

Les réseaux de capteurs sans fil

Rahim Kacimi

IRIT-UPS
kacimi@irit.fr



STRI 2012-2013



Les réseaux de capteurs sans fil

1 / 76

Organisation du cours

- ▷ Prérequis: architecture des réseaux, réseaux sans fil (ad-hoc, ...)
- ▷ Forme d'enseignement: Leçons (4h) + TPs (2h)
- ▷ Forme du contrôle: Contrôle écrit



Les réseaux de capteurs sans fil

3 / 76

Plan

1 Introduction

2 Sur les capteurs

3 Sur les réseaux de capteurs sans fil

4 Applications

5 802.15.4/ZigBee

6 Références



Les réseaux de capteurs sans fil

2 / 76

Plan

1 Introduction

2 Sur les capteurs

3 Sur les réseaux de capteurs sans fil

4 Applications

5 802.15.4/ZigBee

6 Références



Les réseaux de capteurs sans fil

4 / 76

Avant-propos

« Hier, on cantonnait les capteurs au simple rôle de détecteur : température, fumée, intrusion... On leur demande maintenant de relever plusieurs informations, de communiquer entre eux, et même d'analyser leurs données. »

– Pierre Maslo, I



Plan

1 Introduction

2 Sur les capteurs

3 Sur les réseaux de capteurs sans fil

4 Applications

5 802.15.4/ZigBee

6 Références



Introduction

- Les récentes avancées dans le monde de la micro-électronique et des technologies sans-fil ont permis de développer des capteurs de petite taille, dotés de capacités de traitement et de modes de communication sans-fil.



- **Réseaux de capteurs sans fil ou WSN (Wireless Sensor Networks)** : *Un nouveau paradigme informatique fondé sur les efforts collaboratifs d'un ensemble très large de capteurs s'auto-organisant.*



Architecture générale et caractéristiques d'un capteur

Qu'est ce qu'un capteur?

C'est un équipement qui mesure une grandeur physique.

► Un "capteur" :

- ▷ Capte toujours.
- ▷ Petit/Se trouve en grande nombre.
- ▷ Limité en énergie.
- ▷ Capable de calculer.
- ▷ Communicant.



Architecture générale et caractéristiques d'un capteur

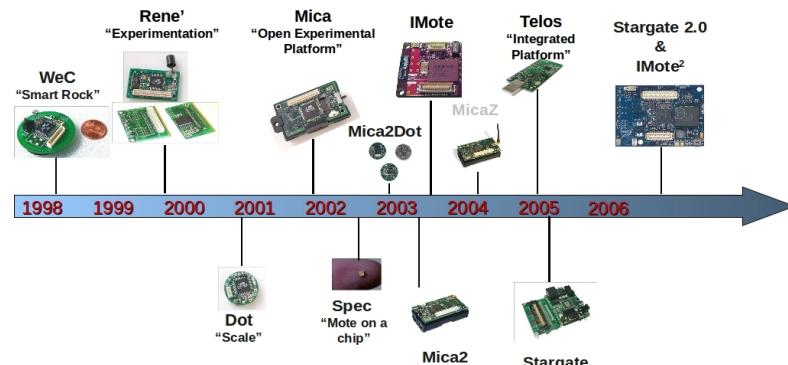
Processor/Radio Board	MPR300CB
Speed	4 MHz
Flash	128K bytes
SRAM	4K bytes
EEPROM	4K bytes
Radio Frequency	2.4 GHz, 916MHz or 433MHz
Data Rate	40 kbits/sec
Power	0.75 mW
Radio Range	100 feet
Power	2 x AA batteries; Solar Energy



- ▶ Autres caractéristiques : Nouvelles capacités (communication et calcul), Surdimensionnement (résistance aux pannes), Traitement des données en temps réel, Auto-organisation, Efficacité au niveau matériel (Consommation, coût, capacité de calcul), Déploiement aléatoire.

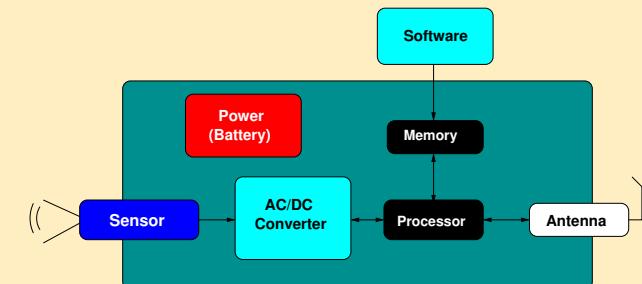


Les "motes" de capteurs à travers le temps



Architecture générale et caractéristiques d'un capteur

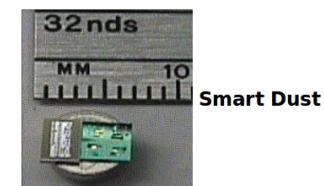
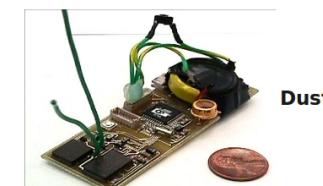
Architecture hardware de base



- ▶ Detection
- ▶ Stockage
- ▶ Calcul
- ▶ Communication
- ▶ Energie



Exemples de nœuds capteurs 1/2



Rockwell WINS



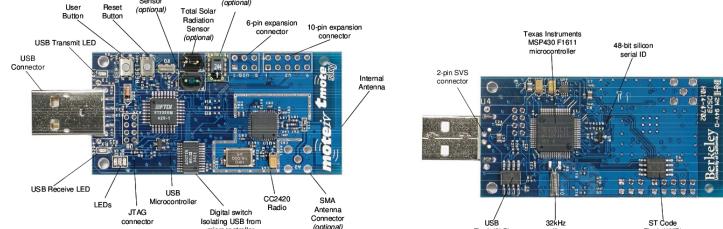
JPL Sensor Webs



Exemples de nœuds capteurs 2/2

Rene Mote**Dot Mote****MICA Mote****weC Mote**

Caractéristiques d'un capteur (Ex: TmoteSky) 1/3



Plateformes actuelles

► Imote (2003) et Imote2 (2009) :

- ▷ Puissance supérieure de calcul.
- ▷ Bluetooth & 802.11 possibles (Imote2 seulement).
- ▷ Plus de capacités de traitement => forte intensité énergétique.
- ▷ 802.11 possible.



► Stargate (2005) et Stargate 2.0 (en dev.) :

- ▷ Processeur de classe Pentium.
- ▷ Linux OS => Développement facile (C/C++)



Caractéristiques d'un capteur (Ex: TmoteSky) 2/3

- 250kbps 2.4GHz IEEE 802.15.4 Chipcon Wireless Transceiver
- Interoperability with other IEEE 802.15.4 devices
- 8MHz Texas Instruments MSP430 microcontroller (10k RAM, 48k Flash)
- Integrated ADC, DAC, Supply Voltage Supervisor, and DMA Controller
- Integrated onboard antenna with 50m range indoors/125m range outdoors
- Optional Integrated Humidity, Temperature, and Light sensors
- Ultra low current consumption

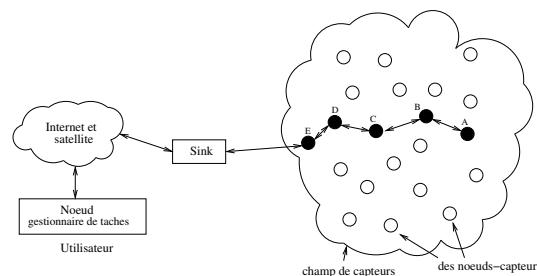


Caractéristiques d'un capteur (Ex: TmoteSky) 3/3

- ▶ Fast wakeup from sleep ($< 6\mu s$)
- ▶ Hardware link-layer encryption and authentication
- ▶ Programming and data collection via USB
- ▶ 16-pin expansion support and optional SMA antenna connector
- ▶ TinyOS support : mesh networking and communication implementation
- ▶ FCC modular certification : conforms to all US and Canada regulations



Architecture des réseaux de capteurs sans fil (WSNs¹)



I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam and E. Cayirci,
Wireless Sensor Networks: A Survey.
In: Computer Networks (Elsevier) Journal, March 2002.



¹Wireless Sensor Networks

Plan

1 Introduction

2 Sur les capteurs

3 Sur les réseaux de capteurs sans fil

4 Applications

5 802.15.4/ZigBee

6 Références



Caractéristiques des réseaux de capteurs

- ▶ Applications :
- ▶ Militaire, environnement, santé, domotique, exploration spatiale, Traitement chimique, volcans, mines, catastrophes et désastres, ...
- ▶ Types de capteurs :
- ▶ Sismiques, échantillonnage magnétique, thermique, visuel, infrarouge, acoustique, Radar, ...
- ▶ Tâches de capteurs :
- ▶ Température, humidité, circulation (mouvement) de véhicules, conditions de foudre, niveaux de bruit, la présence ou absence de certains types d'objets, caractéristiques actuelles (Vitesse, direction, taille) d'un objet ...



Caractéristiques des réseaux de capteurs

- ▶ Très grand nombre de nœuds, souvent de l'ordre de milliers.
- ▶ Les nœuds doivent être proches les uns des autres.
- ▶ Les densités aussi élevées que 20 nodes/m³.
- ▶ Débit (flux) asymétrique de l'information, des capteurs au puits.
- ▶ Les communications sont déclenchées par des requêtes ou des événements.
- ▶ Quantité limitée d'énergie (dans de nombreuses applications, il est impossible de remplacer ou recharger).
- ▶ Généralement, topologie statique.
- ▶ Faible **coût**, taille et poids par nœud.
- ▶ Sujets à des défaillances.
- ▶ Plus d'utilisation des communications avec diffusion au lieu du point à point.
- ▶ Les nœuds ne disposent pas d'un ID global tel que l'adresse IP.
- ▶ La sécurité, tant sur le niveau physique ou le niveau communication, est

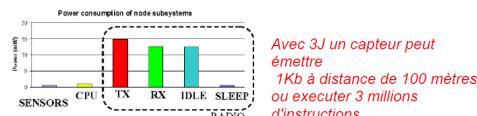


Les réseaux de capteurs sans fil

21 / 76

Critères de performances

- ▶ Tolérance aux pannes.
- ▶ Connectivité de réseaux très denses.
- ▶ Autonomes : auto-organisation, auto-configuration, ...
- ▶ **Faible consommation d'énergie.**



Les réseaux de capteurs sans fil

23 / 76

Définitions avec les réseaux Ad Hoc

- ▶ Nombre de nœuds peut être de plusieurs ordres de grandeur plus élevé.
- ▶ Nœuds densément déployés et sujets aux défaillances.
- ▶ Topologie d'un WSN peut changer fréquemment en raison des défaillances et la mobilité des nœuds.
- ▶ De fortes contraintes : limitations en énergie, en capacités de calcul et en mémoire.
- ▶ La pile protocolaire TCP/IP complète est trop lourde.
- ▶ Elle est très dépendante des applications visées.



Les réseaux de capteurs sans fil

22 / 76

Caractéristiques Générales (applicatives)

- ▶ COLLECTE PERIODIQUE DE DONNEES :
 - ▷ Mesures périodiques envoyées vers un centre
 - ▷ Traitement assuré par ce centre
 - ▷ Mesures significatives imposent des positions connues + réseau stable + grand nombre de capteurs
 - ▷ Routage stable (tables pré-calculées dans la phase de déploiement) ; arbre
 - ▷ Les nœuds les plus proches du collecteur sont plus chargés
 - ▷ Les nœuds basculent (aussi souvent que possible) dans l'état endormi



Les réseaux de capteurs sans fil

24 / 76

Caractéristiques Générales (applicatives)

► SUPERVISION ORIENTEE PAR EVENEMENT :

- ▷ Evénement = Changement brutal à rapporter au collecteur
- ▷ Grand nombre de capteurs, Topologie stable
- ▷ Fortement lié au délai
- ▷ Les nœuds sont en permanence éveillés
- ▷ Défaillance des nœuds à surveiller

Caractéristiques Générales (applicatives)

► POURSUITE DE CIBLE :

- ▷ Cible Mobile + capteurs fixes
Ou
- ▷ Cible et capteurs Mobiles
- ▷ La poursuite peut se faire de manière périodique en interrogeant les capteurs OU bien en émettant des alarmes à partir des capteurs
- ▷ La topologie peut donc bouger ET les routes changer.



Plan

1 Introduction

2 Sur les capteurs

3 Sur les réseaux de capteurs sans fil

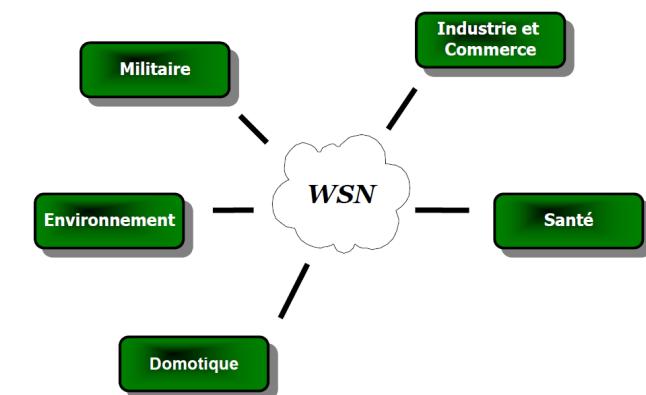
4 Applications

5 802.15.4/ZigBee

6 Références



Domaines d'application



Application Militaires

Commandes, Contrôle, Communications, Calcul, Intelligence, Surveillance, Reconnaissance, "Tracking" de cible.

- ▶ Monitoring friendly forces, equipment and ammunition
- ▶ Battlefield surveillance
- ▶ Reconnaissance of opposing forces and terrain
- ▶ Targeting
- ▶ Battle damage assessment
- ▶ Nuclear, Biological and Chemical (NBC) attack detection and reconnaissance



Environmental Applications

- ▶ Tracking the movements of birds, small animals, and insects
- ▶ Monitoring environmental conditions that affect crops and livestock
- ▶ Irrigation
- ▶ Earth monitoring and planetary exploration
- ▶ Chemical/biological detection
- ▶ Biological, Earth, and environmental monitoring in marine, soil, and atmospheric contexts
- ▶ Meteorological or geophysical research
- ▶ Pollution study.
- ▶ Precision agriculture.
- ▶ Biocomplexity mapping of the environment.
- ▶ Flood detection, and Forest fire detection.



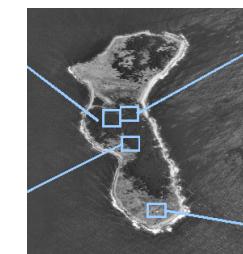
Further Military Applications

- ▶ Intrusion detection (mine fields)
- ▶ Detection of firing gun (small arms) location
- ▶ Chemical (biological) attack detection
- ▶ Targeting and target tracking systems
- ▶ Enhanced navigation systems
- ▶ Battle damage assessment system
- ▶ Enhanced logistics systems



Habitat Monitoring

<http://www.greatduckisland.net> Great Duck Island in Maine



Habitat Monitoring

- ▶ Approx. 200 nodes including MICA, MICA2, burrow nodes (with IR) and weather station nodes
- ▶ Motes detect light, barometric pressure, relative humidity and temperature conditions.
- ▶ An infrared heat sensor detects whether the nest is occupied by a seabird, and whether the bird has company.
- ▶ Motes within the burrows send readings out to a single gateway sensor above ground, which then wirelessly relays collected information to a laptop computer at a lighthouse (350 feet).
- ▶ The laptop, also powered by photovoltaic cells, connects to the Internet via satellite.
- ▶ Computer at base-station logs data and maintains database



Jardins Botaniques de Huntington



Sensor Web pod 15 at Huntington Botanical Gardens is covered in mud from nearby watering and has had an antenna chewed on by a small animal

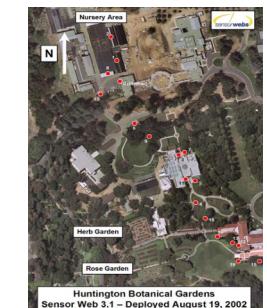
- ▶ La détection de conditions sèches par un Sensor-Web pourrait automatiquement mettre en marche les gicleurs.
- ▶ Si les "pods" utilisent des capteurs mesurant la pression atmosphérique, Sensor Web pourrait analyser la lumière et les niveaux de pression barométrique pour prévoir que la pluie est imminente, en décidant, après tout, de ne pas utiliser les gicleurs.
- ▶ Deux plantes de même nature et âge nécessitent différentes quantités d'eau en raison des conditions du sol.



Jardins Botaniques de Huntington - Sensor Web 3.1

<http://sensorwebs.jpl.nasa.gov/>

- ▶ Chaque "pod" mesure le niveau de lumière, la température de l'air et l'humidité, avec des mesures optionnelles de température et humidité du sol.
- ▶ e.g., correlation des conditions du sol avec la lumière locale et la température, il est possible de déduire les effets des pluies dans un domaine spécifique.



Monitoring des crapauds

<http://www.cse.unsw.edu.au/sensar/research/projects/cane-toads/>

- ▶ University of New South Wales, Sydney, Australie.
- ▶ "Monitoring" des crapauds dans le parc national de Kakadu, Northern Territory, Australie.
- ▶ Crapauds (*Bufo marinus*) - introduits pour contrôler les ravageurs du sucre en Australie, il y a environ 70 ans.



Fig. 1. The picture of cane toad and the map of cane toads' distribution in Australia.



Monitoring des crapauds

► Application réseaux de capteurs sans fil, acoustiques.

- ▷ Le but est d'utiliser la reconnaissance automatique des voix des animaux pour détecter l'existence de crapauds.
- ▷ Un défaut applicatif car cela nécessite une fréquence d'échantillonnage acoustique élevée, traitement du signal complexe et détection sur une vaste zone de couverture.

► Exigences :

- ▷ Fréquence élevée d'échantillonnage acoustique.
- ▷ Traitement du signal complexe.
- ▷ Vaste couverture de détection.



Firebug

- Firebug - mote/fireboard.
- Mote - Crossbow MICA board.
- Fireboard - Crossbow MTS420CA.
 - ▷ Capteur de température et d'humidité.
 - ▷ Capteur de pression barométrique.
 - ▷ GPS.
 - ▷ Accéléromètre.
 - ▷ Capteur d'intensité lumineuse.



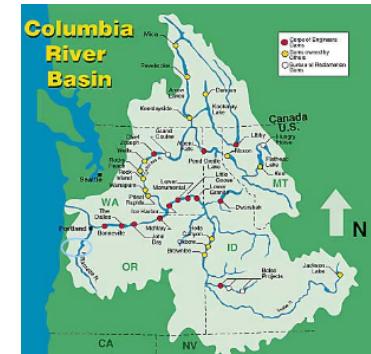
Détection des feux de forêts : Firebug

<http://firebug.sourceforge.net/>

- Conception et mise en œuvre d'un système pour la détection des feux de forêts avec des capteurs en réseau.
- Réseau de capteurs sans fil, thermiques et intégrant des GPS.
- Le réseau FireBug est auto-organisant, autoconfigurable.



Observation et système de prévision pour le fleuve Columbia.



Applications de la santé

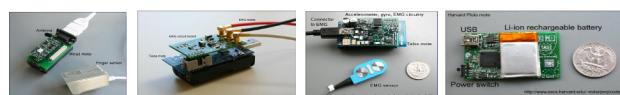
- ▶ Fournir des interfaces d'aide aux handicapés.
- ▶ Monitoring intégré des patients.
- ▶ Diagnostique.
- ▶ Telesurveillance des données physiologiques de l'humain.
- ▶ "Tracker" et superviser les médecins et les patients dans l'hôpital, et
- ▶ Administration des médicaments dans les hôpitaux.



CodeBlue: WSNs for Medical Care

▶ Hardware :

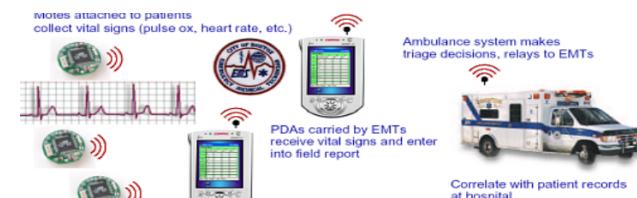
- ▷ Petits capteurs portables.
- ▷ Oxymètre de pulsations sans fil/EKG.
- ▷ Fondé sur des plateformes Mica2, MicaZ et Telos.
- ▷ Carte personnalisée avec un capteur oxymètre ou un circuit EKG.
- ▷ Pluto mote :
 - ▷ Version réduite de Telos.
 - ▷ Batterie rechargeable Li-ion.
 - ▷ Petit connecteur USB.
 - ▷ Accéléromètre 3 axes.



CodeBlue: WSNs for Medical Care

<http://www.eecs.harvard.edu/ mdw/proj/codeblue/>

- ▶ NSF, NIH, U.S. Army, Sun Microsystems et Microsoft Corporation.
- ▶ Motivations : données des signes vitaux mal intégrées avec les dossiers de soins pré-hospitaliers et hospitaliers des patients.



CodeBlue: WSNs for Medical Care

Hardware

- ▶ CodeBlue : infrastructure logicielle évolutive pour dispositifs médicaux sans fil.
 - ▷ Routage, nommage, Discovery et sécurité.
 - ▷ MoteTrack - localisation de chaque dispositif de patient à l'intérieur et à l'extérieur.
- ▶ Fréquence cardiaque (HR), Saturation en oxygène (SpO2), suivi des données ECG (EKG).
- ▶ Relayé sur une courte portée (100m).
- ▶ Dispositifs de réception : PDA, ordinateurs portables ou des terminaux d'ambulance.
- ▶ Les données peuvent être affichées en temps réel et intégrées dans le dossier du patient.
- ▶ Peut être programmé pour traiter les données (signes vitaux) et fournir des alertes.



Activités de recherche TéSA lab.

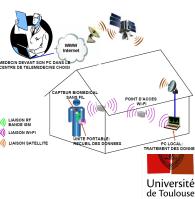
▶ Réseaux de capteurs pour la santé (health-care monitoring)^a

- ▷ Proposition d'une architecture de capteurs hétérogènes pour la surveillance et la sécurité des personnes âgées.
- ▷ Mise en place d'un prototype (imote2 de crossbow).



▶ Fiabilité des liaisons radio dans les applications de télémédecine^b

- ▷ Qualité de Service et fiabilisation des liens de communication entre les dispositifs implantés sur le patient et la machine distante du clinicien.
- ▷ Réflexion sur les critères de performance pour les différentes liaisons utilisées : délai et taux de pertes de paquets.



^aCollaboration TéSA, LATTIS-Blagnac, travail soumis à IEEE Globecom'10.

^bSuite du projet OURSES, TéSA, travail soumis à IEEE HealthCom'10.

Les routes intelligentes

- ▶ Surveillance du trafic, détection d'accidents, assistance et secours.
- ▶ Recherche de places de parking vides dans la ville, sans interroger un serveur (car-to-car communication).
- ▶ "Tracking" de véhicule et détection.



Plus Applications

- ▶ Supervision de la qualité des produits.
- ▶ Construction des maisons intelligentes.
- ▶ Construction des espaces de bureaux.
- ▶ Jeux interactifs.
- ▶ Supervision des zones de désastres.
- ▶ Espaces intelligents.
- ▶ Diagnostique de machines.
- ▶ Musées interactifs.
- ▶ Contrôle et gestion des stocks.
- ▶ Contrôle environnemental dans les immeubles de bureaux.



DISASTER RELIEF OPERATIONS

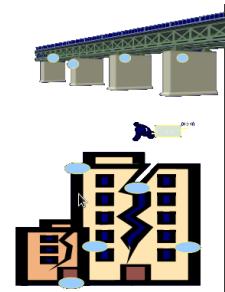
- ▶ Drop sensor nodes from an aircraft over a WILDFIRE
 - ▷ Each node measures temperature
 - ▷ Derive a "temperature map"
- ▶ Schools detect airborne toxins at low concentrations, trace contaminant transport to source
- ▶ Earthquake-rubble building infiltrated with robots and sensors: locate survivors, evaluate structural damage



Bâtiments (ou Ponts)

► High-rise buildings self-detect structural faults

- Reduce energy wastage by proper humidity, ventilation, air conditioning (HVAC) control
- Needs measurements about room occupancy, temperature, air flow, ...
- Monitor mechanical stress after earthquakes



Underground Wireless Sensor Networks



I.F. Akyildiz and Erich Stuntebeck,

Wireless Underground Wireless Sensor Networks: Research Challenges.
In: Ad Hoc Networks (Elsevier) Journal, Nov 2007.



Plus d'applications !

► Facilités des opérations de management.

- ▷ Détection d'intrusion dans les sites industriels.
- ▷ Contrôle des fuites dans les usines chimiques, ...

► Entretien, surveillance de machines, prévention, ...

- ▷ Intégrer des fonctions de contrôle et de détection dans des endroits où le câble n'a pas précédé.
- ▷ Par exemple, surveillance de la pression des pneus :)



Underground Wireless Sensor Networks

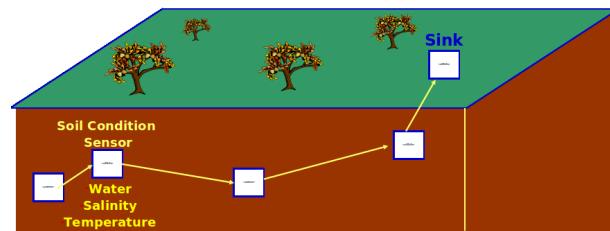
Applications:

- Surveillance de l'état des sols.
- Communication vocale dans les environnements souterrains (grottes, mines).
- Surveillance sismique.
- Parcours de golf.
- Terrains de baseball, de soccer, ...
- Localisation de personnes dans un immeuble effondré.
- Surveillance des structures (capteurs dans les poutres).
- Patrouille des frontières.



Underground Wireless Sensor Networks

Example: Soil monitoring:



Underground Wireless Sensor Networks

Research Challenges:

- Extremely Lossy Environment
- Dynamic Channel Environment
- Power Constraints
- Low data rate



UNDERWATER SENSOR NETWORKS



I.F. Akyildiz, D. Pompili, T. Melodia

Underwater Acoustic Sensor Networks: Research Challenges.
In: Ad Hoc Networks (Elsevier) Journal, March 2005.



UNDERWATER SENSOR NETWORKS

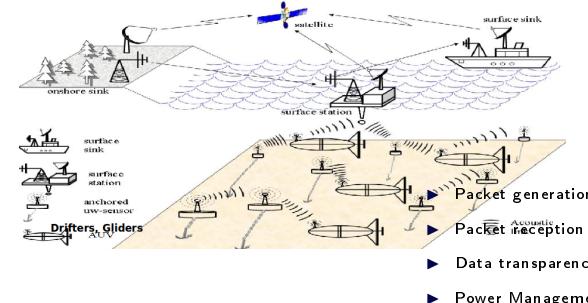
Applications:

- Ocean Sampling Networks
- Pollution Monitoring and other environmental monitoring (chemical, biological)
- Buoys alert swimmers to dangerous bacterial levels
- Disaster Prevention
- Assisted Navigation
- Distributed Tactical Surveillance
- Mine Reconnaissance



UNDERWATER SENSOR NETWORKS

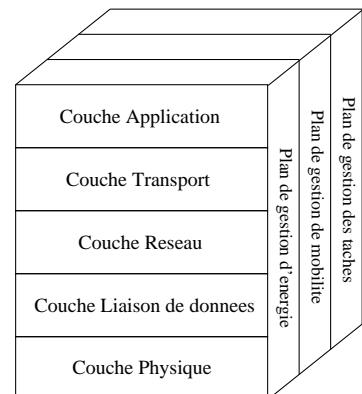
3D DYNAMIC Architecture using AUVs



Les réseaux de capteurs sans fil

57 / 76

Architecture protocolaire d'un réseau de capteurs



Les réseaux de capteurs sans fil

59 / 76

UNDERWATER SENSOR NETWORKS

Ocean Sampling Sensors



Spread Spectrum Modem – Precision Marine Geodetic Systems – Acoustic Transponders
<http://www.dspcomm.com/> – <http://www.link-quest.com>



Les réseaux de capteurs sans fil

58 / 76

Plan

1 Introduction

2 Sur les capteurs

3 Sur les réseaux de capteurs sans fil

4 Applications

5 802.15.4/ZigBee

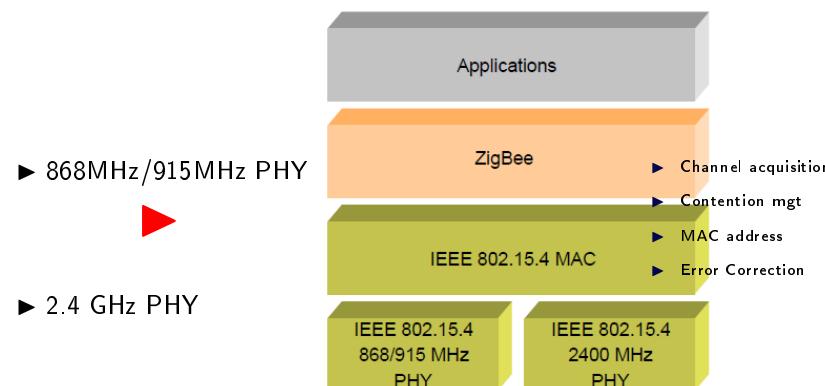
6 Références



Les réseaux de capteurs sans fil

60 / 76

Architecture 802.15.4/ZigBee



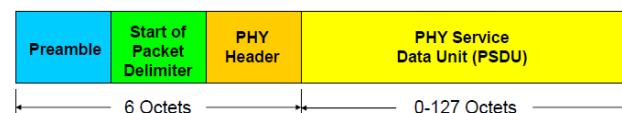
Les réseaux de capteurs sans fil 61 / 76

IEEE 802.15.4 PHY

Structure PDU

PHY PDU

- Préambule (32 bits) –synchronisation
- Délimiteur de début de PDU (8 bits)
- PHY Header (8 bits) –longueur PSDU
- PSDU (0 à 1016 bits) –Données

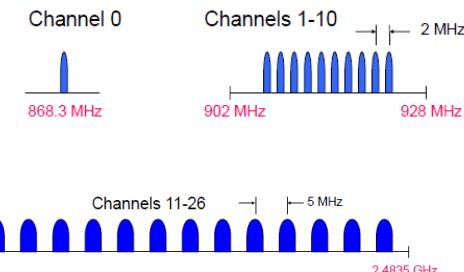


Les réseaux de capteurs sans fil

63 / 76

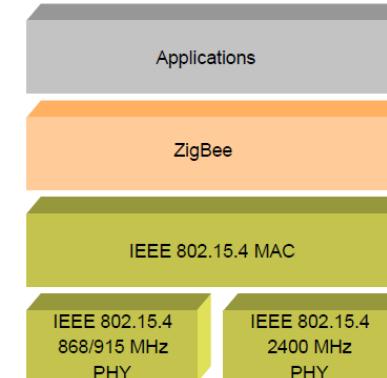
IEEE 802.15.4 PHY

- 16 canaux dans la bande 2.4GHz ISM: Industrial, Scientific, Medical
- 10 canaux dans la bande 915MHz ISM
- 1 canal dans la bande 868MHz (en Europe).



Les réseaux de capteurs sans fil 62 / 76

Architecture 802.15.4/ZigBee



Les réseaux de capteurs sans fil

64 / 76

IEEE 802.15.4 MAC

- ▶ Très faible coût
- ▶ Facile à implanter
- ▶ Transfert de données fiable
- ▶ Courte portée
- ▶ Très faible consommation électrique

Protocole simple mais flexible



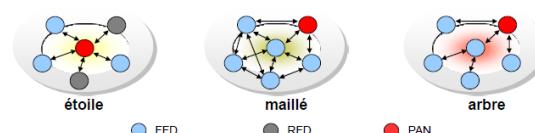
IEEE 802.15.4 MAC

Topologies de réseaux classiques

Deux mode d'implantation, Deux dispositifs

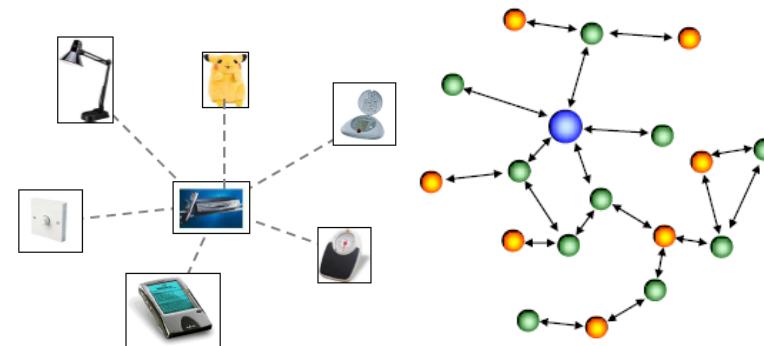
- ▶ Full Function Device (FFD)
 - Coordinateur ou nœud simple
 - Peut former n'importe quelle topologie
 - Peut communiquer avec n'importe quel nœud
- ▶ Reduced Function Device (RFD)
 - Nœud simple, soit source ou destination
 - Topologie en étoile seulement
 - Peut communiquer uniquement avec le coordinateur du réseau

Trois Topologies



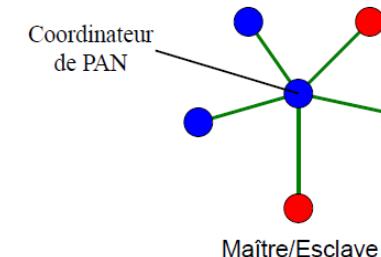
IEEE 802.15.4 MAC

Topologies de réseaux classiques



IEEE 802.15.4 MAC

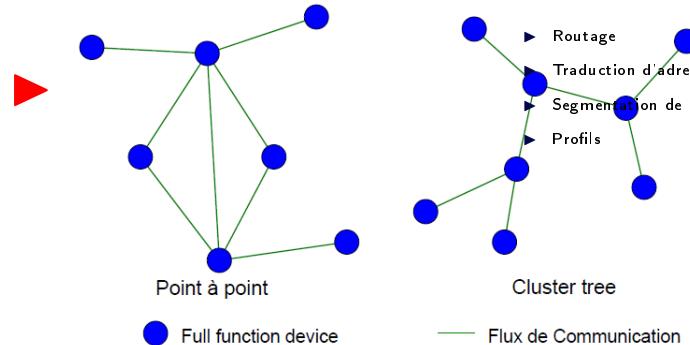
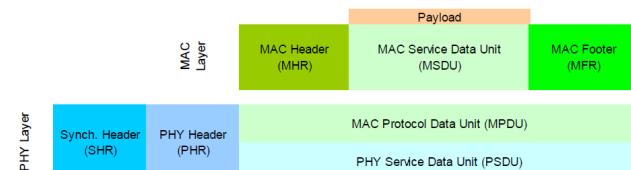
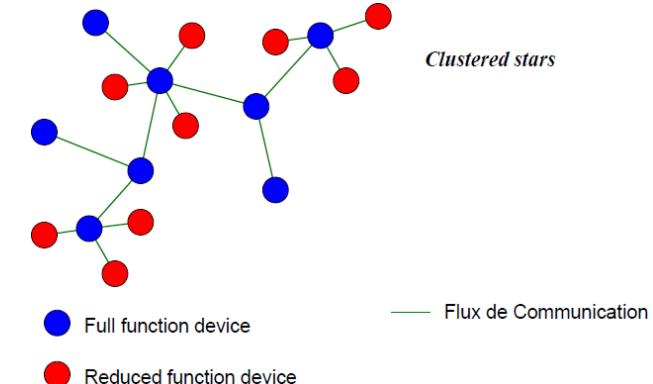
Topologie en étoile



- Full function device
- Reduced function device

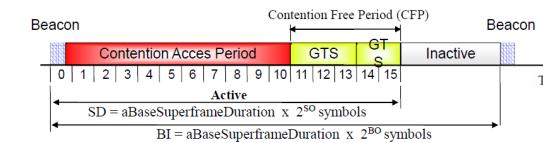
— Flux de communications



IEEE 802.15.4 MAC**Topologie pair-à-pair****IEEE 802.15.4 MAC****Structure Générale de la trame****IEEE 802.15.4 MAC****Topologie hybride****IEEE 802.15.4 MAC****Méthodes d'accès au canal**

Deux modes d'accès au canal : avec ou sans balise.

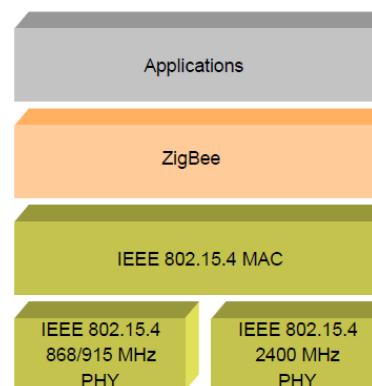
- Dans le mode sans balise, le protocole est un simple CSMA/CA, nécessitant une constante réception d'éventuelles données entrantes.
- L'économie d'énergie est fournie dans le mode avec balise.
- Le mode avec balise définit une structure de supertrame.



Structure de la supertrame IEEE 802.15.4



Architecture 802.15.4/ZigBee



Les réseaux de capteurs sans fil

73 / 76

Plan

1 Introduction

2 Sur les capteurs

3 Sur les réseaux de capteurs sans fil

4 Applications

5 802.15.4/ZigBee

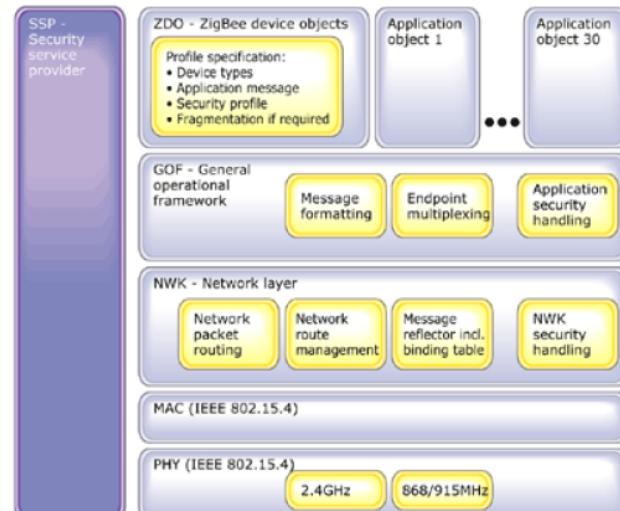
6 Références



Les réseaux de capteurs sans fil

75 / 76

Architecture 802.15.4/ZigBee



Les réseaux de capteurs sans fil

74 / 76

Références

Ian F. Akyildiz, Mehmet Can Vuran.

Wireless Sensor Networks.
Wiley, 2010.

Holger Karl and Andreas Willig.

Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks.
Wiley, 2005.

Bhaskar Krishnamachari.

Networking Wireless Sensors.
Cambridge University Press, 2005.



Les réseaux de capteurs sans fil

76 / 76