

RAZVOJ ALGORITMA ZA RJEŠAVANJE PROBLEMA SLAGANJA TRANSPORTNE AMBALAŽE NA TRANSPORTNO POMOĆNO SREDSTVO**DEVELOPMENT OF THE ALGORITHM FOR SOLVING THE PALLET PACKING PROBLEM**

Želimir Trišić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – MEHATRONIKA

Kratak sadržaj – U ovom radu predstavljen je novi algoritam za rješavanje trodimenzionog problema pakovanja distributera. Problem je NP – težak. Algoritam teži ka tome da imitira ljudsko ponašanje. Pretpostavka koja je uvedena prilikom implementacije je da sve kutije imaju bar jednu identičnu dužinu ivice, pa se trodimenzioni problem svodi na dvodimenzioni. Radi lakše detekcije potencijalnih grešaka prilikom implementacije i testiranja algoritma, razvijen je alat za vizuelizaciju rješenja koji omogućava pregled svakog koraka procesa pakovanja pojedinačno.

Ključne riječi: Problem pakovanja palete, algoritam, transportna ambalaža, transportno pomoćno sredstvo, transport

Abstract – The topic of this paper is the introduction of a new algorithm for the distributor pallet packing problem. This problem is NP-complete. The algorithm tries to imitate a human behaviour. In the algorithm development, it was assumed that all boxes that need to be packed have at least one common edge size to reduce the 3D problem to 2D one. A tool for visualisation of the output from the algorithm has been developed in order to facilitate its development and testing.

Keywords: Pallet packing problem, Algorithm, Transport Packaging, Transport Pallet, Transport

1. UVOD

Stvari se svakodnevno prenose sa jednog mjesta na drugo. Da bi se prenijele, neophodno ih je staviti u kontejnere ili u palete. S obzirom da je cilj prilikom transporta da se uštedi na energiji, vremenu i novcu stvari za transport bi trebalo spakovati na optimalan način, ili na način koji je što približniji optimalnom. U ovom radu biće prikazan algoritam za rješavanje problema slaganja transportne ambalaže (pakovanja kutija) na transportno pomoćno sredstvo (paletu proizvoljnih dimenzija).

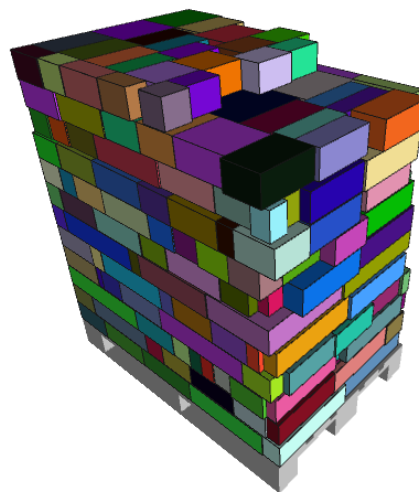
1.1 Problem pakovanja palete

Problem pakovanja palete (u nastavku skraćeno PLP) se javlja u situacijama kada mali predmeti moraju biti postavljeni u veliku paletu, u fabrikama za proizvodnju i drugim logističkim poljima. Evidentno, objekti koji se slažu mogu biti različitih veličina, prirode, težine i oblika.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji je mentor dr Slobodan Dudić, vanr. prof.

Raspored kao i težinski uslovi, zajedno sa stabilnošću čine najvažnija ograničenja u okviru PLP. Radi lakšeg razumijevanja, jedan od primjera slaganja različitih tipova kutija na paletu (koji je ujedno i jedan od rezultata ovog rada, što će biti objašnjeno u odjeljku 3), prikazan je na slici 1.



Slika 1. Rezultat algoritma sa unijetih 200 različitih tipova kutija

Problemi pakovanja optimizuju upotrebu resursa, a resurs je u ovom slučaju prostor za pakovanje, koji je povezan sa materijalnim i transportnim mogućnostima, što ima veliki ekonomski značaj u procesu proizvodnje i distribucije. Problemi pakovanja su važni i za racionalniju upotrebu prirodnih resursa, jer prije svega smanjuju već preveliki saobraćaj ali i generalno imaju pozitivan uticaj na tretman životne sredine.

Kod PLP je bitno istaći da je raspoređivanje tereta na palete vremenski zahtjevan posao, jer je potrebno voditi računa o stabilnosti i krajnjoj prostornoj iskorisćenosti palete. Što su efikasnije iskorisćene palete, samim tim je potreban manji broj istih za skladištenje tereta. Osim toga, važnost pakovanja za prevoz i skladištenje je očigledna jer cijena i jednog i drugog zavisi od efikasne iskorisćenosti prostora.

PLP se može podijeliti u dvije klase:

- problem pakovanja proizvođača (*engl. the manufacturer's pallet loading problem*) i
- problem pakovanja distributera (*engl. the distributor's pallet packing problem*).

Problem pakovanja proizvođača se javlja kada je homogene kutije potrebno efikasno postaviti na paletu, dok se problem pakovanja distributera javlja kada je neophodno slagati heterogene kutije na paletu. Može se reći da opšta formulacija (bez olakšavajućih okolnosti) pripada NP skupu problema, odnosno drugim riječima može se reći da je ovaj problem nerješiv (optimalno) jer i vrijeme i računarski resursi potrebni za pronalazak optimalnog rješenja eksponencijalno rastu sa povećanjem dimenzija problema (broja kutija) [1].

2. OPIS RAZVIJENOG RJEŠENJA

Algoritam razvijen u ovom radu, namijenjen za rješavanje trodimenzionog problema pakovanja, imitira ljudsko ponašanje. Olakšavajuća okolnost prilikom razvijanja algoritma jeste postojanje bar jedne ivice identičnih dimenzija kod svih unijetih vrsta kutija. Na ovaj način se trodimenzioni problem pakovanja svodi na dvodimenzioni. Pakovanje kutija na paleti se izvršava nezavisno po nivoima, nivo po nivo. Kako je problem sada dvodimenzioni, uzimaju se u obzir preostale dvije dimenzije ivica kutije, dok treća dimenzija, koja je zajednička, predstavlja visinu nivoa. Formiranje rasporeda kutija na aktuelnom nivou započinje od jedne od ivica palete, dok se kutije slažu počevši od prethodno izabrane ivice palete prema njenoj naspravnoj ivici.

Da bi složili kutije na način koji je najbliži optimalnom, program vodi evidenciju i pamti pozicije gornjih ivica kutija koje su postavljene na najmanjem rastojanju od naspravne ivice početno izabrane ivice palete. Sve ivice kutija koje se nalaze na istom rastojanju od gornje ivice palete, i međusobno se dodiruju, posmatraju se kao jedan segment. Iz skupa svih evidentiranih segmenata, program pronalazi segment koji se nalazi na najmanjem rastojanju od početno izabrane ivice palete. Pronalaskom odgovarajućeg segmenta identifikuju se maksimalne dimenzije kutije koja se može nasloniti na taj segment. Sljedeći korak jeste pronalazak kutije koja će se na najbolji mogući način uklopiti u prazninu čije su dimenzije prethodno identifikovane maksimalne dimenzije kutije.

Nakon toga, program provjerava sve kutije koje nisu prethodno spakovane, i pokušava da uklopi svaku dostupnu kutiju u prazninu tako što rotira kutiju na sve moguće načine. Svako orijentaciji kutije koja se može uklopiti u prazninu se dodjeljuje vrijednost koja ocjenjuje

iskorišćenost popunjenog prostora. Osnovna zamisao jeste da izabrana kutija što više popuni prostor u okviru praznine, tako da njena gornja ivica sa ivicama kutija postavljenih sa njene lijeve i desne strane formira približno ravnu liniju. Ukoliko postoji kutija koju je moguće uklopiti u prazninu, dodjeljuju joj se koordinate na osnovu segmenta na koji se naslanja i trenutnog nivoa koji se pakuje, a zatim se vrši ažuriranje liste segmenata. U suprotnom, na mjestu prethodno izabrane praznine, u finalnoj verziji nivoa će biti prazan prostor. Da bismo na uniforman način tretirali ovaj slučaj, smatramo da na ovom mjestu postoji kutija (virtuelna) čija se gornja ivica izjednačava sa minimalnom visinom ivice kutije smještene sa njene lijeve ili desne strane.

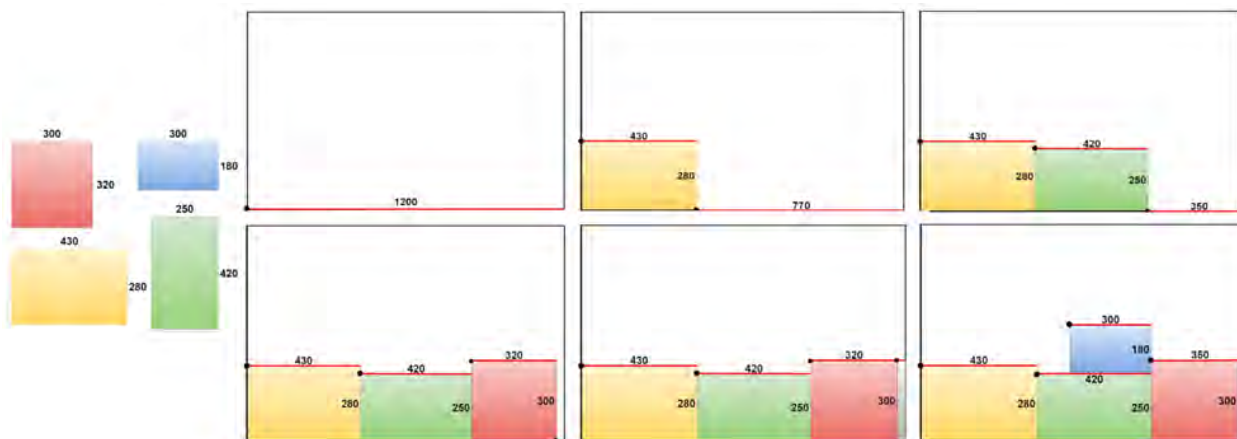
Na kraju, ako ne postoji nijedna kutija koju je moguće postaviti na trenutni nivo palete, vrši se prelazak na sljedeći nivo, i postupak se iterativno ponavlja dok ne dođemo do željene visine ili dok ne spakujemo sve kutije. Nakon završetka ovog procesa, vrši se rotiranje palete za 90°, i postupak se ponavlja na identičan način. Kao finalno rješenje, bira se verzija koja omogućava bolju popunjenost palete.

S obzirom da prethodno navedeni proces predstavlja centralni dio algoritma pakovanja, na slici 2 dat je jedan ilustrativni prikaz slaganja kutija unutar jednog nivoa, korak po korak. U ovom slučaju, zadate su četiri vrste kutija različitih dimenzija. Proces slaganja kutija i raspored trenutnih segmenata počinje na krajnoj lijevoj slici u gornjem redu. Prilikom ubacivanja svake dodatne kutije prikazan je izgled nivoa i raspored trenutnih segmenata. Sivom bojom je prikazana virtuelna kutija. Konačan izgled složenog nivoa prikazan je na posljednjoj desnoj slici u donjem redu.

2.1 Ulazni podaci

Podaci koje je neophodno unijeti za realizaciju pakovanja palete su:

- dimenzije palete (dužina, širina i maksimalna dozvoljena visina slaganja kutija na paletu),
- dimenzije kutije (dužina, širina i visina),
- broj kutija određenih dimenzija i
- boja kutija određenih dimenzija (ovaj parameter je uveden radi bolje preglednosti prilikom testiranja).



Slika 2. Primjer realizacije slaganja kutija na jedan nivo realizovan sa četiri kutije različitih dimenzija

Ulazni podaci se zadaju u XML fajlu. Ovaj format je izabran zbog dostupnosti alata potrebnih za parsiranje XML fajlova. Primjer definisanja ulaznih podataka dat je u kodu koji je prikazan na slici 3.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<config>
  <box width="600" height="400" depth="300" available="10" color="ffff0000" />
  <box width="400" height="300" depth="400" available="6" color="ff00ff00" />
  <box width="400" height="300" depth="300" available="8" color="ff0000ff" />
  <box width="400" height="300" depth="200" available="14" color="ff44ff00" />
  <box width="300" height="300" depth="300" available="7" color="ffffff66" />
  <box width="300" height="150" depth="200" available="18" color="fff444dd" />
</config>
```

Slika 3. Primjer ulaznog fajla

2.2 Implementacija algoritma

Algoritam za rješavanje problema pakovanja distributera je implementiran u programskom jeziku Java, a za potrebe vizuelizacije rezultata algoritma korišćeno je programsko okruženje „Processing“. Glavni razlog za izbor programskog jezika Java za implementaciju ovog algoritma jeste činjenica da je jednom napisan program u ovom programskom jeziku moguće koristiti na velikom broju platformi bez potrebe za dodatnim modifikacijama (eng. *Write Once Run Anywhere*).

Iako su programi pisani u Javi po performansama gotovo uvijek inferiorni u odnosu na programe pisane u programskim jezicima koji se prevode direktno na mašinski kod ciljane mašine, performanse opisanog rješenja prikazane u odjeljku 3 su sasvim zadovoljavajuće. Takođe, važno je napomenuti i to da, iako je fokus ovog rada na samom algoritmu koji rješava problem pakovanja kutija na paletu, implementirana je i vizuelizacija izlaza algoritma (jedan od primjera dat je na samom početku rada, na slici 1), koja je izuzetno važna za detekciju grešaka prilikom implementacije i testiranja algoritma pakovanja. Implementacija algoritma data je u [2].

2.3 Izlazni podaci

Pored vizuelnog prikaza rješenja, kao rezultat izvršavanja program dostavlja i izlazni fajl sa statističkim informacijama o pronađenom rješenju, i vremenu izvršavanja algoritma za pakovanje kutije (vrijeme izvršavanja u ms, broj spakovanih kutija, zadati broj kutija, popunjenost palete u procentima, zapremina praznina, zapremina virtuelnih kutija i odnos zapremine virtuelnih i spakovanih kutija). Izlazni fajl je u CSV (eng. *comma separated values*) formatu koji je izabran zbog dobre podržanosti kod alata za tabelarne kalkulacije. Primjer izlaznog fajla sa svim parametrima prikazan je u tabeli 1.

Tabela 1. Primjer izlaznog fajla

Running time	Number of packed boxes	Number of given boxes	Volume utilization	Total empty space	Virtual boxes volume	Virtual boxes to actual boxes volume ratio
13	67	67	42.5	9.89E8	4.35E7	0.06

3. REZULTATI

Da bismo potvrdili uspješnost izloženog algoritma za rješavanje problema pakovanja, izvršeno je testiranje sa različitim ulaznim fajlovima. Kao parametri prvih pet

ulaznih fajlova, korišćene su kutije koje se koriste u industriji prilikom pakovanja ambalaze i standardna euro paleta. Za razliku od prethodnih pet ulaznih fajlova, u šestom fajlu je korišćena paleta nestandardnih dimenzija. Broj kutija u prvih šest fajlova je generisan nasumično. U sedmom fajlu su, pored kutija, i svi parametri palete nasumično izabrani. Statistički parametri izlaza za svih sedam testiranih ulaznih fajlova su radi lakše preglednosti dati u tabeli 2.

Tabela 2. Statistički parametri testiranih ulaznih fajlova

Ulazni fajl	Running time	Number of packed boxes	Number of given boxes	Volume utilization	Total empty space	Virtual boxes volume	Virtual boxes to actual boxes volume ratio
1	13	67	67	42.5	9.89E8	4.35E7	0.06
2	7	9	63	98.95	1.80E7	3.00E7	0.01
3	13	63	63	23.53	1.32E9	1.47E7	0.03
4	13	28	81	95.44	7.82E7	8.64E7	0.05
5	14	42	63	98.61	2.47E7	2.40E7	0.01
6	13	56	81	94.50	1.84E8	1.84E8	0.06
7	20	200	200	55.78	8.48E8	8.08E7	0.07

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata dobijenih testiranjem možemo zaključiti da je implementirani algoritam za rješavanje problema pakovanja primjenljiv u industrijskim okruženjima. Dokaz uspješnosti implementiranog algoritma u pogledu popunjenosti prostora je odnos zapremine svih spakovanih kutija i praznina nastalih prilikom pakovanja koji se nalazi u granicama dozvoljenih odstupanja.

Implementirani algoritam ne uzima u obzir masu kutija koje je neophodno spakovati. Posljedica toga jeste moguća nestabilnost koja može dovesti do rušenja palete prilikom transporta ili tokom procesa slaganja. Da bismo unaprijedili algoritam neophodno je proširiti ocjenu koja se dodjeljuje svakoj kutiji prilikom izbora kutije za prazninu koja se trenutno popunjava. Nova komponenta bi favorizovala teže kutije prilikom slaganja početnih nivoa palete.

5. LITERATURA

- [1] G. Abdou, M. Elmasry, "3D random stacking of weakly heterogeneous palletization problems," *International Journal of Production Research*, vol. 37, No. 7, pp. 1505-1524. 1999.
- [2] Internet stranica: https://github.com/zelimir996/pallet_packing_problem, pristupljeno dana 10.10.2020.

Kratka biografija:



Želimir Trišić rođen je u Zvorniku 1996. god. Diplomirao na Fakultetu tehničkih nauka 2019. god. Sa prosječnom ocjenom 10.00. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Mehatronike – Mehatronika, robotika i automatizacija odbranio je 2020.god.