



S4ECOB

Buildings with greater energy efficiency using sound recognition

Buildings are responsible for a third of the CO₂ emissions and 40% of the total energy consumption in the EU. More than 60% of the energy used there goes into HVAC (heating, ventilation, air conditioning) and lighting.¹ As these systems offer the greatest potential for improving the energy balance of buildings, they are the focus of efforts to conserve energy² in order to achieve the ambitious “20-20-20” climate goals of the EU member states³ – improving energy efficiency and reducing greenhouse gas emissions.

This motivation has led to “S4ECOB” – Sounds for Energy Control of Buildings, a 3-year project funded by the EU (ref. FP7-ICT2011-7) in which IMMS and six partners from five EU countries are jointly researching how acoustic data may be used to optimise the energy consumption of systems in major public buildings.

Optimal control of building systems requires knowledge about the number and distribution of people within the building. The performance of HVAC systems depends on the amount of fresh air being fed in, which needs to be increased with rising occupancy levels or, conversely, can be reduced when fewer

The embedded platform for acoustic signal processing being put into operation. Photograph: IMMS.

people are present. The demand for artificial lighting depends on the location of people in the building. Monitoring the occupancy data of individual areas in real-time will thus make optimisation of lighting and air conditioning possible.

Existing building automation systems usually control HVAC and lighting by means of timing schedules, switching between operating points after predefined periods. Sensors are used for monitoring CO₂ levels in the air as a means of determining the number of people in individual rooms. For large spaces, however, these are not accurate enough, and they involve disadvantages in their installation, calibration, and maintenance⁴. Using video cameras to determine occupancy is costly in terms of both money and effort. The idea of using sound for monitoring, which is being pursued by the project partners, may well provide a much simpler and cheaper alternative means of monitoring occupancy in real-time and fine-tuning existing building control systems to achieve savings.

39



The "S4ECoB" system, consisting of a microphone array and an embedded energy-efficient hardware and software platform. The system is capable of determining the number of people in parts of a building based on acoustic data and control building systems accordingly. Photograph: IMMS.

The "S4ECoB" system being developed in the project uses a network of spatially-distributed microphones to pick up sounds in their vicinity. More specifically, eight microphones and their associated electronics for digitising and encoding signals form a microphone array. Up to three of these arrays can be connected to an energy-efficient embedded hardware and software platform, the Audio Processing Unit (APU). The APU will process audio data streams, classify acoustic events, and, from them, estimate the number of people in the rooms being monitored by the arrays. Together, the microphone arrays and the APU constitute a sensor for determining occupancy levels. The data computed by the APU is transferred to a central unit, where it is processed further and building control is adapted to the current situation, thus minimising energy demands.

The system presents numerous challenges. To meet them, IMMS has developed novel solutions within the project, developing the embedded platform that will process the acoustic signals. This involved de-

signing and building adequate hardware and implementing software components. The Institute has also designed and implemented the communications architecture between the components. The innovative architecture and the new methods adopted for the hardware and software implementation have proved to be the key to an embedded signal processing platform with low energy usage that offers not only very high performance but also the advantages of flexibility and low price.

Hardware-wise, the APU is composed of two main components: firstly, an FPGA, a programmable hardware circuit, decodes and preprocesses the audio data streams. Then the processor computes the occupancy level in real-time. IMMS initially investigated the performance of various audio algorithms on a number of embedded systems. Based on this, the OMAP4460 (ARM) processor has been selected (which is, incidentally, also used in smart phones and tablet computers). The FPGA is connected to the processor's external memory interface, enabling data rates of up to 1.6 Gbit/s.

Both the APU and the tasks performed by it are highly complex, requiring an operating system which can be optimised accordingly. IMMS has been extending its know-how in employing and adapting the open-source Linux operating system for years. Linux of-

fers comprehensive hardware support for embedded systems. Extended by RT-Preempt, it gains real-time capabilities, a necessary basis for even more demanding future audio-processing algorithms. It is for this reason that the Institute's researchers have adapted the Linux kernel and developed a driver to communicate data rapidly to the FPGA.

Building upon this, IMMS has developed two additional software components. The first is a program for reading the acoustic data from the microphone array via the FPGA and then processing it using any out of a variety of acoustic algorithms, provided in a modular fashion and selectable at runtime using plug-ins. The second component is responsible for the communication between the APU and the central server, which utilises a TCP/IP network infrastructure. The data transferred are secured by either being encoded using a Transport Layer Security (TLS) protocol or being transferred over a Virtual Private Network (VPN).

A program named "APU Gateway" represents the counterpart on the central server and has also been developed at IMMS. On the one hand, it manages the individual APUs connected to the server by dynamically establishing and terminating connections and monitoring their status. On the other hand, it receives the data sent by the APUs and makes them available to other components on the server. It is crucial to the proper functioning of the acoustic algorithms that the internal clocks of all the APUs on the same network and of the central server itself remain synchronised as closely as possible with each other. To ensure this, the IEEE 1588-2008 Precision Time Protocol is employed, which will keep the time deviation among components below 300µs. This has been confirmed in a number of tests.

In partnership, the project's first hardware prototypes have been manufactured and put into initial operation. A first network has already been set up for testing purposes, the newly-designed components verified and the system's functionality proven. The system is to be installed at three demonstrator sites in April 2013. These are Milano Linate Airport and the two shopping malls "Principe Pio" in Madrid and "Maremagnum" in Barcelona. The project is

due to end in September 2014: from October 2013 onwards, it is intended to optimise existing building control systems in selected areas of the sites using the newly-developed system. Throughout that period, energy consumption will be monitored continuously in order to determine actual savings and prove the overall functioning of the system. At a later stage, it will be possible to build a cost-optimised sensor on the basis of the project results and start mass production, allowing for acoustic monitoring to be installed in arbitrary public buildings and thus a genuine contribution to the achievement of the climate goals to be made. A further development might even be to extend the sensor by security features, such as the detection of glass breakage.

Contact:

Dipl.-Ing. Sebastian Uziel
sebastian.uziel@imms.de

Bibliography:

- 1 Bertoldi, P. and Atanasiu, B. Electricity Consumption and Efficiency Trends in the Enlarged European Union, European Commission, Institute for Environment and Sustainability, 2007.
- 2 Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the Energy Performance of Buildings (recast), 2010.
- 3 Communication from the commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the committee of the regions – 20 20 by 2020, Europe's climate change opportunity, Brussels, Jan 23, 2008.
- 4 L. Damiano, Issues Concerning the Difficulties in Applying DCV with CO2 Sensors, October 14, 2003.



S4ECOB

Energieeffizientere Gebäude durch Geräuscherkennung

Ein Drittel der CO₂-Emissionen und etwa 40% des Energieverbrauchs werden in der Europäischen Union durch Gebäude verursacht. Über 60% der dort eingesetzten Energie entfallen auf Heizung, Lüftung, Klimatechnik und Beleuchtung¹. Da dieser Haustechnik das höchste Einsparpotenzial in der Gesamtenergiebilanz eines Bauwerks innewohnt, liegen Immobilien im Fokus für Maßnahmen zur Energieeinsparung,² um die ambitionierten „20-20-20“-Klimaziele der EU-Mitgliedsstaaten zu erreichen³ – die Energieeffizienz zu steigern und die Treibhausgasemissionen zu senken.

Aus dieser Motivation heraus entstand 2011 das von der Europäischen Union geförderte dreijährige Projekt „S4ECOB“ – Sounds for Energy Control of Buildings (FKZ: FP7-ICT2011-7, Projekt-ID 284628). Darin erforscht das IMMS zusammen mit sechs Partnern aus fünf europäischen Ländern, wie akustische Informationen genutzt werden können, um die Haustechnik großer öffentlicher Gebäude zu optimieren.

Um eine solche Gebäudesteuerung optimal zu betreiben, ist es wichtig zu wissen, wie viele Personen sich gerade in den einzelnen Bereichen eines Hauses aufhalten. Die Leistung der Heizung und der Klima-

Inbetriebnahme der eingebetteten Plattform zur Audiosignalverarbeitung.
Foto: IMMS.

anlage hängt von der benötigten Frischluft ab, die bei steigender Belegungsrate verstärkt zugeführt werden muss oder bei wenigen anwesenden Personen entsprechend gedrosselt werden kann. Der Bedarf an künstlichem Licht richtet sich nach dem Aufenthaltsort der Personen im Gebäude. Werden die Belegungsdaten verschiedener Bereiche in Echtzeit erfasst, können Klima- und Lichttechnik optimal genutzt werden.

Bislang werden Lampen und Klimaanlage oft nur zeitabhängig gesteuert und somit vordefinierte Arbeitspunkte in bestimmten Zeitintervallen geschaltet. Es werden auch CO₂-Sensoren eingesetzt, um die Personenanzahl zu bestimmen. Diese sind jedoch für große Räume zu ungenau und zudem mit Nachteilen bei der Installation, Kalibrierung und Wartung verbunden.⁴ Videotechnik für die Bestimmung der Belegungsrate ist aufwendig und kostenintensiv. Die im Projekt verfolgte Idee, akustische Sensoren zu verwenden, kann dagegen eine kostengünstige und einfache Möglichkeit darstellen, die Belegungsrate in Echtzeit zu ermitteln und damit die vorhandene Gebäudesteuerung zu optimieren.



„S4ECoB“-System aus Mikrofonarray und eingebetteter energieeffizienter Hard- und Softwareplattform. Das System kann auf Basis akustischer Daten die Anzahl von Personen in Gebäudebereichen erfassen und abhängig davon die Haustechnik regeln. Foto: IMMS.

In dem im Projekt entwickelten „S4ECoB“-System werden die Umgebungsgeräusche mit einem Netzwerk verteilter Mikrofone erfasst. Jeweils acht Mikrofone gemeinsam mit einer angeschlossenen Elektronik zur Digitalisierung und Kodierung der Signale bilden ein so genanntes Mikrofonarray. Bis zu drei dieser Mikrofonarrays können an eine eingebettete energieeffiziente Hard- und Softwareplattform, die Audio Processing Unit (APU), angeschlossen werden. Diese verarbeitet die Audiodatenströme, klassifiziert akustische Ereignisse und bestimmt so die Anzahl der Personen in den erfassten Bereichen. Mikrofonarrays und APU bilden den Sensor, mit dem die Belegungsrate bestimmt wird. Die in der APU berechneten Daten werden zu einer Zentraleinheit übertragen, dort weiterverarbeitet und damit die Gebäudesteuerung an die derzeitige Situation angepasst und somit energetisch optimiert.

Für die Vielzahl der Anforderungen dieses neuen und komplexen Systems hat das IMMS in diesem Projekt neue Lösungen erarbeitet. Das Institut hat die eingebettete Plattform entwickelt, welche die Audiosignale verarbeitet, und hierfür den Entwurf einer geeigneten Hardware sowie die Konzeption und Implementierung der Softwarekomponenten realisiert. Zudem hat das IMMS die Architektur der Kommunikationsstrukturen zwischen den Komponenten entworfen und deren Umsetzung vorgenommen. Die innovative Architektur und die neuen Wege für die Hard- und Software-Implementierung waren der Schlüssel zu einer sehr leistungsfähigen, flexiblen und kostengünstigen eingebetteten Signalverarbeitungsplattform mit sehr geringem Energiebedarf.

Das Hardwarekonzept der APU sieht zwei Hauptkomponenten vor. Ein FPGA, ein programmierbarer Hardware Schaltkreis, dekodiert die Audiodatenströme und verarbeitet sie vor. Der Prozessor berechnet sodann die Belegungsrate in Echtzeit. Das IMMS hat hierfür zunächst die Performanz verschiedener Audioalgorithmen auf mehreren eingebetteten Systemen untersucht und einen geeigneten Prozessor ausgewählt, den ARM-basierten OMAP4460, der aktuell auch in Smartphones und Tablets verwendet wird. Der FPGA ist über die externe Speicherschnittstelle mit dem Prozessor verbunden, wodurch sehr hohe Datenraten von bis zu 1,6 Gbit/s möglich werden.



Sowohl das als APU eingesetzte eingebettete System, als auch die darauf auszuführenden Aufgaben sind hochkomplex und erfordern daher den Einsatz eines entsprechend optimierbaren Betriebssystems. Das IMMS baut seit Jahren seine weitreichenden Kompetenzen für das freie und quelloffene Betriebssystem Linux aus. Diese Software verfügt über eine umfangreiche Hardware-Unterstützung für eingebettete Systeme und stellt mittels der RT-Preempt-Erweiterung deren Echtzeitfähigkeit sicher. Das ist die Voraussetzung für zukünftige Audioalgorithmen mit erhöhten Anforderungen. Die Forscher des Instituts haben daher den Linux-Betriebssystemkern angepasst und einen Kommunikationstreiber für den schnellen Datentransfer zum FPGA entwickelt.

Darauf aufbauend hat das IMMS zwei weitere Softwarekomponenten entwickelt. Die erste ist ein Programm, das die Audiodaten des Mikrofonarrays mit Hilfe des FPGAs einliest, verarbeitet und die Möglichkeit bietet, verschiedene Audioalgorithmen über ein Modulkonzept mit Plug-ins zur Laufzeit zu integrieren. Die zweite Komponente ist für die Kommunikation zwischen APU und dem zentralen Server verantwortlich. Diese erfolgt über eine TCP/IP-basierte Netzwerk-Infrastruktur. Um die Sicherheit der übertragenen Daten zu gewährleisten, werden sie entweder durch ein Transport Layer Security (TLS) Protokoll verschlüsselt oder über ein Virtuelles Privates Netzwerk (VPN) weitergegeben.

Das eigens vom IMMS entwickelte Programm „APU Gateway“ bildet die Gegenstelle der Kommunikation auf dem zentralen Server. Zum einen verwaltet es die mit dem Server verbundenen APUs, indem es Verbindungen dynamisch auf- und abbaut, sie regelmäßig überprüft und Statusmeldungen auswertet. Zum anderen empfängt es die von den APUs übertragenen Daten und stellt sie für andere Komponenten auf dem Server bereit. Für die Audioalgorithmen ist es entscheidend, dass die internen Uhren aller im gleichen Netzwerk vorhandenen APUs sowie des zentralen Servers möglichst gering voneinander abweichen. Um dies zu gewährleisten, hat das Institut das Precision Time Protocol IEEE 1588-2008 verwendet. Es erlaubt Zeitabweichungen von unter 300µs zwischen den Komponenten, was durch verschiedene Messungen bestätigt werden konnte.

Die Projektpartner haben bereits erste Hardware-prototypen gefertigt und in Betrieb genommen. Ein erstes Testnetzwerk wurde bereits aufgebaut, die entworfenen Komponenten wurden verifiziert und die Funktionsfähigkeit des Systems nachgewiesen. Ab April 2013 wird das System in den drei Demonstrationsobjekten, dem Flughafen Mailand Linate und den Einkaufszentren „Principe Pio“ in Madrid sowie „Maremagnum“ in Barcelona installiert und in Betrieb genommen. Ab Oktober 2013 bis zum Projektende im September 2014 werden mit dem entwickelten System die vorhandenen Gebäudesteuerungssysteme in ausgewählten Bereichen optimiert. Der Energieverbrauch wird in dieser Periode kontinuierlich aufgezeichnet, die Energieeinsparung ermittelt sowie die Funktionsfähigkeit des Systems nachgewiesen. Zukünftig kann mit den Ergebnissen aus dem Projekt ein kostenoptimierter Sensor auf Basis der akustischen Ereignisdetektion zur Serienreife gebracht, in öffentlichen Gebäuden installiert und somit ein Beitrag zur Erreichung der gestellten Klimaziele geleistet werden. Für die Zukunft ist auch die Implementierung von sicherheitsrelevanten Funktionen, wie z.B. die Erkennung von Glasbruch, in einem solchen Sensor denkbar.

Kontakt:

Dipl.-Ing. Sebastian Uziel
sebastian.uziel@imms.de

Literatur:

- 1 Bertoldi, P. and Atanasiu, B. Electricity Consumption and Efficiency Trends in the Enlarged European Union, European Commission, Institute for Environment and Sustainability, 2007.
- 2 Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the Energy Performance of Buildings (recast), 2010.
- 3 Communication from the commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the committee of the regions – 20 20 by 2020, Europe's climate change opportunity, Brussels, Jan 23, 2008.
- 4 L. Damiano, Issues Concerning the Difficulties in Applying DCV with CO₂ Sensors, October 14, 2003.