

# VU Research Portal

## Concurrent Access and Traffic Control Methods in Wireless Communication Networks

Hoekstra, G.

2012

### **document version**

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication in VU Research Portal](#)

### **citation for published version (APA)**

Hoekstra, G. (2012). *Concurrent Access and Traffic Control Methods in Wireless Communication Networks*.

### **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 ?

### **Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

### **E-mail address:**

[vuresearchportal.ub@vu.nl](mailto:vuresearchportal.ub@vu.nl)

# Samenvatting

## Methoden voor simultane toegang tot en verkeersregulering in draadloze communicatienetwerken

De enorme toename in het gebruik van draadloze communicatienetwerken heeft geleid tot een sterk groeiende vraag naar hogere transmissiesnelheden en naar technieken om de efficiëntie te verhogen. Dit heeft geleid tot de ontwikkeling van zeer efficiënte coderingstechnieken die de theoretische limiet van de potentieel beschikbare capaciteit, de Shannon-limiet, dicht benaderen.

Een interessante mogelijkheid om aan de alsmaar toenemende behoefte aan netwerkcapaciteit te voldoen, wordt geboden door de beschikbaarheid van meerdere draadloze netwerken. In veel gebieden zijn meerdere netwerken voorhanden, maar blijft de mogelijkheid van gelijktijdig gebruik meestal onbenut. Het gelijktijdig toegang hebben tot meerdere (soorten) draadloze netwerken is mogelijk omdat deze actief zijn in verschillende gedeelten van het frequentiespectrum.

Door nu gebruik te maken van de toegankelijkheid van meerdere netwerken kan een aantrekkelijke mogelijkheid geboden worden om aan de alsmaar toenemende behoefte aan netwerkcapaciteit te voldoen en de benutting van bestaande netwerken te verhogen. Het frequentiespectrum waarin draadloze netwerken functioneren is opgedeeld in veelal gelicenseerde frequentiebanden. Uit metingen is gebleken dat dit spectrum lang niet overal druk bezet is, en in sommige banden is nauwelijks activiteit waar te nemen. Het gelijktijdig toegang hebben tot en gebruiken van meerdere netwerken - in dit proefschrift ook wel Concurrent Access (CA) genoemd - is een veelbelovende manier om de beschikbare capaciteit van draadloze netwerken voor gebruikers sterk te vergroten en daarmee aan de toenemende vraag te voldoen. De potentiële prestatiewinsten van deze methode zijn zeer groot, mits het netwerkverkeer van de gebruikers op een juiste manier over deze netwerken verdeeld wordt.

In dit proefschrift worden modellen beschreven en geanalyseerd die ontwikkeld zijn tijdens het onderzoek naar het efficiënt distribueren van verkeersstromen over *meerdere* draadloze netwerken om zo de enorme potentie van Concurrent Access te benutten. Voor toepassing in *één* netwerk zijn methoden om netwerkverkeer te reguleren onderzocht. Deze methoden stellen aan de hand van de

eisen van aanwezige gebruikers enerzijds, en een dynamisch variërende beschikbare netwerkcapaciteit anderzijds, een contract vast tussen het netwerk en de afzonderlijke gebruikers en dwingen dit contract vervolgens af. Het gemeenschappelijke doel van de ontwikkelde methoden is om de dienstverlening zoals deze door de gebruikers ervaren wordt te verbeteren en tegelijkertijd de benutting van de beschikbare netwerken te verhogen.

Het optimaliseren van verkeersstromen over meerdere netwerken wordt gedaan in drie stappen. De eerste stap is het opstellen en valideren van een prestatie-model van een communicatienetwerk. Het model vormt een abstractie van één afzonderlijk communicatienetwerk die het gedrag ten aanzien het verwerken van verkeersstromen nauwkeurig beschrijft door toepassing van de juiste parameterisering. In de tweede stap wordt een prestatie-model bestudeerd waarin het bedrag van meerdere, parallelle communicatienetwerken is verwerkt. Dit model wordt vervolgens geanalyseerd en geoptimaliseerd. In de derde en laatste stap worden de ontwikkelde methoden geëvalueerd aan de hand van simulaties en experimenten met communicatiesystemen.

Hoofdstuk 1 van dit proefschrift bevat een beschrijving van de achtergrond en de motivatie van het verrichte onderzoek. Ook wordt een overzicht gegeven van de literatuur op het gebied van communicatienetwerken en prestatie modellen.

In hoofdstuk 2 wordt een nieuw concept geïntroduceerd voor het modelleren van verkeersstromen in een communicatienetwerk met elastisch data-verkeer dat wordt afgehandeld door middel van het Transport Control Protocol (TCP). De invloed van de complexe, gecombineerde interactie van meerdere protocollagen in communicatie systemen op de verwerking van bestandsstromen kan als expliciete uitdrukking met één enkele parameter, genaamd de *effectieve bedieningsduur*, worden beschreven. Gebaseerd op deze effectieve bedieningsduur van een aankomstenpatroon van bestandsstromen kan de *effectieve belasting* in een netwerk gedefinieerd worden. Op basis daarvan kan de door de gebruiker ervaren prestatie van het netwerk beschreven worden door middel van een *M/G/1 Processor Sharing (PS)* model. De resultaten van een uitgebreide validatie van dit model door middel van simulaties en experimenten geven aan dat nauwkeurige voorspellingen van de netwerkprestaties verkregen kunnen worden voor een uiteenlopende set van parameters. Dit maakt het mogelijk de prestaties van complexe draadloze netwerken te beschrijven met een eenvoudig model. Dit model kan vervolgens gebruikt worden voor het evalueren en optimaliseren van methoden voor het efficiënt splitsen van verkeersstromen.

In hoofdstuk 3 wordt het gebruik gemodelleerd van meerdere parallelle communicatienetwerken door middel van een CA-model waarbij elk netwerk door een PS-model wordt gerepresenteerd. In het model worden twee typen verkeer bediend: voorgrondverkeer en achtergrondverkeer. De taken van het voorgrondverkeer worden opgesplitst in fragmenten volgens een vaste splitsregel. Vervolgens worden de fragmenten verwerkt door de parallelle PS-nodes. Zodra

alle fragmenten van een taak zijn verwerkt wordt de oorspronkelijke taak gereconstrueerd waarna de behandeling is beëindigd. Elke PS-node ontvangt een stroom achtergrondverkeer die niet gesplitst wordt. Vanwege het toepassen van een vaste splitsregel op de taken van het voorgrondverkeer wordt deze methode *static job splitting* genoemd. Het doel van het statisch splitsen van taken is om de behandelingsduur van voorgrondtaken te bekorten. Door gebruik te maken van het PS-model met de effectieve bedieningsduur uit hoofdstuk 2 is het model, genaamd het *CA job-split model*, toe te passen op het splitsen van bestandsstromen over meerdere parallelle communicatienetwerken. Hoofdstuk 3 richt zich in het bijzonder op het gedrag van zeer grote taken die volgens een 'zwaarstaartige' verdeling aan het systeem worden aangeboden zodat van asymptotische eigenschappen gebruik gemaakt kan worden. Op basis van een Reduced Load Approximation (RLA) wordt bewezen dat een zeer eenvoudige en intuïtieve splitsregel tot optimale prestaties leidt ten aanzien van de bedieningsduur van zeer grote taken uit het voorgrondverkeer. Resultaten verkregen via uitvoerige simulaties demonstreren dat deze eenvoudige splitsregel ook goed presteert ten aanzien van de gemiddelde behandelingsduur van het voorgrondverkeer.

In hoofdstuk 4 wordt het CA job-split model van hoofdstuk 3 verder geanalyseerd. Het doel is een splitsregel te ontwikkelen en te evalueren voor de *static job splitting*-methode, zodanig dat de gemiddelde behandelingsduur van het gesplitste voorgrondverkeer geminimaliseerd wordt. Vanwege het splitsen van een aankomststroom van voorgrondtaken raken de parallelle PS-nodes van het CA job-split model doorgaans gecorreleerd. Dit bemoeilijkt een exacte analyse van de resulterende gemiddelde bedieningsduren. In hoofdstuk 4 wordt daarom een benadering voor de optimale splitsregel ontwikkeld die gebaseerd is op een combinatie van twee methoden: de eerste methode berust op de asymptotische eigenschappen van zwaarstaartige bedieningsduurverdelingen en de tweede methode op de eigenschappen van lichtstaartige verdelingen. Uit simulatieresultaten blijkt dat door toepassing van de ontwikkelde splitsregel de gemiddelde bedieningsduur van het voorgrondverkeer de geschatte prestaties van een optimale splitsregel zeer dicht benadert.

In hoofdstuk 5 wordt een CA job-assignment model geanalyseerd, waarbij taken van het voorgrondverkeer, in de aanwezigheid van achtergrondverkeer, dynamisch kunnen worden toegewezen aan een van de PS-nodes van het systeem. Deze methode om voorgrondverkeer aan één van de PS-nodes van het CA job-assignment model toe te wijzen wordt in de context van dit proefschrift aangeduid als *dynamic job assignment*. Het doel van dit hoofdstuk is om toewijzingsregels te ontwikkelen en te evalueren voor de dynamic job assignment-methode zodanig dat de gemiddelde behandelingsduur van het voorgrondverkeer geminimaliseerd wordt. Voor dit toewijzingsprobleem is een Markov-beslismodel opgesteld en opgelost. Op basis van de volledige informatie over de toestand van het systeem is het mogelijk om de taken dusdanig toe te wijzen aan de juiste PS-node dat dit tot optimale prestaties leidt. Echter, onder realistische

omstandigheden is vaak slechts een deel van deze informatie bekend. Daarom is in dit hoofdstuk een Bayesiaans algoritme ontwikkeld dat op basis van partiële informatie over de toestand van het systeem de ontbrekende informatie kan schatten. Zodoende kan gebruik gemaakt worden van het Markov-beslismodel dat berust op de volledige informatie van de toestand van het systeem. Op basis van simulaties wordt aangetoond dat dynamische toewijzing op basis van het Bayesiaanse algoritme in zowel een CA job-assignment model als in een vergelijkbare draadloze netwerkgeving de "ideale" prestaties van een Markov-model met volledige informatie over de toestand van het systeem zeer dicht benaderen.

In hoofdstuk 6 wordt een CA job-split model geanalyseerd, waarbij de taken van het voorgrondverkeer worden gesplitst in fragmenten die tijdens de bediening in grootte variëren. De grootte van deze fragmenten worden dusdanig aangepast dat de individuele behandelingsduur van alle fragmenten exact gelijk is. Vanwege het toepassen van een dynamische splitsregel op iedere taak van het voorgrondverkeer wordt deze methode *dynamic job splitting* genoemd. Bij toepassing van deze methode in het CA job-split model wordt aangenomen dat de splitsregel over de volledige informatie van de toestand van de netwerken beschikt en dat taken met oneindig fijne granulariteit kunnen worden gesplitst, als poging om "optimale" prestaties van het voorgrondverkeer bereiken. Naast een wiskundig model wordt een praktische realisatie van de *dynamic job splitting*-methode gepresenteerd. Door gebruik te maken een combinatie van zowel het model uit hoofdstuk 2, voor de effectieve bedieningsduur van een bestandsstroom in één communicatienetwerk, als het prestatie model voor *dynamic job splitting* kunnen de "optimale" prestaties in een realistisch communicatienetwerk bepaald worden. De uitkomsten van dit model worden vervolgens vergeleken met de uitkomsten van de experimenten om de te bepalen hoe efficiënt de praktische oplossing TCP-verkeersstromen over meerdere draadloze netwerken optimaliseert. Uit de uitkomsten van deze experimenten blijkt dat de ontwikkelde *dynamic job splitting*-methode voor draadloze netwerken de analytisch bepaalde "optimale" prestaties zeer dicht benadert en daarmee zeer efficiënt verkeersstromen over meerdere netwerken kan verdelen in de aanwezigheid van achtergrondverkeer.

In hoofdstuk 7 worden elementen van het model uit hoofdstuk 2 gebruikt als basis voor de ontwikkeling van een oplossing die de verwachtingen van gebruikers in een draadloos netwerk kan relateren aan de benodigde netwerkcapaciteit van deze gebruikers. In dit hoofdstuk wordt duidelijk gemaakt dat een capaciteit uitgedrukt in bits per seconde onvoldoende inzicht geeft in de gebruikersbehoefte ten aanzien van bepaalde toepassingen of de voortvloeiende netwerkbelasting van deze toepassingen. De oorzaak hiervan is de wisselende manier waarop netwerken pakketten versturen. In sommige netwerken kan de capaciteit zelfs sterk fluctueren door aanpassingsmechanismen. Hierdoor kan de netwerkbelasting die ontstaat als gevolg van een toepassing die een vaste hoeveelheid informatie verstuurt sterk uiteenlopen. De voorgestelde oplossing hiervoor in dit hoofdstuk is het definiëren van een *multi-service traffic profile* dat wél inzicht

geeft in de behoefte van toepassingen en de resulterende belasting ervan in een netwerk. Het multi-service traffic profile wordt gebruikt om een verkeerscontract, *QoS budget* genoemd, te bepalen waar het draadloze communicatiesysteem van een gebruiker zich aan dient te houden volgens de methode die beschreven is in [47]. Op deze manier kan dichtbij de gebruiker beslist worden hoe binnen het QoS budget gecommuniceerd kan worden en of een nieuwe toepassing het netwerk mag gebruiken. Het gebruik van het multi-service traffic profile en het bepalen en toewijzen van een QoS budget kan op een dynamische manier plaatsvinden die past bij een variërende netwerkcapaciteit als gevolg van bijvoorbeeld veranderende kanaalcondities of bewegende gebruikers.

In hoofdstuk 8 wordt een oplossing voorgesteld en geëvalueerd die ontworpen is om een verkeerscontract dat aan een gebruiker is toegewezen, af te dwingen in een *shared medium netwerk*. Het verkeerscontract kan hierbij tot stand komen via de methode die voorgesteld is in hoofdstuk 7. Traditioneel worden in een verkeerscontract de stromen van en naar de gebruiker (respectievelijk *upstream* en *downstream* verkeersstromen) onderscheiden en wordt bij het afdwingen van het contract, ofwel *policen*, iedere richting afzonderlijk aan de grenzen uit het contract onderworpen. Voor (veelal traditionele) netwerken die afzonderlijke kanalen gebruiken voor upstream en downstream verkeer, of met een andere aangebrachte scheiding, functioneert deze policing-methode naar behoren. Bij een shared medium kan dit tot lagere prestaties voor de gebruiker en een inefficiënt gebruik van het netwerk leiden. De voorgestelde policing oplossing maakt gebruik van eigenschappen van shared media om binnen de grenzen van het totale verkeerscontract een andere verhouding tussen upstream en downstream verkeer toe te staan, indien nodig. Op basis van een analytisch model en uitgebreide simulaties kan worden geconcludeerd dat, ten opzichte van traditionele policing methoden, de voorgestelde policing oplossing in een shared medium netwerk de capaciteit efficiënter benut en de dienstverlening aan de gebruiker verbeterd.