

Automatisering Gids

Ad-hocnetwerken robuust en flexibel

Laatste update: 22-8-2008

door: Redactie AG

De vraag naar mobiele ad-hocnetwerken neemt toe, in het bijzonder in regio's waar een infrastructuur ontbreekt of is verwoest. Sinds 2000 is het onderzoek op het gebied van deze netwerken geïntensiveerd. Ook in Nederland neemt het inmiddels een prominente plaats in. Er is nog wel een aantal technische problemen op te lossen, concluderen Hans van den Berg, Remco Litjens en Frank Roijers.

Ad-hocnetwerken vervullen een groeiende behoefte aan snel op te zetten communicatienetwerken. Ze hebben geen vooraf geïnstalleerde infrastructuur nodig en kunnen lokaal spontaan worden gevormd (zie kader), hetgeen een enorme flexibiliteit en robuustheid biedt. Een belangrijk toepassingsgebied, waarvoor deze karakteristieken bijzonder aantrekkelijk zijn, is dat van militaire operaties. Denk bijvoorbeeld aan VN-missies, waarbij vaak een snelle inzet van relatief kleine militaire eenheden op allerlei onherbergzame locaties is vereist. Het is dan ook niet verwonderlijk dat het onderzoek op het gebied van ad-hocnetwerken vooral vanuit de militaire hoek (in het begin van de jaren negentig) is geïnitieerd.

Maar naast militaire toepassingen bieden mobiele ad-hocnetwerken legio andere mogelijkheden. Zoals communicatie tussen publieke hulpdiensten in regio's waar geen infrastructuur aanwezig is, of waar de infrastructuur door een natuurramp of terroristische aanslag is verwoest. Naast de robuustheid en flexibiliteit die hier van belang zijn, bieden ad-hocnetwerken bovendien veel grotere transmissiesnelheden dan de huidige mobilofonienetwerken die door de hulpdiensten worden gebruikt. Dit maakt het mogelijk om naast de gebruikelijke spraakapplicaties bijvoorbeeld ook videobeelden uit te wisselen.

Andere voorbeelden van toepassingen van draadloze ad-hocnetwerken waaraan wordt gewerkt, zijn 'voertuigcommunicatie' ten behoeve van een verbeterde doorstroming van het wegverkeer en een verhoogde verkeersveiligheid, 'peer-to-peer-communicatie' voor het uitwisselen van documenten tijdens een vergadering en 'in-huis-netwerken' om communicatie tussen allerlei apparatuur (pc's, pda's, huishoudelijke apparaten, beveiligingsapparatuur et cetera) mogelijk te maken. Ook voor het realiseren van draadloze sensornetwerken, met een enorme potentie aan toepassingen bijvoorbeeld in de land- en mijnbouw, beveiliging, het wetenschappelijk onderzoek en de gezondheidszorg, zullen ad-hocnetwerken een belangrijke rol gaan spelen. De enorme omvang van deze sensornetwerken en de beperkte communicatiemogelijkheden van de vaak kleine sensoren met beperkte batterijcapaciteit, maken het gebruik van draadloze multi-hop ad-hocnetwerken uitermate geschikt om meetdata zoals luchtvochtigheid of temperatuur vanuit de sensoren naar een centraal (aggregatie)punt te verzenden waar de data verder kunnen worden geanalyseerd en van waaruit zo nodig acties kunnen worden geïnitieerd.

Door koppeling met de publieke infrastructuur, zullen mobiele ad-hocnetwerken bovendien, zo is de verwachting, een belangrijke bijdrage leveren aan de verdere realisatie van het ideaal om op elk moment en vanaf elke plaats te kunnen communiceren en toegang te hebben tot publieke en persoonlijke informatie ('personal networks').

In de periode na 2000 is het onderzoek op het gebied van mobiele ad-hocnetwerken sterk geïntensiveerd. Vóór die tijd waren het vooral de Verenigde Staten die hier aan werkten, daarna is het onderwerp ook in Europa, Japan, Korea en China prominent op de researchagenda geplaatst. De technische uitdagingen voor de realisatie van mobiele ad-hocnetwerken waren dan ook (en zijn deels nog) aanzienlijk en verschillen nogal van die voor de traditionele mobiele of draadloze netwerken. Aan de basis van vrijwel al deze uitdagingen liggen het ontbreken van een centrale aansturing in het netwerk en de (mogelijk) voortdurend veranderende netwerktopologie. Daar komt bij dat vanwege de beperkte batterijcapaciteit van veel mobiele terminals, het energieverbruik een belangrijke randvoorwaarde is bij het zoeken naar oplossingen. Robuuste, energie-

efficiënte routeringsalgoritmen, die effectief kunnen inspelen op snelle veranderingen in de netwerktopologie, zijn daarom van cruciaal belang in een ad-hocnetwerk. Hiernaar is de afgelopen jaren dan ook veel onderzoek verricht en zijn er verschillende slimme routeringsalgoritmen ontwikkeld (zie kader Routing).

Ook is er veel onderzoek gedaan naar MAC-(Medium Access Control)-protocollen voor ad-hocnetwerken. Het MAC-protocol coördineert het gebruik van het gemeenschappelijke transmissiemedium (typisch de ether). De meeste MAC-protocollen die zijn voorgesteld voor draadloze ad-hocnetwerken behoren in feite tot de IEEE 802-familie van protocollen, die ook in Wireless LAN's en Ethernet LAN's worden gebruikt. Het sterk gedistribueerde karakter van deze MAC-protocollen maakt ze enerzijds zeer geschikt voor toepassing in ad-hocnetwerken, waar immers geen natuurlijke centrale coördinator bestaat. Een nadeel is echter dat ze nogal wat 'overhead' en andere nadelige neveneffecten met zich meebrengen, waardoor de maximaal realiseerbare throughput aanzienlijk lager is dan de beschikbare brutokanaalsnelheden doen vermoeden. In het bijzonder kan het 'hidden node'-probleem, dat bij dit type MAC-protocollen een rol speelt (zie kader), zeer nadelige gevolgen hebben voor de effectieve netwerkcapaciteit en daarmee ook de kwaliteit van de applicaties ('Quality of Service' of kortweg QoS). In het onderzoek op het gebied van ad-hocnetwerken wordt dan ook veel aandacht besteed aan maatregelen (traffic management, congestion control) om deze kwaliteitsdegradatie zoveel mogelijk te voorkomen.

Om voldoende kwaliteit te realiseren voor de verschillende applicaties en tegelijkertijd te voldoen aan belangrijke randvoorwaarden met betrekking tot bijvoorbeeld energiegebruik, moeten in ad-hocnetwerken in feite alle zeilen worden bijgezet. Dat is een van de redenen waarom in de context van mobiele ad-hocnetwerken de traditionele 'layered design'-aanpak wordt losgelaten en wordt overgegaan op een 'cross-layer design'-aanpak. In de traditionele aanpak werkt elke laag in de 'protocol stack' in principe onafhankelijk van de andere lagen, hetgeen in het algemeen het netwerkontwerp vereenvoudigt en leidt tot robuuste en goed schaalbare protocollen (zoals bij het internet). Echter, de inflexibiliteit en het (hooguit) lokaal (dat wil zeggen per laag) optimaliserende karakter van deze aanpak, biedt voor ad-hocnetwerken onvoldoende soelaas. De 'cross-layer design'-aanpak beoogt als het ware zoveel mogelijk uit het netwerk te 'persen' (en daarmee aan de QoS-eisen en randvoorwaarden te voldoen), door onderlinge afstemming en optimalisatie van protocollen dwars door de protocol stack heen. Adaptiviteit is hierbij het sleutelwoord.

Andere netwerkaspecten waar veel onderzoek naar verricht is, zijn alternatieven voor het bekende TCP-transportprotocol, dat in mobiele ad-hocnetwerken slecht werkt, en de interconnectie met bestaande infrastructuurafhankelijke netwerken. Daarnaast zijn er aspecten zoals security (in het bijzonder authenticatie), adressering en 'service discovery' (het bepalen waar een bepaalde gebruiker of dienst zich in het netwerk bevindt) die in een gedistribueerde ad-hocnetwerkomgeving de nodige uitdagingen bieden. Ook in Nederland is en wordt er intensief onderzoek verricht op het gebied van ad-hocnetwerken en toepassingen daarvan. Zo is bijvoorbeeld in de periode 2004-2007 door verschillende Nederlandse partijen (Thales Communications, TNO ICT, de Universiteit Twente en WMC) deelgenomen aan een groot internationaal project ('Easy Wireless') in het kader van het Europese ITEA-programma, waarin een aantal van bovengenoemde onderzoeksonderwerpen een prominente plaats had.

Prof. dr. Hans van den Berg (j.l.vandenberg@tno.nl), dr. Remco Litjens en drs. Frank Roijers zijn respectievelijk Senior Research Fellow, Senior Scientist en Consultant bij TNO Informatie- en Communicatietechnologie. Hans van den Berg is tevens deeltijdhoogleraar 'Traffic Engineering in Mobile en Ad-hoc Networks' aan de Universiteit Twente.

Draadloze ad-hocnetwerken

Moderne draadloze communicatienetwerktechnologieën kunnen ruwweg in twee klassen worden ingedeeld: infrastructuurafhankelijke netwerken, zoals GSM of UMTS, en ad-hocnetwerken. Ad-hocnetwerken zijn in de basis gekenmerkt door de afwezigheid van een centrale coördinator die de toegang tot het communicatiemedium organiseert. Dergelijke gedistribueerde netwerken zijn zelforganiserend in de zin dat een verzameling gebruikers (of nodes, bijvoorbeeld PDA's, laptops) spontaan een onderling communicatienetwerk op kan zetten middels een aantal gestandaardiseerde protocollen die in alle betrokken nodes zijn geïmplementeerd. Een routeringsprotocol beschrijft bijvoorbeeld op welke wijze een communicatieroute wordt opgezet tussen een zender en een ontvanger van een bepaalde informatiestroom. Indien directe transmissie niet mogelijk is, bijvoorbeeld omdat de zendvermogens te laag zijn, kan het routeringsprotocol gebruikmaken van

tussenliggende nodes die de berichten doorsturen in de richting van de uiteindelijke ontvanger. Deze methode van multi-hop relaying is een kerninstrument in het opzetten van ad-hocnetwerkverbindingen. Een ander cruciaal protocol is het MAC-protocol dat voorschrijft op welke wijze de nodes toegang krijgen tot het gedeelde draadloze communicatiemedium. In een typische implementatie luistert een node eerst of het medium vrij is gedurende een willekeurig getrokken backoff-tijd, alvorens een berichtje te verzenden. Een efficiënt ontwerp van een dergelijk protocol geeft nodes enerzijds snel toegang tot het medium en minimaliseert anderzijds de kans dat door gelijktijdige transmissies berichtjes verloren gaan.

Routing

De verantwoordelijkheid van het routeringsprotocol in ad-hocnetwerken is om een communicatiepad op te zetten tussen een bron- en een bestemmingsnode, waarbij gebruikgemaakt kan worden van tussenliggende relay nodes. Keuze van het beste pad is niet triviaal en kan op verschillende doelstellingen gefundeerd zijn, bijvoorbeeld minimalisatie van het aantal hops of de end-to-end-transmissietijd van de berichtjes. Naast de keuze voor het optimalisatiecriterium bestaat een belangrijk onderscheid tussen zogenaamde proactieve en reactieve routeringsprotocollen. Waar proactieve protocollen periodiek de optimale routes tussen elk paar nodes bepalen, doen reactieve protocollen dit slechts op momenten dat een node daadwerkelijk informatie wil versturen naar een bepaalde bestemmingsnode. De keuze tussen deze alternatieven is een afweging tussen signaleringsoverhead enerzijds en vertraging bij het initiëren van een nieuwe informatiestroom anderzijds.

Hidden nodes

Een hinderlijk fenomeen in draadloze ad-hocnetwerken is het 'hidden nodes'-probleem, dat een nadelig effect heeft op de netwerkcapaciteit. In essentie ligt het ontbreken van een centrale coördinatie ten grondslag aan dit probleem, dat geïllustreerd wordt in de figuur. Wanneer node C luistert naar het medium tijdens een transmissie van node A naar B, hoort node C deze niet doordat de onderlinge afstand tussen A en C groter is dan het interferentiebereik, oftewel node A is verborgen vanuit het perspectief van node C. Omdat node C het transmissiemedium als vrij ervaart, mag hij een transmissie starten (vergelijk het MAC-protocol). Als gevolg van interferentie tussen de beide transmissies kan node B het signaal van A echter niet correct ontvangen en is een hertransmissie nodig.

Dit probleem kan deels verholpen worden door zender en ontvanger voorafgaand aan een transmissie kleine signaleringsberichtjes te laten uitwisselen. Hierdoor worden alle buurnodes geïnformeerd over de aanstaande transmissie en zullen daarom zelf geen transmissie starten waardoor verstoring wordt voorkomen.

Verschenen in: Automatisering Gids nr. 34, 2008

© Sdu Uitgevers, Den Haag

<p style="text-align: center;">Automatisering Gids biedt u: meer dan 2000 whitepapers, business cases en reference cases. Ga naar automatiseringgids.nl/whitepapers en bekijk het complete overzicht.</p>
