

Structure et dynamique des réseaux

Cours 10 : Réseaux de capteurs

Clémence Magnien, Lionel Tabourier, Fabien Tarissan

LIP6 – CNRS et Université Pierre et Marie Curie

`prenom.nom@lip6.fr`

Emploi du temps

Modifications des cours/TP des prochaines semaines :

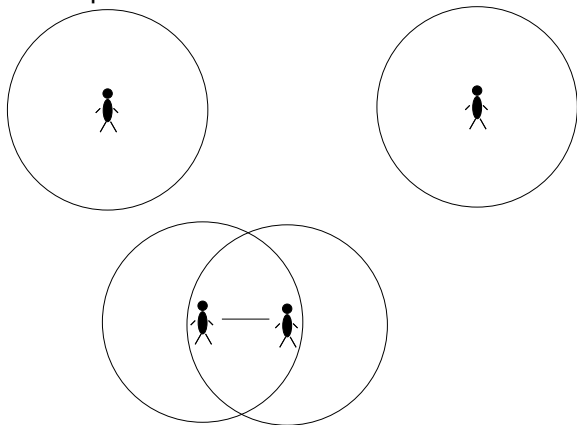
- mardi 9 décembre : pas de changement
- mardi 16 décembre : cours de 13h45 à 15h45 - pas de TP
- mardi 13 janvier : cours de 13h45 à 15h45 - pas de TP
- mardi 20 janvier : cours de 13h45 à 15h45 puis TP de 16h à 18h
- mercredi 28 janvier : 4h de TP le matin

Plan

- 1 Débit
 - Protocoles de communication
 - Nœuds fixes
 - Nœuds mobiles
- 2 Quelques résultats sur la mobilité
 - Temps inter-contacts
 - Modèles de mobilité pour réseaux ad hoc
 - Prédiction de la mobilité
- 3 Conclusions / ouvertures

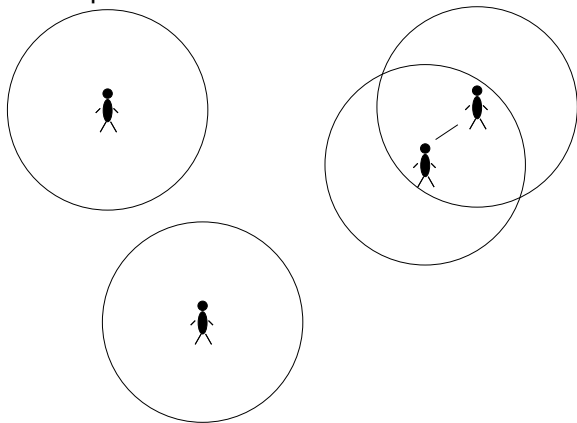
Objets étudiés

Réseaux de proximité entre personnes, au fil du temps
permettent des communications sans fil



Objets étudiés

Réseaux de proximité entre personnes, au fil du temps
permettent des communications sans fil



Motivations

Communications sans infrastructure (ad hoc) :
transmissions de proche en proche

- économies de coûts (par ex. pour un broadcast)
- catastrophes
- applications militaires

Épidémiologie

proximité radio ↔ proximité physique

Outline

- 1 Débit
 - Protocoles de communication
 - Nœuds fixes
 - Nœuds mobiles
- 2 Quelques résultats sur la mobilité
 - Temps inter-contacts
 - Modèles de mobilité pour réseaux ad hoc
 - Prédiction de la mobilité
- 3 Conclusions / ouvertures

Efficacité de ces réseaux ?

Capacité/débit :

débit moyen pour une paire source/destinations aléatoire

Besoin de modéliser :

- qui communique avec qui
 - quand
 - combien

Protocole de communication ?

Point-to-point

Pour chaque paquet, la source attend de voir la destination.

Avantage :

- simple

Inconvénient :

- temps de transmission ?

Inondation

Chaque nœud transmet tous les paquets qu'il connaît à tous les nœuds qu'il rencontre

Avantages

- sorte de borne inférieure pour le temps de transmission

Inconvénients

- espace mémoire ?
- interférences ?

Two-hop relay

Chaque source transmet les paquets au premier nœud qu'elle rencontre :

- soit directement à la destination
- soit un nœud relai

Chaque relai attend de voir la destination pour lui transmettre le paquet

Avantages/inconvénients ?

Protocole utilisé dans un article, détaillé plus tard.

OLSR – Optimized Link State Routing

Découverte autonome des routes

Peu adapté pour du *Delay Tolerant Network*

(on attend une opportunité avant d'envoyer un paquet)

noeuds fixes

[Gupta, Kumar, 2000]

n nœuds placés au hasard dans un disque de surface 1

Les nœuds ne bougent pas

Pour chaque source : une destination (choisie aléatoirement)
infinité de paquets à envoyer

Résultat

- Débit en $cte/\sqrt{n \log n}$ possible
- Débit en cte/\sqrt{n} impossible

Intuition

Une transmission de i vers j ne peut pas se faire en même temps qu'une transmission à distance $d(i, j)$ de i .

Nombre de nœuds dans le cercle $\sim d(i, j)^2$

Maximiser le débit total \rightarrow beaucoup de transmissions courtes.

- Distance au nœud le plus proche : $\sim \sqrt{n}$
- Débit d'un nœud : $\sim \sqrt{n}$
- Débit total : $\sim \sqrt{n}/n = 1/\sqrt{n}$ au mieux

Discussion

Le débit diminue avec le nombre de nœuds

→ plus de nœuds : **fonctionnement moins bon**

Discussion

Résultat théorique important

Que se passe-t-il si :

- les nœuds bougent :
- les motifs de communication changent ?
(qui veut communiquer avec qui)

Avec des noeuds mobiles

[Grossglauser, Tse, 2002]

Les nœuds se déplacent dans un disque de surface 1.

$X_i(t)$ position de i au temps t .

Distribution uniforme sur le disque (+ ergodicité)

Chaque nœud \rightarrow une destination

Infinité de paquets à envoyer

Première idée

Chaque paire source/destination est proche infiniment souvent
→ communications directes quand *distance* < *seuil*

Problème

- seuil élevé : beaucoup d'interférences
peu de communications en même temps
- distance courte : besoin d'attendre longtemps

Débit total **faible** dans les deux cas

Meilleur compromis : pas possible d'atteindre $1/\sqrt{n}$

Deuxième idées : relai

À chaque instant t : on choisit aléatoirement θn sources
($\theta < 1$, paramètre)
les autres nœuds sont des récepteurs

2 modes

- si t impair : chaque source envoie son paquet au récepteur le plus proche
 - soit la destinations
 - soit un relai (**unique**)
- si t pair : chaque source transmet un paquet relayé, si possible.
 - transmission **uniquement à la destination**

Deuxième idée – résultats

Résultat

Le débit de chaque paire est constant

Intuition

Pour chaque source :

- une route directe vers la destination
- $n - 2$ routes avec relai

Chaque route a un débit de $1/n$
débit total $\mathcal{O}(1)$

Discussion

Résultat théorique important

La mobilité **joue un rôle important**

Un seul relai : surprenant ?

Le modèle de mobilité suppose une trajectoire :

- stationnaire
- uniforme sur le disque
- ergodique
- indépendant d'un nœud à l'autre

→ chaque nœud a la **même probabilité** de voir la destination

Le modèle de mobilité est-il réaliste ?

Outline

- 1 Débit
 - Protocoles de communication
 - Nœuds fixes
 - Nœuds mobiles
- 2 Quelques résultats sur la mobilité
 - Temps inter-contacts
 - Modèles de mobilité pour réseaux ad hoc
 - Prédiction de la mobilité
- 3 Conclusions / ouvertures

Capter la mobilité ?

Comment capturer la mobilité ?
Très difficile en pratique

Un substitut **plus** facile

Enregistrer les possibilités de communication radio

Deux types de données

- Connexions à des points d'accès
- Mesurer les contacts entre capteurs
typiquement des *iMotes*

Durée des contacts et des inter-contacts

Pour des réseaux de capteurs :

Durée des contacts

Combien de temps les deux nœuds restent proches l'un de l'autre

Durée inter-contacts

Temps écoulé entre deux contacts consécutifs
pour une même paire de nœuds

→ Distribution

Format des données

Format des données

```
1 2 23 34  
1 2 45 46  
...  
23 25 1 3  
...
```

Chaque ligne $n1$ $n2$ t_d t_f :
contact entre les nœuds $n1$ et $n2$

- commençant au temps t_d
- finissant au temps t_f

Fichier trié par paire de nœuds puis par temps

Calcul des durées des contacts et des inter-contacts

- Durée de contact : $t_f - t_d$
(pour chaque ligne)
- Durée inter-contacts : t_d d'une ligne - t_f de la ligne précédente + 1
(pour deux lignes qui concernent les mêmes nœuds)

Jeu de données

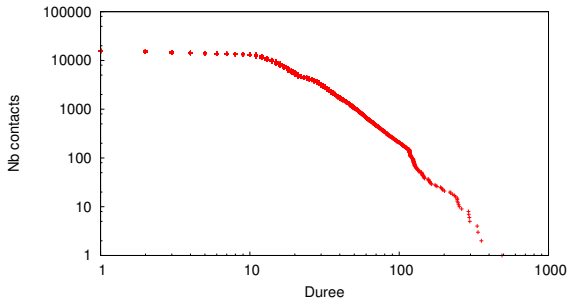
[Tournoux, Leguay, Benbadis, Conan, Dias de Amorim, Whitbeck, 2009]

Rollernet

- Participants à une randonnée roller à Paris
- 62 nœuds
- 3 heures

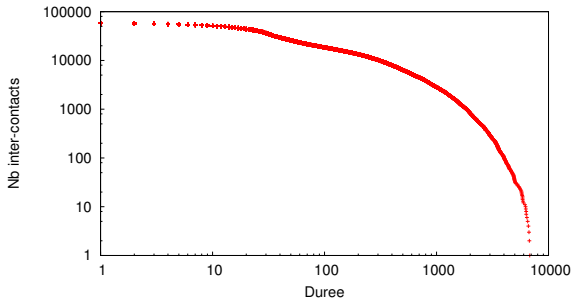
Observations – Durée des contacts

Distribution cumulative inverse



Observations – Durée inter-contacts

Distribution cumulative inverse



Discussion

Distributions **non homogènes**

(plus ou moins hétérogènes selon les jeux de données)

Mobilité

On ne peut pas avoir une mobilité régulière et homogène
Incompatible avec les hypothèses de l'article précédent

Conséquences

[Chaintreau, Hui, Crowcroft, Diot, Gass, Scott, 2006]

Temps inter-contacts en loi de puissance
⇒ pas de communication efficace possible

Marche aléatoire (*Random Walk*)

Principe

- nœud mobile avec **vitesse aléatoire**, **destination aléatoire**
- on connecte les nœuds **à distance inférieure à la portée**

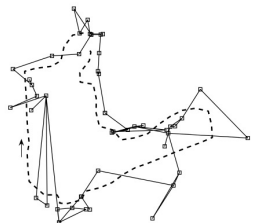
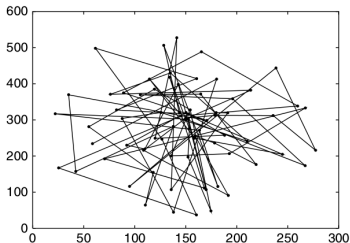
Très classique, nombreux noms (ex: mouvement brownien)

Variantes selon

- bornes de la vitesse: $[v_{min}; v_{max}]$
- destination fixée par position ou orientation
- gestion des conditions aux limites

Marche aléatoire (*Random Walk*)

Motifs de mobilité typique en 2D: *RW* vs trace réelle



Peu réaliste pour les MANET

Vers plus de réalisme: *Random Waypoint* et dérivés

pas de pauses \Rightarrow peu de temps pour trouver de bonnes routes

Intégrer des pauses: *Random Waypoint model (RWP)*

- *RW* destination par position (espace 2D), $v \in [0; v_{max}]$
- ajout de pauses avant chaque changement d'orientation

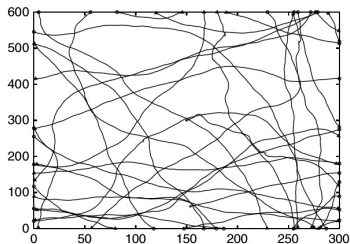
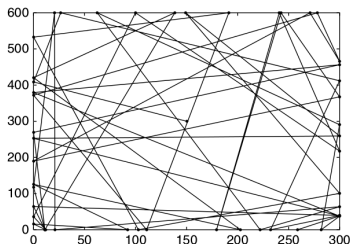
standard dans les années 2000

Vers plus de réalisme: *Random Waypoint* et dérivés

Plus de passages au centre: **densité inégalement répartie**

Possibles résolutions

1. orientation aléatoire + rebond aux bords
2. pas de bords: conditions aux limites périodiques (tore)

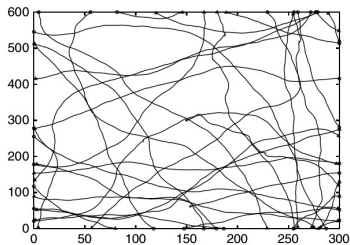
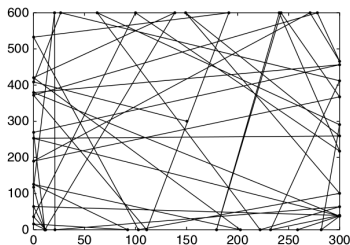


Vers plus de réalisme: *Random Waypoint* et dérivés

Plus de passages au centre: **densité inégalement répartie**

Possibles résolutions

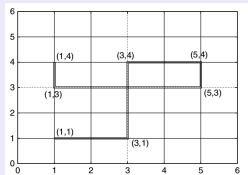
1. orientation aléatoire + rebond aux bords
2. pas de bords: conditions aux limites périodiques (tore)



Vers plus de réalisme (suite)

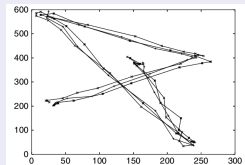
Mobilité dans un réseau urbain

Imposer des contraintes de route
au mouvement



Corrélations de mobilité des agents

- mouvement du centre de gravité
- agents distribués autour du centre



Vraiment plus réalistes?

Article étudié

Otiy: Locators Tracking Nodes

Mathias Boc, Anne Fladenmuller, Marcelo Dias de Amorim
ACM Conext, 2007

Données

Connections wifi à des points d'accès sur un campus

- ~ 5 500 étudiants
- 188 bâtiments, 566 points d'accès
- trois ans de mesure

Motivations

Communications dans des réseaux maillés sans fils

Proposition de l'article

Pour envoyer un message à un nœud

Besoin de connaître son point d'accès

Localisateur d'un nœud : machine qui stocke ce point d'accès
(cette machine est aussi un AP)

Proposition

Construction d'un **agenda** pour chaque nœud :
un localisateur assigné à l'avance pour chaque tranche
horaire,

But : localisateur proche de la position du nœud

Approche

Agenda

- Durée : une semaine
- Divisée en créneau d'une heure

Construction de l'agenda

Pour chaque créneau c :
le nœud stocke quel est le point d'accès A_c auquel il a été le plus connecté.

À la fin de la semaine :
 A_c devient le localisateur pour c pour la semaine suivante.

Validation

Principe de validation :

Étudier si un nœud est proche de son localisateur

Difficultés

- Localisation des points d'accès non connue
- Correspondance endroit \leftrightarrow point d'accès fluctue
(effets ping-pong, ...)

Solution

Création de groupes de points d'accès.

Pour chaque nœud,
→ graphe entre les points d'accès

Poids d'un lien (i, j) :
nombre de passages $i \leftrightarrow j$

But :

Regrouper les points d'accès en fonction de ce graphe

Regroupement de points d'accès

Algorithme (paramètre $0 \leq k \leq 1$)

Initialisation : Chaque AP seul dans son groupe

Trier les liens par poids décroissants

Pour chaque lien (i, j) :

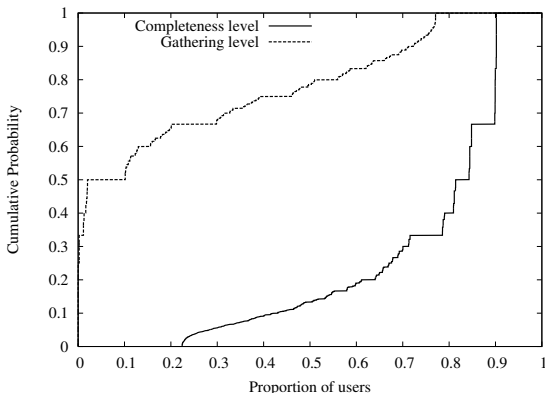
c_i, c_j : groupes des extrémités

Si $w(i, j) > k \max(\text{poids dans } c_i, \text{poids dans } c_j)$:

fusionner c_i et c_j

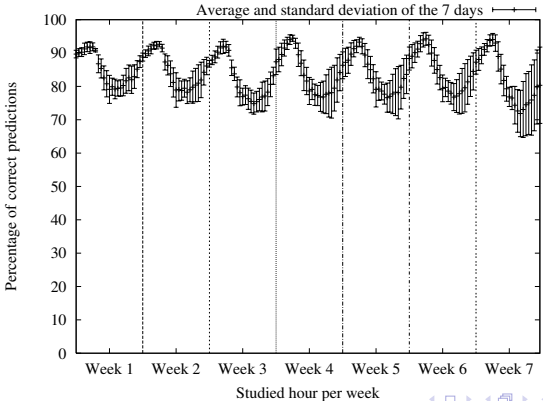
Résultat du regroupement

- Gathering : nombre de groupes / nombres d'AP vus
- Completeness : nombre de liens entre clusters / nombre de liens possibles



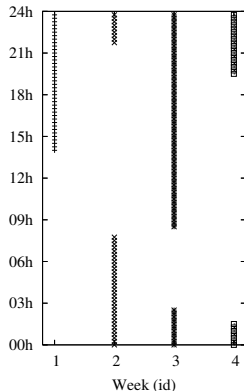
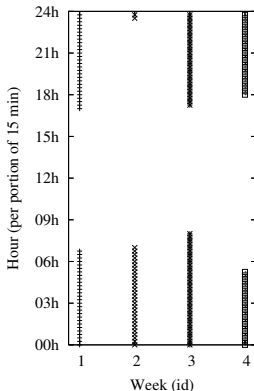
Cyclicité du comportement

Pour chaque heure :
Fraction de nœuds qui reviennent au même endroit que la semaine précédent
Moyenne + écart type sur les 7 jours de la semaine



Activité au fil du temps

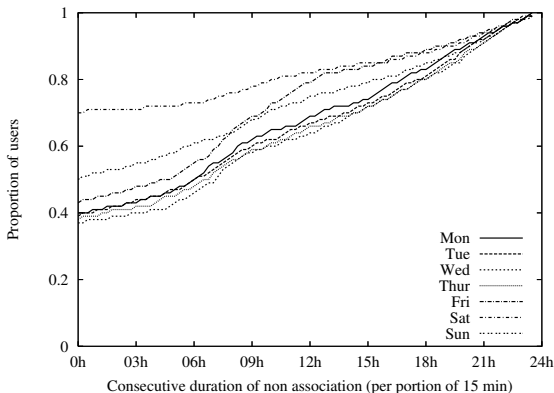
Périodes d'activité de deux nœuds sur 4 semaines différentes



Différences entre les nœuds

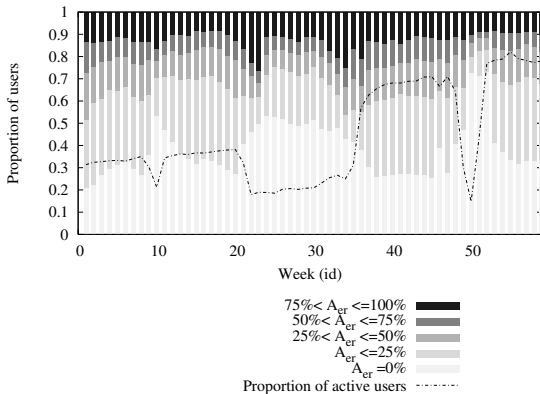
Activité selon les jours de la semaine

Durée d'inactivité maximale pour chaque jour, sur chaque semaine



Différences entre les jours

Résultats



Conclusion de l'article

Périodicité importante des comportements des nœuds

Intéressant de créer un agenda

Outline

- 1 Débit
 - Protocoles de communication
 - Nœuds fixes
 - Nœuds mobiles
- 2 Quelques résultats sur la mobilité
 - Temps inter-contacts
 - Modèles de mobilité pour réseaux ad hoc
 - Prédiction de la mobilité
- 3 Conclusions / ouvertures

Conclusions

On a vu que :

- Pour des nœuds fixes la capacité décroît avec le nombre de nœuds
- Pour des nœuds mobiles ça peut être mieux

→ Important d'étudier la mobilité

- Mobilité différente selon les nœuds
- Périodicité

→ Impact sur les communications ?

→ Protocoles utilisant les propriétés de la mobilité ?

Métrologie dynamique

Problèmes d'interférence, autres

—> Pertes de paquets

—> Influence sur les durées contacts, inter-contacts ?

Durée de mesure finie

—> Problème pour les contacts/inter-contacts longs ?

Influence de la fréquence de mesure ?

Modèles de mobilité / de réseaux dynamiques ?

Modèles aléatoires/par construction ?

Graphe dynamique aléatoire ?