



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA

DEPARTAMENTO DE TEORÍA DE LA SEÑAL
Y COMUNICACIONES

**Técnicas de Acceso y Gestión de Recursos para Garantizar
Calidad de Servicio en Sistemas de Comunicaciones
Móviles basados en CDMA**

Tesis Doctoral presentada en la
Universitat Politècnica de Catalunya
Autor: **Luis Gonzaga Alonso Zárte**
Director: **Dr. Ramón Agustí Comes**

Febrero 2001

ÍNDICE

1	CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN, MOTIVACIONES Y OBJETIVOS	11
1.1	INTRODUCCIÓN A LAS COMUNICACIONES MÓVILES	11
1.2	COMUNICACIONES MÓVILES DE TERCERA GENERACIÓN	12
1.2.1	<i>¿Por qué una nueva generación de móviles?</i>	<i>12</i>
1.2.2	<i>Proceso de estandarización de las comunicaciones móviles de tercera generación. La elección del interfaz aire.....</i>	<i>16</i>
1.2.2.1	WCDMA (Wideband CDMA).....	17
1.2.2.2	WTDMA (Wideband TDMA)	17
1.2.2.3	TDMA/CDMA.....	18
1.2.2.4	OFDMA	19
1.2.2.5	ODMA	19
1.2.2.6	El sistema seleccionado.....	20
1.2.3	<i>Evolución del interfaz aire. Nuevos requisitos para la tercera generación.....</i>	<i>21</i>
1.2.4	<i>Asignación de espectro.....</i>	<i>22</i>
1.2.5	<i>La evolución futura del estándar UMTS</i>	<i>23</i>
1.2.6	<i>Nuevos servicios y aplicaciones</i>	<i>23</i>
1.2.7	<i>Clases de servicio</i>	<i>24</i>
1.2.7.1	Clase conversacional.....	25
1.2.7.2	Clase <i>streaming</i>	25
1.2.7.3	Clase interactiva.....	25
1.2.7.4	Clase <i>Background</i>	26
1.3	MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS DE LA TESIS.....	26
1.4	CONTENIDOS	28
1.5	PUBLICACIONES RELACIONADAS	29
2	CAPÍTULO 2. ENTORNO DE TRABAJO.....	31
2.1	INTRODUCCIÓN.....	31
2.2	EL ACCESO CDMA.....	31
2.2.1	<i>Introducción</i>	<i>31</i>
2.2.2	<i>Principios básicos de CDMA</i>	<i>33</i>
2.2.3	<i>Receptor RAKE.....</i>	<i>36</i>
2.2.4	<i>Secuencias código</i>	<i>37</i>
2.2.4.1	Secuencias <i>m</i>	38
2.2.4.2	Secuencias de Gold	40
2.2.5	<i>Sincronismo</i>	<i>40</i>

2.2.6	<i>Control de potencia</i>	40
2.2.6.1	Control de potencia en lazo abierto	41
2.2.6.2	Control de potencia en lazo cerrado	41
2.2.6.3	Hipótesis Gaussiana para el modelado de las interferencias	42
2.2.6.4	Probabilidad de error en los paquetes.....	43
2.2.6.4.1	Todos los usuarios con control de potencia en lazo cerrado.....	44
2.2.6.4.2	Todos los usuarios con control de potencia en lazo abierto.....	44
2.2.6.4.3	Usuario útil con control en lazo abierto e interferencia mixta	45
2.2.6.4.4	Usuario útil con control en lazo cerrado e interferencia mixta	46
2.2.6.4.5	Resultados numéricos	47
2.2.7	<i>Codificación de canal</i>	48
2.3	PROTOCOLOS DE ACCESO AL MEDIO (MAC)	49
2.3.1	<i>Clasificación</i>	50
2.3.2	<i>Estado del arte</i>	51
2.3.2.1	ALOHA puro.....	52
2.3.2.2	Slotted-ALOHA	53
2.3.2.3	R-ALOHA (ALOHA con reserva)	53
2.3.2.4	Packet Reservation Multiple Access (PRMA)	54
2.3.2.5	Carrier Sense Multiple Access (CSMA)	54
2.3.2.6	Inhibit Sense Multiple Access (ISMA)	55
2.3.2.7	Distributed Queueing Request Update Multiple Access (DQRUMA).....	55
2.3.2.8	Distributed Queueing Random Access Protocol (DQRAP).....	56
2.4	ALGORITMOS DE GESTIÓN DE LOS RECURSOS RADIO (SCHEDULING)	56
2.4.1	<i>Introducción</i>	56
2.4.2	<i>Modelos de tráfico en servicios garantizados</i>	57
2.4.3	<i>Funcionalidades de los algoritmos</i>	59
2.4.4	<i>Estado del arte</i>	60
2.4.5	<i>Algoritmos Work-conserving</i>	62
2.4.5.1	First-come-first-served (FCFS)	62
2.4.5.2	Virtual clock (VC).....	62
2.4.5.3	Generalized Processor Sharing (GPS) o Fluid Fair Queueing (FFQ).....	63
2.4.5.4	Packet by packet GPS o Weighted Fair Queueing (WFQ).....	65
2.4.5.5	Worst-case Fair Weighted Fair Queueing (WF ² Q)	66
2.4.5.6	Virtual Spacing (VS) o Self-Clocked Fair Queueing (SCFQ).....	68
2.4.5.7	Delay Earliest Due Date (Delay EDD).....	69
2.4.6	<i>Algoritmos Non-work-conserving</i>	69
2.4.6.1	Jitter-Earliest-Due-Date (Jitter-EDD)	69

2.4.6.2	Stop-and-Go	70
2.4.6.3	Hierarchical Round Robin (HRR).....	72
2.4.6.4	Rate-Controlled Static Priority (RCSP)	73
2.4.6.5	Resumen.....	74

3 CAPÍTULO 3. UN NUEVO PROTOCOLO MAC: DQRAP/CDMA (*DISTRIBUTED QUEUEING RANDOM ACCESS PROTOCOL*)..... 77

3.1	INTRODUCCIÓN.....	77
3.2	RECURSOS DE RESERVA Y TRANSMISIÓN	77
3.3	DESCRIPCIÓN DEL PROTOCOLO	79
3.4	ALGORITMO DEL PROTOCOLO	82
3.4.1	<i>DTR (Data Transmission Rules)</i>	83
3.4.2	<i>RTR (Request Transmission Rules)</i>	83
3.4.3	<i>QDR (Queuing Discipline Rules)</i>	83
3.5	EJEMPLO DE FUNCIONAMIENTO	84
3.6	CONSIDERACIONES GENERALES.....	87
3.6.1	<i>Resolución de colisiones y CRI</i>	87
3.6.2	<i>Adaptación automática a la carga de tráfico</i>	87
3.6.3	<i>Información de control</i>	88
3.6.4	<i>Control de flujo</i>	88
3.6.5	<i>Transmisión CDMA. Número máximo de transmisiones óptimo</i>	89
3.7	MODELO DEL PROTOCOLO.....	90
3.8	ANÁLISIS DEL MODELO	92
3.8.1	<i>Retardo total del subsistema de resolución de colisiones</i>	92
3.8.2	<i>Retardo total del subsistema de transmisión de datos.</i>	95
3.8.3	<i>Retardo por la colisión en la transmisión de datos</i>	96
3.8.4	<i>Retardo total del sistema</i>	97
3.9	RENDIMIENTO DEL PROTOCOLO	99
3.10	DETECCIÓN DE PETICIONES DE ACCESO EN LOS MINISLOTS DE CONTROL	101
3.10.1	<i>Análisis del receptor de las peticiones de acceso</i>	103
3.10.2	<i>Probabilidad de error en la detección del estado de los minislots</i>	107
3.10.3	<i>Modificaciones del protocolo para la recuperación de errores</i>	112
3.10.3.1	Minislot con éxito detectado / Ninguna transmisión de usuario ($S k=0$)	112
3.10.3.2	Colisión detectada / Ninguna transmisión de usuario ($C k=0$).....	113
3.10.3.3	Minislot vacío detectado / Transmisión de un solo usuario ($E k=1$).....	113
3.10.3.4	Colisión detectada / Transmisión de un solo usuario ($C k=1$)	114
3.10.3.5	Minislot vacío detectado / Transmisión de múltiples usuarios ($E k>1$).....	114

3.10.3.6	Minislot con éxito detectado / Transmisión de múltiples usuarios ($S k>1$).....	114
3.10.4	<i>Rendimiento del protocolo con errores en la detección de los minislots</i>	116
3.10.5	<i>Rendimiento con tráfico heterogéneo</i>	119
3.11	CARACTERÍSTICAS DEL PROTOCOLO DQRAP/CDMA.....	120
3.12	CONCLUSIONES.....	121
3.13	APÉNDICE A.....	122
3.14	APÉNDICE B.....	124
3.15	APÉNDICE C.....	125
4	CAPÍTULO 4. OPTIMIZACIÓN DEL PROTOCOLO DE ACCESO	129
4.1	INTRODUCCIÓN	129
4.2	ANÁLISIS DEL SISTEMA DE DETECCIÓN DEL ESTADO DE LOS MINISLOTS	129
4.3	MÁXIMO RENDIMIENTO DE DQRAP/CDMA.....	136
4.3.1	<i>Análisis de parámetros significativos del sistema</i>	138
4.3.2	<i>Análisis del comportamiento de los errores de detección de minislots</i>	140
4.4	ASIGNACIÓN DINÁMICA DE CÓDIGOS	144
4.4.1	<i>Aumento de la tasa de resolución de colisiones</i>	145
4.4.2	<i>Explotación de los códigos inactivos</i>	148
4.4.3	<i>Solución Mixta</i>	151
4.4.4	<i>Comparación de rendimientos</i>	153
4.5	OPTIMIZACIÓN CON VARIACIÓN DEL NÚMERO DE MINISLOTS POR CÓDIGO (M).....	155
4.6	RENDIMIENTO GENERAL CUASI-ÓPTIMO	156
4.7	ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO DEL PROTOCOLO OPTIMIZADO	156
4.8	ADAPTACIÓN DE VELOCIDADES DE TRANSMISIÓN	160
4.8.1	<i>Algoritmo de selección de velocidad</i>	161
4.8.2	<i>Ejemplo de elección de velocidades</i>	161
4.9	CONCLUSIONES.....	163
4.10	ANEXO A	164
5	CAPÍTULO 5. DQRAP/CDMA EN ENTORNO CELULAR.....	169
5.1	INTRODUCCIÓN	169
5.2	MARCO DE TRABAJO.....	169
5.2.1	<i>Tipo de células</i>	170
5.2.2	<i>Modelo de propagación</i>	170
5.2.3	<i>Control de potencia</i>	171
5.2.4	<i>Modelo de movilidad de los usuarios</i>	171
5.2.5	<i>Algoritmo de decisión para los trasposos</i>	172

5.2.5.1	Algoritmo de IS-95	172
5.2.5.2	Algoritmo de UTRA	173
5.3	SIMULACIONES	175
5.3.1	<i>Tipo de células y modelo de propagación</i>	175
5.3.2	<i>Control de potencia</i>	176
5.3.3	<i>Modelo de movilidad de los usuarios</i>	177
5.3.4	<i>Algoritmo de decisión para los traspasos</i>	177
5.3.5	<i>Resumen de los parámetros utilizados</i>	178
5.3.5.1	Parámetros generales del sistema.....	178
5.3.5.2	Parámetros de propagación	178
5.3.5.3	Parámetros del control de potencia	178
5.3.5.4	Parámetros del mecanismo de traspaso (handovers).....	179
5.3.5.5	Parámetros de las estaciones base	179
5.3.5.6	Parámetros de los móviles.....	179
5.3.5.7	Parámetros DQRAP/CDMA (capa física).....	179
5.4	RESULTADOS	180
5.4.1	<i>Sistema estándar (según 5.3)</i>	180
5.4.2	<i>Comparación de mecanismos de handover</i>	182
5.4.3	<i>Variación del tamaño del active set</i>	185
5.4.4	<i>Concentración de tráfico</i>	186
5.5	CONCLUSIONES	187
6	CAPÍTULO 6. CALIDAD DE SERVICIO (QOS) GARANTIZADA	189
6.1	INTRODUCCIÓN.....	189
6.1.1	<i>Clases de Servicio</i>	191
6.1.2	<i>Parámetros de Calidad de Servicio (QoS)</i>	191
6.2	DQRAP/CDMA CON CALIDAD GARANTIZADA	193
6.2.1	<i>Características de DQRAP/CDMA</i>	193
6.2.2	<i>Colas independientes para servicios distintos</i>	193
6.2.3	<i>Gestión de los recursos (scheduling) distribuida</i>	195
6.2.4	<i>Gestión de los recursos para el subsistema de transmisión</i>	198
6.2.4.1	Un nuevo concepto: Crédito de Servicio.....	198
6.2.4.1.1	Definición de CrS	200
6.2.4.1.2	Mecanismo de cálculo del CrS	200
6.2.4.2	Propuesta de mecanismo de gestión de recursos.....	202
6.2.4.3	Ejemplo de asignación	205
6.2.5	<i>Gestión de los recursos para el subsistema de acceso</i>	209

6.2.5.1	Algoritmo de asignación.....	210
6.2.5.2	Ejemplo de asignación.....	212
6.2.6	<i>Simulaciones y resultados</i>	213
6.2.6.1	Modelos de tráfico.....	214
6.2.6.1.1	Voz (ON-OFF).....	214
6.2.6.1.2	Datos interactivos (VBR).....	215
6.2.6.1.3	Datos no interactivos (IP)	216
6.2.6.1.4	Datos genéricos (best-effort).....	217
6.2.6.2	Codificación de canal	218
6.2.6.3	Resultados	219
6.3	CONCLUSIONES.....	225
7	CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN.....	227
7.1	INTRODUCCIÓN	227
7.1.1	<i>El marco de trabajo</i>	227
7.1.2	<i>Un nuevo protocolo de acceso al medio (MAC)</i>	227
7.1.3	<i>Optimización del protocolo</i>	228
7.1.4	<i>Estudio del MAC en un sistema celular</i>	228
7.1.5	<i>Calidad de Servicio</i>	229
7.2	INTEGRACIÓN DE LAS PROPUESTAS EN UMTS	229
7.3	CONCLUSIONES FINALES	231
7.4	LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN	233
7.5	ANEXO A. EL ESTÁNDAR UTRA.....	234
7.5.1	<i>La capa física</i>	234
7.5.1.1	Canales físicos.....	235
7.5.1.1.1	Canales dedicados.....	235
7.5.1.1.2	Canales comunes.....	236
7.5.1.2	Canales de Transporte	236
7.5.1.2.1	Canales dedicados.....	236
7.5.1.2.2	Canales comunes.....	237
7.5.1.3	Canales Lógicos	238
7.5.1.3.1	Canales de control.....	238
7.5.1.3.2	Canales de tráfico.....	238
7.5.1.4	Estructura de capas en UTRA	238
7.5.2	<i>Estructura básica de transmisión</i>	240
7.5.2.1	Transmisión en canales dedicados.....	241
7.5.2.2	Transmisión en canales comunes en modo paquete	241

7.5.2.2.1	Canal PRACH.....	241
7.5.2.2.2	Canal PCPCH	243
8	GLOSARIO DE SIGLAS.....	245
9	REFERENCIAS.....	249

