzir velikog broja parametara čine proces planiranja neefikasnim i podložnim greškama, naročito ako se proces planiranja radi ručno. Zato oni koji su zaduženi za izradu planova koriste različite računarske programe. Mnogi od ovih programa pružaju samo grafički interfejs za ručno sastavljanje planova.

Poslednjih godina dosta je učinjeno na planu razvoju okruženja za automatsko rešavanje ovog problema [18, 19].

Za navedeni primer organizacije zdravstvenog pregleda svaka aktivnost je obeležena parom (m, p), gde m predstavlja redni broj mesta pregleda koji pacijent mora da prođe, a p predstavlja procenjeno vreme zadržavanja na određenom mestu. Brojanje mestapunktova i vremena počinju od nule.

- Pacijent 0 = [(0, 2), (1, 2), (2, 3)]
- Pacijent 1 = [(0, 2), (1, 2), (2, 3)]
- Pacijent 2 = [(1, 2), (2, 4)]

U ovom primeru Pacijent 0 mora, u zavisnosti od početne procene stanja, da prođe tri mesta pregleda:

- Mesto 0, sa procenom vremena od 3 vremenske jedinice
- Mesto 1, sa procenjenim vremenom zadržavanja od 2 vremenske jedinice
- Mesto 2, sa zadržavanjem od 2 vremenske jedinice.

Na primer, mesto 0 je predaja dokumentacije, mesto 1 merenje temperature i mesto 2 osnovni pregled. Za pacijenta 2 je utvrđeno da se radi o hitnom slučaju i da je neophodno odmah izmeriti temperaturu (1 vremenska jedinica) i nakon toga izvršiti detaljniji pregled (4 vremenske jedinice).

Ovakav primer se može predstaviti i grafički kao na slici 6.



Slika 6 – Grafički prikaz problema

Za rešavanje problema korišćen je programski jezik Python i CP-SAT Solver koje je razvio Google (https://developers.google.com/optimization/cp/cp_solver) u okviru projekta OR-Tools (<https://developers.google.com/optimization>).

OR-Tools je softver otvorenog koda, kreiran za rešavanje najtežih problema optimizacije. Nakon modeliranja problema u programskom jeziku po izboru (Python, Java...), na raspolagju je veliki broj solvera. Mogu se koristiti komercijalna rešenja Gurobi ili CPLEX, ali i open-source solveri kao što SCIP, GLPK ili Google GLOP i CP-SAT.

Sledećim Python kodom deklarisan je model za rešavanje problema:

```
# Import Python CP-SAT solvera.
from ortools.sat.python import
cp_model

def MinimalJobshopSat():
    # Kreiranje modela.
    model = cp_model.CpModel()
    Potom je definisan opisani problem:
    podaci_pacijenata = [
        # pregled = (mesto_id,
    vreme_zadržavanja).
        [(0, 2), (1, 2), (2, 3)],
        # Pacijent0
        [(0, 2), (1, 2), (2, 3)],
        # Pacijent1
        [(1, 4), (2, 3)]
        # Pacijent2
    ]
```

Nakon izvršavanja programa dobija se sledeće rešenje:

```
Optimal Schedule Length: 11

Optimal Schedule

Mesto      0:      pacijent_0_0
pacijent_1_0
Mesto      1:      pacijent_2_0
pacijent_0_1  pacijent_1_2
Mesto      2:      pacijent_1_1
pacijent_0_2  pacijent_2_1

Task Time Intervals

Mesto 0: [0, 3]      [3, 5]
Mesto 1: [0, 4]      [4, 6]      [7, 11]
Mesto 2: [5, 6]      [6, 8]      [8, 11]
```

6. ZAKLJUČAK

Probleme alokacije resursa čine skup aktivnosti i skup resursa. U opštem slučaju, potrebno je

aktivnostima dodeliti resurse, ali tako da nisu istovremeno angažovani za potrebe više aktivnosti.

Za rešavanje ovih problema koristile su se brojne tehnike i metode. Matematičko i celobrojno programiranje, genetski algoritmi, simulirano kaljenje, tabu pretraživanje i bojenje čvorova grafa, samo su neke od tehnika korišćenih za rešavanje ovog problema.

Programiranje sa ograničenjima predstavlja poseban računarski sistem zasnovan na ograničenjima. On predstavlja uobličavanje vekovima starih zapažanja proisteklih iz analize i zaključivanja, u matematičke strukture sa nekoliko modernih dodataka. CP potiče iz veštačke inteligencije, tačnije radova iz ove oblasti koji su se pojavili šezdesetih i sedamdesetih. Za rešavanje realnih problema alokacije resursa korišćene su brojne tehnike iz oblasti operacionih istraživanja. Značajan napredak učinjen je primenom metoda zasnovanih na ograničenjima. Prednost korišćenja ovih metoda, u odnosu na klasične metode operacionih istraživanja nije samo u performansama sistema. Programiranje sa ograničenjima, osim toga, pruža i veliku fleksibilnost i otvorenost.

Jedno od ključnih pitanja u CP sistemima je pitanje zadovoljivosti ograničenja. Odgovor na to pitanje daju solveri, algoritmi razvijeni za posebne domene. Za korisnika je najvažnije da pronade i primeni odgovarajući solver koji najbolje odgovara zahtevima problema. U ovom radu korišćen je Python CP-SAT solver koji je razvio Google.

LITERATURA

- [1] Choueiry B. Y, Faltings B, Interactive Resource Allocation by Problem Decomposition and Temporal Abstractions, Technical Report No. TR-94/43, Département d'Informatique, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Switzerland, 1994. Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/282-0911_Interactive_Resource_Allocation_by_Problem_Decomposition_and_Temporal_Abstractions
- [2] Choueiry BY, Faltings B, Using Abstractions for Resource Allocation, *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Nagoya, Japan, pp. 1027-1033 vol.1, 21-27 May 1995.
- [3] Choueiry BY, Faltings B, Noubir G, Abstraction Methods for Resource Allocation, Technical Report No. TR-94/47, Département d'Informatique, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Switzerland, 1994. Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/2739243_Abstraction_Methods_for_Resource_Allocation
- [4] Mladenović S, *Razvoj algoritama dinamičkog raspoređivanja u železničkom saobraćaju – doktorska disertacija*, Fakultet organizacionih nauka, Beograd, 2003.

- [5] Choueiry BY, Noubir G, Faltings B, Blending AI and Mathematics: the Case of Resource Allocation, *Fourth International Symposium on Artificial Intelligence and Mathematics AI-MATH'96*, Fort Lauderdale, pp. 32–37, 1996.
- [6] Bar-Noy A, Bar-Yehuda R, Freund A, Naor J, Schieber B, A Unified Approach to Approximating Resource Allocation and Scheduling, *Journal of the ACM*, Vol. 48, No. 5, pp. 1069–1090, September 2001.
- [7] Müller T, Bartak R, Interactive timetabling, *Proceedings of ERCIM Workshop on Constraints*, Prague, Czech Republic, 18-20 June 2001.
- [8] Meisels A, Ovadia E, Assigning Resources to Constrained Activities, *Practice and Theory of Automated Timetabling III, Third International Conference PATAT 2000*, Konstanz, Germany, pp. 213-216, August 16-18 2000.
- [9] Cvetković D, Čangalović M, Dugošija Đ, Kovačević-Vujčić V, Simić S, Vuleta J, *Kombinatorna optimizacija*, Društvo operacionih istraživača – DOPIS, Beograd, 1996.
- [10] Čangalović M, Kovačević-Vujčić V, Ivanović L, Dražić M, Modeling and Solving a Real-Life Assignment Problem at Universities, *European Journal of Operational Research*, Vol. 110, pp. 223-233, 1998.
- [11] Čangalović M, Schreuder JAM., Exact Colouring Algorithm for Weighted Graphs to Timetabling Problems with Lectures of Different Lengths, *European Journal of Operational Research*, Vol. 51, pp. 248-258, 1991.
- [12] Haslum P, Geffner H, Heuristic Planning with Time and Resources, *6th European Conference on Planning ECP'01*, Toledo, Spain, pp. 121-132, 12-14 September 2001.
- [13] Baptiste P, Le Pape C, Disjunctive Constraints for Manufacturing Scheduling: Principles and Extensions, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 9, No. 4, pp. 306-310(5), July 1996.
- [14] Constraint programming, The Constraint Programming Working Group, ACM-MIT SDCR Workshop, 1996. Dostupno na: <https://www.cs.ubc.ca/~mack/Publications/ACMCS98.pdf>
- [15] Baptiste P, *A Theoretical and Experimental Study of Resource Constraint Propagation*, Université de Technologie de Compiègne, UMR CNRS 6599 Heudiasyc, 1998.
- [16] Le Pape C, Implementation of Resource Constraints in Ilog Schedule: A Library for the Development of Constraint-Based Scheduling Systems, *Intelligent Systems Engineering*, Vol. 3 (2), pp. 55-66, Summer 1994.
- [17] Cheng BMW, Lee JHM, Wu JCK, A constraint-based nurse rostering system using a redundant modeling approach, Technical report (published), Department of Computer Science and Engineering, The Chinese University of Hong Kong, 1996. Dostupno na: <http://www.cse.cuhk.edu.hk/~jlee/publ/96/nurse.ps.gz>
- [18] Krajewski LJ, Ritzman L. P., *Operations management – Strategy and Analysis*, Fourth Edition, Addison-Wesley Publishing Company, 1996.
- [19] Nikolić S, Strak M, Implementation of Complex Projects Using Constraint Programming, *The International Scientific Journal of Management Information System*, Vol. 7, No. 3, pp. 11-19, 2012.

SUMMARY

ORGANIZATION OF WORK WITH CLIENTS IN THE COVID-19 EMERGENCY CONDITIONS USING CONSTRAINT PROGRAMMING

In real service and production systems, there is often a need to make decisions regarding allocation of limited number of types and amounts of different resources over time, within the given activities, with the optimization of the given goal function. Resources can be people, machines, raw materials, classrooms etc. Activities are sets of operations in a production or service process, such as exams, machine work etc. Resource allocation is a problem of great practical importance that has long been addressed by scientists in the field of operational research. Mathematically, resource allocation is an optimization problem, where the limitations are fully known, the optimization criteria are clearly and precisely defined and all this takes place in predictable conditions. The development of fully automated systems for solving allocation problems is often rejected by end users. The reason may be limitations that are often difficult to fully register, decision criteria are difficult to determine, and users are not experts in using complex mathematical concepts such as large matrices of mathematical programming or weighting factors of multicriteria optimization.

Key words: customer service, constraint programming, solvers