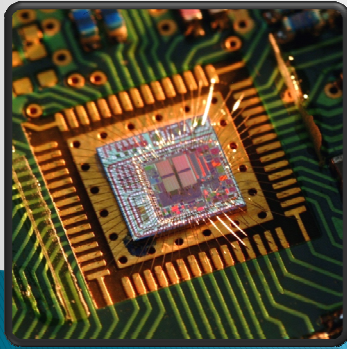


## An Ultralow Power Wireless Sensor Network Solution

-- By *Christian C. Enz, Amre El-Hoiydi, Jean-Dominique  
Decotignie, Vincent Peiris*



# WiseNET

## Introduction

- ▶ Défi des réseaux de senseurs actuels :
  - Autonomie énergétique
- ▶ Objectif
  - Durée de vie : 2 à 7 ans
  - Une seule pile alcaline 1,5V-AA
    - Consommation moyenne en puissance : Entre 10 et 100  $\mu$ W.
- ▶ Problème
  - Radios émetteurs/récepteurs non adaptés
  - Optimisation de la pile réseau nécessaire

## Introduction

- ▶ Solution : WiseNET (SCEM)
  - Radio émetteur/récepteur optimisé
  - WiseMAC :
    - Protocole MAC basse consommation
    - Conçu pour les réseaux de senseurs sans-fils.
  - System On-Chip design (SOC)
  
- ➔ Consommation divisée par 100 par rapport aux systèmes actuels !!!

## Consommation d'énergie

- ▶ Nœuds « endormis » jusqu'à exécution d'une tâche.
  - Comment communiquer avec un nœud endormi ?
  
- ▶ Nécessité d'éliminer les pertes d'énergies par :
  - Idle listening
  - Overemitting
  - Overhearing
  - Collisions
  
- ▶ Optimisation nécessaire de la couche MAC
  - ➔ WiseMAC

## Consommation d'énergie

- ▶ Exemple de problèmes :
  - Un nœud doit envoyer des informations
    - Le destinataire est « endormi »
  - Un nœud a besoin d'informations
    - Deux solutions :
      - Envoi de requêtes jusqu'au réveil de la source
      - Rester éveillé jusqu'à transmission de ces informations

→ Inacceptable pour l'autonomie prévue

## WiseNET / WiseMAC

» Un protocole MAC optimisé

## WiseMAC – Principe

- ▶ Impossibilité d'écouter constamment le médium
  - CSMA Non-persistent
    - Ecoute périodique du médium (Période  $T_w$ )
    - Ecoute = mesurer l'intensité du signal reçu
  - Technique de Preamble-sampling
- ▶ Comportement des nœuds :
  - Médium *idle*
  - Médium *busy*

## WiseMAC – Preamble sampling

- ▶ Idée : Ajouter un préambule devant toutes les trames émises
  - Préambule de durée  $T_w$  (au moins)
  - But : s'assurer que le récepteur est actif
  - Problèmes :
    - Taille du préambule non optimisée
    - Consommation élevée d'énergie
    - Overhearing



## WiseMAC – Preamble sampling

- ▶ Optimisation :
  - Apprendre le moment d'écoute des nœuds proches
    - Contenu dans les ACK
    - Stocké au niveau de chaque nœud
    - Mise à jour dynamique
  - Préambule court :  $T_p = \min(4\theta L, T_w)$ 
    - $\theta$  : Incertitude sur la fréquence d'oscillation du quartz
    - $L$  : Intervalle entre deux communications
  - Préambule centré autour du point d'écoute du récepteur → Envoi à  $L - T_p/2$

## WiseMAC – Preamble sampling

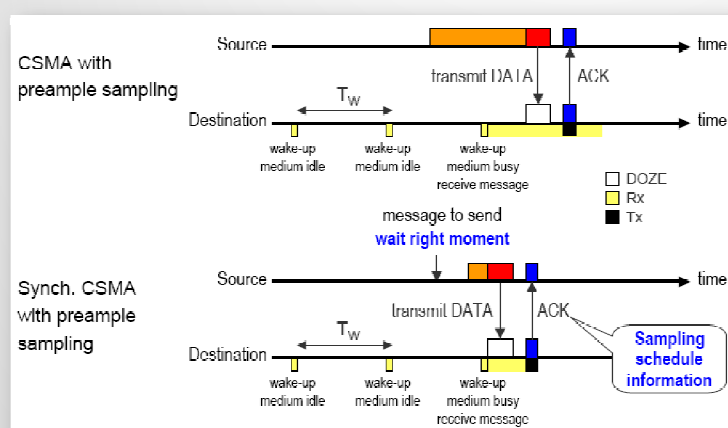


Figure 1. WiseMAC (Source : SCEN)

## WiseMAC – Preamble sampling

- ▶ Adaptabilité au trafic
  - Trafic élevé
    - Préambule court
    - Moins d'overhearing
  - Trafic faible
    - Préambule plus long
    - Probabilité plus élevée d'overhearing
    - Faible consommation d'énergie

## WiseMAC – Fonctionnalités

- ▶ Préambule de réservation
  - Si émissions simultanées vers un concentrateur
    - Collisions → inacceptable
  - Chaque nœud envoie un préambule de réservation
    - Le plus long démarre la transmission
- ▶ Fragmentation
  - *more* bit dans le header
    - Si positionné → Il reste des paquets à transmettre
  - Récepteur
    - Ecoute tant que *more* bit positionné
  - Permet aussi le groupement des paquets

## WiseMAC – Performance

- ▶ Topologie en treillis
  - 40 mètres entre chaque nœuds
  - 8 nœuds à portée d'un nœud
  
- ▶ Intêret
  - Comportement du protocole MAC seulement
  - Pas de routage
  - Pas de répartition de charge
  - Pas d'agrégation de trafic

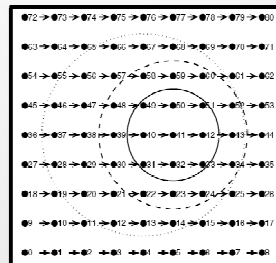
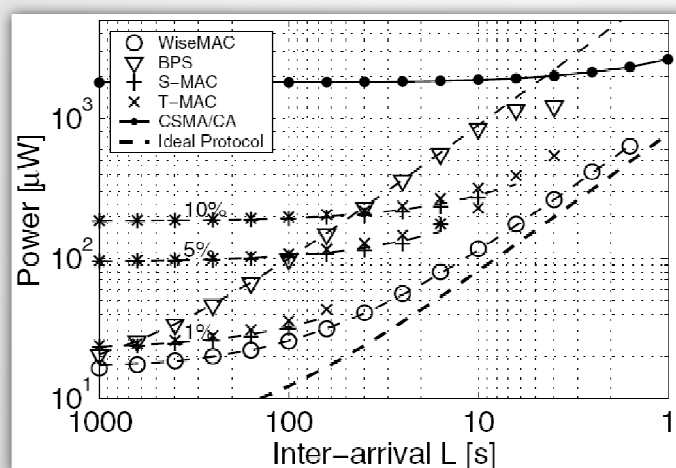


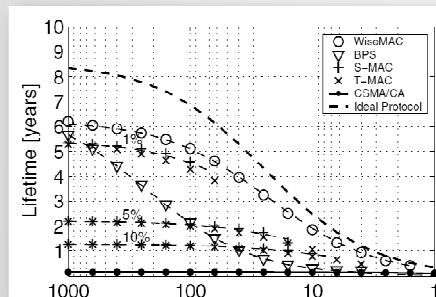
Figure 2. Topologie en treillis

## WiseMAC – Performance

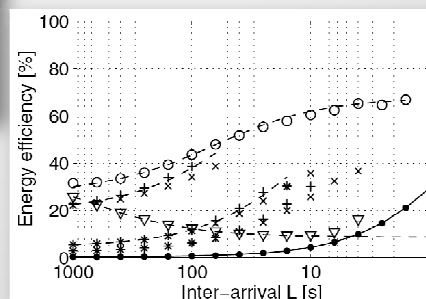


Graphique 1. Puissance consommée en fonction de la fréquence d'arrivée des données  
(Source : WiseMAC: An Ultra Low Power MAC Protocol for Multi-hop wireless Sensor Networks – SCEM)

## WiseMAC – Performance



Graphique 2. Durée de vie en fonction de la fréquence d'arrivée des données.



Graphique 3. Efficacité en énergie en fonction de la fréquence d'arrivée des données.

Département TC – CTR – WiseNET 18/12/2006

15

## WiseMAC – Performance

- ▶ Topologie aléatoire
  - 90 nœuds
  - Aire : 300m x 300m
  - Routage : Algorithme de Dijkstra
  - Lignes noir : Arbre de poids minimum

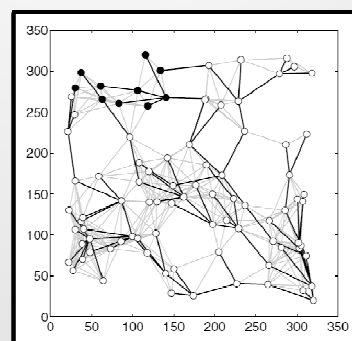
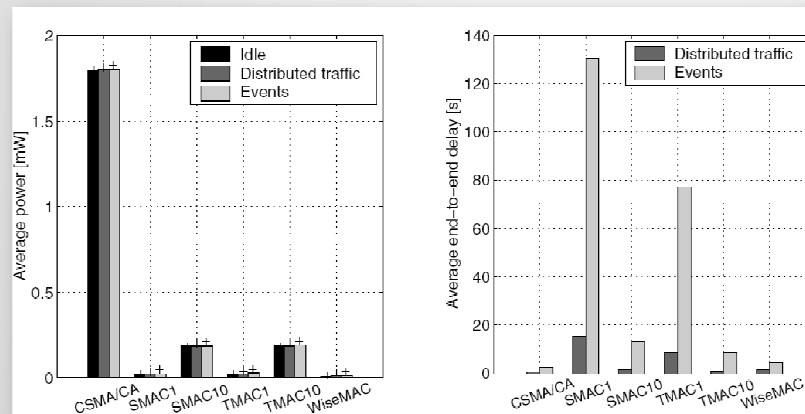


Figure 3. Topologie aléatoire

Département TC – CTR – WiseNET 18/12/2006

16

## WiseMAC – Performance



Graphique 4. Puissance moyenne et délai de bout-en-bout pour les protocoles CSMA/CA, S-MAC, T-MAC et WiseMAC en fonction du type de trafic

## WiseMAC – Synthèse

- ▶ Simplicité extrême de déploiement
  - Aucune signalisation
  - Aucune configuration
  - Aucune synchronisation
  - Un seul paramètre
    - Période  $T_w$
- ▶ Performances
  - Faible trafic : Consommation très réduite
  - Fort trafic : Très bonne efficacité en énergie

## WiseNET / Radio

» Un émetteur conçu pour WiseMAC

## Radio émetteur/récepteur

- ▶ Plusieurs choix opérés :
  - Puissance d'émission élevée
    - Maximum autorisé : 10 dBm (European 434-MHz ISM)
    - Raison : les nœuds transmettent rarement
  - Présence d'un RSSI (Receive Signal Strength Indicator)
    - Améliore la détection de trames
    - Supprime « l'idle listening » avec un détecteur de silence

## Radio émetteur/récepteur

- Système radio double bande
  - 434-MHz ISM / 868 Mhz SRD
  - SRD : Short Range Devices
  - Limite la consommation du bloc radio
  - Supprime le problème des interférences
  
- Réduire la consommation d'énergie et le temps de transition entres modes (Idle, réception, émission)
  - Un nœud ne peut pas recevoir ou émettre tant que sa consommation n'est pas adaptée

## Architecture WiseNET

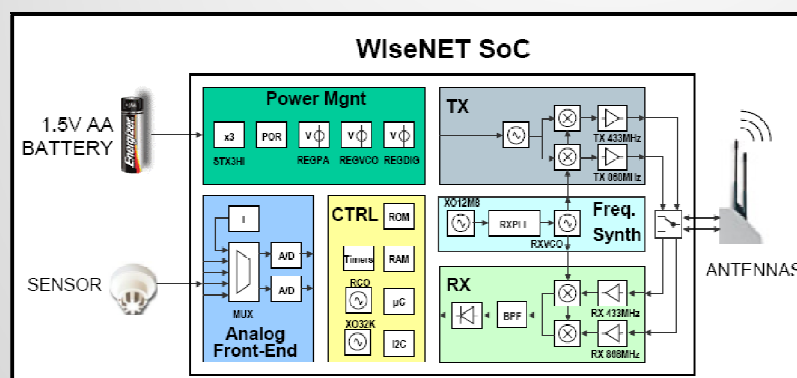


Figure 4. Generic WiseNET SoC building blocks  
(Source : WiseNET: An Ultralow Power Wireless Sensor Network Solution – SCEM)

## Consommation de puissance

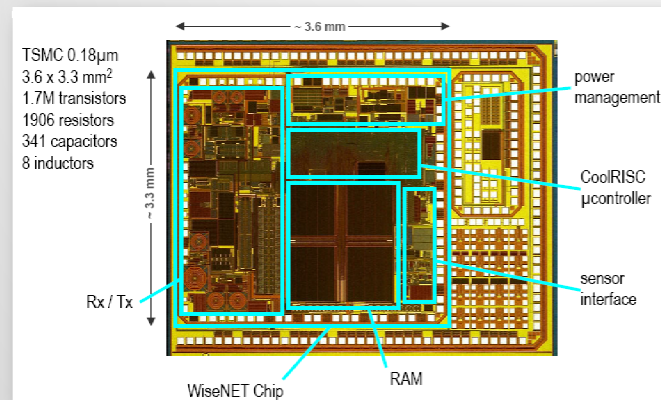
- ▶ Si tous les éléments sont actifs :  
consommation trop importante pour une pile
- ▶ RF et Baseband block → éléments critiques
  - Courant utilisé proportionnel à la fréquence
  - Temps d'activation inversement proportionnel à la fréquence (Baseband block)
- ▶ Optimisation possible
  - Séquence d'activation

## System On–Chip design (SoC)

- ▶ Un composant unique
  - Intègre tous les sous-systèmes nécessaires
- ▶ Réduction des coûts de fabrication
  - Pas d'assemblage de composants
- ▶ Minimisation de l'énergie consommée
- ▶ Dimension géométrique réduite



## Architecture WiseNET



**Figure 5. WiseNET SoC sensor node**  
 (Source : WiseNET : An Ultralow Power Wireless Sensor Network Solution - SCEM)

## Synthèse

- ▶ Combinaison software/hardware très performante
- ▶ Projets d'améliorations :
  - Adaptation aux réseaux dynamiques
  - Recherche de nouveaux émetteurs plus performants
  - Communications plus robuste

# Merci de votre attention

» Des questions ?

## Annexe A - Architectures sans-fils

- ▶ 2 architectures majeures :
  - Infrastructure
    - Système de base alimentée
    - Pas de communications directes entre hôtes
    - Tous les paquets transitent sur l'infrastructure
    - Avantages :
      - Simplicité
      - Pas de limitation d'énergie sur les bases
      - Plus large spectre d'usage

## Annexe A – Architectures sans-fils

- Ad hoc
  - Communications directe
  - Multihop-transmission : Hôte = passerelle
  - Avantages :
    - Polyvalent
    - Faible consommation → multihop
    - Facilement déployable
- ▶ Solutions hybrides
  - Combinaison des possibilités Ad hoc et infrastructure
  - Exemple : Infrastructure-assisted architecture

## Annexe B – Protocoles MAC

- ▶ TDMA (Time Division multiple Access)
  - Découpage en slot de temps
  - Les nœuds dorment entre deux slots
  - Problèmes
    - Trafic sporadique → Perte d'énergies
    - Maintenir la synchronisation du réseau
- ▶ STEM
  - Division en 2 canaux (Trafic et Notification)
  - Emetteur → Averti le récepteur (paging packet)
  - Faible consommation si pas de trafic
  - Mais peu efficace pour un trafic périodique

## Annexe B – Protocoles MAC

- ▶ S-MAC (Sensor-Medium Access Protocol)
  - Phase d'inactivité
    - Tous les nœuds dorment
  - Phase active
  - Synchronisation basique requise
  - Compromis entre consommation et délais
  
- ▶ T-MAC (Timeout-Medium Access Control)
  - Amélioration de S-MAC
  - Temps d'activité → dynamique
    - Canal inactif pour la durée du timeout

## Annexe C – WiseNET transceiver

Technology	0.18 $\mu\text{m}$ <b>standard</b> digital CMOS
Dual band operation	434 MHz (ISM) 060 MHz (SRD)
Channel spacing	600 kHz (primary) 200 kHz (secondary)
Propagation range	2 km outdoor (~ 20 m indoor)
Data rate	12.5 / 25 / 50 kb/s
Modulation	FSK ( $\Delta f=12.5 / 25 / 50$ kHz) OOK (2kb/s)
Sensitivity	<b>-105 dBm</b> (@ 25 kb/s, BER= $10^{-3}$ )
NF (incl. SAW)	13 dB (AGC max gain)
DR	52 dB (@ BER= $10^{-3}$ )
Wake-up time	< 0.8 ms
Supply voltage	<b>0.9 V</b> - 1.5 V
Supply current	<b>&lt; 1.8 mA</b> (1 mA for VCO+PLL) <b>16.2 <math>\mu\text{A}</math> for 0.1% duty cycle</b>
External components	12.8 MHz quartz reference SMD inductors for VCO On-chip varactor

**Tableau 1. Low power RF CMOS Transceiver-Receiver**

Technology	0.18 $\mu\text{m}$ <b>standard</b> digital CMOS
Max. output power	<b>10 dBm</b>
Efficiency	40% @ 10dBm
Dual band operation	434 MHz (ISM) 060 MHz (SRD)
Channel spacing	600 kHz (primary) 200 kHz (secondary)
Propagation range	2 km outdoor (~ 20 m indoor)
FSK Data rate	12.5 / 25 / 50 kb/s ( $\Delta f=12.5 / 25 / 50$ kHz)
OOK Data rate	2kb/s (Manchester) (40 dB on/off power ratio)
Spurious	-36 dBm @ $\pm 100$ kHz, BW=1 kHz
Supply voltage	<b>0.9 V</b> - 1.5 V
Supply current	35 mA (VCO + PLL + 1x) <b>5 mA</b> (VCO + PLL)
External components	12.8 MHz quartz reference SMD inductors for VCO On-chip varactor

**Tableau 2. Low power RF CMOS Transceiver-Transmitter**