

Assignment and scheduling algorithms in automated manufacturing

Citation for published version (APA):

Spieksma, F. C. R. (1992). *Assignment and scheduling algorithms in automated manufacturing*. Rijksuniversiteit Limburg. <https://doi.org/10.26481/dis.19920221fs>

Document status and date:

Published: 01/01/1992

DOI:

[10.26481/dis.19920221fs](https://doi.org/10.26481/dis.19920221fs)

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

Dit proefschrift gaat over wiskundige problemen die zich kunnen voordoen bij geautomatiseerde productie-processen. In Hoofdstuk 1 wordt, naast een overzicht over het proefschrift, een algemene beschrijving gegeven van een geautomatiseerd productie-proces in de electronica industrie. Het gaat hierbij om de productie van zogenaamde printplaten. Zo'n productie-proces ziet er in het algemeen als volgt uit. Een lijn van machines is gewijd aan de productie van printplaten, die elk met een automatische transportband van de ene machine naar de volgende machine worden vervoerd. De assemblage van een printplaat bestaat uit het plaatsen van elektronische componenten (zoals weerstanden en condensatoren) van bepaalde types op vooraf bepaalde locaties in de printplaat. Om deze componenten te kunnen hanteren, is elke machine uitgerust met een zogenaamde arm. Deze arm pakt componenten op van zogenaamde voeders, beweegt naar de geschikte locaties, plaatst de componenten daar in de printplaat en beweegt terug naar de voeders om nieuwe componenten te pakken. Deze voeders leveren componenten van een bepaald type (één type per voeder) en ze kunnen aan de machine bevestigd worden middels zogenaamde voederklemmen. Elke machine heeft een rij van dergelijke klemmen beschikbaar. Afhankelijk van het type, neemt een voeder 1 of 2 (en soms zelfs meer dan 2) aaneengesloten klemmen in beslag (zie Figuur 2.1). Het pakken van componenten door de arm, het bewegen naar de juiste locaties en het plaatsen van de componenten in de printplaat zullen we een slag van de machine noemen.

We nemen aan dat het een doelstelling van de producent is om zoveel mogelijk printplaten per tijdseenheid te produceren. Aangezien deze productiesnelheid afhankelijk is van de kwaliteit van de machine-instructies, is het van belang om goede optimaliseringsprogramma's te hebben. Echter, de assemblage van een 'gemiddelde' printplaat vergt de plaatsing van honderden componenten door ingewikkelde machines. Vandaar dat het maximaliseren van de productie-snelheid voor verschillende type's printplaten met een

lijn bestaande uit meerdere machines, een bijzonder moeilijk planningsprobleem is. Een gebruikelijke aanpak bij dit soort planningsproblemen is om het probleem op hiërarchische wijze te decomponeren. Er worden dan een aantal (relatief makkelijkere) deelproblemen onderscheiden, op een zodanige wijze dat een oplossing van het ene deelprobleem als gegeven dient voor het volgende deelprobleem. In dit proefschrift worden een aantal algoritmen ontwikkeld en geanalyseerd voor bepaalde deelproblemen die in zo'n hiërarchische probleemdecompositie naar voren komen.

Hoofdstuk 2 gaat in op een specifiek assemblage-systeem voor printplaten. Eén van de additionele kenmerken van dit systeem is dat de arm van de machine is uitgerust met drie koppen. Dat betekent dat in één slag van de machine drie componenten in de printplaat geplaatst kunnen worden. Bovendien moet zo'n kop, om een component te kunnen pakken, voorzien worden van een bepaald gereedschap. Een componenttype kan maar door bepaalde soorten gereedschap gepakt worden. Verder wordt er in Hoofdstuk 2 uitgegaan van de productie van één type printplaat. Het resulterende planningsprobleem wordt dan in de volgende, hiërarchisch gekoppelde deelproblemen, opgedeeld:

- (A) bepaal hoeveel componenten elke machine moet plaatsen en met welk gereedschap;
- (B) wijs voedertypes toe aan de machines;
- (C) bepaal welke componenten door welke kop van de machine in de printplaat geplaatst worden;
- (D) groepeer de locaties in groepjes van drie, die in één slag van de machine bediend worden;
- (E) bepaal in welke slag welke groepjes van locaties bediend worden;
- (F) wijs voeders toe aan de klemmen.

Deelproblemen (A) en (B) bepalen de werklast van een machine. Deelproblemen (C)–(F) moeten voor elke machine één keer opgelost worden.

In Hoofdstuk 2 is beschreven hoe elk van deze deelproblemen als een wiskundig model geformuleerd is, en welke algoritmen gebruikt zijn om deze modellen op te lossen. Vervolgens is deze aanpak getest op een praktijkinstantie, waarbij 258 componenten van 39 types in een printplaat gezet moeten worden door een lijn van drie machines. Het blijkt dat onze aanpak de maximale werklast aanzienlijk terugbrengt.

Hoofdstuk 3 van dit proefschrift houdt zich bezig met deelprobleem (D) uit de eerder gegeven decompositie. Het blijkt dat dit probleem een speciaal geval is van het drie-dimensionale toewijzingsprobleem (3DA), dat als volgt beschreven kan worden. Gegeven zijn drie disjuncte verzamelingen van n punten, en tevens zijn er niet-negatieve kosten bekend voor elk drietal punten bestaande uit één punt van elke verzameling. Het probleem is om n drietallen te vinden zodanig dat elk punt in één van die drietallen zit en dat de som van de kosten van die drietallen minimaal is. In deelprobleem (D) corresponderen de drie disjuncte verzamelingen punten met locaties waar componenten door kop 1, kop 2 of kop 3 respectievelijk geplaatst moeten worden. Instanties van deelprobleem (D) hebben wat meer structuur dan die van het algemene 3DA, omdat de kosten van een drietal in subprobleem (D) afhangen van afstanden tussen de punten in het drietal. Bovendien voldoet die afstandsfunctie aan de driehoeksongelijkheid. We bewijzen dat deelprobleem (D) tot de klasse der zogenaamde \mathcal{NP} -moeilijke problemen behoort. Verder presenteren we twee algoritmen gebaseerd op het oplossen van een aantal gerelateerde twee-dimensionale toewijzingsproblemen. Deze algoritmen blijken altijd een oplossing te vinden met kosten maximaal $1\frac{1}{2}$, respectievelijk $\frac{4}{3}$, keer de kosten van de optimale oplossing. Experimenten laten zien dat de prestaties van deze algoritmen op willekeurig gegenereerde probleeminstanties excellent is.

In Hoofdstuk 4 worden generalisaties van deelprobleem (D) behandeld. Gegeven zijn nu k disjuncte verzamelingen punten, $k \geq 3$, en een afstand tussen elk tweetal punten in verschillende verzamelingen. Laat een klik een deelverzameling van k punten zijn met één punt uit elke verzameling. Neem verder aan dat de kosten van een klik functies zijn van de afstanden tussen de punten in de klik. Het probleem is nu om een partitie van de verzameling punten in klikken te vinden met minimale kosten. Verscheidene kosten-functies worden geïntroduceerd, en er worden verschillende algoritmen voorgesteld. Voor elk van deze algoritmen worden 'worst-case' grenzen afgeleid. Bijvoorbeeld, er wordt bewezen dat voor bepaalde kosten-functies er een algoritme bestaat dat, in polynomiale tijd, altijd een oplossing levert met kosten maximaal twee keer de kosten van de optimale oplossing, voor elke waarde van k .

Hoofdstuk 5 is gewijd aan het volgende probleem. Gegeven zijn n taken die door 1 machine verricht moeten worden in de tijdsspanne $\{1, 2, \dots, T\}$. De procestijd van elke job bedraagt p , $p \in \mathbb{N}$. De productie-kosten van elke taak zijn een functie van de starttijd van die taak. Het probleem is om zulke starttijden voor de taken te vinden, dat de som van de productie-kosten

minimaal is. We bewijzen dat, voor $p \geq 2$, dit probleem tot de klasse der \mathcal{NP} -moeilijke problemen behoort. Aan de andere kant, voor $T = n \cdot p + c$, waar c een constante voorstelt, is het probleem oplosbaar in polynomiale tijd. Verder wordt dit probleem onderzocht vanuit een polyhedrale invalshoek. Er worden onder meer twee klassen van facet-definiërende ongelijkheden afgeleid. Dit probleem blijkt overigens sterk verwant te zijn aan deelprobleem (F) in de eerder gegeven decompositie.

Tenslotte wordt in Hoofdstuk 6 het volgende probleem behandeld. Een aantal taken moet door een flexibele machine bewerkt worden. Voor de bewerking van elke taak moet er een bepaalde verzameling gereedschappen in het magazijn van de machine aanwezig zijn. Aangezien de capaciteit van dit magazijn begrensd is, en bovendien het aantal gereedschappen nodig ter bewerking voor alle taken groter is dan de capaciteit van het magazijn, moet er soms tussen 2 opeenvolgende taken gereedschappen gewisseld worden. Wij beschouwen in dit hoofdstuk het probleem om een zodanige volgorde van taken te vinden dat het aantal gereedschapswisselingen wordt geminimaliseerd. Er wordt in Hoofdstuk 6 een toepassing van dit probleem in de assemblage van printplaten beschreven. Verder blijkt dat het minimaliseren van het aantal gereedschapswisselingen al een \mathcal{NP} -moeilijk probleem is voor een vaste magazijn capaciteit $C \geq 2$. Tenslotte worden een aantal algoritmen voorgesteld en getest op willekeurig gegenereerde probleeminstanties.