ETH zürich

ETH Library

Cooperating Smart Everyday Objects

Exploiting Heterogeneity and Pervasiveness in Smart Environments

Doctoral Thesis

Author(s):
Siegemund, Frank

Publication date:
2005

Permanent link:
https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-a-004931536

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.

Diss. ETH No. 15833

Cooperating Smart Everyday Objects – Exploiting Heterogeneity and Pervasiveness in Smart Environments

A dissertation submitted to the
Swiss Federal Institute of Technology Zurich (ETH Zurich)

for the degree of
Doctor of Technical Sciences

presented by
Frank Siegemund
Diplom-Informatiker, University of Rostock, Germany
born May 23, 1976
citizen of Germany

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. Friedemann Mattern, examiner
Prof. Dr. Clemens H. Cap, co-examiner

2005

Abstract

Pervasive Computing envisions the seamless integration of computation into everyday environments in order to support people in their daily activities. Due to recent technological advances, the computing devices that can be used to enrich our environments with computation have become increasingly smaller and less obtrusive, so that it is possible to embed them into mundane everyday things. Such smart everyday objects have the ability to communicate with peers, perceive their environment through sensors, and provide context-aware services to nearby people. However, the severe resource restrictions and limited user interfaces of smart objects make it difficult for them to realize services on their own. Instead, in order to implement context-aware services and because of their limited user interfaces, smart objects need to interact with other computing devices to make use of these devices' sensors and input/output capabilities. In consequence, there is an urgent need to facilitate cooperation between computational entities in smart environments.

This dissertation addresses the problem of cooperation from the perspective of smart everyday objects. Its main contribution is to illustrate how augmented items can make up for their limited resources by cooperating with nearby computing devices. For this purpose, we concentrate on two aspects of cooperation: interaction between smart objects and cooperation between smart objects and mobile user devices.

The first part of this dissertation focuses on how smart objects can provide services in cooperation with other augmented artifacts. In the proposed solution, a programming abstraction facilitates the design of collaborative context-aware services for smart objects. This abstraction groups nodes into sets of cooperating objects that bundle their resources and appear to an application as a single entity. Based on this approach, we present a software framework for realizing cooperative services on smart objects. It consists of (1) a description language for context-aware services, (2) a context recognition layer for smart objects, (3) an infrastructure layer for distributing data among cooperating artifacts, and (4) a communication layer that adapts networking structures to correspond to the real-world environment of smart objects. To evaluate the proposed concepts, we present an implementation on an embedded sensor node platform, the BTnodes.

The second part of this dissertation focuses on cooperation between smart objects and mobile user devices as an example of how augmented artifacts can benefit from the heterogeneity of smart environments. In this respect, our contribution is to identify recurring usage patterns that describe how smart objects can make use of handheld devices: (1) as mobile infrastructure access points, (2) as user interfaces, (3) as remote sensors, (4) as mobile storage media, (5) as remote resource providers, and (6) as user identifiers. We describe these usage patterns, report on experiences with prototypical implementations, and present several application scenarios illustrating the applicability of the proposed concepts.

Zusammenfassung

Aufgrund des bereits seit einigen Jahrzehnten anhaltenden rasanten technologischen Fortschrittes in der Informations- und Kommunikationstechnik werden Computer immer kleiner, schneller und bei gleicher Leistung auch zunehmend billiger. Vor dem Hintergrund dieser Entwicklung untersucht das Forschungsgebiet des „Pervasive Computing", wie Kleinstcomputer in unsere alltägliche Umwelt integriert werden können, um Anwendern in Alltagssituationen neuartige Dienste zur Verfügung zu stellen. Mittlerweile haben diese Kleinstcomputer sogar Formgrössen erreicht, die es erlauben, sie unaufdringlich – vom Standpunkt eines Anwenders scheinbar unsichtbar – in beinahe beliebige Dinge zu integrieren. Solche mit Informationstechnologie ausgestattete so genannte smarte Alltagsgegenstände haben die Fähigkeit, mit anderen smarten Dingen zu kommunizieren, sie können ihre Umgebung mittels Sensoren wahrnehmen und Anwendern kontextbewusste Dienste zur Verfügung stellen.

Allerdings können smarte Alltagsgegenstände aufgrund ihrer sehr ausgeprägten Ressourcenbeschränkungen sowie begrenzten Benutzerschnittstellen Anwendungen im Allgemeinen nicht autonom und ohne externe Unterstützung realisieren. Stattdessen ergibt sich für sie oft die Notwendigkeit, mit in ihre Umgebung integrierter Informationstechnik interagieren zu müssen, um auf entfernte Sensoren und externe Nutzerschnittstellen zugreifen zu können. Als Konsequenz kommt der Kooperation in smarten Umgebungen eine grosse Bedeutung zu, weil die Zusammenarbeit mit anderen Geräten smarten Dingen helfen kann, die ihnen inhärenten Beschränkungen zumindest teilweise zu kompensieren.

Die vorliegende Dissertation widmet sich dem Thema Kooperation in smarten Umgebungen unter besonderer Berücksichtigung ressourcenbeschränkter smarter Alltagsgegenstände. Der Hauptbeitrag dieser Arbeit ist es aufzuzeigen, wie smarte Dinge trotz der ihnen eigenen limitierten Ressourcen komplexe Dienste realisieren können, indem sie mit anderer in ihrer Umgebung integrierter Informationstechnik kooperieren. Dabei konzentriert sich die Arbeit auf zwei Teilaspekte der Kooperation mit smarten Alltagsgegenständen: (1) die Interaktion von smarten Dingen untereinander und (2) die Kooperation von smarten Alltagsgegenständen mit mobilen Nutzergeräten.

Der erste Teil dieser Arbeit befasst sich damit, wie um Informationstechnologie erweiterte Alltagsgegenstände Dienste in Zusammenarbeit mit anderen smarten Dingen realisieren können. Im vorgestellten Lösungsansatz erleichtert ein Programmiermodell die Erstellung kollaborativer kontextbewusster Dienste. Dabei werden miteinander interagierende smarte Dinge zu einer Gruppe zusammengefasst, deren Teilnehmer ihre Ressourcen bündeln und daher aus der Sicht eines Anwendungsprogrammierers als ein einziger, hinsichtlich Ressourcen mächtigerer Knoten erscheinen. Basierend auf diesem Grundansatz wird eine Softwarearchitektur zur Realisierung kooperativer Dienste auf smarten Alltagsgegenständen vorgestellt. Sie besteht aus (1) einer Beschreibungssprache für kontextbewusste Dienste, (2) einer Softwareschicht für die kollaborative Kontexterkennung,

(3) einer Infrastrukturschicht, die für die Verteilung von Daten zwischen kooperierenden Objekten verantwortlich ist und (4) einer Kommunikationsschicht, die Netzwerkparameter in Abhängigkeit von der momentanen Situation eines smarten Objektes in der realen Welt anpasst. Die vorgestellten Konzepte werden auf der Basis einer prototypischen Implementierung auf eingebetteten Sensorknoten, den BTnodes, evaluiert.

Der zweite Teil dieser Arbeit widmet sich der Kooperation von smarten Dingen mit mobilen Nutzergeräten im Hinblick darauf, wie um Informationstechnologie erweiterte Dinge von der Heterogenität in smarten Umgebungen – d.h. von der Präsenz verschiedenartigster Geräte mit unterschiedlichen Eigenschaften und Fähigkeiten – profitieren können. In diesem Zusammenhang besteht der wesentliche Beitrag dieser Arbeit darin, wiederkehrende Benutzungsmuster zu identifizieren, die aufzeigen, wie smarte Dinge die Fähigkeiten von Handhelds für ihre Zwecke nutzen können. Mobile Nutzergeräte können dabei unter verschiedenen Aspekten von smarten Alltagsgegenständen benutzt werden: (1) als mobiler Zugriffspunkt zu einer Hintergrundinfrastruktur, (2) als externes Benutzerinterface, (3) als externer Sensor, (4) als mobiler Datenspeicher, (5) als Bereitsteller von Rechenressourcen und (6) zur Identifikation von Anwendern. Diese Benutzungsmuster werden detailliert beschrieben, es wird auf Erfahrungen mit prototypischen Implementierungen eingegangen, und es werden verschiedene Anwendungsszenarien einschliesslich deren exemplarischer Realisierung vorgestellt, um die Eignung der vorgestellten Konzepte in smarten Umgebungen zu illustrieren.