

Een maat voor 'sterke' netwerken

Bedenk eens wat er zoal kan gebeuren als de stroom langdurig uitvalt, het Internet 'plat ligt' of files niet meer oplossen. Dit maakt duidelijk hoe afhankelijk onze maatschappij is geworden van dergelijke groot-schalige netwerken. En hoe belangrijk het is dat zulke netwerken robuust genoeg zijn in het gebruik. Dr. Huijuan Wang MSc deed onderzoek naar hoe je robuustheid van netwerken kunt kwantificeren en optimaliseren. Begin september verdedigde ze haar proefschrift en promoveerde ze cum laude aan de TU Delft.

Door Ingrid Magilsen

Grote netwerken zoals het Internet of neurale netwerken zijn zo omvangrijk, dat je je alleen met statistische methoden een voorstelling kunt maken van de structuur ervan. En wat maakt een dergelijke structuur nu robuust? Diverse meetbare kenmerken zijn af te leiden van zo'n netwerk, maar welke daarvan zegt iets zinnigs over de robuustheid van een netwerk? 'Je zou bijvoorbeeld kunnen zeggen dat een netwerk robuuster is, naarmate de processen of diensten die op het netwerk plaatsvinden sneller en beter worden uitgevoerd', aldus Wang.

Verbondenheid

Een goede meetbare maat die daarmee samenhangt, blijkt de mate van verbondenheid tussen de knooppunten te zijn, de zogenaamde algebraïsche connectiviteit. Bij een hoge verbondenheid van de knopen, bijvoorbeeld in een communicatienetwerk, kan de informatie zich namelijk sneller en efficiënter verspreiden. Bovendien, hoe groter de verbondenheid, hoe beter een netwerk bestand is tegen uitval. 'Netwerken met een grote algebraïsche connectiviteit neigen ernaar om compact te zijn in de kern en opener aan de rand. Dergelijke structuren verdelen het verkeer gelijkmatig over het netwerk. En dat maakt ze robuust wat betreft de afhandeling van verkeer', vertelt Wang.

Optimale netwerken

Via lineaire algebra, combinatiëleer en simulaties heeft Wang netwerken met een optimale connectiviteit gevonden: 'Netwerken waar alle knopen met elkaar verbonden zijn, hebben uiteraard een maximale connectiviteit, maar deze structuur is verre van optimaal. Het voordeel van die hoge connectiviteit weegt namelijk niet op tegen de kosten om al deze verbindingen te leggen. Verder houd ik bij de optimalisering rekening met andere beperkingen, bijvoorbeeld dat de routes over het netwerk slechts een maximale hoeveelheid verbindingen mogen hebben, ofwel dat het netwerk een vaste, gegeven diameter heeft, zodat het verkeer niet te veel



Huijuan Wang voerde haar promotieonderzoek naar robuustheid van netwerken uit aan de TU Delft. Inmiddels is zij universitair docent binnen de Telecommunicatiegroep.

vertraagt. Ook heb ik berekend hoe je de connectiviteit kunt optimaliseren door slechts enkele verbindingen toe te voegen, omdat het vaak te kostbaar is om veel te veranderen.'

Daarnaast bekeek Wang hoe de structuur van het netwerk en de manier waarop er gebruik van wordt gemaakt door diensten, samen invloed hebben op de algehele prestaties van het netwerk. 'Kijk bijvoorbeeld naar het gewicht van een verbinding. Zaken als bandbreedte of vertraging zijn gewichten die voortkomen uit het netwerk zelf. Maar het gewicht kan ook bepaald worden door de dienst die van het netwerk gebruik maakt.

Communicatienetwerken bijvoorbeeld zijn veelal gebaseerd op routing via het kortste pad. Een serviceprovider kan daarbij zelf waarden aan verbindingen toekennen om zo het verkeer te regelen', licht Wang toe.

Verkeersstromen sturen

Ze noemt het Nederlandse netwerk van snelwegen als metafoor. De afstand tussen knooppunten draagt bij aan de zwaarte van een verbinding. Dit is een gewicht vanuit het netwerk zelf, maar je kunt ook van buitenaf andere gewichten gaan toekennen aan de wegen, bijvoorbeeld het betalen door een automobilist om op bepaalde wegen te rijden. Een automobilist zal op basis daarvan misschien een andere route kiezen, met als gevolg dat verkeersstromen wijzigen. Wang: 'De prestaties van het netwerk kunnen dus zowel beïnvloed worden door kenmerken van het netwerk zelf als door de diensten die van het netwerk gebruikmaken.'

Wat blijkt nu? Als het gewicht van de verbindingen onderling uitermate sterk varieert, dan zal de verzameling van alle verkeersstromen, de "verkeersbackbone", de vorm aannemen van een boomstructuur. Minder verbindingen worden veel intensiever gebruikt. En als het gewicht van verbindingen onderling weinig varieert, dan zal het verkeer zich juist meer verspreiden. Dit is vergelijkbaar met het verschil tussen supergeleiding en normale geleiding in vaste stoffen waar de stroom ofwel over enkele paden of over vele paden uitwaaiert. 'Uit onze simulaties blijkt dat dit verschijnsel zich voordoet bij allerlei soorten netwerken', vertelt Wang. 'Het maakt daarbij niet uit wat de onderliggende vorm van het netwerk is. Het is daarmee een manier om verkeersstromen te sturen afhankelijk van de wensen van de serviceprovider.'

Toepassingen

Hoe kun je deze inzichten in de praktijk toepassen? Wang licht toe: 'Bij het ontwerp van een communicatienetwerk bijvoorbeeld, kan de algebraïsche connectiviteit een goede maat zijn voor de robuustheid van dit netwerk. We kunnen een netwerkbeheerder voorzien van een optimaal netwerkontwerp waarbij aan allerlei eisen wordt voldaan. Ook bij het ontwerp van het 'core' netwerk van het Internet kunnen onze geoptimaliseerde netwerken een goed voorbeeld vormen.'


Het onderzoek van Wang maakt onderdeel uit van het ROBUNET project, over de robuustheid van grootschalige netwerken. Haar collega, Javier Martín Hernández, richt zich binnen dit project bijvoorbeeld op het vermogen van netwerken om storingen op te vangen. Daarbij zoekt hij naar een verzameling van onafhankelijke maten om dit te meten. 'Ons onderzoek vormt een goede combinatie', aldus Wang.

ROBUNET

Wang is afkomstig uit Harbin, een grote stad in het noordoosten van China. Na het behalen van haar Bachelor's degree, studeerde ze Electrical Engineering aan de TU Delft. Op de vraag waarom ze na haar promotie ook in Delft blijft, antwoordt ze: 'Ik ben dol op Delft. Daarom ben ik hier nog steeds. De sfeer is ontspannen en open. Ik heb hier volop mogelijkheden om ideeën uit te wisselen en samen te werken zowel met mijn naaste collega's als met onderzoekers elders in de wereld. Dat internationale netwerk is enorm belangrijk.'

Inmiddels werkt Wang als universitair docent in de groep NAS, Network Architectures and Services, binnen Telecommunicatie van de faculteit Electrical Engineering, Mathematics and Computer Science in Delft. Dezelfde groep waar zij onder supervisie van professor Van Mieghem is gepromoveerd. 'Robuustheidsonderzoek in complexe netwerken krijgt steeds meer internationale aandacht. De NAS groep is naast ROBUNET ook actief in het Europese FP7 ResumeNet project en in Next Generation Infrastructures. Bovendien is Delft bezig een deeltijdleerstoel "Robustness of complex networks" te creëren', aldus Van Mieghem. Dit onderzoeksgebied kent verschillende interessante ontwikkelingen. Van Mieghem steekt van wal: 'Eén ervan is de verschuiving van de aandacht naar robuustheid van dynamische netwerkprocessen die de topologie van het netwerk kunnen veranderen. Hoe kan een dienst aan efficiëntie winnen door intelligent gebruik te maken van de netwerkstructuur? Neem bijvoorbeeld een griep epidemie of de verspreiding van een computervirus. Normaliter beschermen mensen zich door inenting of medicijnen en wordt de computer beschermd met antivirussoftware. Daarnaast kun je ook het risico op besmetting verkleinen door het aantal contacten met mogelijk besmette personen of andere computers te verminderen. In netwerktermen betekent dit dat het proces of de dienst de netwerktopologie aanpast om, in dit geval, de verspreiding van ongewenste informatie te voorkomen. Door zowel de dienst als de onderliggende structuur van het netwerk aan te passen, speelt men adaptiever en efficiënter in op dynamische netwerkprocessen.'

Sociale netwerken

Binnen NAS wordt onder meer onderzoek gedaan naar P2P systems, maar ook naar sociale netwerken. Hoe evolueren deze netwerken over de tijd en hoe groeien communities? Ander interessant onderzoek vindt plaats naar biologische netwerken. Daarbij wordt gekeken naar de werking van bijvoorbeeld neurale en metabolische netwerken. Wat kunnen we hiervan leren om toe te passen in netwerkontwerp? Of onderzoek naar economische netwerken. Hoe lopen geldstromen tussen sectoren? 'Doel daarvan is te kijken hoe verschillende sectoren samenwerken en om te zoeken naar business opportunities', vertelt Wang. 

ROBUNET is onderdeel van het NWO-programma GLANCE.

Dat staat voor GLobAl computer scieNCE en is gericht op fundamenteel onderzoek naar grootschalige parallelle en gedistribueerde systemen. GLANCE is onderdeel van het NWO-informaticacluster i-science.

De promotie van Wang is de eerste binnen dit cluster. Wang's promotieonderzoek leidde onder meer tot artikelen in de drie toptijdschriften op het gebied van netwerken, natuurkunde en wiskunde: IEEE/ACM Transactions on Networking, Physical Review E en Linear Algebra and its Applications.

