



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de La Recherche Scientifique
Université Larbi Ben M'hidi, Oum El Bouaghi
Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées
Département de Génie Electrique
Année: Master I /ESE
Matière: Capteurs intelligents et MEMS



Annexe2 du chapitre2

1. Réseau de capteurs intelligents sans fil:

Un **réseau de capteurs sans fil** est un réseau ad hoc avec la plupart de nœuds qui sont des micro-capteurs capables de récolter et de transmettre des données environnementales d'une manière autonome. La position de ces nœuds n'est pas obligatoirement déterminée. Ils peuvent être aléatoirement dispersés dans une zone géographique, nommée «champ de captage» correspondant au terrain d'intérêt pour le phénomène capté.

En plus d'applications civiles, il existe des applications militaires aux réseaux de capteurs (détection d'intrusions, localisation de combattants, véhicules, armes, etc. sur un champ de bataille, sous l'eau, dans l'espace, dans le sol...)

1.1. Fonctionnement:

Les données captées par les nœuds sont acheminées grâce à un routage multi-saut à un nœud reconnu comme un "point de collecte", nommé nœud-puits (ou sink). Ce dernier peut être connecté à l'utilisateur du réseau (via Internet, un satellite ou un autre dispositif). L'utilisateur peut adresser des requêtes aux autres nœuds du réseau, précisant le type de données requises et récolter les données environnementales captées par le biais du nœud puits.

Les progrès conjoints de la microélectronique, microtechnique, des technologies de transmission sans fil et des applications logicielles ont permis de produire à coût raisonnable des micro-capteurs de quelques millimètres cubes de volume, susceptibles de fonctionner en réseaux. Il intègrent :

- Une unité de captage chargée de capter des grandeurs physiques (chaleur, humidité, vibrations, rayonnement...) et de les transformer en grandeurs numériques,
- Une unité de traitement informatique et de stockage de données et un module de transmission sans fil (wireless).

Ces micro-capteurs sont par conséquent de véritables systèmes embarqués. Le déploiement de plusieurs d'entre eux, en vue de collecter et transmettre des données environnementales vers

un ou plusieurs points de collecte, d'une manière autonome, forme un **réseau de capteurs sans fil** (Wireless Sensor Networks ou WSN pour les anglosaxons) [8,12].

1.2. Historique:

Jusque dans les années 1990, outre pour quelques balises radio, pour acheminer les données d'un capteur au contrôleur central il fallait un câblage coûteux et encombrant.

De nouveaux réseaux de capteurs sont apparus dans les années 1990, surtout dans les domaines de l'environnement et de l'industrie, permis par les récents progrès du domaine des techniques sans fil (wireless). Actuellement, grâce aux récents progrès des techniques sans fil, de nouveaux produits exploitant des réseaux de capteurs sans-fil sont employés pour récupérer ces données environnementales.

1.3. Enjeux:

Le réseau de capteurs sans fil est l'une des dix nouvelles technologies qui bouleverseront le monde et notre manière de vivre et de travailler. Il répond à l'émergence ces dernières décennies, de l'offre et d'un besoin accru d'observation et de contrôler des phénomènes physiques et biologiques dans différents domaines :

-Industriels, techniques et scientifique (monitoring de la température, la pression, l'hygrométrie, la luminosité...).

-Ecologie et environnement (surveillance des UV, de la radioactivité, de polluants tels que les HAP, les métaux lourds, ou de l'ozone ou du le NO_2 ou encore le CO_2 et d'autres gaz à effet de serre.

-Santé (suivi des malades, veille éco-épidémiologique et épidémiologique, sécurité.

-Transports (automatisations diverses, prévention des accidents...).

-L'automatisation des bâtiments domotique [13,14].

2. Architecture d'un nœud microcapteur:

Nous allons présenter ci- dessous l'architecture interne d'un microcapteur d'image très utilisé dans le domaine d'imagerie.

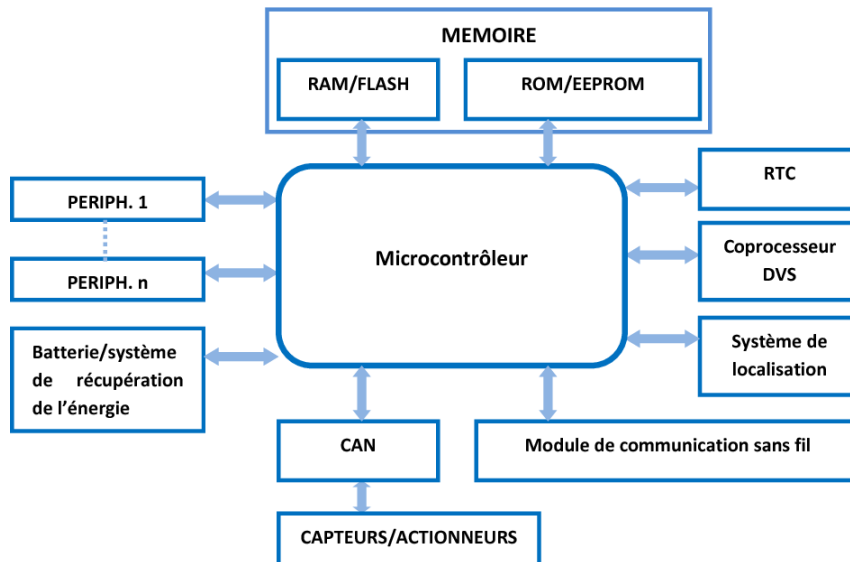


Figure1. Architecture interne d'un microcapteur d'image [8]

2.1. Microcontrôleur:

Le microcontrôleur représente le cœur du nœud du RCSF. Il reçoit les données provenant des capteurs, traite ces données, décide quand et où les envoyer et gère la commande des actionneurs (s'ils existent). Le microcontrôleur reçoit aussi des paquets en provenance des nœuds voisins, les analyse et répond à ces messages, si nécessaire. D'autres tâches plus complexes sont confiées au microcontrôleur telles que la gestion de la mémoire, la gestion de l'énergie (migrier du mode actif au mode veille ou veille prolongée et vice versa), ordonnancement des tâches, gestion des périphériques, etc. Les plateformes existantes de RCSFs utilisent une grande variété de microcontrôleurs à architectures différentes [8]. Nous vous présenterons ci-après les microcontrôleurs les plus employés par les constructeurs des RCSFs.

Parmi les microcontrôleurs les plus répondus, on trouve le MSP430 de Texas Instrument. Il s'agit d'un microcontrôleur 16 bits réputé pour sa faible consommation d'énergie. Le MSP430 est intégré dans de nombreuses plateformes de réseaux de capteurs telles que Telos, BSN, Waveniset eyesIFX. Deux familles de très faible consommation sont disponibles:

La famille des MSP430F1xx, ayant une puissance dynamique inférieure mais fonctionne à une cadence plus faible (ne dépasse pas 8 MHz), et la famille des MSP430F2xx qui peut atteindre une fréquence de fonctionnement de 16 MHz [7].

-Intel StrongARM est un processeur RISC 32 bits qui peut atteindre une fréquence de fonctionnement de 206 MHz, mais il est utilisé dans des applications nécessitant de traiter des flux importants de données (applications vidéos, applications temps-réel, etc.) [7,8].

-Atmel ATmega164P est un microcontrôleur RISC 8 bits. Il consomme presque 2 fois l'énergie consommée par le MSP430x2xx pour tous les modes de fonctionnement.

-Mica est un microcontrôleur universitaire asynchrone QDI 8bits CISC. Il a été conçu au laboratoire TIMA avec la collaboration de France Télécom R&D, et fabriqué par ST-

Microelectronics en technologie 0,25 μm avec une bibliothèque de cellules standards. Le microcontrôleur dispose d'un bus de données de 8 bits, un bus d'adressage de 16 bits, une mémoire RAM de 16 Ko, un ROM de 2 Ko et un périphérique permettant de gérer jusqu'à 6 ports parallèle de 8 bits et deux ports série. La consommation du microcontrôleur dépend de son mode de fonctionnement (varie de 0.8 mW sous 1 V à 77 mW sous 3.5 V) [7].

-Le Lutonium est un microcontrôleur universitaire 8051 asynchrone conçu en technologie asynchrone quasi-insensible aux délais au California Institute of Technology, et fabriqué en technologie CMOS0, 18 μm de TSMC. La consommation du microcontrôleur varie en fonction du mode de fonctionnement (de 0.17 mW sous 0.5 V à 100 mW sous 1.8 V) [11].

2.2. Convertisseur Analogique / Numérique (CAN) :

Un Convertisseur Analogique/Numérique (CAN) est nécessaire pour convertir les signaux analogiques provenant des capteurs en valeurs numériques exploitables par le microcontrôleur. Le choix d'un CAN dépend des besoins de l'utilisateur et des contraintes imposées par l'application (vitesse de conversion, coût du convertisseur, énergie consommée par conversion, surface occupée par le CAN, etc.) [8].

Les bénéfices en termes de réduction d'énergie des circuits asynchrones comparativement aux circuits synchrones ont poussé les chercheurs à concevoir des CAN asynchrones (un CAN asynchrone prend un échantillon uniquement lorsque la grandeur physique varie de plus d'un quantum d'amplitude de prédéfini) [7].

2.3. Horloge temps réel:

Elle utilise souvent un quartz piézoélectrique afin de conserver l'information de temps dans le système. Les protocoles de communication se servent de l'horloge temps réel pour avoir une heure commune entre les nœuds (synchroniser les hôtes entre eux). Cette horloge peut aussi servir au système logiciel en tant que Timer pour réveiller le microcontrôleur à des dates bien précises. Comme cette partie matérielle est active en permanence, sa consommation énergétique doit donc être faible pour avoir une longue durée de vie du nœud. La consommation typique des horloges temps réel est de quelques centaines de nano-ampères, ce qui rend sa consommation comparable aux consommations en veille des autres blocs fonctionnels du nœud [7].

2.4. Module de communication sans fil:

Ce bloc représente la partie matérielle qui consomme le plus d'énergie. Le module de communication sans fil peut être un émetteur/récepteur optique ou à ultrasons, mais généralement il s'agit d'un émetteur/récepteur radio qui utilise principalement l'une des 3 bandes ISM (Industriel, Scientifique et Medical) suivantes: la bande des 400 MHz, la bande des 900 MHz et la bande des 2.4 GHz [7,11]. Plusieurs travaux de recherche ont permis de réduire la consommation du module radio afin de prolonger la durée de vie du nœud capteur. La plupart de ces études ont visé la réduction du phénomène de l'écoute passive ou l'écoute inutile; mais malgré cela, la consommation due à ce phénomène reste importante (la consommation lors de l'écoute passive est du même ordre de grandeur que celle due à l'émission et la réception de données).

2.5. Système de localisation:

Un capteur n'est utile que si une information relative à sa localisation géographique est fournie. Le GPS (Global Positioning System) est le système de localisation le plus connu et utilisé au niveau mondial. D'autres systèmes de géolocalisation existent; parmi lesquels on cite le système russe GLONASS, le système IRNSS indien, le système Beidou développé par la Chine et le système de localisation européen Galileo. Le principe général de ces technologies se décrit comme suit: lorsqu'un module de localisation demande sa position, chaque satellite lui communique ses coordonnées et la distance qui le sépare de lui. Au moins 3 satellites sont nécessaires pour une localisation dans un espace à deux dimensions, alors qu'au moins 4 satellites le sont pour un espace à trois dimensions [7,11].

2.6. Capteurs/actionneurs:

L'unité de détection contient un ou plusieurs capteurs embarqués sur le nœud. Ces capteurs transforment le ou les grandeurs physiques observées (pression, température, humidité, vitesse, mouvement, etc.) en grandeur électrique (tension électrique, intensité, train d'impulsions, etc.). Certaines plateformes de réseaux de capteurs sont composées de nœuds équipés d'actionneurs. Un actionneur permet de convertir une énergie d'entrée (généralement une énergie électrique dans le cas des RCSFs) en une énergie de sortie (généralement un signal électrique de commande) utilisable pour commander ou contrôler un processus (par exemple déclencher une alarme suite à un incendie) [11].

2.7. Mémoires:

Les nœuds capteurs sont équipés de plusieurs mémoires de type RAM (Random Access Memory), ROM (Read Only Memory), EEPROM ou flash. La mémoire de programme permet de sauvegarder la suite des instructions du ou des programmes à exécuter par le nœud [8]. La mémoire de données permet le stockage des données à traiter par le nœud capteur. Une mémoire de configuration est figée au sein du nœud (généralement de type ROM ou EEPROM), elle maintient les données de configuration nécessaires au bon fonctionnement de l'ensemble des blocs fonctionnels de l'hôte. La taille et le type de ces mémoires varient en fonction de la plateforme utilisée.

2.8. Coprocesseur DVS:

La technique DVS (Dynamic Voltage Scaling), ou adaptation dynamique en tension, permet de contrôler efficacement la vitesse du microcontrôleur afin d'optimiser la consommation d'énergie. La technique permet de ralentir le processeur (lorsque cela est possible) en abaissant la tension d'alimentation. En effet, dans un circuit CMOS, l'énergie consommée est proportionnelle au carré de la tension d'alimentation alors que la vitesse du microcontrôleur varie linéairement en fonction de cette tension. Ainsi, une faible diminution de la tension V_{dd} ralentit faiblement le circuit mais permet de réduire de manière importante la consommation énergétique [7].

2.9. Batterie / système de récupération de l'énergie:

Les nœuds disposent d'une batterie d'alimentation comme source principale d'énergie. Certaines plateformes utilisent des systèmes de récupération de l'énergie de l'environnement.

L'utilisation des matériaux piézoélectriques est le moyen de récupération de l'énergie le plus adéquat pour les nœuds de RCSFs [8].

3. Architectures Réseau de capteurs:

Il existe plusieurs topologies pour les réseaux à communication radio. Nous donnons ci-dessous des topologies applicables aux réseaux de capteurs.

3.1. La Topologie en étoile:

Dans cette topologie une station de base envoie ou reçoit un message via un certain nombre de nœuds. Ces nœuds peuvent uniquement envoyer ou recevoir un message de l'unique station de base, il ne leur est pas permis de s'échanger des messages.

Avantage : simplicité et faible consommation d'énergie des nœuds, moindre latence de communication entre les nœuds et la station de base.

Inconvénient : la station de base est vulnérable, car tout le réseau est géré par un seul nœud [1,2,4].

3.2. La topologie «en toile» ou «en grille» (Mesh Network):

Dans ce cas (dit «communication multi-sauts»), tout nœud peut échanger avec n'importe quel autre nœud du réseau (s'il est à portée de transmission). Un nœud voulant transmettre un message à un autre nœud hors de sa portée de transmission, peut utiliser un nœud intermédiaire pour envoyer son message au nœud destinataire.

Avantage : Possibilité de passer à l'échelle du réseau, avec redondance et tolérance aux fautes,

Inconvénient : Une consommation d'énergie plus importante est induite par la communication multi-sauts. Une latence est créée par le passage des messages des nœuds par plusieurs autres avant d'arriver à la station de base [4].

3.3. La topologie hybride:

Une topologie hybride entre celle en étoile et en grille apporte des communications réseau robustes et diverses, en assurant la minimisation de la consommation d'énergie dans les réseaux de capteurs. Dans ce type de topologie, les nœuds capteur autonome en énergie ne routent pas les messages, mais il y a d'autres nœuds qui ont la possibilité de faire le routage des messages. Généralement, ces nœuds disposent d'une source d'énergie externe.

Les stations de base forment une topologie en toile et les nœuds autour d'elles sont en topologie étoile. Elle assure la minimisation d'énergie dans les réseaux de capteurs (Figure2) [4,12].

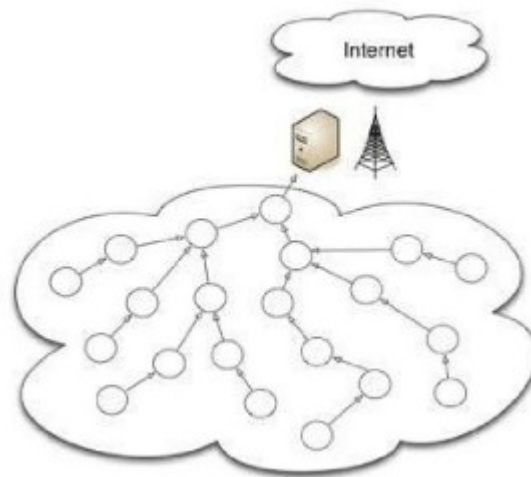


Figure2.Topologie hybride d'un réseau de capteurs intelligents sans fil [12]

Références bibliographiques:

1. Aurélien Buhrig, Optimisation de la consommation des nœuds de réseaux de capteurs sans fil, thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, Avril 2008.
2. Changsu Suh, Zeeshan Hameed Mir, Young-Bae Ko. Design and implementation of enhanced IEEE 802.15.4 for supporting multimedia service in Wireless Sensor Networks. Elsevier, Computer Networks, 2008; 52:2568-2581.
3. Antoine Gallais, Ordonnancement d'activité dans les réseaux de capteurs: l'exemple de la couverture de surface, thèse de doctorat, Université des sciences et technologies de Lille, Juin 2007.
4. Ludovic Samper, Modélisations et analyses de réseaux de capteurs, thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, Avril 2008.
5. Cristian Duran-Faundez, Transmission d'images sur les réseaux de capteurs sans fil sous la contrainte de l'énergie, thèse de doctorat, Université Henri Poincaré, Centre de Recherche en Automatique de Nancy, Juin 2009.
6. Clément Saad, Quelques contributions dans les réseaux de capteurs sans fil, thèse de doctorat, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, Juillet 2008.
7. Lin, Y.-L., Kyung, C.-M., Yasuura, H., Liu, Y., Smart Sensors and Systems.
8. Ian R. Sintclair, Sensors and transducers, Newnes, 2001.
9. M. Bayart, B. Conrard, A. Chovin, M. Robert, Capteurs et actionneurs intelligents, 2005.
10. Julian W. Gardner, Vijay K. Varadan, Osama O. Awadelkarim, Microsensors, MEMS, and Smart Devices Hardcover, 2001.
11. Randy Frank, Understanding Smart Sensors, 2nd ed. Edition, Artech House.

12. M. R. Yuce, "Implementation of wireless body area networks for healthcare systems", *Sensors and Actuators A*, vol. 162, pp. 116–129, 2010.
13. Patwari, J. Ash, S. Kyperountas, I. Hero, A.O., R. Moses, and N. Correal, "Locating the nodes : cooperative localization in wireless sensor networks", *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 22, pp. 54–9, jul. 2005.
14. S.N Pakzad, G.L Fennes, S Kim & D.E Culler (2008), "Design and implementation of scalable wireless sensor network for structural monitoring", *Journal of Infrastructure Systems*, vol. 14, pp. 89–101.
15. Mekkaoui Leila, Vincent Lecuire, Moureaux. Jean-Mari, Efficacité énergétique d'une DCT zonale rapide dans le contexte de la compression d'image dans les réseaux de capteurs sans fil (2010), *Compression et représentation des signaux audiovisuels, CORESA 2010*, 117-121.