Honda Research Institute EU
Honda Research Institute Europe GmbH
https://www.honda-ri.de/

Modeling and Optimization of a Smart Home System

Tobias Rodemann, Torsten Schwan, René Unger

2014

Preprint:

This is an accepted article published in ProduktDaten Journal. The final authenticated version is available online at: https://doi.org/[DOI not available]

Modellierung und Optimierung eines Smart-Home-Systems

Dr. Tobias Rodemann, Offenbach am Main
Christian Kehrer, Torsten Schwan, René Unger, Dresden

Durch die Herausforderungen des Klimawandels, steigender Preise fossiler Brennstoffe und einer Neubewertung des Risikos der Kernkraft werden neue, innovative Ansätze zur Stromproduktion, -speicherung und -nutzung benötigt. Intelligente Häuser, sogenannte Smart Homes, können einen wichtigen Beitrag leisten, da sie Stromproduktion mit Energiespeicherung und Verbrauch lokal integrieren können. Die Kombination mit der (elektrischen) Mobilität bietet dabei das Potential zu weiteren Effizienzsteigerungen. Um dieses Potential zu analysieren und eine optimale Konfiguration und Steuerung zu ermöglichen, wurde auf Basis der Green-Building-Bibliothek ein Smart-Home-System plus Elektrofahrzeug simuliert und evaluiert. Dieser Artikel beschreibt das Simulationskonzept, stellt erste Ergebnisse vor und gibt einen Ausblick über die geplante Systemoptimierung.

Aufgabe und Motivation

In Deutschland, Japan und anderen Ländern vollzieht sich im Bereich der Energieerzeugung, -speicherung und -nutzung gegenwärtig ein grundlegender Wandel im Zuge des Reaktorunglücks von Fukushima sowie aufgrund von Klimaveränderungen und steigenden Preisen bei fossilen Brennstoffen. Erneuerbare Energiequellen sollen herkömmliche (fossile und nukleare) ersetzen, und die Gesellschaft muss ihren Energiebedarf im Privaten aber auch in anderen Bereichen wie Produktion und Mobilität verringern. In diesem Kontext hat Honda sein Honda Smart Home System (Bild 1) in der japanischen Präfektur Saitama in der Nähe von Tokio 2012 vorgestellt. Energieerzeugung durch Photovoltaik und Mikro-Kraft-Wärme-Kopplung werden vom System mit Batteriespeicher und elektrischer Mobilität einschließlich elektrischer Fahrzeuge oder Brennstoffzellen verbunden. Der Betrieb des Hauses wird von einer zentralen Steuereinheit namens Smart e-Mix Manager (SeMM) geregelt und koordiniert.

Diese neue Generation umweltfreundlicher Gebäude ist in der Lage, den Energiebedarf seiner Bewohner selbstständig zu decken. Jedoch stellt die Nutzung von erneuerbaren Energien bei gleichzeitiger Gewährleistung der Versorgungssicherheit und Bezahlbarkeit eine große Herausforderung dar. Umweltfreundliche Gebäude wie das Honda Smart Home System müssen dauerhaft leistungsfähig, effizient und rentabel sein. Ein zentrales Problem dabei ist, dass regenerative Energiequellen wie Wind und Solar aufgrund ihrer schwankenden Verfügbarkeit nicht im gleichen Maße nutzbar und kalkulierbar sind wie konventionelle Ressourcen. Deshalb werden intelligente



Bild 1: *Honda testet Smart-Home-Systeme in Japan. Verwendung nur für redaktionelle Zwecke. Quelle: http://www.hondanews.eu*

Systeme zum Entwurf sowie zur Analyse und Optimierung von Gebäudeauslegungen benötigt. Solche Systeme können den Bedarf mit der Erzeugung ins Verhältnis setzen und bilanzieren, um das Einsparpotenzial bereits vor der Installation des tatsächlichen Energiesystems abzuschätzen (Bild 2).

Für ein besseres Verständnis der Interaktion der Hausbewohner mit den verschiedenen Modulen und der Umgebung bedurfte es einer detaillierten Simulation des Smart-Home-Systems. Honda als Fahrzeughersteller war es jedoch wichtig, sich nicht ausschließlich auf die Gebäudesimulation zu konzentrieren, da Honda umweltfreundliche und kostengünstige Mobilität durch die Integration von Fahrzeug-, Haushalts- und Gebäudetechnik bieten will. Um untersuchen zu können, wie elektrische Mobilität und Smart-Home-Systeme auf optimale Weise miteinander interagieren, entwickelten das Honda Research Institute Europe und EA Systems Dresden ein Modell eines Smart-Home-Systems mit angeschlossenem Plugin-Hybridfahrzeug. Die Simulation basiert dabei auf der Green-Building-Bibliothek von SimulationX [1].

Die vielseitige Software hilft Ingenieuren dabei, die optimale Nutzung von Energieressourcen und die dezentralisierte Energiespeicherung zu kalkulieren. Mit der interdisziplinären Simulationssoftware sind sie in der Lage, virtuelle Prototypen von technischen Komponenten und komplexen Systemen energieeffizienter Gebäude in einer Entwicklungsumgebung zu entwerfen und zu analysieren. Das Programm verfügt über eine leicht verständliche Benutzeroberfläche und über sofort einsatzbereite Elemente, die auf realen Umweltdaten basieren.

Ganzheitliche Simulationen für energieeffiziente Gebäude

Im Simulationsaufbau (Bild 3) wurde ein Einfamilienhaus mit drei Zonen (Erdgeschoss, 1. Geschoss, Dachboden) und einer Heizungsanlage für die ersten beiden Zonen modelliert. Das Haus nutzt ein Photovoltaiksystem für die Elektrizität und Mikro-Kraft-Wärme-Kopplung für die kombinierte Wärme- und Stromerzeugung. Um genügend Wärme auch unter extremen Wetterbedingungen zu gewährleisten, wurde das System um einen konventionellen Heizkessel ergänzt. Das Haus ist darüber hinaus an das öffentliche Stromnetz angebunden und greift außerdem auf eine eigene Batterie zu, um Strom zu speichern. Abschließend



Bild 2: *Energiefluss in einem Gebäude-Fahrzeug-System. Quelle: ITI*

wurden die Mobilitätsanforderungen der Bewohner durch ein Fahrzeug mit einer Laufleistung von rund 8000 km pro Jahr oder 30 km am Tag modelliert. Das Fahrzeug wird zum Aufladen für bestimmte Zeiten mit dem Haus verbunden. Im Zuge der Datenvorbereitung wird der durchschnittliche Benzin- und Energiebedarf des Autos für konkrete Fahrleistungen berechnet. Diese Durchschnittswerte werden dann in der eigentlichen Simulation des Smart-Home-Systems verwendet. Dieser Ansatz wurde gewählt, um den unterschiedlichen Zeitskalen der dynamischen Fahrzeug- und Gebäudeeigenschaften Rechnung zu tragen. Das Modellsystem kann in verschiedenen Varianten instanziiert werden, so z. B. als konventionelles System ohne Photovoltaik und Kraft-Wärme-Kopplung oder mit einem herkömmlichen Verbrennungsmotor für das Fahrzeug. Somit ist es möglich, unterschiedliche Systemauslegungen mit Blick auf die ökonomischen Vorteile, Umweltauswirkungen, Komfortaspekte und andere Faktoren zu vergleichen.

Der Betrieb des Systems hängt dabei von vielen solcher Faktoren ab, wobei Nutzerprofile und Umweltbedingungen (z. B. Wetter) die zwei wichtigsten sind. Beide Aspekte können sich von einem auf den anderen Tag ändern und für unterschiedliche Orte variieren. Beispielhaft wurde Berlin für alle Simulationen gewählt und ein gesamtes Jahr simuliert, um jahreszeitliche Unterschiede auszugleichen. Aufgrund des Datenumfangs dauerte die Simulation im ersten Modell selbst mit der leistungsstarken Software mehrere Tage. Für eine schnellere Berechnung simulierten die Ingenieure deshalb nur prototypische Referenztage und gewichteten diese über den Verlauf eines Jahres. Damit konnte die Simulationszeit für eine Berechnung auf einem einzigen Computer auf wenige Stunden reduziert werden. Umweltdaten wie Klima, Nutzerprofile (z. B. täglicher Strombedarf) und Fahrverhalten wurden über einfache Excel-Tabellen bestimmt. Der Simulator lieferte Ausgabedaten ebenfalls im Excel-Format, um die Datenanalyse und Visualisierung zu erleichtern. Dieser Ansatz ermöglicht es, Modelle an andere örtliche Gegebenheiten und Nutzungsmuster anzupassen.

Ergebnisse

Mithilfe des Simulators war es Honda möglich, Kosten, Emissionslevel und primäre Energiebilanzen verschiedener erneuerbarer und herkömmlicher Energiekonfigurationen zu berechnen. Obwohl Konfigurationen für erneuerbare Energien mit Photovoltaik, Micro-Kraft-Wärme-Kopplung und Steckdosenhybridfahrzeugen teurer waren, zeigten die Ergebnisse, dass damit eine erhebliche Senkung des CO2-Ausstoßes erreicht werden konnte. Außerdem wurde durch eine einfache Ladestrategie für das Elektrofahrzeug über die Gebäudebatterie, welche von der Photovoltaik gespeist wird, der Anteil CO2-freier Stromerzeugung für die Mobilität gesteigert. Der genaue Prozentsatz hing dabei stark von der Größe der Batterie des Smart-Home-Systems

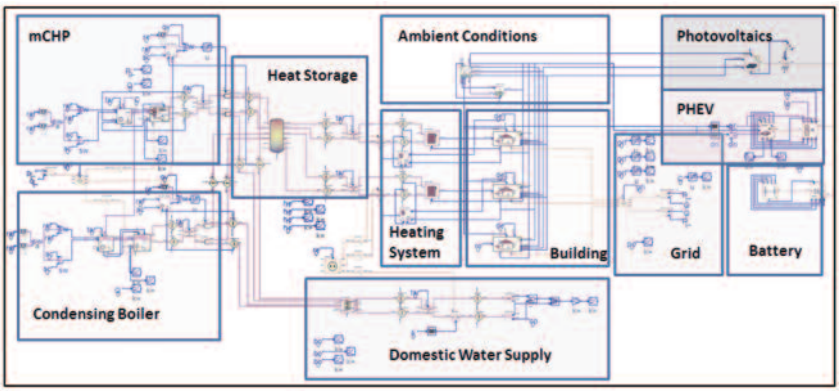


Bild 3: *Auslegung eines Energiesystems mit erneuerbaren Energien in SimulationX*

ab. Durch Parameterscans für die Batteriegröße konnte die optimale Dimensionierung mit Blick auf die Kosten im Verhältnis zur CO2-Verringerung bestimmt werden.

Auf der Basis dieser Simulation führt Honda automatisierte Optimierungen der Systemkonfiguration mit mehreren Optimierungskriterien durch. Dazu kommen neu entwickelte Algorithmen aus dem Bereich der sogenannten Evolutionary Many-Objective Optimization zum Einsatz (siehe [2] und [3]). Das Ziel besteht darin, das Potential des Systems mit verschiedenen Konfigurationen zu analysieren und die Zusammenhänge zwischen den unterschiedlichen Zielsetzungen zu verstehen. Einer der Vorteile von evolutionären Algorithmen ist die einfache Parallelisierung, die zu erheblichen Zeitersparnissen bei der Optimierung führt. In Zusammenarbeit mit ITI und EA Systems Dresden haben Hondas Ingenieure das Modellsystem soweit vereinfacht und verbessert, dass die Simulationszeiten stark verringert werden konnten.

Ausblick – Modellbasierte Auslegung integrativer Energiekonzepte für Kommunen

Neben der Entwicklung von Smart-Home-Systemen einschließlich erneuerbarer Energie- und Speichersysteme für Einfamilienhäuser haben ITI und EA Systems Dresden auch die Einbindung solcher Systeme in größere Einheiten, wie z. B. Gebäudekomplexe oder ganze Kommunen, mit sämtlichen Wechselwirkungen untersucht. So haben die Ingenieure in verschiedenen Projekten die Green-Building-Bibliothek in SimulationX genutzt, um unterschiedliche Varianten der Energiesysteme existierender Gebäude zu modellieren und zu simulieren. Die damit verbundene Komplexität erfordert neue Analysemethoden. Die Verfügbarkeit erneuerbarer Energien steht dabei in direktem Zusammenhang mit dem stark nutzerabhängigen Energieverbrauch sowie der zustandsabhängigen Verfügbarkeit von zum Teil neuen Speichersystemen (z. B. Batterien). Für eine adäquate Systembewertung mit hinreichenden Ergebnissen kommt daher nur eine dynamische Simulation der verschiedenen Energiesysteme in Frage. Weil sie speziell für solche Anwendungsgebiete entwickelt wurde, lassen sich mit der Green-Building-Bibliothek somit umfangreiche Energiesysteme mit erneuerbaren Energien und Speichern sowie ganze Gebäudekomplexe in einer einzigen Simulationsumgebung modellieren. ■

Honda hat sich für SimulationX als Modellierungswerkzeug entschieden, weil es:

- mit Standardsoftware in der Fahrzeugentwicklung kompatibel ist, um Fahrzeugtechnik mit dem Smart-Home-System zu verbinden.
- sich über diverse Schnittstellen und Add-Ins in beliebige Entwicklungsumgebungen integrieren lässt und damit Hondas langfristige Investition sichert.
- durch die Unterstützung offener Standards wie Modelica® und Functional Mock-up Interface (FMI) eine höhere Effizienz im umfangreichen Einsatz in sämtlichen Entwurfsphasen der virtuellen Entwicklung garantiert.
- mithilfe der C-Code-Exportfunktion dem Anwender erlaubt, höchsteffiziente Optimierungswerkzeuge parallel in einem Rechnerverbund laufen zu lassen.

Literatur:

[1] René Unger, Torsten Schwan, B. Mikoleit, Bernard Bäker, Christian Kehrer, and Tobias Rodemann: „Green Building" – Modeling renewable building energy systems and electric mobility concepts using Modelica, Proceedings of the 9th International Modelica Conference

[2] Kaname Narukawa and Tobias Rodemann: Examining the Performance of Evolutionary Many-Objective Optimization Algorithms on a Real-World Application, Proceedings of The Sixth International Conference on Genetic and Evolutionary Computing (ICGEC), 2012

[3] Nicola Beume, Boris Naujoks, and Michael Emmerich: SMS-EMOA: Multiobjective selection based on dominated hypervolume, European Journal of Operational Research, 2007

Denise Börner
ITI GmbH
Tel.: +49 351 260 50 169
E-Mail: boerner@itisim.com

Kontakt