

REDES DE SENSORES INALÁMBRICOS EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICACIÓN

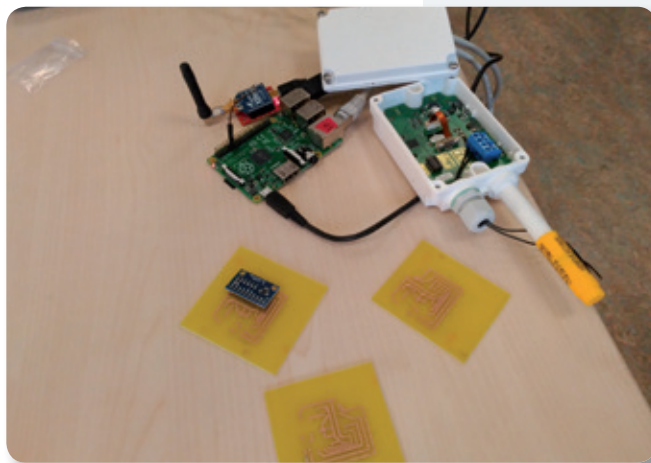
A PESAR DEL ALTO POTENCIAL QUE TIENEN LAS ESTRATEGIAS PASIVAS COMBINADAS CON SISTEMAS SOLARES RESPECTO AL AHORRO DE ENERGÍA EN EDIFICIOS, EL CONSUMO ENERGÉTICO EN EL ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO DE EDIFICIOS ES UNO DE LOS GRANDES PROBLEMAS ACTUALES DEL SECTOR ENERGÉTICO Y TIENE UNA FUERTE REPERCUSIÓN MEDIOAMBIENTAL. POR ELLO, DESDE HACE DÉCADAS EXISTE UN INTERÉS CRECIENTE POR PROMOVER LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA EDIFICACIÓN, LO QUE HA IMPULSADO LA INVESTIGACIÓN SOBRE ESTOS TEMAS.

Cabe mencionar como ejemplo las iniciativas internacionales en diferentes tareas en el marco de los programas ECBCS y SHC de la Agencia Internacional de la Energía (IEA), etc. En el ámbito de la normativa este interés también se ha plasmado en diferentes Directivas Europeas, y en la progresiva entrada en vigor de legislación al respecto (Código Técnico de la Edificación. Actualización del Documento Básico DB HE Ahorro de Energía. 2013). La implementación de la nueva directiva Europea EPBD 2010 hace necesario disponer de tecnologías que permitan conseguir edificios de energía casi cero y también métodos que permitan evaluar y caracterizar de forma fiable el comportamiento energético de componentes constructivos y edificios.

La mayor parte de la normativa actual referente a la calidad energética y al ahorro de energía en el acondicionamiento de los edificios se aplica en la fase de diseño, calculando el consumo energético teórico, generalmente mediante software de simulación térmica dinámica. Sin embargo, algunos estudios han demostrado que el comportamiento real tras la construcción del edificio puede desviarse significativamente de este comportamiento teórico. Hoy en día es manifiesta la necesidad de llevar a cabo ensayos y modelado detallado de edificios a escala real, que se ve acentuada por la integración de un amplio rango de tecnologías energéticas de bajo consumo.

La integración en edificios de elementos denominados inteligentes, tecnologías energéticas de bajo consumo y sistemas solares activos, pone de manifiesto cada vez más la necesidad de disponer de una caracterización adecuada y completa de los mismos a la hora de evaluar su comportamiento. Las actuaciones altamente costosas e intrusivas de cableado y albañilería de los sistemas convencionales de monitorización, son uno de los principales problemas que presenta la evaluación energética experimental de edificios en condiciones reales de uso. Por ello, supondría un gran avance poder disponer de un sistema de medida fiable que minimice estas medidas intrusivas.

En este aspecto, se observa muy necesario el desarrollo de un sistema de medida de alta calidad metrológica y no intrusivo, para la monitorización de la eficiencia energética en edificios construidos y en condiciones reales de uso, que permita integrar las medidas específicas referentes a elementos inteligentes, tecnologías energéticas de bajo consumo y sistemas solares activos integrados en los edificios. Este es el objetivo del proyecto de investigación que la Escuela de Ingeniería de Telecomunicación de la Universidad Rey Juan Carlos y



WIRELESS SENSOR NETWORKS IN ENERGY EFFICIENT CONSTRUCTION

DESPITE THE HIGH POTENTIAL OF PASSIVE STRATEGIES COMBINED WITH SOLAR SYSTEMS FOR SAVING ENERGY IN BUILDINGS, THE ENERGY CONSUMPTION OF THEIR TEMPERATURE CONTROL REQUIREMENTS IS ONE OF THE BIGGEST PROBLEMS FACING TODAY'S ENERGY SECTOR AS IT HAS SEVERE REPERCUSSIONS ON THE ENVIRONMENT. AS A RESULT, PAST DECADES HAVE SEEN A GROWING INTEREST IN PROMOTING ENERGY EFFICIENCY IN CONSTRUCTION, WHICH IN TURN HAS STIMULATED RESEARCH INTO THIS AREA.

One such example includes international initiatives on a range of projects that form part of the ECBCS and SHC programmes from the International Energy Agency (IEA). Within the framework of current regulations, this interest has also been demonstrated through various European Directives and in the gradual entry into force of legislation on this subject (Technical Building Code. Updated Basic DB HE Document on Energy Saving 2013). The implementation of the new European Directive, EPBD 2010, requires technologies to be available that can achieve nearly zero energy buildings as well as methods to reliably assess and profile the energy performance of constructive components and buildings.

The majority of current regulations that refer to energy quality and to energy saving in the temperature control of buildings apply to the design phase, calculating the theoretical energy consumption, usually by using dynamic thermal simulation software. However, some studies have revealed that the real performance following construction of the building can be significantly different to this theoretical performance. It is clear that testing and in-depth modelling of real-scale buildings has to be carried out, reinforced by integrating an extensive range of low consumption energy technologies.

The integration of so-called smart elements, low consumption energy technologies and active solar systems into buildings, increasingly demonstrates the need to have the appropriate full profile available when the time comes to assess performance. Very expensive and highly intrusive cabling and building works to install conventional monitoring systems present a major problem when carrying out experimental energy assessment activities in buildings that are under operating conditions. As such, access to a reliable measuring system that minimises these intrusive measures would represent real progress.

A high quality metrological and non-intrusive measuring system has to be developed to monitor the energy efficiency of constructed buildings that are under operating conditions. This system can actively integrate specific measures into buildings such as smart elements, low consumption energy technologies and solar systems. This is the aim of the OMEGA-CM research project currently being undertaken by the School of Telecommunication Engineering at the Universidad Rey Juan Carlos and the Centre for Energy, Environment and Technology Research (CIEMAT).

To achieve this objective, a monitoring system based on wireless sensor networks (WSN) is being

el CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas) llevan a cabo actualmente con el acrónimo de OMEGA-CM.

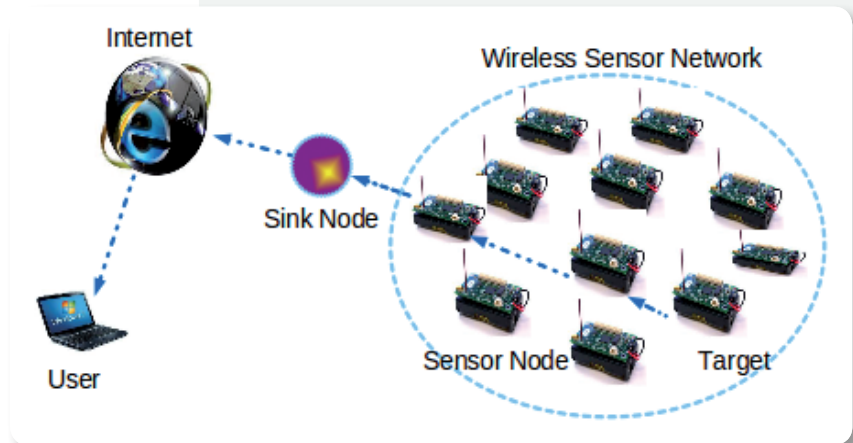
Para alcanzar este objetivo se está desarrollando un sistema de monitorización basado en redes de sensores inalámbricos (WSN), con aplicación a edificios que integren sistemas constructivos avanzados.

Las redes de sensores inalámbricos (WSN) son un tipo especial de redes que permiten su despliegue sin infraestructura previa, en cualquier momento y lugar y en una gran diversidad de aplicaciones, monitorizando parámetros físicos medibles, impuestos por la aplicación en cuestión. El número de dispositivos o nodos, de un tamaño de pocos cm², que conforman la red, puede variar entre unas pocas unidades a decenas de miles. Los dispositivos que forman estas WSN están compuestos de dos estructuras bien diferenciadas: una de sensado o monitorizado y otra de comunicaciones por radio. De igual forma poseen una estructura computacional no desdeñable, capaz de ser programada transformándolos así en nodos sensores inteligentes, las denominadas “smart motes”.

Esta red de sensores inalámbricos supone el desarrollo y validación de un marco de reconstrucción distribuida en WSN, escalable y resistente a fallos, en el estudio de la eficiencia energética en edificios. Los datos recogidos por la WSN son enviados a centros de fusión de datos (CFD), dispositivos con mayor capacidad computacional y memoria situados en una posición más accesible para su mantenimiento. Con esta información, un CFD deberá reconstruir un mapa completo de las variables medidas, tan preciso como se requiera en las especificaciones.

Las restricciones energéticas y de acceso múltiple del canal en la transmisión de los datos, así como la capacidad de computación de los nodos, recomienda, para disponer de un ciclo de vida amplio de la red, un procesamiento sencillo de los datos y su posterior envío a los CFD con la información mínima necesaria para la reconstrucción. De esta forma, se hace necesario el desarrollo de algoritmos de procesamiento distribuido de la medida, utilizando métodos punteros en este campo de investigación. La necesidad de auto-organización de las WSN masivas hace que los sistemas biológicos sean una inspiración a tener en cuenta en la proposición de arquitecturas de reconstrucción y detección distribuidas.

Este novedoso procedimiento distribuido que permite la auto-organización de una red de sensores inalámbricos está basado en la combinación de dos estrategias complementarias:



developed for application to buildings that incorporate advanced constructive systems.

WSN are special types of network that can be deployed with no prior infrastructure, anytime, anywhere and in a wide range of applications, monitoring measurable physical parameters as required by the application in question. The devices or nodes that make up the network occupy a space of just a few cm² and can vary from a few units to tens of thousands. The devices that comprise these WSN are made up of two completely different assemblies: one for sensing and monitoring and the other for radio communications. Similarly, they have a considerable computational structure that can be programmed thereby transforming them into smart sensor nodes, known as “smart motes”.

This wireless sensors network involves the development and validation of a scalable and failure resistant framework of distributed reconstruction in WSN, to study energy efficiency in buildings. The data gathered by the WSN is sent to data fusion centres (DFC), devices with greater computational capacity and memory that are located in a more accessible position to facilitate maintenance. With this information, a DFC can reconstruct a complete map of the different measures, with the accuracy required by the specifications.

To have access to an extensive network life cycle, the energy and multiple access restrictions of the data transmission channel, as well as the computation capacity of the nodes recommend simple data processing and its subsequent remittance to the DFCs with the minimum necessary information for the reconstruction. As a result, distributed processing algorithms of the measure have to be developed, using cutting-edge methods in this field of research. The need for massive WSN to self-organise means that biological systems need to be taken into account in the proposed structures for distributed reconstruction and identification.

This innovative distributed procedure that allows a WSN to self-organise is based on the combination of two complementary strategies:

- Creating a network hierarchy: dividing a network into groups of nodes, each group with a representative node.
- Intra-network processing: every treatment and algorithm applied to the data prior to leaving the sensors network, in other words, is a process undertaken by the nodes.

The basis of the abovementioned procedure is that an efficient division of the network into

- Jerarquización de la red: división de una red en grupos de nodos, cada grupo contando con un nodo representante.
- Procesado intra-red: todo el tratamiento y todos los algoritmos aplicados a los datos antes de abandonar la red de sensores, es decir, es un procesado realizado por los nodos.

La premisa del mencionado procedimiento es que una partición eficiente de la red en grupos de nodos se ha de basar en las características de los datos que estos miden. Por ejemplo, al monitorizar la temperatura en un área abierta, es de esperar que las medidas tomadas en sensores adyacentes estén muy relacionadas entre sí, por el simple hecho de estar cerca geográficamente. Además, también es de esperar que las medidas consecutivas tomadas por el mismo nodo estén muy relacionadas entre sí.

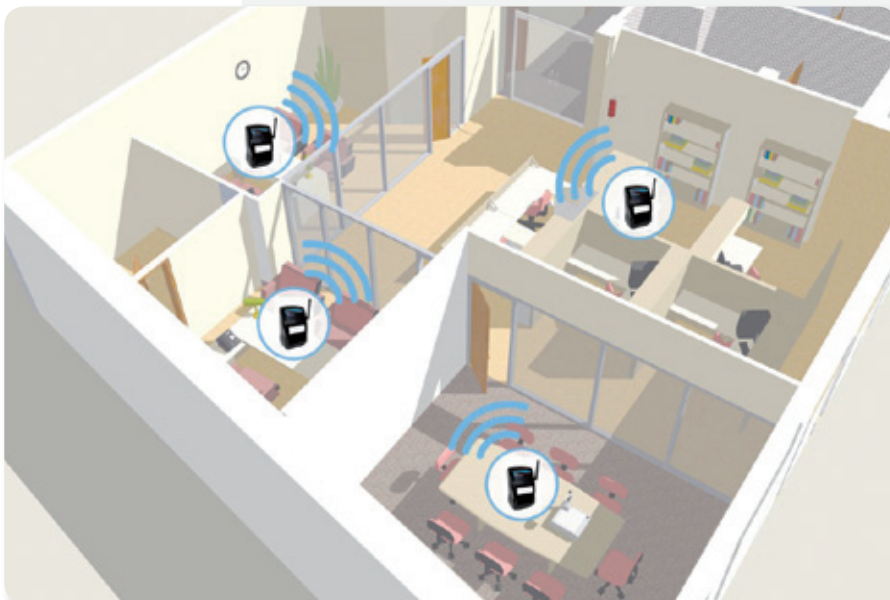
Estas características de los datos son conocidas como correlación espacial y temporal, respectivamente. Las medidas tienen correlación espacio-temporal si cumplen ambas propiedades.

Este procedimiento es distribuido, ya que se ha de implementar en cada nodo de forma independiente y no hay ningún elemento de la red que coordine su funcionamiento, dando como resultado una auto-organización completa de la red de sensores. Este procedimiento presenta además una carga computacional baja, ya que ha sido diseñado atendiendo a las altas restricciones de procesador y energéticas presentes en las redes de sensores inalámbricos de bajo coste.

Utilizado datos de temperatura ambiental exterior, recogidos por una red de sensores inalámbricos de gran escala desplegada en el campus de Lausana de la EPFL, se ha simulado el procedimiento propuesto y se han obtenido resultados muy prometedores, encontrándose que la partición de la red basada en las características de los datos se observa como la mejor opción, ya que los nodos se agrupan en función de las necesidades de cada zona. La validación de este procedimiento se ha realizado utilizando datos de temperatura de exteriores. Para realizar una calificación energética de edificios, se ha de validar también utilizando una base de datos “de interior” obtenida en un entorno más controlado.

Por último, un novedoso paradigma de muestreo, el Sensado Compresivo (CS) resulta de gran utilidad en la recuperación de la señal que se ve comprometida debido a los efectos de multitrayecto y ocultamiento, con la calidad necesaria, pudiendo utilizar también en esta recuperación, algoritmos de optimización convexa. Aunque existen iniciativas que abordan este problema, aún no se ha aplicado el paradigma de las WSN en este campo.

En definitiva, las WSN se observan como una tecnología altamente prometedora como elemento de medida de calidad y no intrusivo en la optimización del comportamiento energético de nuestros edificios, desde los más históricos hasta los actualmente denominados inteligentes.



groups of nodes has to be based on the characteristics of the data being measured. For example, by monitoring the temperature in an open area, the measurements taken by adjacent sensors are expected to be very closely inter-related, due to the simple fact that they are physically close together. Subsequent measurements taken by the same node are also expected to be closely interlinked. These data characteristics are known respectively as spatial and temporal coherence. The measurements have spatial-temporal coherence if they comply with both properties.

This procedure is distributed, as it has to be independently implemented in each node and there is no network element to coordinate its operation, resulting in the complete self-organisation of the sensors network. This procedure also offers a low computational load as it has been designed to take into account the high level of energy and processor restrictions existing in low cost wireless sensor networks.

Using outdoor ambient temperature data, gathered by a large-scale WSN deployed at the Lausanne campus of the EPFL research institute, a simulation of the proposed procedure has taken place, achieving very encouraging results. It has revealed that the network division based on the characteristics of the data is seen as the best option, as the nodes group together depending on the needs of each area. The validation of this procedure has to take place using outdoor temperature data. To carry out the energy certification of buildings, this also has to be validated by using an “indoor” database obtained within a more controlled environment.

Lastly, the innovative Compressive Sensor sampling model is extremely useful for recovering the signal that is affected by multi-path effects and occultation, with the necessary quality. Convex optimisation algorithms can also be used for this recovery. Despite the existence of initiatives that address this issue, the WSN model has still not been applied to this field.

In short, WSNs are seen as a highly promising technology as a means for quality and unobtrusive measurement to optimise energy performance in our buildings, from the most historic to today's smart constructions.



Julio Ramiro y *and* Antonio Caamaño

Universidad Rey Juan Carlos y Grupo CIEMAT Proyecto OMEGA-CM
Universidad Rey Juan Carlos and CIEMAT Group OMEGA-CM Project