

Scheduling problems in automated manufacturing

Citation for published version (APA):

van de Klundert, J. (1996). *Scheduling problems in automated manufacturing*. [Doctoral Thesis, Maastricht University]. Rijksuniversiteit Limburg. <https://doi.org/10.26481/dis.19960607jk>

Document status and date:

Published: 01/01/1996

DOI:

[10.26481/dis.19960607jk](https://doi.org/10.26481/dis.19960607jk)

Document Version:

Publisher's PDF, also known as Version of record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.umlib.nl/taverne-license

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

repository@maastrichtuniversity.nl

providing details and we will investigate your claim.

Samenvatting

Hoofdstuk 1 van dit proefschrift begint met een beschrijving van de achtergronden en motivatie van het onderzoek waarvan dit proefschrift verslag doet. Vervolgens bevat hoofdstuk 1 een inleiding in dit onderzoek en een korte samenvatting van de resultaten daarvan, die in de hoofdstukken 2 tot en met 8 in detail aan de orde komen. Deze samenvatting heeft dezelfde structuur.

Gedurende de afgelopen decennia hebben zich grote veranderingen voltrokken in zowel productietechnologie als de besturing van productiesystemen. De introductie van (volledig) geautomatiseerde machines, zoals robots, en geautomatiseerde planningssystemen heeft grote gevolgen gehad voor productiebedrijven in verscheidene bedrijfstakken. Daarnaast stelt de toegenomen internationale competitie hogere eisen aan producenten. De grote investeringen in geavanceerde productiemiddelen, die nodig zijn om concurrerend te blijven, maken het noodzakelijk dat deze productiemiddelen efficiënt worden ingezet. Aan de andere kant wordt het besturen en beheersen van geautomatiseerde systemen, opdat een hogere mate van efficiëntie inderdaad bereikt wordt, bemoeilijkt door de intrinsieke complexiteit van deze systemen.

Veel van de bestuurs- en beheersproblemen die zich binnen dergelijke systemen voordoen vallen onder de zogenaamde *deterministische scheduling problemen*. De theorie die voor dergelijke problemen tot nu toe ontwikkeld is, is echter niet toereikend om veel van de nieuwe problemen die zich specifiek in geautomatiseerde systemen voordoen goed op te lossen. Aan de andere kant is het vakgebied van de Combinatorische Optimalisering in staat gebleken om de aard van verwante problemen goed te doorgronden en in geautomatiseerde oplossingsprocedures voor dergelijke problemen te voorzien. In dit proefschrift onderzoeken we combinatorische eigenschappen van, en geautomatiseerde oplossingsmethoden voor, productieplanningsproblemen die zich voordoen in geautomatiseerde productie systemen.

Er bestaat een grote variëteit aan planningsproblemen in geautomatiseerde productie systemen. In het onderzoek waarvan dit proefschrift verslag doet, hebben we ons derhalve moeten beperken. We hebben het onderzoek beperkt tot drie uiteenlopende deelgebieden, en wel robotic cells, printed circuit board assembly, en tool management.

Een *robotic cell* is een productie systeem dat bestaat uit een aantal machines, een invoer buffer, een uitvoer buffer, en een robot. We beschouwen in dit proefschrift met name robotic flowshops. In een *robotic flowshop*, komen de (onderdelen van) producten die bewerkingen moeten ondergaan in de cell beschikbaar bij de invoer buffer. Daarna moeten zij bewerkingen ondergaan op ieder van de machines, in een gegeven, en voor alle producten identieke, volgorde. Als de producten alle bewerkingen hebben ondergaan kunnen zij worden afgeleverd bij de uitvoer buffer. Het transport van de

producten tussen de machines en de buffers wordt uitgevoerd door de robot. Planning problemen die zich voordoen in robotic flowshops hebben vaak tot doel de bereikte productiviteit te maximaliseren. Deze productiviteit hangt af van de bewerkingstijden van de producten, de transporttijden van de robot, en de interactie tussen de activiteiten van de robot en de machines. In het algemeen wordt in robotic flowshop planningsproblemen gevraagd een volgorde te specificeren waarin de producten van de invoer buffer worden gepakt door de robot, alsmede een volledige volgorde van robot bewegingen te specificeren.

Deel 1 van dit proefschrift betreft robotic cells en beslaat de hoofdstukken 2,3, en 4. In hoofdstuk 2 geven we een overzicht van onderzoek dat is verricht naar dergelijke planningsproblemen in robotic cells en in het bijzonder robotic flowshops. Daarnaast leggen we enkele nog niet eerder opgemerkte verbanden tussen resultaten van diverse onderzoekers. In hoofdstuk 2 identificeren we bovendien enkele belangrijke open problemen met betrekking tot het plannen van robotic cells. Voor enkele van die problemen geven we reeds in hoofdstuk 2 een oplossing, andere komen in de hoofdstukken 3 en 4 aan de orde. In hoofdstuk 2 tonen we aan dat een algemene versie van het probleem NP-moeilijk is, hetgeen inhoudt dat het onwaarschijnlijk is dat dit probleem in het algemeen op een efficiënte wijze exact kan worden opgelost. In deze algemene versie moeten zowel de volgorde waarin de producten van de invoer buffer worden gepakt, alsmede de volgorde waarin de robot haar transport activiteiten verricht, worden bepaald. Zelfs als beide volgordes zijn vastgelegd, is het echter niet à priori duidelijk hoe het meest efficiënte productie plan eruit ziet. In hoofdstuk 2 geven we, voor een bepaald type robotic flowshop, een efficiënt algoritme voor het bepalen van zo'n productie plan. Dit algoritme is algemener en efficiënter dan verscheidene eerder gepubliceerde algoritmen.

In hoofdstuk 3 beschouwen we voor hetzelfde type robotic flowshop, het probleem van het bepalen van een korte optimale robot activiteiten volgorde in het geval alle producten identiek zijn (de volgorde waarin de producten van de invoerbuffer worden gepakt doet er dan niet toe). We laten zien dat zelfs voor robotic flowshops met veel machines, dit probleem efficiënt kan worden opgelost. Onze oplossingsmethode maakt, verassenderwijs, gebruik van het concept van zogenaamde pyramidale permutaties, die eerder zijn onderzocht in verband met het wel bekende Handelsreiziger probleem.

In hoofdstuk 4 beschouwen we een vermoeden van Sethi et al. [1992] dat stelt dat in een bepaald type robotic flowshop, de meest efficiënte productie wijze kan worden gerealiseerd met korte robot activiteiten volgordes die de robot herhaaldelijk uitvoert. Dergelijke korte volgordes zijn aantrekkelijk vanuit zowel een plannings- als een beheersogpunt. We laten zien dat een nauwelijks zwakkere versie van dit vermoeden inderdaad juist is.

Deel 2 van dit proefschrift heeft betrekking op de assemblage van printed circuit boards. We beschouwen twee praktijk problemen. De assemblage van printed circuit boards behelst onder andere het plaatsen van componenten op lege printed circuit boards. De efficiëntie waarmee dit plaatsen van componenten wordt uitgevoerd kan op de volgende twee manieren worden beïnvloed. De componenten worden door een gripper gepakt van feeders die aan een feeder rack worden bevestigd. Iedere feeder bevat

componenten van een enkel type. Tussen het pakken van opeenvolgende componenten moet het rack worden verplaatst, zodanig dat een feeder met componenten van het juiste type onder de gripper wordt gepositioneerd. De tijdsduur van dergelijke verplaatsingen hangt af van de lengte van de verplaatsing van het rack. De tijdsduur van de assemblage kan dus worden beïnvloed door de volgorde waarin de componenten gepakt worden, en door het toewijzen van feeders aan posities van het tape rack.

De tijdsduur van de assemblage wordt ook nog beïnvloed door de afstand tussen locaties op het printed circuit board behorende bij componenten die direct na elkaar geplaatst dienen te worden.

Als zowel de volgorde waarin de componenten dienen te worden gepakt, als een toewijzing van feeders aan het rack gegeven zijn, doet zich nog het volgende probleem voor. In geval voor een bepaald type component meer dan één feeder aan het rack is toegewezen die componenten van dit type bevat, kan men, voor ieder component van dit type dat gepakt moet worden, kiezen van welke feeder de gripper deze component pakt. Het probleem dat er in bestaat deze keuze zo te maken dat de assemblage zo snel mogelijk verloopt, heet het Component Retrieval probleem. De complexiteit van dit probleem hangt af van de exacte werking van de assemblage machines. Voor de machines die we in hoofdstuk 5 beschouwen, beweren Bard et al. [1993] dat dit probleem eenvoudig als een kortste pad probleem is te modelleren. We laten in hoofdstuk 5 zien dat hun oplossingsmethode onjuist is en geven een alternatieve, en correcte, oplossingsmethode.

In hoofdstuk 6 beschouwen we het probleem van het efficiënt produceren van een aantal printed circuit boards van verschillende types op een aantal machines. Het bestuderen van deze problemen is het gevolg van een samenwerkingsproject met het Center for Manufacturing Technology van Philips Nederland N.V. De problemen instanties die we oplossen zijn door hen ter beschikking gesteld. In de oplossingsmethode die door Philips wordt gehanteerd, worden de borden samengevoegd tot een imaginair, samengesteld board. Uit een goed assemblage plan voor dit samengestelde board worden dan, hopelijk ook goede, assemblage plannen voor de oorspronkelijke boards afgeleid. In de in dit proefschrift beschreven oplossingsmethode hebben we daarentegen geprobeerd juist zoveel mogelijk rekening te houden met de individuele bord karakteristieken. De juistheid van deze keuze blijkt uit onder andere uit de kwaliteit van de oplossingen, die ten opzichte van de oplossingen van Philips een verbetering van ongeveer 17 % opleveren. Daarnaast hebben we kunnen aantonen dat een verbetering van meer dan ongeveer 25 % niet mogelijk is.

Het derde deel van dit proefschrift tenslotte, heeft betrekking op tool management. Een van de belangrijkste karakteristieken van moderne, geautomatiseerde, productie systemen is flexibiliteit. Een van de verschijningsvormen van flexibiliteit is de zogenaamde machine flexibiliteit, i.e. het vermogen van machines om met relatief kleine omsteltijden een grote variëteit aan productiehandelingen te verrichten. Deze machine flexibiliteit is grotendeels het gevolg van de mogelijkheid die moderne machines hebben om, al naar gelang de te verrichten handeling, gebruik te maken van verschillende tools, gereedschappen. Het wisselen van tools kost weinig tijd als de benodigde tools

in het tool magazijn van de machine aanwezig zijn. Als de benodigde tools echter van buiten de machine moeten komen, nemen de omsteltijden aanmerkelijk toe. Het wordt duidelijk dat de efficiëntie van de productie beïnvloed kan worden door de toewijzing (over tijd) van tools aan machines.

Toewijzingsproblemen die zich in dit kader voordoen zijn in de literatuur veelvuldig onderzocht. Vooral groeperingsproblemen hebben veel aandacht gekregen. Een group of batch van parts is een verzameling van producten waarvoor geldt dat de tools die nodig zijn voor de productiehandelingen die zij moeten ondergaan, gezamenlijk in het tool magazijn passen. Een veel voorkomend probleem is het zogenaamde Job Grouping probleem : is het mogelijk de verzameling van alle te produceren parts op te splitsen in (maximaal) zoveel batches als er machines beschikbaar zijn. Een manier om dit probleem op te lossen is als volgt. Genereer herhaaldelijk zo groot mogelijke batches, totdat alle parts zijn toegewezen aan een machine. Het probleem van het vinden van een zo groot mogelijke batch heet het Batch Selection probleem.

In hoofdstuk 7 beschouwen we het Job Grouping probleem, het Batch Selection probleem en enkele gerelateerde problemen. het is bekend dat voor deze problemen waarschijnlijk geen efficiënte exacte oplossingsmethode bestaan. In hoofdstuk 7 onderzoeken we de mogelijkheid van het bestaan van oplossingsmethoden met een gegarandeerd goed gedrag. Daarmee bedoelen we dat de oplossingen die door deze oplossingsmethoden worden gegeven niet meer dan bijvoorbeeld een bepaald percentage verschillen van de optimale oplossing. We tonen in hoofdstuk 7 echter aan dat alle ons bekende oplossingsmethoden uit de literatuur zich arbitrair slecht kunnen gedragen. Aan de andere kant geven we enkele negatieve resultaten : voor bepaalde garanties kunnen we aantonen dat oplossingsmethode met die garanties waarschijnlijk niet kunnen bestaan.

In hoofdstuk 8 beschouwen we paren van problemen die gerelateerd zijn zoals het Job Grouping probleem en het Batch Selection probleem. Dus, meer algemeen, (master-slave) paren van problemen waarvoor geldt dat een oplossing gevonden kan worden voor het master probleem, door het herhaaldelijk oplossen van een slave probleem. We vragen ons af wat de relatie is tussen de garanties van oplossingen voor beide problemen. In het bijzonder vragen we ons het volgende af. Stel dat we een oplossing voor het master probleem verkrijgen door het herhaaldelijk toepassen van een oplossingsmethode voor het slave probleem met een bepaalde garantie. Welke garantie kunnen we nu geven voor de zo verkregen oplossing voor het master probleem? In hoofdstuk 8 geven we scherpe karakterisering van de relatie tussen beide garanties.