

Bennie Mols

Kijkduinstraat 121-2
1055 XW Amsterdam
bmols@wanadoo.nl

Studiegroep Wiskunde met de Industrie 2006

Roddelende branddetectoren

Een netwerk van draadloos pratende sensoren houdt in een bos in de gaten of er ergens een bosbrand uitbreekt. Gebeurt dat, dan moet het netwerk zo snel mogelijk een waarschuwings-signaal doorgeven aan een basisstation. Wat is de kans dat dit signaal het basisstation bereikt en hoe snel gaat dat? Wiskunde moet helpen een betrouwbaarder netwerk te maken.

Hoe kun je in een gigantisch bos snel en goedkoop detecteren of er ergens een bosbrand uitbreekt? Het Nederlandse elektronica- en it-bedrijf Chess werkt aan de ontwikkeling van een netwerk van goedkope, draadloze sensoren voor deze en vergelijkbare toepassingen waarin een signaal door een draadloos sensornetwerk bij een basisstation moet aankomen.

Het idee is eenvoudig. Leg met een bepaalde regelmaat een draadloos netwerk van sensoren in het bos aan. Stel er breekt ergens brand uit. De dichtstbijzijnde sensor merkt dit aan de sterk toegenomen temperatuur. Hij geeft een radiosignaal door aan zijn buursensor: 'er is brand bij mij in de buurt'. Deze sensor doet hetzelfde, en uiteindelijk moet het brandsignaal snel genoeg aankomen bij een basisstation aan de rand van het bos. Dat signaal moet de informatie hebben dat er brand is, op welke plek dat is gebeurd, en hoe laat. Om energie te sparen staan de sensoren korte tijd in de slaapstand. Daarna worden ze allemaal tegelijk even wakker, kijken of er een brandbericht binnenkomt en sturen eventueel een bericht naar de burens. Vervolgens keren ze weer voor even terug in

de slaapstand.

"Onze centrale vraag aan de wiskundigen was hoe je een optimaal systeem van roddelende sensoren ontwerpt", legt Bert Bos van Chess uit. "Komt het brandsignaal wel altijd aan? Hoe snel komt het signaal aan bij het basisstation?"

Brand op meerdere plekken tegelijk

Het netwerk van goedkope, roddelende sensoren zal niet ideaal zijn. Een goed ontwerp moet daarom rekening houden met wat er allemaal mis kan gaan. Niet elk sensor hoeft te werken. De batterij kan leeg zijn, of de sensor zelf kan kapot zijn. Desondanks wil je dat het systeem als geheel nog steeds in staat is een brand te detecteren. Verder kan het zo zijn dat een uitgezonden bericht niet goed wordt opgepikt door een buursensor. De communicatie kan misgaan, ook als beide sensoren werken.

Verder kan een bosbrand op meerdere plekken uitbreken. Idealiter wil je dan dat er bij het basisstation signalen aankomen die vertellen op welke plekken en op welke tijden de verschillende branden zijn uitgebroken. De sensoren hebben echter maar een beperkt ge-

heugen en kunnen dus niet een groot aantal berichten onthouden en doorsturen. Ze moeten kiezen welke berichten ze wel doorsturen en welke niet. En ook welke berichten ze uit hun geheugen wissen omdat anders de hoeveelheid informatie niet meer past. Wat is daarvoor de optimale strategie?

Omdat de sensoren goedkoop moeten zijn, zullen ze ook goedkope batterijen hebben. Daarmee zijn ze beperkt in hoe ver ze het draadloze radiosignaal kunnen sturen. Hoe verder een sensor zijn informatie wil sturen, hoe meer energie dat kost. In het eenvoudigste en goedkoopste geval stuurt elke sensor zijn signaal alleen naar de directe burens. Een sensor weet zelf niet waar hij in het netwerk zit, en ook niet waar het basisstation zich bevindt. Ze sturen dus eigenlijk blindelings informatie rond. Bij de brandmelding moet wel duidelijk worden welke sensor, op welke locatie de brand opmerkt.

Om uit te vinden hoe je het beste een optimaal netwerk van roddelende sensoren ontwerpt, hebben de wiskundigen twee aanpakken onderzocht. Misja Nuijens van de Vrije Universiteit in Amsterdam: "In een analytische aanpak hebben we geprobeerd een formule te vinden die aangeeft hoe goed het netwerk communiceert. Zo'n formule vind je echter alleen maar voor het eenvoudige geval dat je een eendimensionale rij van sensoren hebt. De formule die we zo hebben afgeleid,



Figuur 1 De eerste concrete toepassing van een draadloos sensorsysteem, is voor een beurs waar veel bezoekers rondlopen. Elke bezoeker heeft een badge met een sensor. Als je op zoek bent naar een bepaald persoon op die beurs, dan kun je het netwerk gebruiken om te vinden waar die persoon rondloopt.

vertelt hoe de verwachte tijd van een signaal om aan te komen bij het basisstation, afhangt van de kans dat de communicatie tussen twee sensoren werkt en van de afstand tot het basisstation.”

Neem je de meer realistische situatie van een tweedimensionaal netwerk, dan wordt het probleem te moeilijk voor een analytische benadering. Dan heb je een computersimulatie van het netwerk nodig. Beide aanpakken vullen elkaar echter aan. De analytische aanpak levert een inzicht dat de computersimulatie niet kan leveren, en andersom. De computersimulatie is wel het meeste geschikt om inzicht te geven in de complexe praktijk.

Optimale geheugenstrategie

Een ander deel van de wiskundige analyse richtte zich op de optimale geheugenstrategie voor de sensoren. Een sensor heeft maar een beperkt geheugen en kan niet alle boodschappen onthouden. Een voor de hand liggende strategie lijkt dat elke sensor de oudste boodschap weggooit om geheugenruimte vrij te maken voor een nieuwe boodschap. “Die strategie blijkt echter niet goed te werken”, vertelt Nuijens. “In het geval er op twee plekken brand uitbreekt, waarvan er eentje dicht bij het basisstation ligt, en de ander ver weg van het basisstation, blijkt het brandsignaal dat van ver weg moet komen niet aan te komen. En dat wil je juist wel. Beide brandsignalen moeten aankomen.”

Een veel betere strategie blijkt om een willekeurige keuze uit de berichten te nemen. Stel dat er op meerdere plekken branden optreden dan er plaats is in het sensorgeheugen. Dan is het beter dat een sensor op een willekeurige manier kiest welke berichten hij doorgeeft, dan om steeds het oudste bericht weg te gooien.

Deze strategie kan nog verder worden verbeterd. Wanneer ergens een brand optreedt,

zal de sensor die dit meet keer op keer hetzelfde brandsignaal naar zijn burens zenden. Maar die burens weten na de eerste boodschap al lang dat er brand is. “Een nog betere strategie is daarom om een nieuwe boodschap een lagere prioriteit te geven als de sensor daarvoor al hetzelfde signaal ontving van dezelfde buur”, aldus Nuijens. “Op deze manier komt het brandsignaal nog sneller aan bij het basisstation, zo blijkt.”

Vergroot het bereik van de sensoren

De computersimulaties laten ook zien dat als sensoren een signaal sturen over een groter bereik, het brandsignaal een grotere kans heeft aan te komen bij het basisstation. Alleen kost het meer energie en dus meer geld om een sensor over een grotere afstand te laten communiceren. Afhankelijk van hoe snel het signaal moet aankomen bij het basisstation, kan het nuttig zijn te investeren in sensoren met een groter bereik.

Ook blijkt het uit te maken volgens welk rooster de sensoren in het platte vlak worden verdeeld. Voor de hand ligt natuurlijk een rechthoekig rooster. In dit rooster kan elke sensor met vier andere sensoren praten. Maar computersimulaties laten duidelijk zien dat een hexagonaal rooster (elke sensor heeft dan zes andere sensoren) een veel betere prestatie levert dan een rechthoekig rooster. In een hexagonaal rooster komt het brandsignaal sneller aan en bovendien is het netwerk dan beter bestand tegen storingen zoals het uitvallen van sensoren of het mislopen van communicatie tussen twee sensoren.

De vraag hoe het optimale roddelende sensornetwerk eruit ziet, hangt sterk af van hoe belangrijk het is hoe snel een signaal aankomt bij het basisstation en van hoeveel het netwerk mag kosten. Een snelle communicatie die ongevoelig is voor storingen zal immers een stuk duurder uitvallen dan een langzame communicatie die ook af en toe mag falen.

Handige vragenlijst voor de klant

De eerste concrete toepassing van een draadloos sensorsysteem staat voor eind 2006 gepland, vertelt Bert Bos van Chess: “Niet voor de detectie van bosbranden, maar voor een beurs waar veel bezoekers rondlopen. Elke bezoeker heeft een badge met een sensor. Als je op zoek bent naar een bepaald persoon op die beurs, dan kun je het netwerk gebruiken om te vinden waar die persoon rondloopt. Dat wordt het eerste concrete experiment met een toepassing. We zijn bezig met verschillende mogelijke toepassingen.”

Behalve bosbranddetectie, kan het bij-

voorbeeld gaan om het detecteren van een gaslek in een huis, een vuilnisophaalsysteem dat in de stad in de gaten houdt wanneer vuilniscontainers in de stad bijna vol zijn, of een netwerk van geluidsdetectoren dat bijvoorbeeld de geluidsoverschrijding rondom een vliegveld in de gaten houdt.

De wiskundige analyse heeft laten zien welke aspecten cruciaal zijn in een netwerk van roddelende sensoren. Nuijens: “Wij geven als aanbeveling dat Chess aan de hand van die analyse een vragenlijst voor de klant kan opstellen om erachter te komen hoe belangrijk de diverse aspecten zijn in de specifieke toepassing van de klant.”

Hoe belangrijk is het dat het signaal snel aankomt? Bij een bosbrand is dat essentieel. Bij een netwerk dat de geluidsoverschrijding rondom Schiphol in de gaten moet houden, is snelheid niet van belang. Hoe goed moet de sensor zijn, en wat mag het kosten? Een sensor die niet alleen een draadloos signaal aan de naaste buur doorgeeft maar ook aan de tweede buur, of nog verder weg, moet over een krachtigere batterij beschikken. Dat kan, maar dan wordt de sensor duurder. De wiskundige analyse kan laten zien hoe de kostenbatenanalyse voor de specifieke toepassing van de klant uitvalt.

“Wij hebben inmiddels de financiering rond om met een aantal partners uit het midden- en kleinbedrijf een netwerk van zo’n tienduizend sensoren te bouwen”, vertelt Bos. “Daar kunnen we dan realistische experimenten mee doen. Veel beter dan het netwerkje van enkele tientallen sensoren dat we tot nu toe hebben gebruikt. Dat kleine netwerk hebben we vooral gebruikt om te kijken hoe de communicatie tussen de sensoren werkt.”

Bos is vooral blij met de formule die de wiskundigen hebben afgeleid voor de betrouwbaarheid van het netwerk: “Tot nu toe hadden we alleen computersimulaties, maar geen concrete formule. Met die formule kunnen we de betrouwbaarheid beter onderbouwen. Ook kunnen we daarmee potentiële klanten beter overtuigen.”

Het bedrijf gaat waarschijnlijk ook de aanbeveling overnemen om een sensor niet alleen te laten praten met zijn naaste burens, maar het bereik iets groter te maken. Bos: “Met niet al te veel extra kosten, vergroot dat de betrouwbaarheid van het netwerk flink.”

Meer informatie
www.chess.nl