

Software radio para antenas inteligentes en comunicaciones personales multistandard

J. Vidal, M. Cabrera, J. R. Fonollosa, M. A. Lagunas, X. Mestre, A. Pérez-Neira

Dep. Teoría de la Señal y Comunicaciones
Campus Nord, Modul D5, c/ Jordi Girona 1-3
Tel. 93 4016457

Universitat Politècnica de Catalunya
08034 Barcelona
Fax. 93 4016447

email: pepe@gps.tsc.upc.es

Área temática: Radiocomunicaciones, Software radio, Antenas inteligentes

1. INTRODUCCIÓN

En este trabajo se exponen, por una parte, técnicas de procesamiento de señal para arrays de antenas suficientemente flexibles para ser usados en estándares de segunda y tercera generación en transceptores de comunicaciones móviles y, por otra parte, arquitecturas hardware que permitan su evaluación. Se prevé que a partir del año 2002 los sistemas UMTS coexistirán con los actuales sistemas de segunda generación lo que requiere a corto plazo el diseño de transceptores adaptables a distintos interfaces aire. Esta flexibilidad y capacidad de reconfiguración implica la utilización de técnicas de *software radio* en el diseño de los terminales y estaciones base, y en consecuencia el desarrollo de algoritmos de recepción capaces de ajustarse de forma automática a diversos interfaces aire y servicios de usuario.

Es especialmente importante el análisis de los compromisos entre prestaciones y coste de las distintas opciones de implementación *soft* o *hard* así como de la capacidad de optimización para cada interfaz de aire y ancho de banda, a fin de elaborar una propuesta lo suficientemente detallada como para permitir su transferencia inmediata a fabricantes de antenas y terminales de comunicaciones móviles. Por ejemplo, el uso de conversores A/D y D/A en la etapa de FI parece un objetivo alcanzable solamente a medio plazo.

Las antenas inteligentes pueden aprovecharse junto con convenientes estrategias de red para obtener aumentos de la sensibilidad en recepción (HSR), el filtrado espacial para rechazo de interferencias (SFIR) o el acceso múltiple por división espacial (SDMA). En la práctica, el uso de una u otra estrategia afecta marginalmente al algoritmo de antenas inteligentes utilizado y la tendencia actual en la evaluación es la de separar explícitamente la ganancia obtenida en el nivel de enlace (medida en probabilidad de error frente a niveles de señal/interferencia) de la ganancia obtenida gracias a la aplicación de estrategias de red como control de potencia, transmisión discontinua o saltos frecuenciales (medida en términos de eficiencia espectral). Las ganancias finales en eficiencia espectral se obtienen mediante convenientes mapeados que permiten reducir la complejidad en la simulación [Hämäl 97].

2. MODELOS DE CANAL MÓVIL

Las características de propagación que proporcionan los modelos estándar COST [GSM 92] no modelan la dispersión angular de la potencia [Mogé 97] [Lu 97] y por lo tanto no pueden ser utilizados para el desarrollo de receptores que impliquen agrupaciones de antenas. Existen ya algunos modelos obtenidos a partir de medidas de campo para anchos de banda de hasta 5 MHz, con el objetivo de elaborar modelos de canal con una resolución temporal igual a la necesaria para el interfaz aire de UMTS.

Uno de los modelos más recientemente aceptados [Peder 98] se basa en la hipótesis de un canal Gaussiano estacionario en sentido amplio, modelado como un filtro transversal en el que los coeficientes son incorrelados, y en el que se asume independencia entre los mecanismos que conducen a la dispersión temporal (*delay spread*) y angular (*angular spread*). El número de frentes de onda se supone una variable aleatoria de tipo Poisson y media 25. La distribución de potencia angular es de tipo Laplace con dispersión de 8° en entornos urbanos, y los ángulos de llegada de distribución Gaussiana con desviación standard 6°. Sin embargo, la gran profusión de literatura en modelado de canales viene a corroborar el hecho de que las medidas se realizan en condiciones necesariamente limitadas y es preciso contrastarlas en diferentes entornos (rurales, urbanos densos, suburbios, etc).

Es preciso destacar que la naturaleza del medio de transmisión va a influir decisivamente tanto en el tipo de algoritmo receptor a utilizar como en la arquitectura física del conjunto de antenas. Así por ejemplo, si el medio de transmisión es espacialmente muy dispersivo, el uso de algoritmos específicos de procesado de antenas inteligentes separadas en $\lambda/2$ va a dar lugar a escasas ganancias en potencia de señal. Tradicionalmente el esquema utilizado en estos casos en recepción es el de combinación óptima de las salidas de las distintas antenas. Recientemente se ha propuesto el uso combinado de transmisores y receptores [Taro 98] para obtener codificaciones espacio-temporales. El resultado es el de una capacidad de transmisión que se acerca en prestaciones a la obtenida en propagación óptica, para un número reducido de antenas.

Como consecuencia, los sistemas de antenas inteligentes deben incorporar un conocimiento que bien deba introducirse a priori, bien deba estimarse periódicamente. Con este objetivo se han elaborado ya algunas técnicas específicas de análisis de la dispersión del canal espacial [Lagu 98].

3. TÉCNICAS PARA ANTENAS INTELIGENTES

Muchos de los algoritmos de arrays existentes para transmisión vía radio son concebidos para interfaces radio específicos y no se pueden aplicar directamente en una estación base con flexibilidad de configuración [Moge 97]. El aumento de estándares en comunicaciones móviles hace necesario el desarrollo de esquemas de conformación que se puedan adaptar vía *software* a diferentes técnicas de modulación y de acceso. De entre los algoritmos disponibles para el enlace ascendente podemos destacar dos grupos. Por una parte, las técnicas vectoriales de detección multiusuario, que representan la estrategia óptima de demodulación en escenarios limitados por interferencias, pero cuya complejidad puede resultar prohibitiva para servicios de alta velocidad. Por otra parte, esquemas sub-óptimos de baja complejidad que realizan un filtrado espacial de la interferencia como paso previo a una detección óptima de Viterbi monousuario [Lagu 98].

Cuando el interfaz aéreo utiliza CDMA, el conocimiento detallado del modelo de canal permite evaluar el uso de receptores RAKE en dos dimensiones, que pueden ser incorporados tanto en uno como en otro receptor si el interfaz aire es de banda ancha CDMA. En efecto, en estas condiciones un receptor RAKE operando en un entorno multi-camino combina óptimamente la potencia recibida a partir de los picos de la respuesta impulsional del canal, aumentando el número de ramas del receptor con el ancho de banda del canal. Cuando se usan estaciones base con arrays de antenas, los picos de señal están separados tanto en tiempo como en ángulo, por lo que las prestaciones del receptor RAKE 2D pueden mejorar considerablemente las del RAKE convencional [Iwai 94].

Se ha estudiado el comportamiento de dos de estos receptores subóptimos en condiciones reales, usando el modelo de dispersión espacial presentado en [Moge 97] y los modelos de dispersión temporal de [Eero 97] para canal pedestre y vehicular. Ambos receptores están representados en la figura 1. El primero de ellos es una

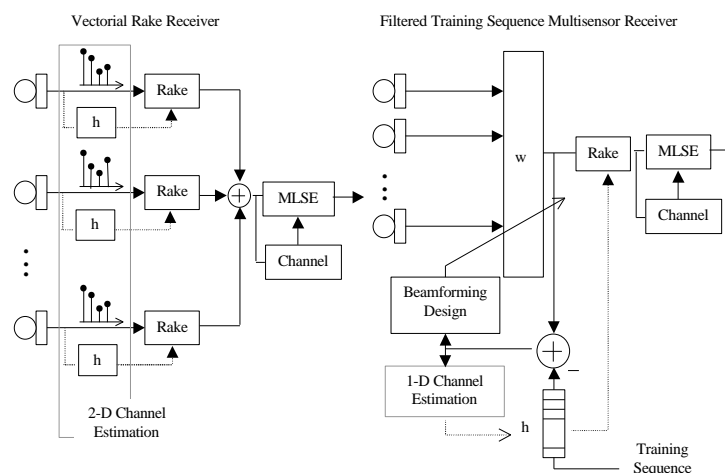


Figura 1. Dos técnicas de recepción a considerar

extensión del receptor óptimo MLSE, con un combinador RAKE vectorial como front-end. El segundo [Lagu 98] realiza un filtrado espacial cancelador de los usuarios interferentes, previo a una combinación RAKE escalar. Igualmente la salida del combinador se aplica a un receptor MLSE. Ambas técnicas han sido probadas en el enlace ascendente para el interfaz aéreo de la propuesta α que ETSI ha elaborado para UTRA, en su opción puramente CDMA. Tanto los usuarios útil como interferentes presentan un *spread factor* de 8, sin embargo los

resultados (figura 2) son fácilmente extrapolables a otras velocidades de transmisión. La figura 2 indica una mejora en E_b/I_0 de entre 5 y 15 dB, dependiendo de los requerimientos de BE, el tipo de entorno y la arquitectura del receptor. Estos resultados se han obtenido asumiendo dos usuarios en la célula, con *spread factors* de 8 para cada uno de ellos, sin embargo son fácilmente extrapolables a otras velocidades de transmisión.

Para el caso del interfaz aéreo GSM se ha comprobado así mismo que el uso de los anteriores esquemas de recepción (sin combinadores RAKE) incrementa en unos 7 dB la robustez a interferencias del sistema, permitiendo una planificación más ajustada de frecuencias. Se ha determinado mediante simulaciones [Tsun 97] que la capacidad total del sistema puede verse incrementada entre un 200 y un 300% gracias al uso combinado de arrays en la estación base en configuración SFIR y una planificación 1/3 de las células. Se ha demostrado así mismo que las técnicas de carga fraccional son efectivas para aumentar la calidad del servicio pero no permiten aumentar la capacidad significativamente.

El uso de estos esquemas para interfaces aéreas tipo TDMA requieren además que las estaciones base estén sincronizadas. Esta restricción garantiza la estacionariedad de las interferencias en la duración de una trama y que la secuencia de entrenamiento pueda ser usada para el cálculo del receptor.

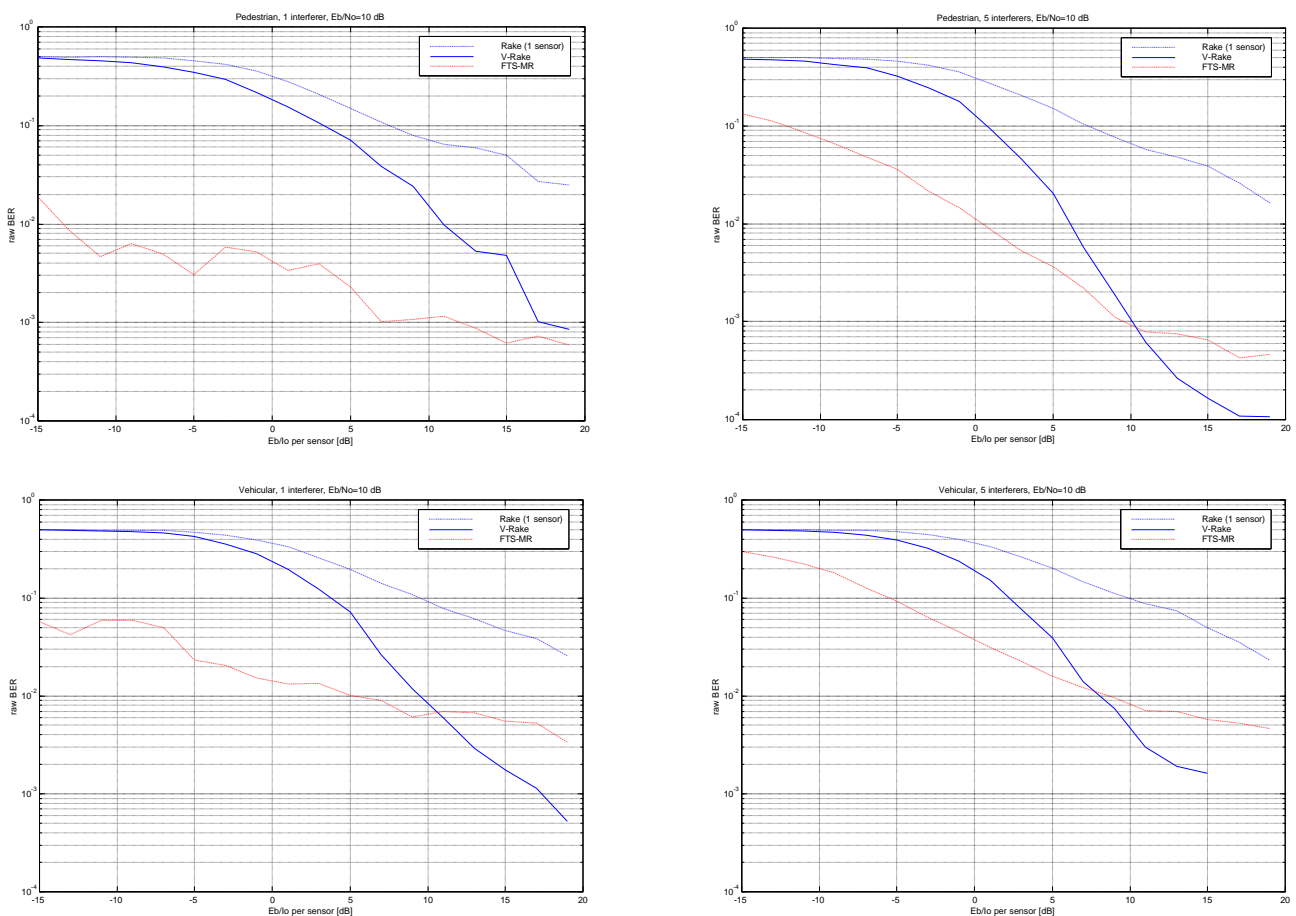


Figura 2. Resultados de simulación.

4. PROTOTIPO PARA *SOFTWARE RADIO* EN COMUNICACIONES PERSONALES

La evaluación en condiciones reales de las técnicas anteriormente descritas, así como la elaboración de modelos de canal, no pueden realizarse si no se dispone de prototipos que permitan generar, recoger y procesar datos en tiempo real. La comercialización de sistemas de procesadores digitales de señal (DSPs) de propósito general con capacidades de cálculo del orden de cientos de MFLOPS ha hecho posible la viabilidad de la aplicación de técnicas de este tipo en terminales móviles (MS) y estaciones base (BTS). Por otra parte, actualmente tanto los terminales móviles como las estaciones base soportan exclusivamente un estándar, sea éste de primera o segunda generación. Teniendo en cuenta su alto grado de penetración, no resulta sostenible desde el punto de vista económico la implantación de una tercera generación que no pueda soportar simultáneamente terminales de segunda generación, más aún considerando que el servicio básico de telefonía móvil no presentará mejoras

sustanciales. Por el contrario, el acceso opcional a servicios de UMTS, mediante la reconfiguración *soft* de terminales y estaciones base, es considerado prioritario por las empresas proveedoras de servicios de telecomunicaciones.

Con estos objetivos se preparan arquitecturas software, tanto para la estación base receptora como para una estación móvil transmisora [CICYT 1]. Con el objetivo de validarlas en condiciones realistas se ha desarrollado un prototipo de evaluación. El sistema transmisor consiste en una unidad móvil transmisora de un sólo canal o antena a frecuencias comprendidas en las bandas 1805-1880 MHz y 1710-1785MHz. El sistema receptor o estación base consiste en unidad receptora y fija de 4 canales y sendas cadenas receptoras. La finalidad del esquema consiste en establecer un enlace únicamente ascendente pero utilizando tanto la banda de frecuencia ascendente como la descendente de DCS-1800. De esta forma puede modelarse el comportamiento del canal radio para ambos sentidos de la comunicación utilizando el principio de reciprocidad.

El interfaz aéreo utilizado es el de GSM, en el que la modulación GMSK se ha reemplazado por una modulación BPSK con pulso conformador de coseno realizado de forma que es fácilmente reconfigurable para su uso en interfaces de aire de mayores anchos de banda y para sistemas de acceso CDMA. Las prestaciones del hardware también lo permiten dada su capacidad de cálculo, sus posibilidades de almacenamiento de datos y los anchos de banda de las cadenas RF.

Descripción del equipo transmisor:

El Equipo transmisor consta de las siguientes etapas:

Etapas de Banda Base

Esta etapa integra el sistema de adquisición, generación y procesado de los datos en un único chasis (figura 3). Consiste en una placa PENTEK 4285 [PENTEK] con bus VME, controlada por PC y que integra 2 procesadores digitales TMS320C40 de Texas Instruments (100 MFLOPS y 550 MOPS de capacidad de cálculo). Posee un volumen de memoria RAM total de 2 Mbytes + 1,5 Mbytes para control del bus VME. El sistema tiene además un canal de salida en banda base (I&Q) mediante 2 convertidores D/A de 12 bits y 30 MHz de frecuencia de muestreo máxima (FRDA-2-14100), una tarjeta de memoria FIFO de 32 Mbytes (CI-VME64/32) y 2 filtros reconstructores de Chebycheff de 9 polos cuyas frecuencias de corte son 512 KHz.

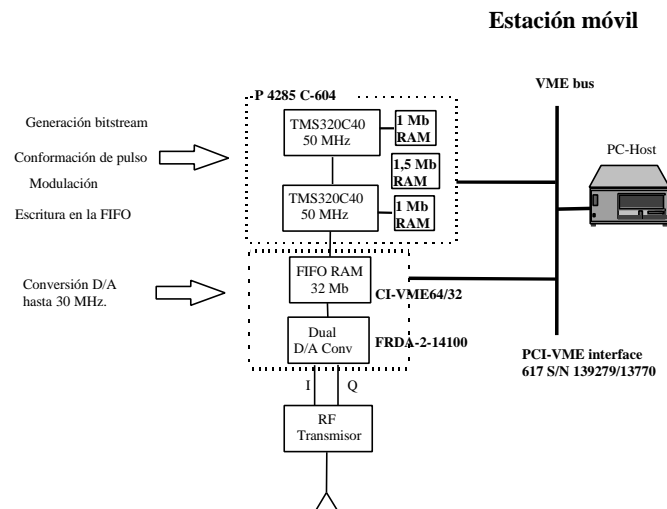


Figura 3. Estación móvil.

Etapas de radio frecuencia

La etapa de RF traslada los 2 canales I&Q a una única salida a la frecuencia correspondiente a un canal 1800 MHz mediante una doble conversión. El ancho de banda de transmisión es de 20 MHz y la frecuencia intermedia es de 70 MHz. La precisión del oscilador local es de 0,01 ppm para un rango de temperaturas de 0-60 °C. Esta etapa es capaz de entregar potencia hasta 14 dBm ajustable en un margen de 30 dB y presenta una gran linealidad, con niveles de IP3 de 35 dBm. El retardo de grupo es menor que 5 µs. El ruido de fase es inferior a -60 dBc/Hz a 1KHz y -80 dBc/Hz a 10 KHz.

Descripción del equipo receptor:

El Equipo transmisor consiste en las siguientes etapas:

Etapas de Banda Base

Esta etapa integra el sistema de adquisición, generación y procesado de los datos en un único chasis (figura 4). Consiste en una placa con bus VME de PENTEK (4285) [PENTEK], controlada por PC y que integra 6/8 procesadores digitales de Texas Instruments TMS320C40 (400 MPLOFS y 2,25 GOPS de capacidad de cálculo). Posee un volumen de memoria RAM total de 6 Mbytes + 1,5 Mbytes (control del bus VME). El sistema presenta 4 canales de entrada en banda base (I&Q) mediante 8 conversores D/A de 12 bits y 20 Mhz de frecuencia de muestreo máxima y 8 filtros antialiasing de frecuencia de corte 256 Khz. El muestreo en los conversores AD se realiza de forma completamente síncrona mediante un único reloj.

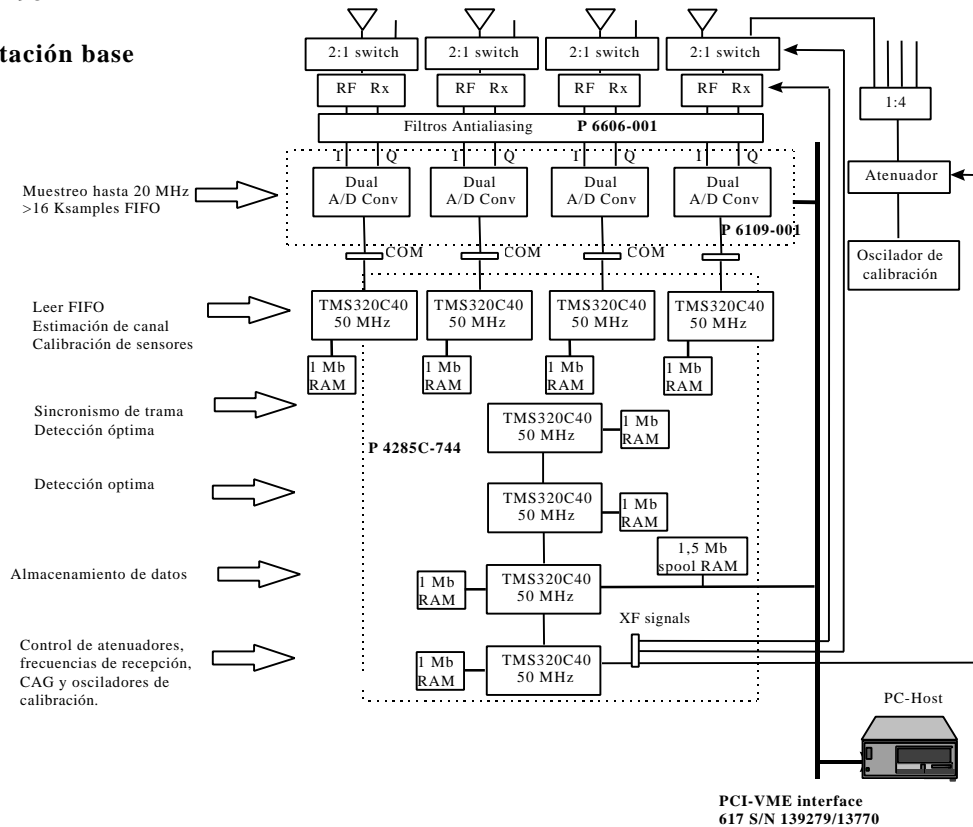
Etapas de radio frecuencia

La etapa de RF traslada las cuatro señales recogidas por el array en la banda de 1,8 GHz a 4 canales I&Q mediante un sistema de conversión directa. El ancho de banda de transmisión es de 20 MHz. El sistema incorpora control automático de ganancia que puede activarse, desactivarse o dejarse fijo en un cierto valor. Téngase en cuenta que si pretendemos utilizar arrays de antenas los CAG no deben actuar libremente, ya que tanto las fases como las amplitudes relativas de las señales recibidas influirán en la determinación de los canales espacio-temporales y en el nivel de rechazo a interferencias.

Las características del oscilador local son las mismas que para el transmisor. El oscilador local es utilizado como referencia para los relojes de los conversores A/D. El nivel de sensibilidad se sitúa a -95 dBm. El IIP3 es de -7 dBm.

Esta etapa además incluye un sistema de calibración para compensar el desequilibrio en fase y en amplitud de las cadenas receptoras de RF: un tono con barrido en la frecuencia centrales de la banda que está siendo utilizada es inyectado periódicamente a cada una de las cadenas de RF y los parámetros de calibrado se calculan digitalmente dentro de la etapa de banda base, de forma que asegura en tiempo real la uniformidad de amplitud y fase en las cadenas de recepción y transmisión. Los parámetros a calibrar son: la descompensación en módulo y fase entre las cuatro cadenas receptoras, la descompensación I/Q introducida por cada uno de los cuatro mezcladores de conversión a banda base, y la potencia global a fin de no saturar los conversores A/D. La estimación de los parámetros se lleva a cabo en uno de los DSP a razón de una vez por multitrama (120 ms).

La calibración se efectúa actualmente durante uno de los slots de la multitrama GSM. El desarrollo de algoritmos de calibración ciegos (que no requieran la ocupación de un slot temporal) es un campo abierto a la investigación.

Estación base**Figura 4. Estación base.****Antena de recepción**

Consiste en un array lineal de 4 elementos (separados media longitud de onda) pasivos para recepción en la banda DCS-1800, diseñado, construido y suministrado por gentileza de la empresa CASA.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado gracias a las ayudas recibidas por los proyectos: Comisión Europea ACTS, Proyectos AC020 TSUNAMI (II) y AC347 SUNBEAM, Plan Nacional de Investigación CICYT, TIC95-1022-C05-01, TIC96-0500-C10-01, Agencia Española de Cooperación Internacional y la Generalitat de Catalunya, CIRIT, 1996SGR-00096. Los equipos de radiofrecuencia han sido diseñados y desarrollados por ADTelecom S.L. con la colaboración de Jordi Berenguer. El array de antenas ha sido diseñado y construido por la empresa CASA.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [CICYT 1] Proyecto CICYT: Técnicas de Procesado de Señal avanzado en comunicaciones móviles de 3ª generación (UMTS), TIC95-1022-C05-01.
- [Eero 97] Eero Nikula, "Air Interface Specification, Layer 1, Draft", Intermediate Deliverable AC090/NOK/PT0/DS/R/014/b1. FRAMES project.
- [GSM 92] GSM05.05 *European Digital Cellular Telecommunications System - Modulation, Version 4.10.0*, European Telecommunications Standards Institute ETSI, 1992.
- [Hämäl 97] S. Hämäläinen et al., "A Novel Interface between Link and System Level Simulations", *Proc. ACTS Mobile Telecommunications Summit*, Aalborg, DK, pp. 599-604, Oct. 1997.
- [Iwai 94] H. Iwai, T. Shiokawa, "An investigation of space-path hybrid diversity scheme for base station reception in CDMA mobile radio", *IEEE Jour. Selected Areas in Commun.* Vol. 12, no 5, 1994.
- [Lagu 98] M. A. Lagunas, J. Vidal, A.I. Pérez-Neira, "Optimal Array Combiner and Sequence Detector in Mobile Radio Channels", *Proc. PIMRC98*, Boston, 8-11 septiembre 1998.

TelecomI+D 98

- [Lu 97] T. Lu, "A Physical Spatio-Temporal Model of Multipath Propagation Channels", *IEEE VTC97*, Mayo 1997.
- [Moge 97] P. Mogensen, et al. "Preliminary Measurement Results from an Adaptive Antenna Array Testbed for GSM/UMTS", *Proc. IEEE VTC97*, Phoenix, Arizona, Mayo 1997.
- [Peder 98] K. Pedersen et al., "A Stochastic Model of the Temporal and Azimuthal Dispersion seen at the Base Station in Outdoor Propagation Environments", *submitted to IEEE Trans. On Vehicular Technology*.
- [PENTEK] Pentek, Inc., "Digital Signal Processing and Data acquisition: 1997 Product Catalog", <http://www.pentek.com>.
- [Taro 98] V. Tarokh, N. Seshadri, A. R. Calderbank, "Space-time codes for high data rate wireless communication: Performance criterion and code construction", *IEEE Trans. on Inform. Theory*, March 1998.
- [Tsun 97] TSUNAMI II (ACTS 020) report, *Algorithms and Antenna Array Recommendations (Part 1)*, AC020/AUC/A1.2/DR/P/005/b1, May 1997.