



Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Red de sensores inalámbricos para el Canal del Bajo Guadalquivir: Planificación y Pruebas de viabilidad.

Autor: Manuel Jesús Cano Moreno

Tutor: Daniel Rodríguez Ramírez.

**Proyecto Fin de Carrera
Ingeniería de Telecomunicación**

Sevilla, julio de 2012

*A mis padres, por apoyarme siempre,
a mi mujer, por darme ilusión para seguir y
a mis amigos, por acompañarme en este largo camino.*

RESUMEN

En este proyecto se realiza la planificación de una red de sensores inalámbricos en el Canal del Bajo Guadalquivir como alternativa a la tecnología existente. En un primer lugar se realiza el estudio de planificación radioeléctrica con Radio Mobile. Tras esto, se diseña un protocolo simple de red que permita la monitorización de cualquiera de los nodos desde la Oficina Central y se programan los sensores con dos objetivos: por un lado verificar la funcionalidad de la red, el protocolo diseñado y la calidad de los radioenlaces implicados en la comunicación y, por otra parte, simular un escenario de monitorización con toma de medidas y envío mensajes de alarma. Igualmente se diseña la interfaz entre la red de sensores y el ordenador donde se monitorizan y almacenan los datos, Waspmonitor, programa diseñado *ad hoc* para la simulación y pruebas del presente proyecto.

Índice

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Estructura de la memoria.....	1
1.2. Motivación del proyecto.	2
CAPÍTULO 2. RADIOPROPAGACIÓN EN REDES DE SENSORES WIRELESS.	7
2.1. Modos de propagación.	7
2.1.1. LOS.....	7
2.1.2. NLOS.	9
2.2. El modelo de propagación Longley-Rice.	10
2.2.1. Modelos de propagación.....	10
2.2.2. Descripción del modelo.....	10
2.2.3. Limitaciones del modelo.	16
2.2.4. ¿Por qué Longley-Rice?	16
2.3. Antenas.	17
2.3.1. Directividad y ganancia de una antena.	18
2.3.2. Eficiencia de radiación.....	19
2.3.3. Patrón de radiación.	19
2.3.4. Polarización.	19
2.3.5. Alineación de las antenas.....	20
2.3.6. Altura efectiva.	21
2.3.7. Impedancia y ROE.....	21
2.3.8. Ancho de banda.	21
2.3.9. Antena de dipolo enfundado (Sleeve dipole).....	22
2.4. Balance de potencias y link margin.	24
2.4.1. PIRE.....	25
2.4.2. Pérdida de propagación.	26
2.4.3. Robustez del enlace.	28
2.5. Clutter radioeléctrico.	29
2.6. Interferencias.	29
CAPÍTULO 3. RADIO MOBILE.	31
3.1. Instalación de Radio Mobile.....	31
3.2. Configuración inicial.....	32

3.2.1. Acceso a servidores de Internet.....	32
3.2.2. Datos de elevación y clutter.....	33
3.3. Creación de un mapa.	35
3.3.1. Propiedades de imagen.....	36
3.4. Creación de una red.	38
3.4.1. Parámetros de Longley-Rice.....	39
3.4.2. Definición de sistemas radio.	40
3.4.3. Creación de unidades radio.....	41
3.4.4. Asociación de unidades a la red.	42
3.5. Guardar el proyecto.	42
3.6. Herramientas.....	43
3.6.1. Radio Link.	43
3.6.2. Radio Coverage.	44
3.7. Datos de información geográfica.	47
3.7.1. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).	48
3.7.2. Land Cover.....	49
CAPÍTULO 4. WASPMOTE 868 MHz.....	50
4.1. Hardware.....	50
4.1.1. Arquitectura modular.....	50
4.1.2. Especificaciones técnicas.	50
4.1.3. Diagrama de bloques.	52
4.1.4. Entrada/Salida.....	52
4.1.5. RTC.....	53
4.1.6. Acelerómetro.	54
4.1.7. Fuentes de alimentación.	54
4.1.8. Otros componentes.....	54
4.2. xBee 868.....	55
4.2.1. Parámetros de los nodos xBee 868.....	56
4.2.2. Modos de transmisión.....	56
4.2.3. Protocolo RF de Digi.	57
4.2.4. Duty cycle.	58
4.2.5. Modos de operación.	58
4.3. Sistema energético.....	60

4.4. Timers.....	61
4.4.1. Watchdog.....	61
4.4.2. RTC.....	61
4.5. Interrupciones.....	61
4.6. Wasmote Gateway.....	62
4.7. API de Wasmote.....	63
4.7.1. Estructura packetXBee.....	64
4.7.2. Carga máxima de una trama RF (Payload).....	65
CAPÍTULO 5. ESTUDIO DE PLANIFICACIÓN DE LA RED.....	66
5.1. Elección de la topología de red.....	66
5.2. Planificación de radioenlaces.....	68
5.2.1. Parámetros de configuración del simulador.....	69
5.2.2. Cálculo de los radioenlaces primarios.....	75
5.2.3. Cálculo de los radioenlaces secundarios.....	91
5.2.4. Diagramas de cobertura.....	102
5.2.5. Diagramas de la red.....	114
5.2.6. Conclusiones.....	115
5.3. Diseño alternativo.....	116
5.3.1. Resumen de radioenlaces primarios.....	116
5.3.2. Resumen de radioenlaces secundarios.....	117
5.3.3. Diagramas de red.....	118
5.3.4. Conclusiones.....	119
CAPÍTULO 6. DISEÑO DEL NIVEL DE RED Y PROGRAMACIÓN DE LOS WASPMOTES.....	120
6.1. Diseño del nivel de red.....	121
6.1.1. Elección del tipo de direccionamiento y encaminamiento.....	122
6.1.2. Algoritmo de encaminamiento.....	125
6.1.3. Tablas de encaminamiento.....	129
6.2. Programación de los Wasmotes.....	130
6.2.1. Mensajes enviados por los nodos.....	130
6.2.2. Programación de los nodos.....	134
CAPÍTULO 7. LA LIBRERÍA QT.....	136
7.1. El modelo de objetos Qt.....	137
7.1.1. Gestión simple de la memoria.....	137

7.1.2. Signals y slots.....	138
7.2. Las herramientas de Qt.	140
7.2.1. Variables de entorno.....	140
7.2.2. Qt Creator.....	141
7.2.3. Qmake.	141
7.2.4. UIC.	142
7.2.5. MOC.....	142
7.3. Clases de Qt.....	142
7.4. Librerías de enlazado dinámico necesarias para ejecutar una aplicación Qt.	143
7.5. Qwt.....	143
7.6. QextSerialPort.	144
CAPÍTULO 8. WASPMONITOR.	146
8.1. Descripción del programa.	146
8.1.1. Barra de herramientas.	147
8.1.2. Lista de nodos y radioenlaces.	148
8.1.3. Mapa del canal.	148
8.1.4. Ventana de log.	149
8.1.5. Barras de medida.	149
8.1.6. Históricos de medidas.	150
8.1.7. Paneles de alarma.	151
8.1.8. Configuración de Waspmonitor.	152
8.1.9. Cuadros de diálogo.....	153
8.1.10. Barra de Estado.	154
8.1.11. Ayuda de Waspmonitor.	154
8.2. Programación de Waspmonitor.	155
8.2.1. Diagrama de clases C++.....	155
8.2.2. Diagrama jerárquico de QObjects.	156
8.2.3. Función main.	158
8.2.4. Programación de la GUI.	159
8.2.5. Descripción del hilo de captura (hiloSniffer).....	165
8.2.6. Timers.....	168
CAPÍTULO 9. PRUEBAS Y CONCLUSIONES.	169
9.1. Prueba en los laboratorios de la ESI.....	169

9.2. Conclusiones.....	178
ANEXO 1. CÓDIGO FUENTE DE LOS WASPMOTES.....	179
A1.1. NODO 0041: Ctra. Utrera.....	179
A1.2. NODO 0042: C. Maribáñez.....	186
A1.3. NODO 0043: San Fernando.....	195
A1.4. NODO 0000: Oficina.....	203
A1.5. NODO 0044: Alcantarillas.....	210
ANEXO 2. CÓDIGO FUENTE DE WASPMONITOR.....	215
A2.1. Projects.....	215
Waspmonitor.pro.....	215
A2.2. Cabeceras.....	216
Configdialog.h.....	216
Graficobarrasnodo.h.....	216
Graficobarrasradio.h.....	216
Hilosniffer.h.....	217
Historico.h.....	218
Logger.h.....	218
Panelalarmasnodo.h.....	219
Panelalarmasradio.h.....	219
Showinfo.h.....	220
Showmonitor.h.....	220
Sleeper.h.....	223
Valuebar.h.....	223
Waspfilenames.h.....	224
Waspflags.h.....	224
Waspmonitor.h.....	224
A2.3. Código cpp.....	226
Configdialog.cpp.....	226
Graficobarrasnodo.cpp.....	227
Graficobarrasradio.cpp.....	228
Hilosniffer.cpp.....	229
Historico.cpp.....	231
Logger.cpp.....	232

Main.cpp.....	233
Panelalarmasnodo.cpp.....	233
Panelalarmasradio.cpp.....	235
Showinfo.cpp.....	235
Showmonitor.cpp.....	236
Sleeper.cpp.....	249
Valuebar.cpp	249
Waspfilenames.cpp	249
Waspflags.cpp	249
Waspmonitor.cpp.....	250
A2.4. Forms.	277
Configdialog.ui.....	277
Showinfo.ui.....	283
Showmonitor.ui.....	288
Waspmonitor.ui	292
REFERENCIAS.....	295

