

Projet de thèse

Le nom et le numéro de l'école doctorale

ED MathIF 336

Le nom et label de l'unité de recherche (ainsi que l'équipe interne)

LIP UMR 5668 - GRAAL

La localisation

ENS-Lyon

Le nom du directeur de thèse et du codirecteur s'il y a lieu

Bernard Tourancheau

L'adresse courriel du contact scientifique

Bernard.Tourancheau@ens-lyon.fr

Le titre de la thèse

Système de communication sans fil et de traitement distribué pour microcontrôleurs embarquant des capteurs afin de contrôler, calibrer, suivre et améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments

La description du projet

Le développement des réseaux dans les sociétés industrielles mène à une sorte de connexion permanente grâce aux réseaux sans fils. Après les PCs et les téléphones intelligents, les petits objets commencent à être interconnectés grâce au développement des microcontrôleurs et des "systèmes on chip". Dans ce contexte, cette thèse étudiera les systèmes de communication pour microcontrôleurs et plus particulièrement ceux embarquant des capteurs. Le besoin des réseaux de capteurs sans fils (WSN) croît très rapidement dans un large éventail d'applications industrielles. Parmi celles-ci, celles qui nous intéressent sont liées à l'observation et au suivi des données physiques et d'automatisation dans l'habitat. Par exemple, la domotique est souvent vue comme une augmentation de confort mais ce sera surtout à notre sens un moyen d'optimiser la maîtrise des dépenses énergétiques dans les bâtiments. En France, l'énergie dépensée dans l'habitat représente 42% de l'énergie brute consommée au niveau national, plus que la part industrielle ou des transports! Ainsi, en étudiant et en proposant de nouvelles solutions pour les WSN associés aux systèmes de simulation, de prévision et de contrôle de l'énergie dans l'habitat, nous pouvons participer à la mise en place d'économies d'énergie très intéressantes à la fois au plan environnemental et économique.

Dans cette thèse, notre objectif est de proposer un système de communication optimisé pour des microcontrôleurs sans fils déployés dans l'habitat afin d'obtenir une mise en place facile, robuste, pérenne et efficace des échanges de données. Un tel WSN sera utilisé par des applications de gestion d'économie d'énergie.

Permettre le déploiement de capteurs embarqués sur microcontrôleurs et leur communication dans un bâtiment implique plusieurs challenges. Le premier concerne le fait que les WSN sont réalisés à partir de ressources très contraintes en terme de communication, calcul et alimentation afin de garantir leur petite taille et leur faible coût. Le défi est de concevoir un système de communication qui pourra fonctionner sous ces contraintes pendant des années tout en acceptant les caractéristiques liées au taux de perte du média hertzien, à l'intermittence d'éveil des microcontrôleurs et aux effets extérieurs de l'environnement.

Par exemple, l'utilisation de communication radio entre capteurs facilite un déploiement rapide mais demande une approche très pointue des protocoles afin de contrôler la demande électrique sur les batteries du microcontrôleur. De plus, de nombreuses études sur les réseaux ad-hoc "homogènes" ont été réalisées mais un nouveau challenge est ici d'introduire de l'hétérogénéité, car l'architecture du réseau maillé pourra comprendre des passerelles moins contraintes mais en nombre plus limité que les microcontrôleurs. La transmission d'informations depuis (vers) le réseau ad-hoc vers (depuis) le traitement, stockage, service et usage via les passerelles introduira de

nouveaux compromis dont l'optimisation est à étudier.

Cette thèse proposera des modèles de graphes et d'ordonnancement des communications dans les WSN ainsi que des protocoles et systèmes de communication qui prendront avantage de la structure hétérogène du réseau maillé pour en optimiser les performances. Plus précisément, le thésard explorera d'une part les graphes en étoile hiérarchiques pour la représentation des WSN et la possibilité de découpler le média hertzien en sous-graphes indépendants et d'autre part les problématiques de collection et d'agrégation d'informations réparties, l'ordonnancement des communications collectives et l'association en ligne des traitements qui correspondent aux besoins des WSN dans le domaine de l'habitat. Le travail de recherche pourra débuter suivant le planning ci-dessous:

- bibliographie exhaustive
- proposition de modèles pour les WSN dans le cadre de la maîtrise des dépenses énergétiques d'un bâtiment
- développement d'une pile IPv6 adaptée au standard de communication hertzien 802.15.4 pour les réseaux ad-hoc de microcontrôleur sur la plateforme de l'équipe
- détermination des besoins en opérations collectives des classes d'application utilisant les WSN
- proposition d'ordonnancements optimisés pour un grand nombre de nœuds communiquant en opérations collectives
- amélioration du système de communication WSN en utilisant les propriétés des graphes modélisés et les ordonnancements conçus préalablement
- validation des propositions de routage, ordonnancement, traitements collectifs dans un environnement réel de WSN pour les économies d'énergie d'un bâtiment.

Les connaissances et compétences requises:

- architecture de microcontrôleur, capteurs,
- pile réseau, protocole IPv6, communications radio
- modèles de communication, systèmes de communication,
- ordonnancement, communications collectives
- bases de physique thermique, énergies renouvelables
- représentation et rendu des données, bâtiments passifs
- théorie des graphes, recherche opérationnelle
- simulation numérique, calcul parallèle et distribué

Projet de thèse en anglais -Title:

Communication and treatment system for wireless sensor networks embedded in microcontrollers - application for calibration, monitoring and energy efficiency improvement in buildings

Description of the thesis subject:

The development of networks in industrial societies is growing towards pervasive connection thanks to wireless technology. After PCs and smart phones, smaller electronic capacity objects start to be interconnected with the development of microcontrollers and System on Chips. In this context, the thesis will study the communication system of these small devices and especially the ones that are embedding sensors. The need for such wireless sensor networks (WSN) is rapidly growing in a wide range of industrial applications. Among those applications, the most noticeable are physical observations, monitoring of environment and natural phenomena as well as home automation and industrial tracking. For instance, home automation is often seen as a way to make the users' life more comfortable and easier but it can also be a way to optimize and therefore reduce the energy consumption in a house or a building. In France, energy spent in habitat and tertiary activities represent 42% of the whole raw energy consumption, more than the industry or transport parts. Thus, enabling such WSN monitoring systems that can help reducing energy consumption is of great environmental and economical interest.

In this thesis, our objective is to provide better communication system for wireless microcontroller networks in order to achieve easy to deploy, robust, long lasting, and efficient communications. Eventually, such WSN will run for energy savings applications. Enabling the sensors to be deployed on an existing location and making them communicating together induces several challenges. First of all, the WSN are built on very reduced resources in order to keep their size small and production cost low. So the challenge is to embed a communication system which can run for years and take into consideration the limited resources available as well as the lossy overall environment. For instance, using radio waves as a physical medium for the communications between sensors is somehow very useful to enable a fast deployment but it also require a very careful approach on the energy consumption of algorithms on such electronic devices. Moreover, if communication across some well-defined homogeneous devices is quite understood, it is a challenge to take into account the seldom more powerful nodes which can be described as a gateway in the meshed network. Transmitting the information from (respectively to) the ad-hoc network to (respectively from) the treatment, storage, service, and usage via the less constrained gateways may introduce new trade-offs.

This thesis will propose graph models and communication scheduling strategies in the WSN communication system protocols that will take advantage of the heterogeneous meshed WSN characteristics and properties for a better overall performance. More precisely, the researcher will have to explore the hierarchical star graph representing the WSN and the possibility

to segregate the wireless media in order to provide independent sub-graph as well as the data gathering, distribution, and other collective communication scheduling corresponding to the sensor application domains. The research work for this thesis will be divided into the following main steps:

- gather information on wireless sensors networks by an exhaustive bibliography study

- propose models for the WSN in the energy saving application context

- develop a modular IPv6 stack over the IEEE 802.15.4 standard wireless communication physical layer for ad-hoc networking from the prototype developed by the team

- determine the needs of different applications classes (home, medical, field, military, industrial process, supply chain, ...) in collective operations

- explore the possible scheduling benefit of having numerous devices following the same communication schema

- propose new ideas using graph properties and scheduling strategies to improve the communication system of WSN.

- validate of the proposed WSN routing, scheduling and data communication algorithms in a real environment application targeting energy saving in buildings for instance.

Required abilities and competences:

- microcontroller architecture, Sensor electronic,

- Network stack, IPv6 protocol, Radio based communications

- Communication models, Communication system, Scheduling, Collective communications

- Basic environmental physics, Data presentation and rendering

- Graph theory, Parallel and distributed computing, Operations research

Bibliographie:

6lowPAN RFCs from IETF

Telos, enabling ultra-low power wireless research, J. Polastre et al., Information Processing in Sensor Networks, IEEE, 2005.

Flexible Hardware Abstraction for Wireless Sensor Networks, V. Handziski et al., EWSN 2005.

A modular Network layer for Sensornets, C. Tieng Ee et al., OSDI, Usenix symposium 2006.

A review of Current Routing Protocols for Ad Hoc Mobile Wireless Networks, E. M. Royer et al., IEEE Personal Communication, 1999.

IPv6 Addressing Scheme and Self-configuration for Multi-hops Wireless Ad Hoc Network, G. Chelius et al., Information Networking, LNCS 3391/2005.

Low-coordination topologies for redundancy in sensor networks, R. Lyengar et al., MobiHoc, ACM 2005.

Challenges in Building a Flat-Bandwidth Memory Hierarchy for a Large-Scale Computer with Proximity Communication, R. J. Drost et al., HOTIC, IEEE 2005.

Robust Highly-Connected Direct Interconnection Network Topologies, I. Sharapov et al., PDPTA, CSREA Press 2003.

Recursive Hierarchical Fully- Connected Networks: A Class of Low-Degree Small-Diameter Interconnection Networks, C. H. Yeh, AAPP 1996.

Scheduling and data redistribution strategies on star platforms, L. Marchal et al., Euromicro Workshop on Parallel, Distributed and Network-based Processing, 2007.

A realistic network/application model for scheduling divisible loads on large-scale platforms, L. Marcha et al., IPDPS, 2005.

Efficient Block Cyclic Array Redistribution, L. Prylli et al., JPDC 1997.