

Het bepalen en controleren van werkstukoriëntaties

Citation for published version (APA):

Heijers, O. K. J. C., & Quay, de, R. E. (1992). *Het bepalen en controleren van werkstukoriëntaties*. (TH Eindhoven. Afd. Werktuigbouwkunde, Vakgroep Produktietechnologie : WPB; Vol. WPA1276). Technische Universiteit Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1992

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als 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.tue.nl/taverne

Take down policy

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

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

**Het bepalen en controleren
van werkstukoriëntaties.**

**O.K.J.C. Heijers
R.E. de Quay**

WPA Rapport 1276

april 1992

INHOUDSOPGAVE

1. Inleiding	1
2. Analyse van de probleemstelling	2
2.1 Blokschema 1	2
2.2 Blokschema 2	3
2.3 Blokschema 3	4
3. Procedures	6
4. Theorie	8
5. Wiskundige achtergrond	9
Literatuurlijst	20
Bijlage 1 : De opdracht	21

1.INLEIDING.

Binnen het IDM-ontwerpsysteem is het mogelijk om een ontwerp/werkstuk op een aantal punten te evalueren. Zo kan bijvoorbeeld worden gecontroleerd of een vormelement van het ontwerp/werkstuk met het beschikbare machinepark kan worden gerealiseerd. Ook kan men controleren of een gereedschap een bepaald vormelement kan bewerken zonder ongewenste botsingen met het ontwerp/werkstuk te veroorzaken.

De mogelijkheden tot evalueren worden nog steeds uitgebreid. Op dit moment is er behoefte aan een algoritme dat bepaald hoe een ontwerp/werkstuk op een bewerkingsmachine moet worden georiënteerd, zodanig dat alle aanwezige vormelementen kunnen worden bereikt.

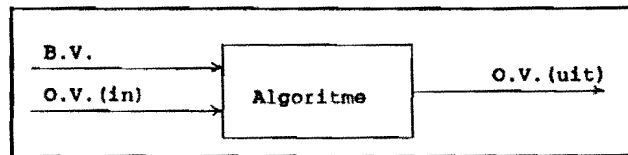
Wij hebben getracht een algoritme te ontwikkelen dat mogelijke oriëntaties van het ontwerp/werkstuk bepaalt, zodanig dat alle vormelementen met behulp van één opspanning op een bewerkingsmachine gerealiseerd kunnen worden.

Hiervoor hebben wij gebruik gemaakt van de structuuraanpak om met behulp van blokschema's het probleem te analyseren.

2. ANALYSE VAN DE PROBLEEMSTELLING.

Ter beschikking staat een 5-assige freesmachine met als gereedschap een vlakfrees. Verder hoeven alleen platte vlakken gerealiseerd te worden.

2.1 BLOKSCHEMA 1.



Afbeelding 1

Definitie's van de gebruikte termen.

O.V.(in) : ingevoerde opspanvectoren, dit zijn de richtingsvectoren van de buitennormalen van de opspanvlakken, die gezien de uitgangsvorm van het werkstukmateriaal, redelijkerwijze te realiseren zijn.

B.V. : bewerkingsvectoren, dit zijn de richtingsvectoren van de buitennormalen van de te bewerken vlakken, die nodig zijn om de gewenste productvorm te realiseren.

O.V.(uit) : verzameling opspanvectoren die het mogelijk maken de gewenste vormelementen in één opspanning te realiseren.

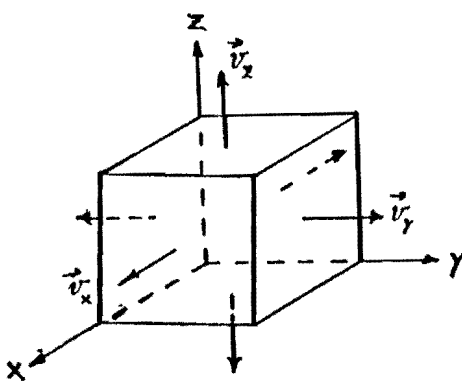


Fig.1 Uitgangsvorm van materiaal met mogelijke O.V.

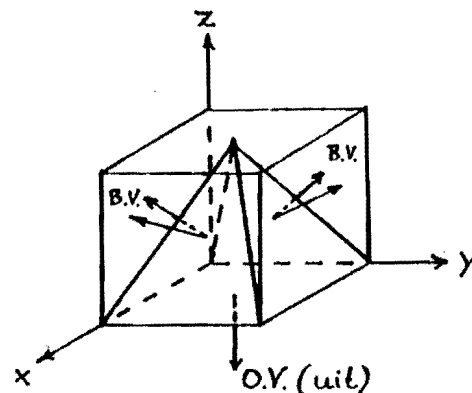


Fig.2 Gewenste productvorm met zijn B.V. en O.V.(uit)

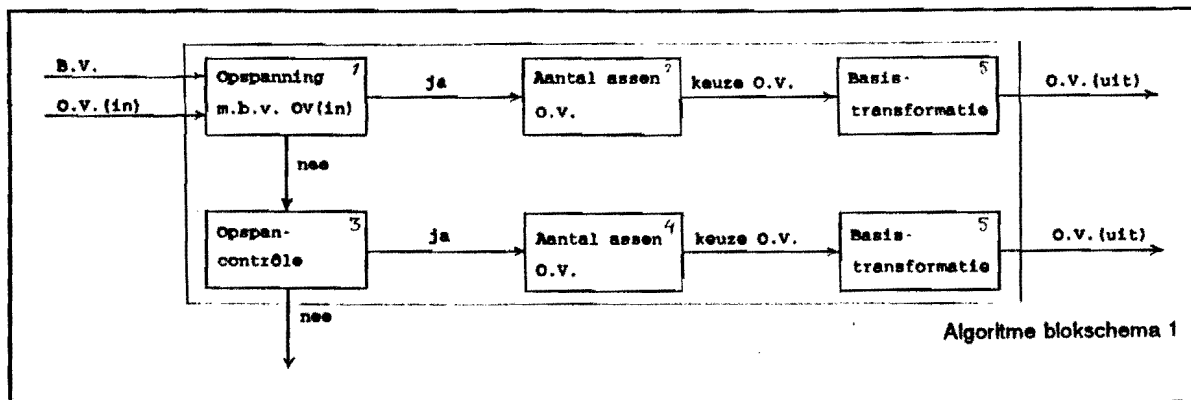
Globale werking van blokschema 1.

Aan de hand van de uitgangsvorm van het werkstukmateriaal wordt eerst gekeken welke opspanningen het eenvoudigst te realiseren zijn. Hiervan worden de opspanvectoren bepaald en vervolgens ingevoerd.

Van de in het product aanwezige vormelementen worden de bijbehorende bewerkingsvectoren ingevoerd.

Het doorlopen van het ontwikkelde algoritme geeft een verzameling opspanvectoren die het mogelijk maken de gewenste vormelementen in één opspanning te realiseren.

2.2 BLOKSHEMA 2.



Afbeelding 2

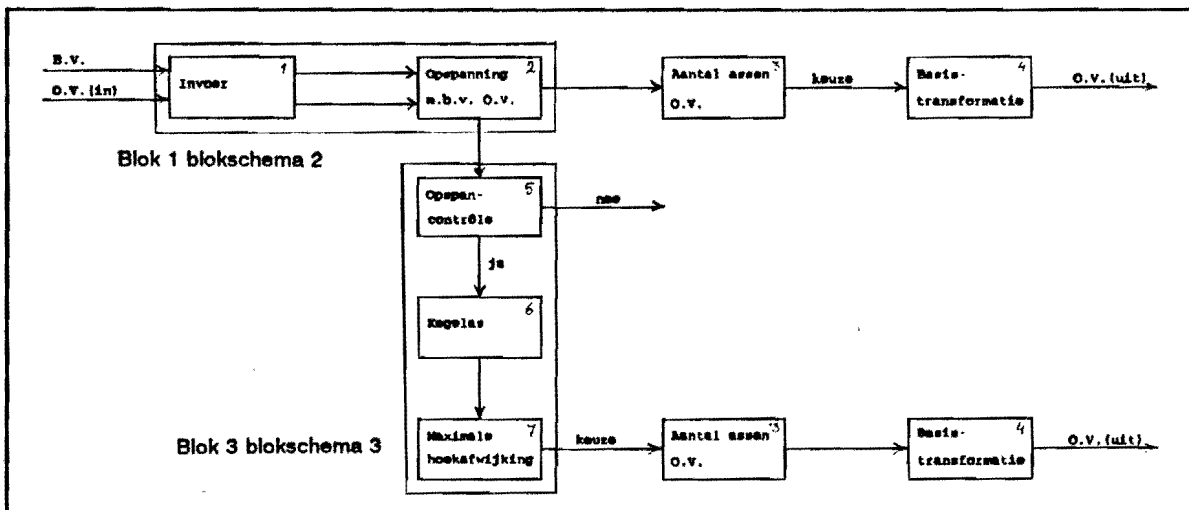
Globale werking blokschema 2.

Allereerst wordt in blok 1 gecontroleerd of het mogelijk is de gewenste bewerkingen, met behulp van de ingevoerde opspanvectoren in één opspanning te realiseren. Daarna wordt in blok 2 gekeken of de bewerkingen eventueel ook te realiseren zijn op een 3- of 4-assige freesmachine. De ingevoerde opspanvectoren kunnen zo eenvoudig met elkaar vergeleken worden.

Wanneer blok 1 een negatief resultaat oplevert, wordt in blok 3 gekeken of er eigenlijk wel een opspanning mogelijk is, waarbij alle gewenste bewerkingen in één opspanning te realiseren zijn. Van deze opspanning wordt dan de opspanvector en de maximaal toelaatbare hoekafwijking ten opzichte van die opspanvector berekend. Na keuze van een geschikte opspanvector wordt in blok 4 gekeken of een reductie van het aantal bewerkingsassen mogelijk is.

Tenslotte volgt in blok 5 een basistransformatie waardoor de werkstukcoördinaten behorende bij de opspanvector samenvallen met de machinecoördinaten.

2.3 BLOKSCHEMA 3



Afbeelding 3

Werking van blokschema 3.

Blokschema 3 geeft de procedureopbouw van het algoritme weer. De werking van het blokschema wordt eerst uitgelegd, waarna de procedureopbouw en de wiskundige achtergrond zal volgen.

Na het inlezen van de opspan- en bewerkingsvectoren worden deze in blok 1 op eventuele nulvectoren gecontroleerd. Deze worden verwijderd. Hierna worden alle overige vectoren zodanig vereenvoudigd dat hun lengte gelijk aan 1 is. Vectoren met gelijke richting worden verwijderd.

Daarna worden in blok 2 de inproducten van de opspanvectoren met de bewerkingsvectoren uitgerekend en een tekenwisselcontrole uitgevoerd.

Hieruit blijkt of het al dan niet mogelijk is het werkstuk op te spannen met een ingevoerde opspanvector. Wanneer dit het geval is wordt in blok 3 met behulp van de reeds uitgerekende inproducten bepaald of het mogelijk is de gewenste bewerkingen uit te voeren op een 3- of 4-assige freesmachine. Het resultaat wordt uitgevoerd.

Na keuze van een geschikte opspanvector volgt tenslotte in blok 4 een basistransformatie, waarna de opspanvector langs de positieve y-as van de machine komt te liggen.

Wanneer het niet mogelijk blijkt, alle aanwezige vormelementen met behulp van een ingevoerde opspanning te realiseren, volgt in blok 5 een controle of er eigenlijk wel een opspanning die aan het vereiste voldoet, mogelijk is. Daartoe worden de bewerkingsvectoren geprojecteerd op het XY-, YZ- en het ZX-vlak, waarna de uitproducten tussen de geprojecteerde bewerkingsvectoren per vlak uitgerekend worden. Aan de hand van het uitproduct kan weer een tekenwisselcontrole uitgevoerd worden, waaruit blijkt of opspannen al dan niet mogelijk is. Als opspannen mogelijk is wordt de verzameling opspanvectoren gerepresenteerd door een kegel. De kegel wordt beschreven door de kegelas en een hoekafwijking ten opzichte van de kegelas. De kegelas wordt berekend in blok 6, de hoekafwijking in blok 7.

Na keuze van de opspanvectoren wordt weer gekeken of er de mogelijkheid bestaat de gewenste bewerkingen uit te voeren op een 3- of 4-assige freesmachine, of een 5-assige freesmachine met slechts een horizontale of verticale gereedschapsstand.

Tenslotte volgt een basistransformatie, waarna de werkstuk- en de machinecoördinaten samenvallen.

3.PROCEDURES.

Procedure Invoer

```
Begin
  herhaal
    voer vector in;
      als vector=nulvector
        dan verwijder vector
      anders vereenvoudig vector;
      als vector=eerder ingevoerde vector
        dan verwijder vector;
    totdat alle vectoren ingevoerd zijn;
End.
```

Procedure Spiegeling in oorsprong

```
Begin
  neem vector;
  spiegel in oorsprong;
End.
```

Procedure Opspanning m.b.v. O.V.(in)

```
Begin
  herhaal
    neem O.V.(in);
    bereken inproduct van O.V.(in) met alle B.V.;
    als geen tekenwissel inproduct optreedt
      dan onthoud O.V.(in);
    totdat alle O.V.(in) geweest zijn;
End.
```

Procedure aantal assen O.V.(in)

```
Begin
  herhaal
    neem geselecteerde O.V.(in);
    als inproduct O.V.(in) met alle B.V.
       $\geq -1/2\sqrt{2}$  en  $\leq 0$ 
      dan horizontale gereedschapsstand mogelijk;
    als inproduct O.V.(in) met alle B.V.
       $\geq -1$  en  $\leq -1/2\sqrt{2}$ 
      dan verticale gereedschapsstand mogelijk;
    als inproduct O.V.(in) met alle B.V.
      =0 of =-1
      dan 4-assige bewerking mogelijk;
    als er 2 B.V. zijn
      en inproduct O.V.(in) met B.V.=-1 en =0;
    dan 3-assige bewerking mogelijk;
    als er 1 B.V. is
      en inproduct O.V.(in) met B.V.=-1 of =0
      dan 3-assige bewerking mogelijk;
    anders 5-assige bewerking nodig;
    totdat alle geselecteerde O.V.(in) geweest zijn;
    voer gegevens uit;
End.
```

Procedure uitproduct

```
Begin
  herhaal
    neem B.V.-geprojecteerd;
    bereken uitproduct B.V.-geprojecteerd met alle andere B.V.-geprojecteerd;
    totdat geen tekenwissel uitproduct optreedt;
    onthoud vector met projectievlak;
    neem onthouden vector;
    bereken inproduct onthouden vector met alle andere B.V.-geprojecteerd;
    onthoud B.V.-geprojecteerd met kleinste waarde inproduct;
End.
```

Procedure opspancontrôle

```
Begin
  projecteer alle B.V. op XY-vlak;
  voer procedure uitproduct uit;
  projecteer alle B.V. op YZ-vlak;
  voer procedure uitproduct uit;
  projecteer alle B.V. op ZX-vlak;
  voer procedure uitproduct uit;
  als # onthouden projectievlakken  $\geq 2$ 
    dan opspanning mogelijk
  anders geen opspanning mogelijk;
End.
```

Procedure kegelas

Begin

herhaal

neem onthouden projectievlak met bijbehorende B.V.-geprojecteerd;
bereken met inproduct de hoek tussen onthouden B.V.-geprojecteerd;
deel hoek door 2;
bereken waarde uitproduct
tussen eerste en tweede onthouden B.V.-geprojecteerd;
als waarde uitproduct is positief
dan rotatie over halve hoek t.o.v. eerste B.V.-geprojecteerd uitvoeren;
als waarde uitproduct is negatief
dan rotatie over halve hoek t.o.v. tweede B.V.-geprojecteerd uitvoeren;
onthoud middenvector;
neem normaalvector op projectievlak;
bepaal uitproduct tussen normaalvector en middenvector;
stel vlakvergelijking op m.b.v. uitproduct;
onthoud vlakvergelijking;
totdat 2 onthouden projectievlakken geweest zijn;
bepaal snijlijn van de 2 projectievlakken door oplossen vlakvergelijkingen;
gevonden vector is kegelas;
maak lengte kegelas gelijk aan 1;
onthoud kegelas;

End.

Procedure maximale hoekafwijking

Begin

neem kegelas;
bereken inproduct kegelas met alle B.V.;
als inproduct is positief
dan spiegel kegelas in oorsprong;
bereken nieuwe waarde inproduct;
neem grootste waarde inproduct;
bereken bijbehorende hoek;
maximale hoekafwijking is berekende hoek min 90 graden;

End.

Procedure basistransformatie

Begin

neem gekozen opspanvector;
projecteer opspanvector op XY-vlak;
maak lengte projectievector gelijk aan 1;
bereken hoek projectievector met y-as;
roteer O.V. en alle B.V. om de z-as over de berekende hoek;
bereken hoek O.V. met y-as;
roteer O.V. en alle B.V. om de x-as over de berekende hoek;

End.

4.THEORIE

De theoretische onderbouwing van het geheel zal nu ten sprake worden gebracht. Bij het zoeken naar oplossingen van het probleem hebben wij door middel van projecties getracht het 3-D probleem te vereenvoudigen tot 2-D problemen. Na het uitvoeren van deze projecties wordt er van uitgegaan dat de opspanvector in een projectievlak ligt. Door deze aanname gaan oplossingen verloren.

Allereerst zullen de gevolgen van de beperking van één opspanning behandeld worden.

Om een bepaald vormelement te realiseren zullen er bewerkingen op uitgevoerd moeten worden. Door de richtingsvectoren van de buitennormalen van de te realiseren vormelementen te nemen, zijn de bewerkingsvectoren bekend.

Alle bewerkingsvectoren krijgen lengte 1 en worden naar de oorsprong van een assenstelsel getransleerd. De uiteinden van de normaalvectoren geven dan een bepaald beeld, de Gaussian-map(G-map), weer op een eenheidsbol(straal=1).

In het geval van rechte oppervlakken zijn dat dus een aantal punten op de bol. Van de G-map kan nu een Visibility-map(V-map) afgeleid worden. Wanneer als gereedschap een vlakfrees genomen wordt, ziet de V-map er hetzelfde uit als de G-map. Een vlakfrees kan immers alleen maar gebruikt worden bij loodrechte stand op het te bewerken oppervlak.

Het gedeelte van de V-map dat in één opspanning bewerkt kan worden, is afhankelijk van het aantal bewerkingsassen van de betreffende freesmachine.

Voor een 5-assige freesmachine (3 translaties en 2 orthogonale rotaties) betekent dit, dat alle bewerkingsvectoren in een halve bol moeten liggen.

Verder wordt gekeken of de bewerkingen met de frees in horizontale of verticale stand zijn te realiseren. Dit betekent dat de V-map te verdelen is in 2 verschillende gebieden.

Bij een 4-assige bewerkingsmachine is kanteling van de draaitafel niet mogelijk, zodat 3 translaties en 1 rotatie overblijven. Dit betekent voor de V-map dat slechts punten gerealiseerd kunnen worden die op een cirkel in een vlak (het opspanvlak) door de oorsprong liggen en 1 punt liggende op de lijn door de oorsprong loodrecht op dat vlak.

Tenslotte de 3-assige freesmachine, waarbij alleen 3 translaties overgebleven zijn. Dit geeft in de V-map slechts 2 punten. 1 punt in het opspanvlak en 1 punt liggende op de lijn door de oorsprong loodrecht op het opspanvlak.

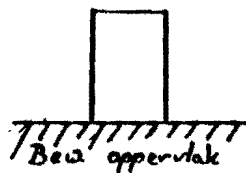


Fig.3 De vlakfrees

5. WISKUNDIGE ACHTERGROND

In het stuk hierna wordt gebruik gemaakt van de volgende vectordefinitie.

definitie vector:

$$\vec{v}_a = a_x \vec{e}_x + a_y \vec{e}_y + a_z \vec{e}_z \quad (1)$$

$$(\vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z) \quad \text{zijn eenheidsvectoren} \quad (2)$$

Verder moeten de vectoren lengte 1 hebben. Dit kan verwezenlijkt worden door de afzonderlijke coördinaten door de totale lengte te delen.

$$\vec{v}_a' = \frac{\vec{v}_a}{|\vec{v}_a|} = \frac{a_x \vec{e}_x + a_y \vec{e}_y + a_z \vec{e}_z}{|\vec{v}_a|} \quad \text{vectorlengte}=1 \quad (3)$$

$$|\vec{v}_a| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \quad \text{lengte vector} \quad (4)$$

Vectoren met gelijke richting hebben nu dezelfde vectorrepresentatie, zodat dubbele vectoren verwijderd kunnen worden.

Voorgaande bewerkingen worden op de ingelezen opspan- en bewerkingsvectoren uitgevoerd.

Aangezien de G-map in dit geval hetzelfde is als de V-map, kunnen de vectoren direct in de V-map geplaatst worden. Met behulp van de V-map worden de opspanningen gecontroleerd en bepaald.

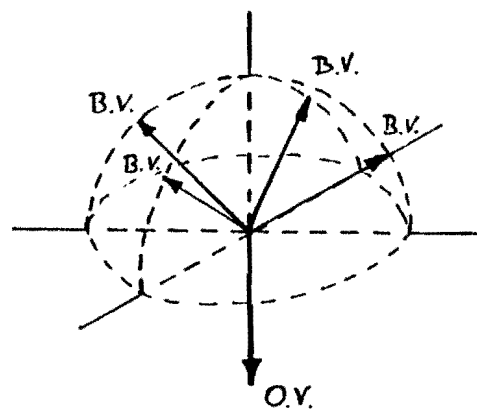


Fig.4 V-map

Door het nemen van het inproduct tussen bewerkingsvectoren en opspanvectoren, kan bepaald worden of opspanning mogelijk is met de ingevoerde opspanvectoren.

$$\vec{v}_a \vec{v}_b = a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z = |\vec{v}_a| |\vec{v}_b| \cos \varphi \quad \text{inproduct} \quad (5)$$

Door middel van het inproduct kunnen namelijk de hoekverdraaiingen tussen één opspanvector en alle bewerkingsvectoren berekend worden. Deze hoekverdraaiing mag niet kleiner dan 90 graden zijn, wil de opspanvector bruikbaar zijn. Dit betekent dat het inproduct altijd een negatieve waarde moet hebben.

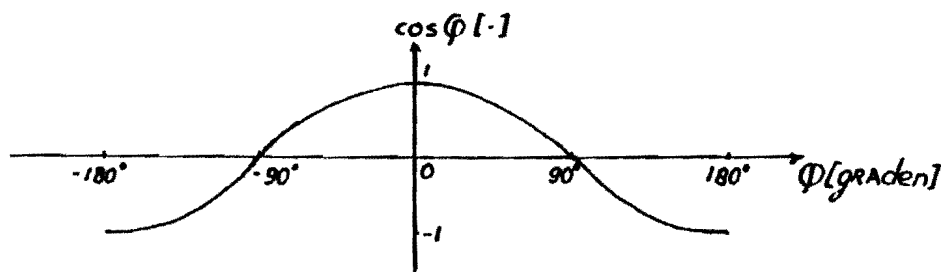


Fig.5 Grafiek cosinus

Opspanvectoren die aan deze eisen voldoen kunnen daarna in enkele klassen ingedeeld worden. Deze klassen geven weer op welk soort bewerkingsmachine (aantal assen) het mogelijk is, het gewenste product te realiseren met de betreffende opspanning.

- | | | |
|--------|----|---|
| Klasse | 1. | 5-assig met horizontale en verticale gereedschapsstand. |
| | 2. | 5-assig met horizontale gereedschapsstand. |
| | 3. | 5-assig met verticale gereedschapsstand. |
| | 4. | 4-assig met horizontale en verticale gereedschapsstand. |
| | 5. | 3-assig met horizontale en verticale gereedschapsstand. |

Klasse 4.

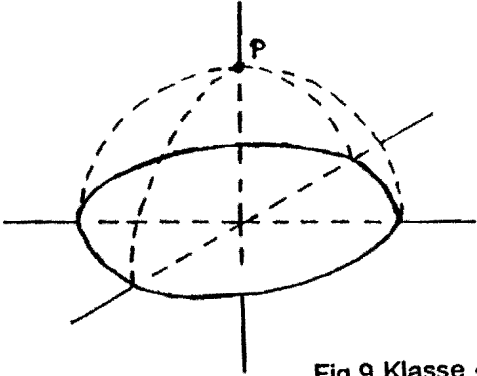


Fig.9 Klasse 4

Klasse 5.

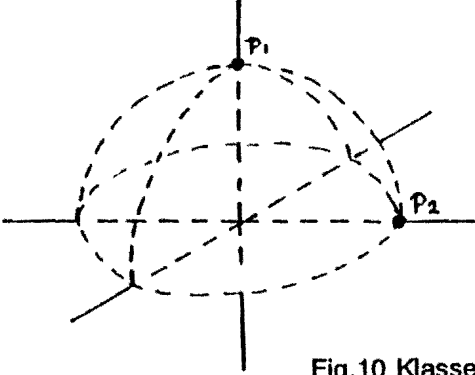


Fig.10 Klasse 5

Dit heeft de volgende gevolgen voor de waarde van het inproduct tussen één bepaalde opspanvector en alle bewerkingvectoren:

waarde van het inproduct = W

Klasse 1. W altijd negatief

Klasse 2. $-\frac{1}{2}\sqrt{2} \leq W \leq 0$

Klasse 3. $-1 \leq W \leq -\frac{1}{2}\sqrt{2}$

Klasse 4. $W=-1$, $W=0$

Klasse 5.* $W=-1$, $W=0$

(*) : Klasse 5 is slechts mogelijk indien er maximaal 2 bewerkingvectoren zijn, waarvan bij berekening van het inproduct één waarde gelijk aan 0 mag zijn. De andere waarde is dan gelijk aan -1.

Indien zelf naar een opspanvector gezocht moet worden, moet eerst gecontroleerd worden of alle bewerkingen in één opspanning uit te voeren zijn.

Daartoe moet gekeken worden of het mogelijk is alle bewerkingvectoren in een halve bol te plaatsen. Hiervoor moeten alle bewerkingvectoren worden geprojecteerd op de basisvlakken, respectievelijk het XY- , YZ- en ZX-vlak.

Projectie op XY-vlak wil zeggen $Z:=0$ en dus

$$P_{xy}(\vec{v}_a) = \vec{v}_{a,xy} = a_x \vec{e}_x + a_y \vec{e}_y \quad \text{projectie op XY-vlak} \quad (6)$$

projectie op YZ-vlak wil zeggen $X:=0$ en dus

$$P_{yz}(\vec{v}_a) = \vec{v}_{a,yz} = a_y \vec{e}_y + a_z \vec{e}_z \quad \text{projectie op YZ-vlak} \quad (7)$$

Projectie op ZX-vlak wil zeggen $Y:=0$ en dus

$$P_{xz}(\vec{v}_a) = \vec{v}_{a,xz} = a_x \vec{e}_x + a_z \vec{e}_z \quad \text{projectie op ZX-vlak} \quad (8)$$

Aangezien alle beweringsvectoren in een halve bol moeten passen, moeten in minimaal twee projectievlakken de onderlinge hoeken tussen alle vectoren kleiner dan 180 graden zijn. Een halve bol bestaat immers uit een cirkel in het doorsnijdingsvlak en twee halve cirkels loodrecht op het doorsnijdingsvlak die ook loodrecht op elkaar staan. Bij deze aanname wordt er van uitgegaan dat de opspanvector in één van de projectievlakken ligt.

Als de hoek tussen één vector en alle andere vectoren in dat vlak kleiner of gelijk aan 180 graden is, mag het uitproduct niet van teken wisselen.

Wanneer zo een vector gevonden wordt, kan met behulp van het inproduct de vector bepaald worden die de grootste hoek maakt met de gevonden vector. Immers hoe groter de hoek is des te kleiner is de waarde van het inproduct.

$$\vec{v}_a * \vec{v}_b = (a_y b_z - a_z b_y) \vec{e}_x + (a_z b_x - a_x b_z) \vec{e}_y + (a_x b_y - a_y b_x) \vec{e}_z \quad (9)$$

$$|\vec{v}_a * \vec{v}_b| = |\vec{v}_a| \cdot |\vec{v}_b| \cdot \sin \varphi \quad (10)$$

In ieder projectievlak, waar geldt dat de vectoren onderling een hoek met elkaar maken van maximaal 180 graden, worden de twee randvectoren bepaald. Door nu alle projectievlakken met de bepaalde vectoren samen te voegen, kan naar een kegel gezocht worden, waarbinnen alle ongeprojecteerde vectoren vallen.

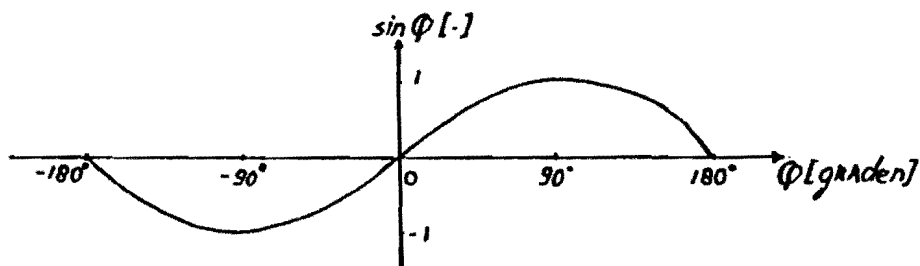


Fig.11 Grafiek sinus

Daartoe wordt eerst naar de kegels gezocht, waarna de maximale hoekafwijking tussen de ongeprojecteerde vectoren met de kegels kan worden berekend. Zo is er een beschrijving van een kegel gecreëerd waarbinnen alle mogelijke opspanvectoren liggen.

Voor het vinden van de kegels wordt eerst per gevonden projectievlak een middenvector bepaald, dit is de vector die ligt op de helft van de berekende maximale hoekverdraaiing.

$$\varphi = \arccos(\vec{v}_a \cdot \vec{v}_b) \quad (11)$$

$$\varphi' = \frac{\varphi}{2} \quad (12)$$

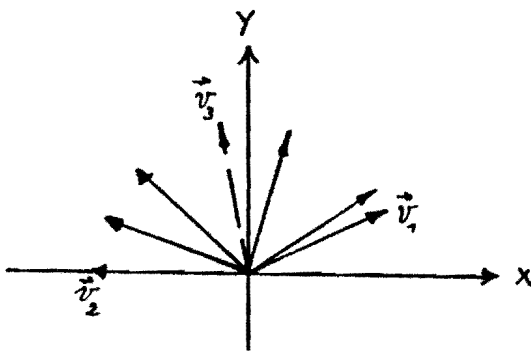


Fig.12 Het X-Y projectievlak met middenvector

Voor de bepaling van de uitgangsvector voor de rotatie, wordt gebruik gemaakt van het uitproduct. Als het uitproduct positief is moet geroteerd worden ten opzichte van de eerste vector. Is het uitproduct negatief dan moet geroteerd worden ten opzichte van de tweede vector. De rotaties worden uitgevoerd door de uitgangsvector te vermenigvuldigen met een rotatiematrix. Deze rotatiematrix is afhankelijk van de rotatieas, dus per projectievlak verschillend.

$$Rot(x, \varphi) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\varphi & -\sin\varphi \\ 0 & \sin\varphi & \cos\varphi \end{pmatrix} \quad (13)$$

$$Rot(y, \varphi) = \begin{pmatrix} \cos\varphi & 0 & \sin\varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\varphi & 0 & \cos\varphi \end{pmatrix} \quad (14)$$

$$Rot(z, \varphi) = \begin{pmatrix} \cos\varphi & -\sin\varphi & 0 \\ \sin\varphi & \cos\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (15)$$

Door nu verder de vector loodrecht op het projectievlak aan de bepaalde middenvector toe te voegen ontstaat een vlak. De vlakvergelijking kan gevonden worden door met behulp van het uitproduct de normaalvector te berekenen. De coëfficiënten van de normaalvector leiden tot de vlakvergelijking. Dit wordt gedaan voor twee projectievlakken.

Vervolgens worden deze twee vlakken met elkaar gesneden, waarbij de snijlijn de kegelas is.

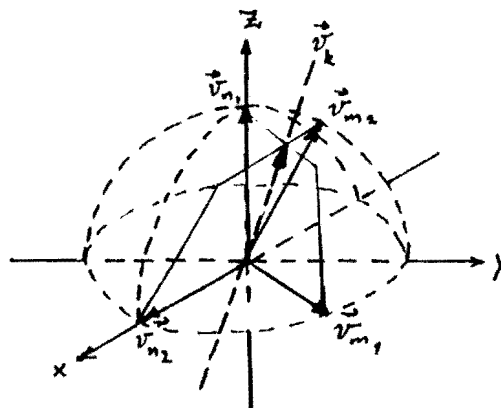


Fig.13 Het snijden van 2 vlakken ter bepaling van de kegelas

De bepaling van de kegelaas is afhankelijk van de projectievlakken waar aan de gestelde voorwaarden voldaan werd.

Stel:

$$m_x \mathbf{e}_x + m_y \mathbf{e}_y + m_z \mathbf{e}_z \quad \text{normaalvector vlak 1} \quad (16)$$

$$n_x \mathbf{e}_x + n_y \mathbf{e}_y + n_z \mathbf{e}_z \quad \text{normaalvector vlak 2} \quad (17)$$

-Als XY-vlak voldoet, dan wordt de op te lossen vergelijking:

$$m_x x + m_y y = 0 \quad (18)$$

Stel $y:=1$ dan

$$x := - \frac{m_y}{m_x} \quad (19)$$

-Als XY- en YZ-vlak voldoen, dan wordt de op te lossen vergelijking:

$$n_y y + n_z z = 0 \quad (20)$$

en dus

$$z := - \frac{n_x}{n_z} \quad (21)$$

-Als XY-vlak niet en YZ-vlak wel voldoet, dan wordt de op te lossen vergelijking:

$$m_y y + m_z z = 0 \quad (22)$$

Stel $y:=1$ dan

$$z := - \frac{m_y}{m_z} \quad (23)$$

-Als ZX-vlak voldoet, dan wordt de op te lossen vergelijking

$$n_x x + n_z z = 0 \quad (24)$$

voldoet ook XY-vlak:

$$z := -\frac{n_x}{n_z} x = \frac{n_x m_y}{n_z m_x} \quad (25)$$

of voldoet YZ-vlak:

$$x := -\frac{n_z}{n_x} z = \frac{n_z m_y}{n_x m_z} \quad (26)$$

Eventuele spiegeling van de kegelaas in de oorsprong.

$$S(\vec{v}_a) = -a_x \vec{e}_x - a_y \vec{e}_y - a_z \vec{e}_z \quad \text{spiegeling kegelaas} \quad (27)$$

De vergelijking van de kegelaas wordt dan:

$$\vec{v}_k = x \vec{e}_x + y \vec{e}_y + z \vec{e}_z \quad (28)$$

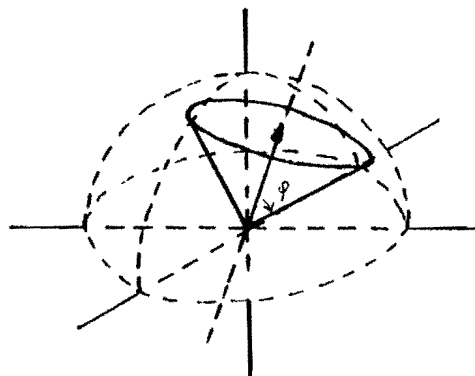


Fig.14 Voorbeeld van kegel met kegelaas
waarbinnen de B.V. liggen

Maak van de vector van de kegels een éénheidsvector. Om nu de maximale hoekafwijking met de kegels te berekenen moeten de inproducten van de kegels met alle bewerkingsvectoren berekend worden.

Wanneer de waarden van de inproducten positief zijn moet de kegels gespiegeld worden en opnieuw de waarden van de inproducten berekend worden. Door nu de hoek behorende bij de grootste waarde van het inproduct te verminderen met 90 graden, wordt de maximale hoekafwijking gevonden.

Vervolgens moet uit de verzameling van opspanmogelijkheden een definitieve opspanvector bepaald worden, waarna een basistransformatie plaats vindt. Deze transformatie zorgt ervoor dat de opspanvector samenvalt met de positieve y-as.

Daartoe moeten twee rotaties uitgevoerd worden. Bij de eerste rotatie moet de opspanvector in een basisvlak komen te liggen.

Daarvoor wordt de opspanvector eerst op het XY-vlak geprojecteerd en de hoek tussen de projectievector met de y-as berekend. Daarna wordt een rotatie uitgevoerd om de z-as over de berekende hoek. Vervolgens wordt de hoek tussen de gerooteerde opspanvector, liggend in het YZ-vlak, en de y-as berekend. Daarna wordt een rotatie over deze hoek uitgevoerd om de x-as. Na deze rotatie ligt de opspanvector langs de positieve y-as.

LITERATUURLIJST

Woo T.C., Turkovich B.F.von,
Visibility Map and Its Application to Numerical Control.
- Annals of the CIRP Vol. 39/1/1990, p.451-454.

Paul R.P.,
Robotic Manipulators: Mathematics, programming and control.
- Cambridge, Massachusetts and London: The MIT Press, 1984.

Lineaire Algebra 1
-Eindhoven: Dictaat TUE (dictaat 2301).

Lineaire Algebra 2
-Eindhoven: Dictaat TUE (dictaat 2398).

TECHNISCHE UNIVERSITEIT EINDHOVEN
Faculteit Werktuigbouwkunde
Vakgroep Produktetechnologie en Automatisering

Onderzoeksopdracht BO : R.E. de Quay
O.K.J.C. Heijers
Afstudeerhoogleraar : Prof. dr. ir. A.C.H v.d. Wolf
Begeleider : Ir. F. de Groot
Onderwerp : Werkstukoriëntatie.

Toelichting:

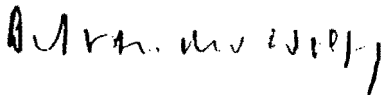
Binnen het IDM-ontwerpsysteem is het mogelijk om een ontwerp/werkstuk op een aantal punten te evalueren. Zo kan bijvoorbeeld worden gecontroleerd of een vormelement van het ontwerp/werkstuk met het beschikbare machinepark kan worden gerealiseerd. Ook kan men controleren of een gereedschap een bepaald vormelement kan bewerken zonder ongewenste botsingen met het ontwerp/werkstuk te veroorzaken.

De mogelijkheden tot evalueren binnen het IDM-systeem worden nog steeds uitgebreid. Op dit moment is er behoefte aan een algoritme dat bepaalt hoe een ontwerp/werkstuk op een bewerkingsmachine moet worden georiënteerd, zodanig dat alle aanwezige vormelementen kunnen worden bereikt.

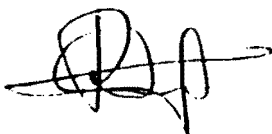
Opdracht:

- Raak vertrouwd met de hierboven geschetste problematiek.
- Bestudeer de theorie van Visibility Maps.
- Ontwikkel een algoritme dat de oriëntatie van het ontwerp/werkstuk bepaalt op een bewerkingsmachine, zodanig dat alle vormelementen bewerkt kunnen worden.
- Beschrijf nauwkeurig de gegevens die nodig zijn om het algoritme te doorlopen.

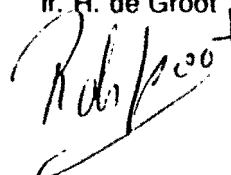
prof. dr. ir. A.C.H. v. d. Wolf



R.E. de Quay



ir. F. de Groot



O.K.J.C. Heijers

