

Transmission d'images sur les réseaux de capteurs sans fil sous la contrainte de l'énergie

Thèse présentée pour l'obtention du titre de
Docteur de l'Université Henri Poincaré, Nancy 1
en Sciences, spécialité Automatique, Traitement du Signal et Génie Informatique

Par : Cristian DURAN-FAUNDEZ

Rapporteurs :	Christine FERNANDEZ-MALOIGNE David SIMPLOT-RYL	Université de Poitiers, Xlim-SIC Université Lille 1 - INRIA Futurs
Examineurs :	Christophe CHASSOT Jean-Marie MOUREAUX	INSA de Toulouse - LAAS Université Henri Poincaré Nancy 1, CRAN
Directeurs :	Francis LEPAGE (Directeur) Vincent LECUIRE (Co-Dir.)	Université Henri Poincaré Nancy 1, CRAN Université Henri Poincaré Nancy 1, CRAN



Nancy-Université



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE PLANIFICACION

23 juin 2009

Definition

Ensemble de micro-capteurs autonomes, dotés de moyens de communication sans fil, qui coopèrent de manière spontanée pour effectuer des mesures et les remonter jusqu'à un point de collecte (le puits).

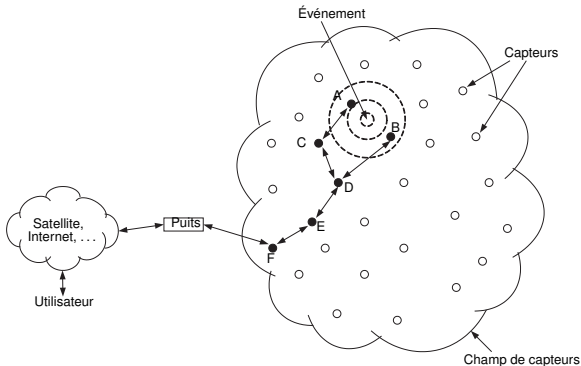


FIG.: Schéma général d'un réseau de capteurs sans fil

Introduction

Les réseaux de
capteurs sans fil

Contraintes typiques des
réseaux de capteurs

Les réseaux de capteurs
d'image

Objectifs de la thèse

État de l'art

Proposition 1 :

Action sur le
protocole de
communication

Proposition 2 :

Action sur les
données de l'image

Conclusions

Introduction

Les réseaux de capteurs sans fil

Contraintes typiques des réseaux de capteurs

Les réseaux de capteurs d'image

Objectifs de la thèse

État de l'art

Proposition 1 :

Action sur le protocole de communication

Proposition 2 :

Action sur les données de l'image

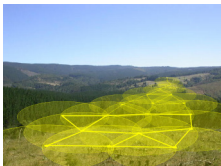
Conclusions

Applications potentielles :

- militaires,
- environnementales,
- industrielles,
- robotique,
- sécurité ...

Mesures typiques :

- Température,
- Lumière,
- Magnétisme,
- Vibrations ...



Quelques exemples ...



LWIM project
Twentynine Palms, CA,
USA
DARPA/UCLA



Étude de l'océanite
culblanc
Great Duck Island, ME, USA
COA/ Intel-UC Berkeley
[Mainwaring *et al*,
WSNA'02]



Glacsweb project
Briksdalsbreen Glacier,
Norway
University of Southampton
[Martinez *et al*, SECON'04]



Camalie Vineyards
Napa valley, USA

[<http://camalie.com>]



Structural health
monitoring
Golden Gate Bridge
San Francisco, USA
UCB-Intel/Berkeley
[Kim *et al*, Sensys'04]



Underwater networking
San Clemente, USA
Wireless Information
Systems Lab
[Jaffe and Schurgers,
WUUNET'06]

Introduction

Les réseaux de capteurs
sans fil**Contraintes typiques
des réseaux de
capteurs**Les réseaux de capteurs
d'image

Objectifs de la thèse

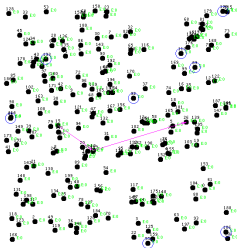
État de l'art

Proposition 1 :
Action sur le
protocole de
communicationProposition 2 :
Action sur les
données de l'image

Conclusions

Contraintes ...**... au niveau d'un mote :**

- Quantité d'énergie embarquée très limitée.
- Capacité de traitement et de stockage de données très limitée.
- Canal de transmission bas débit.

**Exemple (Motes Mica2)**

- Alimentation : 2 × AA (~1.5V, 2000mAh)
- 128ko (mém. de programme), 4ko (RAM), 512ko (Flash)
- Radio : 38.4 Kbps, 868/916 MHz

**... au niveau du réseau :**

- *Canal de transmission bas débit.*
- Grande échelle du réseau.
- Haute densité de déploiement.
- Pertes de paquets très élevées.
- Haute probabilité de pannes des nœuds.
- Localisation des nœuds.

Problème fondamental considéré dans la thèse : La consommation d'énergie.

- Dépend des composants matériels utilisés.

Exemple (Mica2 vs. Telos [Polastre et al, 2004])

Rapport de données une fois toutes les 3 minutes avec deux piles AA (<1% duty cycle)



Mica2 (AVR)

- 30 μ W sleep
- 33 mW active
- 19 kbps
- 2.5V min

453 jours

Telos (TI MSP)

- 2 μ W sleep
- 3 mW active
- 250 kbps
- 1.8V min

945 jours



J. Polastre et al. (2004). The mote revolution : Low power wireless sensor network devices. In : *HotChips 2004*.

- Dépend de l'application (temps d'activité des composants)

Exemple (Simulation d'un Mica2 [Shnayder et al, 2004])

Application	CPU idle/active	Radio	Capteur	EEPROM	Total
CntToRfm	741.90/1.54 mJ	1284.65 mJ	-	-	2028.09 mJ
OscilloscopeRF	741.90/1.85 mJ	1268.76 mJ	123.95 mJ	-	2136.45 mJ
SenseLightToLog	741.90/0.81 mJ	1262.95 mJ	123.95 mJ	4.28 mJ	2133.89 mJ

V. Shnayder et al. (2004). Simulating the Power Consumption of Large-Scale Sensor Network Applications. In : *SenSys'04*.

Introduction

Les réseaux de capteurs sans fil

Contraintes typiques des réseaux de capteurs

Les réseaux de capteurs d'image

Objectifs de la thèse

État de l'art

Proposition 1 :

Action sur le protocole de communication

Proposition 2 :

Action sur les données de l'image

Conclusions

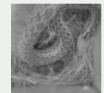
Réseaux de capteurs d'image

Applications potentielles :

- Détection ...
- Dénombrement ...
- Localisation ...
- Pistage ...

... d'objets par vision.

Exemple (Vigilance de nids d'oiseaux [Hicks *et al.*, 2008])



J. Hicks *et al.* (2008). An Easily Deployable Wireless Imaging System. In : *ImageSense 2008*.

Exemples de caméras basse-consommation



Cyclops camera
(Agilent & CENS/UCLA)



CMUcam3
(Carnegie Mellon University)

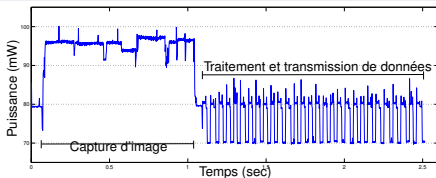
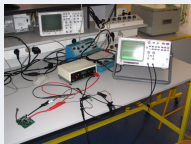


Aloha imager
(Johns Hopkins University)



IMB400
(Crossbow Inc.)

Évaluations de consommations énergétiques avec un nœud Mica2 + Cyclops



Introduction

Les réseaux de capteurs
sans fil

Contraintes typiques des
réseaux de capteurs

**Les réseaux de
capteurs d'image**

Objectifs de la thèse

État de l'art

Proposition 1 :

Action sur le
protocole de
communication

Proposition 2 :

Action sur les
données de l'image

Conclusions

Expérimentation de transmission d'images non compressées



- Image capturée : 128×128 pixels, monochrome 8bpp.
- Puissance d'émission du Mica2 : -20dBm.
- Payload : 27 octets (donc 607 paquets à envoyer).

29.95 sec, 2358 mJ (dont 0.97 sec et 90.65 mJ pour la capture)

Durée de vie en considérant 1 cycle / mn : 6 j 06 h 45 mn (9045 images)

Problèmes posés :

- Capture des données très consommatrice de ressources.
- **Grande quantité de données à traiter/transmettre par « mesure ».**
- Qualité de l'image finale dépendant du taux de perte de paquets.

Introduction

Les réseaux de capteurs
sans fil

Contraintes typiques des
réseaux de capteurs

Les réseaux de capteurs
d'image

Objectifs de la thèse

État de l'art

Proposition 1 :

Action sur le
protocole de
communication

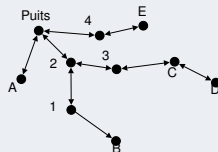
Proposition 2 :

Action sur les
données de l'image

Conclusions

Objectif de la thèse

Proposer des **méthodes génériques** de traitement/communication d'images **efficaces en énergie** pour augmenter la *durée de vie* du réseau.



La durée de vie du réseau est liée à :

- La vie de la source
- La vie des nœuds de transit

Périmètre de la thèse

- Images fixes (pas de vidéo).
- Images en niveaux de gris (pas de couleur).

Actions potentielles pour économiser l'énergie :

- Capturer des images de petite taille
- Agir sur les données de l'image (Travailler seulement sur une partie de l'image, **Compresser l'image** ...).
- **Agir sur les protocoles de communication**

Introduction

Les réseaux de capteurs
sans fil

Contraintes typiques des
réseaux de capteurs

Les réseaux de capteurs
d'image

Objectifs de la thèse

État de l'art

Proposition 1 :

Action sur le
protocole de
communication

Proposition 2 :

Action sur les
données de l'image

Conclusions

1 Introduction

2 État de l'art

3 Proposition 1 : Action sur le protocole de communication

4 Proposition 2 : Action sur les données de l'image

5 Conclusions

Introduction

État de l'art

... en compression
d'images

... en transmission
d'images

Proposition 1 :
Action sur le
protocole de
communication

Proposition 2 :
Action sur les
données de l'image

Conclusions

1 Introduction

2 État de l'art

3 Proposition 1 : Action sur le protocole de communication

4 Proposition 2 : Action sur les données de l'image

5 Conclusions

Introduction

État de l'art

... en compression
d'images

... en transmission
d'images

Proposition 1 :
Action sur le
protocole de
communication

Proposition 2 :
Action sur les
données de l'image

Conclusions

Il peut sembler évident qu'on peut obtenir des économies d'énergie dans les réseaux de capteurs d'image par la compression de données, **mais...**

...la compression d'images est-elle vraiment efficace en énergie ?

Introduction

État de l'art

... en compression
d'images

... en transmission
d'images

Proposition 1 :

Action sur le
protocole de
communication

Proposition 2 :

Action sur les
données de l'image

Conclusions

Il peut sembler évident qu'on peut obtenir des économies d'énergie dans les réseaux de capteurs d'image par la compression de données, **mais...**

...*la compression d'images est-elle vraiment efficace en énergie ?*

Étude de performance des algorithmes traditionnels [Ferrigno *et al*, 2005]



	Communication	Traitement
Courant requis (mA)	70.030	26.030

Algorithme de compression	Temps de communication (ms)	Temps de compression (ms)	Charge <i>Courant * Temps (A*s)</i>
Sans compression	14223	0	0.996
JPEG2000	366	519841	13.56
SS	900	5010	0.19
DCT	473	62792	1.67
SPIHT	331	186706	4.88
JPEG	544	82498	2.19



L. Ferrigno *et al.* (2005). Balancing Computational and Transmission Power Consumption in Wireless Image Sensor Networks. In : *VECIMS'05*.

Introduction

État de l'art

... en compression d'images

... en transmission d'images

Proposition 1 :

Action sur le protocole de communication

Proposition 2 :

Action sur les données de l'image

Conclusions

Algorithmes de compression pour réseaux de capteurs sans fil

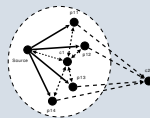
Algorithmes locaux

- Travaux sur la DCT : [Taylor and Dey, 2001] DCT réduite. [Lee *et al.*, 2007] DCT Loeffler en virgule non flottante. [Mammeri *et al.*, 2008] DCT triangulaire.
- Travaux sur la DWT : [Wu et Chen, 2003] Groupement de coefficients d'ondelettes pour renforcer SPIHT. [Yu et al., 2004] Sélection des niveaux de résolution à envoyer avec JPEG 2000.

Algorithmes distribués

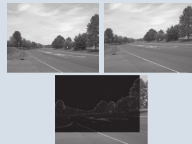
Découpage d'images

[Wu and Abouzeid, 2004 ; 2005] Distributed JPEG 2000. [Wu and Abouzeid, 2004 ; 2005] Distributed JPEG 2000.



Fusion d'images (overlapping)

- Travaux sur l'analyse de correspondances : [Wagner *et al.*, 2003 ; 2007]
- Travaux sur la représentation géométrique : [Wu et Chen, 2003]



Facteur	Algorithmes locaux	Algorithmes distribués / Découpage d'images	Algorithmes distribués / Fusion d'images
Positionnement de la caméra	Indépendant	Indépendant	Dépendant
Topologie du réseau	Indépendant	Dépendant	Dépendant
Durée de vie du nœud source	?	Défavorable	?
Durée de vie des nœuds de transit	Favorable	?	Favorable

- Les pertes dans un réseau de capteurs peuvent être très importantes.
- Il faut aussi considérer que la compression a un impact sur la résistance aux pertes de paquets.

Illustration des effets des pertes de paquets sur la qualité d'une image

Image compressée avec
JPEG (3.4bpp)

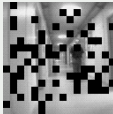


1% de paquets perdus



5% de paquets perdus

Image compressée avec
JPEG* (3.4bpp)



25% de paquets perdus



Dissimulation des pixels
manquants

Image non compressée
(8bpp)



25% de paquets perdus



Dissimulation des pixels
manquants

Problème de perte de paquets

Transmission fiable	Transmission non-fiable
✓ Qualité d'image non pénalisée par les pertes.	✗ Qualité d'image dépendant du taux de pertes.
✗ Coût d'énergie supplémentaire.	✓ Coût d'énergie non pénalisé par le taux de pertes.

Quelques approches :

Approches basées sur ARQ :

- [Marasli *et al*, 1997] K-XMIT (limiter le nombre de retransmissions).
- [Amer *et al*, 1994 ; Chassot *et al*, 1996] POCv2 (connexions d'ordre partiel).
- [Lecuire et Lepage, MMNS 2001] 2CP-ARQ (classification des paquets : fiable/non-fiable).

Approches basées sur FEC :

- [Jeong and Ee, 2007] Codes correcteurs d'erreurs jusqu'à deux bits consécutifs.
- [Wu and Abouzeid, 2006] Routage multi-chemins de cluster en cluster.
- [Maimour, 2007] SLiM : Routage multi-chemins de bout en bout.

Approches basées sur codage robuste :

- [Turner and Peterson, 1992 ; DeBrunner *et al*, 1999] Mélange de pixels.
- [Wu and Chen, 2003] Groupement de coefficients d'ondelettes.

Introduction

État de l'art

**Proposition 1 :
Action sur le
protocole de
communication**

Principes

Traitement à la source

Traitement dans les
nœuds de transit

Modélisation de la
consommation d'énergie
du protocole

Résultats

Variantes du protocole
semi-fiable

Proposition 2 :
Action sur les
données de l'image

Conclusions

1 Introduction

2 État de l'art

3 Proposition 1 : Action sur le protocole de communication

4 Proposition 2 : Action sur les données de l'image

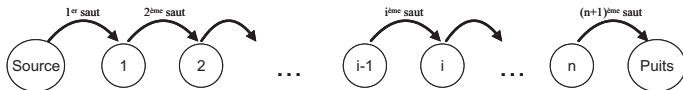
5 Conclusions

Proposition : **Transmission d'images par un protocole semi-fiable**

Objectif : Adapter l'activité de communication des nœuds de transit à l'état de leurs batteries.

Principes :

- Traitement d'image à la source :
 - Transformation de l'image en une représentation multirésolution.
 - Encapsulation des données dans des paquets de différentes priorités.
- Traitement des paquets dans les nœuds de transit :
 - Transmission fiable de proche en proche.
 - Relayage/écartement des paquets en fonction de leur priorité et de l'état de charge des batteries.



Introduction

État de l'art

Proposition 1 :
Action sur le
protocole de
communication

Principes

Traitement à la source

Traitement dans les
nœuds de transit

Modélisation de la
consommation d'énergie
du protocole

Résultats

Variantes du protocole
semi-fiable

Proposition 2 :
Action sur les
données de l'image

Conclusions

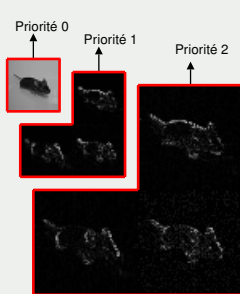
Application de la transformée en ondelettes dyadique

● Filtres 5-3 de Le Gall :

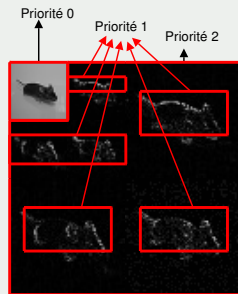
$$\bullet f_L(z) = -\frac{1}{8} \cdot (z^2 + z^{-2}) + \frac{1}{4} \cdot (z + z^{-1}) + \frac{3}{4}$$

$$\bullet f_H(z) = -\frac{1}{2} \cdot (z + z^{-1}) + 1$$

Prioritisation des données



(a) Stratégie basée sur les résolutions.



(b) Stratégie basée sur la magnitude des coefficients d'ondelette.

Introduction

État de l'art

Proposition 1 :
Action sur le
protocole de
communication

Principes

Traitement à la source

**Traitement dans les
nœuds de transit**

Modélisation de la
consommation d'énergie
du protocole

Résultats

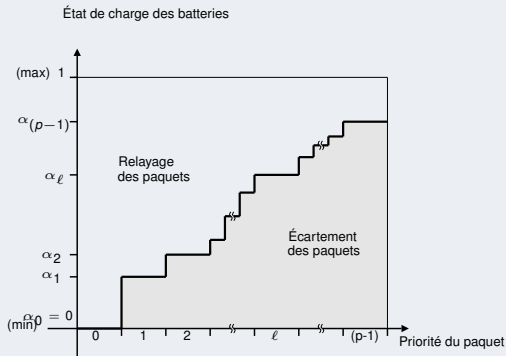
Variantes du protocole
semi-fiable

Proposition 2 :
Action sur les
données de l'image

Conclusions

Politique d'écartement de paquets basée sur des priorités

- Pré-configuration des coefficients α_ℓ



Consommation d'énergie cumulée de bout en bout pour transmettre une image

$$E_{TRANS} = (n + 1) \cdot m_0 \cdot E(t_0) + \sum_{\ell=1}^{p-1} [m_{\ell} \cdot E(t_{\ell}) \cdot (R(\ell, n) \cdot (n + 1) + \sum_{i=1}^n B(\ell, i) \cdot i)]$$

n	Nombre de nœuds de transit.	
m_{ℓ}	Nombre de paquets nécessaire pour envoyer tous les données de la priorité ℓ .	
t_{ℓ}	Taille moyenne des paquets transportant les données de la priorité ℓ .	
$E(k)$	Énergie consommée pour transmettre k octets.	
p	Nombre de priorités dans la politique semi-fiable.	
$R(\ell, n)$	Probabilité que les paquets de priorité ℓ soient transmis jusqu'au puits	$R(\ell, n) = (1 - \alpha_{\ell})^n$
$B(\ell, i)$	Probabilité que les paquets de priorité ℓ soient bloqués au nœud i	$B(\ell, i) = \alpha_{\ell} \cdot (1 - \alpha_{\ell})^{i-1}$

Consommation de la transformée en ondelettes [Lee and Dey, 2002]

$$E_{TO}(M, N, p) = M \cdot N \cdot (10 \cdot \varepsilon_{shift} + 12 \cdot \varepsilon_{add} + 2 \cdot \varepsilon_{mem} + 2 \cdot \varepsilon_{wmem}) \cdot \sum_{i=1}^p \frac{1}{4^{(i-1)}}$$



D.-G. Lee and S. Dey (2002). Adaptive and energy efficient wavelet image compression for multimedia data services. In : ICC'02.

Introduction

État de l'art

Proposition 1 :
Action sur le
protocole de
communication

Principes

Traitement à la source

Traitement dans les

nœuds de transit

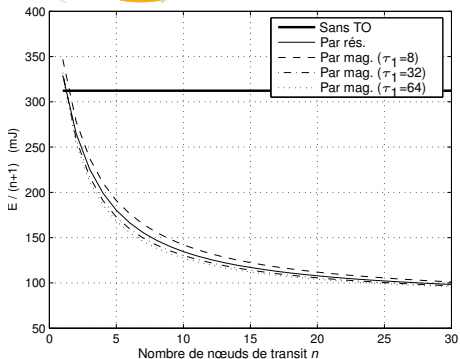
Modélisation de la
consommation d'énergie
du protocole

Résultats

Variantes du protocole
semi-fiable

Proposition 2 :
Action sur les
données de l'image

Conclusions



(c) Image originale
(128 × 128).



(d) Image reconstruite
avec 1 TO, P_0 reçue
(PSNR = 36.86dB).

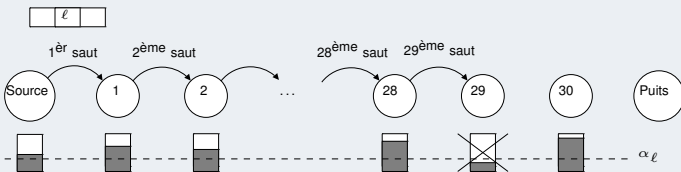


(e) Image reconstruite
avec 2 TO, P_0 reçue
(PSNR = 31.38dB).

Variantes proposées :

- Pondération des seuils d'énergie en fonction de la distance du nœud au puits

Transmission d'un paquet
avec priorité ℓ



- Protocole en boucle fermée.

Autre variante possible

- Crédits d'énergie journaliers

Introduction

État de l'art

Proposition 1 :
Action sur le
protocole de
communication

Proposition 2 :
Action sur les
données de
l'image

Résultats

Entrelacement des blocs

Implantation des
automorphismes
toriques

Résultats

Conclusions

1 Introduction

2 État de l'art

3 Proposition 1 : Action sur le protocole de communication

4 Proposition 2 : Action sur les données de l'image

5 Conclusions

Introduction

État de l'art

Proposition 1 :
Action sur le
protocole de
communication

**Proposition 2 :
Action sur les
données de
l'image**

Résultats

Entrelacement des blocs

Implantation des
automorphismes
toriques

Résultats

Conclusions

Proposition : Compression d'images à la source

Objectif : Compression locale, efficace en énergie pour la source, et résistante aux pertes de paquets (couplage avec un protocole non fiable).

Principes :

- Codage par blocs indépendants et de petite taille.
- Mélange de blocs avant de constituer les paquets.

Proposition 2 : Action sur les données de l'image

Trans. d'images sur les RCSF sous la contrainte de l'énergie

Introduction

État de l'art

Proposition 1 :
Action sur le protocole de communication

**Proposition 2 :
Action sur les données de l'image**

Résultats

Entrelacement des blocs

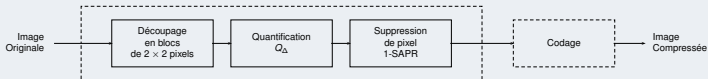
Implantation des automorphismes toriques

Résultats

Conclusions

ICES : Image Compression for Energy-constrained Sensors

- Codage par blocs indépendants de 2×2 pixels
- Suppression d'un pixel parmi les 4 \implies taux de compression de 4 : 3
- Au récepteur, estimation du pixel manquant à l'aide des 3 pixels présents.
- Augmentation du taux de compression par quantification scalaire et codage des symboles par des codes de longueur variable.



Proposition 2 : Action sur les données de l'image

Trans. d'images sur les RCSF sous la contrainte de l'énergie

Introduction

État de l'art

Proposition 1 : Action sur le protocole de communication

Proposition 2 : Action sur les données de l'image

Résultats

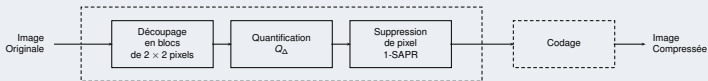
Entrelacement des blocs

Implantation des automorphismes toriques

Résultats

Conclusions

ICES : Image Compression for Energy-constrained Sensors



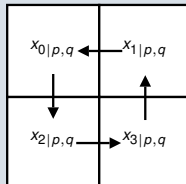
Suppression d'un pixel par bloc

Supprimer le pixel le « moins gênant » en termes de distorsion, c'est-à-dire :

$$\text{trouver } k \text{ tel que } \min_k (D_{k|p,q}) = \frac{1}{4} (\tilde{X}_{k|p,q} - X_{k|p,q})^2$$

On a pris :

- $\tilde{X}_{0|p,q} = X_{1|p,q}$
- $\tilde{X}_{1|p,q} = X_{3|p,q}$
- $\tilde{X}_{2|p,q} = X_{0|p,q}$
- $\tilde{X}_{3|p,q} = X_{2|p,q}$



Proposition 2 : Action sur les données de l'image

Trans. d'images sur les RCSF sous la contrainte de l'énergie

Introduction

État de l'art

Proposition 1 : Action sur le protocole de communication

Proposition 2 : Action sur les données de l'image

Résultats

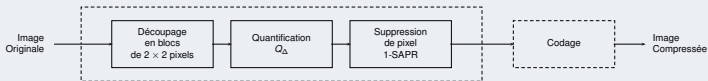
Entrelacement des blocs

Implantation des automorphismes toriques

Résultats

Conclusions

ICES : Image Compression for Energy-constrained Sensors



Suppression d'un pixel par bloc

Supprimer le pixel le « moins gênant » en termes de distorsion, c'est-à-dire :

$$\text{trouver } k \text{ tel que } \min_k (D_{k|p,q}) = \frac{1}{4} (\tilde{x}_{k|p,q} - x_{k|p,q})^2$$

Marquage du pixel supprimé dans le LSB des trois pixels restants.

$$\tau : \omega \longrightarrow \omega' = \tau(\omega, k)$$

ω	$\omega' = \tau(\omega, 0)$	$\omega' = \tau(\omega, 1)$	$\omega' = \tau(\omega, 2)$	$\omega' = \tau(\omega, 3)$
000 (0)	000 (0)	001 (1)	010 (2)	100 (4)
001 (1)	000 (0)	001 (1)	101 (5)	011 (3)
010 (2)	000 (0)	110 (6)	010 (2)	011 (3)
011 (3)	111 (7)	001 (1)	010 (2)	011 (3)
100 (4)	000 (0)	110 (6)	101 (5)	100 (4)
101 (5)	111 (7)	001 (1)	101 (5)	100 (4)
110 (6)	111 (7)	110 (6)	010 (2)	100 (4)
111 (7)	111 (7)	110 (6)	101 (5)	011 (3)

Proposition 2 : Action sur les données de l'image

Trans. d'images sur les RCSF sous la contrainte de l'énergie

Introduction

État de l'art

Proposition 1 : Action sur le protocole de communication

Proposition 2 : Action sur les données de l'image

Résultats

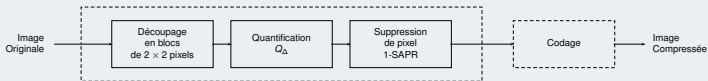
Entrelacement des blocs

Implantation des automorphismes toriques

Résultats

Conclusions

ICES : Image Compression for Energy-constrained Sensors



Quantification scalaire

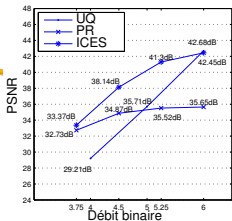
Optionnellement, quantification des valeurs des pixels avec $Q_{\Delta}(x) = \left\lfloor \frac{x}{2^{\Delta}} \right\rfloor$ pour réduire, en amont, le nombre de bits par pixel, soit :

- 6 bpp (sans quantification, Q_0)
- 5.25 bpp (Q_1), 4.5 bpp (Q_2), 3.75 bpp (Q_3), etc.

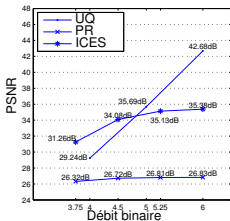
Note : L'opérateur $Q_{\Delta}(x)$ équivaut à un décalage binaire, soit :

$$Q_{\Delta}(x) = \left\lfloor \frac{x}{2^{\Delta}} \right\rfloor = x \gg \Delta$$

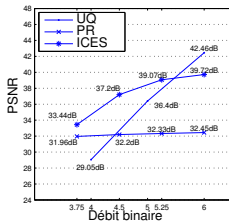
Performances de qualité d'image



(f) « Lenna » (512 × 512 pixels).



(g) « Baboon » (512 × 512 pixels).



(h) « Corridor » (128 × 128 pixels).



(i) Image originale



(j) UQ 4bpp
(PSNR = 29.21dB)



(k) PR à 3.75bpp (PSNR = 32.73dB)



(l) ICES à 3.75bpp (PSNR = 33.37dB)

Introduction

État de l'art

Proposition 1 :
Action sur le
protocole de
communication

Proposition 2 :
Action sur les
données de l'image

Résultats

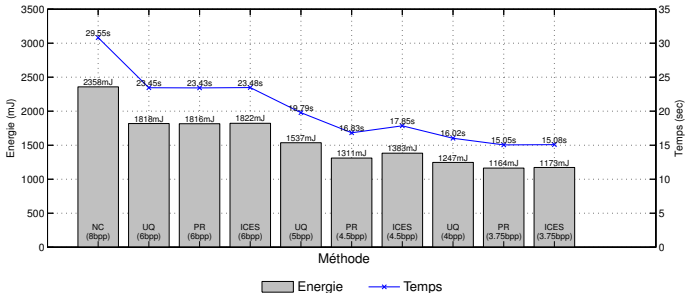
Entrelacement des blocs

Implantation des
automorphismes
toriques

Résultats

Conclusions

Expériences avec un nœud « Cyclops + Mica2 »



Consommation d'énergie et du temps d'exécution pour un cycle de travail avec une image de 128×128 pixels.

Méthode	ROM (bytes)	RAM (bytes)
NC	17332	987
UQ	17362	1024
PR	18046	1026
ICES	18356	1029



Automorphismes toriques

$$\begin{pmatrix} i' \\ j' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ k & k+1 \end{pmatrix}^n \begin{pmatrix} i \\ j \end{pmatrix} \pmod N$$

ATs appliqués par (Chen *et al*, 2003).



T.-S. Chen and J. Chen and J.-G. Chen (2003). A simple and efficient watermarking technique based on JPEG2000 codec. In : *Proceedings of the Fifth International Symposium on Multimedia Software Engineering*.

Exemple (ATs appliqués sur l'image de test « Corridor »)

Paramètres : $k = 1$, résolution de l'image (128×128) pixels.



Image originale

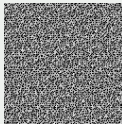


Image mélangée
avec AT et $n = 8$

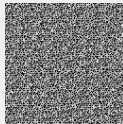


Image mélangée
avec AT et $n = 32$



Image mélangée
avec AT et
 $n = T = 48$

Automorphismes toriques

$$\begin{pmatrix} i' \\ j' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ k & k+1 \end{pmatrix}^n \begin{pmatrix} i \\ j \end{pmatrix} \pmod N$$

ATs appliqués par (Chen *et al*, 2003).



T.-S. Chen and J. Chen and J.-G. Chen (2003). A simple and efficient watermarking technique based on JPEG2000 codec. In : *Proceedings of the Fifth International Symposium on Multimedia Software Engineering*.

Exemple (Image compressée avec ICES à 3.75bpp)



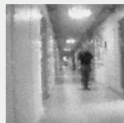
Image reçue avec 50%
de pertes



Dissimulation des
pixels manquants



Image reçue avec 50%
de pertes

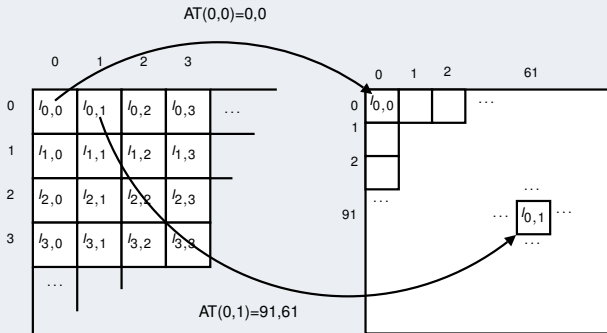


Dissimulation des
pixels manquants

Cas sans mélange

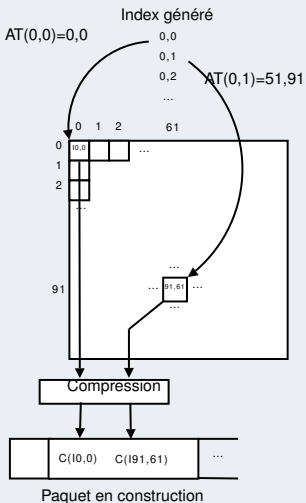
Cas avec mélange

Implantation classique



- **Coûteux en mémoire** : besoin d'un espace mémoire supplémentaire de la taille de l'image.
- **Coûteux en délai** : le processus de paquets ne peut commencer qu'après le mélange complet de l'image.

Adaptation de l'entrelacement de blocs



```

H ← ImageHeight, W ← ImageWidth
for p = 0 to (⌊ H / BlockHeight - 1 ⌋) do
  for q = 0 to (⌊ W / BlockWidth - 1 ⌋) do
    Calculate (p', q') of position (p, q) using TA
    Compress the block in (p', q'), Bp',q'
    if sizeof(Compressed Block) > available space on
    Packet.data then
      Send Packet
    end if
    Packetize Compressed Buffer Bp',q'
    if (Packet is full) or ((p, q) =
    (⌊ H / BlockHeight - 1 ⌋, ⌊ W / BlockWidth - 1 ⌋))
    then
      Send Packet
    end if
  end for
end for
  
```

Introduction

État de l'art

Proposition 1 :
Action sur le
protocole de
communication

Proposition 2 :
Action sur les
données de l'image

Résultats

Entrelacement des blocs

Implantation des
automorphismes
toriques

Résultats

Conclusions

Introduction

État de l'art

Proposition 1 :
Action sur le
protocole de
communication

Proposition 2 :
Action sur les
données de l'image

Résultats

Entrelacement des blocs

Implantation des
automorphismes
toriques

Résultats

Conclusions

Exemple (Image compressée avec ICES à 3.75bpp)

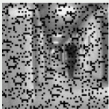
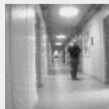


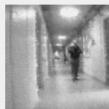
Image reçue avec
20% de pertes



PSNR = 30.43dB



Image reçue avec
40% de pertes



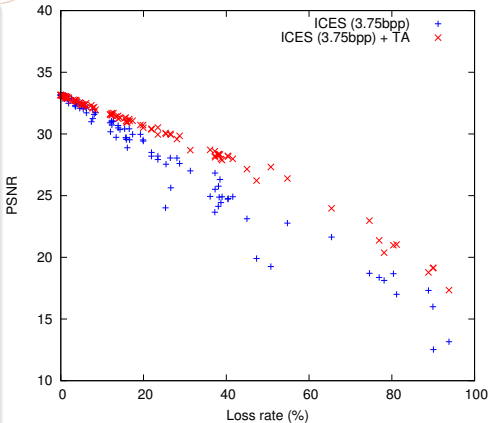
PSNR = 28.23dB



Image reçue avec
65% de pertes



PSNR = 23.98dB



Expériences avec un mote « Cyclops+Mica2 »

- Image capturée : 128×128 pixels, monochrome 8bpp
- Compression avec ICES à 3.75bpp.
- Mélange par AT avec $k = 1$ et $n = 8$.
- Données par paquet : 27 octets.
- Puissance de l'émetteur : -20dBm
- Consommation de 1mW en mode « sommeil ».

	Image non compressée	Image compressée non mélangée	Image compressée mélangée
1 cycle	607 paquets 29.95 secondes 2358 mJ	293 packets 15.08 secondes 1173 mJ	293 packets 15.24 secondes 1189 mJ
Durée de vie	En fonctionnement intermittent (1 cycle / mn)		
	9045 images 06 j 06 h 45 mn	17735 images 12 j 07 h 35 mn	17507 images 12 j 03 h 47 mn

Introduction

État de l'art

Proposition 1 :
Action sur le
protocole de
communication

Proposition 2 :
Action sur les
données de l'image

Conclusions

1 Introduction

2 État de l'art

3 Proposition 1 : Action sur le protocole de communication

4 Proposition 2 : Action sur les données de l'image

5 Conclusions

- Proposition d'un protocole semi-fiable assurant une qualité minimale des images finales.
 - Permet aux nœuds de transit d'épuiser leur énergie moins rapidement.
 - Fournit un compromis entre une communication fiable (privilégiant la qualité d'image) et une communication non fiable (privilégiant les économies d'énergie).
- Proposition d'un système de compression robuste et efficace en énergie, validé sur une vraie plateforme de réseaux de capteurs.
 - Réduit la consommation d'énergie d'un facteur de 2, environ.
 - Bonne résistance aux pertes de paquets (on peut supporter facilement 40% de pertes).
- Contribution au projet ANR JCJC TCAP (No. 06-JCJC-0072).

Perspectives :

- Ajout d'une étape de codage par codes de longueur variable
 - améliore encore plus les résultats (coût d'énergie divisé par 3, environ)
- Tatouage d'images pour faciliter sa reconstruction en présence de pertes de paquets (Thèse de Leila Makkaoui).
- Projet Franco-Tunisien CNRS-DGRST pour implantation sur circuit ASIC.

Transmission d'images sur les réseaux de capteurs sans fil sous la contrainte de l'énergie

Thèse présentée pour l'obtention du titre de
Docteur de l'Université Henri Poincaré, Nancy 1
en Sciences, spécialité Automatique, Traitement du Signal et Génie Informatique

Par : Cristian DURAN-FAUNDEZ

Rapporteurs :	Christine FERNANDEZ-MALOIGNE David SIMPLOT-RYL	Université de Poitiers, Xlim-SIC Université Lille 1 - INRIA Futurs
Examineurs :	Christophe CHASSOT Jean-Marie MOUREAUX	INSA de Toulouse - LAAS Université Henri Poincaré Nancy 1, CRAN
Directeurs :	Francis LEPAGE (Directeur) Vincent LECUIRE (Co-Dir.)	Université Henri Poincaré Nancy 1, CRAN Université Henri Poincaré Nancy 1, CRAN



Nancy-Université



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE PLANIFICACION

23 juin 2009