

Une approche holistique pour l'informatique verte dans les réseaux sans fil

Apport de la collaboration entre systèmes autonomes pour un
partage efficace de ressources

Martin Peres

LaBRI, Université de Bordeaux

19/12/2014

Plan

- 1 Introduction
- 2 Localisation des traitements dans les réseaux de capteurs
- 3 Partage efficace de spectre RF pour les communications sans fil
- 4 Gestion d'énergie matérielle autonome
- 5 Prise de décision énergétique en temps réel
- 6 Conclusion

L'informatique verte : Un enjeu sociétal

Impact de l'informatique [1]

- 10% de la consommation électrique mondiale en 2007
- 10% d'augmentation chaque année
- 0.82 Gtonnes de CO_2 (1.43 Gtonnes prédis pour 2020)
- [1] EPA, "EPA report to congress on server and data center energy efficiency," Tech. Rep., 2007. [Online]

L'informatique verte

Réduire et maîtriser l'usage des ressources :

- Énergie
- Radio fréquence

Garantir la disponibilité des réseaux sans fil

L'informatique verte dans les réseaux sans fil

Augmente la disponibilité du réseau

Défi 1 : Réduire les échanges et garantir la capacité de com.

- Protocoles efficaces et décentralisés
- Adaptation à l'environnement Radio Frequency (RF)

Défi 2 : Maximiser et garantir l'autonomie sur batterie

- Conscience du support exécutif
- Adaptation des performances / consommation

L'autonomie dans l'informatique verte

Besoin de l'informatique verte

Re-configuration fréquente

Problème : La ressource humaine

- Explosion des systèmes informatiques
- Diminution des moyens humains
- Vitesse de reconfiguration

Solution : L'informatique autonome

- S'auto-configurer : Assurer sa mission
- S'auto-optimiser : Diminuer sa consommation
- S'auto-protéger : Se défendre contre les intrusions
- S'auto-réparer : Corriger les problèmes

Objectif de la thèse

Défi 1 : Réduire les échanges et garantir la capacité de com.

- Décentralisation du traitement des données
- Partage efficace du spectre RF

Défi 2 : Maximiser et garantir l'autonomie sur batterie

- Gestion autonome de l'énergie
- Prise de décision énergétique en temps réel

Approche Holistique

- Contributions aux niveaux réseau, matériel et OS

Plan

- 1 Introduction
- 2 Localisation des traitements dans les réseaux de capteurs
- 3 Partage efficace de spectre RF pour les communications sans fil
- 4 Gestion d'énergie matérielle autonome
- 5 Prise de décision énergétique en temps réel
- 6 Conclusion

Les réseaux de capteurs ad-hoc

Réseau de capteurs ad-hoc

- Collecte
- Envoi / Routage
- Traitement externe

Problème : Le routage

- Utilisation du spectre RF
- Consommation énergétique

Solution

Décentralisation des traitements

Exemple de réseau de capteurs ad-hoc : La surveillance



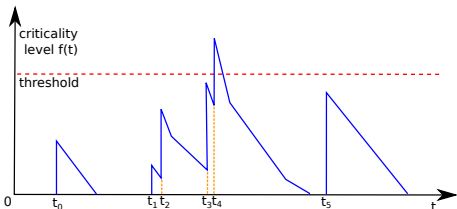
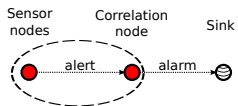
ANR DIAFORUS

Distributed Applications and Functions Over Redundant Unattended Sensors

Réseaux de surveillance (ANR DIAFORUS)

Propositions

- Traitement séparé :
 - détection locale
 - corrélation de zone
- Abstraction des capteurs
- Corrélation temporelle
- Définition autonome du seuil



Historique & réputation des capteurs

Historique

- Stockage priorisé
- $score(e) = \frac{criticality(e) * local_max_time(e)}{1 - \frac{age(e)}{max_storage_time}}$

Réputation des capteurs

- Calcul interne au réseau
- $reputation_false_positive(a, s) = \frac{area_detection_count_involving(a, s)}{sensor_events_count(s)}$
- $reputation_false_negative(a, s) = \frac{sensor_correlated_count(s)}{area_detection_count(a)}$
 - a : Numéro de zone
 - s : Numéro de capteur

Évaluation de l'approche

Approches de l'état de l'art

- Sink : Communication directe des capteurs vers la passerelle
- Agrégation cluster : Centralisation des données avant envoi
- Détection locale : Envoi seulement lors d'une détection

| Type de WSN | lectures | courte-distance | longue-distance |
|--------------------|----------|------------------|-----------------|
| Sink | 5400 | 0 (0%) | 5400 (100%) |
| Agrégation cluster | 5400 | 3600 (67%) | 1800 (33%) |
| Détection locale | 5400 | 0 (0%) | 540 (10%) |
| DIAFORUS | 5400 | ≤ 540 (10%) | < 180 (3.33%) |

Table: Comparaison des différents types de réseaux avec une zone de 3 noeuds et une probabilité de faux positifs de ($p = 0,1$; $f = 1\text{Hz}$)

Conclusion

Avantages

- Réduit les émissions mais reste auditable
- Auto-configuration : Ajout dynamique de capteurs
- Auto-optimisation : Réputation des capteurs
- Auto-réparation : Perte de noeuds

Inconvénients

- Traitement différé impossible
- Redondance nécessaire
- Complexité en cas de panne

Plan

- 1 Introduction
- 2 Localisation des traitements dans les réseaux de capteurs
- 3 Partage efficace de spectre RF pour les communications sans fil**
- 4 Gestion d'énergie matérielle autonome
- 5 Prise de décision énergétique en temps réel
- 6 Conclusion

Communications dans les réseaux sans fil

Le spectre Radio Fréquence (RF)

- Medium partagé
- Vision locale de chaque noeud

Problème : Les collisions

- Interférence entre deux messages
- Génère des ré-émissions
- Peut être limité : codes, FHSS et/ou CSMA/CA

Solution : La radio cognitive

- Compréhension
- Agilité

La radio logicielle

La radio logicielle

- Accès au spectre RF
- Largeur et fréquence paramétrables

Exemple : Le BladeRF de NUAND

- Plage de fréquences : 300 MHz to 3 GHz
- Largeur de bande : 28 MHz Full duplex (40MSps)

Avantages

- RX/TX multiples
- Pile réseau totalement logicielle

Synchronisation des noeuds radio cognitive (CR)

CCC : Common Control Channel

- Canal de synchronisation fixe et commun
- Que faire quand il est indisponible ?

Synchronisation avant chaque trame (DMPJS10 [2])

- Envoi d'une requête sur chaque canal, attente de l'ACK
- Pas de RX/TX multiples, latence forte à chaque trame
- [2] : R. Doost-Mohammady, P. Paweczak, G. Janssen, and H. Segers, "Physical layer bootstrapping protocol for cognitive radio networks," in 2010 7th IEEE CCNC, Jan. 2010

Synchronisation avant communication (LLCL13 [3])

- Algorithme pour maximiser les chances de rendez-vous
- Pas extensible à plus de deux nœuds
- [3] : Z. Lin, H. Liu, X. Chu, and Y.-W. Leung, "Enhanced jump-stay rendezvous algorithm for cognitive radio networks," IEEE Communications Letters, vol. 17, no. 9, Sep. 2013

Schéma global de notre utilisation de la radio logicielle

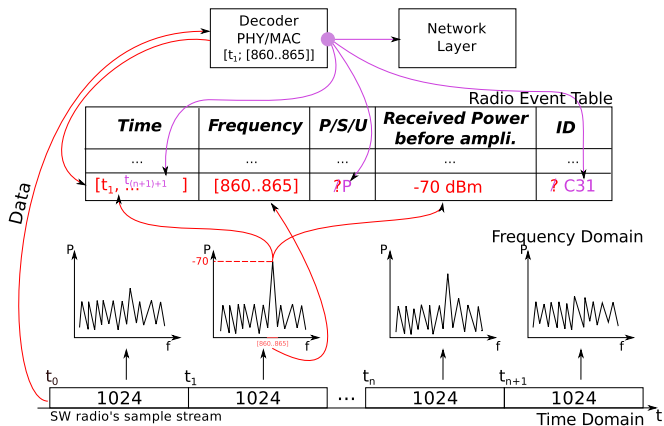


Figure: Vue générale du processus d'écoute - Remplissage de la table des événements radios depuis le flux d'échantillons de la radio logicielle

Proposition : Protocole de signalisation PHY

```
<beacon_frame>{ node_id=23, tx_pwr=10dBm,  
[  
  { {band1}, len=0.4, period_offset=0.0 },  
  { {band2}, len=0.4, period_offset=0.0 },  
  { {band3}, len=0.3, period_offset=0.5 },  
],  
period=1000ms, cur_period_offset=0.126 }
```

Synchronisation par beacon

- Découverte des voisins
- Synchronisation temporelle
- Affaiblissement du canal

Évaluation des protocoles de signalisation

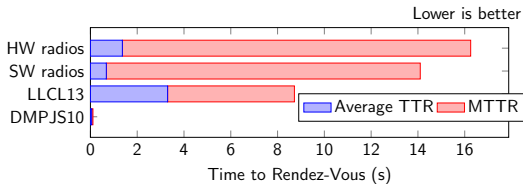


Figure: Comparaison du temps moyen de rendez-vous (Average TTR) et du temps maximal (MTTR) entre DMPJS10, LLCL13 et notre proposition sur une radio logicielle (25 MHz) et une radio matérielle

Conclusion

Avantages

- Auto-configuration : Découverte des voisins
- Auto-optimisation : Cycles de sommeil
- Auto-réparation : Changement de bande

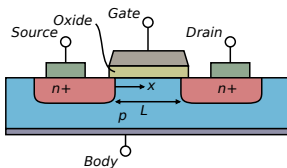
Inconvénients

- Coût des radios logicielles
- Contraintes légales
- Coût énergétique potentiel
- Communications longue distance (SNR)

Plan

- 1 Introduction
- 2 Localisation des traitements dans les réseaux de capteurs
- 3 Partage efficace de spectre RF pour les communications sans fil
- 4 Gestion d'énergie matérielle autonome**
- 5 Prise de décision énergétique en temps réel
- 6 Conclusion

La consommation électrique matérielle



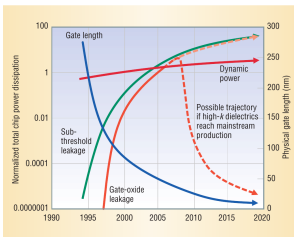
Consommation statique

- Effet tunnel
- Facteurs : température et tension

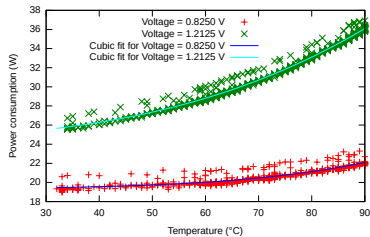
Consommation dynamique

- Capacité interne
- $P_{dynamic} \propto CfV^2$
 - C : Capacité du transistor
 - f : Fréquence en Hz à laquelle le transistor change d'état
 - V : Tension d'alimentation du transistor

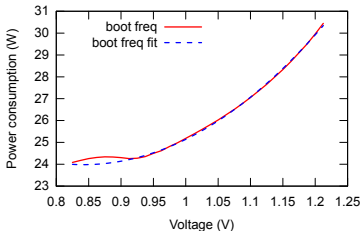
La consommation électrique matérielle : NVIDIA GTX 660



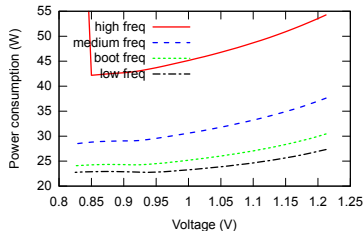
(a) Prédiction de 2003



(b) Impact de la température



(c) Impact de la tension



(d) Impact de la fréquence

Performances, fréquence et tension

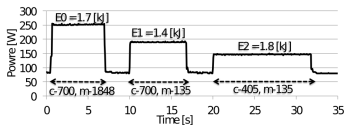
Processeurs simples

- Performance linéaire avec la fréquence d'horloge
- $f_{max} \propto (V - V_{th})^2 / V$
 - f_{max} : Fréquence maximale possible
 - V : Tension d'alimentation du processeur
 - V_{th} : Tension de seuil des transistors (gate)
- Performance vs consommation

Performances, fréquence et tension

Processeurs modernes

- Plusieurs domaines d'horloges
- Goulot d'étranglement ?



(a) NVIDIA Fermi

| Core clock | Memory clock | Execution time | Power |
|------------|--------------|----------------|--------|
| 1023 MHz | 6008 MHz | 12.3 s | 43.3 W |
| 1023 MHz | 1620 MHz | 12.3 s | 31.3 W |

(b) NVIDIA Kepler

Figure: Consommation énergétique et temps d'exécution de noyaux à différentes fréquences sur deux familles de GPU

Gestion autonome de l'énergie

L'unité de gestion d'énergie

- Compteurs de performance
- Processeur minimaliste
- Applique la politique énergétique

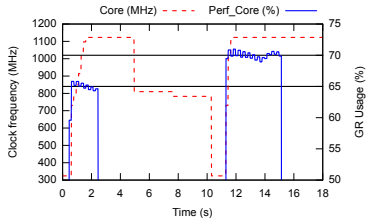
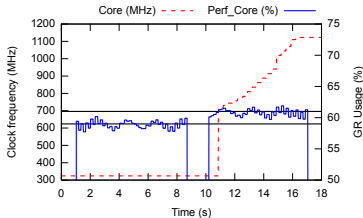
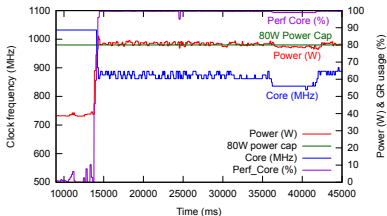
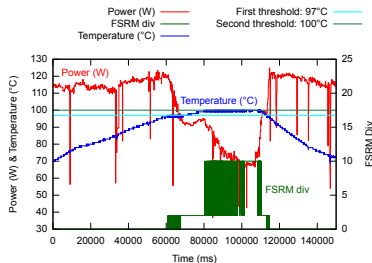


Figure: Réponse de la politique de NVIDIA à un changement d'utilisation

Gestion autonome de l'énergie



(a) Limitation de puissance



(b) Limitation de température

Figure: Limitation de la consommation énergétique et de la température

Conclusion

Bilan

- Architecture interne de NVIDIA
- Politique de gestion d'énergie de NVIDIA
- Test-bed open source (Nouveau) intégré à Linux

Avantages

- Économies énergétiques possibles
- Auto-optimisation : Adaptation fréquence/tension
- Auto-réparation : Température et Consommation

Limites de notre travail

- Changement de fréquence instable
- Gestion automatique des fréquences

Plan

- 1 Introduction
- 2 Localisation des traitements dans les réseaux de capteurs
- 3 Partage efficace de spectre RF pour les communications sans fil
- 4 Gestion d'énergie matérielle autonome
- 5 Prise de décision énergétique en temps réel**
- 6 Conclusion

La prise de décision énergétique en temps réel

Contexte : Ordinateurs hétérogènes

- Interfaces réseaux multiples
- Processeurs multiples

Problème : Sélection du matériel le plus efficace

- Matériel optimisé pour différents scénarios
- Configurations statiques non-optimales

La prise de décision énergétique en temps réel

Migrations possibles

- Processeurs big.LITTLE : Quelques millisecondes
- Réseau : MPTCP

Proposition

Moteur de décision énergétique à l'exécution

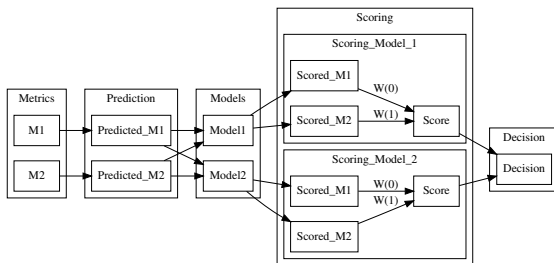
Limites de l'état de l'art

- Temps-réel
- Modèles matériels arbitraires

Exemple : Sélection d'interface réseau

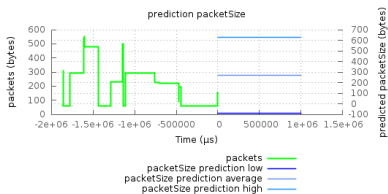
Abstraction des décisions

- Métriques : État courant du système
- Prédications : Évolution future
- Modèles HW : Configuration et son impact
- Score : Impact du modèle sur les prédictions
- Décision : Sélection du matériel

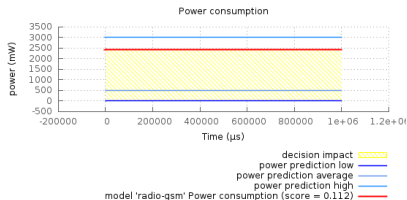


Decision Flowgraph

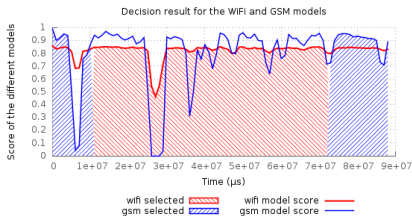
RTGDE : Un moteur de décision générique à l'exécution



(a) Sortie étage prédiction



(b) Sortie étage score



(c) Sortie étage de décision

Évaluation de RTGDE

Le cadritiel RTGDE

- Implémente le graphe de flot précédent
- Permet l'écriture de blocs externes

Évaluation et comparaison avec Octave

- Généricité :
 - 1 : Sélection d'interface radio WiFi et GSM
 - 2 : Sélection du type de processeur big.LITTLE
 - Temps d'exécution : $43.95 \mu\text{s}$ (± 13.19)
- RAM minimum : 168 KB vs 25.3 MB pour Octave

Conclusion

Avantages

- Comparaison de modèles arbitraires
- Impact faible et prédictible
- Débogage simplifié
- Réutilisation possible de blocs
- Exécution de plusieurs décisions en parallèle

Limites

- Chaque graphe de flot doit être indépendant

Plan

- 1 Introduction
- 2 Localisation des traitements dans les réseaux de capteurs
- 3 Partage efficace de spectre RF pour les communications sans fil
- 4 Gestion d'énergie matérielle autonome
- 5 Prise de décision énergétique en temps réel
- 6 Conclusion**

Conclusion

Rappel des défis

- 1 : Réduire les échanges et garantir la capacité de coms.
- 2 : Maximiser et garantir l'autonomie sur batterie

Contributions

- Localisation des traitements dans les réseaux de capteurs
- Partage efficace de spectre RF pour les com. sans fil
- Gestion d'énergie matérielle autonome
- Prise de décision énergétique en temps réel

Perspectives

Réseaux verts de noeuds capteurs d'énergie

- Contexte : Alimentation par un panneau solaire
- Objectif : Garder le réseau connecté et garantir une QoS
- Défis :
 - Capacité de traitement dynamique
 - Capacité de communication dynamique

Politique d'allocation de spectre RF décentralisée

- Contexte : Radio cognitive
- Objectif : Partage de spectre efficace entre CR
- Défis :
 - Faire co-exister différentes couches physiques
 - Limiter la fragmentation du spectre RF

Perspectives

Politique de gestion d'horloges générique

- Contexte : Processeurs modernes avec de multiples horloges
- Objectif : Trouver la configuration optimale dynamiquement
- Défis :
 - Prédire l'impact d'un changement de fréquence
 - Réactivité face aux changements

Utilisation transparente des accélérateurs matériels

- Contexte : Processeurs modernes avec accélérateurs
- Objectif : Cadritiel pour optimiser les performances/l'énergie
- Défis :
 - Quantifier les gains possibles à l'exécution
 - Rendre l'utilisation des accélérateurs automatique

Merci pour votre attention!

Annexe de la contribution 1

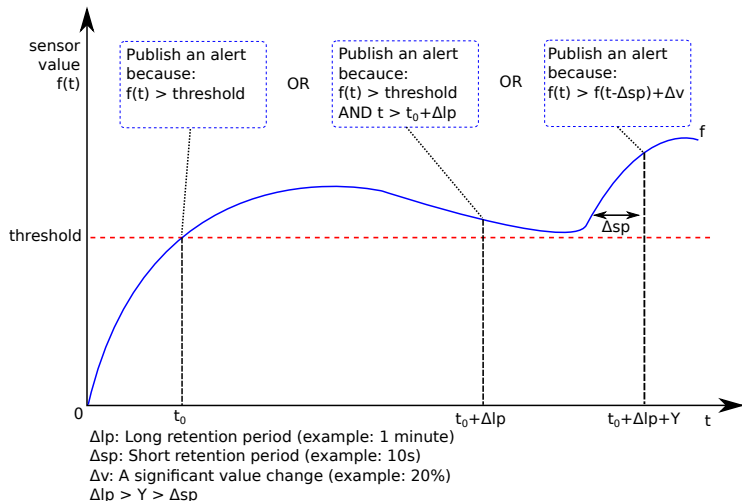
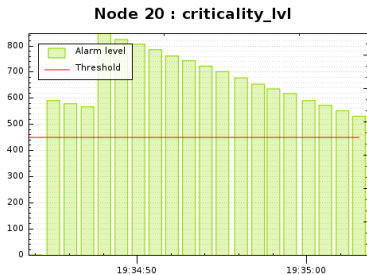
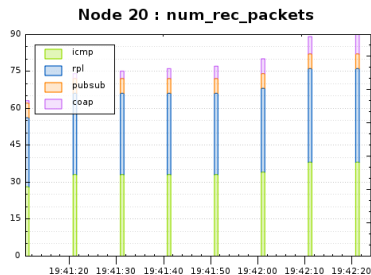


Figure: Exemple de corrélation locale

Annexe de la contribution 1



(a) Criticality level of an area



(b) Types of packets received

Figure: Example of the real-time visualisation capabilities of Diasé

Annexe de la contribution 1



(a) Deploying a Thales infrared barrier



(b) Deploying a Thales seismic sensor



(c) Deploying a 16-beam infrared sensor

Figure: Deployment of some sensors for protecting a farm in a military field

Annexe de la contribution 1



(a) Four sensor nodes with an unidirectional infrared barrier attached



(b) A close-up on the sensor node, when attached to its demonstration board

Figure: Deployment of some sensors for protecting a farm in a military field

Annexe de la contribution 1

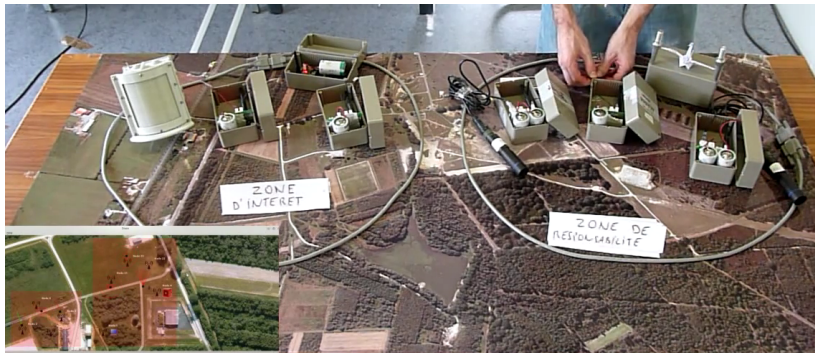
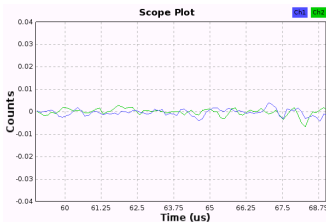
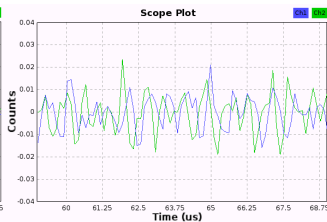


Figure: Testing different area sensitivities

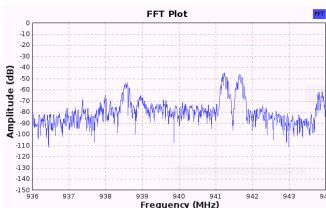
Annexe de la contribution 2



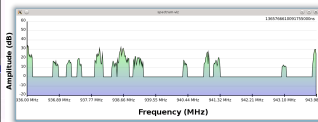
(a) Time, no transmission



(b) Time, transmission



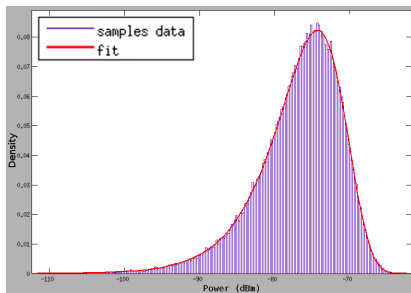
(c) Freq, no filtering



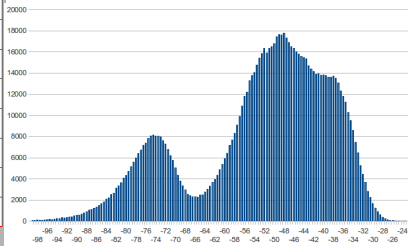
(d) Freq, with filtering

Annexe de la contribution 2

$$f(x|\mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma} e^{-\frac{x-\mu}{\sigma}} e^{-e^{-\frac{x-\mu}{\sigma}}} \quad (1)$$



(a) Noise-only



(b) Noise + frequent transmissions

Figure: Histogram of the received power at one frequency

Annexe de la contribution 2

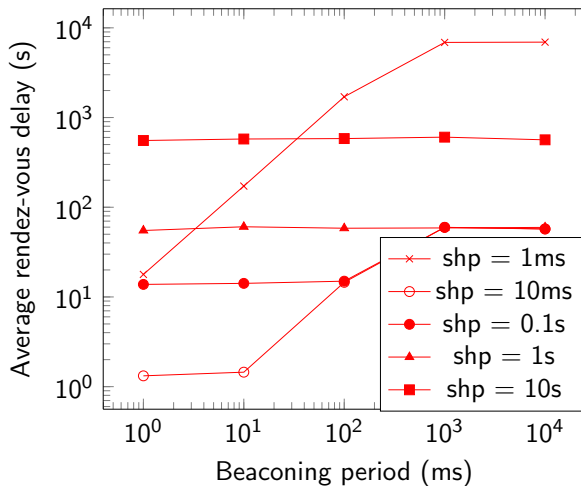


Figure: Influence of the beaconsing and sensing-hopping period on the average rendez-vous delay.

Annexe de la contribution 2

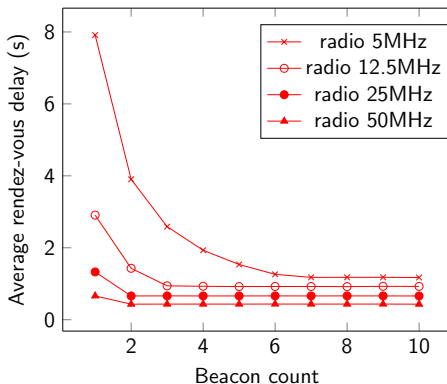
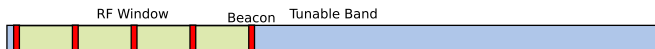


Figure: Influence of the number of beacon sent and the sensing radio's bandwidth on the average rendez-vous delay. shp = 10ms, bp = 10ms

Annexe de la contribution 2

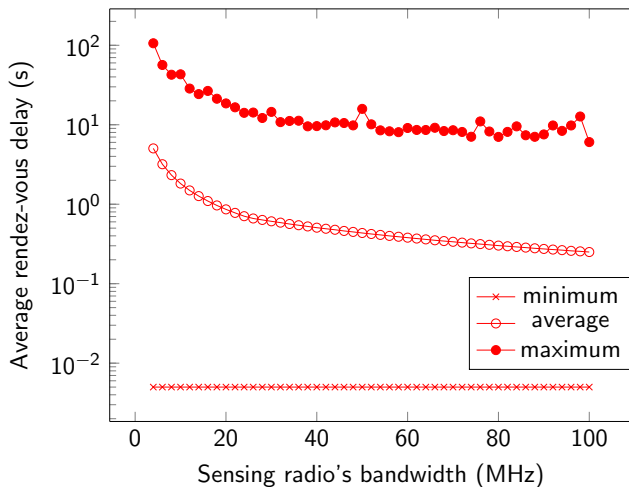


Figure: Variance of the rendez-vous time with $shp = 10ms$, $bp = 10ms$, $bc = 2$, 1 million iterations

Annexe de la contribution 2

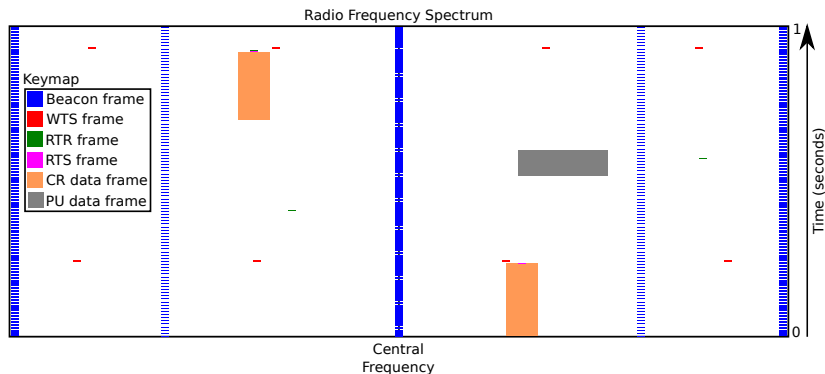
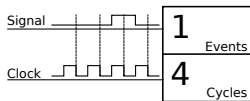
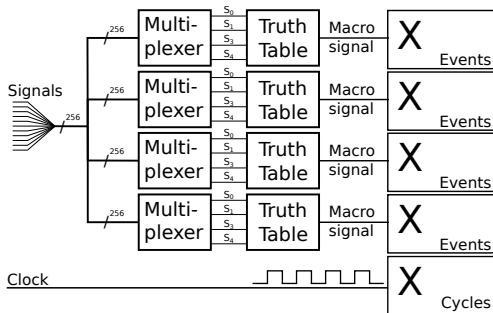


Figure: Example of the spectrum usage done by relays in the proposed network

Annexe de la contribution 3

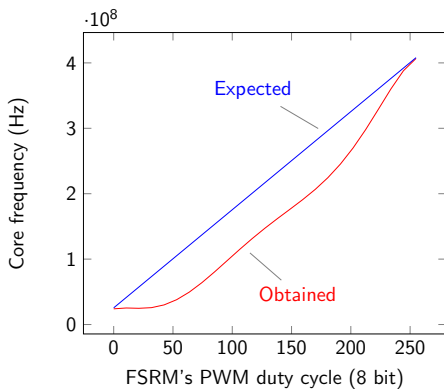


(a) Example of a simple performance counter



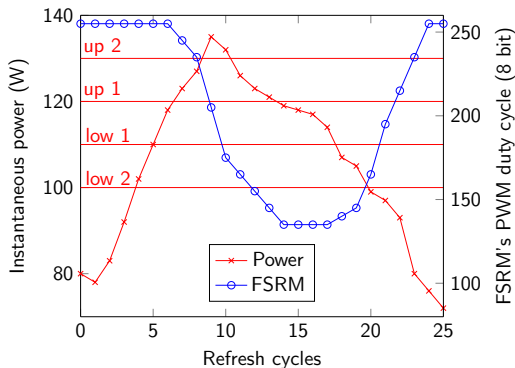
(b) Schematic view of a clock domain in NVIDIA's PCOUNTER engine

Annexe de la contribution 3



(a) Frequency of the core clock (@408MHz, 16-divider) when varying the FSRM

Annexe de la contribution 3



(a) Example of the power limiter in the dual window mode