



ANUBIS – solutions towards energy-efficient production

The issue

In the attempt to slow down climate change, buildings are being insulated against heat loss, automotive fuel consumption is being reduced and regenerative energy is being given every encouragement. However, the source of more than 70 % of the CO₂ emitted in Germany is manufacturing industry and the energy industry itself. It is thus necessary, above all, that energy should be saved in production processes: necessary for the protection of the environment but also, beyond that, to maintain Germany's international competitiveness through efficient manufacture. To this end, the politicians have set standards and issued directives such as ISO 50001, requiring automatic equipment to make energy savings which must be proven by detailed recording of energy consumption. The ISO 50001 standard applies equally to older plant, which tends to be rather less automated. Here the relevant data are often unavailable as they are not included in the process image of the communication infrastructure, if such an infrastructure even exists.

IMMS has, since January 2012, been jointly involved with the Fraunhofer IOSB Industrial Automation Centre (INA) in the project known as ANUBIS. This is a project funded by the German ministry support-

ing industry, the BMWi, bearing their reference code 16419 BG/2. The full name of ANUBIS is "Analyse und Überwachung des Energieverbrauchs in der Verfahrenstechnik und der Produktionstechnik unter Berücksichtigung betriebswirtschaftlicher Fragestellungen – Erkennung und Vermeidung suboptimaler Energiebilanzen in der Produktion". The explanation follows. The partners are working on the means not only of recording energy consumption but also improving the control of existing and future automatic equipment to enable it to be operated with greater efficiency of both energy and costs. The Fraunhofer IOSB-INA has taken on the tasks of modelling plant behaviour and of integrating the various communications systems with other components into the automated engineering processes. IMMS has designed a wireless sensor network and achieved the practical acquisition of the relevant data under the harsh conditions obtaining in industrial production. The data is then transmitted for processing. This wireless network can be added to existing plant, in particular, enabling it to capture the information required by the standard.

ing industry, the BMWi, bearing their reference code 16419 BG/2. the full name of ANUBIS is "Analyse und Überwachung des Energieverbrauchs in der Verfahrenstechnik und der Produktionstechnik unter Berücksichtigung betriebswirtschaftlicher Fragestellungen – Erkennung und Vermeidung suboptimaler Energiebilanzen in der Produktion". The explanation follows. The partners are working on the means not only of recording energy consumption but also improving the control of existing and future automatic equipment to enable it to be operated with greater efficiency of both energy and costs. The Fraunhofer IOSB-INA has taken on the tasks of modelling plant behaviour and of integrating the various communications systems with other components into the automated engineering processes. IMMS has designed a wireless sensor network and achieved the practical acquisition of the relevant data under the harsh conditions obtaining in industrial production. The data is then transmitted for processing. This wireless network can be added to existing plant, in particular, enabling it to capture the information required by the standard.

The solution

A possible way of using energy more efficiently is to replace high-energy components with more economical ones. This is a passive approach which only requires the measurement of energy consumption and identification of the components with savings potential. The active approaches followed in the ANUBIS project go further, using data on energy consumption and other aspects of the production line so that statements can be made which indicate the current status of the plant or which may serve to influence its operation. The scenarios targeted by the project partners in their development work are as follows:

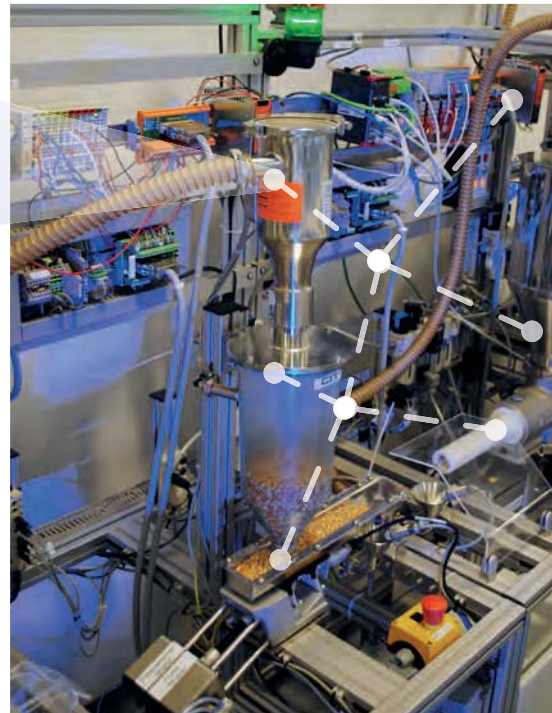
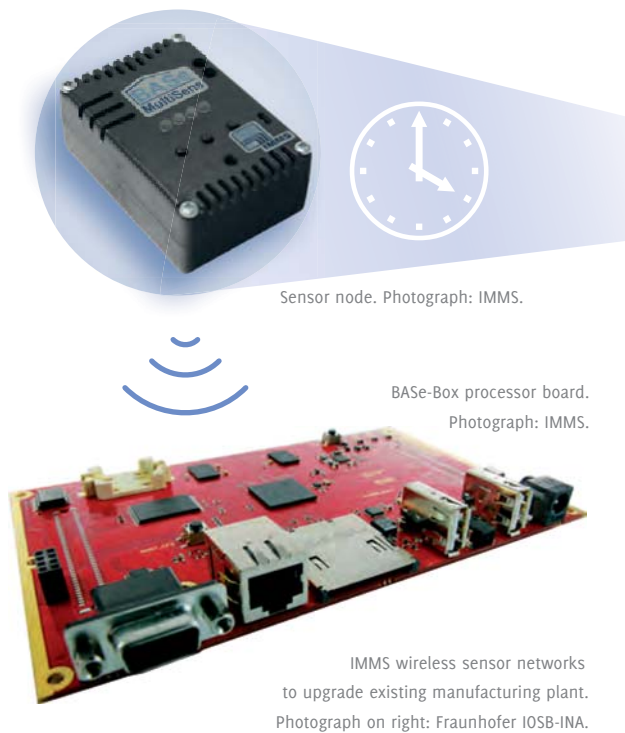
- If the energy consumed by the plant or by individual components deviates from the typical consumption, an anomaly is indicated. These anomalies may, for example, be caused by wear and tear, and if identified from the energy consumption recordings may be remedied early.
- To save energy, it would be possible to switch off those parts of a system not currently required. It must be noted that to do so would involve the use of energy and of time for switching the components on and off or might put the components under greater strain. If all the interrelationships are known, the switching processes can be programmed in the most economical way.
- Given energy consumption profiles for steps in the production process, it may be possible to schedule them for the cheaper off-peak periods. In addition, with the aid of all this consumption data it will be possible to plan the stages of production so that they are more energy-efficient overall.

All such approaches demand a model of the plant that will predict its normal behaviour. Modelling manually is time-consuming and cannot be done without a great deal of expert knowledge. As a result, it is barely practicable. What is done instead is to create the model automatically. Here, the plant is observed during normal operation. The data acquired is then processed by an algorithm developed by Fraunhofer IOSB-INA and a model is produced. This type of approach has already been the subject of intensive research for a number of years. What is new, however, is that the model now uses the energy consumption figures for the plant and its various components or individual consumption points, such as motors, pumps or heaters. So that the plant behaviour can be modelled, and in consequence the various scenarios

can be applied in practice, it will be necessary to capture the data fast enough and accurately enough. It will be particularly important to acquire all the data simultaneously. Depending on the plant and on the speed of its processes, the data capture requirements may be timed to the millisecond. Complex automated machinery will be made up of a number of very different industrial communications systems. They will be installed at different points in the plant. The challenge is thus to integrate data from a distributed, heterogeneous communications systems on a fully synchronised basis.

The IMMS contribution

So that the automation does not have to be modified by new installations, IMMS has designed a wireless system for acquiring energy data. This enables the monitoring to take place on existing plant without endangering its current productive use. The wireless sensor developed by the Institute captures all the necessary data simultaneously and transmits it to the model generation stage. IMMS has already identified the contextual aspects and the parameters and has carried out experimental testing of the principles in practice. The sensor network is made up of several sensor modules which operate autonomously (also known as sensor nodes). They are equipped with the sensors necessary to the particular application and have a radio interface by which they communicate with each other. If there is an output from the nodes and they are operating, they will recognise other nodes in their neighbourhood and are smart enough to build their own network topology which will adapt continuously and dynamically as nodes are added to or subtracted from the sensor net. This wireless network is thus in marked contrast to the hardware usually employed in automation equipment, for it is so little trouble to install. If cables are required at all, they are laid only to the detectors and none are necessary to the data communication. No configuration of the network topology is necessary. If any other data besides energy data needs to be recorded, this can be done as long as the data is already available in analogue or digital form. As the data transfer from a number of modules by radio is non-deterministic and will thus not fulfil the above-mentioned synchronicity requirement, the time of the measurement must be assigned to it at the relevant sensor node, which means that it is the nodes which will be synchronised. To cope with the special features of



communication by radio, IMMS has ported FTSP, the Flooding Time Synchronisation Protocol, onto the sensor network.

The wireless sensor network and the automation system are connected via the BASE-Box, an embedded Linux system likewise specially developed in house by IMMS. The BASE-Box receives the data from the sensor network and transmits it to the automation system, acting not only as gateway for the data but also undertaking the synchronisation. The items synchronised include the BASE-Box itself, further data loggers and other components of the automation system, such as servers. The synchronisation uses Ethernet and its associated protocols. The Institute has developed software that makes this common time basis available in the sensor network. The quality of the time synchronisation achieved has been confirmed by measurements. The level of accuracy achieved is to within 25 ms between the sensor nodes, which is optimal for the usual requirements of most automated processes.

Future prospects

The data-logging on a synchronised basis has already been included in certain automation bus systems and operated successfully in conjunction with the IMMS wireless sensor network. The logged data is now the basis of modelling by Fraunhofer IOSB-INA. So that

the concepts and methods developed can be tested and evaluated, they are being used experimentally by the project partners in laboratory plant and on certain manufacturing lines in industry. The project is due to end in mid-2014. By then the first potential use mentioned above, the recognition of anomalies, will have been put into practice and at that time a variety of procedures which serve the purpose will be evaluated. Plant data will be logged under normal operation and during hitches in operation. This data will be compared with what the model previously derived would predict. This project is fundamental to the field of process optimisation and the foundations laid will themselves be further researched as time goes on. At the end of this project, IMMS is in a position to read out data on a synchronised basis from smart sensor nodes and to extend the know-how in addressing future issues.

Person to Contact:

Dipl.-Inf. Stefan Schramm, stefan.schramm@imms.de

Bibliography:

IMMS has published in various quarters on the subject, cf. Nos. 20 and 38 in the 2013 list of publications, p. 51 ff.



ANUBIS – Lösungen für eine energieeffiziente Produktion

Motivation

Um den Klimawandel zu bremsen, werden Gebäude gegen Wärmeverluste gedämmt, der Treibstoffverbrauch von Automobilen reduziert und die regenerative Energieerzeugung vorangebracht. Über 70% des in Deutschland entstehenden CO₂-Ausstoßes verursachen jedoch die produzierende Industrie und die Energiewirtschaft. Daher muss vor allem in der Produktion Energie eingespart werden, um die Umwelt zu schonen und um darüber hinaus mit effizienten Prozessen international wettbewerbsfähig zu bleiben. Aus diesem Grund hat die Politik Normen und Richtlinien geschaffen, wie beispielsweise die ISO 50001. In ihr werden Energieeinsparungen in Automatisierungsanlagen gefordert, die anhand detailliert erfasster Energieverbräuche nachzuweisen sind. Diese Norm gilt auch für ältere Anlagen, bei denen der Automatisierungsgrad typischerweise geringer ist. Relevante Daten liegen hier oft nicht vor, da sie im Prozessabbild der Kommunikationsinfrastruktur nicht enthalten sind oder diese Infrastruktur ganz fehlt.

Das IMMS engagiert sich seit Januar 2012 mit dem Fraunhofer IOSB-INA in dem vom BMWi unter dem Kennzeichen 16419 BG/2 geförderten Projekt „ANUBIS

Lösungen des IMMS für drahtlose Sensornetzwerke sollen Daten von Bestandsanlagen erfassen und deren Betrieb optimieren helfen. In Versuchsanlagen wie diesen werden Automatisierungskonzepte getestet. Foto: Fraunhofer IOSB-INA.

– Analyse und Überwachung des Energieverbrauchs in der Verfahrenstechnik und der Produktionstechnik unter Berücksichtigung betriebswirtschaftlicher Fragestellungen – Erkennung und Vermeidung suboptimaler Energiebilanzen in der Produktion“. Die Partner arbeiten an Lösungen, mit denen nicht nur Energieverbräuche erfasst, sondern auch bestehende und künftige Automatisierungsanlagen besser geregelt und somit energie- und kosteneffizient betrieben werden können. Das Fraunhofer IOSB-INA übernimmt die Modellierung des Anlagenverhaltens und die Integration der verschiedenen Kommunikationssysteme und anderer Komponenten der Automatisierungstechnik. Das IMMS hat ein drahtloses Sensornetzwerk konzipiert und realisiert, das unter den rauen Bedingungen industrieller Produktion relevante Daten unmittelbar an Fertigungsanlagen erfasst und zur Verarbeitung weitergibt. Mit diesem Drahtlosnetzwerk können insbesondere Bestandsanlagen nachgerüstet werden, um die von der Norm geforderten Informationen zu erfassen.

Lösung

Eine Möglichkeit für mehr Energieeffizienz ist, verbrauchsintensive Komponenten durch sparsamere zu ersetzen. Für solche passiven Ansätze müssen lediglich die Energieverbräuche gemessen und Komponenten mit Einsparpotenzial identifiziert werden. Die in ANUBIS verfolgten aktiven Ansätze gehen einen Schritt weiter und nutzen die erfassten Energieverbräuche sowie andere Anlagendaten, um daraus Aussagen über den derzeitigen Zustand der Anlage abzuleiten oder deren Betrieb zu beeinflussen. Die Projektpartner haben ihre Entwicklungen auf folgende Szenarien ausgerichtet:

- Weicht der Energieverbrauch der Anlage oder einzelner Komponenten vom normalen Verbrauch ab, deutet dies auf eine Anomalie hin. Solche Anomalien werden zum Beispiel durch Verschleiß verursacht und können über die Energieverbrauchsmessungen erkannt und dadurch früher beseitigt werden.
- Um Energie einzusparen, kann man nicht benötigte Teilsysteme abschalten. Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass das Zu- und Abschalten ebenfalls Energie verbraucht, Zeit benötigt oder die entsprechenden Komponenten stärker beansprucht. Sind diese Zusammenhänge bekannt, können solche Vorgänge betriebswirtschaftlich optimal gestaltet werden.
- Sind die Energieverbrauchsprofile von Produktionsschritten verfügbar, kann man diese in Zeiten niedrigerer Energiepreise verschieben. Zudem lassen sich mit Hilfe dieser Verbrauchsdaten Produktionsschritte so einplanen, dass sie in der Summe energieeffizienter arbeiten.

Alle diese Ansätze erfordern zwingend ein Modell der Anlage, welches deren Normalverhalten vorhersagt. Die manuelle Modellierung ist sehr aufwendig und setzt viel Expertenwissen voraus. Sie ist damit in der Praxis nicht durchführbar. Stattdessen wird das Modell automatisch erstellt. Das bedeutet, dass die Anlage im Normalbetrieb beobachtet wird. Aus den dabei erhobenen Daten erstellt ein vom Fraunhofer IOSB-INA entwickelter Algorithmus ein Modell. Solche Ansätze werden bereits seit einigen Jahren intensiv erforscht. Neu ist jedoch, dass dafür auch die Energieverbräuche der Anlage, ihrer Komponenten oder einzelner Verbraucher verwendet werden, wie zum Beispiel Antriebe, Pumpen oder Heizungen. Um das Anlagenverhalten modellieren und damit die Anwendungsszenarien realisieren zu können, müssen die Daten hinreichend schnell und

genau erfasst werden. Insbesondere ist es erforderlich, alle Daten zeitsynchron zu erheben. Je nach Anlage und Dynamik ihrer Prozesse können die Anforderungen im Millisekundenbereich liegen. Komplexe Automatisierungsanlagen bestehen aus einer Vielzahl verschiedenartiger industrieller Kommunikationssysteme. Diese sind an unterschiedlichen Stellen der Anlage installiert. Die Herausforderung besteht demnach darin, Daten aus einem verteilten, heterogenen Kommunikationssystem zeitsynchron zu integrieren.

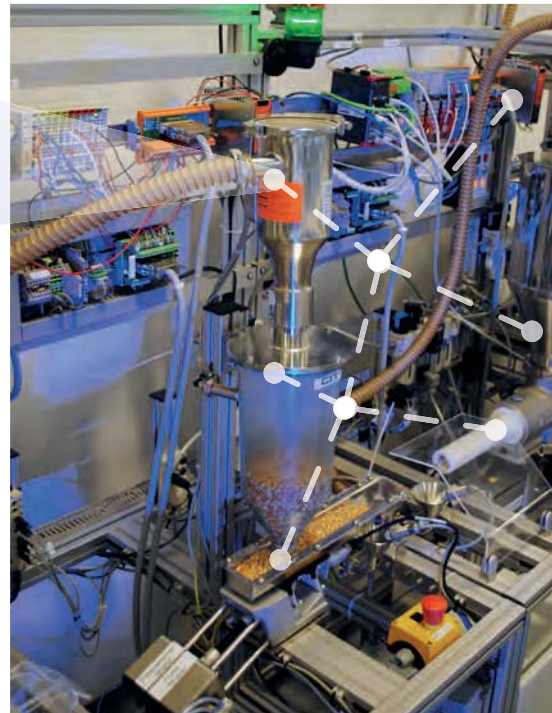
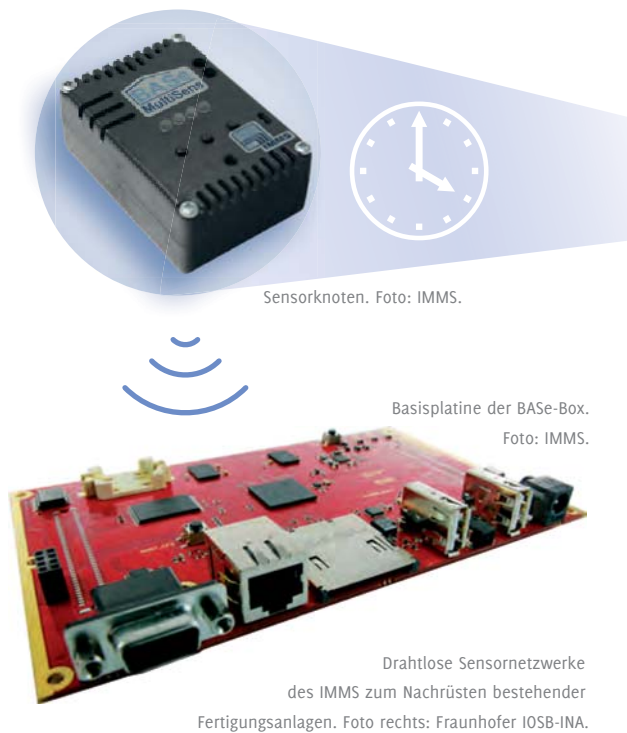
Beitrag des IMMS

Um die Automation nicht durch Installationen verändern zu müssen, hat das IMMS eine drahtlose Erfassung für Energiedaten aufgebaut. Somit können die Systeme an bestehenden Anlagen eingesetzt werden, ohne deren Produktiveinsatz zu gefährden. Das vom Institut entwickelte drahtlose Sensornetzwerk erfasst die notwendigen Daten zeitsynchron und gibt sie für die Modellgenerierung weiter. Das IMMS hat die Randbedingungen und Parameter hierfür identifiziert und das Konzept in der Praxis experimentell überprüft.

Das **Sensornetz** besteht aus mehreren selbstständig agierenden Sensormodulen. Diese auch Sensorknoten genannten Module besitzen die für den jeweiligen Einsatzzweck notwendige Sensorik sowie eine Funkschnittstelle für die Kommunikation untereinander. Werden die Knoten ausgebracht und in Betrieb genommen, erkennen sie andere Knoten in ihrer Nachbarschaft und bilden selbstständig eine Netzwerktopologie aus. Diese ist dynamisch – es können jederzeit Knoten zum Sensornetz hinzugefügt oder entfernt werden. Das drahtlose Sensornetz zeichnet sich somit durch einen im Vergleich zu üblicher Hardware der Automatisierungstechnik geringen Installationsaufwand aus. Kabel müssen – falls überhaupt – nur für die Sensorik, nicht jedoch für die Datenkommunikation verlegt werden. Eine Konfiguration der Netzwerktopologie ist nicht notwendig. Neben den Energiedaten lassen sich auch andere beliebige Daten erfassen, sofern diese bereits in elektrischer Form als analoge und digitale Signale vorliegen.

Da die Datenübertragung über mehrere Module per Funk nicht deterministisch ist und somit nicht die o.g. Anforderungen an die Zeitsynchronität erfüllt, muss die aktuelle Zeit dem erfassten Messwert bereits am entsprechenden Sensorknoten zugeordnet werden, d.h. die Sensorknoten werden synchronisiert. Aufgrund der speziellen Eigenschaften der Kommunikation mittels Funk hat das IMMS das für diesen Zweck entwickelte Protokoll FTSP (Flooding Time Syn-





chronisation Protocol) auf das verwendete Sensornetz portiert.

Das drahtlose Sensornetz und die Automation werden durch die **BAsE-Box** verbunden. Hierbei handelt es sich um ein ebenfalls am IMMS entwickeltes eingebettetes Linux-System. Es empfängt die Daten vom Sensornetz und gibt sie an die Automation weiter. Die BAsE-Box ist dabei nicht nur Gateway für die Daten, sondern auch für die Zeitsynchronisation verantwortlich. Die Box, andere Datenlogger und weitere Automatisierungskomponenten, wie z.B. Server, sind mittels Ethernet und darauf aufsetzenden Protokollen synchronisiert. Das Institut hat eine Software entwickelt, welche diese gemeinsame Zeitbasis im Sensornetz verfügbar macht. Messungen haben die Qualität der **Zeitsynchronisation** bestätigt. Es wird eine Genauigkeit der Synchronisation von 25ms zwischen den Sensorknoten erreicht. Diese ist optimal für die üblichen Anforderungen, wie sie die Mehrzahl der Automatisierungsprozesse aufweisen.

Ausblick

Die zeitsynchrone Datenerfassung wurde bereits an Automatisierungsbussen und mit dem drahtlosen Sensornetz des IMMS erfolgreich in Betrieb genommen. Mit den erfassten Daten nimmt das Fraunhofer IOSB-INA die Modellierung vor. Um die entwickelten Methoden und Konzepte zu überprüfen und zu be-

werten, führen die Projektpartner Tests an Versuchsanlagen und an im industriellen Einsatz befindlichen Produktionsanlagen durch. Bis zum Projektende Mitte 2014 wird von den eingangs erwähnten Anwendungsszenarien das erste Szenario zur Anomalieerkennung realisiert und es werden hierfür verschiedene Verfahren evaluiert. Dazu werden Anlagendaten im Normalbetrieb und in davon abweichenden Fehlerfällen aufgenommen und mit den Vorhersagen des gelernten Modells verglichen. Das Projekt liefert die Grundlagen für Anwendungen aus dem Bereich der Optimierung, sie selbst sind Gegenstand zukünftiger Forschung. Das IMMS ist nach diesem Projekt in der Lage, Sensorknoten zeitsynchron auszulesen und kann dieses Know-how für künftige Fragestellungen ausbauen.

Kontakt:

Dipl.-Inf. Stefan Schramm, stefan.schramm@imms.de

Literatur:

Zum Thema des Projekts hat das IMMS Beiträge veröffentlicht, vgl. Nr. 20 und 38 in der Publikationsliste von 2013 ab S.51 ff.