Sistema domòtic basat en sensors inal·làmbrics

María Rotger Socías
Enginyeria Tècnica de Informàtica de Sistemes

Consultor: Jordi Bécares Ferrés

Data Lliurament: 17 de Gener de 2011

Dedicatòria i agraïments

A Miguel: sense el teu suport no hauria arribat mai fins aquí.

El meu agraïment a totes les persones que han fet possible la finalització dels meus estudis: família, amics i professors i consultors de la UOC.

També voldria transmetre un especial agraïment al meu consultor, ja que gràcies al seu suport i guia va impedir que aquest treball es quedés pel camí.

Resum

L'objectiu d'aquest treball de final de carrera és implementar una aplicació sobre un node de xarxa sense fils (*WSN*) equipat amb un microcontrolador, una ràdio i un conjunt de sensors, emprant el llenguatge *nesC* sobre el sistema operatiu *TinyOS*.

La meva proposta consisteix en un sistema domòtic que detecti si un habitacle està ocupat i permeti controlar-ne la temperatura i el nivell de il·luminació per tal de que es mantenguin dins uns valors establerts que poden ser modificats per l'usuari (*consignes*).

Suposarem una habitació a la que es pot accedir emprant una tarja magnètica. Un cop a dins, l'usuari la introdueix a un targeter on es troba el sensor d'efecte Hall que la detecta i dóna subministrament elèctric a la habitació fins que es retiri la tarja. Segons el mode de climatització i les consignes d'il·luminació i temperatura, la mota encendrà o apagarà els llums i refrigerarà, encalentirà o mantindrà la temperatura a l'habitacle. Aquests nivells poden ser modificats mitjançant una aplicació instal·lada en un PC. La aplicació enviarà les noves dades emprant el port USB, on una altra mota programada de manera adient reenviarà els missatges per ràdio als altres nodes.

Les motes també disposen de tres LED que s'utilitzaran per indicar les accions preses: el vermell indicarà si es detecta presència; el groc, si s'encenen els llums degut a la manca d'il·luminació; i el verd s'encendrà si la temperatura està fora dels marges establerts.

Paraules clau: Xarxes de sensors inal·làmbrics, Sistemes de Control, TinyOS, NesC.

Àrea: Sistemes encastats.

Índex de continguts

Dedicatòria i agraïments....2
Resum....3
Cos de la memòria....6
1.Introducció....6
1.1.Justificació del treball....6
1.2.Objectius del treball....7
1.3.Enfocament i mètode seguit....8
1.3.1.Enfocament....8
1.3.2.Mètode seguit....9
1.4.Planificació del projecte....10
1.4.1.Llista de tasques....10
1.4.2.Cronograma....11
1.4.3.Problemes i causes de retard respecte a la planificació....12
1.5.Productes obtinguts....13
1.6.Descripció dels altres capítols....13
2.Antecedents....14
2.1.Estat de l'art....14
3.Desenvolupament de l'aplicació....15
3.1.Descripció funcional....15
3.1.1.Estructura de la xarxa de sensors....15
3.1.2.Instal·lació dels dispositius de la xarxa....16
3.1.3.Diagrama de blocs de l'aplicació....17
3.2.Descripció detallada....18
3.2.1.Aplicació del node de xarxa....18
HallEffectC....18
HallEffectP....18
SensorAppC....19
SensorC....20
3.2.2.Consola de l'usuari....21
Node....22
Data....22
Window....22
SetPoint....22
3.3.Desenvolupaments futurs....23
4.Valoració econòmica....24
5.Conclusions....25
5.1.Aportació del treball....25
5.2.Compliment dels objectius....25
5.3.Altres conclusions....26
Glossari....27
Bibliografia....28
Annexos....30
1.Transformació de les dades dels sensors....30
1.1.Sensor de temperatura....30
1.2.Sensor de lluminositat....30

Índex de figures

Il·lustració 1: Diagrama de blocs d'un sistema de control....8
Il·lustració 2: Model font....9
Il·lustració 3: Llista de tasques....10
Il·lustració 4: Diagrama de Gannt....11
Il·lustració 5: Esquema de la xarxa de sensors....15
Il·lustració 6: Part operativa d'un sistema de control....16
Il·lustració 7: Esquema d'instal·lació de una mota remota....16
Il·lustració 8: Diagrama de blocs de l'aplicació....17
Il·lustració 9: Diagrama de flux de la inicialització del sensor d'efecte Hall....19
Il·lustració 10: Diagrama de flux d'inicialització i lectura dels sensors....20
Il·lustració 11: Consola d'usuari....21
Il·lustració 12: Classes emprades a la consola d'usuari....21
Il·lustració 13: Circuit del sensor de temperatura....30
Il·lustració 14: Circuit del sensor de lluminositat....30

Cos de la memòria

1. Introducció

1.1. Justificació del treball

Durant els darrers anys han aparegut un conjunt d'elements i aplicacions destinades al control i l'automatització intel·ligent dels edificis. El seus objectius som millorar l'estalvi energètic, fomentar l'accessibilitat, el confort i la seguretat, i garantir les comunicacions, com ara la recepció d'avisos d'anomalies o la gestió remota. Quan aquest conjunt de tecnologies s'utilitza en edificacions d'habitatges s'anomena *domòtica*, en cas contrari, parlem d'*immòtica* (industria, hotels, hospitals...).

Per un altre costat, la disminució dels recursos naturals i el continuat augment de la demanda energètica, així com la conscienciació sobre el seu impacte en el medi ambient, son factors que han portat a la societat a la recerca de sistemes per a la millora de la eficiència energètica. Tant a nivell estatal (RITE,REBT) com europeu, s'han vingut publicant una sèrie de normatives que obliguen a aplicar criteris de màxim rendiment energètic i mínim impacte ambiental aplicables tant a les edificacions noves com a les reformes que es duguin a terme.

Així tenim que els principals requeriments a l'hora de dissenyar un sistema de control domòtic o immòtic són l'estalvi energètic i la facilitat de comunicació. Això es pot aconseguir mitjançant l'ús de xarxes inal·làmbriques, ja que es tracta de sistemes distribuïts de dispositius de baix cost i baix consum anomenats sensors que no necessiten cablejat per a comunicar-se.

Els sistemes basats en xarxes inal·làmbriques resulten de gran utilitat tant en la domòtica, on l'absència de cablejat permet una instal·lació ràpida, senzilla i estètica, com en la immòtica, no només per l'estalvi energètic i de cablejat, si no perquè simplifica en gran manera les reformes, permetent evitar el recablejat.

A l'hora d'elegir el treball, es va tractar d'aprofitar al màxim les característiques dels sistemes de control domòtics, especialment en el que es refereix a l'eficiència energètica, el confort i la gestió remota. Així, el sistema proposat és un sistema de control automatitzat del subministrament energètic, la il·luminació i la climatització de una sèrie de habitacions individuals, tenint en compte també el confort de l'usuari, que pot configurar la temperatura i la lluminositat mínima segons les seves preferències. També permet saber en temps real si una habitació està ocupada, i els valors de les lectures de temperatura i lluminositat.

1.2. Objectius del treball

Els objectius a assolir pel sistema són els següents:

(1) Llegir i fer un mostreig, en cas de que sigui necessari, de les dades obtingudes pels sensors de la mota: estat del sensor d'efecte Hall i lectura i mostreig dels sensors de lluminositat i temperatura.

(2) Decidir les mesures a prendre per la mota depenent de la informació dels sensors i la rebuda des del PC:

(a) Control de presencia: mentre es detecti la tarja, donar subministrament elèctric a la habitació.

(b) Control d'il·luminació: si el nivell de lluminositat és inferior a la consigna, encendre els llums.

(c) Control de temperatura:

- Mode "calefacció": si la temperatura és inferior a la consigna, encalentir l'habitacle. En cas contrari, no fer res.

- Mode "refrigeració": si la temperatura és superior a la consigna, refredar l'habitacle. En cas contrari, no fer res.

(3) Mostrar les decisions preses per la mota amb els LEDs:

(a) Primer LED: si està encès, indica que l'habitació té subministrament elèctric.

(b) Segon LED: representa les llums que s'encenen quan el nivell de lluminositat és inferior a l'indicat per l'usuari.

(c) Tercer LED: indica que la temperatura de la habitació està fora dels límits establerts, i per tant, o s'està refrigerant o bé s'està encalentint (depenent del mode de climatització).

(4) Implementar la comunicació inal·làmbrica entre la mota i el PC:

(a) Mota a PC: la mota informarà periòdicament al PC de les lectures dels sensors.

(b) PC a mota: la aplicació comunicarà a la mota corresponent cada canvi de consignes .

(5) Implementar una consola per l'usuari:

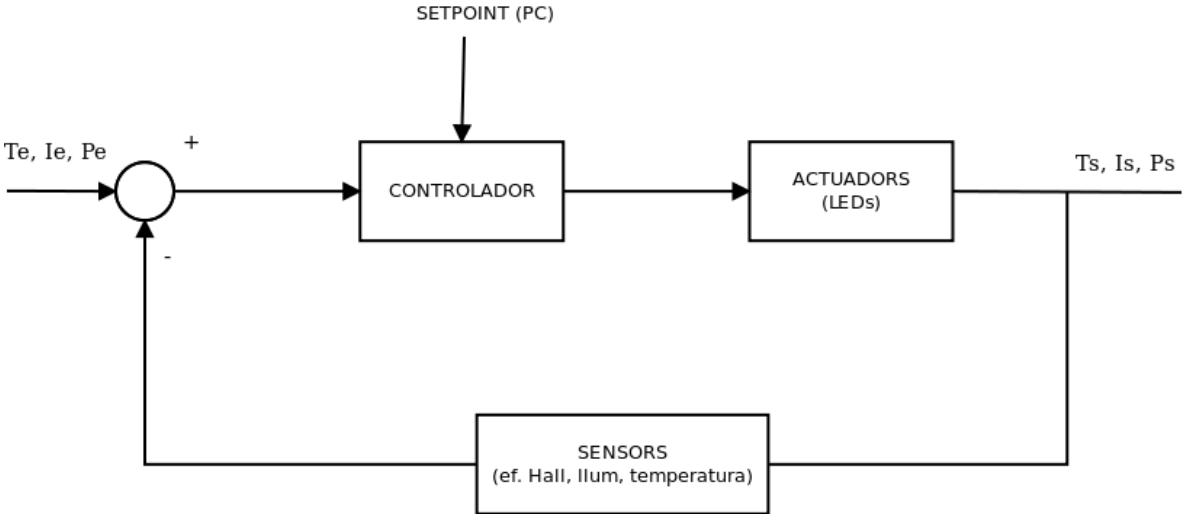
(a) Mostrar i enregistrar la informació que es rep de la mota

(b) Modificar i enviar consignes específiques per a cada mota

1.3. Enfocament i mètode seguit

1.3.1. Enfocament

Un sistema de control implementa quatre funcions bàsiques: mesura, comparació, computació i correcció com es pot veure en la figura següent:



Il·lustració 1: Diagrama de blocs d'un sistema de control

Aquesta mena de diagrames de blocs s'utilitzen per a descriure processos industrials. El cercle de la esquerra representa un comparador.

El primer que es va fer va ser identificar quins elements de la mota anaven a realitzar cadascuna de les funcions del sistema de control. Així, la mesura la duen a terme els sensors, el codi de la mota s'encarrega de la comparació i la computació de dades (compara les dades mesurades amb les esperades) i els LED representen quins actuadors es posen en marxa (per modificar l'entorn tal com especifiqui el controlador).

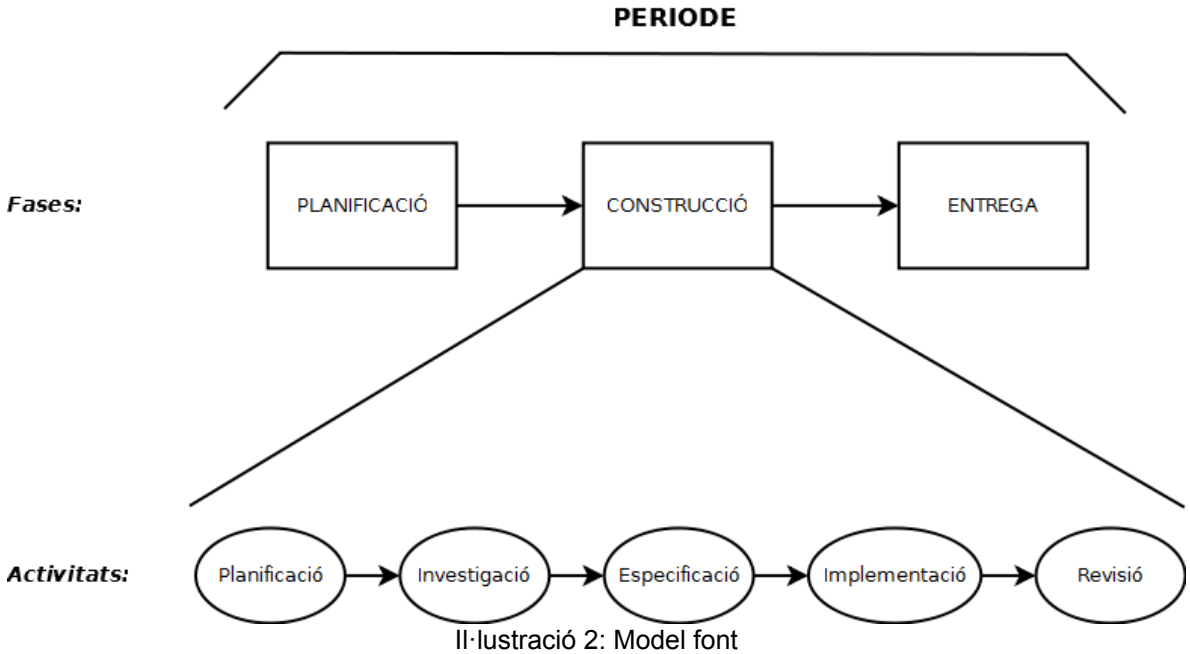
També cal una aplicació que permeti a l'usuari especificar els valors esperats de temperatura i lluminositat, així com el mode de climatització. Per a això calia desenvolupar una aplicació que permetés a l'usuari establir les consignes i enviar-les a la mota (el que en els sistemes de control s'anomena “Set Point”), i un sistema de comunicacions entre la mota i l'aplicació.

Per a poder implementar l'aplicació es disposa d'un kit de sistemes encastats, que conté dues motes COU_1_1, cada una de les quals té un microcontrolador, una ràdio amb la seva corresponent antena i sensors que permeten adquirir informació de intensitat de llum visible, detecció de camps magnètics, temperatura i voltatge de la font d'alimentació. També inclou un port sèrie que permet la comunicació de la mota amb un PC, connectant-la a un port USB.

El material disponible es va utilitzar de la següent manera: una de les motes actuaria com a node de la xarxa, implementant el codi del controlador. Es comunicaria per ràdio amb l'altre mota, que es limitaria a re-enviar el missatges rebuts via ràdio pel port sèrie i viceversa. Finalment, una aplicació instal·lada al PC rebria les lectures del node i enviaria els nous valors de les consignes pel port sèrie.

1.3.2. Mètode seguit

S'ha tractat de seguir un cicle de vida orientat a objectes anomenat “Model font”, desenvolupat per Henderson-Sellers i Edwards l'any 1990. Es divideix en períodes:



Il·lustració 2: Model font

El període inicial s'anomena període de creixement. Després de la planificació inicial del projecte entregada al pla de treball es va passar a la construcció dels objectes pel següent ordre:

1. Codi de control del node: es va comprovar el correcte funcionament del codi de control modificant-lo i comprovant que els LED que s'encenien eren els correctes.

2. Comunicació mota a mota i comunicació mota-PC: un cop implementat el codi de comunicacions al node de la xarxa i instal·lada a l'altre mota l'aplicació BaseStation, es va utilitzar l'aplicació de lectura de missatges de TinyOS per comprovar que arribaven al PC i que els valors eren correctes.

   Pel codi de les motes es va emprar el llenguatge nesC sobre el sistema operatiu TinyOS.

3. La consola de l'usuari es va implementar en Java. Es va desenvolupar de manera progressiva, revisant el funcionament després de cada passa:

   – Mostrar les dades rebudes des de la mota.

   – Enviar les consignes des de la consola.

   – Modificacions per a permetre gestionar varies motes.

   – Transformació de les dades rebudes en valors de temperatura en graus centígrads i lluminositat en lux.

1.4. Planificació del projecte

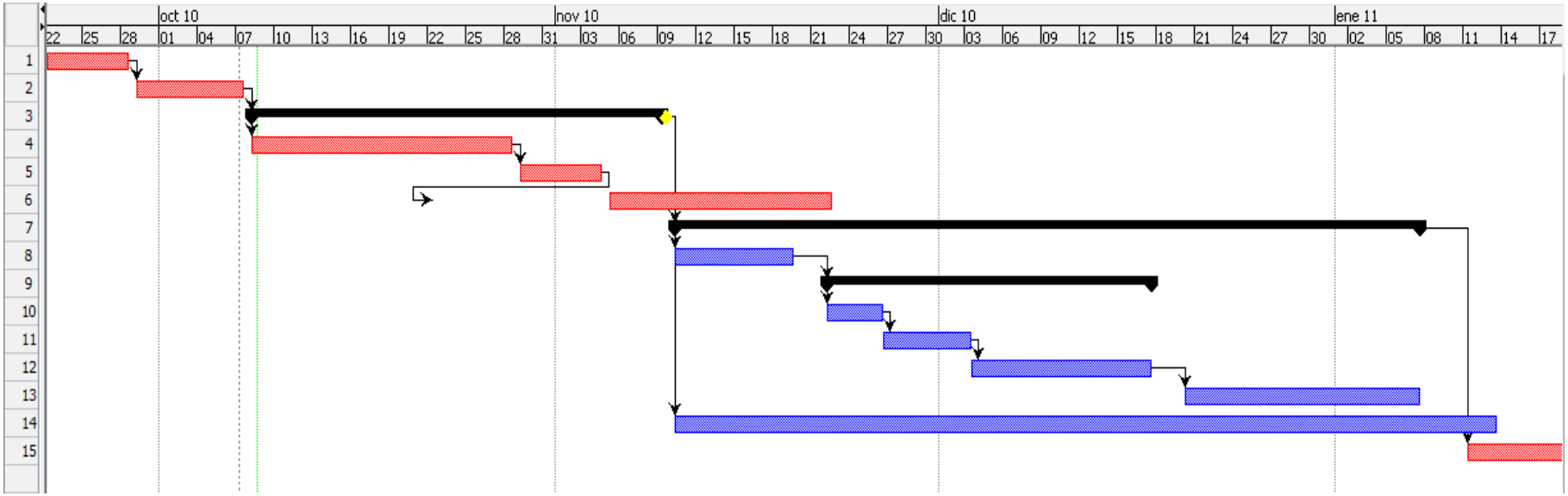
Per dur a terme la planificació vaig emprar el programa OpenProj, un programa de gestió de projectes que disposa de una versió gratuïta. A partir de la informació de les tasques a dur a terme permet generar un diagrama de Gannt.

1.4.1. Llista de tasques

		Nombre	Duración	Inicio	Terminado	Predecesores
1		Proposta TFC	5 days	22/09/10 8:00	28/09/10 17:00	
2		Pla de treball (PAC 1)	7 days	29/09/10 8:00	7/10/10 17:00	1
3		**Primera entrega del codi (PAC 2)**	**22,125 days?**	**8/10/10 8:00**	**9/11/10 9:00**	**2**
4		Estudi de documentació i tutorials	15 days	8/10/10 8:00	28/10/10 17:00	2
5		Codificació dels sensors	5 days?	29/10/10 8:00	4/11/10 17:00	4
6		Codificador del controlador (valors fixats) i actuadors	12 days?	22/10/10 9:00	9/11/10 9:00	5
7		**Segona entrega del codi (PAC 3)**	**42,875 days?**	**10/11/10 9:00**	**7/01/11 17:00**	**3**
8		Implementació de la consola	7,875 days?	10/11/10 9:00	19/11/10 17:00	6
9		**Implementació de les comunicacions**	**20 days?**	**22/11/10 8:00**	**17/12/10 17:00**	**8**
10		Comunicació mota-PC	4,875 days?	22/11/10 8:00	26/11/10 16:00	8
11		Comunicació PC-mota	4,875 days?	26/11/10 16:00	3/12/10 15:00	10
12		Comunicació mota-mota	10,25 days?	3/12/10 15:00	17/12/10 17:00	11
13		Implementació definitiva i proves	15 days?	20/12/10 8:00	7/01/11 17:00	12
14		Redacció de la memòria	46,875 days	10/11/10 9:00	13/01/11 17:00	3
15		Redacció de la Presentació	6,875 days	11/01/11 9:00	19/01/11 17:00	7

Il·lustració 3: Llista de tasques

1.4.2. Cronograma



Il·lustració 4: Diagrama de Gannt

1.4.3. Problemes i causes de retard respecte a la planificació

Tal i com indica la planificació, es van fer dues entregues de codi: una parcial i la del codi complet.

A la primera entrega, es va entregar el codi que implementava els sistemes de control i l'enviament de la informació al PC. Encara que es va entregar complet, el sistema de control de presència no acabava de inicialitzar-se correctament. Això era degut a que es duia a terme la activació del sensor d'efecte Hall sense esperar a que el dispositiu estigués totalment encès (start-up time), de manera que no es detectaven correctament les interrupcions.

En el desenvolupament d'aquesta part del codi, els principals retards respecte a la planificació van esser deguts a problemes amb les comunicacions durant la execució dels tutorials de comunicacions: primer amb el de comunicacions per ràdio, ja que no havia identificat les antenes com a tals, i per tant no les havia connectat a les motes, i després amb les comunicacions en sèrie, ja que les motes no rebien els missatges que el PC enviava des del port sèrie a l'aplicació TestSerial. El problema de comunicació sèrie era degut a un problema de configuració al codi de TinyOS per a les motes COU900, i es va corregir gracies a una actualització emesa pels professors que permetia la comunicació sèrie a 19200 bauds.

A la segona entrega es va fer entrega del codi complet, amb excepció de l'històric de dades rebudes, que no es va poder implementar.

L'únic problema que es donava ocasionalment era que la mota no rebia per ràdio els missatges per a l'actualització de consignes enviats des de la consola d'usuari, però tot apunta a que es tracta d'un problema a la mota base, que de vegades es queda “bloquejada” quan reenvia els missatges rebuts pel port sèrie cap a la ràdio.

També cal mencionar que, encara que el codi de la consola està desenvolupat per a gestionar varies motes remotes, no ha estat possible comprovar-ne el funcionament ja que només es disposa de dues motes i una ha de estar connectada al PC amb l'aplicació BaseStation.

Aquest cop els retards van ser deguts principalment a la dificultat -en aquell moment- a l'hora de plantejar com havia de funcionar la consola d'usuari. Després de revisar i entendre el funcionament de altres aplicacions d'exemple va ser molt més fàcil.

Respecte als problemes, la majoria van ser deguts a la manca de pràctica a l'hora de utilitzar les llibreries de Java Swing per a implementar la part gràfica, la conversió de les lectures de l'ADC -especialment les de lluminositat, i la gestió de vàries motes remotes.

1.5. Productes obtinguts

La realització d'aquest treball ha donat lloc a dos productes ben definits:

- Una aplicació implementada en NesC i instal·lada a una de les motes, que gestiona el funcionament de la mota com a sistema de control de l'habitació.

- Una aplicació implementada en Java i instal·lada al PC, que permet a l'usuari visualitzar la informació rebuda de les motes en temps real, i establir les consignes dels sistemes de control de temperatura i lluminositat segons les seves preferències, i independentment per a cada mota.

1.6. Descripció dels altres capítols

A continuació s'explica breument el contingut dels següents capítols de la memòria:

Al capítol 2, es descriu la situació actual dels sistemes de xarxes sense fils aplicats a la domòtica, i les característiques dels productes similars que es poden trobar actualment en el mercat.

Al capítol 3 s'explica el desenvolupament de l'aplicació, primer a nivell de blocs i després cada bloc en detall, es mostren els punts forts i febles de l'aplicació i es proposen possibles millores.

Al capítol 4 es fa una estimació econòmica del que suposa la implementació de la proposta.

Al capítol 5 es presenten les conclusions a les que s'ha arribat un cop finalitzat aquest treball.

Als annexos s'explica la forma en que es fa la conversió dels valors de les lectures de l'ADC a les unitats físiques escaients.

2. Antecedents

Les xarxes de sensors es van començar a utilitzar a EEUU durant la guerra freda, i s'utilitzaven quasi exclusivament per a aplicacions militars.

A finals del segle XX, l'evolució de la informàtica i les comunicacions va permetre l'aparició de dispositius de baix cost i consum que es podien intercomunicar de manera inal·làmbrica. Aquestes característiques van fer possible plantejar noves aplicacions de les xarxes de sensors a nivell acadèmic, domèstic i industrial.

Avui en dia es considera una tecnologia clau, amb un gran potencial de creixement. Entre d'altres, cal destacar les seves aportacions en camps com l'ecologia, la gestió energètica i fins i tot la medicina. Per citar alguns exemples:

- Detecció primerenca d'incendis forestals
- Sistemes d'alerta de desastres
- Monitorització de boscos tropicals
- Estudi de l'eficiència energètica de noves construccions
- CodeBlue: monitorització inal·làmbrica de pacients, tant a l'hospital com al domicili...

2.1. Estat de l’art

Encara que l'ús de dispositius inal·làmbrics no està molt estès per als sistemes de control i automatització d'edificis, hi ha un gran nombre de multinacionals que inclouen aquests dispositius entre els seus productes, com ara la gama “Synco Living” de Siemens o el catàleg de radiofreqüència de Schneider. L'inconvenient dels productes que ofereixen es que calen dispositius diferents per a cada sistema de control.

Existeixen també petites companyies especialitzades en sistemes de control ambiental dins l'àmbit de l'hosteleria que ofereixen control de temperatura, lluminositat i ocupació, i fins i tot amb funcionalitats afegides com ara Aditel, que en la seva gama “Karno Longworks” ofereix el dispositiu d'habitació RS-LCD que també permet controlar les finestres, però no és inal·làmbric.

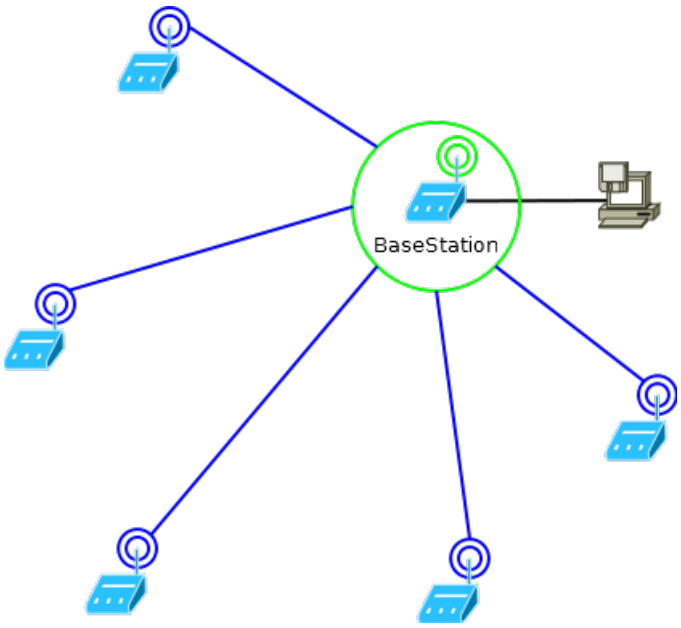
Finalment, cal destacar la companyia Millenial Net, dedicada a la implementació de xarxes de sensors inal·làmbrics per al control d'habitacions d'hotel. El seu sistema de control, anomenat MeshScape, actualment en la versió 5, utilitza motes inal·làmbriques que integren els sistemes de control, sensors i actuadors.

3. Desenvolupament de l'aplicació

3.1. Descripció funcional

3.1.1. Estructura de la xarxa de sensors

Els sensors inal·làmbrics de la nostra aplicació conformen una xarxa amb topologia d'estrella, on tots ells es mantenen en contact amb un dispositiu central anomenat BaseStation, que connecta la xarxa amb el PC que conté la consola d'usuari.



Il·lustració 5: Esquema de la xarxa de sensors

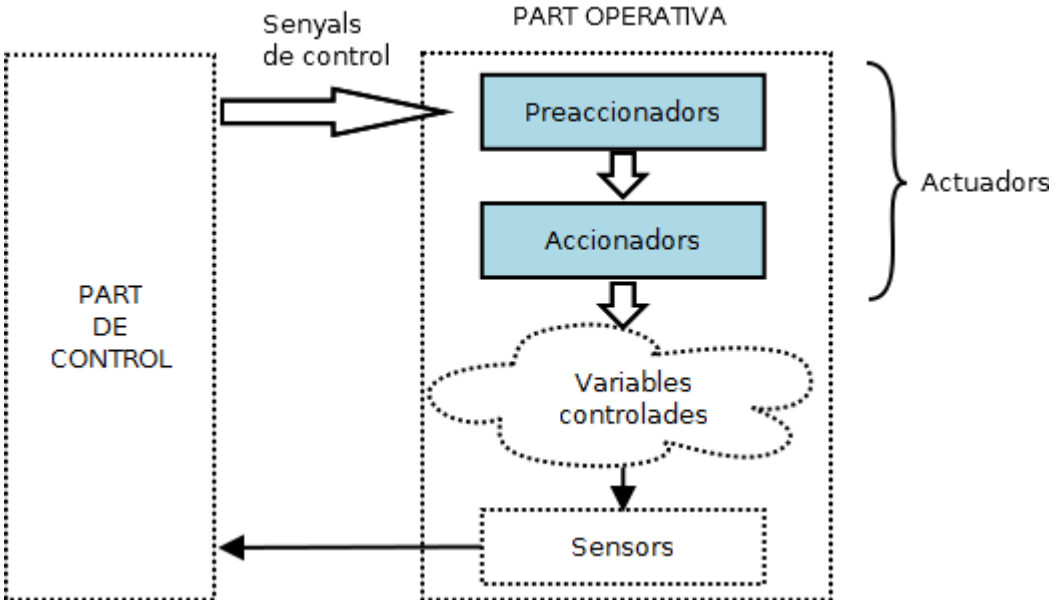
Així, anomenarem “motes remotes” a les que conformen la xarxa, i “mota base” al dispositiu central que permet la comunicació amb la consola d'usuari.

Cada mota remota tendrà un identificador únic, que inclourà a tots els missatges de lectures que envii per a que la consola els identifiqui com a seus. També caldrà incloure'l als missatges per a la modificació de les consignes enviats per la consola.

Així, la BaseStation estirà connectada al punt de control, que pot estar ubicat a qualsevol espai comú al que puguin accedir tots els usuaris. Les motes remotes s'instal·laran una a cadascun dels distints habitacles per a permetre'n el control.

3.1.2. Instal·lació dels dispositius de la xarxa

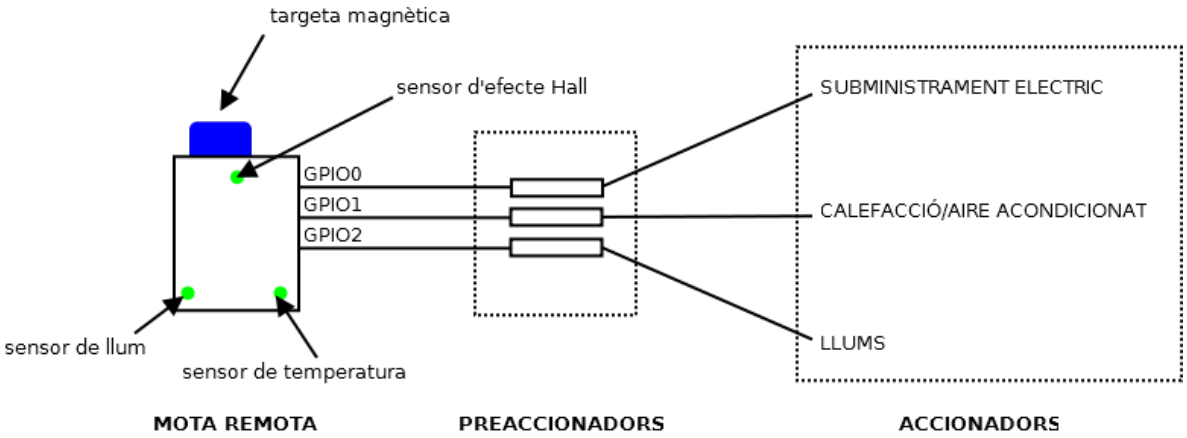
Per a dur a terme una instal·lació real del sistema proposat, els LED dels nodes instal·lats són substituts pels actuadors. A les instal·lacions de control els actuadors solen estar compostes per dos tipus de dispositius diferents: els preaccionadors i els accionadors.



Il·lustració 6: Part operativa d'un sistema de control

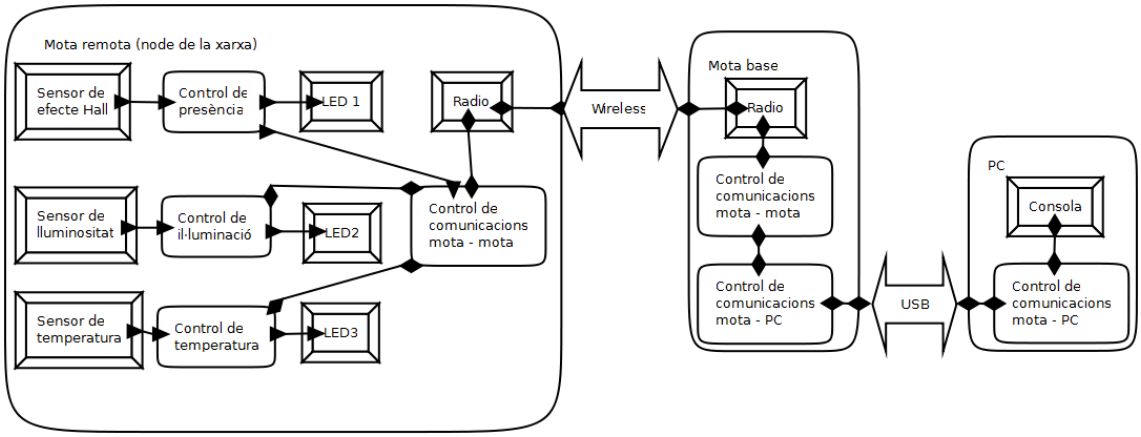
Els accionadors s'encarreguen de aportar la energia necessària per a modificar el valor de la magnitud física a controlar: aire acondicionat, calefacció, llums, ... Però normalment les senyals de control no tenen prou potència per a posar-los en funcionament.

Per a resoldre aquest problema, existeixen uns dispositius anomenats “preaccionadors”, que permeten l'amplificació i/o conversió de la senyal de control emesa pel controlador, com ara els diferents tipus de relés o els contactors. Així la senyal de control es fa prou potent com per actuar com a “interruptor” dels diferents dispositius.



Il·lustració 7: Esquema d'instal·lació de una mota remota

3.1.3. Diagrama de blocs de l'aplicació



Il·lustració 8: Diagrama de blocs de l'aplicació

Aquesta és una representació del sistema emprant AADL. Serveix per mostrar tant la part hardware com software del sistema: els dispositius en contacte amb l'entorn es representen mitjançant requadres emmarcats, mentre les aplicacions pels diferents controls van dins requadres de cantonades arrodonides.

Com es pot veure, tenim tres dispositius amb tres aplicacions diferents:

- Mota remota: implementa els sistemes de control per a cada sensor i el corresponent LED, i el sistema de comunicacions mota-mota, que permet rebre i enviar informació per radio.

- Mota base: l'aplicació instal·lada s'anomena BaseStation, i no va ser necessari implementar-la ja que es tracta d'una aplicació disponible de TinyOS. Envia pel port sèrie els missatges que rep per ràdio, i viceversa.

- PC: implementa la consola gràfica de l'usuari i el sistema de comunicacions que permet rebre i enviar informació pel port USB.

Vaig elegir aquesta implementació perquè em va semblar la manera més senzilla, neta i clara de dur a terme el treball aprofitant els mitjans disponibles.

3.2. Descripció detallada

3.2.1. Aplicació del node de xarxa

Aquesta aplicació està implementada en NesC als arxius de configuració SensorAppC i HallEffectC, i els seus corresponents mòduls d'implementació SensorC i HallEffectP. El arxiu de configuració que conté tots els components és SensorAppC. Els fitxers ConsignaMsgs.h i SensorsMsgs.h defineixen l'estructura dels missatges que contenen les dades llegides per la mota i els nous valors de consigna enviats per la consola.

HallEffectC

Du a terme el cablejat amb els següents components:

- el seu mòdul d'implementació HallEffectP,
- els temporitzadors: un per a donar temps per a la inicialització i l'altre per activar el sensor,
- MainC, per poder accedir a la secció d'arrancada, on es configura el pin del sensor,
- el bit 7 del port E (HallPinIn) i la interrupció 7 (HallPinInterrupt) del microcontrolador, permetent que el pin actuï com una font d'interrupcions externes,
- i el bit 3 del port E (PowerSensor), que és la entrada negativa d'un comparador analògic, permetent usar-lo per a que generi interrupcions segons els tipus de flancs.

HallEffectP

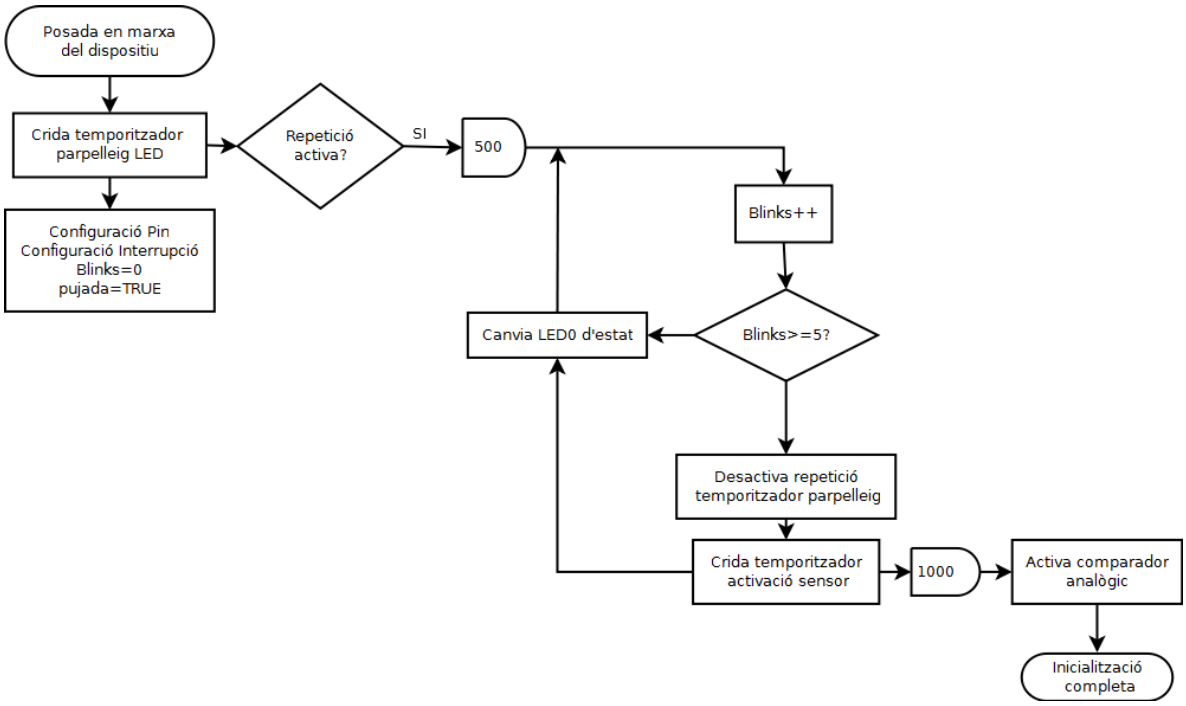
Conté la implementació de la lectura del sensor d'efecte Hall, i el seu sistema de control. Conté la resposta a quatre events: la posada en marxa del dispositiu Boot.booted(), el senyal dels temporitzadors d'inici de parpelleig TimerBlinkInici.fired() i del sensor TimerIniciSensor.fired(), i la resposta a la interrupció per flanc HallPinInterrupt.fired().

Boot.booted() activa el temporitzador TimerBlinkInici i inicialitza el pin com a interrupció per flanc de pujada.

TimerBlinkInici.fired() fa parpellejar cinc cops el LED 0, després atura el seu propi temporitzador i activa l'altre.

TimerIniciSensor.fired() activa el component PowerSensor, de manera que a partir d'aquest moment podran detectar-se els flancs de les interrupcions. El temps transcorregut entre la posada en marxa de la mota i aquest event serveix per permetre que el microcontrolador acabi de posar-se en marxa i pugui detectar els flancs de pujada (startup time).

HallPinInterrupt.fired() fa que canviïn l'estat del LED i el tipus de flanc que genera la interrupció. És a dir: quan es detecti un camp magnètic (interrupció per flanc de pujada) s'encendrà el LED, i la interrupció passarà a ser per flanc de baixada. Quan deixi de detectar-se el camp (interrupció per flanc de baixada), el LED s'apagarà i la interrupció tornarà a ser per flanc de pujada.



Il·lustració 9: Diagrama de flux de la inicialització del sensor d'efecte Hall

SensorAppC

Du a terme el cablejat de tots els components del sistema:

- el seu mòdul d'implementació SensorC,
- la configuració de la part relacionada amb el sensor d'efecte Hall, HallEffectC,
- MainC, per poder dur a terme les inicialitzacions que corresponguin,
- LedsC, per a que els sistemes de control restant puguin gestionar-los,
- els temporitzadors, un per dur a terme les lectures periòdicament, i l'altre per donar temps als sensors de que s'estabilitzin un cop engegats,
- amb els components per a gestionar l'ADC: el lector de dades, el conversor i el control de sincronisme per strobe del bit 1 del port G,
- les interfícies d'enviament i recepció de missatgeria per ràdio, així com la gestió de la seva alimentació (powerSerie).

SensorC

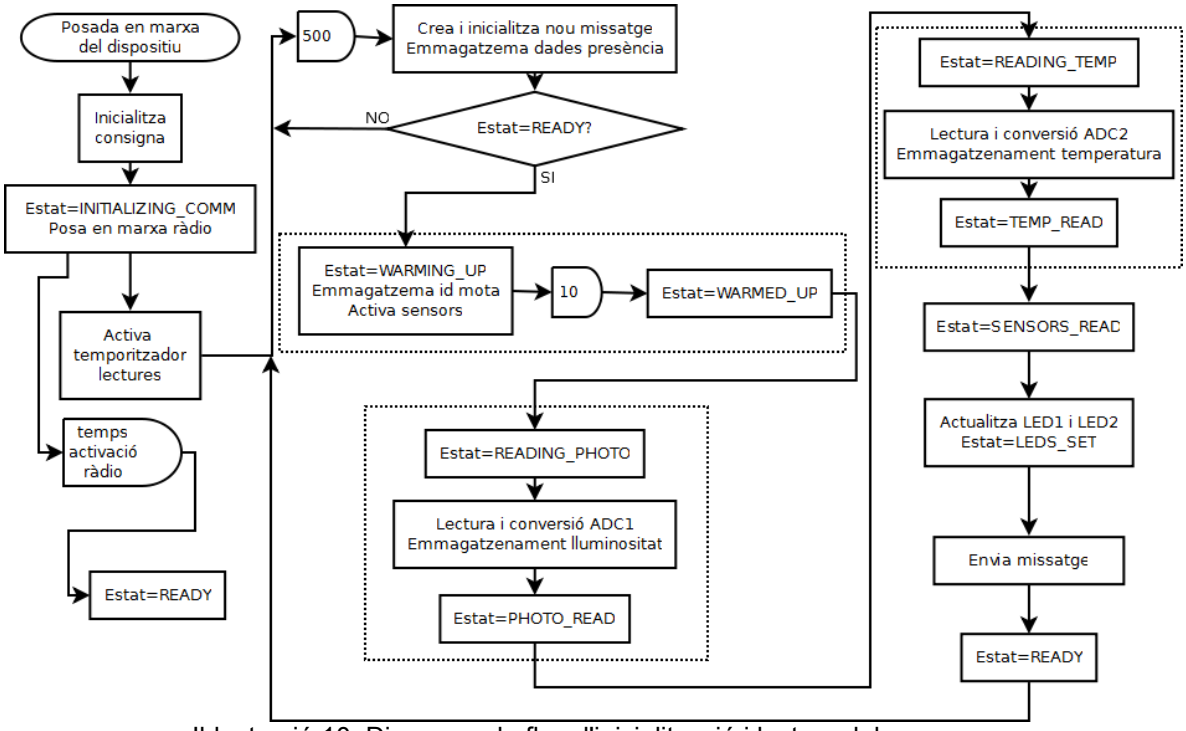
Implementa els sistemes de control dels sensors que es troben a l'ADC, el sistema de comunicacions i el control de l'alimentació de la radio, a partir de tres events fonamentals: la posada en marxa del dispositiu, Boot.booted(), el senyal del temporitzador per a dur a terme una lectura, TimerLectura.fired(), i l'arribada d'un missatge de consigna, Receive.receive():

Boot.booted() inicialitza els valors de consigna de la mota i de l'estat de l'ADC, i posa en funcionament la ràdio i el temporitzador de lectura.

TimerLectura.fired() crea una estructura de tipus SensorsMsg, que conté les dades de les lectures que s'envien cap al PC, i emmagatzema les dades de presència, comprovant si el LED 0 està encès o no. Llavors comença la lectura de les dades, duta a terme per la funció seguentPas(), la qual recorre ordenadament una serie d'estats de l'ADC. La funció esta implementada de manera que per a cada estat les instruccions que corresponguin es realitzen de manera atòmica (sincronitzadament i sense interrupcions per a executar altre codi).

Així, un cop la ràdio està encesa i l'ADC estabilitzat, es continua amb els següents processos: lectura i emmagatzemament de les dades dels sensors, actualització dels estats dels LED després de comparar els valors llegits amb les consignes, i enviament de la informació per ràdio.

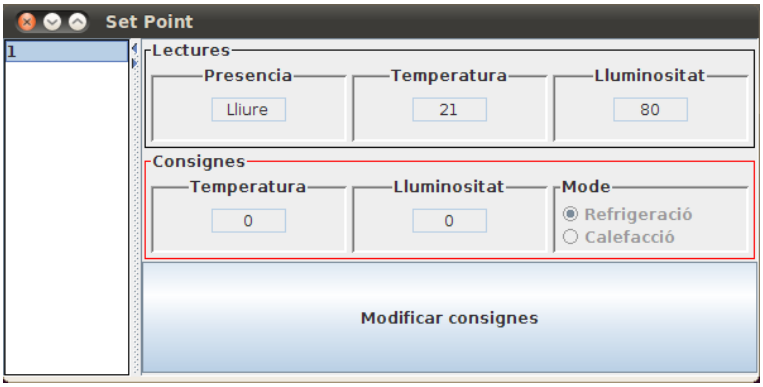
Receive.receive() gestiona la recepció dels missatges de tipus ConsignaMsg per ràdio. Primer comprova si el missatge està destinat a la mota, i si és així actualitza els seus valors de consigna.



Il·lustració 10: Diagrama de flux d'inicialització i lectura dels sensors

3.2.2. Consola de l'usuari

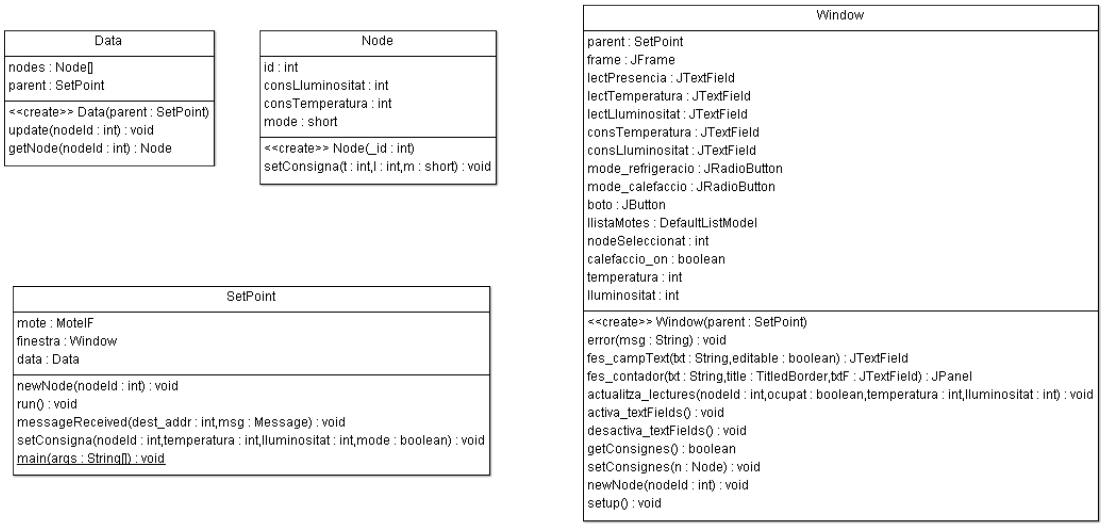
L'usuari pot accedir a la informació enviada per les motes i modificar les seves consignes mitjançant una interfície gràfica desenvolupada en Java, que consisteix en una finestra dividida en dues parts. Al costat esquerre mostra una llista de les motes detectades. Quan es selecciona una de les motes, al costat dret es mostren els valors de les lectures en temps real i els valors actuals de les consignes. El botó inferior permet modificar les consignes i enviar-les a la mota corresponent.



Il·lustració 11: Consola d'usuari

Els valors de temperatura i lluminositat es mostren en graus centígrads i lux, respectivament.

La funcionalitat de l'aplicació està implementada a la classe SetPoint, que utilitza els mètodes de les altres tres per gestionar la informació i mostrar-la per la interfície gràfica.



Il·lustració 12: Classes emprades a la consola d'usuari

A més a més de les classes mostrades a la il·lustració anterior, SetPoint utilitza les classes SensorsMsgs.java i ConsignaMsgs.java, generades automàticament per l'aplicació “mig” a partir de les descripcions de les estructures dels missatges.

A continuació es descriu la funcionalitat de les classes implementades:

Node

Aquesta classe conté la informació sobre la consigna d'una mota i proveeix de mètodes per a la seva modificació.

Data

Bàsicament és un array de nodes que representa les motes que envien missatges a l'aplicació. Cal destacar-ne el mètode update (nodeId), que a partir de l'identificador de la mota comprova si ja està dins l'array. En cas contrari, duu a terme totes les modificacions necessàries per afegir-la, i inicialitza els valors de la seva consigna.

Window

Gestiona la interfície gràfica de l'usuari. Encara que rep tota la informació de les lectures, només mostra les que corresponen a la mota seleccionada (variable nodeSeleccionat). També utilitza els mètodes de les classes Data i Node per a recuperar els valors de les consignes cada cop que es selecciona un node diferent. En cas de que l'usuari modifiqui els valors de les consignes, crida el mètode setConsigna de la classe SetPoint per a que s'encarregui d'actualitzar les dades i enviar el missatge corresponent a la mota.

SetPoint

Es la classe principal de la consola de l'usuari, on s'implementa la seva funcionalitat bàsica com a receptor i emissor de missatges.

A l'inici de la seva execució, crea l'estructura de dades que contendrà la informació dels nodes, obre la finestra gràfica, i posa en marxa la funcionalitat per a rebre els missatges.

A partir d'aquest moment, cada cop que es rep un missatge s'utilitza el mètode update(nodeId) de la classe Data per a saber si prové d'una mota registrada. En cas contrari, el mètode newNode(nodeId) crida al mètode corresponent de la classe Window per a que afegeixi el node a la llista de selecció. Després converteix els valors de les dades de temperatura i lluminositat i crida a la funció d'actualització de lectures de la classe Window per a que els mostri per pantalla si corresponen al node seleccionat per l'usuari.

El mètode setConsigna es crida des de la interfície gràfica. Actualitza les dades de la consigna a l'estructura de dades, realitza la conversió inversa (de graus centígrads i lux a counts) i envia la informació al node corresponent.

3.3. Desenvolupaments futurs

Les aplicacions desenvolupades en aquest treball compleixen els objectius marcats inicialment excepte el d'enregistrar les dades rebudes per poder mostrar-ne un històric. En lloc d'això, s'ha fet que la interfície gràfica mostri les dades rebudes en temps real, i s'ha implementat de manera que permet la gestió de varies motes.

L'aplicació de la mota es podria millorar separant el control de temperatura i il·luminació del de comunicacions en mòduls diferents. Així s'aconseguiria que el codi fos més llegible i facilitaria el manteniment i la implementació de noves funcionalitats.

Tenint en compte les possibilitats que ofereixen les motes, hi ha un gran nombre de funcionalitats que es podrien afegir per a aprofitar-les al màxim, com ara:

- Enviament d'avisos de bateria baixa.
- Fer que la mota només envii les lectures quan l'habitació estigui ocupada.
- Afegir un nou mode de climatització que mantengui la temperatura dins de un rang determinat.
- Fer que la mota només s'encengui quan rebi un missatge de la consola sol·licitant dades o amb nous valors per a la consigna.

4. Valoració econòmica

A continuació durem a terme una petita estimació econòmica del que suposaria la implementació de la proposta d'aquest treball.

Suposarem que volem instal·lar el nostre sistema domòtic a un edifici que consta de deu sales d'assaig.

Com que tota la instal·lació es inal·làmbrica, el cost material és el dels onze dispositius: deu nodes remots i un node base, i el del PC on es troba instal·lada la consola de l'usuari. No es considera el preu dels preaccionadors.

Concepte	Cost unitari (€)	Unitats	Cost total (€)
Fabricació de les plaques (doble capa, FB-4)	7	11	77
Transport	-	-	16
Mòduls ZigBit 900 (ATZB-900-B0)	24	11	264
Memòria Flash	1	11	12
Components sensors	3	10	30
Altres components motes			15
Total motes			**414**
PC per a consola d'usuari	300	1	300
Total			**714**

Fonts:

- Fabricació de les plaques:
  - EuroCircuits http://www.eurocircuits.com/
- Components:
  - Mouser Electronics: http://es.mouser.com
  - Micropik: http://www.micropik.com
  - DigiKey: http://www.digikey.es/

5. Conclusions

5.1. Aportació del treball

Les principals aportacions d'aquest treball són les següents:

En primer lloc, es tracta d'un sistema domòtic de baix cost. Això és degut, per una part, al baix preu dels dispositius que conformen les xarxes. Per l'altra banda, la instal·lació resulta molt més fàcil i ràpida ja que els dispositius poden comunicar-se inal·làmbricament, permetent estalviar el temps i el cost econòmic que suposa la instal·lació de un nou cablejat.

En segon lloc, compleix amb les exigències actuals d'eficiència energètica. No només s'utilitzen dispositius de baix consum, si no que la mera automatització dels sistemes d'aire acondicionat, calefacció i ventilació (HVAC) i d'il·luminació dels edificis permeten un estalvi d'entre un 15 i un 30% dels costos energètics.

Finalment, millora el confort de l'usuari. El sistema permet que l'usuari elegeixi de manera remota les condicions de temperatura i lluminositat que prefereixi, i les manté de manera automàtica.

5.2. Compliment dels objectius

La majoria dels objectius que havia de complir el node de xarxa (la mota remota) es duen a terme durant el procés que inicia el temporitzador repetitiu TimerLectura de l'aplicació SensorC.nc, representat pel diagrama de flux de la pàgina 18. Els objectius són els següents :

(1) Lectura i mostreig, en cas de que sigui necessari, de les dades obtingudes pels sensors.

(2) Decidir les mesures a prendre per la mota depenent de la informació dels sensors i les consignes.

(3) Mostrar les decisions preses amb els LEDs.

(4) (a) Comunicació mota a PC: la mota informarà periòdicament al PC de les lectures dels sensors.

La resta dels objectius havien de complir-se a la implementació de la consola d'usuari, i el seu funcionament es pot veure a la classe principal SetPoint, que s'encarrega de l'enviament i recepció dels missatges. Són els següents:

(4) (b) PC a mota: la aplicació comunicarà a la mota corresponent cada canvi de consignes .

(5) (a) Mostrar i enregistrar la informació que es rep de la mota

(5) (b) Modificar i enviar consignes específiques per a cada mota

Desgraciadament, el punt (5)(a) no es compleix completament ja que encara que es mostra la informació que es rep de la mota, dita informació no s'enregistra a cap estructura de dades. Això es degut a que es va considerar prioritari fer que la consola d'usuari permetés la gestió de vàries motes remotes enlloc de només una, cosa que hauria fet perdre sentit al concepte de “xarxes de sensors”.

5.3. Altres conclusions

La realització d'aquest treball ha suposat per a mi el primer contacte amb la tecnologia de les xarxes de sensors inal·làmbriques, i ha resultat francament fascinant. Es tracta d'un camp relativament recent, amb un gran potencial d'aplicació. Encara que les xarxes de sensors s'utilitzen des de fa bastant, el fet de disposar de nodes inal·làmbrics de baix cost fa augmentar de manera espectacular el nombre d'aplicacions possibles.

Sempre he tingut un gran interès per la ciència, especialment per la meteorologia, i abans de començar a la UOC havia fet dos cursos de la llicenciatura de física. Des del meu punt de vista, les xarxes de sensors inal·làmbrics suposen una nova eina per a la recerca científica especialment en disciplines relacionades amb el medi ambient, com ara la meteorologia o la ecologia. Es tracten sistemes no lineals, on les mesures varien moltíssim depenent de la ubicació dels sensors, aquesta tecnologia permet millorar els models que s'utilitzen per preveure el comportament dels sistemes amb un cost molt més reduït.

Per un altra part, aprendre a programar sobre un sistema operatiu orientat a events també ha resultat una novetat, i encara que al principi va costar una mica, tant els tutorials com el codi disponible van fer que la transició fos molt més fàcil del previst. A mesura que anava comprenent el funcionament de la mota i del seu processador, era conscient de noves funcionalitats que al principi ni se m'havien acudit.

En resum, el que m'ha semblat més interessant de aquest projecte ha estat descobrir no només el potencial d'aplicació de les xarxes de sensors inal·làmbriques, si no també la versatilitat dels dispositius que les conformen.

Glossari

AADL: Architecture Analysis and Design Language. Estàndard industrial internacional per a la representació de models de sistemes en temps real i encastats.

ADC: Analog-to-Digital Converter. Dispositiu que transforma un valor continuu en un numero discret.

NesC: llenguatge de programació per a aplicacions estructurades basades en components, és a dir, sistemes encastats. La seva sintaxi és similar al C i suporta el model de concurrència del sistema operatiu TinyOS.

REBT: Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión. Conjunt de normes per a la instal·lació interior elèctrica i la xarxa de control del sistema domòtic.

RITE: Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios. Conjunt de normes de obligatori compliment per a les instal·lacions de calefacció, climatització i aigua calenta sanitària, aplicable tant a les obres de nova construcció com a les reformes que es duguin a terme.

TinyOS: sistema operatiu de codi obert, dissenyat per a dispositius inal·làmbrics de baix consum.

Bibliografia

Documents electrònics

Actuadores para Domótica e Inmótica, Automatización Integral de Edificios, EPS Ingeniería de Gijón.

http://isa.uniovi.es/docencia/AutomEdificios/transparencias/actuadores.pdf

BAHAREH GHOLAMZADEH, HOOMAN NABOVATI: Concepts for Designing Low Power Wireless Sensor Network, Word Academy of Science, Engineering and Technology Journal, vol. 45, pàgs 559-565

http://www.waset.org/journals/waset/v45/v45-99.pdf

CHEE-YEE CHONG, SRIKANTA P. KUMAR: Sensor Networks: Evolution, Opportunities, and Challenges, PROCEEDINGS OF THE IEEE, VOL. 91, NO. 8, AUGUST 2003

http://diec.unizar.es/asignaturas/defaultWebs/11964/Materiales%20auxiliares%20A4.pdf

Ciclos de vida orientados a objetos: Modelo fuente, Guia didáctica de la asignatura: Análisis, Diseño y Mantenimiento de Software, UNED

http://www.ia.uned.es/ia/asignaturas/adms/GuiaDidADMS/node10.html#SECTION00333000000000000000

JOHN J. HUDAK, PETER H. FEILER: Developing AADL Models for Control Systems: A Practitioner's Guide, Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University, Juliol 2007.

http://www.sei.cmu.edu/reports/07tr014.pdf

Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE), Boletín Oficial del Estado, núm. 207, secció 1, pàg. 35931-35984, 29 d'Agost de 2007.

http://www.boe.es/boe/dias/2007/08/29/pdfs/A35931-35984.pdf

Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT), Boletín Oficial del Estado, núm. 224, pàg. 33084-33087, 18 de Septembre de 2002.

http://www.ffii.nova.es/puntoinfomcyt/Archivos/Dis_4436.pdf

Planes web de referència

Aditel RS-LCD: http://www.aditel-sistemas.com/productos/producto.asp?id=16&q=RS-LCD

Arcitec (UPC) – Xarxes de motes: http://arcitec.blog.upc.edu/?p=865

Asociación Española de Domótica (CEDOM): http://www.cedom.es/index.php

Casa Domo - El portal del edificio y el hogar digital: http://www.casadomo.com/

Efiner: http://www.efiner.com/ahorro_energetico.html#automatizacion

Millenial Net: http://www.millennialnet.com/

OpenProj: http://openproj.org/

Schneider: http://www.schneiderelectric.es

Siemens, Synco Living: http://www.simelec.es/es/productos/domotica

TinyOS: http://www.tinyos.net

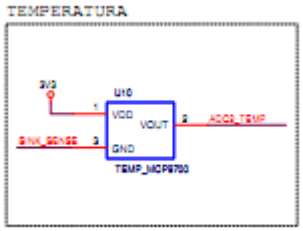
Annexos

1. Transformació de les dades dels sensors

Per dur a terme les lectures dels sensors de temperatura i lluminositat s'utilitza l'ADC del microprocessador, que utilitza un voltatge de referència V_{REF} de 2,56 V per a la quantificació i 10 bits per a la codificació. A partir dels counts que ens dona l'ADC com a sortida, podem obtenir el la tensió del sensor $V_{adc}=\frac{counts \cdot V_{ref}}{2^{10}}$, i si simplifiquem ens queda $V_{adc}(mV)=2{,}5 \cdot counts$.

Ara només cal comprovar la forma en que està connectat cada sensor i el seu full d'especificacions per tal de obtenir les magnituds que ens interessen.

1.1. Sensor de temperatura



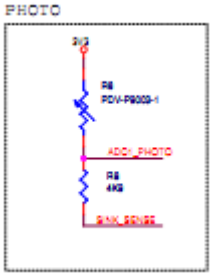
Il·lustració 13: Circuit del sensor de temperatura

Per a mesurar la temperatura utilitzem el MCP9700A, un termistor lineal de baix consum. Com podem veure, la seva sortida està connectada directament a l'ADC, de manera que la tensió que s'obté es pot emprar directament.

D'acord amb el full d'especificacions del termistor, veiem que té una precisió de ± 2 ºC, dins un rang que va de 0 a 70 ºC. La seva funció de transferència, $V_{OUT}=T_C \cdot T_A + V_{0ºC}$, depèn de la tensió de sortida a 0 ºC ($V_{0ºC}$=500 mV) i del coeficient de temperatura (T_c=10 mV/ºC). Així podem obtenir la temperatura a partir de la tensió de sortida:

$$Temp(ºC)=\frac{V_{OUT}(mV)-500(mV)}{10(mV/ºC)}$$

1.2. Sensor de lluminositat



Il·lustració 14: Circuit del sensor de lluminositat

Aquí cal tenir en compte vàries coses. Primer, que la tensió que es mesura no es la que cau al sensor, i segon, que el valor de tensió de l'alimentació pot tenir un error de entre 10% i un 15%, i també es mesura a través de l'ADC0:

$$V_{ADC1}=R8 \cdot \frac{V_{ADC0}}{R6+R8}$$, de manera que $$R6=R8 \cdot \left(\frac{counts_{ADC0}}{counts_{ADC1}}-1\right)$$

Del full d'especificacions sabem que per a 1 lux la resistència val 100K, i que disminueix a 0,85 ohms/lux, de manera que: $L=1+\frac{100K-R6}{0{,}85}(lux)$.

Però el fet de que la relació entre lluminositat i resistència sigui lineal permet simplificar molt les coses i estalviar-nos haver de mesurar la tensió de la bateria, mesurant el nombre màxim de counts. En aquest cas ha estat de 1023 counts, de manera que ens queda:

$$L=1+(1{,}023 \cdot counts)(lux)$$