

BESTURINGSREGELS BINNEN DISTRIBUTIE CENTRA, ENKELE CASES UIT DE PRAKTIJK

René de Koster

Rob Wijnen

Samenvatting

Binnen Distributie Centra wordt in besturingsregels vastgelegd op welke manier gebruik wordt gemaakt van de aanwezige opslag systemen en material handling apparatuur. Efficiënte en effectieve besturingsregels bepalen voor een belangrijk deel de prestaties van het DC.

In deze bijdrage worden enkele praktische voorbeelden gegeven van besturingsregels binnen Distributie Centra. Dit gebeurt aan de hand van vier praktijkcases: een complexe verzamelbaan, combi-trucks, het sorteren van routes en multi-functionele palletiseer robots. Hierbij wordt een indruk gegeven van enkele praktische probleemsituaties en welke besturingsregels ervoor ontworpen zijn. De conclusie is dat voor het ontwerpen van goede besturingsregels een combinatie van theoretisch inzicht en praktische ervaring vereist is. In het algemeen geldt tevens: keep it simple!

Groenewout Consultants & Engineers

Postbus 3290

4800 DG BREDA

Tel. 076 - 224600

Inleiding

De eisen die aan een Distributie Centrum gesteld worden, worden steeds hoger. Kortere en meer betrouwbare levertijden, minder fouten, lagere voorraden in combinatie met een hogere order-compleetheid. Dit alles moet gerealiseerd worden tegen zo laag mogelijke investerings- en exploitatiekosten en onder een grote tijdsdruk. Dit betekent een flinke uitdaging bij het ontwerpen en realiseren van dergelijke projecten.

Het ontwerpen en realiseren van een Distributie Centrum bestaat uit een aantal fasen. De eerste stap is in het algemeen een strategisch onderzoek, waarbij een keuze wordt gemaakt over de vorm van het logistiek netwerk, de plaats en taak van het Distributie Centrum in dit netwerk en de vestigingsplaats. De volgende stap is vaak een haalbaarheidsonderzoek. Dit leidt tot een voorlopig ontwerp en een inschatting van investeringskosten en cash flow. Tijdens het haalbaarheidsonderzoek wordt al een keuze gemaakt voor één of meerdere opslagmethoden en material handling apparatuur. Tevens wordt het logistiek concept (soorten goederenstromen en processen) reeds in ruwe vorm bepaald. Als besloten wordt om definitief door te gaan met het project, is de volgende stap het maken van een definitief ontwerp, dat uitmondt in bestekken en programma's van eisen met detailtekeningen en -beschrijvingen. Hierna volgt nog de offerte procedure, de realisatie fase en de uiteindelijke ingebruikname.

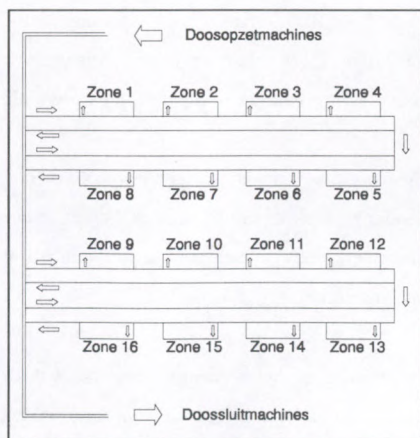
Een onderdeel van het logistiek concept wordt gevormd door besturingsregels. In deze regels wordt vastgelegd op welke manier gebruik wordt gemaakt van de aanwezige opslag systemen en material handling apparatuur. Hoe efficiënter dit gebeurt, hoe groter de capaciteit van het systeem zal zijn. Of: hoe minder personeel en/of apparatuur nodig is.

Voor het toetsen van besturingsregels wordt veelvuldig gebruik gemaakt van simulatie. Hierbij worden de te toetsen besturingsregels verwerkt in een model. Op basis van aannames over de interne goederenstromen, bewerkingstijden en snelheden kan hiermee een oordeel gevormd worden over de getoetste besturingsregels en kunnen verschillende mogelijkheden met elkaar vergeleken worden.

In het vervolg worden enkele praktische voorbeelden gegeven van besturingsregels binnen Distributie Centra. Dit gebeurt aan de hand van enkele cases, die gebaseerd zijn op situaties uit de praktijk. Bij iedere case wordt een korte beschrijving gegeven van de Ausgangssituatie, welke mogelijkheden onderzocht zijn en welke besturingsregels uiteindelijk gekozen zijn. Hierbij is de pretentie niet om aan te geven hoe het wel of niet moet, maar om een indruk te geven van enkele praktische probleemsituaties en welke besturingsregels ervoor ontworpen zijn of kunnen worden.

Case 1: Besturing van een complexe verzamelbaan

Voor een bedrijf is een concept van een verzamelbaan ontwikkeld voor het ordergewijs picken van een groot volume van kleine artikelen. Geëist wordt dat via deze baan per uur 3.000 colli (= orders) verzameld moeten kunnen worden, met gemiddeld 2 picks per collo. Tevens moeten via dezelfde verzamelbaan 30 kratten per uur verzameld worden, met gemiddeld 7 regels en 40 stuks per krat. In totaal dienen er dus zo'n 7.200 picks per uur plaats te vinden. Het assortiment langs de verzamelbaan bestaat uit circa 2.500 artikelen.



Afbeelding 1: Principe verzamelbaan.

De verzamelbaan bestaat uit twee pickstraten met doorrolstellingen. Het principe van de verzamelbaan is geschetst in Afbeelding 1. Er wordt ordergewijs verzameld in dozen en voor enkele grote orders in kratten. Voor iedere order wordt automatisch het juiste doostype geselecteerd. De dozen worden automatisch gevouwen en op een tray geschoeven.

De trays worden samen met de kratten via rollenbanen langs de doorrolstellingen geleid.

Via het scannen van de barcode, die vast aanwezig is op iedere tray en krat, wordt de lading automatisch via de kortste weg langs de juiste zones geleid. In totaal zijn de doorrolstellingen onderverdeeld in 16 verschillende zones.

Bij iedere zone is één orderverzamelaar werkzaam. Iedere zone heeft een uitsluitbuffer, waarin zich een aantal te behandelen trays en/of kratten kan bevinden, zonder dat de hoofdstroom geblokkeerd wordt.

Met een simulatiestudie is onderzoek gedaan naar deze verzamelbaan. Enkele conclusies zijn:

- De picktijden hebben grote invloed. Deze zijn bepalend voor het aantal benodigde zones en dus verzamelaars. Er zijn metingen verricht, waaruit bleek dat er nogal grote verschillen op kunnen treden tussen verzamelaars onderling. Bij het ontwerp dient rekening gehouden te worden met deze verschillen.
- De werklast dient gelijkmatig verdeeld te worden over de zones. De doorstroom is dermate hoog, dat zelfs een tijdelijke onbalans grote invloed kan hebben. Dit stelt hoge eisen aan de verdeling van snellopers over de zones, maar ook aan de verzamelaars.
- Er is een rondlooptmogelijkheid onderzocht. Deze houdt in, dat als de buffer van een zone vol is, de volgende tray die voor deze zone bestemd is wordt rondgeleid. Op deze manier wordt voorkomen dat op dat moment de hoofdstroom geblokkeerd raakt.

Echter, deze rondlooptmogelijkheid heeft het nadeel dat een zogenaamde 'deadlock' kan optreden. Dit is een blokkade van het systeem, die niet vanzelf oplost, maar waar interventie van buitenaf noodzakelijk is om deze op te heffen. Bijvoorbeeld door trays handmatig uit het systeem te nemen (op de grond te zetten), wat allerlei nare gevolgen heeft voor de besturing. In de simulatie blijkt dit bij een piekbelasting van het systeem al na gemiddeld 2,5 uur op te treden.

Zonder rondlooptmogelijkheid wordt de hoofdstroom weliswaar iets eerder geblokkeerd, maar deze blokkade is van tijdelijke aard en tijdens de blokkade kunnen de verzamelaars áchter de blokkade op een normale manier doorwerken. Via speciale besturingsregels is het overigens ook mogelijk om een deadlock te voorkomen.

Uit de simulatie blijkt, dat het aantal trays gelijktijdig in het systeem groot is, wat de doorstroming belemmert. Er is een alternatief onderzocht, waarbij het aantal trays in het systeem gereduceerd wordt, namelijk door trays te gebruiken, waar vier dozen tegelijk op kunnen. In dit alternatief worden zoveel mogelijk 'enkelvoudige' trays gemaakt, die samengesteld zijn uit vier dozen met een enkelvoudige order voor één en hetzelfde artikel. De overige dozen (in het algemeen de orders met meerdere regels), worden willekeurig bij elkaar geplaatst in zogenaamde 'meervoudige' trays.

Echter, de gemiddelde picktijd per artikel stijgt. Een verzamelaar heeft meer tijd nodig om te kijken wat er met de vier dozen moet gebeuren. Tevens wordt een meervoudige tray langs een groot aantal zones gestuurd, waardoor het aantal trays gelijktijdig in het systeem toch redelijk groot is.

Uit de simulatie is gebleken dat voor deze situatie de totale capaciteit ongeveer 10 % daalt door het gebruik van trays van vier dozen.

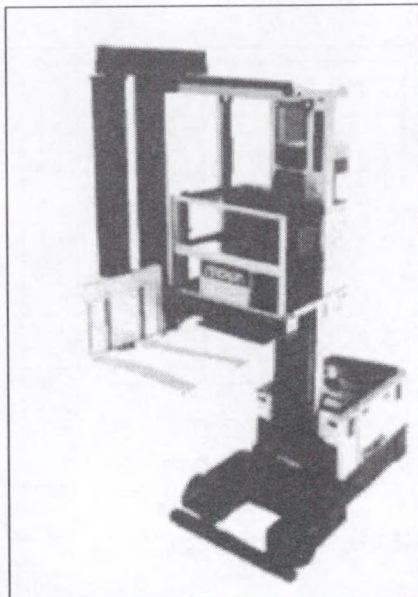
Conclusie van het onderzoek is, dat met dit type verzamelbaan de gevraagde capaciteit van 3.000 colli per uur gehaald kan worden, mits de volgende maatregelen genomen worden:

- De centrale baan (de dubbele lijn in Afbeelding 1) dient dubbel uitgevoerd te worden.
- Het aantal pickzones dient verhoogd te worden van 16 naar 20.
- De werklast dient gelijkmatig verdeeld te worden over deze pickzones.
- Géén meervoudige trays.

Case 2: Combi-trucks

Een combi-truck is een combinatie tussen een hoogbouw-pallettruck en een orderverzamelaar-truck. Binnen een gang worden de bewegingen van een combi-truck geleid, waardoor de truck geschikt is voor smalle gangen. De geleiding geschiedt door geleiderails of via inductiegeleiding. Buiten een gang kan de combi-truck vrij rondrijden. In Afbeelding 2 wordt een voorbeeld gegeven van een combi-truck.

Een combi-truck is geschikt voor het in- en uitslaan van hele pallets, maar ook voor het in- en uitslaan van losse dozen. De cabine met chauffeur gaat namelijk met de ladingdrager mee omhoog en de chauffeur kan dozen bijplaatsen of wegnemen uit de voorraad in de stelling.

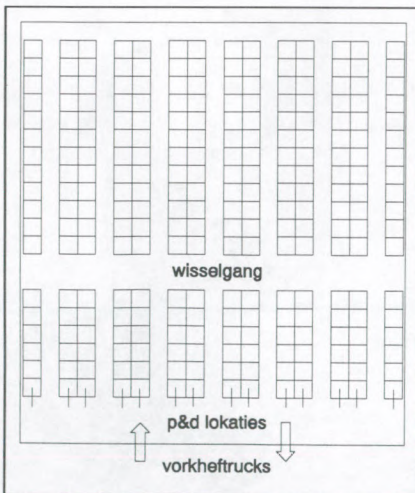


Afbeelding 2: Voorbeeld combi-truck.

In een praktijksituatie is een aantal gangen voorzien met palletstellingen voor pallets met dozen, bijvoorbeeld als in Afbeelding 3. In het midden van de gangen is een wisselgang. De combi-trucks mogen het opslaggebied niet verlaten. De wisselgang is de enige plek waar van gang gewisseld kan worden. Aan de kop van iedere gang is een aantal pick & drop lokaties voorzien, zowel voor inslag- als voor uitslag pallets. Vorkheftrucks verzorgen het transport van pallets tussen het ontvangst/verzending gebied en de pick & drop lokaties.

De volgende opdrachten worden uitgevoerd door de combi-trucks:

1. Uitslag hele pallets.
2. Uitslag sub-pallets: meerdere artikelen op één pallet. De combi-truck begint met een lege pallet, waarmee een route langs verschillende lokaties gereden wordt. Van iedere lokatie worden één of meerdere dozen gepickt, mogelijk voor meerdere klanten tegelijk.
3. Inslag hele pallets.
4. Inslag sub-pallets. De combi-truck begint met een volle pallet met verschillende artikelen, waarmee een route langs de overeenkomstige lokaties gereden wordt.



Afbeelding 3: Voorbeeld combi-truck magazijn.

De combi-trucks zijn allen voorzien van Radio Frequency terminals. Hiermee worden nieuwe opdrachten ontvangen en gereedmeldingen verstuurd. Bij de aansturing van de combi-trucks moet rekening gehouden worden met:

- Zo kort mogelijke rijafstanden.
- Voorkomen dat combi-trucks elkaar in de weg rijden.
- Zo hoog mogelijke capaciteit (doorzet, aantal uitgevoerde opdrachten per tijdseenheid).

Voor dit probleem is een oplossing gevonden, waarbij iedere combi-truck een eigen zone heeft van een bepaald aantal gangen. De snellopers liggen zo dicht mogelijk bij de kop van de gang opgeslagen, de langzaamlopers liggen in het gedeelte na de wisselgang.

Bij het rijden van een route langs verschillende lokaties worden deze gang voor gang afgewerkt. De lokaties in de eerste gang worden gesorteerd van voor naar achter, de volgende gangen van achter naar voor. Als de gehele route binnen één gang valt, worden eerst de lokaties van de onderste helft van de stelling van voor naar achter afgewerkt en vervolgens de lokaties van de bovenste helft van de stelling van achter naar voor.

Gedurende de dag komen opdrachten voor de combi-trucks on-line binnen. Deze worden batchgewijs vrijgegeven. Binnen een batch worden zoveel mogelijk dubbelspelen gemaakt. Als een combi-truck een pallet ingeslagen heeft in een bepaalde gang, wordt eerst gekeken of er in diezelfde gang een pallet uitgeslagen moet worden. Als een combi-truck een pallet uitgeslagen heeft naar een pick & drop lokatie aan de kop van een gang, wordt eerst gekeken of hier een inslagpallet opgepakt moet worden. Als er geen inslagpallets zijn, wordt een sub-pallet, waarmee een route gereden wordt, of een pallet in een andere gang gekozen. Als er meerdere pallets zijn die aan een criterium voldoen, wordt de pallet gekozen die het langst staat te wachten.

Simulatiestudies, uitgevoerd voor diverse Distributie Centra, hebben aangetoond dat met de hierboven geschetste werkwijze, per combi-truck circa 200 tot 250 opdracht-pallets per truck per dag van 14 effectieve werkuren verwerkt kunnen worden, afhankelijk van de procentuele verdeling van de opdrachten, het aantal verschillende artikelen per sub-pallet en de handelingsnelheden. Afhankelijk van het aantal uit te voeren pallet-handelingen per gang, komt dit meestal overeen met een effectief bereik van 2 tot 4 gangen.

Case 3: Sorteren van routes

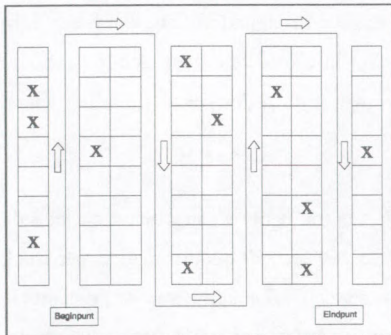
In de bovenstaande case 2 over Combi-trucks wordt een sorteerslag geschetst voor het bepalen van de rijvolgorde binnen een route. De gekozen sorteerslag is gebaseerd op een eenvoudige heuristiek. De via een dergelijke heuristiek verkregen routes worden in deze case vergeleken met de optimale routes, waarbij de rijtijd minimaal is. Deze optimale routes worden berekend via een algoritme, dat gebaseerd is op een algoritme van Ratliff en Rosenthal [2] en beschreven in de afstudeerscriptie van Van der Poort [1].

Bij zowel de heuristiek als het algoritme worden routes gemaakt, die beginnen en eindigen aan de kop van een gang. Het eindpunt van de vorige route is het beginpunt van de nieuwe route.

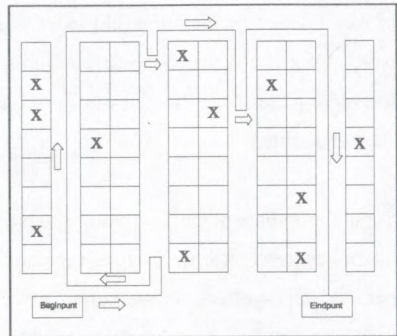
Bij de heuristiek worden alle picks gang voor gang afgewerkt. Iedere oneven gang binnen een route wordt in zijn geheel van voor naar achter gereden en iedere even gang van achter naar voor. Indien de laatste gang van de route oneven is, wordt na de laatste pick door dezelfde gang terug naar voren gereden.

Bij het algoritme wordt via dynamische programmering de rijtijd geminimaliseerd.

In Afbeelding 4 wordt een voorbeeld gegeven van een route, die het resultaat is van de heuristiek. In Afbeelding 5 wordt voor dezelfde situatie de optimale route gegeven, waarbij de rijtijd geminimaliseerd is.



Afbeelding 4: Voorbeeld route heuristiek.



Afbeelding 5: Voorbeeld optimale route.

Er zijn theoretische situaties te bedenken waarbij het verschil in benodigde tijd tussen de optimale route en de heuristiek groot is, zoals blijkt uit Tabel 1. Hier echter worden de twee methoden vergeleken voor twee typische praktijksituaties. De eerste heeft betrekking op de in de vorige case beschreven combi-trucks. De tweede heeft betrekking op orderverzameltrucks, met slechts beperkte (of zonder) hefmogelijkheid en opererend in brede gangen. Dergelijke orderverzameltrucks worden bijvoorbeeld in de grotere conventionele magazijnen van de detailhandel gebruikt.

Voor beide situaties is een aantal gevallen onderzocht met een verschillend aantal gangen en/of aantal picks per route. Voor ieder onderzocht geval zijn 1.000 experimenten gedaan, die bestaan uit het random verdelen van het aantal picks per route over het magazijn en het bepalen en meten van de heuristiek- en optimale route voor iedere getrokken verdeling.

Combi-trucks:

Onderliggende aannames voor deze situatie zijn als beschreven bij de case over combi-trucks: de pick & drop posities bevinden zich aan de kop van iedere gang, de trucks beschikken over RF-terminals, aan- en afvoer van pallets gebeurt door vorkheftrucks en er is altijd een lege pick & drop lokatie beschikbaar.

Verschil met de vorige case is dat in dit geval gangwisselen alleen mogelijk is aan de voor- en achterzijde van de stellingen. Bij de heuristiek worden, afhankelijk van de startpositie van de truck, de gangen van links naar rechts of van rechts naar links afgewerkt.

Verdere aannames: rijsnelheid in gang 1,5 m/sec, gang-insteektijd 30 sec, gangafstand 4,3 m, rijsnelheid buiten gang 1 m/sec, tijd per route anders dan rijtijd (= opname lege pallet, lezen van opdrachten, printen van labels, heffen zonder rijden, positioneren, picken en stapelen van dozen en afzetten volle pallet): 2 minuten + 30 sec per pick.

In Tabel 1 worden de resultaten van enkele theoretische gevallen weergegeven, waarin de verschillen tussen de optimale route en de heuristiek groot zijn.

In Tabel 2 worden de resultaten voor enkele praktijk-situaties weergegeven.

1. Theoretische situatie: ganglengte 100 m, 40 of 50 gangen per truck:

Gan- gen per truck	Picks per route	Gem. rijtijd per route, heuristiek (min.)	Gem. rijtijd per route, optimaal (min.)	Ver- schil	Gem. tijd per route, heuris- tiek (m- in.)	Gem. tijd per route, optimaal (min.)	Ver- schil
50	20	30,3	16,8	45 %	42,3	28,8	32 %
40	15	23,1	12,9	44 %	32,6	22,4	31 %

Tabel 1: Onderzochte theoretische gevallen.

2. Praktijksituatie: ganglengte 50 m, 3 of 4 gangen per truck:

Gan- gen per truck	Picks per route	Gem. rijtijd per route, heuristiek (min.)	Gem. rijtijd per route, optimaal (min.)	Ver- schil	Gem. tijd per route, heuris- tiek (m- in.)	Gem. tijd per route, optimaal (min.)	Ver- schil
3	5	3,0	2,7	10 %	7,5	7,2	4 %
3	10	3,5	3,2	9 %	10,5	10,2	3 %
4	5	3,5	3,1	11 %	8,0	7,6	5 %
4	10	4,3	4,0	7 %	11,3	11,0	3 %

Tabel 2: Onderzochte praktische gevallen combi-trucks.

Orderverzameltrucks:

Bij deze situatie begint en eindigt iedere route bij een vast punt, namelijk het begin van gang 5. Dit is de lokatie waar de orderverzamelaar lege pallet(s)/rolcontainer(s) ophaalt en informatie over de te rijden route ontvangt. Na afloop van de route worden de verzamelde artikelen hier weggezet.

In Tabel 3 worden de resultaten van enkele praktijk-situaties weergegeven.

Verdere aannames: ganglengte 40 m, rijsnelheid in gang 0,8 m/sec, gang-insteektijd 0 sec (brede gangen), gangafstand 5,5 m, rijsnelheid buiten gang 0,8 m/sec, tijd per route anders dan rijtijd (= opname lege pallet, lezen van opdrachten, printen van labels, positioneren, picken en stapelen van dozen, eventueel wachten op andere orderverzameltruck en afzetten volle pallet): 2 minuten + 30 sec per pick.

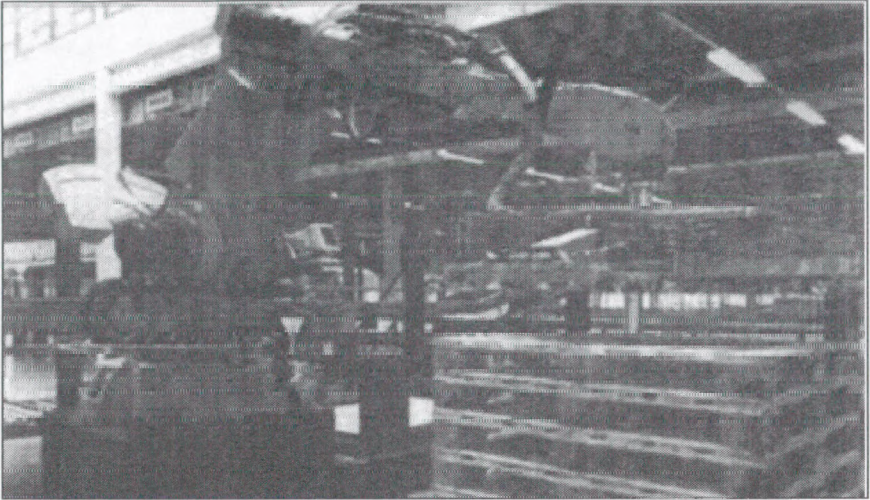
Gan- gen per truck	Picks per route	Gem. rijtijd per route, heuristiek (min.)	Gem rijtijd per route, optimaal (min.)	Ver- schil	Gem. tijd per route, heuris- tiek (m- in.)	Gem. tijd per route, optimaal (min.)	Ver- schil
8	10	6,2	4,9	21 %	13,2	11,9	10 %
8	15	7,1	5,9	17 %	16,6	15,4	7 %
10	10	7,0	5,5	21 %	14,0	12,5	11 %
10	15	8,2	6,6	20 %	17,7	16,1	9 %

Tabel 3: Onderzochte gevallen orderverzameltrucks.

Conclusie: in de praktijk is bij situaties vergelijkbaar met de hier beschreven combi-trucks de tijdwinst door het bepalen van optimale routes vaak gering. Ook vanwege het gevaar van slechte responsetijden vanwege overmatig (vaak on-line) rekenwerk, worden bij dit soort situaties complexe algoritmen vaak achterwege gelaten en worden eenvoudige heuristieken gebruikt.

In situaties vergelijkbaar met de hier beschreven orderverzameltrucks kan het bepalen van optimale routes wel wat opleveren. Vaak echter zal in de praktijk de orderverzamelaar zelf zijn eigen route bepalen, die in het algemeen korter is dan die door de heuristiek bepaald, waardoor het verschil met de optimale route afneemt.

Case 4: Multi-functionele palletiseer robots



Afbeelding 6: Multi-functionele palletiseer robot.

Een groot, bestaand Distributie Centrum bestaat onder andere uit een opslaggebied met palletstellingen voor bulkopslag en een aantal gangen met doorrolstellingen voor het verzamelen van losse dozen volgens het zogenaamde pick-to-belt principe. De verzamelde dozen worden via transportbanen naar een sorteerinstallatie getransporteerd.

Tevens zijn in het ontwerp twee multi-functionele palletiseer robots voorzien, die de volgende taken hebben:

1. Het palletiseren van losse dozen, die ontvangen worden in containers en dienen te worden opgeslagen op pallets.

Bij de ontvangstaafdeling worden deze dozen handmatig op een band gezet, die ze transporteert naar het robot gebied. Hier worden de dozen verspreid over een aantal (circa 15) bufferbanen, de zogenaamde 'robotbufferbanen'. Dit gebeurt op basis van het artikelnummer. Per robotbufferbaan kan de hoeveelheid van één pallet gebufferd worden.

Als een robotbufferbaan compleet is, wordt deze in zijn geheel doorgestuurd naar één van de robots. Na het palletiseren wordt de volle pallet automatisch afgevoerd via rollenbaan.

2. Het palletiseren van gepickte losse dozen, die verscheept dienen te worden op een pallet.
Het picken van losse dozen gebeurt in batches ter grootte van een aantal palletladingen.

Indien een bepaalde palletlading bestaat uit een geheel aantal lagen van één artikel, is er de mogelijkheid dat deze palletlading naar de robots gestuurd wordt. Voor het klaarzetten van deze palletlading worden weer de robotbufferbanen gebruikt.

De overige gepickte dozen worden naar de sorteerinstallatie gestuurd en daar handmatig gepalletiseerd.

3. Het palletiseren van gepickte dozen, die eerst naar een bewerkingsgebied gestuurd zijn, en daarna verscheept dienen te worden op een pallet.

Het principe is vergelijkbaar met het palletiseren van de normale gepickte dozen. Voor het klaarzetten worden wederom de robotbufferbanen gebruikt.

4. Het op afroep ontstapelen en opvoeren van lege pallets, zoals te zien op Afbeelding 6.

De lege pallets, die gebruikt worden bij de sorteerinstallatie voor het handmatig palletiseren, worden door de robots op afroep opgevoerd. Als bij een werkstation een volle pallet wordt weggestuurd, wordt door het bovenliggend informatiesysteem een opdracht aan de robots gegeven een lege pallet op te zetten. Deze wordt via ketting- en rollenbanen naar het betreffende werkstation getransporteerd.

Het betreffende Distributie Centrum is reeds geruime tijd operationeel. Momenteel worden de multi-funcionele palletiseer robots alleen gebruikt voor taak 4 en incidenteel voor taak 1. De reden is niet dat het slechte robots zijn. Ook de besturing van de afzonderlijke onderdelen lijkt goed in elkaar te zitten. Toch blijkt dat de besturing in de praktijk niet goed functioneert.

De problemen zijn onder andere:

- De doosbufferbanen worden gelijktijdig voor drie verschillende processen gebruikt (zie 1, 2 en 3), die gelijktijdig plaats vinden. Dit bemoeilijkt het toewijzen van robotbufferbanen aan pallet ladingen.
- Sommige pallet ladingen passen niet binnen één robotbufferbaan.
- Het verdelen van opdrachten over de twee robots is een lastig probleem.
- De capaciteit van de robots is onvoldoende om tegelijkertijd aan alle functionaliteiten te voldoen in de benodigde hoeveelheden.
- Als beide robots bezig zijn met palletiseren, kan geen lege pallet naar de sorteerinstallatie gestuurd worden. Dit betekent dat daar mensen moeten wachten en dus capaciteitsverlies. Ditzelfde geldt ook voor de andere processen.

Conclusies

Het ontwerpen van besturingsregels vereist een combinatie van theoretisch inzicht en praktische ervaring. Theoretisch inzicht is nodig om efficiënte regels te bedenken. Praktische ervaring is onontbeerlijk om tot regels te komen, die in de praktijk effectief blijken te zijn.

Er bestaan situaties, waarbij ingewikkelde besturingsregels voordelig zijn, soms zelfs noodzakelijk. Echter, de praktijk leert dat de hoeveelheid mogelijke problemen exponentieel toeneemt met de complexiteit van de besturingsregels. In het algemeen geldt: keep it simple!

Referenties

- [1] E.S. van der Poort "Orderverzamelen in een magazijn", afstudeerscriptie Rijks Universiteit Groningen, 3 juli 1992.
- [2] H.D. Ratliff en A.S. Rosenthal "Order-Picking in a Rectangular Warehouse: A Solvable Case of the Traveling Salesman Problem", Operations Research 31, 1983, blz. 507-521.

Ontvangen: 16-12-1994
Geaccepteerd: 20-3-1995