

EFSUES – energy-efficient airports



Issues addressed

If you are an air passenger and waiting for a plane that has been delayed, you may well be annoyed. Often you will also pay out of pocket at the individual level. At the level of a big airport, the costs associated with planes spending too long on the apron can run into the millions of euros each year. For smaller airports they will run into several hundred thousand. The many and various specialist vehicles, which an airport usually possesses only in small numbers, always have to get to the right point with the right timing, and the same is true of the staff trained to use them. For the deployment to be finely coordinated, all the sites and movement patterns for the planes, the vehicles and the staff must be known. However, if the airport vehicles are in hangars, for instance, a GPS is inadequate to their continuous location. Particularly in the case of smaller airports, ground radar systems are rarely used, being so expensive in both energy and financial terms. When visibility is low, the possibility of collisions on runways cannot usually be excluded: an airport will often have to be closed in fog, at great expense. While one or the other passenger has perhaps kept a note of his or her personal CO₂ footprint for the flight, most passengers will be

Partners to IMMS and Erfurt-Weimar Airport with the sensor nodes developed in the EFSUES project. They will make it possible for airport aprons to be operated more safely and efficiently in the future. Photograph: IMMS.

unaware of the energy costs of delays or diversions. The fuel costs and energy usage, the exhaust fumes – all will be drastically increased by situations when journeys are made by specialist vehicles in vain or by mistake, when aeroplanes with their engines running have to wait before landing or before takeoff, when planes have to be diverted to other, still functioning, airports, and when passengers require alternative transport.

How to resolve the issues: a system overview

The part IMMS played in the EFSUES project was to develop a prototype monitoring system that will in future help small and medium-sized airports to manage the apron safely, with less energy consumption and at lower cost. The system will detect the presence and position of aircraft, vehicles and people with such certainty that take-off and landing can continue safely whatever the weather or visibility conditions. The special vehicles will, as a result of the development work, be operated safely and efficiently, waiting time for aircraft will be reduced to a minimum and

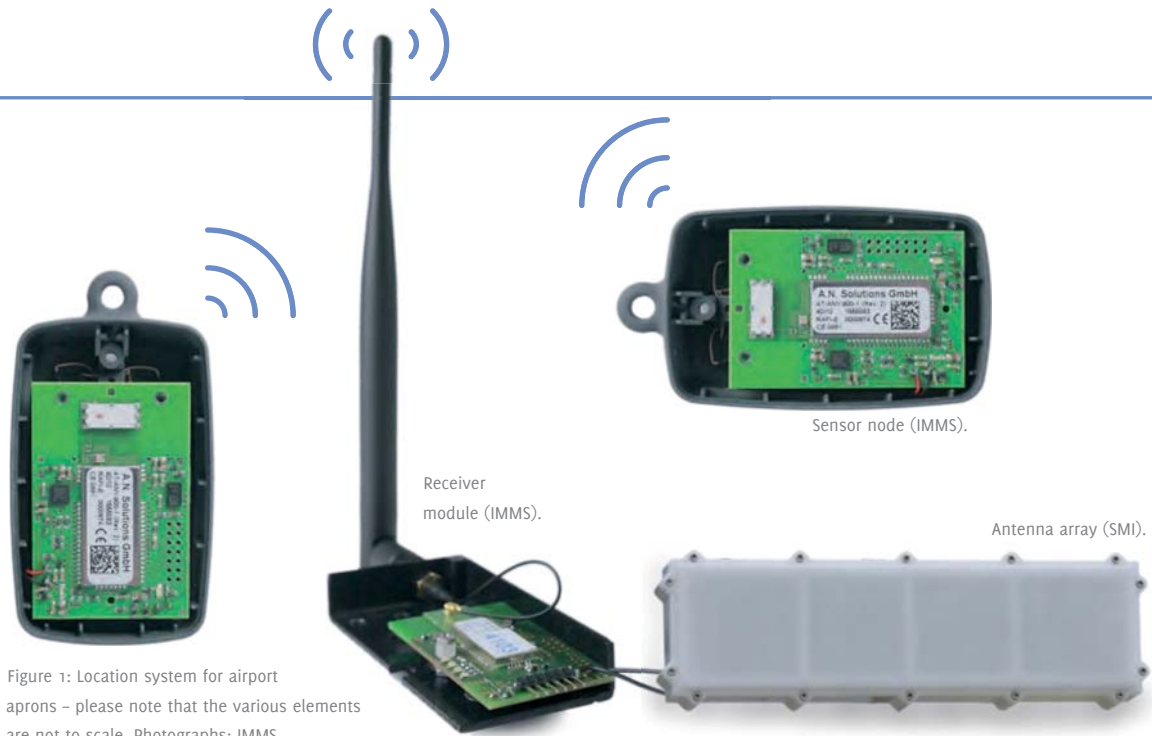


Figure 1: Location system for airport aprons – please note that the various elements are not to scale. Photographs: IMMS.

traffic safety on the airport apron greatly improved. IMMS drew on its skills in and knowledge of wireless sensor networks for the low-energy transmitters which will serve the object- and person-location system. Honeywell of Prague made the specialist cameras which are connected to the radio signals and assist with the aircraft location. For the antenna arrays and the integration of the data into the airport software, the company responsible was SMI GmbH. Erfurt-Weimar airport provided assistance, making its infrastructure, staff and real-life testing situations available to the project.

It is a central component of the monitoring system that it should be possible to locate vehicles and people on the apron. IMMS developed sensor nodes for this purpose which include efficient energy management. Such efficiency is important because conventional location systems fail to prevent even vehicle batteries running quickly out of power. The new system equips each and every person and vehicle with the sensor node described, as an active transponder which broadcasts packets of radio signals at intervals. These go to the receiver modules, where they are recognised. Moreover, the modules identify the particular transmitter, trigger the location process and pass on the data to the upstream system. IMMS developed the receiver modules and connected their hardware and software to the SMI antenna arrays which then execute the location of the relevant transmitter by computing the angle from which the signal comes. Directional information from a number of antenna arrays enables the position of the sensor node to be detected and passed on to the upstream system for the optimisation of the process.

How IMMS developed the sensor nodes

It was necessary for the transponders to be as small and practical as possible, as they have to be carried by people as well as vehicles. They needed also to be capable of functioning over a worker's entire shift and of being simple to recharge. To meet the requirements, IMMS developed a new, particularly compact radio sensor node. The transponder being so tiny, the batteries had to be miniscule, which tended, of course, to shorten the running time for the node.

It was, therefore, crucial to the project that solutions be found for optimal energy use in the operation of the detector nodes.

The sub-components of the system, such as the sensors, the transmitter module and the measurement circuits raise energy management issues for the entire system. As they are all usually hardwired to the electricity supply, they also consume energy ceaselessly. Even though most components have a standby or energy-saving mode, there will be a permanent quiescent current. For that reason, IMMS introduced additional means of communication between the sub-systems, installing extra circuitry and status wiring. So that the charge level of the batteries could be read out at any time, a special switch provided with current limitation was constructed, which will switch the voltage measuring unit on or off. The readings and the battery characteristics allow the charge status and the consequent remaining running time to be computed. The hardware components mentioned contribute to the energy efficiency of the system layout designed by IMMS: the system itself will switch off sub-components when they are not being used. The sensor node batteries can, furthermore,



Figure 2:
Transponder being recharged.
Photograph: IMMS.

be recharged at familiar charge-points without being plugged in, thanks to design based on the Qi wireless charging standard.¹

IMMS' development contribution was not only the infrastructure provided by this appropriate hardware, but also the software elements supporting smart energy management. Using context sensitivity, the software captures details of the environment and adapts the system to them. Most of the sensor node's energy consumption is due to radio communication, i.e. the transmission of the location data packets. The accuracy of location is influenced by the location rate, the frequency at which the data packets are sent and the speed at which a transponder-carrying person or vehicle is moving. However, there are many situations when the position of the sensor node does not need to be frequently re-determined. For instance, if a person is not moving, it is not necessary for the transponder to be constantly transmitting. And the converse is that a node which is travelling fast must send more frequent radio signals so that the accuracy is maintained. The speed of movement of the transponder (or its distance from its last signalled location) is what must be determined. To meet that need, all the sensor nodes have been fitted with an inertial measurement unit, a 3D magnetometer, an acceleration sensor and a

three-axis gyroscope. The raw data from these measurements is processed first at the node itself, close to the sensor. Then the movement profile is computed in 3D and the operational mode of the sensor adapted accordingly. The energy saved by this context sensitivity can, where necessary, in critical situations, be used to improve the accuracy of location,² as is made clear by Figure 3. In addition, in order to make these decisions, the energy management system will incorporate information about the available energy and how long the system has been running.

In early tests, it has been shown that using this smart energy management system can improve the average location accuracy by up to 21.5% when necessary. When the new location system has undergone further tests on various airports, the intention is for SMI GmbH to run a back-to-back pilot project from 2014 on, installing the system at Lviv.

In the now concluded project, IMMS grew in know-how concerning both hardware design and energy management. The results are being put to immediate use in such research and development projects as GreenSense and SMobility, where energy optimisation for platforms and the design of energy-autonomous solutions are central issues. Another benefit is that the Institute now has more to offer industry in the field.

The EFSUES project (Energieeffizienzsteigerndes Flughafenverfeld Steuer- und Überwachungs-System, German for "airport apron monitoring and control system to improve energy efficiency") was funded by the "Land" of Thüringen and the European Union, reference TNA XI-3/2012.

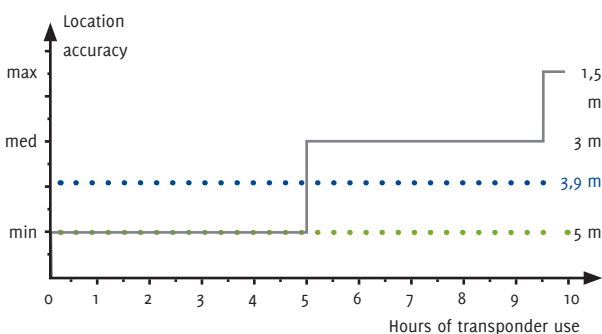
Person to Contact:

Dipl.-Ing. Elena Chervakova,
elena.chervakova@imms.de

Bibliography:

- 1 Barsukov, Y. Qian, J., "Battery Power Management for Portable Devices", Artech House, 2013
- 2 IMMS has published in various quarters on the subject, cf. Nos. 17 and 46 in the 2013 list of publications, p. 51 ff.

Figure 3: The green line shows the required minimum distance of 5 m for the average location accuracy in previous systems without energy management. The energy management system improves on that average accuracy of location by 21.5%, achieving 3.9 m (the blue line) when activity is at a minimum. Diagram: IMMS.





Motivation

Wartet man als Passagier auf einen verspäteten Flug, ist das ärgerlich und nicht selten mit zusätzlichen Ausgaben für den Einzelnen verbunden. Für große Flughäfen belaufen sich die jährlichen Kosten durch zu lange Standzeiten der Flugzeuge auf mehrere Millionen, für kleinere Flughäfen auf mehrere Hunderttausend Euro. Viele verschiedene Spezialfahrzeuge, die oft jeweils nur in geringen Stückzahlen auf einem Flughafen vorhanden sind, müssen ebenso wie das entsprechend geschulte Personal im richtigen Takt zum richtigen Ort wechseln. Um solche Einsätze punktgenau koordinieren zu können, müssen stets Orte und Bewegungsmuster von Flugzeugen, Fahrzeugen und Personal bekannt sein. Unterstellplätze für Spezialfahrzeuge verhindern jedoch eine permanente Ortung via GPS. Bodenradarsysteme sind gerade bei kleineren Flughäfen oft nicht im Einsatz, da sie sehr energieaufwändig und teuer sind. Bei Nebel können Kollisionen auf Rollwegen aufgrund schlechter Sicht meist nicht ausgeschlossen werden, was oft zur kostenintensiven Schließung eines Flughafens führt. Der ein oder andere Reisende mag vielleicht seinen Flug in der persönlichen Co₂-Bilanz verbuchen, die energetischen Auswirkungen von Verzögerungen oder

Partner des IMMS und des Flughafens Erfurt-Weimar mit den im Projekt EFSUES entwickelten Sensorknoten. Mit diesen soll künftig auf dem Flughafen vorfeld sicherer und effizienter gearbeitet werden. Foto: IMMS.

Umleitungen dürften den meisten Passagieren nicht bewusst sein. Falschfahrten und unnötige Leerfahrten von Spezialfahrzeugen, Flugzeuge, die auf die Landung und oft lange mit laufenden Triebwerken auf die Startfreigabe warten sowie Umwege zu offenen Flughäfen und Alternativtransporte für die Passagiere lassen den Treibstoff- bzw. Energieverbrauch und die Abgasemissionen drastisch ansteigen.

Gesamtsystemlösung

Das IMMS war im Projekt EFSUES an der Entwicklung eines Prototyps für ein neues Überwachungssystem beteiligt, mit dem künftig das Flughafen vorfeld auf kleineren und mittleren Flughäfen abgesichert und energie- sowie kosteneffizienter betrieben werden kann. Mit diesem System werden Flugzeuge, Fahrzeuge und Personen so sicher detektiert, dass unabhängig von der Wetterlage und von den Sichtverhältnissen der Flugbetrieb gewährleistet ist. Künftig sollen auf Basis der Entwicklungsergebnisse Spezialfahrzeuge effizient und sicher eingesetzt, Standzeiten der Flugzeuge minimiert und die Verkehrssicherheit auf dem Vorfeld erhöht werden. Die Kompetenzen





Abbildung 1: Lokalisierungssystem für das Flughafenvorfeld (die Systemelemente sind nicht maßstabgerecht abgebildet). Fotos: IMMS.

des IMMS für drahtlose Sensornetzwerke sind in die intelligenten und energieoptimierten Sender eingeflossen, die zur Ortung von Fahrzeugen und Personen herangezogen werden. Die Flugzeugpositionen werden mit Hilfe von Spezialkameras von Honeywell aus Prag festgestellt und mit den Funkdaten verbunden. Die SMI GmbH war für die Antennenarrays und die Integration der Informationen in die Flughafensoftware verantwortlich. Der Flughafen Erfurt-Weimar stellte seine Infrastruktur, Personal und Testmöglichkeiten im realen Flugbetrieb zur Verfügung.

Für dieses Überwachungssystem ist die Ortung von Fahrzeugen und Personen auf dem Vorfeld ein zentraler Baustein. Hierfür hat das IMMS Sensorknoten entwickelt, die ein effizientes Energiemanagement beinhalten. Das ist notwendig, da gängige Ortungssysteme selbst Fahrzeugbatterien relativ schnell an ihre Leistungsgrenzen stoßen lassen. Jede Person und jedes Fahrzeug ist mit einem solchen Sensorknoten ausgestattet, einem aktiven Transponder. Dieser sendet periodisch Funkpakete aus, die von Empfängermodulen aufgenommen und erkannt werden. Die Module identifizieren darüber hinaus den Sender, stoßen den Lokalisierungsprozess an und geben die Daten an das übergeordnete System weiter. Das IMMS hat diese Empfängermodule entwickelt und Hardware- und Software-technisch an die Antennenarrays der SMI GmbH angeschlossen, die über die Berechnung des Signaleinfallswinkels die Lokalisierung für den betreffenden Sender ausführen. Durch die Richtungsinformationen von mehreren Antennenarrays wird die Position des Sensorknotens festgestellt und an das übergeordnete System für die Prozessoptimierung weitergegeben.

Entwicklung der Sensorknoten

Die Transponder sollten möglichst klein und handlich sein, da sie auch von Personen getragen werden. Zudem sollten sie über die gesamte Arbeitszeit eines Mitarbeiters funktionieren und ein einfaches Laden der Akkus ermöglichen. Für diese Anforderungen hat das IMMS einen neuen, sehr kompakten Funksensorknoten entwickelt. Aufgrund der vorgegebenen Maße des Transponders mussten entsprechend kleine Akkus verwendet werden, die allerdings die Laufzeit des Knotens verringern. Daher bildeten Lösungen für einen energieoptimierten Betrieb der Sensorknoten einen entscheidenden Schwerpunkt in dem Projekt.

Ein Problem beim Energiemanagement stellen die Teilkomponenten des Systems dar, wie z.B. Sensoren, Funkmodul und Messschaltungen. Da diese häufig fest mit der Stromversorgung verdrahtet sind, verbrauchen sie auch ununterbrochen Energie. Zwar haben die meisten Komponenten einen Ruhe- oder Stromsparmmodus, trotz alledem fließt permanent ein Ruhestrom. Das IMMS hat daher eine zusätzliche Kommunikation zwischen den Subsystemen eingeführt und damit zusätzliche Schalt- und Statusleitungen installiert. Um den Ladezustand der Akkus zu jeder Zeit auslesen zu können, wurde zudem ein spezieller Schalter mit Strombegrenzung verbaut, der die Messeinheit der Spannung ein- oder ausschaltet. Mit diesen Informationen und den Kennwerten des Akkus werden Ladezustand und die daraus resultierende Systemlaufzeit berechnet. Mit den genannten Hardware-Komponenten hat das IMMS das System für ein effizientes Energiemanagement so ausgelegt, dass es Teilkomponenten einzeln ausschaltet, wenn sie nicht benutzt werden. Darüber hinaus können dank des La-



Abbildung 2: Transponder auf der Ladestation. Foto: IMMS

dekonzepts auf der Basis des Qi-Standards¹ die Akkus der Sensorknoten drahtlos an gängigen Ladestationen geladen werden.

Neben geeigneter Hardwareinfrastruktur hat das IMMS Softwarekomponenten für ein intelligentes Energiemanagement entwickelt. Es basiert auf Kontextsensitivität. Die Kernidee ist, Informationen über die Umgebung zu gewinnen und das Verhalten des Systems darauf anzupassen. Generell entfällt der größte Anteil des Energieverbrauchs des Funksensorknotens auf die Funkkommunikation, das heißt auf den Versand der Lokalisierungspakete. Die Lokalisierungs- bzw. Paketsenderate sowie die Geschwindigkeit einer Person oder eines Fahrzeugs mit Transponder beeinflussen die Genauigkeit einer Lokalisierung. In manchen Fällen ist es jedoch nicht notwendig, die Position des Sensorknotens häufig neu zu bestimmen. Wenn sich zum Beispiel eine Person nicht bewegt, muss der betreffende Transponder nicht permanent senden. Umgekehrt muss ein sich schnell bewegendes Sensorknoten öfter Signale funken, um die geforderte Lokalisierungsgenauigkeit zu erreichen. Es ist demnach notwendig, die Geschwindigkeit eines Transponders bzw. dessen Entfernung vom letzten bekannten Standpunkt zu ermitteln. Hierfür wurden alle Sensorknoten mit inertialen Messeinheiten, einem 3D-Magnetometer, einem Beschleunigungssensor

und einem Drei-Achsen-Gyroskop ausgestattet. Deren Roh-Messdaten werden sensornah direkt auf dem Knoten verarbeitet. Anhand der Daten wird das Bewegungsprofil im dreidimensionalen Raum bestimmt und der Arbeitsmodus des Sensorknotens angepasst. Die durch Kontextsensitivität eingesparte Energie kann ggf. in kritischen Fällen eingesetzt werden, um die Lokalisierungsgenauigkeit² zu verbessern, was Abbildung 3 verdeutlicht. Um solche Entscheidungen zu treffen, bezieht das Energiemanagement-System auch die Information über die verfügbare Energie und die Laufzeit des Systems mit ein.

Erste Tests haben gezeigt, dass durch den Einsatz des intelligenten Energiemanagementsystems die durchschnittliche Lokalisierungsgenauigkeit bei Bedarf um bis zu 21,5% erhöht werden kann. Nach Tests des neuen Ortungssystems auf verschiedenen Flughäfen soll in Lviv, Ukraine, im Anschluss an das Projekt die Weiterentwicklung als Pilotprojekt durch die SMI GmbH installiert werden, für die die Arbeiten 2014 beginnen.

Das IMMS hat im Projekt sein Know-how im Hardwareentwurf und Energiemanagement weiter ausgebaut. Die Ergebnisse fließen direkt in Forschungs- und Entwicklungsprojekte wie GreenSense und sMobility ein, in denen die energetische Optimierung von Plattformen und das Design von energieautarken Lösungen Kernfragen darstellen. Zudem erweitern sie das Angebotsspektrum des Instituts für die Industrie auf diesem Gebiet.

Das Projekt „EFSUES – Energieeffizienzsteigerndes Flughafenvorfeld Steuer- und Überwachungs-System“ wurde durch den Freistaat Thüringen und die Europäische Union unter dem Kennzeichen TNA XI-3/2012 gefördert.

Kontakt:

Dipl.-Ing. Elena Chervakova,
elena.chervakova@imms.de

Literatur:

- 1 Barsukov, Y. Qian, J., "Battery Power Management for Portable Devices", Artech House, 2013
- 2 Zum Thema des Projekts hat das IMMS Beiträge veröffentlicht, vgl. Nr. 17 und 46 in der Publikationsliste von 2013 ab S. 51 ff.

Abbildung 3: Die grüne Linie zeigt den geforderten Mindestwert von 5 Metern für die durchschnittliche Lokalisierungsgenauigkeit herkömmlicher Systeme ohne Energiemanagement. Das Energiemanagementsystem verbessert die durchschnittliche Lokalisierungsgenauigkeit um 21,5% auf 3,9 Meter (blaue Linie) bei minimaler Aktivität. Grafik: IMMS.

