

Integration intelligenter Steuerungskomponenten in reale smart-home-Umgebungen

Florian Allarding, Birger Becker, Hartmut Schmeck

Institut für Angewandte Informatik und Formale Beschreibungsverfahren
Karlsruher Institut für Technologie

KIT-Campus Süd

76128 Karlsruhe

{florian.allarding, birger.becker, hartmut.schmeck}@kit.edu

Abstract: Ein aktuell sehr populäres Thema ist die automatisierte Lastoptimierung in intelligenten Haushalten nach externen Vorgaben des Energieversorgers. Um derartige Technologien in einem smart-home integrieren zu können, ist die Überwindung der Heterogenität bei der Kommunikation der einzelnen Komponenten essenziell. In diesem Beitrag soll eine Softwarearchitektur vorgestellt werden, die die einzelnen Kommunikationsanforderungen der Komponenten eines smart-homes adaptiert. Darüber hinaus wird eine Simulationsumgebung vorgestellt, die es ermöglicht, Optimierungsalgorithmen zu evaluieren und direkt auf reale Hardware zu übertragen.

1 Einleitung

Einerseits ergeben erneuerbare Energien die Möglichkeit, elektrische Energie langfristig CO₂ neutral bereitzustellen. Andererseits stellen sie die Stromnetzbetreiber, die für die ständige Balance zwischen Erzeugung und Verbrauch im Netz verantwortlich sind, aufgrund der zunehmenden Fluktuation vor große Probleme. Der Anteil der Energie aus erneuerbaren Ressourcen der Gesamtstromerzeugung wächst stetig. Die Europäische Union hat sich am 9. März 2007 verpflichtet, den Anteil erneuerbarer Energien in der EU auf durchschnittlich 20% zu erhöhen [BMU07]. Von der Bundesregierung wurde in ihrem Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität vorgestellt, dass bis 2020 mind. 1 Mio. und bis 2030 mind. 5 Mio. Elektrofahrzeuge im deutschen Verkehrsnetz betrieben werden sollen [Bun08]. Ein großer Anteil der Elektrofahrzeuge wird voraussichtlich dezentral direkt am Stromanschluss im Haus geladen. Der Leistungsbedarf während des Ladevorgangs kann ein Vielfaches der übrigen Leistungsaufnahme eines Haushalts betragen. Viele Abschnitte des Niederspannungsnetzes sind für derartige Belastungen zu Spitzenzeiten nicht ausgelegt [RLA09]. Andererseits ist von einer zunehmenden Integration intelligenter Haushaltsgeräte auszugehen, die sowohl Informationen über den eigenen Zustand kommunizieren als auch Steuersignale empfangen können und somit eine automatisierte Lastverlagerung in privaten Haushalten ermöglichen.

Am KIT wurden in der Vergangenheit in verschiedenen Projekten [BAR10, EFK06] unterschiedliche Verfahren zum Demand Side Management entwickelt, um eine Anpassung des Stromverbrauchs im Netz an die Erzeugung regenerativer Energiequellen zu erreichen. Dabei stehen die Flexibilisierung des Stromverbrauchs in Niederspannungsnetzen sowie die effiziente Integration mobiler elektrischer Speicher in Fahrzeugen durch innovative Informations- und Kommunikationstechnologien in das bestehende Energiesystem im Fokus. Dazu werden unterschiedlichste Nutzungsszenarien bzgl. des Mobilitätsverhaltens untersucht. Bis Ende 2010 soll in Baden-Württemberg die Infrastruktur für eine große Anzahl von Elektrofahrzeugnutzern entwickelt, aufgebaut und bis Ende 2011 in einem regionalen Feldtest erprobt werden¹.

Derzeit befindet sich auf dem Campus des KIT ein smart-home-Forschungs- und Demonstrationslabor im Aufbau, das in Abschnitt 5 näher beschrieben wird. In einem Vorprojekt, eCar@home, wurde ein Prototyp des smart-homes auf realen Hardwarekomponenten erstellt. Im Rahmen dieses Projekts wurde eine Softwarearchitektur zur automatisierten zeitlichen Verlagerung von Geräten auf der Basis von Freiheitsgraden, Lastprognosen und Strompreissignalen entwickelt und mit sechs intelligenten Haushaltsgeräten erprobt [BAR09]. Diese Architektur soll nun im Demonstrationslabor bei realem Nutzungsverhalten evaluiert und weiter entwickelt werden.

2 Observer/Controller-Architektur

Die Architektur zur Organisation der intelligenten Geräte (vgl. Abb. 1) unter externen Vorgaben des Benutzers (Webinterface) und des Energieversorgers (u.a. Strompreissignal) basiert auf der hierarchischen Observer-Controller-Architektur aus dem Kontext des Organic Computing [Sch05].

Jeder intelligente Verbraucher bzw. dezentrale Erzeuger verfügt über eine lokale Observer/Controller-Komponente. In der lokalen Observer-Einheit dieser Komponente werden die Messdaten der Sensoren, z. B. die des Verbrauchers, abgefragt. Das Ergebnis wird, entsprechend gefiltert, schließlich der globalen Observer-Einheit zur Verfügung gestellt. Die lokale Controller-Einheit wird intern von der lokalen Observer-Einheit mit Informationen über den Gerätezustand versorgt. Zusätzlich bekommt sie Verhaltensregeln von außen. Innerhalb der lokalen Controller-Einheit werden die Regeln und die Informationen über den Gerätezustand kombiniert und auf diese Weise eine Entscheidung erzeugt, ob das zugehörige Gerät ein- oder abgeschaltet wird. Im globalen Observer wird aus den Messdaten in Kombination mit den jeweiligen Leistungsprofilen eine Vorhersage über die Nutzung aller intelligenten Haushaltsgeräte erstellt und an die zentrale Controllereinheit übergeben. Diese empfängt sowohl ein herkömmliches Strompreissignal als auch ein kurzfristiges Steuersignal vom Energieversorger. Aus der Integration der Eingaben des Benutzers (z.B. Freiheitsgrad und andere Einschränkungen), den externen Signalen des Energieversorgers und dem Analyseergebnis des zentralen Observers werden im zentralen Controller schließlich Steuersignale generiert und an die lokalen Controller kommuniziert.

¹ Projekt MeRegioMobil: <http://meregiomobil.forschung.kit.edu/>

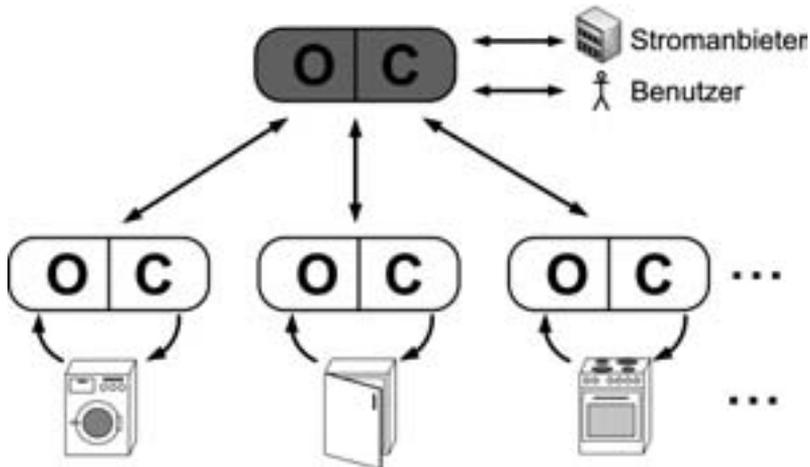


Abb. 1: O/C-Architektur im smart-home

3 Entwicklungsumgebung “smart-home-Labor”

Die in Abschnitt 2 vorgestellte Architektur soll nun auf reale intelligente Häuser übertragen werden. Intelligente Komponenten für ein smart-home, wie Haushaltsgeräte, Mikro-Blockheizkraftwerke und Solaranlagen, verfügen in der Regel über verschiedenartige Schnittstellen und haben sehr unterschiedliche Anforderungen an die Kommunikation. Um ein kooperatives Verhalten der einzelnen Komponenten zu realisieren, etwa um durch Kooperation einem vom Energieanbieter vorgegebenen Anreizsystem [EKF06] zu genügen, ist es erforderlich, die Heterogenität der Kommunikation zwischen den Komponenten zu überwinden. Um dies zu erreichen, wird eine zentrale Steuerkomponente (Steuerbox) im Haus eingeführt, die die Kommunikation sowohl zwischen den Geräten und sich selbst als auch mit dem Energieversorger übernimmt. Sie vereint dabei die globale und die lokalen O/C-Einheiten der in Abschnitt 2 beschriebenen Architektur. Diese Komponente verfügt (vgl. Abb. 2) über eine Abstraktionsschicht (HAL, hardware-abstraction-layer), die die logischen Komponenten von der Hardware-schicht trennt. Zur Adaption der Kommunikationsprotokolle zwischen dem Gerät und der Steuerkomponente wird ein Treiber (DRV) geschaltet. Dieser adaptiert gerätespezifische Protokolle auf eine unifizierte Software-Schnittstelle für je eine Geräteklasse. So existiert z. B. für Waschmaschinen, Kühlschränke, Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, etc. je eine gerätespezifische Schnittstellendefinition, die die notwendigen Kommunikationsmöglichkeiten beschreibt.

Jede Geräteklasse wird nun durch eine eigene lokale O/C-Komponente repräsentiert, die dieselbe Aufgabe der in Abschnitt 2 beschriebenen lokalen Komponente übernimmt. Der wesentliche Unterschied ist, dass nun alle O/C-Komponenten virtuell auf einem System, der Steuerbox, betrieben werden und nicht mehr physikalisch getrennt sind. Es ist davon auszugehen, dass z. B. Waschmaschinen unterschiedlicher Hersteller grundsätzlich über ähnliche Eigenschaften verfügen und damit auch die gleichen Datenrepräsentationen für die Kommunikation benötigen.

Es muss also lediglich die Treiberkomponente herstellerspezifisch angepasst werden. Durch die Treiberkomponente können zusätzlich einige fehlende Informationen ergänzt werden, die ein aktuelles intelligentes Gerät nicht in der Lage ist zu kommunizieren. Hierbei könnte ein Beispiel sein, dass ein Gerät nicht seine Lastprofile kommunizieren kann. Im Treiber können jedoch diese Daten hinterlegt werden.

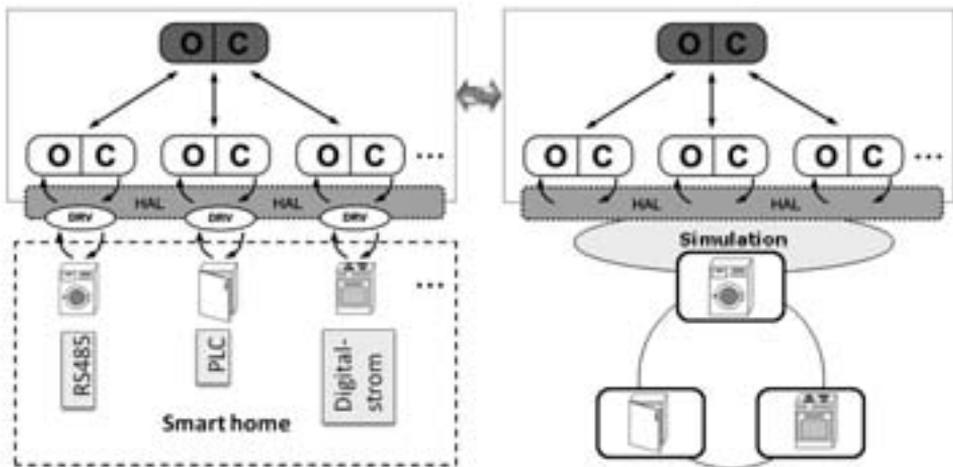


Abb. 2: Architektur im Labor (li) und Simulation (re) wegen Abstraktion übertragbar

4 Simulation

Im Rahmen des smart-home-Forschungslabors werden intelligente Steuerungen zum Lastmanagement entwickelt. Um derartige Algorithmen entwickeln zu können, ist es erforderlich, eine möglichst realitätsnahe Simulationsumgebung zu entwerfen. Hierbei kommt die in Abschnitt 3 vorgestellte Architektur mit der Abstraktionsschicht zum Tragen. In der Simulation bestehen keine herstellerepezifischen Unterschiede. Die Abstraktionsschicht besteht im Falle der Simulation aus Simulationsagenten für jede Geräteklasse, auf deren Basis zunächst Optimierungsalgorithmen entworfen und evaluiert werden können. Durch ein einfaches Austauschen der Abstraktionsschicht kann nach erfolgreicher simulativer Evaluation direkt die entwickelte Software in der realen Steuerbox in dem smart-home-Forschungslabor in realer Umgebung getestet werden. Die Ergebnisse der Evaluation im realen Labor können nun wieder in die Softwareentwicklung einfließen.

Der Schwerpunkt der Simulationskomponenten stellt die elektrische Simulation dar. Um möglichst realistische Lastkurven für die Simulation zu erhalten, wurden im Vorfeld reale Lastkurven von im Labor verwendeten Haushaltsgeräten aufgezeichnet und in die Simulation integriert. So ist gewährleistet, dass die lokalen Observer selbst in der Simulation möglichst authentische Messwerte empfangen und somit bereits simulativ eine recht genaue Aussage über die Lastoptimierung getroffen werden kann. Insbesondere besteht dadurch auch beim Übertrag auf die reale smart-home-Umgebung wenig bis kein Anpassungsbedarf.

5 Reale Umgebung

Das smart-home-Forschungs- und Demonstrationslabor besteht aus einer 60qm großen 3-Zimmer-Wohnung, die mit verschiedenen intelligenten Verbrauchern, u.a. mit modernen Küchengeräten (Miele@home²), ausgestattet ist (vgl. Abb. 3).

Zusätzlich ist eine umfangreiche Messtechnik integriert, die es ermöglicht, exakte Leistungsdaten von jedem einzelnen Verbraucher zu erfassen. Das Gebäude wird über ein Blockheizkraftwerk beheizt, das zusätzlich zur Photovoltaik-Anlage die Rückspeisung elektrischen Stroms ins Netz ermöglicht. Durch den Einsatz komplexer Leistungselektronik können am Netzanschluss des smart-homes unterschiedlichste Netzzustände direkt auf der Hardware generiert werden. Auf diese Weise ist es möglich, Auswirkungen von Ungleichgewichten (Frequenz, Spannung, Wirk-/Blindleistung) der international verschiedenen Stromnetze nachzubilden.

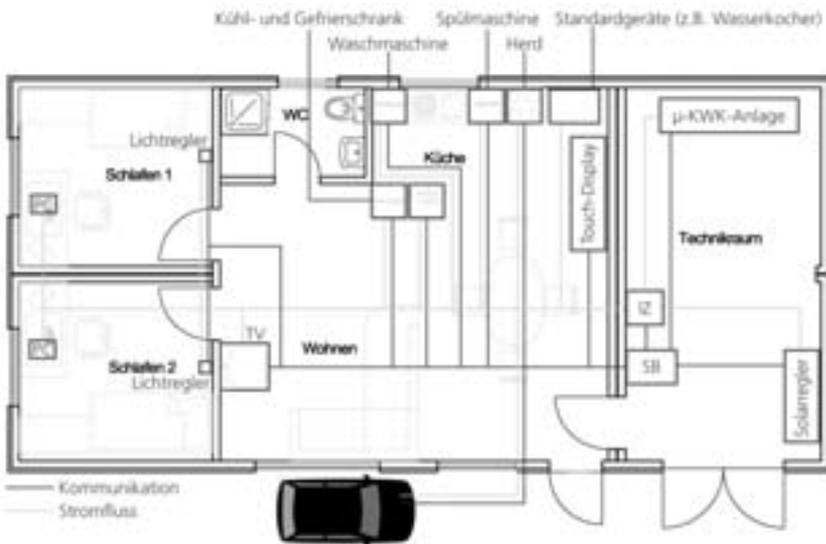


Abb. 3: Grundriss des smart-home-Demonstrationslabors

² <http://www.miele.de/de/haushalt/produkte/180.htm>

So kann z. B. auch die Auswirkung von Elektromobilität in einem schwachen, nicht europäischen Netz, untersucht werden. Der gesamte Verbrauch elektrischer Energie im smart-home wird über einen intelligenten Stromzähler erfasst. Diese Daten können auch vom Benutzer abgerufen und visualisiert werden. Über mehrere private Ladestationen können zudem Elektrofahrzeuge direkt am Hausanschluss an das elektrische Netz angeschlossen werden. Wann das Fahrzeug tatsächlich geladen wird, entscheidet das Energiemanagementsystem des smart-homes aufgrund der verschiedenen Messdaten sowie externer Signale.

6 Zusammenfassung/Ausblick

In diesem Beitrag wird ein Software-Framework vorgestellt, das basierend auf der generischen Observer/Controller-Architektur die Basis für ein hausinternes Lastmanagement bildet. Es können einerseits simulativ Optimierungsverfahren implementiert und getestet werden; andererseits können durch die Einführung einer Abstraktionsschicht die entwickelten Verfahren direkt in dem smart-home-Forschungs- und Demonstrationslabor eingesetzt werden. Die Realisierung der Simulation sowie der realen Umgebung bezieht sich momentan ausschließlich auf die elektrische Komponente des hausinternen Lastmanagements. Jedoch ist geplant, diese um die thermische Komponente zu erweitern. Es werden somit zukünftig zusätzlich z. B. Wärmeströme an unterschiedlichen Messpunkten des Heizungs-, Warmwasser- und Klimasystems betrachtet. Dadurch wird ein ganzheitlicher Blick auf das Energiemanagement in intelligenten Häusern möglich.

Literaturverzeichnis

- [BAR10] B. Becker, F. Allending, U. Reiner, M. Kahl, U. Richter, D. Pathmaperuma, H. Schmeck, T. Leibfried: Decentralized Energy-Management to Control Smart-Home Architectures, Proceedings of the 23rd International Conference on Architecture of Computing Systems (ARCS 2010), Seiten: 150-161, Springer, LNCS, 5974, 2010
- [Bun08] Bundesregierung: Sachstand und Eckpunkte zum Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität, Berlin, 2008
- [EFK06] SESAM, Modelle zur Steuerung, Planung und Optimierung in virtuellen Kraftwerken, Forschungsbericht, Universität Karlsruhe, 2006
- [EKF06] A. Eßer, A. Kamper, M. Franke, D. Möst, O. Rentz: Scheduling of Electrical Household Appliances with Price Signals, Proceedings of the Operations Research, 2006
- [Sch05] Hartmut Schmeck: Organic Computing: A new vision for distributed embedded systems, Proceedings Eighth IEEE International Symposium on Object-Oriented Real Time Distributed Computing (ISORC 2005), IEEE Computer Society, 2005
- [RLA09] U. Reiner, T. Leibfried, F. Allending, H. Schmeck: Potenzial rückspeisefähiger Elektrofahrzeuge und steuerbarer Verbraucher im Verteilnetz unter Verwendung eines dezentralen Energiemanagementsystems, Internationaler ETG-Kongress 2009, Seiten: 329-334, VDE, Berlin-Offenbach, 2009