

# Vertraging bij kruisende AGV's

Rogier den Breeje (stnr. 1016377) en Jos de Jong (stnr. 1050753)

Faculteit Werktuigbouwkunde, TU-Delft

## Samenvatting

Door gebruik te maken van free-navigating Automatic Guided Vehicles kan de flexibiliteit van een transportsysteem met automatische voertuigen worden verbeterd. Omdat de route en vertragingen niet van tevoren bekend zijn, is het van belang dat de verwachte reistijd van de voertuigen kan worden voorspeld. Uit dit onderzoek blijkt dat er bij kruisende stromen voertuigen een exponentieel verband bestaat tussen de vertraging en de hoeveelheid voertuigen die het gebied passeert. Bij hoge pakkingsdichtheden heeft de breedte van de stroom veel invloed op de vertraging.

## 1. Inleiding

In de industrie wordt steeds meer gebruik gemaakt van transportsystemen met *Automatic Guided Vehicles*, AGV's. De meestgebruikte AGV's rijden over een voorgeprogrammeerde route. Deze beperking maakt dit type systeem inflexibel. De flexibiliteit kan vergroot worden door gebruik te maken van *free-navigating AGV's* [1], die vrij kunnen navigeren binnen het systeem.

Een belangrijk probleem dat ontstaat bij free-navigating AGV's, is dat de reistijd niet meer direct voorspelbaar is, want de route van de voertuigen ligt niet meer vast. Voor dit soort systemen is het uitermate belangrijk om de verwachte reistijd van de voertuigen te kunnen voorspellen.

Dit onderzoek richt zich erop om in kaart te brengen hoeveel vertraging free-navigating AGV's onderweg oplopen. Het probleem wordt geanalyseerd voor een gebied, waar twee stromen voertuigen elkaar loodrecht kruisen in een stationaire situatie. Er wordt onderzocht welke invloed de hoeveelheid voertuigen heeft op de vertraging. Verder wordt de stroombreedte gevarieerd, omdat dit naar verwachting invloed heeft op de vertraging. De stroombreedte is de breedte van de inkomende en uitgaande stroom.

### Hypothese

Bij twee loodrecht kruisende stromen free-navigating AGV's bestaat er een exponentieel verband tussen de vertraging die de voertuigen oplopen en de hoeveelheid voertuigen die passeert van de vorm

$$\text{Vertraging} = k \cdot \left( (Pd_{\max} - Pd)^c - Pd_{\max}^c \right) \quad (1)$$

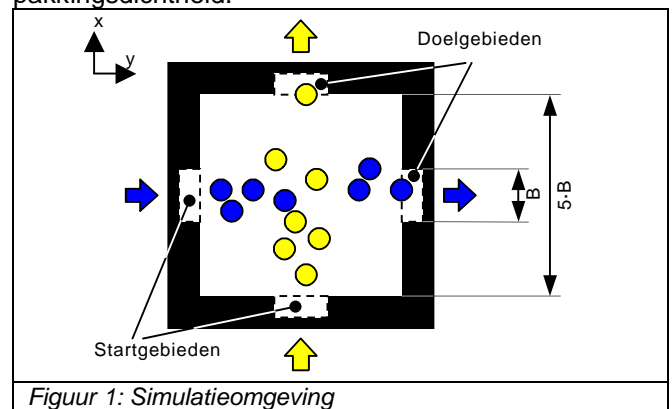
De pakkingsdichtheid  $Pd$  is variabel. Deze pakkingsdichtheid geeft aan hoeveel ruimte bezet is binnen de ingevoerde stroom. De verwachting is dat er een limiet  $Pd_{\max}$  is waarboven geen stationaire situatie realiseerbaar is. In de buurt van deze grens lopen de vertragingen vermoedelijk hoog op. De term  $-Pd_{\max}^c$  is toegevoegd, omdat er bij  $Pd=0$  geen vertraging kan optreden. Door middel van de coëfficiënt  $c$  wordt het verwachte exponentiele verband gerealiseerd. Bij hogere pakkingsdichtheden is het veel drukker in het systeem waardoor er grotere vertragingen optreden.  $Pd_{\max}$ ,  $k$  en  $c$  variëren bij verschillende stroombreedtes  $B$ .

## 2. Methode

Om de vertraging die de free-navigating AGV's oplopen te kunnen onderzoeken, is een simulatiemodel gemaakt in Matlab. Het gebruikte model wordt hieronder toegelicht.

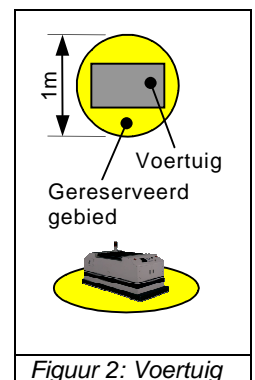
### Simulatieomgeving

Er is een symmetrisch gebied gedefinieerd met een lengte en breedte van vijf maal de stroombreedte, zodat de AGV's voldoende ruimte hebben om uit te wijken. Hier passeren twee stromen voertuigen elkaar in x- en y-richting. De stroombreedte  $B$  van de twee stromen voertuigen kan worden gevarieerd. De voertuigen worden in een startgebied gezet en moeten zich dan verplaatsen naar een opgegeven doelgebied, zoals aangegeven in Figuur 1. In beide richtingen worden evenveel voertuigen ingevoerd. Er is een ongestructureerde instroom bij een ingestelde pakkingsdichtheid.



### Voertuigen

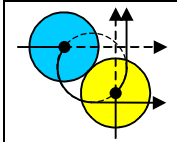
Elk voertuig wordt bestuurd door een *agent*. De agent is de automatische besturing van het voertuig. Het voertuig begint in een startgebied. De agent zal daarna het voertuig naar het opgegeven doelgebied sturen. Voor de vereenvoudiging van het model is aangenomen dat de voertuigen onbeperkt wendbaar zijn. Ze hebben een snelheid van 1 m/s, of staan stil wanneer er geen ruimte is.



### Coöperatief gedrag agenten

De agent houdt een cirkelvormig gebied vrij rondom het voertuig met een diameter van 1 m, zie Figuur 2. Andere voertuigen mogen niet binnen dit gebied komen, zo blijft er altijd een veilige afstand tussen de voertuigen.

Als de agenten elkaar tegenkomen zullen ze moeten uitwijken. Het uitwijkgedrag van de agenten is gebaseerd op de *Swirl*, een speciaal geval van de *Roundabout methode* [1]. Bij de *Swirl* draaien de voertuigen om elkaar heen over de kleinste denkbeeldige cirkel die door hun middelpunten getrokken kan worden, zie Figuur 3. De agent die het minst hoeft uit te wijken krijgt voorrang en mag de korte bocht nemen.



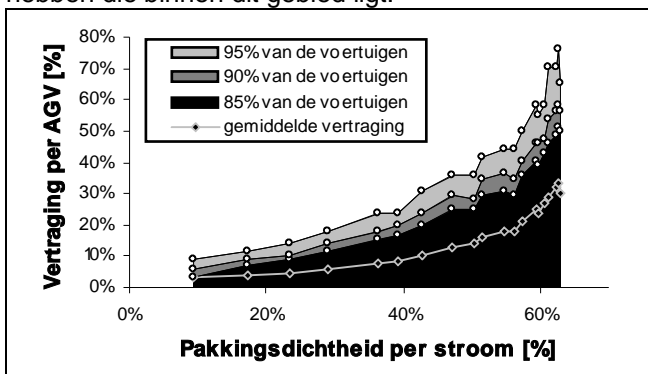
Figuur 3:  
Uitwijkgedrag

### Simulatie

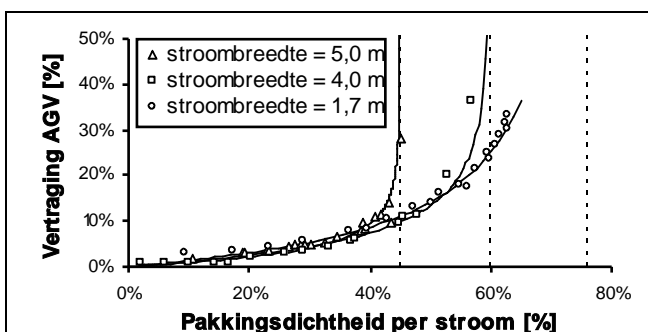
Om te onderzoeken wat voor vertragingen optreden bij verschillende pakkingsdichtheden en stroombreedtes zijn simulaties uitgevoerd. De breedte van de stromen voertuigen is gevarieerd met  $B=1,7\text{m}$ ,  $4,0\text{m}$  en  $5,0\text{m}$ . Bij elke breedte is de pakkingsdichtheid van de voertuigen gevarieerd van 5% tot de maximaal haalbare pakkingsdichtheid. Met elke simulatie zijn gegevens verzameld over de vertraging die 1000 voertuigen onderweg hebben opgelopen.

## 3. Resultaten

In Figuur 4 zijn de gemiddelde vertragingen van de voertuigen weergegeven. Elk gebied bevat een bepaald percentage aan voertuigen die een vertraging hebben die binnen dit gebied ligt.



Figuur 4: Vertraging van 1000 voertuigen bij een stroombreedte van 1,7 m.



Figuur 5: Gemiddelde vertraging met trendlijnen van 1000 voertuigen, bij verschillende stroombreedtes.

In Figuur 5 is te zien wat de invloed is van het wijzigen van de stroombreedte op de vertraging. Er zijn trendlijnen getekend door de meetpunten, met behulp van de formule (1) en de waarden in Tabel 1.

breedte	$k$	$c$	$Pd_{max}$	correlatie coëfficiënt
1,7	0,10	-0,71	76%	0,99
4,0	0,21	-0,25	60%	0,83
5,0	0,14	-0,20	45%	0,82

Tabel 1: Waarden van de trendlijnen

## 4. Discussie

De vertraging die de voertuigen oplopen wordt door een aantal factoren beïnvloed. In dit onderzoek zijn hiervan de pakkingsdichtheid en de breedte van de stroom onderzocht. De aansturing en de wendbaarheid van de voertuigen zijn ook van invloed op de mate van vertraging, maar deze factoren zijn bij dit onderzoek constant gehouden.

Er bestaat een verband tussen de vertraging en de pakkingsdichtheid. Wanneer de pakkingsdichtheid toeneemt, wordt de kans dat de voertuigen elkaar tegenkomen en daarmee de vertraging groter. Zoals in Figuur 4 te zien is, kunnen de meetpunten goed benaderd worden met de exponentiële functie uit de hypothese.

Uit Figuur 5 blijkt dat de breedte van de stromen bij pakkingsdichtheden tot 40% vrijwel geen invloed heeft. Boven de 40% is heeft de stroombreedte veel invloed. Dit komt doordat er binnen de stromen voertuigen niet voldoende ruimte is om voor elkaar uit te wijken. Hierdoor dijen de stromen uit, wat grote vertragingen met zich meebrengt. Bij grotere stroombreedtes moeten de stromen meer uitdijen waardoor de vertragingen sterker toenemen en  $Pd_{max}$  lager ligt.

## 5. Conclusies

Er is onderzocht hoeveel vertraging free-navigating AGV's onderweg oplopen, met de gekozen programmering (*Swirl*) van de agenten.

De gevonden resultaten bevestigen de hypothese. De resultaten vertonen inderdaad een exponentieel verband. Vanaf pakkingsdichtheden boven 40% is de breedte van de stroom sterk van invloed op de vertraging. Dit komt doordat de stroom voertuigen meer moet uitdijen naarmate hij breder is.

## 6. Aanbevelingen

Er kan verder onderzoek gedaan worden naar de vertraging bij een andere programmering van de agenten. Ook kan er naar een complexer systeem gekeken worden. Bijvoorbeeld met een variabele hoek tussen de stromen, of stromen met pakkingsdichtheden die van elkaar verschillen.

## Referenties

- [1] R.M. de Groot, *Dynamic traffic control of free-navigating Automatic Guided Vehicles*, Master's thesis 1997