

Réseaux maillés de capteurs autonomes

Présentatio

Rappels

Topologies de réseaux

éseaux maillés

lise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT

## Réseaux maillés de capteurs autonomes

Développement mobile avancé, IoT et embarqué [HAI9121]

**Master 2 Informatique** 

Alban MANCHERON alban.mancheron@lirmm.fr

Faculté des Sciences & Techniques de l'Université de Montpellier

Année universitaire 2022–2023, 1er semestre

### Sommaire



Réseaux maillés de capteurs autonomes

2.0

Rappels

Topologies de réseaux

éseaux maillés

lise à jour logicielle OTA

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



### Sommaire



Réseaux maillés de capteurs autonomes

lban MANCHERO

#### Presentatio

Modalités de contrôle de

#### annale

Topologies de réseaux

Réseaux maillés

Mise à jour logicielle OTA

- Présentation
  - Objectifs
  - Modalités de contrôle des connaissances
- Rappels
- Topologies de réseaux
- Réseaux maillés
- Mise à jour logicielle OTA
- **Optimisation et** *Green-IT*

## **Présentation**

Objectifs



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Présentatio.

Objectifs

Modalités de contrôle de connaissances

appels

opologies de réseaux

Réseaux maillés

Aise à jour logicielle OTA

ptimisation et Green-IT



Développement mobile 18h [6CM+12TD/TP]



**Développement pour microcontrôleurs** 18h [6CM+12TD/TP]

- informatique embarquée
- internet des objets







### **Présentation**

#### Modalités de contrôle des connaissances



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Présentatio

Objectifs

Modalités de contrôle des

appels

opologies de réseaux

Réseaux maillés

Mise à jour logicielle OT

Optimisation et Green-IT

**Session 1** 

Développement mobile

⇒ Projet 50%

Développement pour microcontrôleurs

⇒ Projet 50%

**Session 2** 

⇒ Projet 100%



### Sommaire



Réseaux maillés de capteurs autonomes

dan MANCHERO

Présentation

Missesses

Microcontrôleu Arduino

Topologies de réseau

Réseaux maillés

lise à jour logicielle OTA

- Présentation
- 2 Rappels
  - Microcontrôleurs
  - Arduino
  - ESP32
- Topologies de réseaux
- Réseaux maillés
- Mise à jour logicielle OTA
- **6** Optimisation et Green-IT



Microcontrôleurs



Réseaux maillés de capteurs

Ilban MANCHER

Présentatio

appens

41crocontroleu

ESP32

pologies de réseau.

seaux maillés

lise à jour logicielle OTA

ptimisation et Green-II

### Microcontrôleur



 $\Rightarrow$  circuit intégré



#### Microcontrôleurs



Réseaux maillés de capteurs autonomes

lban MANCHER

résentatio.

Microsontrâlou

Arduino

. . . . . .

éseaux maillés

lise à jour logicielle OTA

ptimisation et Green-IT

### Microcontrôleur



### $\Rightarrow$ circuit intégré

- processeur un
- mémoire morte
- unités périphériquesinterfaces d'entrées-sorties
- mémoire vive

### Microcontrôleurs



### Microcontrôleur



### ⇒ circuit intégré

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

### Intérêt

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

Microcontrôleurs



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Présentatio

### Rappels

Arduino

ESP32

pologics de rescu

eseaux maines

nise a jour togiciene on.

Optimisation et Green-IT

## Microcontrôleur



## $\Rightarrow$ circuit intégré

- processeur
- mémoire morte
- mémoire vive

### Utilisation

unités périphériques

interfaces d'entrées-sorties

- systèmes embarqués
  - téléphonie mobile
  - télécommandes
  - électroménager

:

### Intérêt

- faible consommation électrique
- o coût réduit
- petite taille
- Programmable (micrologiciel)
  - assembleur Lua/ $\mu$ Python/...
  - C/C++

Microcontrôleurs



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Présentation

#### Kappels

Arduino

Arduino ESP32

pologies de réseaux

éseaux maillés

lise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT

### Utilisation

- systèmes embarqués
  - téléphonie mobile
  - télécommandes
  - électroménager
    - :

### Microcontrôleur



### $\Rightarrow$ circuit intégré

- processeur
- mémoire morte
- mémoire vive
- Intérêt
- faible consommation électrique
- coût réduit
- petite taille
- Programmable (micrologiciel)
  - ullet assembleur ullet Lua/ $\mu$ Python/...
  - C/C++

### **Quelques fabriquants**







unités périphériques

interfaces d'entrées-sorties



Arduino



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



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Présentatio

Rappels

licrocontrôleurs

SP32

ologies de réseaux

éseaux maillés

lise à jour logicielle OIA

Arduino



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

résentatio

Aappels Microcontrôleur:

ESP32

opologies de réseau.

Réseaux maillés

se à jour logicielle OTA

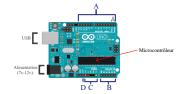


Arduino



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 capteur autonomes

Présentati

Kappels Microcontrôleur

Arduino

Topologias de váseas

opotogies ae reseau

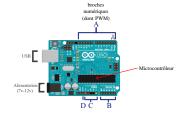


Arduino



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 capteur autonomes

Présentati

Rappels

Microcontrôleur.

ESP32

opologies de réseau

éseaux maillés

lise à jour logicielle OTA

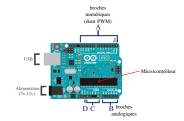


Arduino



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 capteur autonomes

Présentatio

Rappels

Microcontrôleur:

ESP32

opologies de réseau

éseaux maillés

lise à jour logicielle OTA

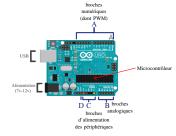


Arduino



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 capteur autonomes Alban MANCHERON

Présentati

Rappels

Microcontrôleur:

ESP32

opologies de réseau.

éseaux maillés

lise à jour logicielle OTA

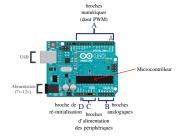


Arduino



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 capteur autonomes

Présentatio

Rappels

Microcontrôleur:

ESP32

opologies de réseau

éseaux maillés

lise à jour logicielle OTA



Arduino



Réseaux maillés de capteur autonomes Alban MANCHERON

Présentation

Rappels

Microcontrôleu

ESP32

Topologies de réseau:

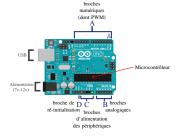
Réseaux maillés

lise à jour logicielle OTA

ptimisation et Green-IT

Schéma général d'une carte

(architectures AVR et ARM).



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



Arduino



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

Presentatio

appels Microcontrôleurs

ESP32

pologies de réseaux

éseaux maillés

lise à jour logicielle OT.

# Rappels ESP32

♠ ESPRESSIF https://www.espressif.com/

autonomes

#### Rappels

Microcontrôleur. Arduino

ESP32

pologies de réseau:

léseaux maillé:

Aise à jour logicielle OTA





## Rappels ESP32



♠ 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

léseaux maillés de capteurs autonomes

resemunon

Kappeis

Arduino

ESP32

ppologies de réseaux

Réseaux maillés

Aise à jour logicielle OT2



## Rappels ESP32

♠ 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
- $\mu$ Python
- MicroEJ (Java)

Réseaux maillés de capteurs autonomes

Présentatio

Rappels

Arduino

. . . . .

éseaux maillés



## Rappels ESP32

♠ 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
- $\bullet$   $\mu$ Python
- MicroEJ (Java)

## Sommaire



Topologies de réseaux

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

Bus



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHER

Présentatio

appeis

. . . . . .

us toile

Arbre

Anne

Complet

aillé

thèse

Réseaux maillés

Aisa à iour logicielle (



Étoile

Bus



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHE

#### Présentation

#### Rappels

Étoil

Arbr

Anne

Annea

aillé

thèse

#### Réseaux maillés

lise à jour logicielle OT



Bus

Étoile





#### résentatio

Arbre

#### appels

#### pologias da vásago

Étoil

Arbre

Complet

aillé

nthèse

#### Réseaux maillés

ica à iour logiciall



Bus

Étoile





#### Présentatio

#### appels

#### Topologies de réseau

Étoile

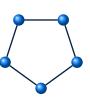
Arbre

Complet

nthèse

#### seaux maillés

ptimisation et Green-II



Arbre





Bus

Étoile





#### Présentatio

Arbre

### appels

#### Topologies de réseau

Bus Étoile

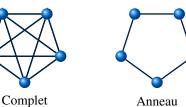
Arbre

Anneau

1aillé

nthèse

#### Réseaux maillés









résentation

#### ppeis

#### Topologies de réseaux

Étoile

Arbre Anneau

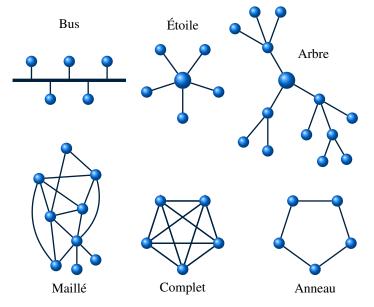
Complet Maillé

nthèse

#### Réseaux maillés

Mina X insur Institut

ntimisation et Green-l'





Bus





Alban MANCHE

#### resentati

#### cappeis

#### Fonologias da vásagus

Étoi

Art

Anne

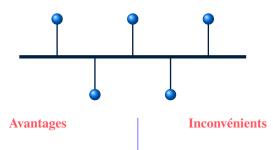
Comple.

aauue Sonthõse

ásaguy maillás

6-- X :---- I--:-:-II--





Bus





#### Rappels

. . . . .

Étoil

Art

Annec

Complet

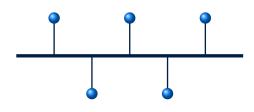
Maillé

Synthèse

Réseaux maillés

Aise à iour logicielle (

misation et Green-IT

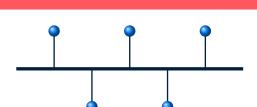


### **Avantages**

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

**Inconvénients** 

Bus



### **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

resemano

appels

pologies de réseaux

Étoile Arbre

Arbre

Comple

waine Synthès

Réseaux maillés

Mise à iour logicielle

otimisation et Green-F



Étoile



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANGUEI

-reseman

...

Étoile

Arbre

Anne

Complet

Aaillé vnthèse

éseaux maillés

imisation et Green-IT



Avantages

**Inconvénients** 

Étoile



Réseaux maillés de capteur autonomes Alban MANCHERON

Présentati

Rappels

pologies de réseaux

Étoile

Arbre

Anneau

Comple

Maillé Synthè

esettia maines

dini-dia d'Cara II

timisation et Green-II



### **Avantages**

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

Inconvénients

Étoile



### **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

resemuno

Rappels

Topologies de réseaux

toile

Arbre

Anneau Comple

Maillé Synthès

Réseaux maillés

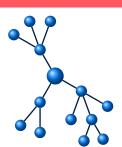
lise à jour logicielle (

isation et Green-IT



# Topologies de réseaux Arbre





**Avantages** 

**Inconvénients** 

Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHER

resemun

Rappels

Fonologias da vásagus

Bus Étoile

Anneau

Complet Asins

ynthêse

Réseaux maillés

se à jour logicielle OTA

timisation et Green-IT



# **Topologies de réseaux**Arbre





Présentatio

Rappels

Topologies de réseaux

Bus Étoile

1210110

Anneau

Anneau Complet

aillé

nthèse

Réseaux maillés

lise à jour logicielle OT

imisation et Green-IT

# (III)

### **Avantages**

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





Présentatio

Rappels

pologies de réseau

Étoile

. .

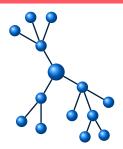
nneau

Complet Waitts

laillé vnthèse

Mise à jour logicielle

ptimisation et Green-IT



### **Avantages**

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

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

Anneau



Réseaux maillés de capteurs autonomes

AIDAII WANCH

Rappels

Tonologias da rásaguy

Bus

Arbre

Anneau

Complet

aillé

nthèse

Réseaux maillés

se à jour logicielle OTA

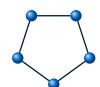
imisation et Green-IT



**Avantages** 

Anneau





### **Avantages**

- Facile à configurer
- Facile à mettre à jour

### Inconvénients

Réseaux maillés de capteurs autonomes

Rappels

Bus

Arbre

Anneau

Complet

Maillé

synthèse

Réseaux maillés

ise à jour logicielle OTA

otimisation et Green-IT



Anneau



### **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++)



Réseaux maillés de capteurs autonomes

resemuno

Rappels

Topologies de réseaux

Etoile

Arbre

Complet

Maillé Synthès

Réseaux maillés

Aise à jour logicielle OTA

timisation et Green-IT



Complet



**Avantages** 





Complet



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Présentatio

### Rappels

Topologies de réseaux

Bus

Arbre

Anneau

M-in c

Maillé Synthèse

Réseaux maillés

Aise à jour logicielle (

timisation et Green-IT



### **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

Complet



### **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

resemuno

Rappels

Canalagies de réseau

Bus Étoile

Arbre

omplet

Maillé Synthèse

éseaux maillés

Mise à jour logicielle OTA Optimisation et Green-IT



Maillé









# **Topologies de réseaux** Maillé





Présentatio

### Rappels

Topologies de réseaux

Étoile

Arbre

Anneau

Comple

Maillé

Synthèse

Réseaux maillés

Mise à jour logicielle OTA

ntimisation et Green-IT



### **Avantages**

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



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Présentation

### Rappels

pologies de réseaux

Étoile

Arbre

Anneau

Comple

Maillé

Synthèse

Réseaux maillés

Mise à jour logicielle OTA

timisation et Green-IT



## **Avantages**

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

- Difficile à configurer
- Difficile à mettre à jour

Synthèse



### résentatio.

### opels

### ologies de réseaux

oile

neau

omplet

ivnthèse

Mise à jour logicielle OTA

timisation et Green-IT



Topologie	Config	MàJ	Robustesse	Vitesse	Échelle	Détection d'erreurs
	✓	✓	×	✓	X	×
	✓	✓	✓	X	X	$\checkmark$
***************************************	✓	✓	×	×	✓	✓
	✓	✓	×	×	×	✓
	X	×	✓	X	X	✓
	X	X	✓	✓	<b>√</b>	✓

## Sommaire



Communications et calcul distribué

Réseaux maillés Construction Mise à jour RSSI



### **Construction**

### Pléthore d'algorithmes

● **SPRESSIF** ESP-WIFI-MESH

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

• **p**1) painlessMesh

https://gitlab.com/painlessMesh

:



éseaux maillés de capteurs autonomes

lban MANCHEF

reseniano

Rappels

pologies de réseaw

Réseaux maillés

RSSI

RSSI

lise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT

### Construction

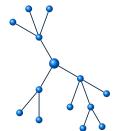
### Pléthore d'algorithmes ⇒ topologies arborescentes

● SPRESSIF ESP-WIFI-MESH

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

• **p**1) painlessMesh

https://gitlab.com/painlessMesh





Réseaux maillés de capteurs autonomes

Présentatio

Rappels

Topologies de réseaux

Réseaux maillés

Mise a j RSSI

RSSI

ommunications et calcul distribué

lise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT



### Construction

léseaux maillés de capteurs autonomes

AIDAN MANCHE

appeis

opologies de réseaux

Réseaux maillés

Mise a<sub>.</sub> RSSI

ommunications et calcul distribué

lise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT

20/31

## 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

### Construction



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 complétement fonctionnel 100% de couverture

### Construction



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 complétement 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



### Construction



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Présentation

Rappels

Topologies de réseaux

Réseaux maillés

RSSI

Communications at calcul dis

se à iour logicielle OTA

otimisation et Green-IT



### Stratégie des plus proches voisins

Choix d'un nœud de référence⇒ racine de l'arbre



### Construction



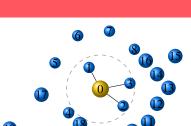


## Stratégie des plus proches voisins

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

ses plus proches voisins (dans une limite donnée) deviennent ses fils

### Construction



### Stratégie des plus proches voisins

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



Réseaux maillés de capteurs autonomes

résentatio.

Rappels

opologies de réseaux

Réseaux maillés

RSSI

-----

Communications et calcul distribué

ise à jour logicielle OTA

ntimisation et Green-IT



### Construction



Réseaux maillés de capteurs autonomes

résentatio

Rappels

Topologies de réseaux

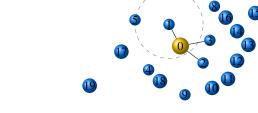
Réseaux maillés

RSSI

KJJI

Aise à jour logicielle OTA

otimisation et Green-IT



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

### Construction



Réseaux maillés de capteurs autonomes

résentatio

Rappels

opologies de réseaux

Réseaux maillés

RSSI

R331

tise à jour logicielle OTA

ise a jour togiciene off.

Optimisation et Green-IT



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

### Construction



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Présentatio

Rappels

Topologies de réseaux

éseaux maillés

RSSI

KJJI

Communications et careat distribute

lise à jour logicielle OTA

ptimisation et Green-IT

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

### Construction



Réseaux maillés de capteurs autonomes

résentatio

Rappels

Topologies de réseaux

Réseaux maillés

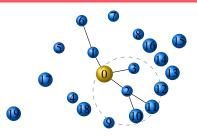
RSSI

11001

Communications et carcai distribue

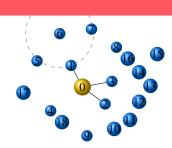
lise à jour logicielle OTA

ptimisation et Green-IT



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

### Construction



### Stratégie des plus proches voisins

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



Réseaux maillés de capteurs autonomes

résentatio

Rappels

opologies de réseaux

éseaux maillés

Aise à jour

11001

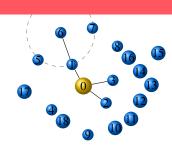
Communications et calcul distribué

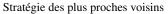
lise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT



### Construction





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



Réseaux maillés de capteurs autonomes

résentatio

Rappels

opologies de réseaux

éseaux maillés

Mise à jour RSSI

Communications et calcul dis-

fise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT



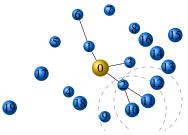
### Construction



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

### Construction





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

### Construction



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Présentation de la constantida del constantida de la constantida de la constantida de la constantida del constantida de la constantida del constantida del constantida de la constantida de la constantida del constantida

Rappels

Topologies de réseaux

léseaux maillés

RSSI

KJJI

C 1 1 1 1 1 0TA

lise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT

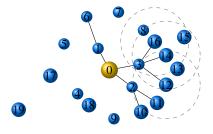




- ② choix d'un nœud de référence⇒ racine de l'arbre
- ② ses plus proches voisins (dans une limite donnée) deviennent ses fils ⇒ second niveau
- Les nœuds qui sont à proximité d'un nœud du second niveau ou plus essaient de s'y connecter.

### Construction





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



### Construction



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

### Construction



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Présentatio

Rappels

opologies de réseaux

Réseaux maillés

RSSI

Communications at calcul dis

lise à jour logicielle OTA

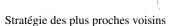
Optimisation et Green-IT



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

### Construction



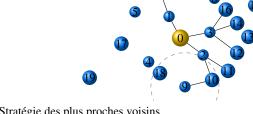


- choix d'un nœud de référence ⇒ racine de l'arbre
  - ses plus proches voisins (dans une limite donnée) deviennent ses fils ⇒ second niveau
  - Les nœuds qui sont à proximité d'un nœud du second niveau ou plus essaient de s'y connecter.

### Construction







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

### Construction



### Stratégie des plus proches voisins

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



Réseaux maillés de capteurs autonomes

résentatio

Rappels

opologies de réseaux

Réseaux maillés

Mise å jour RSSI

. .

Communications et calcul distribué

lise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT



### Construction







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

### Construction



Réseaux maillés de capteurs autonomes

résentatio

Rappels

Topologies de réseaux

Réseaux maillés

RSSI

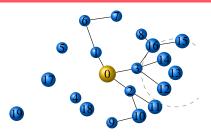
Kaar

Communications et calcul distribue

lise à jour logicielle OTA

ptimisation et Green-IT





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

### Construction



Réseaux maillés de capteurs autonomes

résentatio

Rappels

Topologies de réseaux

Réseaux maillés

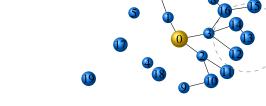
RSSI

KJJI

nse a jour togretene 011

Optimisation et Green-IT



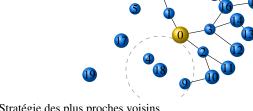


- Choix d'un nœud de référence
   ⇒ racine de l'arbre
  - ses plus proches voisins (dans une limite donnée) deviennent ses fils ⇒ second niveau
- Les nœuds qui sont à proximité d'un nœud du second niveau ou plus essaient de s'y connecter.

### Construction







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

### Construction



Réseaux maillés de capteurs autonomes

resentatio

appels

opologies de réseaux

léseaux maillés

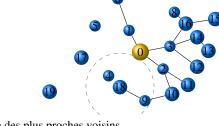
Mise à jour RSSI

Communications et calcul distribué

Aise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT





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

### Construction



Réseaux maillés de capteurs autonomes

résentatio

Rappels

opologies de réseaux

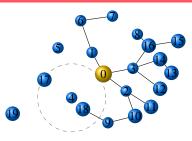
Réseaux maillés

Mise à jour RSSI

Communications et calcul distr

lise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT



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

### Construction



Réseaux maillés de capteurs autonomes

**Présentatio** 

Rappels

opologies de réseaux

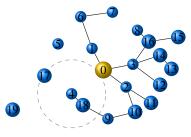
Réseaux maillés

RSSI

Communications et calcul distribué

Aise à iour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT



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

### Construction



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



### Construction





## Stratégie des plus proches voisins

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



Mise à jour

- Ajout d'un nœud
  - augmentation de la charge



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHER

Présentati

appels

Conologias da vásaguy

seaux maillés

onstruction

Mise a

RSSI

Communications et calcul distribué

Aise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT



Mise à jour

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





Mise à jour

- Reseaux mailles de capteurs autonomes

Deácontatio

Rappels

Topologies de réseaux

éseaux maillés

Mise à .

RSSI

Communications et calcul distribu

Aise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT

21/31

- 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

Mise à jour



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Présentatio

appels

ppologies de réseaux

íseaux maillés

Mise à

RSSI

Communications et calcut distribu

lise à jour logicielle OT.

Optimisation et Green-IT

21/31

- 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+		

Mise à jour



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Présentatio

Rappels

opologies de réseaux

éseaux maillés

Mise à

Communications et calcul distri

Aise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT

21/31

- 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	$\Rightarrow$ reconstruction		
niveau 2				
niveau 3+				

Mise à jour



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Présentatio

Rappels

pologies de réseaux

seaux maillés

Mise à

RSSI

ommunications et caicui

Optimisation et Green-I'.

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

### Retrait d'un nœud

niveau	avec préavis sans préavis		
racine	⇒ rééquilibrage	$\Rightarrow$ reconstruction	
niveau 2	<ul> <li>⇒ promotion possible d'un nœud au niveau 2</li> <li>⇒ stratégie de perte d'un nœud de niveau 3+ ou rééquilibrage</li> </ul>		
niveau 3+			



Mise à jour



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Présentatio

Rappels

opologies de réseaux

éseaux maillés

Mise à

Communications at an

Aise à jour logicielle Oi

Optimisation et Green-I'.

# (21/31)

## • 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 possib	ole 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	$\Rightarrow$ reconstruction		
(seulement pour les nœuds isolé				

Mise à jour



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Présentation

Rappels

pologies de réseaux

seaux maille

Mise a

Communications et calcul distribu

aise a jour togiciette Oi

Optimisation et Green-I

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

niveau	avec préavis	* *			
racine*	⇒ rééquilibrage	$\Rightarrow$ 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	$\Rightarrow$ reconstruction			
	(seulement pour les nœuds isolés)				

\* ⇒ perte temporaire de communication externe



RSSI



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 MANCHER

Présentatio.

Rappels

onologies de réseau

seaux maillés

Mise à j

RSSI

ommunications et calcul distribu

Aise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT



RSSI



RSSI Received Signal Strength Indication

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

 $0dBm \Leftrightarrow ...$ 

 $-30dBm \Leftrightarrow ...$ 



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Rappels

opologies de réseau

eaux maillés

Mise à jo

SSI

Communications et calcul distribut

lise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT





Réseaux maillés de capteurs autonomes

Présentatio

Rappels

pologies de réseau.

eaux maillés

RSSI

:551

ommunications et calcul distribue

lise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT

22/31

## **Définition**

RSSI

RSSI Received Signal Strength Indication

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

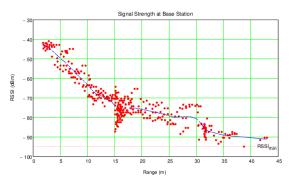
 $0dBm \Leftrightarrow 1mW$  $-30dBm \Leftrightarrow 1\mu W$ 





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 MANCHER

Présentati

Rappels

T----1---:-- 1------

seaux maillés

Miss à jour

RSSI

Communications et calcul distril

Mi-- > i---- l--i-i-ll- OTA

Optimisation et Green-I'

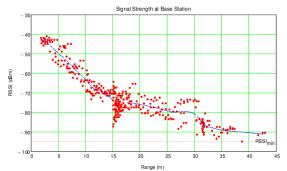


ce : [Sharp & Yu 2019]

**RSSI** 

## Modèle de path loss

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





RSSI

## Modèle de path loss

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

 $P_{Tx}$  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
- $\gamma$  exposant d'affaiblissement de propagation
- $\psi$  variable aléatoire modélisant la zone d'ombre  $\psi \sim \mathcal{N}(0, \sigma^2)$



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Présentatio

Rappels

Topologies de réseau

éseaux maillés

onstruction

Aise à jour

Communications et calcul distribué

Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-II

RSSI

## Modèle de path loss

$$P_{Rx} = P_0 - 10 \gamma \log_{10} \left(\frac{d}{d_0}\right) + \psi$$
 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
- $\gamma$  exposant d'affaiblissement de propagation
- $\psi$  variable aléatoire modélisant la zone d'ombre  $\psi \sim \mathcal{N}(0, \sigma^2)$



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Présentatio

appels

Conologies de réseau

éseaux maillés

onstruction

vise a jour

Communications et calcul distribué

Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-II

### Communications et calcul distribué

### **Architecture**

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



Réseaux maillés de capteurs autonomes

iban MANCHER

reseniano

Rappels

pologies de réseaux

Réseaux maillés

Mise à

RSSI

se à jour logicielle OTA

otimisation et Green-IT



### Communications et calcul distribué

### **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>]

Réseaux maillés de capteurs autonomes

Présentatio

appels

opologies de réseaux

éseaux maillés

Mise à j

RSSI

ommunications et caicut atstrib

Optimisation et Green-IT

### Communications et calcul distribué



# 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 ArduinoIson [#include <ArduinoJson.h>] ou librairie Arduino\_JSON
    - [#include <Arduino\_JSON.h>]

### Calcul

Stratégie Map-Reduce

## Sommaire



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Iban MANCHER

Présentation

Kappeis

Topologies de réseaux

éseaux maillés

Aise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT

Presentation

2 Rappels

**3** Topologies de réseaux

Réseaux maillé

Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT



## Mise à jour logicielle OTA



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Présentation

appels

onologies de réseau

Réseaux maillés

Mise à jour logicielle OTA

Optimisation et Green-IT



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



## Mise à jour logicielle OTA



Réseaux maillés de capteurs autonomes Alban MANCHERON

Présentation

Rappels

onologies de réseau

léseaux maillés

Mise à jour logicielle OTA

ptimisation et Green-IT

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 logicielle OTA



Réseaux maillés de capteurs autonomes Alban MANCHERON

Présentation

Rappels

Conologies de réseau

éseaux maillés

Mise a jour logicielle OIA

Optimisation et Green-IT

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 ⇒ ArduinoOTA, ESP8266httpUpdate, AsyncWebServer, AsyncElegantOTA, . . .
- système de fichier  $\Rightarrow$  *LittleFS*



## Sommaire



- Optimisation et Green-IT
  - Consommation « matérielle »
  - Consommation « logicielle »
  - Capteur autonome



## **Optimisation et** *Green-IT*

Consommation « matérielle »

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



éseaux maillés de capteurs autonomes

Présentatio

uppels

oologies de réseaux

éseaux maillés

lise à jour logiciel

Optimisation et Green-IT

Consommation « logicielle »



## **Optimisation et** *Green-IT*

Consommation « matérielle »

Mode	Ac avec Wifi/BT	etif sans Wifi/BT	Som léger	meil profond	Hivernage
Wifi/BT	✓	×	×	Х	×
Horloge système	✓	✓	×	×	×
Horloge temps réel	<b>✓</b>	✓	✓	<b>✓</b>	✓
processeur	<b>✓</b>	✓	-	×	×



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Présentatio

appels

onologies de réseaux

éseaux maillés

lise à jour logicielle (

ptimisation et Green-IT

onsommation « logicielle »

apteur autonome



Consommation « matérielle »

Mode	Actif avec Wifi/BT   sans Wifi/BT		Sommeil léger profond		Hivernage
Wifi/BT	✓	×	×	×	×
Horloge système	✓	✓	×	×	×
Horloge temps réel	✓	✓	✓	✓	✓
processeur	✓	✓	_	×	×
Conso. moyenne	100-250mA	20-70mA	$0.8\mu\mathrm{A}$	10-100μA	$5\mu A$



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Présentat

appels

onologies de réseaux

éseaux maillés

Mise à jour logici

ptimisation et Green-IT

onsommation « logicielle »

oteur autonome



Consommation « matérielle »

Mode	Actif avec Wifi/BT   sans Wifi/BT		Sommeil léger profond		Hivernage
Wifi/BT	✓	×	×	×	×
Horloge système	✓	✓	×	×	×
Horloge temps réel	✓	✓	✓	✓	✓
processeur	✓	✓	-	×	×
Conso. moyenne	100-250mA	20-70mA	$0.8\mu\mathrm{A}$	10-100μA	5μΑ

- delay( milli\_sec )
- yield ()
- delayMicroseconds(micro\_sec)





Consommation « matérielle »

Mode	Actif avec Wifi/BT   sans Wifi/BT		Sommeil léger profond		Hivernage
Wifi/BT	✓	×	×	×	×
Horloge système	✓	✓	×	×	×
Horloge temps réel	✓	✓	✓	✓	✓
processeur	✓	✓	_	×	×
Conso. moyenne	100-250mA	20-70mA	$0.8\mu\mathrm{A}$	10-100μA	$5\mu A$

- delay( milli\_sec )
- yield ()
- delayMicroseconds(micro\_sec)

- WiFi.setSleepMode(mode) avec mode:
  - WIFI NONE SLEEP
  - WIFI\_MODEM\_SLEEP
  - WIFI\_LIGHT\_SLEEP



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Présentat

Rappels

onologies de réseaux

Réseaux maillés

Aise à jour logicie

• Consommation « matérie

Consommation « logicielle »



Consommation « matérielle »

Mode	Actif avec Wifi/BT   sans Wifi/BT		Sommeil léger profond		Hivernage
Wifi/BT	<b>√</b>	×	×	×	×
Horloge système	<b>√</b>	<b>√</b>	×	×	×
Horloge temps réel	✓	✓	✓	✓	✓
processeur	✓	✓	-	×	×
Conso. moyenne	100-250mA	20-70mA	$0.8\mu\mathrm{A}$	10-100μA	$5\mu A$

- delay( milli\_sec )
- vield ()
- 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



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Présentati

appels

onologies de réseaux

éseaux maillés

Mise à jour logicie

onsommation « logicielle »



Consommation « logicielle »

nombre d'opérations ⇔ consommation



léseaux maillés de capteurs autonomes

Alban MANCHER

resentatio

appeis

opologies de réseaux

éseaux maillés

Mise à jour logici

ptimisation et Green-IT Consommation « matérielle »

Consommation « logicielle »

Capteur autonom



Consommation « logicielle »



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Présentation

Rappels

Topologies de réseaux

éseaux maillés

Mise à jour logicielle O

Commisation et Green-i

onsommation « logicielle »

## Exemple 1 : mesure de température

 $nombre\ d'opérations \Leftrightarrow consommation$ 

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

Consommation « logicielle »



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Présentation

appels

Topologies de réseaux

éseaux maillés

Mise à jour logicie

Optimisation et Green-II

onsommation « logicielle »

#### Exemple 1 : mesure de température

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

#### **Exemple 2: distance entre deux points**

- ② math. sqrt((x1 x2) \* (x1 x2) + (y1 y2) \* (y1 y2));

nombre d'opérations ⇔ consommation

Capteur autonome



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Prásantatia

appels

pologies de réseau

eseaux maiiies

Iise à jour logiciel

onsommation « matérielle »

apteur autonome

#### cahier des charges

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

Capteur autonome



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Présentatio.

appels

pologies de réseaux

éseaux maillés

Mise à jour logicie

Jptimisation et Green-13 Consommation « matérielle » Consommation « lovicielle »

Capteur autono

#### 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



Capteur autonome



Réseaux maillés de capteurs autonomes

Présentatio

appels

pologies de réseaw

eseaux mailles

Mise à jour logici

Optimisation et Green-I'.

Consommation « matérielle »

Capteur autonoi

#### 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.



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**



éseaux maillés de capteurs autonomes

Présentatio

Rappels

ologies de réseaux

seaux maiiies

se à jour logicielle OTA

imisation et Green-I

Image	Source	Licence
Atmel	Wikimedia Commons https://commons.wikimedia.org/	©
<b>⊕</b> © <b>⊗</b> □ <b>⊙</b>	Creative Commons https://creativecommons.org/	Attribution 4.0 International ©(1) (CC BY 4.0)
	Site personnel de Wilfried KLAAS https://wkla.no-ip.biz/ArduinoWiki Wikimedia Commons https://commons.wikimedia.org/	Attribution ShareAlike 4.0 International ©① (CC BY SA 4.0)
♦ ESPRESSIF	Genotronex http://www.genotronex.com/2013/03/i2c.html	Attribution NonCommercial ShareAlike 4.0 International
OF THE REAL PROPERTY.		(CC BY NC SA 4.0)
P.0	https://gitlab.com/painlessMesh	GNU GPL V3
TEXAS INSTRUMENTS  Dart Flutter	Wikimedia Commons https://commons.wikimedia.org/ Site officiel du langage Dart https://dart.dev/brand	© TM
1	[Sharp & Ye 2019] DOI:10.1007/978-981-10-8791-2_15	©





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 !!!

