

# HET GEBRUIK VAN EEN TIJD-RUIMTE NETWERK VOOR HET SHIP-TO-SHORE PROBLEEM

In het *ship-to-shore* probleem is het doel goederen en personeel van amfibische schepen zo snel mogelijk naar de kust te vervoeren om daar vervolgens ingezet te worden bij taken op de wal. In dit artikel wordt het gebruik van een tijd-ruimte netwerk voorgesteld om het *ship-to-shore* probleem op te lossen. Bij het maken van de planning van een amfibische operatie komen verschillende voorwaarden kijken. Om de interactie van tijd en ruimte in dit probleem te modelleren, kan een tijd-ruimte netwerk gebruikt worden waarna het probleem opgelost kan worden als een pad-probleem in dit netwerk.



Figuur 1. Schematische weergave van een amfibische operatie

## METTE WAGENVOORT

Stel je hebt de leiding over een operatie waarin goederen en personeel vanaf een groot schip aan land moeten worden gebracht. Voor dit vervoer heb je kleinere schepen en helikopters, ook wel connectoren genoemd, tot je beschikking. Deze hebben echter een beperkte capaciteit en daarom moeten ze meerdere trips van je schip naar het land maken. Het is dus belangrijk om te bepalen welke goederen en welk personeel in welke trip vervoerd moeten worden. Dit moet gedurende de nacht gebeuren zodat je onopgemerkt blijft, dus moet je voor het licht wordt alle benodigde goederen en al het benodigde personeel aan land hebben gebracht. Dit is een voorbeeld van een *amfibische operatie*.

In amfibische operaties worden goederen en personeel niet alleen naar het land vervoerd om daar ingezet te

worden, maar ook teruggehaald nadat een operatie aan land heeft plaatsgevonden. Dit kan verschillende doelen hebben, bijvoorbeeld een aanval, terugtrekking, overval, demonstratie of voor ondersteuning bij een crisissituatie, zoals een natuurramp (Maritime Warfare Centre, 2019).

In het *ship-to-shore* probleem is het doel om goederen en personeel naar het strand te vervoeren, waarna de operatie aan land wordt voortgezet, in plaats van direct naar het doelwit te gaan (*ship-to-target*).

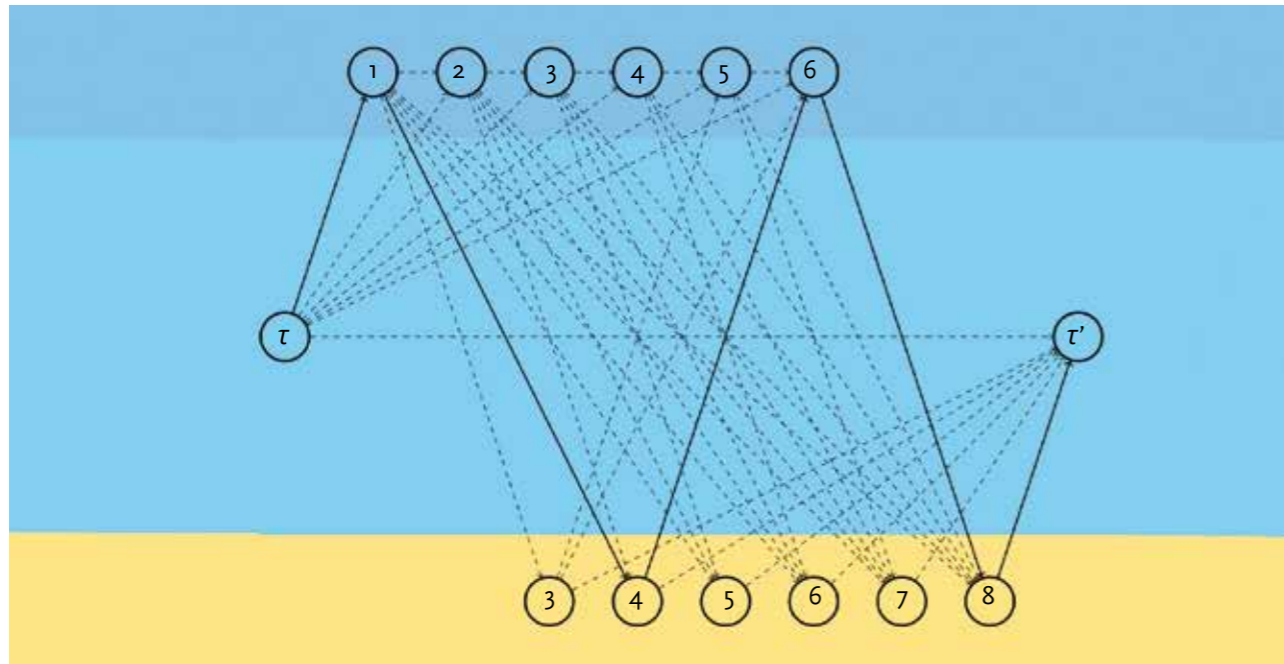
Bij zulke operaties komen verschillende voorwaarden kijken, wat het maken van de planning moeilijk maakt. In dit artikel worden eerst de voorwaarden aan zulke operaties toegelicht. Daarna wordt aangegeven hoe een operatie als een pad-probleem in een tijd-ruimte netwerk omschreven kan worden.

## Ship-to-shore probleem

In figuur 1 is een schematische weergave van een amfibische operatie te zien. Hier zijn twee amfibische schepen weergegeven, de grotere schepen aan de bovenkant van de afbeelding, vanaf waar goederen en personeel vervoerd moeten worden. Het vervoeren van de goederen en het personeel wordt gedaan met connectoren. Connectoren zijn helikopters en kleinere schepen, ook wel landingsvaartuigen genoemd, die het strand kunnen bereiken. De locaties op het strand waar goederen en personeel afgeleverd moeten worden landingszones genoemd. De connectoren maken meerdere trips van de schepen naar de landingszones om alle goederen en al het personeel aan land te krijgen.

Er zijn verschillende voorwaarden en eigenschappen van het probleem:

- **Capaciteit bij het beladen**  
De connectoren worden geladen vanaf de amfibische schepen. Helikopters kunnen landen op een landingsplatform op het schip, vanaf waar ze geladen kunnen worden. Landingsvaartuigen kunnen geladen worden via een aanlegplaats in het schip middels een klep aan de voorzijde van het schip. Er is echter een beperkte hoeveelheid aanlegplaatsen en landingsplatformen. Het aantal landingsplatformen en aanlegplaatsen is dan ook bepalend voor het aantal connectoren dat tegelijkertijd beladen kan worden.
- **Volgorde van het afleveren van de goederen en het personeel**



Figuur 2. Voorbeeld van een tijd-ruimte netwerk met één amfibisch schip en één landingszone

Er zijn verschillende typen goederen die aan land gebracht moeten worden. Sommige van deze goederen zijn aan het begin van de operatie nodig. Een voorbeeld hiervan is het *beach armoured recovery vehicle* welke gebruikt wordt om de connectoren aan te duwen als ze bij het verlaten van het strand vast zitten in het zand. Een ander voorbeeld is een 'wiel-lader' die een mat kan uitrollen op het strand waardoor het makkelijker is voor andere voertuigen om vanaf de landingsvaartuigen het strand op te rijden. Andere goederen zijn pas later nodig en lopen een risico als ze al vroeg aan land worden gezet, omdat ze bewaakt moeten worden als ze je niet direct nodig hebt. Aan de goederen en het personeel zijn daarom verschillende prioriteiten toegekend. Eerst moeten alle goederen en het personeel met de hoogste prioriteit afgeleverd worden en pas als deze allemaal aan land zijn mogen de goederen en het personeel met het volgende prioriteitsniveau aan land gebracht worden.

- **Groepen complementaire goederen en personeel**  
Naast de prioriteiten zijn er ook goederen en personeel die complementair zijn aan elkaar. Daarom is het noodzakelijk dat deze tegelijkertijd of vlak na elkaar op het strand afgeleverd worden. Dit kan bij

voorbeeld personeel zijn dat tot dezelfde unit horen en daarom de operatie samen uitvoeren, maar ook voertuigen die gezamenlijk met een unit de operatie voortzetten op land.

Er moet aan deze voorwaarden voldaan worden bij het bepalen wat er in elke trip vervoerd wordt. Er zijn veel goederen en er is veel personeel op een amfibisch schip en dit moet allemaal vervoerd worden met behulp van connectoren met een beperkte capaciteit. Er moet dus zowel bepaald worden wanneer een connector van welk amfibisch schip naar welke landingszone gaat, alsook welke goederen en welk personeel er in welke trip vervoerd moeten worden.

### Het tijd-ruimte netwerk

Om het *ship-to-shore* probleem te modelleren werd er gebruik gemaakt van een tijd-ruimte netwerk. In deze paragraaf wordt deze keuze beargumenteerd.

Door de beperkte capaciteit bij het laden van de connectoren, kan er steeds maar een maximum aantal connectoren tegelijkertijd beladen worden. Daarnaast is de tijd waarop een connector uitgeladen wordt op het strand van belang voor de prioritering en levering van goederen

en personeel per groep. Daarom speelt tijd een rol in dit probleem. Er moet dus voor elke trip bepaald worden wanneer een connector op een locatie arriveert, wanneer die weer vertrekt en welke goederen er in de trip vervoerd worden.

Deze interactie tussen tijd en ruimte kan gemodelleerd worden in een tijd-ruimte netwerk. Een voorbeeld van een tijd-ruimte netwerk is weergegeven in figuur 2. In dit voorbeeld is er één amfibisch schip en één landingszone. De tijdshorizon is in discrete intervallen opgedeeld, waarbij de lengte van een tijdsperiode gelijk is aan de maximumtijd voor het beladen van een connector, waarna voor elke combinatie van locatie en tijd een knoop aangemaakt wordt. Er worden pijlen toegevoegd als er een haalbare transitie door zowel tijd als ruimte mogelijk is. Als de afstand tussen twee locaties  $d$  mijl is en de connector vaart  $v$  mijl per uur, dan heeft de connector minstens  $t = \frac{d}{v}$  uur nodig. Dit staat gelijk aan minstens  $\lceil \frac{t}{l} \rceil$  tijdsperiodes, waarbij  $l$  de lengte van een tijdsperiode in uren is. In het voorbeeld in figuur 2 heeft het landingsvaartuig minstens één tijdsperiode nodig om van het amfibisch schip naar de landingszone te varen. Als de connector in tijdsperiode 1 geladen wordt op het schip, kan de connector dus op zijn vroegst in tijdsperiode 3 de landingszone bereiken. In figuur 2 zijn alle mogelijke pijlen voor de connector weergegeven.

Gegeven de weergave van het probleem als een pad-probleem in een tijd-ruimte netwerk, kan een route voor een connector omschreven worden als een pad van de start locatie,  $\tau$ , naar de eind locatie,  $\tau'$ , van de connector waarbij in elke trip van het schip naar de landingszone een groep met goederen en personeel vervoerd wordt. De zwarte lijnen in figuur 2 geven een pad weer door het netwerk. Hierin maakt de connector twee trips van het schip naar de landingszone, namelijk van tijdsperiode 1 naar tijdsperiode 4 en van tijdsperiode 6 naar tijdsperiode 8. Voor elk van deze trips moet een belading toegewezen worden.

Met deze definitie van een route kan een planning voor een operatie omschreven worden als een aantal routes, één per connector, waarbij alle goederen en al het personeel van de schepen naar het strand vervoerd worden, terwijl ze aan de voorwaarden voldoen en de lengte van de operatie geminimaliseerd wordt. Deze voorwaarden zijn nu toe te voegen doordat elke knoop in de graaf gelinkt is aan een bepaalde tijdsperiode op een locatie.

### Discussie

Door het probleem te omschrijven als een pad-probleem in een tijd-ruimte netwerk is het mogelijk om het probleem te formuleren en aan de voorwaarden te voldoen. De uitkomst van dit model is een planning waarin gegeven is wanneer een connector vertrekt en welke goederen en welk personeel er in de trip mee moet. Op het schip kunnen voorbereidingen getroffen worden zodat het beladen van de connectoren gesmeerd verloopt. Ook ondersteunt deze formulering herplanning tijdens een operatie door de huidige situatie als invoer te geven. Tevens kan dit netwerk uitgebreid worden door het gebruik van verschillende routes van en naar de landingszone te modelleren door het toevoegen van extra knopen. Ook kan het een vereiste zijn dat bepaalde landingsvaartuigen gezamenlijk naar de landingszone varen, wat ook te implementeren is door middel van het toevoegen van extra knopen in de graaf.

Echter, als het aantal locaties groeit, groeit ook de grootte van het tijd-ruimte netwerk. Dit heeft effect op het aantal knopen en pijlen in de graaf en daarmee de berekeningstijd. Dit is inherent aan NP-moeilijke problemen. Met behulp van algoritmes en heuristieken kan het probleem opgelost worden.

Naast het aantal locaties, heeft ook de lengte van een tijdsperiode invloed op het aantal knopen. Hoe kleiner de lengte van een tijdsperiode, hoe meer knopen er zijn, maar ook hoe nauwkeuriger de planning gemaakt kan worden. Omdat de schepen relatief ver van de kust af liggen, is de reistijd van de connectoren in verhouding tot de tijd die nodig is om de connectoren te beladen, relatief hoog. Daarom is de beladingstijd als lengte voor de tijdsperiodes gebruikt (Amrouss et al., 2017).

### LITERATUUR

- Amrouss, A., El Hachemi, N., Gendreau, M., & Gendron, B. (2017). Real-time management of transportation disruptions in forestry. *Computers & Operations Research*, 83, 95-105. Maritime Warfare Centre (2019). *Manual Surface Assault*.

METTE WAGENVOORT heeft haar masterscriptie voor de studie Econometrics and Management Science in de specialisatie Operations Research and Quantitative Logistics aan de Erasmus Universiteit bij TNO gedaan over het oplossen van het *ship-to-shore* probleem. Ze is afgelopen september begonnen als promovenda bij de Erasmus Universiteit, TNO en de Nederlandse Defensie Academie.  
E-mail: wagenvoort@ese.eur.nl