



UvA-DARE (Digital Academic Repository)

Framework for path finding in multi-layer transport networks

Dijkstra, F.

Publication date

2009

Document Version

Final published version

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Dijkstra, F. (2009). *Framework for path finding in multi-layer transport networks*.

General rights

It is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), other than for strictly personal, individual use, unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

Disclaimer/Complaints regulations

If you believe that digital publication of certain material infringes any of your rights or (privacy) interests, please let the Library know, stating your reasons. In case of a legitimate complaint, the Library will make the material inaccessible and/or remove it from the website. Please Ask the Library: <https://uba.uva.nl/en/contact>, or a letter to: Library of the University of Amsterdam, Secretariat, Singel 425, 1012 WP Amsterdam, The Netherlands. You will be contacted as soon as possible.

Samenvatting

In relatief korte tijd is het gebruik van computernetwerken enorm toegenomen en inmiddels zijn ze niet meer weg te denken uit de samenleving. Computernetwerken worden gebruikt voor surfen, e-mail en het doen van betalingen. De capaciteit van de netwerkverbindingen is zozeer toegenomen dat het netwerk tegenwoordig ook gebruikt wordt voor het verzenden van gigantische hoeveelheden data die tot voor kort nog op tapes of disks per koerier verstuurd werden. Datastromen in de kernfysica, radioastronomie en sinds kort ook het versturen van bioscoopfilms op uitzonderlijk hoge kwaliteit zijn hiervan sprekende voorbeelden.

Voor het versturen van grote hoeveelheden gegevens tussen een klein aantal locaties is het Internet niet altijd even geschikt. In sommige gevallen is het beter om een aparte verbinding aan te leggen voor één specifieke toepassing. Een aparte verbinding is beter omdat het goedkoper kan zijn of omdat de verkeersstromen zo groot zijn dat ze het reguliere Internetverkeer zouden verstoren. Naast de eerder genoemde uitwisseling van meetgegevens en films is het versturen van gegevens tussen twee vestigingen van één organisatie een mogelijke toepassing. In de meeste andere gevallen is het gebruik van het reguliere Internet beter.

Sinds ongeveer 2005 zijn met name onderzoeksnetwerken zoals CANet in Canada en SURFnet in Nederland begonnen met het aanbieden van zogenaamde lichtpaden naast het aanbieden van regulier Internet. Lichtpaden zijn aparte verbindingen tussen twee plaatsen, in tegenstelling tot het Internet waarover gegevens naar alle plaatsen ter wereld gestuurd kunnen worden. Lichtpaden worden zo genoemd omdat ze vaak gebruik maken van glasvezelnetwerken. Netwerken waarbij over dezelfde infrastructuur zowel Internet als lichtpaden aangeboden worden *hybride netwerken* genoemd.

Het aanbieden van aparte verbindingen wordt in feite al heel lang gedaan

SAMENVATTING

door telecomaanbieders, al wordt de naam *lichtpad* pas sinds kort gebezigd. Hoewel lichtpaden qua technologie en capaciteit veel weg hebben van huurlijnen hebben ze in dynamiek meer weg van telefoonverbindingen. Idealiter kunnen ze automatisch opgezet worden, dus zonder tussenkomst van een netwerkbeheerder.

Een verbinding kan lopen via meerdere beheerdomeinen. Een typische netwerkverbinding tussen twee universiteiten loopt bijvoorbeeld eerst via een campus netwerk, dan een nationaal netwerk en vervolgens via een internationale koppeling terug naar een ander nationaal netwerk, campus netwerk en uiteindelijk naar een netwerk binnen een gebouw. Al deze verschillende netwerken worden beheerd door andere personen en instellingen.

Elk netwerk zal op een ander tijdstip zijn aangelegd en elke netwerkbeheerder zal een andere keuze hebben gemaakt in de technologie die gebruikt is in het netwerk, ook wel aangeduid als verschillende lagen in het netwerk. Zo kan het ene netwerk schakelen op de Ethernetlaag, een ander op de SONET-laag en kan een derde netwerk verschillende kleuren licht over glasvezels schakelen.

Het blijkt zeer relevant te zijn dat lichtpaden over verschillende netwerken lopen die elk kunnen schakelen op een andere netwerklaag. Verschillen in technologie tussen netwerken kunnen namelijk leiden tot mogelijke incompatibiliteiten. Deze incompatibiliteiten maken het vinden van paden in hybride netwerken aantoonbaar complexer dan het vinden van paden binnen netwerken die alle van dezelfde technologie gebruik maken, zoals het reguliere Internet. Het blijkt namelijk dat paden in hybride netwerken beperkingen hebben die afhankelijk zijn van keuzes elders in het pad. Dit in tegenstelling tot netwerkverbindingen met slechts één technologie waarbij de beperkingen onafhankelijk zijn van het eerder gekozen pad.

In dit proefschrift wordt aangetoond dat paden die door meerdere technologieën gaan, de zogenaamde meerlaagsnetwerkverbindingen, in een rondje kunnen lopen. Kortom, het is mogelijk dat een kortste pad toch twee keer hetzelfde stukje weg aflegt. Tevens blijkt dat een onderdeel van een kortste pad op zichzelf geen kortste pad hoeft te zijn.

Het grootste deel van dit proefschrift wordt besteed aan het vinden van een model dat meerlaagsnetwerken, zoals onder andere hybride netwerken, formeel kan beschrijven. Dit model is met opzet technologieonafhankelijk gemaakt, zodat het model en –belangrijker– de algoritmes om paden te vinden niet aangepast hoeven te worden als er later nieuwe technologieën gebruikt worden.

Naast het model worden twee bijna gelijkwaardige algoritmes gepresenteerd die paden kunnen vinden in meerlaagsnetwerken. Een van deze algoritmes is tevens geïmplementeerd en dit proefschrift sluit af met het eerste gebruik hiervan.

