



Doctoral Thesis

Reconfigurable context recognition in sensor networks

Author(s):

Lombriser, Clemens

Publication Date:

2009

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005903961> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Reconfigurable Context Recognition in Sensor Networks

A dissertation submitted to the

ETH ZURICH

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by

CLEMENS LOMBRISER

MSc ETH

born 17 February 1980
citizen of TRUN GR

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Gerhard Tröster, examiner
Prof. Dr. Paul Havinga, co-examiner

Abstract

This thesis aims at realtime processing of context information within networks of miniaturized sensor nodes found in our clothing, objects we use, and our environment. The miniaturization places restrictions on the resources available for processing – a few megahertz clock frequency, tenths of kilobytes of program memory, shared communication bandwidth of hundreds of kilobits per second, and batteries providing only hundreds of miliampere-hours.

The detection and processing of context information such as human activities requires careful evaluation and optimization of the algorithms and resources used on sensor nodes. This work has analyzed realtime context processing for sensor networks and has produced the following contributions:

- **Distributed context recognition on sensor nodes** – This thesis' approach assumes that each sensor node only detects context information from its own sensor readings. By fusing its findings with collaborating sensors in the network however, an overall picture of the current situation can be inferred. A novel methodology for optimizing context recognition on individual sensor nodes and a model for distributing the recognition has been developed. The resulting architecture achieves 77% recall and 79% precision of recognizing human activities in an experiment involving 12 sensor nodes and 47 activities.
- **Service-oriented context processing** – To attain a system where mobile nodes can opportunistically use new sensors within reach, context recognition algorithms were broken down into building blocks presented as services. These services abstract functionalities such as sensors, feature extraction, classification, and fusion algorithms. A newly established theoretical analysis and simulation of network organization, service discovery, service composition, and service mapping allows design-time optimization of energy costs and resource requirements.
- **Reconfigurable context processing** – A proof-of-concept implementation reconfigures individual sensor nodes within less than 1 ms and complete networks within seconds. The reconfiguration is fast enough to allow optimizing context algorithms at

runtime. The algorithms can focus on recognizing only information that is currently relevant. To incorporate this possibility, the distributed recognition model was extended to include temporal changes. The novel concept and its benefits were evaluated using an experiment involving 28 sensors and 78 activities, where a recognition performance of 63 % precision and 68 % recall was achieved. The improvement of dynamic reconfigurations over a static recognition algorithm amounted to 11 %.

The results of the theoretical achievements have been implemented within the *Tiny Task Network* (Titan). The framework executes context recognition algorithms within networks of miniaturized sensor nodes, mobile phones, and personal computers. The service-oriented abstraction and the automatic distribution of the algorithms make it a valuable platform for rapid prototyping and further research into reconfigurable realtime context recognition within sensor networks.

Resumaziun

La finamira da questa lavur è da calcular en temp real infurmaziuns dal context en raits da sensors miniaturisads. Ils sensors sa chattan en noss vestgids, en objects che nus duvrain u en noss conturn. La miniaturisaziun restrenscha las resursas per calcular - paucs megahertz frequenza da processur, insaquants diesch kilobytes memoria da program, in pr tshient kilobits per secunda volumen da datas transferiblas comunabel e battarias che provedan mo tshients da miliampère-uras. Per calcular il context en in tal conturn ston ins evaluar ed optimar concienzusamain ils algoritems e las resursas duvradas. Questa lavur ha fatg pussaivel cun las suandantas contribuziuns da calcular context en temp real en raits da sensors:

- **Reconuschientscha distribuida sin nufs da sensors** – Questa dissertaziun suppona che mintga nuf da sensors reconuscha mo infurmaziun da context da ses agens sensors. Ina fusiun cun las infurmaziuns dals auters sensors en la rait po procurar per ina vista generala sin la situaziun. Ina nova metoda d’optimar la reconuschientscha dal context sin singuls sensors ed in model per distribuir las calculaziun è vegnida sviluppada. L’architectura finala cuntanscha ina precisium da 77% recall e 79% precision per reconuscher activitads umanas en in experiment cun 12 sensors e 47 activitads.
- **Calculaziun da context orientada al diever da servetschs** – Per reussir en in sistem, nua che nufs da sensors mobils en il conturn pon vegnir integrads opportunisticamain, èn ils algoritems vegnids separads en blocs da funcziunalitad ch’èn presentads sco servetschs. Quests servetschs abstraheschans sensors, calculaziun da tratgs da signals, classificaziun e fusiun. Ina nova metoda per l’analisa teoretica e per la simulaziun da l’organisaziun da la rait, scoperta, cumposiziun ed assegnaziun da servetschs permetta l’optimaziun dals custs d’energia e da las resursas gia durant il temp da concepziun.
- **Reconuschientscha reconfigurabla da context** – In studi da realisabladad ha mussà la pussaivladad da reconfigurar singuls nufs da sensors entaifer sut 1 ms ed entiras raits en secundas. Questa reconfiguraziun sperta permetta l’optimaziun dals algo-

ritems durant il temp d'execuziun. Uschia po in algoritem focussar sulettamein sin la reconuschientscha da las infurmaziuns relevantas gist en quai temp. Il model da reconuschientscha è vegn extendì per includer midadas temporalas. Quai nov concept e sias pussaivladads è vegn evalu entras in experiment cun 28 sensurs e 78 activitads. Ils algoritems han cuntanschì 63 % precision e 68 % recall. La meglieraziun munta a 11 % cumpareglia cun la soluziun statica.

Ils resultats dals success teoretics en vegnids implementads en il *Tiny Task Network* (Titan). Il framework executescha algoritems da reconuschientscha dal context en raits da nufs da sensurs miniaturisads, en telefons mobils e computers persunals. L'abstracziun da servetschs e la distribuziun automatica dals algoritems fan Titan ina basa preziusa per la realisaziun sperta da prototips e per la retscherca cuntinuada en la reconuschientscha reconfigurabla da context en temps real en raits da sensurs.

Zusammenfassung

Diese Arbeit analysiert die Echtzeitverarbeitung von Kontextinformationen in Netzwerken aus miniaturisierten Sensorknoten. Die Sensorknoten können in Kleidung eingewoben, in benutzten Objekten integriert, oder in der Umgebung vorhanden sein. Aus der Miniaturisierung der Sensoren folgen Einschränkungen an Rechenressourcen – wenige Megahertz Taktfrequenz, einige zehn Kilobytes Programmspeicher, eine Bandbreite von hunderten Kilobits pro Sekunde und Batterien mit einigen hundert Milliamperestunden.

Die Berechnung von Kontext, wie zum Beispiel die Aktivität des Benutzers, erfordert eine sorgfältige Wahl und Optimierung von Algorithmen und Ressourcen. Diese Arbeit hat mit den folgenden Beiträgen die Echtzeit-Kontexterkenkung in Sensornetzwerken ermöglicht:

- **Verteilte Kontexterkenkung auf Sensorknoten** – Diese Arbeit verfolgt den Ansatz, dass jeder Sensorknoten aufgrund seiner eigenen Sensordaten Kontextinformationen erkennt. Durch die Fusion mit den Daten anderer Sensorknoten kann aus lokalen Erkenntnissen globaler Kontext abgeleitet werden. Eine neue Methodik führt die Optimierung von Kontexterkenkung auf Sensorknoten durch, was durch ein Modell verteilter Erkennung ergänzt wird. Anhand der resultierenden Erkennungsarchitektur wurden in einem Experiment für die Erkennung von 47 menschlichen Aktivitäten anhand von 12 Sensoren eine Trefferquote von 77 % bei einer Genauigkeit von 79 % erreicht.
- **Dienstorientierte Kontextverarbeitung** – Kontexterkennungsalgorithmen können in Bausteine zerlegt und als Dienste angeboten werden. Solche Dienste können Sensoren, Signal-Merkmal-Berechnungen, Klassifikatoren oder Fusionsalgorithmen anbieten. Jeder Sensorknoten in Kommunikationsreichweite kann solche Dienste anbieten, welche für Kontextalgorithmen genutzt werden können. Eine theoretische Analyse und Simulation der Zusammenhänge zwischen Netzwerkorganisation, Diensterkennung, -komposition und -zuordnung wurde durchgeführt. Sie ermöglicht eine Optimierung der Energiekosten und Ressourcenanforderungen schon während der Konzeptionsphase von Kontextalgorithmen.

- **Rekonfigurierende Kontexterkenkung** – In einer Machbarkeitsstudie wurden eine Ausführungsumgebung für Sensorknoten geschaffen, die Sensorknoten in unter 1 ms und Netzwerke in einigen Sekunden rekonfigurieren kann. Die schnelle Rekonfiguration erlaubt es, Kontexterkennungsalgorithmen während der Laufzeit anzupassen. Dadurch kann die Erkennung auf gegenwärtig Relevantes konzentriert werden. Die Vorteile dieser Möglichkeit wurden anhand eines Experiments mit 28 Sensoren und 78 Aktivitäten empirisch evaluiert. Die Erkennung erreichte eine Trefferquote von 68 % bei einer Genauigkeit von 63 %. Dies entspricht mit einer Verbesserung von 11 % gegenüber dem nicht rekonfigurierenden Fall.

Die Forschungsergebnisse wurden ins *Tiny Task Network* (Titan) Framework integriert. Titan führt Algorithmen verteilt in Netzwerken mit miniaturisierten Sensorknoten, Mobiltelefonen, und Arbeitsplatzrechnern aus. Die Abstraktion als Dienst und die automatische Verteilung der Algorithmen machen Titan zu einer wertvollen Plattform für die schnelle Prototypenentwicklung und für weitere Forschung an rekonfigurierender Echtzeiterkennung von Kontext in Sensornetzwerken.