

Structure et dynamique des réseaux

Cours 9 : Modèles de graphes - suite

Clémence Magnien, Lionel Tabourier, Fabien Tarissan

LIP6 – CNRS and Université Pierre et Marie Curie

`prenom.nom@lip6.fr`

Outline

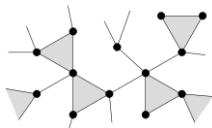
- 1 D'autres modèles
- 2 Applications: modèles statiques de réseaux de machines
- 3 Modèles de graphes dynamiques: méthode de mélange
- 4 Modèles de mobilité pour réseaux ad hoc

Exemple de modèle aléatoire plus élaboré

Newman - *Physical Review Letters*, 2009

Distributions de degré + clustering

- pour chaque nœud, on attribue:
moitiés de liens simples (s_i),
"coins" de triangles (t_i)
selon des distributions décorréelées
- assembler les moitiés de liens et les coins séparément

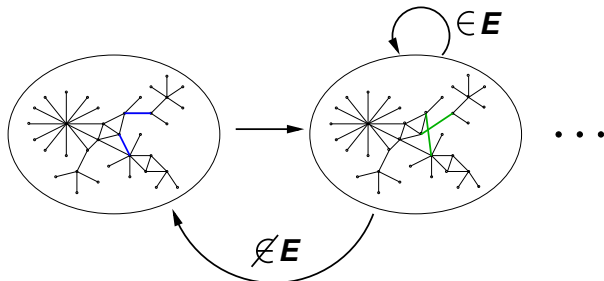


clustering **vérifié**, structure communautaire **déficiente**
+ impossibilité de créer deux triangles partageant un côté

Rappel sur les processus d'échanges

Principe

- on **doit** avoir un graphe respectant la distribution de degré
- on itère des **permutations des extrémités d'arêtes**
- après *suffisamment* d'échanges, le graphe produit est un élément quelconque de l'ensemble



Exemple de motivation

Mahadevan *et al.* - *SIGCOMM 2006*

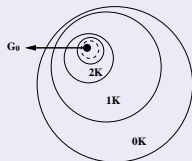
Topologie d'Internet niveau AS

Cartographies d'Internet à plusieurs niveaux:

- **Systèmes Autonomes:**
bases de données: *CAIDA skitter*, *RIPE WHOIS*
- **Routeurs:**
modèle: *Heuristically Optimal Topology* (Li et al, 2004)

Modèles dK -series à corrélations de degré fixées

- $0K$: même densité (ER)
- $1K$: même degré de chaque nœud
- $2K$: même corrélations à 2 nœuds
- $3K$: même corrélations à 3 nœuds

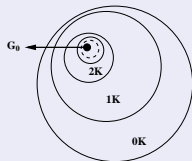


Exemple de motivation

Mahadevan *et al.* - SIGCOMM 2006

Modèles dK -series à corrélations de degré fixées

- $0K$: même densité (ER)
- $1K$: même degré de chaque nœud
- $2K$: même corrélations à 2 nœuds
- $3K$: même corrélations à 3 nœuds



Comment générer des éléments quelconques de ces ensembles?

Contraintes quelconques et k -échanges de liens

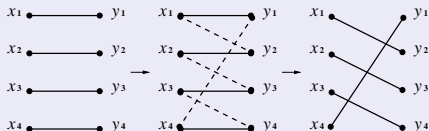
Tabourier, Roth et Cointet - *Journal of Experimental Algorithmics*, 2011

Méthode d'échanges simples

Problème: en général **pas de garantie** d'atteindre tous les graphes de l'ensemble par la marche aléatoire

Solution

- plutôt que d'échanger les extrémités de 2 arêtes, **échanger k arêtes**: permet d'atteindre plus d'éléments



- $\exists k$ tel qu'on atteint tous les élts de l'ensemble (admis)

Contraintes quelconques et k -échanges de liens

Questions de recherche...

- $\exists k$ tel qu'on atteint tous les élts de l'ensemble
mais comment trouver le k minimum en pratique?
- peut-on connaître/maîtriser le nombre d'itérations à faire?
- peut-on utiliser cette méthode pour des modèles de graphes dynamiques?

Parenthèse: sujet de stages

Stages Complex Networks

- Prédire la dynamique de réseaux complexes
- Dynamique de l'Internet
- **Génération de graphes aléatoires par k-échanges**
- Conversations, groupes et communautés dans les flots de liens
- Modélisation des graphes de terrain
- Dynamiques de graphes
- Détection d'événements et/ou d'anomalies dans les dynamiques de graphe

→ <http://www.complexnetworks.fr/projects/>

Outline

- 1 D'autres modèles
- 2 Applications: modèles statiques de réseaux de machines**
- 3 Modèles de graphes dynamiques: méthode de mélange
- 4 Modèles de mobilité pour réseaux ad hoc

Modèle historique de réseaux de machines

Réseaux de routeurs décentralisés, sans carte pré-établie
Besoin de modèles pour tester les protocoles, la robustesse...

Revue non-exhaustive

Modèle historique de réseaux de machines

Réseaux de routeurs décentralisés, sans carte pré-établie
Besoin de modèles pour tester les protocoles, la robustesse...

Revue non-exhaustive

Modèle de Waxman

Waxman - Journals on Selected Areas in Communication, 1988

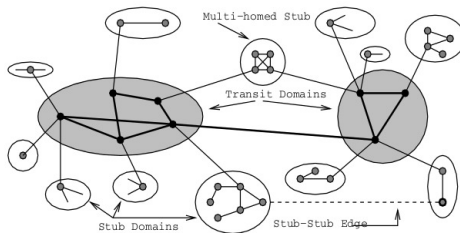
- nœuds répartis aléatoirement sur une grille 2D
- connections aléatoires en fonction de la distance

Défauts:

- pas de hiérarchie
- pas de garantie de connexité
- croissance de L ne vise pas redondance

Modèles à hiérarchie

Calvert, Doar et Zegura - *Communications Magazine*, 1997



Une hiérarchie à trois niveaux

Différencier les types de routeurs:

- routeurs de *transit domains* (typiquement WANs, MANs)
- routeurs de *stubs domains* (réseaux de LANs)
- routeurs de LAN (et nœuds hôtes)

Modèles à hiérarchie: paramétrage

Paramètres

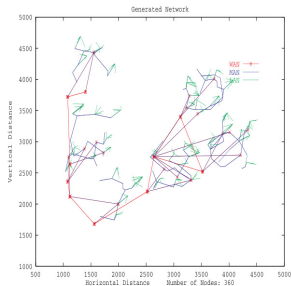
- T *transit domains*:
 - N_T : nombre nœuds de *transit*
 - E_T : nombre liens *transit* intra-domaine
 - E_{TT} : nombre liens *transit* inter-domaine
- S *stub domains par transit domain*:
 - N_S : nombre nœuds de *stub*
 - E_S : nombre liens *stub* intra-domaine
 - E_{ST} : nombre liens entre *stub* et *transit*
- L LAN par *stub domain*:
 - N_L : nombre hôtes par LAN (structure étoile pour LAN)
 - E_{LS} : nombre liens entre LAN et nœud *stub*

Exemples

Exemples d'implémentations

- *Transit-Stub*: pas d'hôtes, mais liens $S - S$ possibles
- *Tiers*: 1 WAN unique ($T = 1$), prise en compte de la géographie et de la redondance

Exemple de réseau généré par *Tiers*:



Heuristically Optimized Trade-Offs

Fabrikant et al. - *Automata, Languages and Programming, 2002*

But: expliquer lois de puissance

Observées sur graphes IP d'Internet (Faloutsos et al., 1999) :

- degrés
- nombre de sauts par message
- plus grandes valeurs propres de la matrice d'adjacence

Modèle de croissance (type attachement préférentiel)

- graphe dans un espace euclidien
- critère d'attachement préférentiel de i vers j :

minimiser la somme pondérée $\alpha \cdot d_{ij} + h_j$

d_{ij} : distance euclidienne , h_j : mesure de centralité

la loi de puissance naît d'un **compromis centralité / distance**

Heuristically Optimized Trade-Offs

Résultats théoriques

Avec h_j nombre moyen de sauts aux autres nœuds:

- pour α assez petit,
- pour α intermédiaire,
- pour α assez grand ,

Heuristically Optimized Trade-Offs

Résultats théoriques

Avec h_j nombre moyen de sauts aux autres nœuds:

- pour α assez petit, **structure d'étoile**
- pour α intermédiaire, **degré en loi de puissance**
- pour α assez grand, **degré en loi exponentielle**

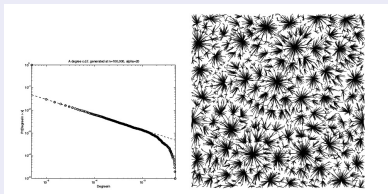
Heuristically Optimized Trade-Offs

Résultats théoriques

Avec h_j nombre moyen de sauts aux autres nœuds:

- pour α assez petit, **structure d'étoile**
- pour α intermédiaire, **degré en loi de puissance**
- pour α assez grand, **degré en loi exponentielle**

Observations expérimentales



Attention: pas réaliste (arbre, clustering nul...)

Outline

- 1 D'autres modèles
- 2 Applications: modèles statiques de réseaux de machines
- 3 Modèles de graphes dynamiques: méthode de mélange
- 4 Modèles de mobilité pour réseaux ad hoc

Données

Formats usuels

séquence de triplets (éventuellement dirigés):

$$u, v, t$$

avec temps de début et de fin:

$$u, v, t_d, t_f$$

référence à un événement antérieur (cas diachronique):

$$u, t_u, v, t_v$$

Exemples de données

- mails (*Enron*), appels téléphoniques
- transferts de paquets d'information
- capteurs RFID, Bluetooth (*Rollernet*, contacts hôpital)
- citations diachroniques (réseaux sociaux, blogs, articles)

Modèles de mélange

Holme et Saramäki - *Physics Reports*, 2012

Principe des modèles de mélange

depuis des données réelles:

rendre aléatoire structure et / ou temporalité des interactions
analyse dynamique pour mesurer l'effet des ingrédients

Quelques cas simples

- *Randomized Permuted Times (RT)*: structure identique, étiquettes temporelles mélangées
- *Randomized Edges (RE)*: structure *Configuration Model*, étiquettes temporelles mélangées

Illustrations: analyse dynamique de cas simples

Impact d'un modèle épidémique simple

Karsai et al - *Physical Review E*, 2011

Modèle épidémique SI déterministe

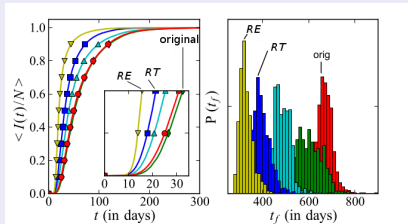
- deux états des sommets: *Susceptible* / *Infected*
- événement $a \rightarrow b$: si a est I et b est S , b devient I
- état initial: 1 nœud infecté, mesure $N(I)/N$ selon t

Modèle simple (nombreuses variantes)
pour décrire **influence structure + dynamique**
sur un modèle simplifié de diffusion (virale, info...)

Illustrations: analyse dynamique de cas simples

Karsai et al - *Physical Review E*, 2011

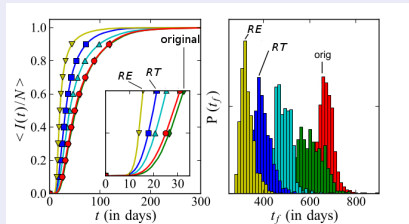
Comparaison des dynamiques cas réel vs cas aléatoires:
 évolution fraction I en fonction du temps
 t_f correspondant au réseau totalement infecté



Illustrations: analyse dynamique de cas simples

Karsai et al - *Physical Review E*, 2011

Comparaison des dynamiques cas réel vs cas aléatoires:
 évolution fraction I en fonction du temps
 t_f correspondant au réseau totalement infecté



Dynamiques très différentes (modèles peu réalistes)
 ⇒ **essentiel de l'information perdue par le mélange**

Illustrations: analyse dynamique de cas simples

Mais autre intérêt:

mesurer l'influence d'un ingrédient de la structure

Exemple

RT vs RE mesure le rôle des corrélations dans la structure
(indépendamment du temps)

Autre exemple

modèle à temps poissonien (*RTP*):

- structure identique au réseau réel
- temps des interactions générés artificiellement

RT vs RTP mesure le rôle des saisonnalités dans la distribution des interactions (cycles circadien, hebdomadaire...)

Outline

- 1 D'autres modèles
- 2 Applications: modèles statiques de réseaux de machines
- 3 Modèles de graphes dynamiques: méthode de mélange
- 4 Modèles de mobilité pour réseaux ad hoc

Protocoles pour réseaux ad hoc

MANET

Mobile Ad hoc NETWORK: réseau de stations mobiles nécessite des protocoles spécifiques (DSR, AODV...)

Besoins pour évaluation de performances

- trafic réaliste
- espace de stockage des messages limités
- portée de transmission raisonnable
- **mobilité réaliste des agents**

Camp et al. - *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2002

Marche aléatoire (*Random Walk*)

Principe

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

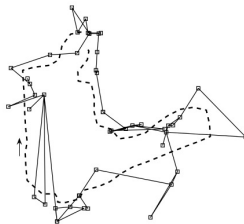
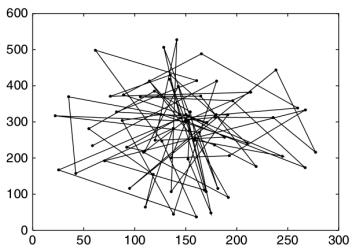
Très classique, nombreux noms (ex: mouvement brownien)

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

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

Modification élémentaire

Yoon et al. - *INFOCOM, 2003*

Dans cette forme: **pas d'état stationnaire...**

$$\bar{v} = \frac{v_{max} - v_{min}}{\ln(v_{max}/v_{min})}$$

$v \rightarrow 0$ si $v_{min} = 0 \Rightarrow$ on prend $v_{min} > 0$

Vers plus de réalisme: *Random Waypoint* et dérivés

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

Possibles résolutions

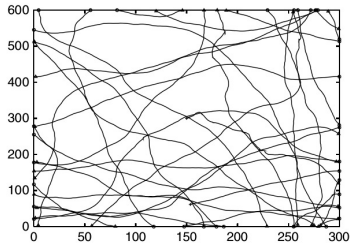
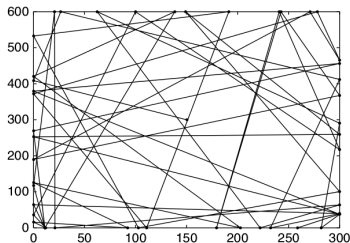
1. orientation aléatoire + rebond aux bords
2. pas de bords: conditions aux limites périodiques (tore)

Vers plus de réalisme: *Random Waypoint* et dérivés

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

Possibles résolutions

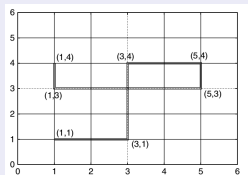
1. orientation aléatoire + rebond aux bords
2. pas de bords: conditions aux limites périodiques (tore)



Vers plus de réalisme (suite)

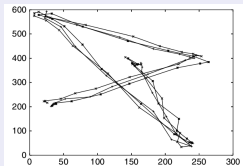
Mobilité dans un réseau urbain

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?

Discussion sur la notion de modèles

Deux grands types de modèles:

Des modèles de plus en plus réalistes, de moins en moins généraux, à ajuster selon le contexte

but de simulation

Des modèles qui visent à isoler les rôles des différents éléments dans le comportement du réseau

but explicatif