

OPERATIVNO UPRAVLJANJE PRIMENOM DISPEČIRANJA

*Nenad P. Bjelić, "Modeli operativnog upravljanja pretovarnim sistemima sa distribuiranim resursima",
Magistarski rad, Saobraćajni fakultet Beograd (2009)*

- Dispečiranje se može definisati kao strategija upravljanja sistemima zasnovanim na transportnim / pretovarnim sredstvima na takav način da se sa svakom pojavom vrši dodela zahteva slobodnom sredstvu koje će ga i realizovati.
- Da bi se dispečiranjem i upravljalo sistemom, definišu se pravila na osnovu kojih se donose odluke o realizaciji dispečiranja.
- U zavisnosti od konkretnog pravila koje je primenjeno, trenuci u kojima se vrši dodela zahteva sredstvima ne moraju biti ograničeni samo na one
 - *u kojima se zahtev javlja*, već se može realizovati i
 - *u trenutku kada se završi opsluga zateva*, ili
 - *kada vozilo dođe do mesta gde je predviđeno za parking* slobodnih, ili
 - *bilo koja druga situacija predviđena pravilom* dispečiranja

- Dva su osnovna razloga zbog kojih se upravljanje sistemima vrši korišćenjem pravila dispečiranja:
 - Prvo, proces dispečiranja ne zahteva informacije o zahtevima za opslugom pre nego se oni pojave, (tj. nije osetljiv na stohastičnost procesa kojima upravlja).
Naime, ova strategija podrazumeva da se tek po pojavi zahteva prikupljaju informacije o stanju sistema (statusima i pozicijama vozila, stanju saobraćajnica i sl.) i na osnovu tih podataka vrši dodela zadatka uz istovremeno vođenje računa o ciljnoj funkciji sistema.
 - Drugo, korišćenje dispečiranja je lako za implementaciju jer se po pravilu bazira na jednostavnim pravilima koja su razumljiva svima koji su na bilo koji način uključeni u rad sistema.
- Logična posledica primene jednostavnih pravila i uključivanja u odluku podataka o samo jednom zahtevu jednovremeno je i osnovni nedostatak ovakvog načina upravljanja, a to je postizanje znatno lošije vrednosti ciljne funkcije sistema u odnosu na dinamičko upravljanje sa postojanjem planskog perioda
- U odnosu na način na koji se donose odluke u procesu dispečiranja mogu se razlikovati decentralizovano i centralizovano upravljanje

Decentralizovano upravljanje

- Ovakav način upravljanja podrazumeva da odluke o dispečiranju donose sama vozila na osnovu informacija kojima samostalno raspolažu, pri čemu ne postoji komunikacija i razmena informacija između vozila.
- Generalno, za ovakav način upravljanja može se reći da ne primenjuje princip dodele zahteva sredstvima, već da sredstva samostalno preuzimaju realizaciju zahteva.

- Funkcionisanje ovih sistema podrazumeva postojanje kontrolera na samim sredstvima, pri čemu oni izvršavaju unapred definisan sled aktivnosti na način da kada su uslovi za preuzimanje zahteva ispunjeni, vozilo zahtev i preuzima.
- Osnovna prednost decentralizovanog načina upravljanja je njegova jednostavnost, ali velika neefikasnost predstavlja neprebroddiv problem i uzrok ne tako rasprostranjene primene.
- Jedna od najjednostavnijih primena ovog koncepta dispečiranja je ona kod koje se vozilo kružno kreće. Jedan od primera (razmatran od strane Bartholdi and Platzman (1989)) bio bi kretanje vozila sa kapacitetom od tri jedinice tereta koje se kreće kružnom putanjom, zahvatajući teret prema **FEFS (First-Encountered-First-Served – prvi “uočen” teret – prvi na koji sredstvo naiđe)** pravilu.

Dakle, kada na tovarnom prostoru ima praznog mesta, zahvata se prva jedinica tereta na koju se pri kretanju naiđe i transportuje se do definisne pozicije odlaganja.

Pravila dispečiranja pri decentralizovanom upravljanju

Kretanje-po-fiksnoj-putanji	FPVDR - Fixed Path Vehicle Dispatch Rule
Modifikovano-kretanje-po-fiksnoj-putanji	MFPVDR - Modified Fixed Path Vehicle Dispatch Rule
Prvi-uočen-prvi-opslužen	FEFS - First Encountered First Served

Centralizovano upravljanje

- Ovakav način upravljanja podrazumeva da se podaci o sistemu nalaze u jedinstvenoj bazi podataka centralnog kontrolera i da radom celog sistema, pa i procesom dispečiranja, upravlja upravo centralni kontroler.
- U kontroleru su smeštena definisana pravila, kao i vrste događaja koje iniciraju proces dispečiranja.
- Obzirom na značaj koji pravila dispečiranja imaju za performanse operativnog upravljanja ona su uvek predstavljala polje koje je bilo interesantno istraživačima, tako da je prisutan veliki broj radova koji se bavi ovom oblašću. Kao posledica toga javlja se i veliki broj pravila dispečiranja *) ali i veliki broj podela ovih pravila prema njihovim karakteristikama.
- Pregled većine pravila dispečiranja u sistemima unutrašnjeg transporta analiziranih u relevantnoj literaturi i njihova pripadnost pojedinim klasama pravila je data u tabeli

Pravilo (srpski)	Pravilo (engleski)	Inicijativa		Promena dodele
		Zahtev	Sredstvo	
Prvi-došao-prvi-opslužen	FCFS - First Come First Served		<input checked="" type="checkbox"/>	
Modifikovan-prvi-došao-prvi-opslužen	MFCFS - Modified First Come First Served		<input checked="" type="checkbox"/>	

* Možda najsveobuhvatniji pregled pravila koja se koriste u upravljanju proizvodnim procesom, među kojima se nalaze i ona pravila od kojih su potekle ideje za većinu pravila upravljanja sredstvima unutrašnjeg transporta, nalazi u radu *S.S.Panwalkar, W.Iskander, A Survey of Scheduling Rules, Operations Research 25/1 (1977), str. 45-61* gde je obrađeno preko stotinu pravila o aktiviranju proizvodnog procesa.

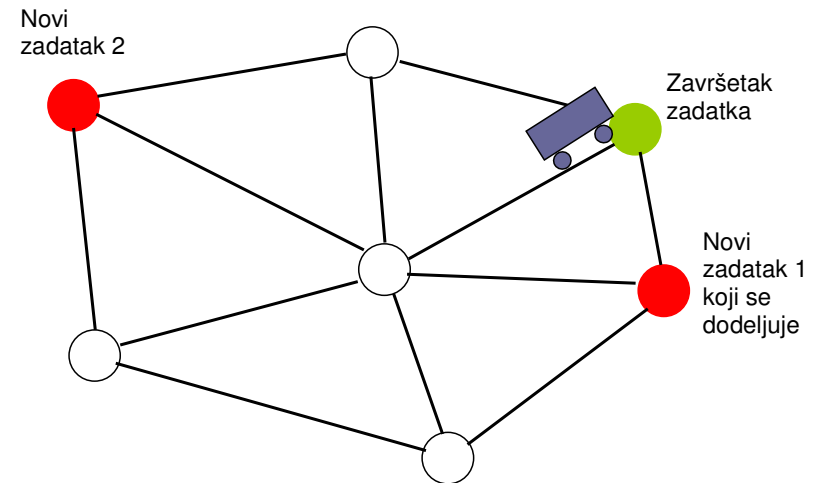
MODifikovan-prvi- došao-prvi-opslužen	MODFCFS - Modified First Come First Served		<input checked="" type="checkbox"/>	
Najkraće- rastojanje(vreme)- prvo	STT(D)F - Shortest Travel Time(Distance) First		<input checked="" type="checkbox"/>	
Modifikovano- najkraće-rastojanje- prvo	MODSTT/DF –Modified Shortest Travel Time (Distance) First	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Najveće- rastojanje(vreme)- prvo	LTTF - Largest Travel Time(Distance) First		<input checked="" type="checkbox"/>	
Najduži-izlazni-red	MOQS - Maximum Outgoing Queue Size		<input checked="" type="checkbox"/>	
Najduži-ulazni-red	MIQS - Maximum Input Queue Size		<input checked="" type="checkbox"/>	
Najmanje-preostalih- mesta-u-izlaznom- redu	MROQS - Minimum Remaining Outgoing Queue Space		<input checked="" type="checkbox"/>	
Najmanje-preostalih- mesta-u-ulaznom- redu	MRIQS - Minimum Remaining Input Queue Space		<input checked="" type="checkbox"/>	
Najduže-vreme- čekanja	MWT - Maximum Waiting Time		<input checked="" type="checkbox"/>	
Najbliže- sredstvo - prvo	NVF - Nearest Vehicle First	<input checked="" type="checkbox"/>		

Najdalje- sredstvo - prvo	FVF - Furthest Vehicle First	<input checked="" type="checkbox"/>		
Najduže-slobodno-sredstvo -prvo	LIVF - Longest Idle Vehicle First	<input checked="" type="checkbox"/>		
Najmanje-iskorišćeno- sredstvo	LUV - Least Utilized Vehicle	<input checked="" type="checkbox"/>		
Slučajno-izabrano-sredstvo	RV - Random Vehicle	<input checked="" type="checkbox"/>		
Naizmenično-birano-sredstvo	RRV - Round Robin Vehicle	<input checked="" type="checkbox"/>		
Prvo-slobodno-sredstvo	FAFV - First Available Free Vehicle	<input checked="" type="checkbox"/>		
Dinamičko-dispečiranje-zasnovano-na-ponudi	B²D² - Bid Based Dinamic Dispatching	<input checked="" type="checkbox"/>		
Najbliže- sredstvo - prvo-sa-preraspodelom	NVF_R - Nearest Vehicle First with Reassignment	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Najbliže-vozilo-prvo-sa-preraspodelom-i-otkazima	NVF_RC - Nearest Vehicle First with Reassignment and Cancelation	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

JEDNOKRITERIJUMSKA PRAVILA

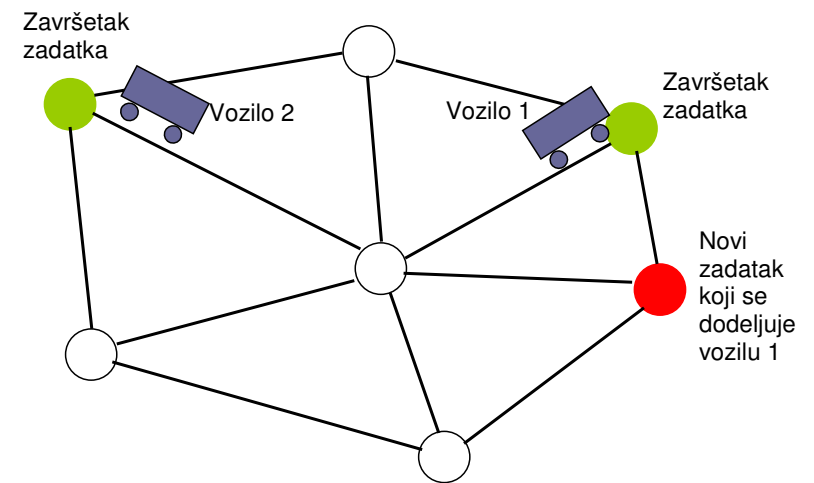
Najkraće- vreme (rastojanje) - prvo - STT(D)F

- Ovo je pravilo koje **za cilj ima minimizaciju praznih vožnji vozila do sledećeg zadatka. Realizuje se u trenutku završetka prethodnog**, kada se sredstvu koje je završilo opslugu dodeljuje sledeći zadatak na način da se od svih zadataka koji nisu dodeljeni nekom drugom sredstvu odabira onaj koji je najbliži trenutnoj lokaciji sredstva. Ovo heurističko pravilo se pokazalo kao vrlo efikasno, jer se na ovaj način, minimizacijom praznih vožnji znatno povećava dostupnost sredstava zadacima, što je, kao što je ranije napomenuto, jedan od mogućih ciljeva pretovarnih (transportnih) sistema.
- Loša karakteristika primene ovog pravila je posledica njegove osetljivosti na layout i pozicije utovarno istovarnih stanica u okviru sistema u kome funkcioniše (Egbelu i Tanchoco, 1984). Naime, ukoliko postoji otpremna stanica koja je izdvojena od dopremnih stanica, postoji velika verovatnoća da zahtev za opslugom izdvojene stanice bude veoma retko izabran. Ovo je naročito slučaj ukoliko su zahtevi na ostalim otpremnim stanicama pojavljuju sa velikim intenzitetom, tako da uvek postoji zahtev na stanici koja je bliža od distancirane stanice.



Najbliže-vozilo-prvo – NVF

- I ovo pravilo, kao i STTF, ima za **cilj minimizaciju praznih vožnji sredstava pri realizaciji sledećeg zadatka**. Osnovna razlika je u trenutku u kome se inicira realizacija ovog pravila jer se **NVF realizuje u trenutku pojave zahteva**. Iz ovoga sledi i da je ovo pravilo znatno manje osetljivo na položaj stanica jer se, ukoliko u trenutku pojave zahteva postoji bar jedno slobodno vozilo, ne može desiti da otpremna stanica ne bude opslužena. Ukoliko postoji više slobodnih vozila, bira se ono koje je najbliže zahtevu za opslugom.
- Nepostojanje ni jednog slobodnog vozila podrazumeva da se ovaj zahtev stavlja na listu nedodeljenih zahteva i čeka da se neko vozilo oslobodi. Kada neko od vozila završi prethodni zadatak primenjuje se neko od vozilom iniciranih pravila čijom realizacijom se ovom zahtevu dodeljuje sredstvo koje će ga opslužiti. **Iz ovoga sledi da, za slučaj primene jednokriterijumskih pravila dispečiranja, funkcionisanje jednog sistema podrazumeva primenu i vozilom i zahtevom iniciranih pravila dispečiranja**. Kod drugih klasa pravila dispečiranja, opisanih u nastavku, ovo nije slučaj jer se sva dodeljivanja vrše u trenutku pojave zahteva.



Prvi-došao-prvi-opslužen – FCFS

- Ovo je svakako najpoznatija strategija biranja zahteva koji će se sledeći opsluživati od strane servera. Sreće se u svim sistemima u kojima postoji red čekanja a u literaturi se može naći pod raznim imenima (FIFO – First In First Out, FEFO – First Entered First Out), ali bez suštinske razlike u postupku biranja sledećeg zahteva za opslugu. Naime, princip koji se primenjuje je da se kao sledeći zahtev za opslugu bira **onaj zahtev čije je vreme pojave najranije, tj. onaj zahtev koji najduže čeka na opslugu**. Obzirom da je reč o pravilu iniciranom od strane vozila, ono predstavlja alternativu STTF pravilu. Njegovom primenom se eliminiše mogućnost da se jedna otpremna stanica ne opslužuje na račun drugih (bližih) stanica, ali se smanjuje efikasnost sistema u smislu praznih vožnji, koje su u ovom slučaju duže, a sa velikom verovatnoćom se povećava i prosečno vreme čekanja zahteva na opslugu. Zbog toga se može reći da je **ovo pravilo efikasno ukoliko se želi postići minimizacija maksimalnog vremena čekanja zahteva na opslugu**.
- Jedna od mogućih mana primene FCFS pravila je da se javlja neuravnoteženost u realizaciji zahteva sa otpremnih stanica. Ovo je izraženo **u proizvodnim sistemima u kojima se proizvodi pojavljuju u velikim serijama u kratkom vremenskom intervalu**, pri čemu je potreba za njima periodične prirode. U tom slučaju, ukoliko se primenjuje FCFS pravilo **sredstva bi opsluživala ove zahteve zanemarujući ostale stanice iako se za proizvodima sa ostalih stanica može javiti potreba** u sistemu, odnosno iako može doći do blokade rada sistema na višem nivou.

Modifikovan-prvi-došao-prvi-opslužen – MFCFS

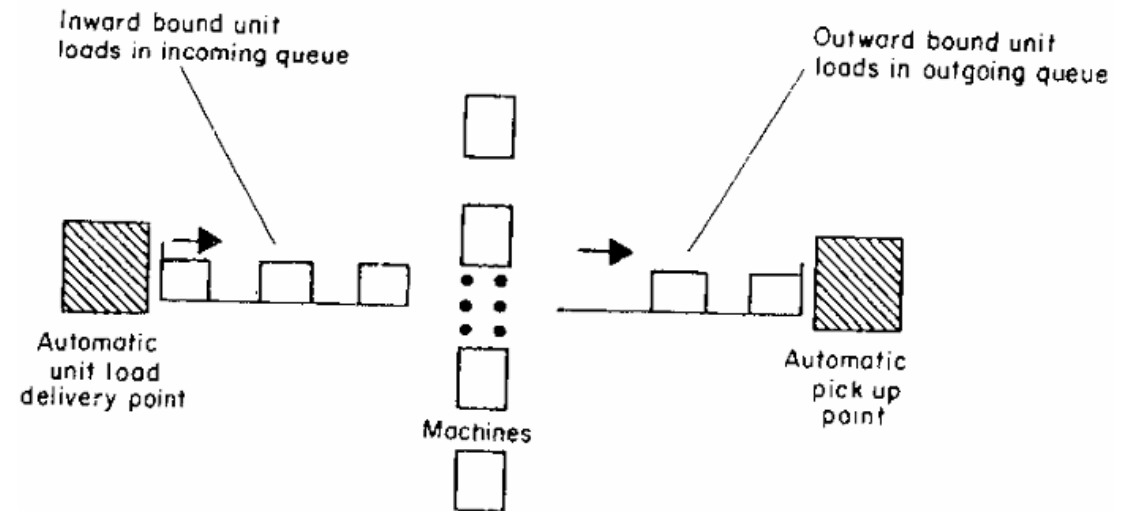
- Da bi se predupredila ovakva situacija razvijeno je **MFCFS pravilo koje dozvoljava da svaka stanica u jednom trenutku može da poseduje samo jedan zahtev koji ulazi u krug onih koji se razmatraju pri donošenju odluke o dispečiranju**. Ukoliko u otpremnoj stanici postoji više zahteva svi sem tog jednog se zanemaruju do trenutka dok ne dođe njihov red na opslugu (po FCFS principu opsluge). Tek kad dođu na red za opslugu, smatra se da su došli u sistem i ulaze u skup zahteva koje slobodno vozilo može da bira.

MODifikovan-prvi-došao-prvi-opslužen – MODFCFS

- Još jedan od nedostataka FCFS pravila je to što njegova primena vodi ka povećanju praznih vožnji vozila jer kriterijum rastojanja uopšte nije razmatran u donošenju odluke. Kao još jedna **modifikacija FCFS pravila, koja za cilj ima da u određenom stepenu smanji dužinu praznih vožnji, razvijeno je MODFCFS pravilo**.
- Princip rada MODFCFS pravila je istovetan kao i FCFS pravila sa jedinom razlikom što vozilo, **u trenutku kada završi realizaciju jednog zadatka**, pre nego što odabere zadatak sa najvećim vremenom provedenim u sistemu **proverava da li se u stanici u kojoj je završen prethodni zadatak nalazi neki zahtev** za opslugom. Ukoliko se tamo nalazi neki zahtev vozilo ga preuzima bez obzira na vreme pojave u sistemu. Ovakav princip rada predstavlja, ustvari, situaciju da **zahtev iz čvora u kome je završen prethodni zadatak ima prioritet nad drugim zahtevima** s obzirom na najmanju distancu prazne vožnje.

Najduži-iz(u)lazni-red – MO(I)QS i najmanje-preostalih-mesta-u-iz(u)laznom-redu – MRO(I)QS

- U slučaju sistema sa ograničenim kapacitetima ulaznih i/ili izlaznih redova, čije prekoračenje kapaciteta uzrokuje blokadu sistema, kao **cilj dispečiranja sredstava se postavlja eliminacija situacija koje dovode do prekoračenja kapaciteta redova**. Razvijeno je više varijanti ovog pravila: najduži-izlazni-red – MOQS, najduži-ulazni-red – MIQS, najmanje-preostalih-mesta-u-izlaznom-redu - MROQS, najmanje-preostalih-mesta-u-ulaznom-redu - MRIQS



- Princip rada je isti kao i u slučaju ostalih jednokriterijumskih pravila koja spadaju u grupu pravila iniciranih od strane sredstva. U trenutku završetka jednog zadatka sredstvo iz grupe zahteva koji nisu dodeljeni bira onaj koji ima takvu vrednost parametra koja vodi ka povećanju verovatnoće da dođe do blokade.
- Usled uzimanja u obzir samo verovatnoće pojave prekoračenja kapaciteta ovo pravilo ne vodi računa o drugim kriterijumima te se mogu javiti duge prazne vožnje, neravnomernost u otpremi zahteva sa svih stanica i velika vremena čekanja zahteva.

Najmanje-iskorišćeno-vozilo – LUV

- Ni jedno do sada opisano pravilo nije vodilo računa o opterećenosti vozila koja realizuju zahteve, što može biti vrlo važan aspekt funkcionisanja pretovarnih (transportnih) sistema. **Ravnomerno opterećenje je naročito bitno ukoliko intenziteti pojave zahteve ne uzrokuju maksimalno opterećenje svih sredstava**, odnosno ukoliko postoji mogućnost izbora između više raspoloživih sredstava.
- Ovo pravilo podrazumeva da se u trenutku pojave zahteva generiše skup sredstava kojima se može dodeliti pristigli zahtev, i da se iz tog skupa bira sredstvo sa najmanjom iskorišćenošću do tada. Alternativno, pravilo može podrazumevati da se bira sredstvo koje je najranije postalo slobodno, tj. sredstvo koje je najduže u stanju neangažovano.

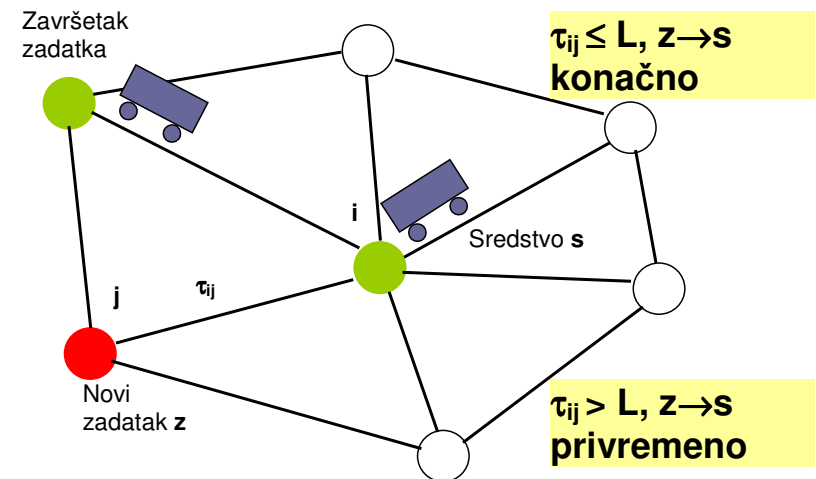
“INTELIGENTNA” PRAVILA DISPEČIRANJA

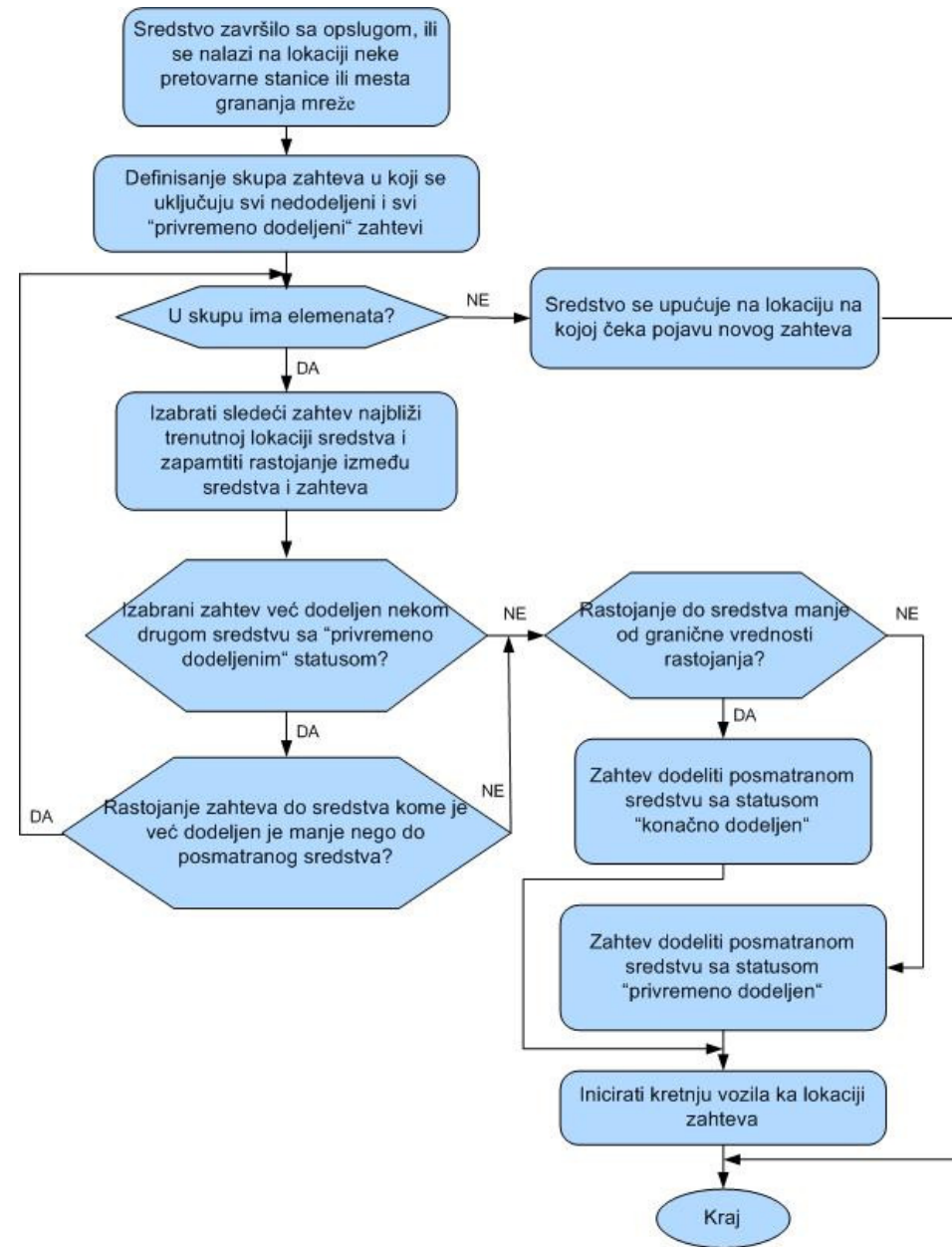
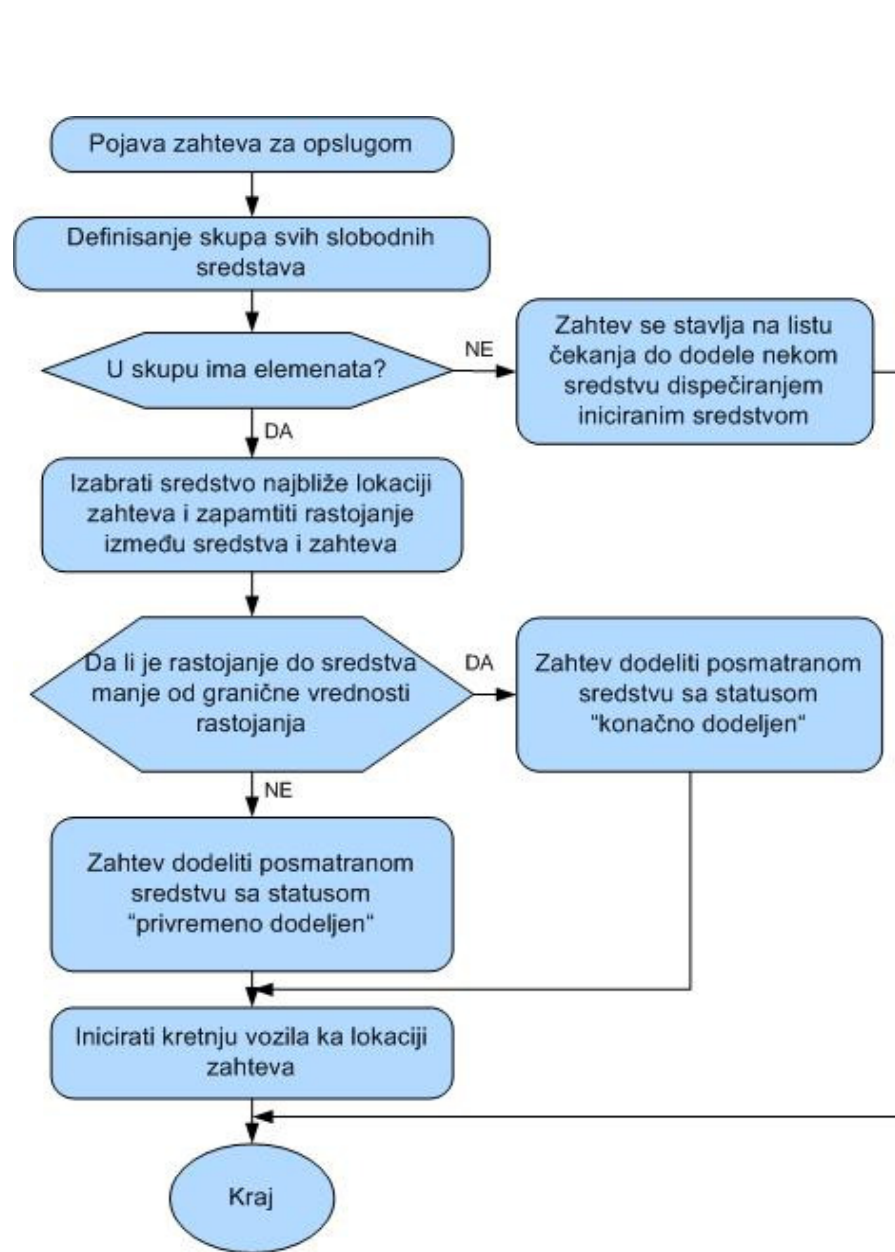
- Deo pravila se često naziva inteligentnim zbog “složenosti” procedure na osnovu koje se koriste raspoložive informacije u trenutku odlučivanja, (Bozer i Yen, 1996; Le-Ahn i DeKoster, 2005), iako suštinski ne sadrže nikakav oblik veštačke inteligencije.

Modifikovano-najkraće-rastojanje-prvo - MOD STTF

- Pravilo je zasnovano na STTF konceptu dispečiranja, tj. na ideji o minimizaciji praznih vožnji u sistemu.
- Bitna razlika u odnosu na STTF pravilo je da se sredstvu dodeljeni zadatak može i oduzeti, bilo tako što će mu se umesto postojećeg dodeliti drugi, ili tako što će sredstvo preći u skup slobodnih jer se zadatak dodeljuje drugom.

- Karakteristika ovog pravila je uvođenje dva statusa zadatka. pored statusa “konačno dodeljen“, koji odgovara dosadašnjem shvatanju pojma “dodeljen“, uvodi i status “privremeno dodeljen“ kojim se karakteriše zadatak koji jeste dodeljen sredstvu, ali koji se, u definisanim situacijama i pod određenim uslovima, može i oduzeti od sredstva.
- Pretpostavimo da sredstvo **s** završava realizaciju zadatka na lokaciji **i**, i da se na lokaciji **j** nalazi novi zadatak **z**, pri čemu je to i najbliži zadatak sredstvu **s**. Neka je rastojanje od lokacije **i** do lokacije **j** predstavljeno veličinom τ_{ij} . Ukoliko je $\tau_{ij} \leq L$ tada se zadatak **z** dodeljuje sredstvu **s** sa statusom “konačno dodeljen“. Ukoliko je $\tau_{ij} > L$, zadatak **z** se opet dodeljuje sredstvu **s**, ali sad sa statusom “privremeno dodeljen“
- Vozilo će krenuti ka stanici **j** ali uz mogućnost da mu se ovaj zadatak oduzme i dodeli nekom drugom sredstvu. Znači da će sredstvo koje završava zadatak na lokaciji **i** birati sledeći iz skupa svih nedodeljenih i privremeno dodeljenih zahteva, tj. u obzir ne uzima jedino konačno dodeljene zahteve





Dinamičko-dispečiranje-zasnovano-na-ponudi - B²D²

- Opisana pravila podrazumevaju da se sredstvu može dodeliti samo jedan zahtev i to samo u slučaju da vozilo nema drugih dodeljenih zadataka. Druga značajna osobina svih opisanih pravila dispečiranja je da se odluka o dodeli zahteva sredstvu realizuje bez uzimanja u obzir statusa svih sredstava, već samo onih koja nemaju dodeljene zadatke
- Princip dodeljivanja samo po jednog zahteva i to u trenucima kad je vozilo slobodno pruža veliki stepen fleksibilnosti ka uticaju stohastičke prirode procesa jer se eliminiše mogućnost da se odluka donese na osnovu “zastarelih” informacija. Sa druge strane ovakav način odlučivanja se može smatrati “kratkovidim” jer sredstva, kao posledica neuzimanja u obzir stanja svih raspoloživih sredstava, mogu prelaziti znatne razdaljine u praznom hodu.
- Suprotnost ovakvim modelima dispečiranja razvijeno je B²D² pravilo koje podrazumeva da u trenutku donošenja odluke sva sredstva iz sistema daju ponudu (eng. bid) za realizaciju pristiglog zahteva, tj. procenu vremena koje im je potrebno da opsluže pristigli zahtev.
- Prema ovom pravilu sredstvo ne mora da bude slobodno da bi mu se dodelio novi zadatak !

Najbliže-vozilo-prvo-sa-preraspodelom-i-otkazima - NVF_RC

- Ovo pravilo je po načinu realizacije vrlo slično pravilu MOD STTF, sa tom razlikom što je inicirano prvenstveno pojavom novog zahteva za opslugom.
- Naime, kada se zahtev pojavi u sistemu on odmah traži raspoloživa sredstva i ako postoji ono koje zadovoljava sve uslove, zahtev se dodeljuje. Ukoliko ne postoji ni jedno sredstvo koje zadovoljava sve uslove, zahtev ostaje na mestu pojave i čeka dok ne bude dodeljen u proceduri iniciranoj od strane sredstva.
- Osnovna razlika između pravila NVF_RC i NVF_R ogleda se u tome što kod NVF_R pravila nije omogućena preraspodela zadatka između sredstava čak i ukoliko bi se time delovalo u smeru poboljšanja kriterijumske funkcije. U pravilu NVF_RC, kao i u pravilima MOD STTF i B2D2, to je omogućeno, zbog čega se ona svrstavaju u grupu “inteligentnih” pravila dispečiranja.

MULTI-ATTRIBUTE DISPATCHING RULES

Klein C.M, Kim J. "AGV dispatching", Int. J. Prod. Res., Vol 34, No.1, pp 95-110 (1996)

Multi-attribute decision making (MADM) refers to making decisions in the presence of multiple, usually conflicting attributes. The decision problems commonly require the choice of one element from set $\{X\}$ of possible alternatives given a finite collection $\{A\}$ of criteria or attributes of concern to a decision maker. In the vehicle dispatching problem, a released vehicle plays the role of a decision maker and it has to select one department among many based on several criteria. Therefore, AGV dispatching fits in the framework of a multi-attribute decision making problem. Since

Simple additive weighting method (SAWM)

The simple additive weighting method (SAWM) is probably the best known and most widely used method of MADM. Mathematically, SAWM can be stated as follows (Hang and Yon 1981): Suppose the decision maker (DM) assigns a set of importance weights to the attributes, $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$. Then the most preferred alternative, A^* , is selected such that

$$A^* = \left\{ A_i \mid \max_i \sum_{j=1}^n w_j x_{ij} / \sum_{j=1}^n w_j \right\},$$

where x_{ij} is the outcome of the i th alternative about the j th attribute with a numerically comparable scale. Usually the weights are normalized so the $\sum w_j = 1$. In vehicle dispatching, x_{ij} can be the values that represents the number of loads in output buffers, the waiting time of a part, or the travel distance of a vehicle.

Tuan Le-Anh and René M.B.M. de Koster "Multi-Attribute Dispatching Rules For Agv Systems With Many Vehicles", ERIM REPORT SERIES RESEARCH IN MANAGEMENT, ERS-2004-077-LIS, August 2004

The multi-attribute dispatching rule (Multi-Att)

- This rule dispatches vehicles based on a dispatching function associated with two parameters: the vehicle requirement at a specific station and the travel distance from the current vehicle position to the corresponding workstation. This rule aims at both reducing vehicle empty travel time and balancing the workload among stations. The dispatching function is defined as:

$$f_{vi}(d, s) = \alpha \times d_{vi} + \beta \times s_i$$

$$s_i = \frac{s_i(t) - \min_i s_i(t)}{\max_i s_i(t) - \min_i s_i(t)}; \quad d_{vi} = \frac{d_{vi}(t) - \min_i d_{vi}(t)}{\max_i d_{vi}(t) - \min_i d_{vi}(t)}$$

$s_i(t)$: the net-stock of a station i at decision moment t . This value is calculated in the same way as the net-stock of vehicles in Talbot (2003),

The net-stock of vehicles ($s_i(t)$) at station i and time t is calculated as follows:

$$s_i(t) = x_i(t) + y_i(t) - c_i(t)$$

in which

$x_i(t)$: number of vehicles in the storage area of station i at time t ,

$y_i(t)$: number of vehicles (loaded or empty) traveling on the link between the decision point i and station i at time t ,

$c_i(t)$: number of loads waiting at station i and time t .

- At the decision point i corresponding to a station i , a vehicle takes the direction to station i if $s_i(t) < S_i$ (a threshold value).
- If the number of vehicles in the vehicle storage area reaches S_i , the station releases an empty vehicle from its internal storage (if any) to the system.
- $\max_i, \min_i s_i(t)$: the max and min values of $s_i(t)$ at decision moment t for all station i ,
- $\max_i, \min_i d_{vi}(t)$: the max and min values of $d_{vi}(t)$ at decision moment t for all station i ,
- s_i : the normalized value of $s_i(t)$ ($0 \leq s_i \leq 1$),
- d_{vi} : the normalized value of $d_{vi}(t)$ ($0 \leq d_{vi} \leq 1$),
- α, β : weights of the vehicle empty travel distance and the net-stock respectively ($\alpha + \beta = 1$). Since the travel distance and the net-stock seem to be equally importance, weights of these factors should not be significantly different. Good

values for α and β are obtained from simulation experiments. In our experiments (0.5, 0.5) is a good set of values for (α, β) .

The framework of the Multi-Att rule

- At a decision point (DC_i), a vehicle chooses the destination station based on the value of the decision function $f_{vi}(d,s)$ at the decision moment. The station with the smallest value of $f_{vi}(d,s)$ will be selected.
- If on the way to the destination station, the assigned vehicle passes another decision point (DC_j), this vehicle will be reassigned based on new values of the decision function at DC_j ($f_{vj}(d,s)$).

VEHICLE MANAGER – AGV SYSTEM CONTROLS EXAMPLE

- Remote Dispatching of AGVs, Pentium Class PC Hardware, Interfaces With The Constant System Monitor (CSM)
- The Vehicle Manager is a data collection and processing system utilized to provide efficient, remote dispatching of the AGV fleet. The Vehicle Manager gathers data on material movement and then coordinates and supervises AGV task assignments in response to the system demand.
- The Vehicle Manager receives data from input devices such as load presence sensors, data entry terminals, scanners or other devices (PLC, etc.).

- In addition, the Vehicle Manager monitors individual AGV status such as location, condition, state, etc. For all AGVs operating in the network via the Constant System Monitor (CSM).

