

# PREGUNTES DEL TRIBUNAL

Implementació protocol TSCH al hardware  
OpenMote

**Albert Creixell Antolín**  
Màster Universitari en Enginyeria de Telecomunicacions

**Pere Tuset Peiró**

21/01/2015

# 1. Preguntes i respostes

## 1.1 Tenint en compte els diferents casos d'ús d'Internet de les Coses, per exemple en l'àmbit domèstic o industrial, explica en quines circumstàncies aplica la utilització de capes MAC asíncrones com ara CSL/RIT i en quins altres casos aplica la utilització de capes MAC síncrones com TSCH. Quins són els factors clau que determinen la tria? Context i justificació del Treball

El protocol IEEE802.15.4e ha introduït diverses millores en la capa MAC per oferir millores en l'estalvi energètic, millores de fiabilitat o millores en la latència de les comunicacions.

Entre elles es troben el protocol de baix consum (Low Energy) que implementa els mecanismes asíncrons CSL o RIT, i el mode TSCH, que també implementa mecanismes síncrons per baixar el consum. Els avantatges i inconvenients que tenen aquests mecanismes que comparem és presenten a continuació:

| CSL/RIT   |   |
|---|---|
| Avantatges  | Inconvenients   |
| Els esclaus poden estar durant llargs períodes en mode sleep. Implica un major estalvi energètic que el TSCH  | Tots els esclaus utilitzen el mateix canal, no permeten comunicacions simultànies   |
| Donat que la comunicació és asíncrona, un emissor pot tenir disponibilitat de més temps per enviar els paquets, i enviar major quantitat d'informació, per tant l'ample de banda possible augmenta. | Les interferències o fenòmens espectrals com el multipath fading poden afectar a les comunicacions  |
| Els programes de les remotes són molt simples al no tenir sincronització en temps   | Pot presentar col·lisions en les comunicacions i afectar a la latència d'elles. Aquest problema es va agreujant a mesura que augmenten el nombre de remotes a la xarxa. |

| TSCH   |  |
|--|--|
| Avantatges   | Inconvenients  |
| Com es poden utilitzar més d'un canal, es poden donar comunicacions simultànies entre remotes                                      | Els esclaus poden passar a mode sleep, però s'ha de despertar per fer tasques de sincronització. Això implica un menor estalvi energètic que el CSL/RTI  |
| Al fer els salts de freqüència, les interferències o fenòmens espectrals com el multipath fading, afecten poc a les comunicacions. | Les comunicacions síncrones impliquen una quantitat d'informació màxima que es pot enviar en un temps. Si un emissor vol enviar més, trigarà més temps que si s'utilitzessin comunicacions asíncrones. |
| Com s'assigna un slot a cada remota, no hi han col·lisions i la xarxa funciona igual amb poques o moltes remotes.                  | El codi de les remotes requereix de gestió de temps i sincronització, fet que el fa més complex.   |

Tal com s'observa, les comunicacions asíncrones proporcionen simplicitat i major possibilitat d'ús de l'ample de banda disponible, però presenten el problema de les col·lisions i variació de latències. Les

comunicacions síncrones proporcionen el contrari, determinisme en les comunicacions i latències fixes a costa de limita l'ample de banda. Per tant, la utilització d'uns o altres mecanismes depèn de l'aplicació final que pretenguin les comunicacions.

En entorns domèstics, on hi hauran poques remotes, poques interferències, menor grau de manteniment (i per tant major importància a optimitzar les bateries) i l'enviament de la informació no es vital que es faci en un segon o un altre, es tendirà a utilitzar sistemes asíncrons. A més aquest tipus d'aplicacions no tendeixen a demanar la informació de forma continua en el temps, sinó que es fan peticions més puntuals i l'usuari vol tenir aquesta informació molt ràpidament, sent molt útil el major ample de banda que es pot aconseguir.

En canvi, en aplicacions industrials o entorns metropolitans, els sistemes IoT s'integraran dintre d'algoritmes d'optimització i control, on hi haurà un gran nombre de remotes, interferències i requereix disposar d'una taxa de refresc de dades continua i determinada, per poder prendre decisions. En aquests casos, la fiabilitat i determinisme del TSCH el farà més òptim en aquestes aplicacions.

Per tant, el projecte pretén proporcionar el sistema de comunicacions més òptim per la majoria d'aplicacions industrials o amb gran quantitat de remotes, on els requisits són molt diferents als d'aplicacions més domèstiques.

## 1.2 Compara de manera breu i resumida, per exemple a través d'un DAFO, la plataforma OpenMote amb altres plataformes existents, com ara TelosB, Zolertia Z1, etc. Com a potencial usuari, quins creus que son els aspectes mes valorables d'aquestes plataformes a banda del propi hardware?

Tal com es detalla a la memòria del projecte, diversos fabricants de xips, han desenvolupat productes específics per IoT on implementen radios internes compatibles amb l'estàndard IEEE802.15.4e o el Zigbee. Aquests fabricants proposen plaques tipus on muntar aquests xips, i una sèrie d'empreses integren aquests xips en plaques totalment preparades per ser muntades en equips, incloent els components de perifèria necessaris, connectors de comunicacions i sistemes d'alimentació. Algunes de les plataformes existents són les següents:

- Tmote sky
- Zolertia Z1
- TelosB
- MxCHIP EMZ3100
- OpenMote-CC2538

Entre les diverses ofertes que hi ha en el mercat s'ha escollit la plataforma OpenMote, ja que, tal com demostra el següent DAFO ofereix un conjunt més equilibrat i interessant, més enllà únicament de les prestacions hardware.

|                 | Aspectes favorables   | Aspectes desfavorables  |
|-----------------|---|---|
| Anàlisis intern | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Processador dels més potents dels que es munten.</li> <li>✓ Arquitectura ARM de 32 bits</li> <li>✓ Sistema modular que permet muntar la CPU sobre dues o més plataformes de perifèrics</li> <li>✓ Amb l'OpenBattery disposa de la major quantitat de sensors integrats del mercat</li> <li>✓ Amb el OpenBase, és l'únic hardware que disposa de port Ethernet</li> <li>✓ Fabricant europeu, front altres que solen ser americans o asiàtics. Major facilitat de compra i menors problemes logístics. Temps d'entrega inferiors</li> <li>✓ Compatibilitat amb sistemes operatius Contiki, OpenWSN i RiOT</li> <li>✓ Firmware propi, que incorpora el FreeRTOS i gran quantitat d'exemples. No cal utilitzar obligatòriament un sistema operatiu. Aquest firmware incorpora llibreries orientades a objectes que permeten direccionar el hardware molt fàcilment i amb una abstracció molt elevada.</li> <li>✓ Cost del hardware més barat que altres opcions de mercat.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>! Falta de distribuïdors i falta de presència en web de components electrònics (ex RS Amidata)</li> <li>! Falta de manuals de producte, on s'expliqui el hardware i s'inclouguin tutorials de com instal·lar l'entorn de desenvolupament o els diversos sistemes operatius. Informació dispersa i en blogs però no unificada.</li> <li>! Falta d'entorn de desenvolupament descarregable en un únic paquet, i a ser possible amb un 'setup'. Seria positiu disposar d'eines per instal·lar sistemes operatius de forma directe i per poder depurar</li> <li>! Falta d'una placa component amb comunicacions WiFi IEEE802.11, molt pensada per fer de passarel·la</li> <li>! Falta de hardware amb comunicacions Bluetooth compatible amb la versió 4.0 que incorpora Low Energy</li> <li>! Falta de solució per incorporar hardware de localització GPS</li> </ul> |
| Anàlisis extern | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ El sector domèstic disposa d'elements d'interacció home-màquina (mòbils, tablets, pc)</li> <li>✓ El sector industrial comença a disposar de sistemes fiables de comunicacions capaços de substituir solucions cablejades, sobretot RS485, fet que implicarà un increment en la demanda d'aquest hardware.</li> <li>✓ Els edificis intel·ligents han d'incrementar els pròxims anys, oferint més confort i més serveis, fet que ha de significar un augment de la demanda d'aquest hardware.</li> <li>✓ En l'entorn metropolità s'estan començant projectes de gestió global que han d'incrementar la demanda d'aquest hardware</li> <li>✓ Fàcil implementació en sistemes de control de mobilitat en àrees de centenars de metres.</li> <li>✓ La compatibilitat amb els sistemes operatius més comuns, assegura que es pugui connectar aquest hardware a xarxes existents, sent un hardware vàlid per l'ampliació de xarxes amb nous nodes.</li> <li>✓ La compatibilitat del hardware amb els estàndard IEEE802.15.4, ajuda també a la integració en xarxes antigues.</li> <li>✓ El port Ethernet, el fa ideal per implementar-lo com a coordinador i passarel·la entre xarxes.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>! Absència de hardware IEEE802.15.4 en els components pensats per fer funcions home-màquina. En canvi si disposen de Bluetooth. Possible pèrdua de mercat domèstic quan s'estandarditzi la versió Bluetooth 4.0 que incorpora sistemes de baix consum.</li> <li>! Estandardització d'un sistema operatiu no compatible. Opció molt poc probable al funcionar el hardware amb els més populars.</li> </ul>  |

Donat l'anàlisi fet, les debilitats i amenaces detectades no es van considerar massa importants, ja que la falta d'informació unificada i entorn de desenvolupament no es tan important en l'àmbit més universitari, sent molt més greu en l'àmbit industrial i comercial. Per altra banda, com el públic objectiu de les comunicacions TSCH és el sector industrial i grans xarxes, el perill que la tecnologia Bluetooth tregui mercat al IEEE802.15 és petit. Per altra banda, el firmware amb bons exemples i la potencia del hardware el feien ideal per l'execució del projecte.

### 1.3 Quines diferències existeixen entre la teva implementació de TSCH i la implementació de TSCH que existeix dintre del projecte OpenWSN? Que faltaria per tal que la teva implementació complís els requeriments de l'estàndard IEEE 802.15.4e?

La implementació de OpenWSN és una implementació complerta del IEEE 802.15.4, incloent els diversos modes de funcionament (beacons, TSCH) i implementa les trames indicades a l'estàndard.

La implementació del sistema OpenWSN del TSCH és força similar a l'executada en el projecte, utilitzant una màquina d'estats i els rellotge del sistema per controlar el sincronisme i les accions a executar en cada moment.

Tal com es comenta en l'apartat 4.2 i 4.4 de la memòria entregada per fer una implantació complerta caldria implementar les trames que marca la norma, implementar el sistema de comunicacions mitjançant Enhanced Beacons, anar incorporant els diversos modes de funcionament que s'han incorporat, Deterministic & Synchronous Multi-channel Extension (DSME), Low Latency Deterministic Network (LLDN), Time Slotted Channel Hopping (TSCH), Radio Frequency Identification Blink (RFID Blink), Asynchronous Multi-Channel Adaption (AMCA) i els mecanismes d'estalvi d'energia CSL i RIT.

#### 1.4 Relaciona el treball que has realitzat amb els conceptes que has anat aprenent durant la carrera. T'han faltat coneixements? Quins?

Per respondre a aquesta pregunta, s'ha generat la següent taula, on s'indiquen les tasques, assignatures on s'han adquirit coneixements i si ha faltat.

| Tasca   | Coneixement necessari  | Assignatura   |
|---|--|---|
| Decisió del projecte a executar   | Comprensió de les tasques a realitzar.   | Coneixement general adquirit que permet determinar el projecte general.   |
| Recopilació de dades norma IEEE802.15.4e  | Comprensió de trames de comunicacions i metodologies per enviar informació, juntament al coneixement de capçaleres i codis de correcció d'errors                                 | Comunicacions mòbils<br>Disseny de sistemes de comunicació<br>Planificació de xarxes de telecomunicació<br>Sistemes Digitals de Comunicació   |
| Redacció acta inicialització, i la PAC 1 (amb l'abast i planificació del projecte)                              | Definició clara de l'abast desitjat, estudi de riscos, definició de tasques per executar el projecte, planificació en el temps, assignació de recursos, definició d'entregables. | Gestió de projectes<br>Gestió avançada de projectes   |
| Preparació entorn programació amb màquina virtual<br>Realització programes proves radio, RTC, leds i port sèrie | Coneixements Linux, shell de linux, configuració d'entorn de programació i programació en llenguatge C   | No s'han estudiat programacions en llenguatge C ni s'han estudiat en detall programació de microcontroladors.<br>Si s'ha programat en VHDL en Electrònica Digital o Microelectrònica. |
| Preparació document procés comunicació  | Definició de màquines d'estat i grafets, juntament amb l'organització que haurà de tenir el programa   | Electrònica Digital<br>Microelectrònica   |
| Desenvolupament codi TSCH   | Programació en llenguatge C  | No s'han estudiat programacions en llenguatge C ni s'han estudiat en detall programació de microcontroladors.<br>Si s'ha programat en VHDL en Electrònica Digital o Microelectrònica. |
| Desenvolupament codi sincronització   | Programació en llenguatge C  | No s'han estudiat programacions en llenguatge C ni s'han estudiat en detall programació de microcontroladors.<br>Si s'ha programat en VHDL en Electrònica Digital o Microelectrònica. |
| Programació aplicació exemple   | Programació aplicacions de pc, amb entorn gràfic i gestió del port sèrie. En aquest cas es va utilitzar la plataforma .Net Framework   | No s'han estudiat programació d'aplicacions sobre base pc.  |

Tal com s'observa, el màster s'ha centrat en donar una formació molt dirigida al coneixement dels sistemes de comunicació i tecnologies, però es troba a faltar alguna assignatura de programació de microcontroladors i aplicacions sobre pc, ja que la majoria d'aquests sistemes de comunicació solen funcionar sobre sistemes programables, i no sempre es suficient saber parametritzar-lo, en ocasions s'ha de saber programar-los i poder desenvolupar aplicacions per fer test.

Afortunadament, disposava de coneixements en programació que m'han servit de base per poder executar el projecte, però aquests coneixements no es van adquirir durant la duració del màster.

**1.5 En l'àrea de sistemes encastats, creus que professionalment t'ha servit aquest treball? El pots relacionar amb la teva feina o activitat professional? Creus que els treballs haurien de ser més aplicats?**

El projecte m'ha aportat un major coneixement sobre les plataformes i hardware disponible en l'actualitat, així com una visió a curt i mig termini sobre cap a on es dirigirà el sector. Es preveu que a nivell professional en els pròxims anys la demanda de productes IoT augmenti i amb ella les oportunitats al sector laboral. Disposar d'un coneixement més profund sobre les capacitats i com programar el hardware disponible, així com de les possibilitats dels sistemes de comunicacions, em permetrà plantejar solucions de sensorització, actuació i control diferents aprofitant aquests nous sistemes.

El coneixement adquirit serà molt aplicable al meu món laboral, ja que treballa dissenyant sistemes de sensorització hidrològica i meteorològica, i les noves capacitats d'aquests sistemes permeten el muntatge de projectes amb molta menys infraestructura, i amb un s costos molt inferiors.

En el cas concret d'aquest projecte, el treball és força aplicable al món laboral i el considero molt correcte per un màster d'aquestes característiques, ja que els alumnes surten amb uns coneixements que seran els requerits per moltes empreses i els permetran incorporar-se fàcilment al món laboral.

**1.6 Veuries oportú que en el treball final de carrera es posés una mica d'esforç en millorar la competència comunicativa en llengua estrangera? Per exemple requerint una petita presentació oral de 3 minuts en anglès (a través d'un video o mp3) i que un dels capítols de la memòria estigués escrit en anglès? En tot cas seria opcional. Dóna'ns la teva opinió.**

Of course, in the current world, all technical workers need to be update, and the new proposals are in English, it's necessary to have a good level of written English to understand the documents, abstracts, datasheet, etc...

In business world, the companies work with providers and customers around the world, the telecommunication engineers need to communicate (speaking and writing), so it's totally necessary that the University demands minimum level to their students, and it prepare the students for the real world.

UOC has three English courses, and I consider correct to demand some chapters in the final documentation in English. Alike, I consider positive to demand English presentation, in which the students can show good speaking level.

I know that more students aren't agree with these words, but the University has to prepare the professional of tomorrow, and now English isn't optional, it's a mandatory.

I did abstract in English in the page 4, and I didn't have this request but if it's necessary, I can prepare a oral presentation of this project or TSCH methodology.