

Auto-organisation

Colette Johnen, LRI-CNRS
Orsay, France
colette@lri.fr

auto-organisation

1

Plan

- Auto-organisation des réseaux de capteurs
- Algorithmes de Routage
- Construction de clusters

auto-organisation

2

Système organisé

- Système ayant une structure et proposant des services
 - Structures : organisation des entités, interactions facilités
 - Services : répond à requêtes explicitées ou implicites

auto-organisation

3

Auto-Organisation

Le terme auto-organisation fait référence à un processus dans lequel l'organisation interne d'un système, augmente automatiquement sans être dirigée par une source extérieure

Les systèmes auto-organisés ont des propriétés émergentes

Définition utilisé en physique, biologie, anthologie, économie

auto-organisation

4

Système à auto-organiser

Un système à auto-organiser est habituellement caractérisées par:

- des éléments : agents, particules, noeuds
- des interactions entre les éléments
- des interactions entre les éléments et l'environnement
- une capacité d'interaction limitée entre les éléments (par exemple une limite spatiale)

auto-organisation

5

Réseaux de capteurs, Ad-Hoc

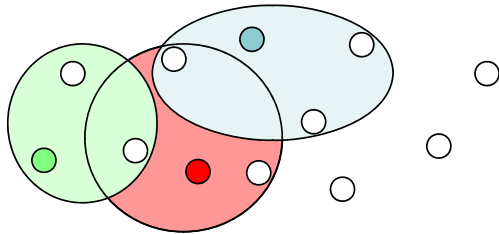
Environnement répartie

- Nœuds sont autonomes (panne, plantage, vitesse)
- Communication par la couche MAC
 - Nœuds ont une connaissance partielle de l'état du réseau (communication uniquement avec les nœuds accessibles directement par onde radio)
- Absence de contrôle centralisé

auto-organisation

6

Information obtenu via la couche MAC



auto-organisation

7

Réseau de Capteurs exemple de système à auto-organiser

- Des capteurs
- Des interactions en entre les capteurs limitées
exemple: limitation spatiale, énergie
- des interactions nécessaires entre les capteurs et l'environnement

auto-organisation

8

Défis à l'auto-organisation des réseaux capteurs

- Passage à l'échelle
- Panne
- Energie
- Hétérogénéité
- Bande passante

auto-organisation

9

Objectifs

- Aller au-delà de simples interactions locales
- Masquer l'absence de contrôle centralisé
- Faire émerger un comportement système cohérent (ayant des propriétés) globale

⇒ Adaptation automatique à l'environnement

⇒ Minimiser les échanges

⇒ Minimiser l'impact des pannes

auto-organisation

10

Clef de l'auto-organisation: local versus global

- Emergence d'un comportement global à partir de règles locales
- Ne pas concentrer les décision sur un nœud
- Distribuer des rôles à chaque nœud
Exemple: chaque nœud peut être amené à transfert des paquets

auto-organisation

11

Clef de l'auto-organisation: Minimiser les informations échangées

- + Plus un nœud a d'information sur le système, mieux il peut prendre des décisions adéquates

Exemple: construction de la table de routage par un nœud lorsqu'il connaît la topologie du réseau n'est pas difficile - Dijkstra Shortest Path algorithm -

- Obtenir des informations pertinentes (à jour) et complètes est très coûteux

auto-organisation

12

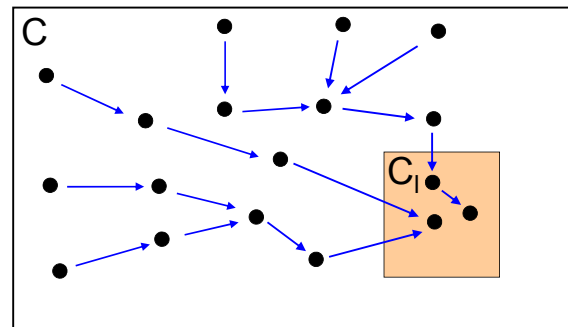
Clef de l'auto-organisation: Adaptation dynamique

- Adaptation aux changements de topologies (mobilité, panne, ajout de capteurs)
- Paramètres protocolaires adaptatifs (interaction avec l'environnement)
- Evolution des mécanismes d'auto-organisation en cas de nécessité

auto-organisation

13

Self-stabilizing algorithms



auto-organisation

14

Self-stabilization

➤ Advantages of self-stabilization:

- Fault tolerance
- Auto-configuration
- Dynamic topology

auto-organisation

15

Plan

- Auto-organisation des réseaux de capteurs
- Algorithmes de Routage
- Construction de clusters

auto-organisation

16

Routage

- routage désigne le mécanisme par lequel les messages d'un noeud sont acheminées jusqu'à leur destinataire
- Indispensable dès que des capteurs ne sont pas à portée de communications pour effectuer un tâche commune
Exemple: détection d'un feu

auto-organisation

17

Routage

- routage désigne le mécanisme par lequel les messages d'un noeud sont acheminées jusqu'à leur destinataire
- Routage proactif construit les routes régulièrement
- Routage réactif construit un route lorsqu'il y a une demande spécifique

auto-organisation

18

Proactif versus reactif

Proactif pros & Cons

- No latency in route discovery
- Large capacity to keep network info
- A lot of routing info may never be used!

Reactive Pros & Cons

- Maintain routes only if needed
- Bottleneck due to latency of route discovery

auto-organisation

19

Propriétés Indispensable du routage dans les réseaux de capteurs

- Minimiser l'énergie consommée
- Diminuer le nombre de collisions
- Adaptatif aux changements de topologie
- Ref : « Réseaux de capteurs : Système d'acquisition et de routage d'information », Ahmed Habbani, Olivier Romain, Jamal El Abbadi et Patrick Garda, la revue électronique des technologies de l'information, vol 2

auto-organisation

20

DSR – Dynamic Source Routing

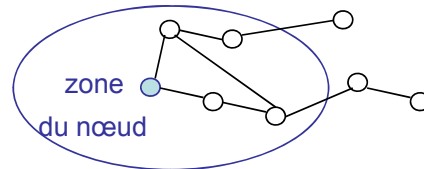
- L'émetteur (source) recherche la route au destinataire – en cas de besoin - via une inondation
- Inondation :
 - Retransmission (inondation) du paquet si c'est la première fois que je le reçois
 - Duplication des messages
 - Collisions

auto-organisation

21

ZRP - Zone Routing Protocol

- De point de vue, de chaque nœud, le réseau est divisé en deux parties :
 - Sa « zone » (ensemble des nœuds proches – distance $< k$)
 - Le reste du réseau



auto-organisation

22

ZRP - Zone Routing protocol

- Routage « intra zone » IARP
Protocole pour connaître les routes aux nœuds de sa « zone »
Typiquement un protocole proactif
- Routage « inter zone » IERP
Protocole pour atteindre les nœuds hors de sa « zone »
typiquement protocole réactif de type « bordercast »

auto-organisation

23

ZRP - Zone Routing protocol

- Protocole Réactif ou Proactif ?

auto-organisation

24

Algorithmes de routage

- DRP: Dynamic Source Routing
- ZRP: Zone Routing Protocol
- LAR : Location Aided Protocol
- CBRP : Cluster Based Routing Protocol

auto-organisation

25

LAR – Location Aided Routing

DSR + Utilisation des coordonnées spatiales pour aider à la découverte de la route

- Comment obtenir les coordonnées spatiales?
 - système GPS
 - Calcul des coordonnées – force du signal par rapport à un point fixe

auto-organisation

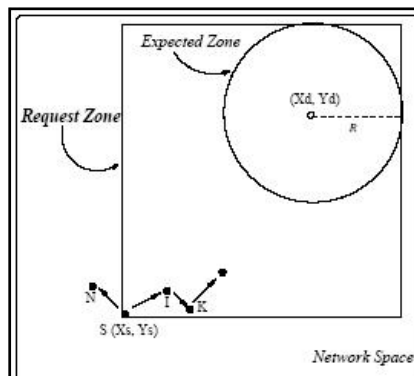
26

Location Aided Routing

- Nœud émetteur E connaît la zone géographique où est localisée le Destinataire D
- La route au destinataire D est trouvée par inondation:
Seul un nœud dans la « request zone » retransmet la recherche

auto-organisation

27

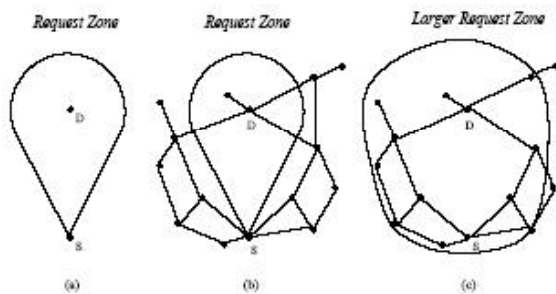


(a) LAR scheme 1

LAR

28

Calcul de request zone



auto-organisation

29

Location Aided Routing

Protocole réactif ou proactif ?

Avantage par rapport à DSR ?

Ref : Location-aided routing (LAR) in mobile ad hoc networks, Young-Bae Ko Nitin H. Vaidya, Wireless Network journal, 6(4),2000

auto-organisation

30

CBRP - Cluster-based Routing Protocol

- Bilan sur les protocoles de routages à plat:
 - Passage à l'échelle
 - instabilité des informations
- Solution : hiérarchiser le réseau –
- Certains nœuds vont avoir plus de fonctions à effectuées (plus d'influence)

auto-organisation

31

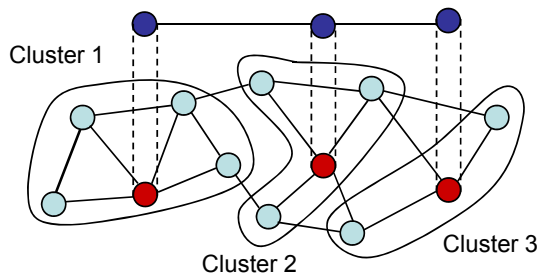
Hiérarchisation : Cluster

- Cluster (Grappe) groupement de nœuds proches
 - Nœuds d'un même cluster sont à distance $\leq k_1$
- Cluster a un leader (clusterhead) qui a des fonctions particulières – il manage le cluster
 - Nœuds d'un cluster sont à distance $\leq k_2 \leq k_1$ de leur clusterhead

auto-organisation

32

Example : Clustering



Clustered network → Hierarchical network

auto-organisation

33

CBRP

- Cluster : « lower ID » clusterhead choice
- Each node knows the clusterhead at distance ≤ 3 (on the path at most 2 gateways)

auto-organisation

34

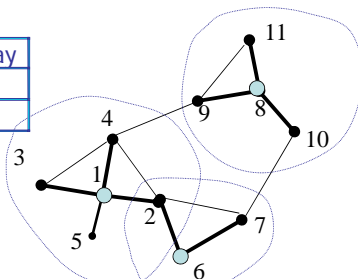
Adjacent Cluster Knowledge

Objective:

For clusterheads 3 hops away to know each other

On node 4:

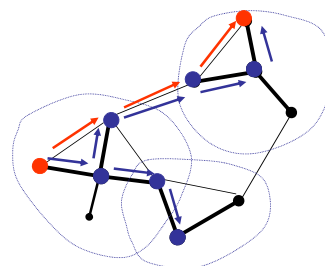
cluster	Gateway
8	9
6	2



auto-organisation

35

CBRP: Route discovery



auto-organisation

36

CBRP – Cluster Based Routing P.

- Protocole Réactif ou Proactif ?
- Avantage par rapport à DSR ?
- Avantage par rapport à LAR ?

auto-organisation

37

Plan

- Auto-organisation des réseaux de capteurs
- Algorithmes de Routage
- Construction auto-stabilisant de clusters

auto-organisation

38

Advantages of clustering

- Clustering :
 - facilitates the reuse of resource
 - reduces the amount of information routing propagated in the network
 - reduces the amount of information that is used to store the network state

auto-organisation

39

Modélisation de la topologie du réseau

- Réseau est un Graphe (V, E)
 - V ensemble de nœud (vertice)
 - E: ensemble d'arrête (edge) lien de communication bidirectionnel
- Voisinage d'un nœud p est noté N(p)

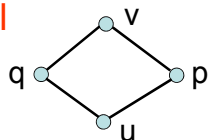
$$N(p) = \{ q \mid (p, q) \in E \}$$

auto-organisation

40

Communication Model

- Modèle à états
- Communication local et bidirectionnel
ex: p connaît son état, l'état de v et de u
- Interaction faible –
ex: p peut changer uniquement son état
- Algorithme ensemble de Règles gardées :



Guard → Action

auto-organisation

41

Autre Question: Maximal Independent Set (MIS)

Ensemble de nœuds indépendants: ensemble tel que deux voisins n'appartiennent pas à cet ensemble

Formellement, IS est « Independent Set » ssi

$$p \in IS \text{ et } (p, q) \in V \Rightarrow q \notin IS$$

auto-organisation

42

Autre Question: Maximal Independent Set (MIS)

Ensemble maximal de nœuds indépendants : ensemble de nœuds indépendants qui ne peut être agrandi

Formellement, IS est ensemble maximale de nœuds indépendants ssi

- IS est un ensemble de nœuds indépendants
- $q \notin IS \Rightarrow IS \cup \{q\}$ n'est pas ensemble de nœuds indépendants

auto-organisation

43

Autre Question: Minimal Dominating set (MDS)

- Ensemble dominant de nœuds : ensemble tel que tout nœud n'appartenant pas à cet ensemble a un voisins dans l'ensemble dominant

Formellement, DS est « Dominating Set » ssi

$$q \notin DS \Rightarrow \exists p \in DS \mid (p, q) \in V$$

auto-organisation

44

Autre Question: Minimal Dominating Set (MDS)

- Ensemble minimal et dominant de nœuds : ensemble de nœuds indépendants qui ne peut être réduit

Formellement, DS est un ensemble minimal et dominant ssi

- DS est un ensemble dominant de nœuds
- $q \in DS \Rightarrow DS - \{q\}$ n'est pas ensemble dominant

auto-organisation

45

Content

- Self-stabilizing DMAC algorithm
- Self-stabilizing GDMAC algorithm
- Robust self-stabilization
- Robust self-stabilizing GDMAC algorithm

auto-organisation

46

Properties of clusters under DMAC [Basagni99a]

- Dominance : every node is at most at distance 1 from the clusterhead of its cluster
- Independence : clusterheads **cannot** be neighbors
- Choice of clusterhead is based on “weight” node

auto-organisation

47

DMAC

- DMAC construit-il un «ensemble de nœuds independant » ?
- DMAC construit-il un «ensemble dominant de nœuds » ?
- DMAC construit-il un MIS ?
- DMAC construit-il un MDS ?

auto-organisation

48

Self-stabilizing DMAC algorithm

Input in v : $w\{v\}$ - the weight of node v

Local variables of v:

$Ch\{v\}$ - indicate that v is or is not a clusterhead

$head\{v\}$ - the clusterhead of v

auto-organisation

49

Self-stabilizing DMAC algorithm

Predicates

$G1(v) \equiv \forall z \in N\{v\}: Ch\{z\} = F \vee w\{v\} > w\{z\}$

$G2(v) \equiv Ch\{v\} = F \vee head_v \neq v$

$G3(v) \equiv Ch\{v\} = T \vee$

$head\{v\} \neq \max_{w\{z\}} \{z \in N\{v\}: Ch\{z\} = T\}$

auto-organisation

50

Self-stabilizing DMAC algorithm

Rules

$R1(v) : G1(v) \wedge G2(v) \rightarrow$

$Ch\{v\} := T; head\{v\} := v$

$R2(v) : \neg G1(v) \wedge G3(v) \rightarrow$

$Ch\{v\} := F;$

$head\{v\} := \max_{w\{z\}} \{z \in N\{v\}: Ch\{z\} = T\}$

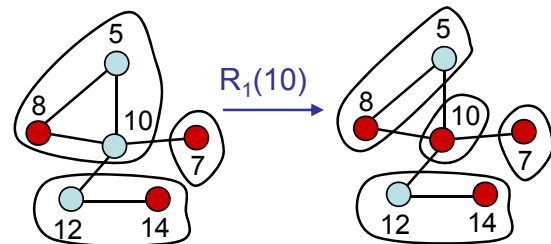
auto-organisation

51

Self-stabilizing DMAC algorithm

- Rule $R_1(v)$: v becomes clusterhead

● : Clusterhead ● : Ordinary



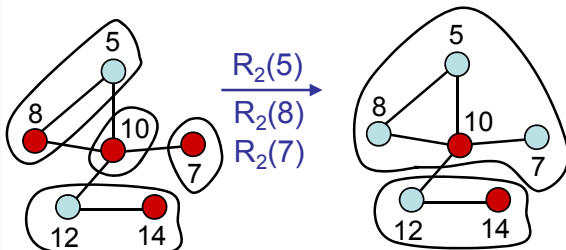
auto-organisation

52

Self-stabilizing DMAC algorithm

- Rule $R_2(v)$: v affiliates with a clusterhead

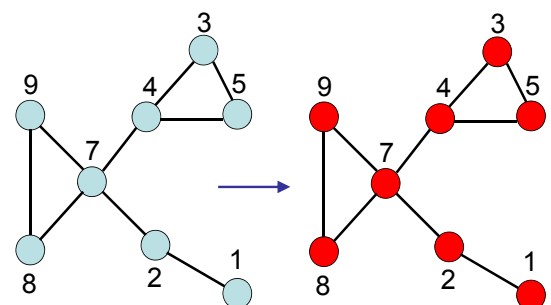
● : Clusterhead ● : Ordinary



auto-organisation

53

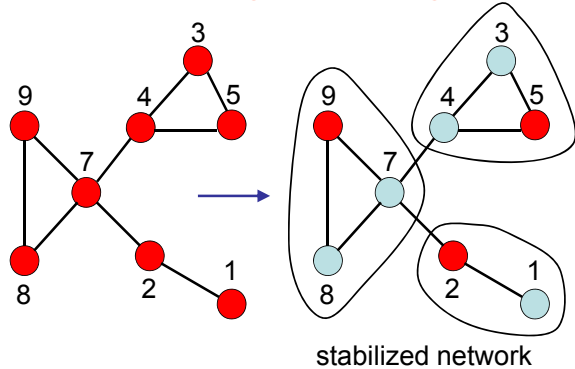
Self-stabilizing DMAC algorithm



auto-organisation

54

Self-stabilizing DMAC algorithm



auto-organisation

55

Why DMAC is not completely satisfactory in sensor networks?

- Resignation process



- Switching process



=> Clustering management overhead should be minimized

auto-organisation

56

Content

- Self-stabilizing DMAC algorithm
- Self-stabilizing GDMAC algorithm
- Robust self-stabilization
- Robust self-stabilizing GDMAC algorithm

auto-organisation

57

Properties of clusters under GDMAC [Basagni99a]

- affiliation property: every ordinary node affiliates with a neighboring clusterhead which has higher weight than its weight
- h-clusterhead property: for every ordinary node v there is no clusterhead $z \in N_v$ such that: $w_z > w_{\text{clusterhead}(v)} + h$
- k-neighborhood property: a clusterhead has at most k neighboring clusterheads

auto-organisation

58

GDMAC

- GDMAC construit-il un «ensemble de nœuds independant » ?
- GDMAC construit-il un «ensemble dominant de nœuds » ?
- GDMAC construit-il un MIS ?
- GDMAC construit-il un MDS ?

auto-organisation

59

GDMAC

Constants

$w\{v\}$ - the weight of node v

Local variables of node v

$Ch\{v\}$ - indicate that v is or is not a clusterhead.

$head\{v\}$ - the clusterhead of node v

$SR\{v\}$ - the highest weight which violates the 3th condition in v 's neighbor.

auto-organisation

60

GDMAC

Macros

$N^+\{v\} = \{z \in N\{v\} : Ch\{z\} = T \wedge w\{z\} > w\{v\}\}$
the set of v 's neighboring clusterhead which has higher weight than v 's weight

$Cl\{v\} = |N^+\{v\}|$
the number of v 's neighboring clusterhead which has higher weight than v 's weight

auto-organisation

61

GDMAC - Predicate

$G1(v) \equiv G11(v) \vee G12(v)$

$G11(v) \equiv Ch\{v\} = F \wedge N^+\{v\} = \emptyset$

$G12(v) \equiv Ch\{v\} = T \wedge Cl\{v\} \leq k \wedge head\{v\} \neq v \wedge \forall z \in N^+\{v\} : w\{v\} > SR\{z\}$

$G2(v) \equiv G21(v) \vee G22(v)$

$G21(v) \equiv Ch\{v\} = F \wedge$

$((\exists z \in N^+\{v\} : w\{z\} > w\{head\{v\}\} + h) \vee head\{v\} \notin N^+\{v\})$

$G22(v) \equiv (Ch\{v\} = T) \wedge$

$((\exists z \in N^+\{v\} : w\{v\} \leq SR\{z\}) \vee Cl\{v\} > k)$

auto-organisation

62

GDMAC - Rules

$R1(v) : G1(v) \rightarrow$
 $Ch\{v\} := T;$
 $head\{v\} := v;$
 $SR\{v\} := \max_{w\{z\}}(0, k+1th)\{z \in N\{v\} : Ch\{z\}=T\}$

$R2(v) : G2(v) \rightarrow$
 $Ch\{v\} := F;$
 $head\{v\} := \max_{w\{z\}}\{z \in N\{v\} : Ch\{z\}=T\};$
 $SR\{v\} := 0$

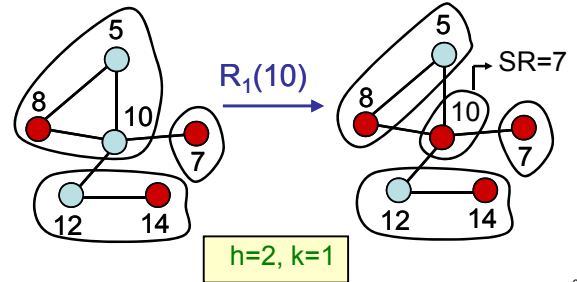
auto-organisation

63

Self-stabilizing GDMAC algorithm

- Rule $R_1(v)$: v becomes clusterhead

● : Clusterhead ● : Ordinary



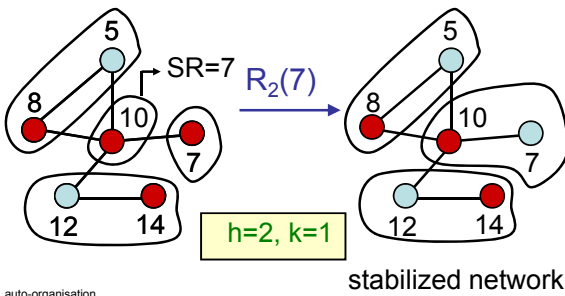
auto-organisation

64

Self-stabilizing GDMAC algorithm

- Rule $R_2(v)$: v affiliates with a clusterhead

● : Clusterhead ● : Ordinary

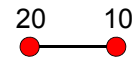


auto-organisation

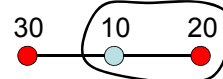
65

GDMAC behavior

- No Resignation if $k > 1$



- No Switching if $h > 10$



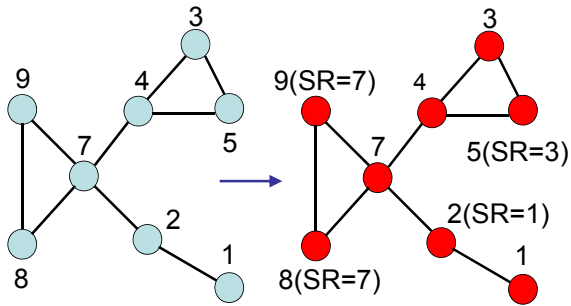
\Rightarrow Clustering management overhead

are reduced

auto-organisation

66

Self-stabilizing GDMAC algorithm

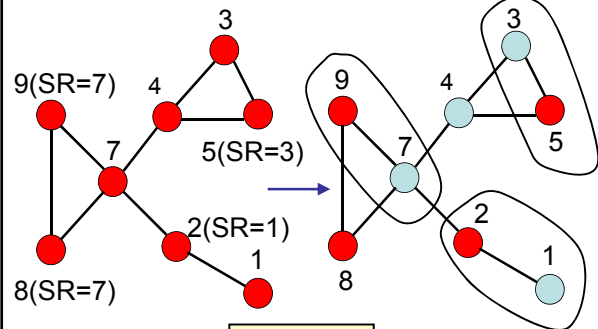


$h=1, k=1$

auto-organisation

67

Self-stabilizing GDMAC algorithm

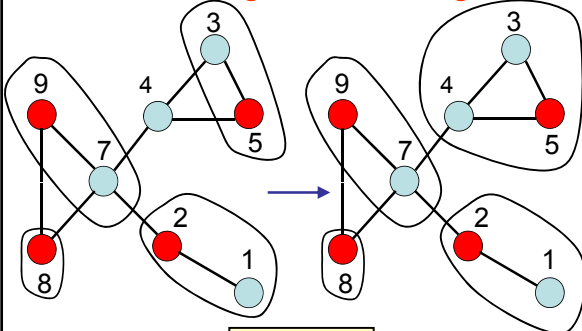


$h=1, k=1$

auto-organisation

68

Self-stabilizing GDMAC algorithm

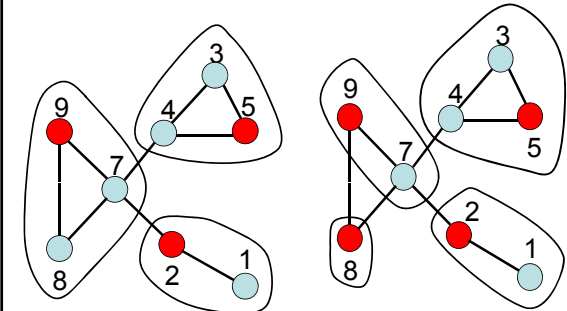


$h=1, k=1$

auto-organisation

69

DMAC vs GDMAC



DMAC

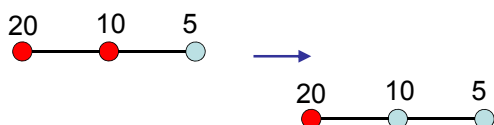
GDMAC $h=1, k=1$

auto-organisation

70

Why self-stabilizing GDMAC is not completely satisfactory in sensor networks ?

- Resignation process ($k=0$)



=> Arbitrary behaviours during convergence time should be avoided

auto-organisation

71

Content

- Self-stabilizing DMAC algorithm
- Self-stabilizing GDMAC algorithm
- **Robust self-stabilization**
- Robust self-stabilizing GDMAC algorithm

auto-organisation

72

Robust Self-stabilizing algorithm

Two classes of interesting configurations:

- C_s : set of safe configurations
- C_l : set of legitimate configurations

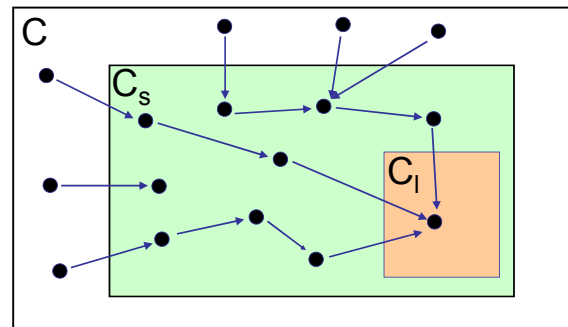
Objective:

- $C_l \subseteq C_s$
- **Fast** convergence to C_s and C_s is closed
- **Safety property** is verified once C_s is reached
- convergence to C_l and C_l is closed

auto-organisation

73

Robust Self-stabilizing algorithm



auto-organisation

74

Content

- Self-stabilizing DMAC algorithm
- Self-stabilizing GDMAC algorithm
- Robust self-stabilization
- **Robust self-stabilizing GDMAC algorithm**

auto-organisation

75

Safe configurations for robust SS-GDMAC

- C_s : set of safe configurations in which the minimum service is guaranteed
 - **Minimum service**: network is correctly partitioned :
 - Each node belongs to a cluster
 - Each cluster has a node acting as a clusterhead
 - Each node is at distance at most 1 of its clusterhead
- ≡ **affiliation property**

auto-organisation

76

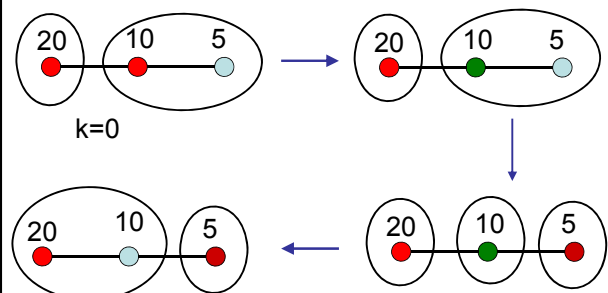
Legitimate configurations

- C_l : set of legitimate configurations in which the service is optimal
- **service is optimal** if the network verifies the clustering GDMAC properties
 - **affiliation property**
 - **h-clusterhead property**
 - **k-neighborhood property**

auto-organisation

77

Resignation process in Robust SS-GDMAC



auto-organisation

78

Fast Convergence to C_s

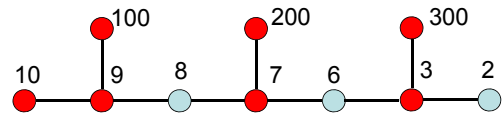
- 1 round : a round is a sequence where all nodes initially enabled perform a rule
- Convergence time to C_s is 1 round

auto-organisation

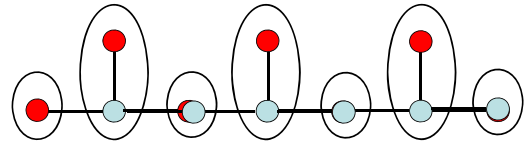
79

Convergence time

$k=1, h=0$



Before stabilisation



After stabilisation

auto-organisation

80

Thanks!

auto-organisation

81