



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHERON

Rappels

Topologies de réseaux

Réseaux maillés

Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT

Réseaux maillés de capteurs autonomes

Développement mobile avancé, IoT et embarqué
[HAI912I]

Master 2 Informatique

Alban MANCHERON

alban.mancheron@lirmm.fr

Faculté des Sciences & Techniques de l'Université de Montpellier

Année universitaire 2021–2022, 1^{er} semestre



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHERON

Rappels

Topologies de réseaux

Réseaux maillés

Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT

- 1 **Rappels**
- 2 **Topologies de réseaux**
- 3 **Réseaux maillés**
- 4 **Mise à jour logicielle OTA**
- 5 **Optimisation et *Green-IT***



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHERON

Rappels

Microcontrôleurs

Arduino

ESP32

Topologies de réseaux

Réseaux maillés

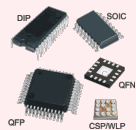
Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT

- 1 Rappels**
 - Microcontrôleurs
 - Arduino
 - ESP32
- 2 Topologies de réseaux**
- 3 Réseaux maillés**
- 4 Mise à jour logicielle OTA**
- 5 Optimisation et *Green-IT***



Microcontrôleur



⇒ **circuit intégré**

Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHERON

Rappels

Microcontrôleurs

Arduino

ESP32

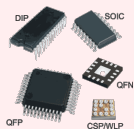
Topologies de réseaux

Réseaux maillés

Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT

Microcontrôleur



⇒ **circuit intégré**

- processeur
- mémoire morte
- mémoire vive
- unités périphériques
- interfaces d'entrées-sorties

Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHERON

Rappels

Microcontrôleurs

Arduino

ESP32

Topologies de réseaux

Réseaux maillés

Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT

Microcontrôleur



⇒ **circuit intégré**

- processeur
- mémoire morte
- mémoire vive
- unités périphériques
- interfaces d'entrées-sorties

Intérêt

- faible consommation électrique
- coût réduit
- petite taille
- Programmable (micrologiciel)
 - assembleur
 - Lua/ μ Python/...
 - C/C++

Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHERON

Rappels

Microcontrôleurs

Arduino

ESP32

Topologies de réseaux

Réseaux maillés

Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT

Microcontrôleur



⇒ **circuit intégré**

- processeur
- mémoire morte
- mémoire vive
- unités périphériques
- interfaces d'entrées-sorties

Intérêt

- faible consommation électrique
- coût réduit
- petite taille
- Programmable (micrologiciel)
 - assembleur
 - Lua/ μ Python/...
 - C/C++

Utilisation

- systèmes embarqués
 - téléphonie mobile
 - télécommandes
 - électroménager
 -

Rappels

Microcontrôleurs

Arduino

ESP32

Topologies de réseaux

Réseaux maillés

Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT

Microcontrôleur



⇒ **circuit intégré**

- processeur
- mémoire morte
- mémoire vive
- unités périphériques
- interfaces d'entrées-sorties

Intérêt

- faible consommation électrique
- coût réduit
- petite taille
- Programmable (micrologiciel)
 - assembleur
 - Lua/ μ Python/...
 - C/C++

Utilisation

- systèmes embarqués
 - téléphonie mobile
 - télécommandes
 - électroménager

⋮

Quelques fabricants



TEXAS INSTRUMENTS



...



plateforme de prototypage **open-source** et **open-hardware** permettant de programmer un microcontrôleur (architectures AVR et ARM).



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHERON

Rappels

Microcontrôleurs

Arduino

ESP32

Topologies de réseaux

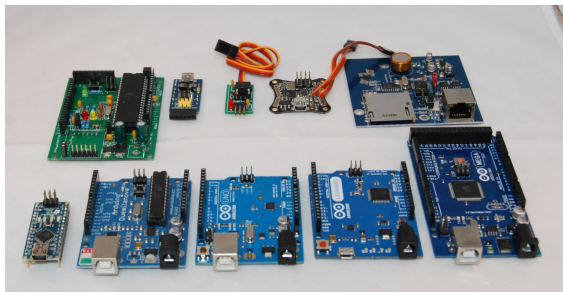
Réseaux maillés

Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT



plateforme de prototypage **open-source** et **open-hardware** permettant de programmer un microcontrôleur (architectures AVR et ARM).



Plusieurs tailles, plusieurs formats, plusieurs caractéristiques.



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHERON

Rappels

Microcontrôleurs

Arduino

ESP32

Topologies de réseaux

Réseaux maillés

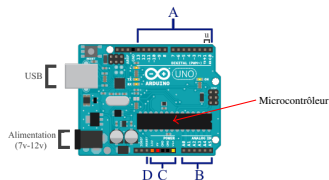
Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT



plateforme de prototypage **open-source** et **open-hardware** permettant de programmer un microcontrôleur (architectures AVR et ARM).

Schéma général d'une carte



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHERON

Rappels

Microcontrôleurs

Arduino

ESP32

Topologies de réseaux

Réseaux maillés

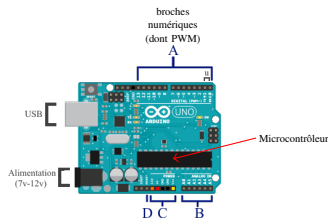
Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT



plateforme de prototypage **open-source** et **open-hardware** permettant de programmer un microcontrôleur (architectures AVR et ARM).

Schéma général d'une carte



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHERON

Rappels

Microcontrôleurs

Arduino

ESP32

Topologies de réseaux

Réseaux maillés

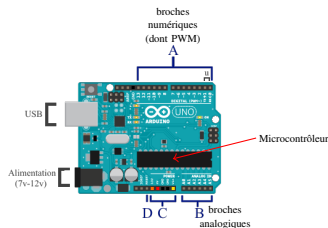
Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT



plateforme de prototypage **open-source** et **open-hardware** permettant de programmer un microcontrôleur (architectures AVR et ARM).

Schéma général d'une carte



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHERON

Rappels

Microcontrôleurs

Arduino

ESP32

Topologies de réseaux

Réseaux maillés

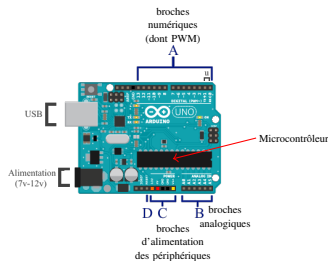
Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT



plateforme de prototypage **open-source** et **open-hardware** permettant de programmer un microcontrôleur (architectures AVR et ARM).

Schéma général d'une carte



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHERON

Rappels

Microcontrôleurs

Arduino

ESP32

Topologies de réseaux

Réseaux maillés

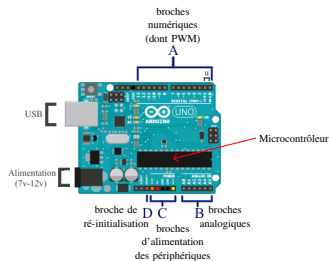
Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT



plateforme de prototypage **open-source** et **open-hardware** permettant de programmer un microcontrôleur (architectures AVR et ARM).

Schéma général d'une carte



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHERON

Rappels

Microcontrôleurs

Arduino

ESP32

Topologies de réseaux

Réseaux maillés

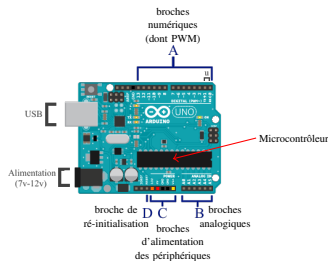
Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT



plateforme de prototypage **open-source** et **open-hardware** permettant de programmer un microcontrôleur (architectures AVR et ARM).

Schéma général d'une carte



Une carte peut également servir d'interface de programmation d'un autre microcontrôleur.



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHERON

Rappels

Microcontrôleurs

Arduino

ESP32

Topologies de réseaux

Réseaux maillés

Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT



plateforme de prototypage **open-source** et **open-hardware** permettant de programmer un microcontrôleur (architectures AVR et ARM).

SDK basé sur du C/C++

IDE disponible pour Linux, MacOS et Windows.

<https://www.arduino.cc/>



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHERON

Rappels

Microcontrôleurs

Arduino


ESP32

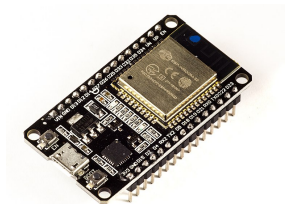
Topologies de réseaux

Réseaux maillés

Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT

 ESPRESSIF <https://www.espressif.com/>



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHERON

Rappels

Microcontrôleurs

Arduino

ESP32

Topologies de réseaux

Réseaux maillés

Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT

ESPRESSIF <https://www.espressif.com/>



Caractéristiques principales

- architecture 32 bits
(1 ou 2 cœurs)
- Wifi & Bluetooth
(BT basse conso)
- 448Ko/520Ko ROM
- 520Ko RAM
- Moins de $5\mu A$ en sommeil

ESPRESSIF <https://www.espressif.com/>



Caractéristiques principales

- architecture 32 bits
(1 ou 2 cœurs)
- Wifi & Bluetooth
(BT basse conso)
- 448Ko/520Ko ROM
- 520Ko RAM
- Moins de $5\mu A$ en sommeil

Programmation

- C/C++
[Arduino IDE
+ bibliothèque ESP32]
- Lua / NodeMCU
- mruby
- μ Python
- MicroEJ (Java)

ESPRESSIF <https://www.espressif.com/>



Caractéristiques principales

- architecture 32 bits
(1 ou 2 cœurs)
- Wifi & Bluetooth
(BT basse conso)
- 448Ko/520Ko ROM
- 520Ko RAM
- Moins de $5\mu A$ en sommeil

Programmation

- C/C++
[Arduino IDE
+ bibliothèque ESP32]
- Lua / NodeMCU
- mruby
- μ Python
- MicroEJ (Java)

1 Rappels

2 Topologies de réseaux

- Bus
- Étoile
- Arbre
- Anneau
- Complet
- Maillé
- Synthèse

3 Réseaux maillés

4 Mise à jour logicielle OTA

5 Optimisation et *Green-IT*

Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHERON

Rappels

Topologies de réseaux

Bus

Étoile

Arbre

Anneau

Complet

Maillé

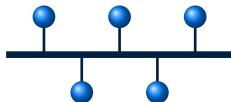
Synthèse

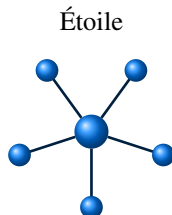
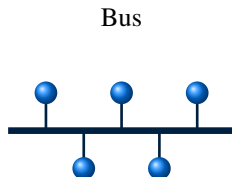
Réseaux maillés

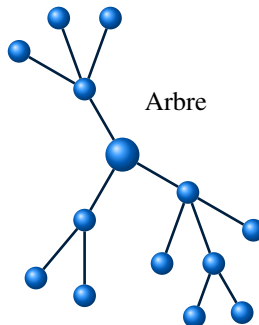
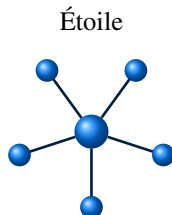
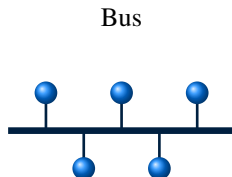
Mise à jour logicielle OTA

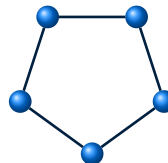
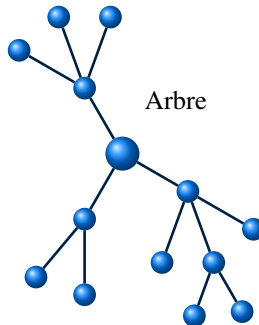
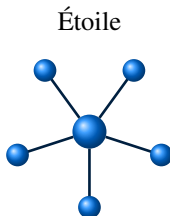
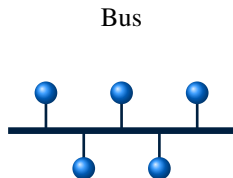
Optimisation et Green-IT

Bus



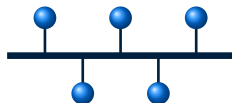




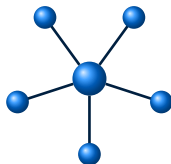


Anneau

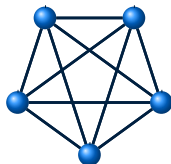
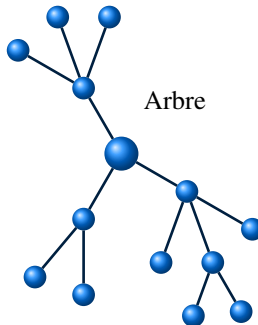
Bus



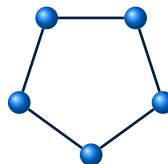
Étoile



Arbre

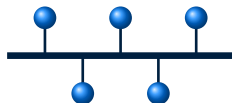


Complet

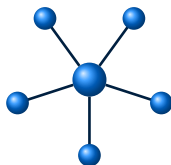


Anneau

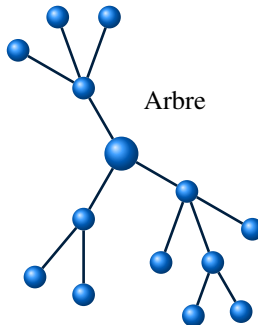
Bus



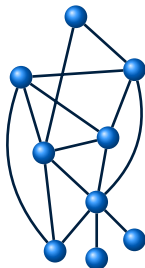
Étoile



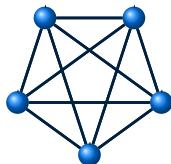
Arbre



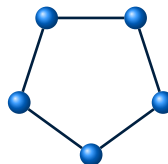
Maillé

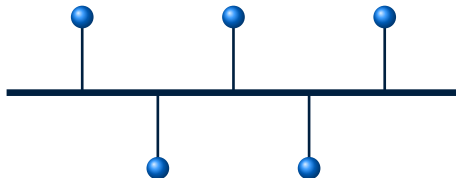


Complet



Anneau





Avantages

Inconvénients



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHERON

Rappels

Topologies de réseaux

Bus

Étoile

Arbre

Anneau

Complet

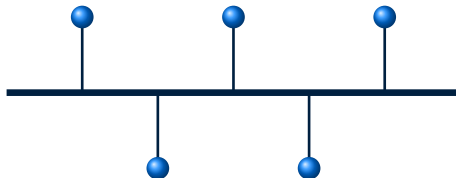
Maillé

Synthèse

Réseaux maillés

Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT



Avantages

- Facile à configurer
- Facile à mettre à jour
- Peu de connexions

Inconvénients



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHERON

Rappels

Topologies de réseaux

Bus

Étoile

Arbre

Anneau

Complet

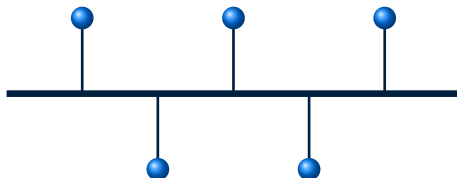
Maillé

Synthèse

Réseaux maillés

Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT



Avantages

- Facile à configurer
- Facile à mettre à jour
- Peu de connexions

Inconvénients

- Nécessite une connexion physique (câbles) et un gestionnaire tiers
- Détection d'erreurs difficile
- Passage à l'échelle limité par la puissance de transmission du bus



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHERON

Rappels

Topologies de réseaux

Bus

Étoile

Arbre

Anneau

Complet

Maillé

Synthèse

Réseaux maillés

Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHERON

Rappels

Topologies de réseaux

Bus

Étoile

Arbre

Anneau

Complet

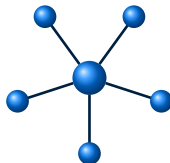
Maillé

Synthèse

Réseaux maillés

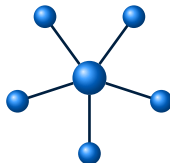
Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT



Avantages

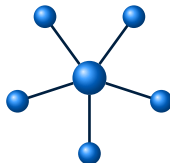
Inconvénients



Avantages

- Facile à configurer
- Facile à mettre à jour
- Peu de connexions
- Robuste aux pannes d'un nœud
- Détection d'erreur facile

Inconvénients



Avantages

- Facile à configurer
- Facile à mettre à jour
- Peu de connexions
- Robuste aux pannes d'un nœud
- Détection d'erreur facile

Inconvénients

- Si le nœud central tombe, tout le réseau tombe
- Passage à l'échelle limité par la puissance du nœud central



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHERON

Rappels

Topologies de réseaux

Bus

Étoile

Arbre

Anneau

Complet

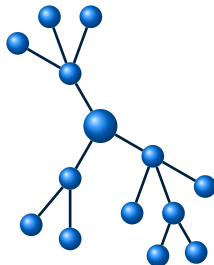
Maillé

Synthèse

Réseaux maillés

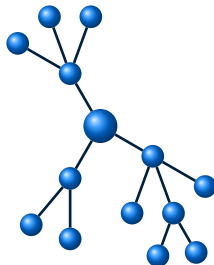
Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT



Avantages

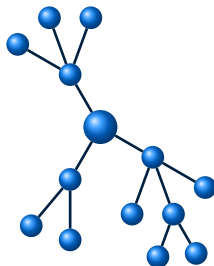
Inconvénients



Avantages

- Facile à configurer
- Facile à mettre à jour
- Détection d'erreur facile
- Passage à l'échelle par augmentation de la profondeur

Inconvénients



Avantages

- Facile à configurer
- Facile à mettre à jour
- Détection d'erreur facile
- Passage à l'échelle par augmentation de la profondeur

Inconvénients

- Coûteux en connexions lorsque les nœuds sont éloignés
- Si le nœud central (ou un nœud intermédiaire) tombe, tout le réseau (une partie) tombe



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHERON

Rappels

Topologies de réseaux

Bus

Étoile

Arbre

Anneau

Complet

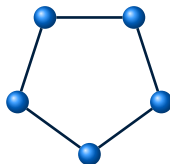
Maillé

Synthèse

Réseaux maillés

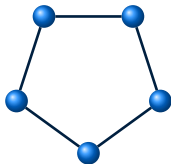
Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT



Avantages

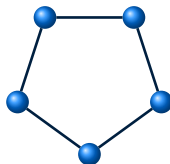
Inconvénients



Avantages

- Facile à configurer
- Facile à mettre à jour

Inconvénients

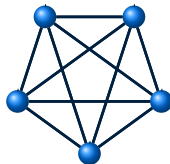


Avantages

- Facile à configurer
- Facile à mettre à jour

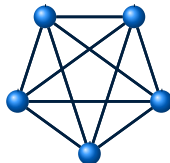
Inconvénients

- Fragilité du réseau (un nœud tombe et une partie des communications sont perdues)
- Trafic de message importants (latences)
- Passage à l'échelle augmente le trafic de messages (latences++)



Avantages

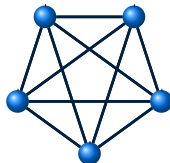
Inconvénients



Avantages

- Pas de pb de trafic (tous les nœuds sont en pair-à-pair)
- Robuste aux pannes
- Sécurité renforcée (tous les nœuds sont interconnectés, il est difficile de s'infiltrer)
- Détection d'erreurs facile

Inconvénients



Avantages

- Pas de pb de trafic (tous les nœuds sont en pair-à-pair)
- Robuste aux pannes
- Sécurité renforcée (tous les nœuds sont interconnectés, il est difficile de s'infiltrer)
- Détection d'erreurs facile

Inconvénients

- Configuration longue (interconnexions)
- Mise à jour fastidieuse longue (interconnexions)
- Trafic important (latences)
- Passage à l'échelle augmente fortement le trafic de messages (latences++)



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHERON

Rappels

Topologies de réseaux

Bus

Étoile

Arbre

Anneau

Complet

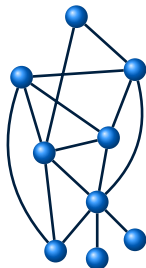
Maillé

Synthèse

Réseaux maillés

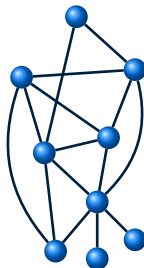
Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT



Avantages

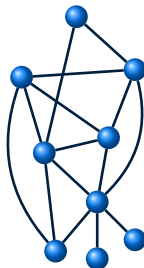
Inconvénients



Avantages

- Pas de pb de majeurs trafic
- Robuste aux pannes
- Sécurité renforcée
- Détection d'erreurs facile

Inconvénients



Avantages

- Pas de pb de majeurs trafic
- Robuste aux pannes
- Sécurité renforcée
- Détection d'erreurs facile

Inconvénients

- Difficile à configurer
- Difficile à mettre à jour

Topologies de réseaux

Synthèse



| Topologie | Config | MàJ | Robustesse | Vitesse | Échelle | Détection d'erreurs |
|-----------|--------|-----|------------|---------|---------|---------------------|
| | ✓ | ✓ | ✗ | ✓ | ✗ | ✗ |
| | ✓ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ✓ |
| | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ |
| | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ |
| | ✗ | ✗ | ✓ | ✗ | ✗ | ✓ |
| | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHERON

Rappels

Topologies de réseaux

Bus

Étoile

Arbre

Anneau

Complet

Maillé

Synthèse

Réseaux maillés

Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT



1 Rappels

2 Topologies de réseaux

3 Réseaux maillés

- Construction
- Mise à jour
- RSSI
- Communications et calcul distribué

4 Mise à jour logicielle OTA

5 Optimisation et *Green-IT*

Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHERON

Rappels

Topologies de réseaux

Réseaux maillés

Construction

Mise à jour

RSSI

Communications et calcul distribué

Mise à jour logicielle OTA


Optimisation et Green-IT



Pléthore d'algorithmes

-  ESPRESSIF ESP-WIFI-MESH

`https://github.com/espressif/esp-mdf`

-  painlessMesh

`https://gitlab.com/painlessMesh`

⋮

Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHERON

Rappels

Topologies de réseaux

Réseaux maillés

Construction

Mise à jour

RSSI

Communications et calcul distribué


Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT

Pléthore d'algorithmes \Rightarrow topologies arborescentes

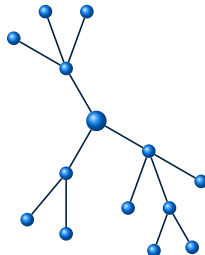
-  ESPRESSIF ESP-WIFI-MESH

<https://github.com/espressif/esp-mdf>

-  painlessMesh

<https://gitlab.com/painlessMesh>

⋮





Nœud périphérique faisant ou pouvant faire partie du réseau

état

- ⇒ actif
- ⇒ en sommeil

rôle

contrôleur nœuds assurant la gestion du réseau

relais nœud pouvant relayer une communication

terminal nœud ne pouvant relayer une communication

localisation

- ⇒ périphérique mobile
- ⇒ station de base

Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHERON

Rappels

Topologies de réseaux

Réseaux maillés

Construction

Mise à jour

RSSI

Communications et calcul distribué

Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT



Nœud périphérique faisant ou pouvant faire partie du réseau

état

- ⇒ actif
- ⇒ en sommeil

rôle

contrôleur nœuds assurant la gestion du réseau

relais nœud pouvant relayer une communication

terminal nœud ne pouvant relayer une communication

localisation

- ⇒ périphérique mobile
- ⇒ station de base

infrastructure stations de base actives assurant le rôle de contrôleurs

couverture surface couverte par les ondes du réseau sans-fil

réseau complètement fonctionnel 100% de couverture

Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHERON

Rappels

Topologies de réseaux

Réseaux maillés

Construction

Mise à jour

RSSI

Communications et calcul distribué

Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT



Nœud périphérique faisant ou pouvant faire partie du réseau

état

- ⇒ actif
- ⇒ en sommeil

rôle

contrôleur nœuds assurant la gestion du réseau

relais nœud pouvant relayer une communication

terminal nœud ne pouvant relayer une communication

localisation

- ⇒ périphérique mobile
- ⇒ station de base

infrastructure stations de base actives assurant le rôle de contrôleurs

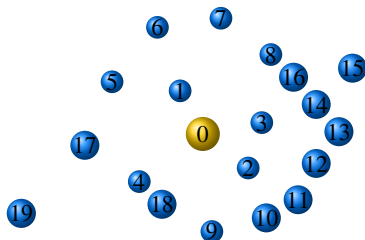
couverture surface couverte par les ondes du réseau sans-fil

réseau complètement fonctionnel 100% de couverture

routage Gestion des transmissions entre les nœuds

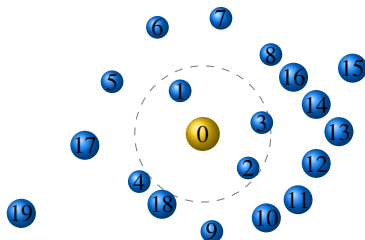
saut (hop) communication d'un nœud à un nœud voisin (directement connecté)

multi-sauts (multi-hop) communication d'un nœud à un nœud distant en passant par des relais



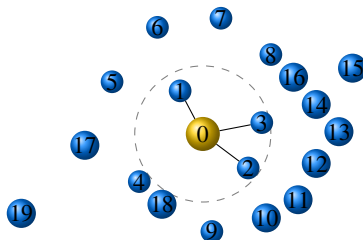
Stratégie des plus proches voisins

- 1 choix d'un nœud de référence
⇒ racine de l'arbre



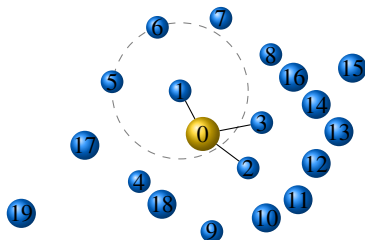
Stratégie des plus proches voisins

- 1 choix d'un nœud de référence
⇒ racine de l'arbre
- 2 ses plus proches voisins (dans une limite donnée) deviennent ses fils



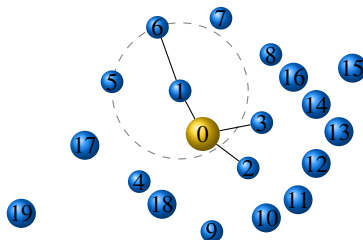
Stratégie des plus proches voisins

- 1 choix d'un nœud de référence
⇒ racine de l'arbre
- 2 ses plus proches voisins (dans une limite donnée) deviennent ses fils
⇒ second niveau



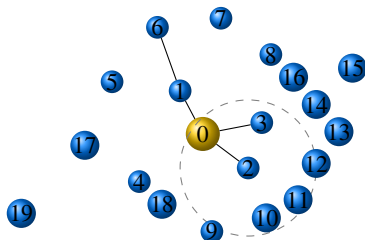
Stratégie des plus proches voisins

- 1 choix d'un nœud de référence
⇒ racine de l'arbre
- 2 ses plus proches voisins (dans une limite donnée) deviennent ses fils
⇒ second niveau
- 3 Les nœuds qui sont à proximité d'un nœud du second niveau ou plus essaient de s'y connecter.



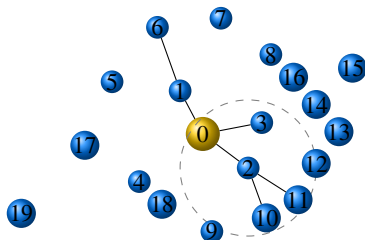
Stratégie des plus proches voisins

- 1 choix d'un nœud de référence
⇒ racine de l'arbre
- 2 ses plus proches voisins (dans une limite donnée) deviennent ses fils
⇒ second niveau
- 3 Les nœuds qui sont à proximité d'un nœud du second niveau ou plus essaient de s'y connecter.



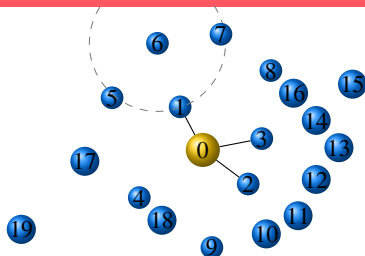
Stratégie des plus proches voisins

- 1 choix d'un nœud de référence
⇒ racine de l'arbre
- 2 ses plus proches voisins (dans une limite donnée) deviennent ses fils
⇒ second niveau
- 3 Les nœuds qui sont à proximité d'un nœud du second niveau ou plus essaient de s'y connecter.



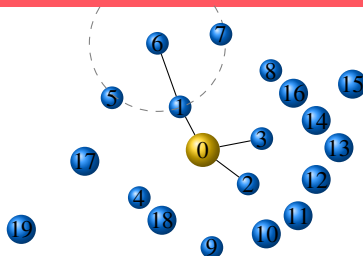
Stratégie des plus proches voisins

- 1 choix d'un nœud de référence
⇒ racine de l'arbre
- 2 ses plus proches voisins (dans une limite donnée) deviennent ses fils
⇒ second niveau
- 3 Les nœuds qui sont à proximité d'un nœud du second niveau ou plus essaient de s'y connecter.



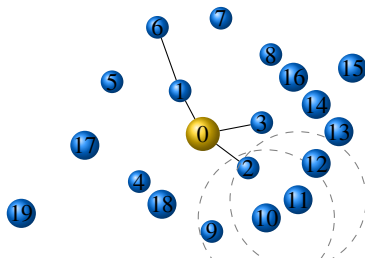
Stratégie des plus proches voisins

- 1 choix d'un nœud de référence
⇒ racine de l'arbre
- 2 ses plus proches voisins (dans une limite donnée) deviennent ses fils
⇒ second niveau
- 3 Les nœuds qui sont à proximité d'un nœud du second niveau ou plus essaient de s'y connecter.



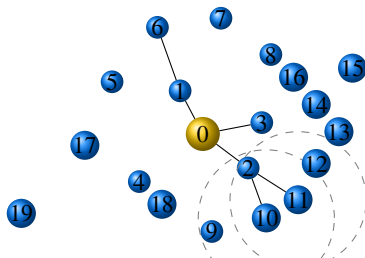
Stratégie des plus proches voisins

- 1 choix d'un nœud de référence
⇒ racine de l'arbre
- 2 ses plus proches voisins (dans une limite donnée) deviennent ses fils
⇒ second niveau
- 3 Les nœuds qui sont à proximité d'un nœud du second niveau ou plus essaient de s'y connecter.



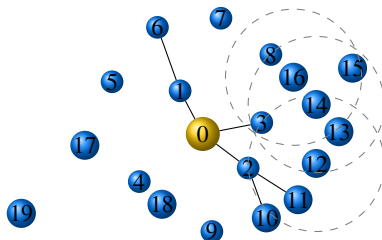
Stratégie des plus proches voisins

- 1 choix d'un nœud de référence
⇒ racine de l'arbre
- 2 ses plus proches voisins (dans une limite donnée) deviennent ses fils
⇒ second niveau
- 3 Les nœuds qui sont à proximité d'un nœud du second niveau ou plus essaient de s'y connecter.



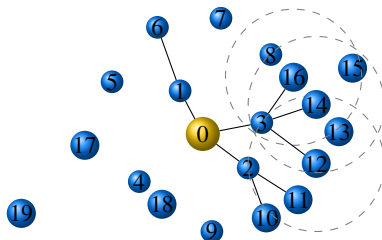
Stratégie des plus proches voisins

- 1 choix d'un nœud de référence
⇒ racine de l'arbre
- 2 ses plus proches voisins (dans une limite donnée) deviennent ses fils
⇒ second niveau
- 3 Les nœuds qui sont à proximité d'un nœud du second niveau ou plus essaient de s'y connecter.



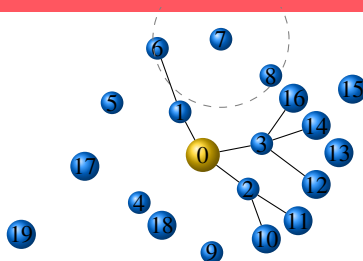
Stratégie des plus proches voisins

- 1 choix d'un nœud de référence
⇒ racine de l'arbre
- 2 ses plus proches voisins (dans une limite donnée) deviennent ses fils
⇒ second niveau
- 3 Les nœuds qui sont à proximité d'un nœud du second niveau ou plus essaient de s'y connecter.



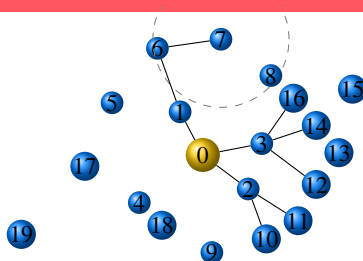
Stratégie des plus proches voisins

- 1 choix d'un nœud de référence
⇒ racine de l'arbre
- 2 ses plus proches voisins (dans une limite donnée) deviennent ses fils
⇒ second niveau
- 3 Les nœuds qui sont à proximité d'un nœud du second niveau ou plus essaient de s'y connecter.



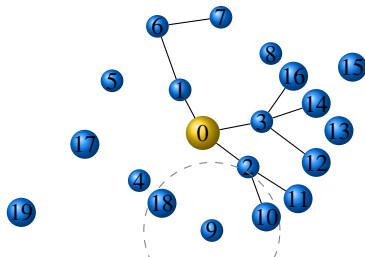
Stratégie des plus proches voisins

- 1 choix d'un nœud de référence
⇒ racine de l'arbre
- 2 ses plus proches voisins (dans une limite donnée) deviennent ses fils
⇒ second niveau
- 3 Les nœuds qui sont à proximité d'un nœud du second niveau ou plus essaient de s'y connecter.



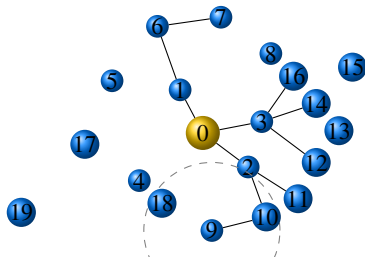
Stratégie des plus proches voisins

- 1 choix d'un nœud de référence
⇒ racine de l'arbre
- 2 ses plus proches voisins (dans une limite donnée) deviennent ses fils
⇒ second niveau
- 3 Les nœuds qui sont à proximité d'un nœud du second niveau ou plus essaient de s'y connecter.



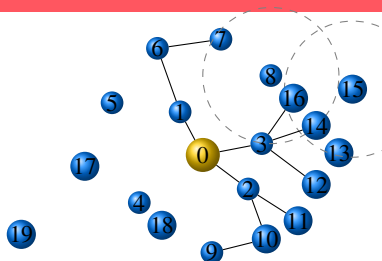
Stratégie des plus proches voisins

- 1 choix d'un nœud de référence
⇒ racine de l'arbre
- 2 ses plus proches voisins (dans une limite donnée) deviennent ses fils
⇒ second niveau
- 3 Les nœuds qui sont à proximité d'un nœud du second niveau ou plus essaient de s'y connecter.



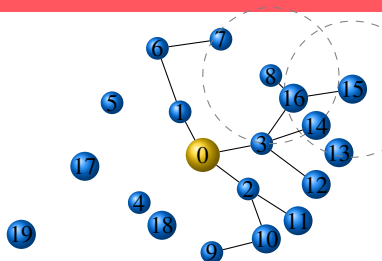
Stratégie des plus proches voisins

- 1 choix d'un nœud de référence
⇒ racine de l'arbre
- 2 ses plus proches voisins (dans une limite donnée) deviennent ses fils
⇒ second niveau
- 3 Les nœuds qui sont à proximité d'un nœud du second niveau ou plus essaient de s'y connecter.



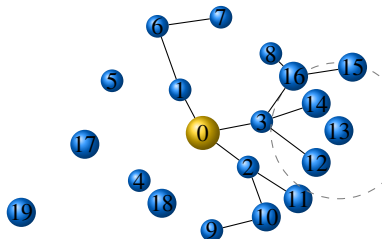
Stratégie des plus proches voisins

- 1 choix d'un nœud de référence
⇒ racine de l'arbre
- 2 ses plus proches voisins (dans une limite donnée) deviennent ses fils
⇒ second niveau
- 3 Les nœuds qui sont à proximité d'un nœud du second niveau ou plus essaient de s'y connecter.



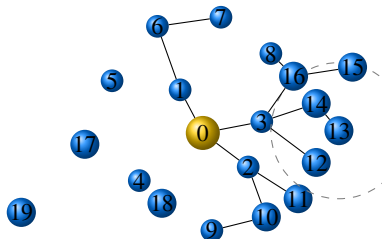
Stratégie des plus proches voisins

- 1 choix d'un nœud de référence
⇒ racine de l'arbre
- 2 ses plus proches voisins (dans une limite donnée) deviennent ses fils
⇒ second niveau
- 3 Les nœuds qui sont à proximité d'un nœud du second niveau ou plus essaient de s'y connecter.



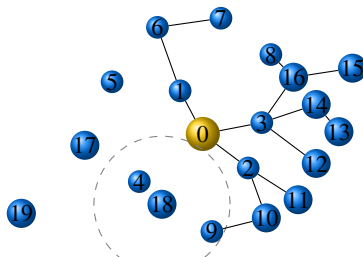
Stratégie des plus proches voisins

- 1 choix d'un nœud de référence
⇒ racine de l'arbre
- 2 ses plus proches voisins (dans une limite donnée) deviennent ses fils
⇒ second niveau
- 3 Les nœuds qui sont à proximité d'un nœud du second niveau ou plus essaient de s'y connecter.



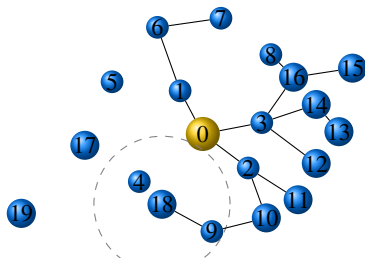
Stratégie des plus proches voisins

- 1 choix d'un nœud de référence
⇒ racine de l'arbre
- 2 ses plus proches voisins (dans une limite donnée) deviennent ses fils
⇒ second niveau
- 3 Les nœuds qui sont à proximité d'un nœud du second niveau ou plus essaient de s'y connecter.



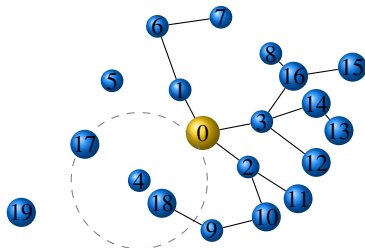
Stratégie des plus proches voisins

- 1 choix d'un nœud de référence
⇒ racine de l'arbre
- 2 ses plus proches voisins (dans une limite donnée) deviennent ses fils
⇒ second niveau
- 3 Les nœuds qui sont à proximité d'un nœud du second niveau ou plus essaient de s'y connecter.



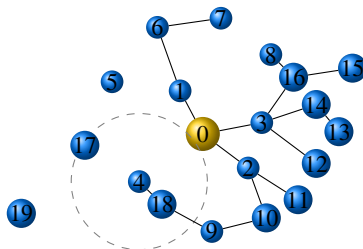
Stratégie des plus proches voisins

- 1 choix d'un nœud de référence
⇒ racine de l'arbre
- 2 ses plus proches voisins (dans une limite donnée) deviennent ses fils
⇒ second niveau
- 3 Les nœuds qui sont à proximité d'un nœud du second niveau ou plus essaient de s'y connecter.



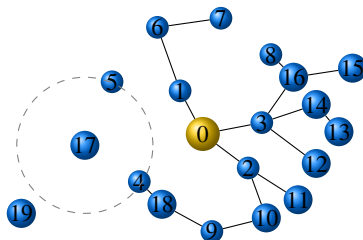
Stratégie des plus proches voisins

- 1 choix d'un nœud de référence
⇒ racine de l'arbre
- 2 ses plus proches voisins (dans une limite donnée) deviennent ses fils
⇒ second niveau
- 3 Les nœuds qui sont à proximité d'un nœud du second niveau ou plus essaient de s'y connecter.



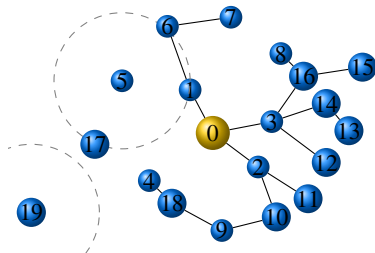
Stratégie des plus proches voisins

- 1 choix d'un nœud de référence
⇒ racine de l'arbre
- 2 ses plus proches voisins (dans une limite donnée) deviennent ses fils
⇒ second niveau
- 3 Les nœuds qui sont à proximité d'un nœud du second niveau ou plus essaient de s'y connecter.



Stratégie des plus proches voisins

- 1 choix d'un nœud de référence
⇒ racine de l'arbre
- 2 ses plus proches voisins (dans une limite donnée) deviennent ses fils
⇒ second niveau
- 3 Les nœuds qui sont à proximité d'un nœud du second niveau ou plus essaient de s'y connecter.
- 4 Lorsqu'un nœud atteint une profondeur fixée, il devient feuille de l'arbre et n'accepte plus de connexion.



Stratégie des plus proches voisins

- 1 choix d'un nœud de référence
⇒ racine de l'arbre
- 2 ses plus proches voisins (dans une limite donnée) deviennent ses fils
⇒ second niveau
- 3 Les nœuds qui sont à proximité d'un nœud du second niveau ou plus essaient de s'y connecter.
- 4 Lorsqu'un nœud atteint une profondeur fixée, il devient feuille de l'arbre et n'accepte plus de connexion.

⇒ **Certains nœuds peuvent être exclus du réseau.**

Autre problématique : éveil des nœuds asynchrone



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHERON

Rappels

Topologies de réseaux

Réseaux maillés

Construction

Mise à jour

RSSI

Communications et calcul distribué

Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT

- Ajout d'un nœud
 - augmentation de la charge



- Ajout d'un nœud
 - augmentation de la charge
 - ⇒ peut nécessiter un rééquilibrage
 - ⇒ potentiel changement de racine



- Ajout d'un nœud
 - augmentation de la charge
 - ⇒ peut nécessiter un rééquilibrage
 - ⇒ potentiel changement de racine
- Retrait d'un nœud
 - niveau avec préavis sans préavis



- Ajout d'un nœud
 - augmentation de la charge
 - ⇒ peut nécessiter un rééquilibrage
 - ⇒ potentiel changement de racine

- Retrait d'un nœud

| niveau | avec préavis | sans préavis |
|-----------|--------------|--------------|
| racine | | |
| niveau 2 | | |
| niveau 3+ | | |



- Ajout d'un nœud
 - augmentation de la charge
 - ⇒ peut nécessiter un rééquilibrage
 - ⇒ potentiel changement de racine

- Retrait d'un nœud

| niveau | avec préavis | sans préavis |
|-----------|-----------------|------------------|
| racine | ⇒ rééquilibrage | ⇒ reconstruction |
| niveau 2 | | |
| niveau 3+ | | |



- Ajout d'un nœud
 - augmentation de la charge
 - ⇒ peut nécessiter un rééquilibrage
 - ⇒ potentiel changement de racine

- Retrait d'un nœud

| niveau | avec préavis | sans préavis |
|-----------|--|------------------|
| racine | ⇒ rééquilibrage | ⇒ reconstruction |
| niveau 2 | ⇒ promotion possible d'un nœud au niveau 2 ⇒ stratégie de perte d'un nœud de niveau 3+ ou rééquilibrage | |
| niveau 3+ | | |



- Ajout d'un nœud
 - augmentation de la charge
 - ⇒ peut nécessiter un rééquilibrage
 - ⇒ potentiel changement de racine

- Retrait d'un nœud

| niveau | avec préavis | sans préavis |
|-----------|--|------------------|
| racine | ⇒ rééquilibrage | ⇒ reconstruction |
| niveau 2 | ⇒ promotion possible d'un nœud au niveau 2 ⇒ stratégie de perte d'un nœud de niveau 3+ ou rééquilibrage | |
| niveau 3+ | perte d'un sous-arbre ⇒ rééquilibrage (seulement pour les nœuds isolés) ⇒ reconstruction | |



- Ajout d'un nœud
 - augmentation de la charge
 - ⇒ peut nécessiter un rééquilibrage
 - ⇒ potentiel changement de racine

- Retrait d'un nœud

| niveau | avec préavis | sans préavis |
|-----------|--|------------------|
| racine* | ⇒ rééquilibrage | ⇒ reconstruction |
| | ⇒ promotion possible d'un nœud au niveau 2 | |
| niveau 2 | ⇒ stratégie de perte d'un nœud de niveau 3+ ou rééquilibrage | |
| | perte d'un sous-arbre | |
| niveau 3+ | ⇒ rééquilibrage | ⇒ reconstruction |
| | (seulement pour les nœuds isolés) | |

* ⇒ perte temporaire de communication externe



Définition

RSSI Received Signal Strength Indication

Exprimé en dBm (échelle logarithmique) : $P_{dBm} = 10 \log_{10} \frac{P_W}{1mW}$

Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHERON

Rappels

Topologies de réseaux

Réseaux maillés

Construction

Mise à jour

RSSI

Communications et calcul distribué

Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT



Définition

RSSI *Received Signal Strength Indication*

Exprimé en dBm (échelle logarithmique) : $P_{dBm} = 10 \log_{10} \frac{P_W}{1mW}$

$$0dBm \Leftrightarrow \dots$$

$$-30dBm \Leftrightarrow \dots$$

Rappels

Topologies de réseaux

Réseaux maillés

Construction

Mise à jour

RSSI

Communications et calcul distribué

Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT



Définition

RSSI Received Signal Strength Indication

Exprimé en dBm (échelle logarithmique) : $P_{dBm} = 10 \log_{10} \frac{P_W}{1mW}$

$$0dBm \Leftrightarrow 1mW$$

$$-30dBm \Leftrightarrow 1\mu W$$

Rappels

Topologies de réseaux

Réseaux maillés

Construction

Mise à jour

RSSI

Communications et calcul distribué

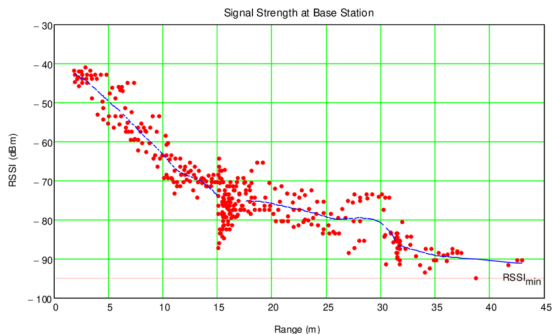
Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT

Définition

RSSI Received Signal Strength Indication

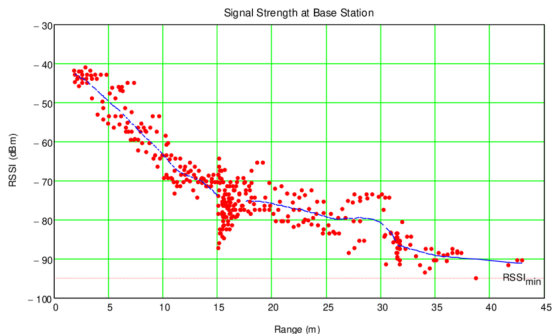
Exprimé en dBm (échelle logarithmique) : $P_{dBm} = 10 \log_{10} \frac{P_W}{1mW}$



Source : [Sharp & Yu 2019]

Modèle de path loss

$$\begin{aligned} PL &= P_{Tx} - P_{Rx} \\ &= K + 10 \gamma \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + \psi \end{aligned}$$



Source : [Sharp & Yu 2019]



Modèle de path loss

$$\begin{aligned} PL &= P_{Tx} - P_{Rx} \\ &= K + 10 \gamma \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + \psi \end{aligned}$$

P_{Tx} puissance transmise par l'émetteur (en dBm)

P_{Rx} puissance reçue par le récepteur (en dBm)

K atténuation due à l'affaiblissement à la distance de référence d_0 .

d_0 distance de référence (arbitraire)

d distance entre l'émetteur (Tx) et le récepteur (Rx) du signal

γ exposant d'affaiblissement de propagation

ψ variable aléatoire modélisant la zone d'ombre $\psi \sim \mathcal{N}(0, \sigma^2)$

Rappels

Topologies de réseaux

Réseaux maillés

Construction

Mise à jour

RSSI

Communications et calcul distribué

Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT



Modèle de *path loss*

$$P_{Rx} = P_0 - 10 \gamma \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + \psi$$

$$\text{avec } P_0 = P_{Tx} - K$$

P_{Tx} puissance transmise par l'émetteur (en *dBm*)

P_{Rx} puissance reçue par le récepteur (en *dBm*)

K atténuation due à l'affaiblissement à la distance de référence d_0 .

d_0 distance de référence (arbitraire)

d distance entre l'émetteur (Tx) et le récepteur (Rx) du signal

γ exposant d'affaiblissement de propagation

ψ variable aléatoire modélisant la zone d'ombre $\psi \sim \mathcal{N}(0, \sigma^2)$



Architecture

- modèle « classique »
 - ⇒ classe *WiFiServer*
[**#include** <ESP8266WiFi.h>]
- réseau maillé
 - ⇒ classes *EspnowMeshBackend* ou *TcpIpMeshBackend*
[**#include** <ESP8266WifiMesh.h>]

Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHERON

Rappels

Topologies de réseaux

Réseaux maillés

Construction

Mise à jour

RSSI

Communications et calcul distribué

Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHERON

Rappels

Topologies de réseaux

Réseaux maillés

Construction

Mise à jour

RSSI

Communications et calcul distribué

Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT

Architecture

- modèle « classique »
 - ⇒ classe *WiFiServer*
[`#include <ESP8266WiFi.h>`]
- réseau maillé
 - ⇒ classes *EspnowMeshBackend* ou *TcpIpMeshBackend*
[`#include <ESP8266WifiMesh.h>`]

API Rest

- gestion client-serveur
 - ⇒ classe *HTTPClient*
[`#include <ESP8266HTTPClient.h>`]
- messages
 - ⇒ librairie *ArduinoJson*
[`#include <ArduinoJson.h>`]
 - ou librairie *Arduino_JSON*
[`#include <Arduino_JSON.h>`]



Architecture

- modèle « classique »
 - ⇒ classe *WiFiServer*
[`#include <ESP8266WiFi.h>`]
- réseau maillé
 - ⇒ classes *EspnowMeshBackend* ou *TcpIpMeshBackend*
[`#include <ESP8266WifiMesh.h>`]

API Rest

- gestion client-serveur
 - ⇒ classe *HTTPClient*
[`#include <ESP8266HTTPClient.h>`]
- messages
 - ⇒ librairie *ArduinoJson*
[`#include <ArduinoJson.h>`]
 - ou librairie *Arduino_JSON*
[`#include <Arduino_JSON.h>`]

Calcul

Stratégie Map-Reduce

Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHERON

Rappels

Topologies de réseaux

Réseaux maillés

Construction

Mise à jour

RSSI

Communications et calcul distribué

Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHERON

Rappels

Topologies de réseaux

Réseaux maillés

Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT

- 1 **Rappels**
- 2 **Topologies de réseaux**
- 3 **Réseaux maillés**
- 4 **Mise à jour logicielle OTA**
- 5 **Optimisation et *Green-IT***



Mise à jour OTA (*Over-the-Air*)

Possibilité de mettre à jour le micrologiciel en utilisant une connexion Wifi.



Mise à jour OTA (*Over-the-Air*)

Possibilité de mettre à jour le micrologiciel en utilisant une connexion Wifi.

principe Ajout d'une route dédiée sur un serveur



Mise à jour OTA (*Over-the-Air*)

Possibilité de mettre à jour le micrologiciel en utilisant une connexion Wifi.

principe Ajout d'une route dédiée sur un serveur

librairies

- sécurité \Rightarrow *BearSSL*
- OTA \Rightarrow *ArduinoOTA*, *ESP8266httpUpdate*,
AsyncWebServer, *AsyncElegantOTA*, ...
- système de fichier \Rightarrow *LittleFS*



- 1 **Rappels**
- 2 **Topologies de réseaux**
- 3 **Réseaux maillés**
- 4 **Mise à jour logicielle OTA**
- 5 **Optimisation et *Green-IT***
 - Consommation « matérielle »
 - Consommation « logicielle »
 - Capteur autonome

Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHERON

Rappels

Topologies de réseaux

Réseaux maillés

Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT

Consommation « matérielle »

Consommation « logicielle »

Capteur autonome



| Mode | Actif | | Sommeil | | Hivernage |
|------|--------------|--------------|---------|---------|-----------|
| | avec Wifi/BT | sans Wifi/BT | léger | profond | |

Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHERON

Rappels

Topologies de réseaux

Réseaux maillés

Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT

Consommation « matérielle »

Consommation « logicielle »

Capteur autonome



| Mode | Actif | | Sommeil | | Hivernage |
|--------------------|--------------|--------------|---------|---------|-----------|
| | avec Wifi/BT | sans Wifi/BT | léger | profond | |
| Wifi/BT | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Horloge système | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Horloge temps réel | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| processeur | ✓ | ✓ | – | ✗ | ✗ |

Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHERON

Rappels

Topologies de réseaux

Réseaux maillés

Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT

Consommation « matérielle »

Consommation « logicielle »

Capteur autonome



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHERON

Rappels

Topologies de réseaux

Réseaux maillés

Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT

Consommation « matérielle »

Consommation « logicielle »

Capteur autonome

| Mode | Actif | | Sommeil | | Hivernage |
|--------------------|--------------|--------------|---------|----------|-----------|
| | avec Wifi/BT | sans Wifi/BT | léger | profond | |
| Wifi/BT | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Horloge système | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Horloge temps réel | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| processeur | ✓ | ✓ | – | ✗ | ✗ |
| Conso. moyenne | 100-250mA | 20-70mA | 0,8μA | 10-100μA | 5μA |



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHERON

Rappels

Topologies de réseaux

Réseaux maillés

Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT

Consommation « matérielle »

Consommation « logicielle »

Capteur autonome

| Mode | Actif | | Sommeil | | Hivernage |
|--------------------|--------------|--------------|---------|----------|-----------|
| | avec Wifi/BT | sans Wifi/BT | léger | profond | |
| Wifi/BT | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Horloge système | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Horloge temps réel | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| processeur | ✓ | ✓ | – | ✗ | ✗ |
| Conso. moyenne | 100-250mA | 20-70mA | 0,8μA | 10-100μA | 5μA |

- `delay(milli_sec)`
- `yield ()`
- `delayMicroseconds(micro_sec)`



| Mode | Actif | | Sommeil | | Hivernage |
|--------------------|--------------|--------------|---------|----------|-----------|
| | avec Wifi/BT | sans Wifi/BT | léger | profond | |
| Wifi/BT | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Horloge système | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Horloge temps réel | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| processeur | ✓ | ✓ | – | ✗ | ✗ |
| Conso. moyenne | 100-250mA | 20-70mA | 0,8μA | 10-100μA | 5μA |

- `delay(milli_sec)`

- `yield ()`

- `delayMicroseconds(micro_sec)`

- `WiFi.setSleepMode(mode)` avec `mode` :

- `WIFI_NONE_SLEEP`

- `WIFI_MODEM_SLEEP`

- `WIFI_LIGHT_SLEEP`



| Mode | Actif | | Sommeil | | Hivernage |
|--------------------|--------------|--------------|---------|----------|-----------|
| | avec Wifi/BT | sans Wifi/BT | léger | profond | |
| Wifi/BT | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Horloge système | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Horloge temps réel | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| processeur | ✓ | ✓ | – | ✗ | ✗ |
| Conso. moyenne | 100-250mA | 20-70mA | 0,8µA | 10-100µA | 5µA |

- `delay(milli_sec)`
- `yield ()`
- `delayMicroseconds(micro_sec)`
- `WiFi.setSleepMode(mode)` avec `mode` :
 - `WIFI_NONE_SLEEP`
 - `WIFI_MODEM_SLEEP`
 - `WIFI_LIGHT_SLEEP`
- `ESP.deepSleep(micro_sec, wake_mode)` avec `wake_mode` :
 - `WAKE_RF_DEFAULT`
 - `WAKE_RFCAL`
 - `WAKE_NO_RFCAL`
 - `WAKE_RF_DISABLED`



nombre d'opérations \Leftrightarrow consommation

Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHERON

Rappels

Topologies de réseaux

Réseaux maillés

Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT

Consommation « matérielle »

Consommation « logicielle »

Capteur autonome



nombre d'opérations \Leftrightarrow consommation

Exemple 1 : mesure de température

- 1 Réveil (2s)
- 2 Mesure (1s)
- 3 connexion+envoi des données (2s)
- 4 mise en sommeil profond (30s)

Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHERON

Rappels

Topologies de réseaux

Réseaux maillés

Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT

Consommation « matérielle »

Consommation « logicielle »

Capteur autonome



nombre d'opérations \Leftrightarrow consommation

Exemple 1 : mesure de température

- 1 Réveil (2s)
- 2 Mesure (1s)
- 3 connexion+envoi des données (2s)
- 4 mise en sommeil profond (30s)

Exemple 2 : distance entre deux points

- 1 $\text{math.sqrt}(\text{math.pow}(x1 - x2, 2) + \text{math.pow}(y1 - y2, 2));$
- 2 $\text{math.sqrt}((x1 - x2) * (x1 - x2) + (y1 - y2) * (y1 - y2));$
- 3 $(x1 - x2) * (x1 - x2) + (y1 - y2) * (y1 - y2);$

Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHERON

Rappels

Topologies de réseaux

Réseaux maillés

Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT

Consommation « matérielle »

Consommation « logicielle »

Capteur autonome



*Réseaux maillés de capteurs
autonomes*

Alban MANCHERON

Rappels

Topologies de réseaux

Réseaux maillés

Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT

Consommation « matérielle »

Consommation « logicielle »

Capteur autonome

cahier des charges

- surveillance
- garde-fous
- alimentation
- collecte et traitement des données
- mise à jour



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHERON

Rappels

Topologies de réseaux

Réseaux maillés

Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT

Consommation « matérielle »

Consommation « logicielle »

Capteur autonome

cahier des charges

- surveillance
- garde-fous
- alimentation
- collecte et traitement des données
- mise à jour

problématiques

- évolutions technologiques
- paradigmes et effets de mode
- gestion de la consommation
- recyclage
- sécurité



cahier des charges

- surveillance
- garde-fous
- alimentation
- collecte et traitement des données
- mise à jour

problématiques

- évolutions technologiques
- paradigmes et effets de mode
- gestion de la consommation
- recyclage
- sécurité

Enjeux économiques & sociétaux importants.



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHERON

Rappels

Topologies de réseaux

Réseaux maillés

Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT

Consommation « matérielle »

Consommation « logicielle »

Capteur autonome

cahier des charges

- surveillance
- garde-fous
- alimentation
- collecte et traitement des données
- mise à jour

problématiques

- évolutions technologiques
- paradigmes et effets de mode
- gestion de la consommation
- recyclage
- sécurité

Enjeux économiques & sociétaux importants.
Compétences transversales à fort potentiel

Crédits photos



| Image | Source | Licence |
|-------|--|--|
| | <p>Wikimedia Commons https://commons.wikimedia.org/</p> | |
| | <p>Creative Commons https://creativecommons.org/</p> | <p>Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)</p> |
| | <p>Site personnel de Wilfried KLAAS https://wkla.no-ip.biz/ArduinoWiki</p> <p>Wikimedia Commons https://commons.wikimedia.org/</p> | <p>Attribution ShareAlike 4.0 International (CC BY SA 4.0)</p> |
| | <p>Genotronex http://www.genotronex.com/2013/03/i2c.html</p> | <p>Attribution NonCommercial ShareAlike 4.0 International (CC BY NC SA 4.0)</p> |
| | <p>https://gitlab.com/painlessMesh</p> | <p>GNU GPL V3</p> |
| | <p>Wikimedia Commons https://commons.wikimedia.org/</p> | |
| | <p>[Sharp & Ye 2019] DOI:10.1007/978-981-10-8791-2_15</p> | |

Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHERON

Rappels

Topologies de réseaux

Réseaux maillés

Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT



*Réseaux maillés de capteurs
autonomes*

Alban MANCHERON

Rappels

Topologies de réseaux

Réseaux maillés

Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT

That's All, Folks !

Merci de votre attention.

Vous pouvez rentrer chez vous.

C'est fini.

Au revoir.

Bon courage.

Ceci n'est pas un test ophtalmologique,

mais si vous arrivez à lire jusqu'au bout...

...c'est que vous avez du temps.

Profitez-en pour programmer alors!!!