

VU Research Portal

Networks of Sensors

Onderwater, M.

2016

document version

Publisher's PDF, also known as Version of record

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

citation for published version (APA)

Onderwater, M. (2016). *Networks of Sensors: Operation and Control*.

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

SAMENVATTING

Netwerken van Sensoren - Werking en Aansturing

De laatste jaren is het gebruik van sensoren met ongekeerde snelheid gegroeid. Smartphones, intelligente wasmachines, slimme (energie) meters, en auto's werken allemaal met een breed scala aan sensoren. Sensoren worden o.a. gebruikt voor het observeren van patiënten in een ziekenhuis, het beheer van klimaat in gebouwen, het monitoren van structurele eigenschappen van een brug, en voor het volgen van wild in een reservaat. De populariteit van sensoren blijkt ook uit de 2015 editie van de Gartner Hype Cycle, waar 'The Internet of Things' – een onderwerp waar sensoren veelvuldig gebruikt worden – genoemd wordt als één van de opkomende technologieën. Dankzij recente technologische ontwikkelingen is het mogelijk om sensoren te koppelen aan goedkope 'mini-computers', resulterend in apparaten die kleiner zijn dan een credit card en toch voldoende rekenkracht hebben om simpele applicaties uit te voeren. Behalve sensoren bevatten deze apparaten meestal ook een draadloze verbinding die geschikt is voor het verzenden van data over korte afstanden. Om grotere afstanden te overbruggen vormen de apparaten gezamenlijk een netwerk, zodat toepassingen in een groter geografisch gebied ook tot de mogelijkheden behoren.

Toepassingen die gebruik maken van sensoren of sensornetwerken worden geconfronteerd met een aantal uitdagingen die uniek zijn voor sensortechnologie. Metingen van sensoren hebben bijvoorbeeld meestal een bepaalde onnauwkeurigheid. Verder werken sensoren vaak op een batterij, en een lege batterij kan ervoor zorgen dat een deel van het netwerk onbereikbaar wordt. Zulke uitdagingen worden steeds belangrijker naarmate het gebruik van sensoren blijft groeien in de nabije toekomst. Een grondig begrip van deze uitdagingen, goede methodes om er mee om te gaan, en innovatieve oplossingen zijn hierbij noodzakelijk. Dit is de belangrijkste motivatie voor het onderzoek in dit proefschrift.

Het proefschrift bestaat uit twee delen, waarvan het eerste deel drie hoofdstukken bevat rond het thema ‘sensornetwerken’. Het tweede deel bevat drie hoofdstukken rond het onderwerp ‘Markov-beslismodellen’, een populair raamwerk voor het modelleren van beslisproblemen in onzekere omstandigheden (welke vaak voorkomen in sensornetwerken).

Het eerste deel start met een behandeling van middlewarecomponenten voor sensornetwerken in Hoofdstuk 2. Sensoren en sensornetwerken gebruiken protocollen en gegevensformaten die vaak verschillen per fabrikant, zodat applicaties genoodzaakt zijn om met deze diversiteit om te gaan. Een middlewarecomponent vormt een brug tussen (netwerken van) sensoren en de applicaties, en verbergt de diversiteit aan formaten achter een uniforme interface die bruikbaar is voor alle applicaties. Hoofdstuk 2 behandelt een aantal types componenten, en richt zich uiteindelijk op de recentelijk populaire ‘centrale middlewarecomponenten’. De algemene architectonische kenmerken van dit type worden besproken, gevolgd door een beschrijving van vier verschillende voorbeeldcomponenten. Het hoofdstuk eindigt met een vooruitblik naar toekomstige ontwikkelingen op het gebied van centrale middlewarecomponenten.

In hoofdstuk 3 richten we onze aandacht op uitbijters (abnormale metingen in sensordata), en wordt onderzocht hoe goed zogenaamde dimensiereductietechnieken in staat zijn deze uitbijters te behouden. Een dimensiereductietechniek is gericht op het verwijderen van redundantie uit data, en vormt een soort samenvatting van de originele data. Het toepassen van een dimensiereductietechniek kan er toe leiden dat een uitbijter in de originele data vervolgens tussen de samenvattingen geen uitbijter meer is. Applicaties die afhankelijk zijn van uitbijters (bijvoorbeeld een toepassing die een alarm stuurt bij te hoge CO₂ metingen) kunnen dan geen gebruik maken van de korte samenvattingen. De toenemende hoeveelheid sensordata betekent echter dat het gebruik van de korte samenvattingen wel degelijk wenselijk is voor deze applicaties is vanuit een rekenkundig oogpunt. Hoofdstuk 3 behandelt drie populaire dimensiereductietechnieken, en onderzoekt aan de hand van een aantal kwaliteitscriteria hoe goed de drie technieken in staat zijn om uitbijters te behouden. De experimenten laten zien dat één van de drie technieken het beste uitbijters behoudt, en we bespreken de intuïties achter dit resultaat.

Hoofdstuk 4 gaat over een belangrijke prestatiemaat van een sensornetwerk: de *doorvoercapaciteit*. Deze maat geeft aan hoe snel een sensornetwerk in staat is om een meting te versturen in een situatie waar vele andere sensoren in het netwerk dat eveneens willen doen. Het draadloze kanaal dat het netwerk gebruikt is slechts in staat om één meting tegelijkertijd te versturen, dus iedere sensor volgt een stelsel van regels om te bepalen wanneer deze een meting mag

versturen. De regels zijn beschreven in het ‘Media Access Control’ protocol van de IEEE 802.15.4 standaard, en zorgen ervoor dat sensoren afwisselend een bepaalde hoeveel tijd wachten en een verzendpoging doen. Het wachten resulteert erin dat meerdere sensoren metingen kunnen versturen, maar zorgt er tegelijkertijd ook voor dat het kanaal nu en dan niet gebruikt wordt, wat weer nadelig is voor de doorvoercapaciteit. In dit hoofdstuk presenteren we een model voor het analyseren van de doorvoercapaciteit van het IEEE 802.15.4 MAC protocol. Het model draait om het concept van de *natuurlijke laag*, welke correspondeert met de tijd dat een sensor normaal gesproken moet wachten (volgens het MAC protocol) voor het verzenden van een meting. Vergeleken met bestaande modellen in de literatuur onderscheidt ons model zich door zijn eenvoud. Het model biedt inzicht in hoe de doorvoercapaciteit afhangt van de protocolparameters, en van het aantal sensoren in het netwerk. Experimenten met simulaties laten zien dat het model zeer nauwkeurig is voor een brede selectie van waarden voor de protocolparameters, en dat het toepasbaar is op zowel grote als kleine sensornetwerken.

Deel twee van het proefschrift, over Markov-beslismodellen, start met Hoofdstuk 5 en bekijkt de aansturing van een wachtrijsysteem. De controller van het systeem ontvangt aanvragen voor metingen uit het wachtrijsysteem, en kan deze beantwoorden door een nieuwe meting op te vragen bij het systeem, of door een eerder gedane meting te gebruiken als antwoord. De eerste optie (een nieuwe meting ophalen) kost echter relatief veel tijd, zeker bij grote drukte in het systeem. De tweede optie (een eerder gedane meting teruggeven) kost geen tijd, maar geeft een meting terug die al wat ouder is. De controller maakt voor zijn beslissing dus een afweging tussen de tijd die nodig is om een nieuwe meting op te vragen bij het wachtrijsysteem, en de leeftijd van de eerder gedane meting. In de praktijk wordt hiervoor door de controller vaak een drempelwaardestrategie gebruikt, waarbij het wachtrijsysteem gebruikt wordt als de leeftijd van de eerdere meting boven een bepaalde drempelwaarde komt. Ondanks de populariteit van drempelwaardestrategieën is er ruimte voor verbetering, zeker wanneer het systeem erg druk bezet is. In dit scenario kan het de moeite waard om soms toch een wat oudere waarde terug te geven wanneer het opvragen van een nieuwe meting teveel tijd in beslag zou nemen. In Hoofdstuk 5 modelleren we het beslissingsprobleem van de controller als een Markov-beslismodel. De complexiteit van het model verhindert een exacte analyse, maar met een versimpeling van het model zijn we toch in staat om een beslissingsstrategie voor de controller af te leiden. We laten met experimenten zien dat deze beslissingsstrategie aanzienlijk beter presteert dan de drempelwaardestrategie, en dat het meenemen van de drukte van het wachtrijsysteem in het beslissingscriterium dus de moeite waard is.

In Hoofdstuk 6 introduceren we *Value Function Discovery* (VFD), een innovatieve methode voor het vinden van relatieve waardefuncties van Markov-beslismodellen. Deze methode leert algebraïsche uitdrukkingen van relatieve waardefuncties door het toepassen van een Evolutionair Algoritme op numerieke benaderingen van deze waardefuncties. Het belangrijkste aspect van VFD is dat de parameters van het Markov-beslismodel inbegrepen zijn in de algebraïsche uitdrukkingen die VFD vindt. De gevonden relatieve waardefuncties kunnen bijvoorbeeld gebruikt worden voor het opstellen van een beslisstrategie voor de aansturing van een model met tijdsafhankelijke parameters. Hoofdstuk 6 beschrijft VFD en past de methode toe op een voorbeeld Markov-beslismodel. We laten door middel van experimenten zien dat VFD een waardefunctie vindt die de waardefunctie van de optimale strategie dicht benadert, en dat de prestatie van de corresponderende beslissingsstrategie zeer goed is vergeleken met de optimale strategie.

Het laatste hoofdstuk van dit proefschrift, Hoofdstuk 7, gaat eveneens over VFD en past de techniek wederom toe op het Markov-beslismodel uit Hoofdstuk 6. Echter, dit keer gebruiken we voorkennis dat de optimale strategie voor het beslismodel een drempelwaardestrategie is. We passen VFD op een slimme manier toe, zodat deze een algebraïsche uitdrukking vindt voor de drempelwaarde (in plaats van de relatieve waardefunctie) in termen van de modelparameters. Resultaten van numerieke experimenten laten zien dat deze alternatieve toepassing van VFD ook resulteert in een beslissingsstrategie met uitstekende prestaties, en dat VFD dus niet beperkt is tot het leren van relatieve waardefuncties.