

EDITORIAL

Dicen los sabios que un buen día un hombre soñó con la Eternidad. Así nacía la inteligencia...

Dicen que fue un sueño sin igual: al ver la inmensidad de las aguas soñó ser océano. Al levantar la vista una noche oscura tachonada de estrellas deseó ser infinito como el universo. Miró hacia las diminutas luces y ansió brillar más que el Sol...

No miró el vaivén de las olas en su quehacer rítmico, ni las caracolas de espuma blanca al romper sus rizos en la orilla, ni tan siquiera miró la estela dorada de una estrella fugaz en el devenir de la noche. Y es que nuestro Amigo, había aprehendido a mirar más allá, a buscar aquello que es intemporal, lo mismo que siempre unió a todo el Cosmos, a todos los pueblos que habitan la Tierra.

Dicen que un día nuestro hombre voló por encima de sus propios pasos y al ver la Tierra desde su marco oscuro se estremeció por su hermosura. Desde el espacio celestial, la visión era impactante, tan bella y armoniosa que cualquier herida fatal en su territorio resultaba invisible: tan chica, tan verde, tan azul, marrón y blanca... ¡Tan VIVA!

Con la distancia y mientras se alejaba del planeta cada vez más y más iba comprendiendo que no estaba solo. Una sinfonía cósmica sonaba para él a modo de letanía universal y jamás le abandonaría.

La Vida, ese casual milagro, fruto de miles de millones de años de interacciones debía ser conservada.

Hemos heredado un Mundo cada vez más polarizado. En los últimos diez años ha ido aumentado la pobreza en el Sur al mismo ritmo que la riqueza en el Norte. La deuda contraída por los países del tercer mundo es impagable y les obliga a ser cada vez más dependientes de las ayudas internacionales.

Al mismo tiempo, en el Norte, la diferencia entre ricos y pobres también ha aumentado; con la inestabilidad social que esto conlleva dejando tras de sí una bolsa de marginados muy difíciles de reenganchar al tren del progreso?

Por otro lado nuestra economía neoclásica todavía no ha aprendido que el precio de un bosque, un río o una especie son incommensurables y que sólo tenemos UNA TIERRA para compartir. Como dijo el jefe Seattle "Lo que hágais a la Tierra, a vosotros lo hacéis pues todas las cosas están ligadas entre sí. La Tierra NO es nuestra si no somos nosotros quienes le pertenecemos. Enseñad a vuestros hijos que el suelo que pisán son las cenizas de sus abuelos".

Amar La Tierra es tomar conciencia que sólo tenemos un único planeta para vivir. Se trata de comprender que cada trozo de tierra es parte de nosotros mismos. Que toda la Humanidad está profundamente ligada y que el dolor de unos, tarde o temprano nos afectará a todos.

Debemos hacer realidad los principios para vivir de manera sostenible y de ese modo resolver nuestros conflictos y conseguir un futuro equilibrado.

Es preciso amar la Tierra y ser solidarios con todos los seres vivos con quienes compartimos este planeta dentro de un universo desconocido que señala el ritmo de nuestra existencia.

Creemos que como técnicos tenemos un importante papel que jugar. Es por ello que debemos tomar una conciencia real de nuestros diseños, de sus impactos sociales y ecológicos además de los criterios económicos que a menudo olvidan factores demasiado importantes a largo plazo.

Aún estamos a tiempo de construir un Mundo donde todos tengamos cabida, donde la tolerancia sea nuestro estandarte para así, en Paz, compartir juntos la aventura de la Vida.

EDICIÓN

BARCELONA

Maria Andrade
Lourdes Campo
Juan Carlos Guerrero
Manuel Martínez
F. Xavier Mestre
David Rincón
Maite Rodríguez
Imma Valls

VALENCIA

Juan Antonio García
Eduardo Pascual
Manuel Martínez
F. Xavier Mestre
David Rincón
Imma Valls

COORDINACIÓN

Barcelona: Juan Carlos Guerrero,
F. Xavier Mestre, Maite Rodríguez
Madrid: Miguel Fribourg
Valencia: Javier López

AGRADECIMIENTOS

Il. Dir. Elias Fusté, Elisa Pla, Ángel Cardama,
Ramon Arxer, M^a Cristina Escobar,
y a los puntos de distribución en la UPC:
Abacus, CPET, Bar de Camins, Kiosk Campus Nord

PUBLICIDAD

Rama de Estudiantes del' IEEE (Telf. 401 59 55)

IMPRESIÓN

RET, s.a.l.

DEPÓSITO LEGAL

B.19.950-96

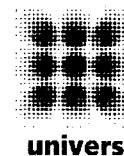
FOTOMECAÑICA

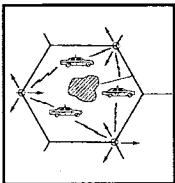
Sistemes d'Edició

La portada ha sido extraída del libro Cosmos, de Carl Sagan. Corresponde al lanzamiento del Apollo XIV.

La organización se reserva el derecho de publicar los artículos. La opinión expresada en los artículos no tiene por qué coincidir con la de la organización.

Agradecemos las colaboraciones hechas desinteresadamente, y a causa de la falta de espacio pedimos disculpas a todas aquellas personas a las cuales no se les ha publicado su colaboración. Esperamos que en un próximo número tengan cabida.





ESQUEMAS DE ACCESO PARA SISTEMAS MÓVILES DE TERCERA GENERACIÓN: CDMA

Pilar Díaz Romero

Profesora Titular del Grupo de Comunicaciones Radio

Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions

Universitat Politècnica de Catalunya

e-mail: pilar@xaloc.upc.es

En el foro de dirigentes “el año 2002 hoy”, celebrado en Helsinki en 1991, Pekka Tarjanne, Secretario General de la UIT, describió lo que a su juicio serían las megatendencias de las comunicaciones del presente decenio, como si hablara retrospectivamente en 2002:

“En 2002 son muchas las cosas que consideramos normales. Un tejido de información y procesos de información casi inconsútil abarca el globo. Nadie piensa ya en la manera de vincular las redes de comunicaciones o de abrirse paso a través de un laberinto de protocolos distintos para llegar a alguien u obtener información o servicios de un computador distante. Todos los sistemas de información electrónica pueden interfuncionar mediante técnicas transparentes y comunicaciones personales universales que todo lo unen: hablar con alguien dondequiera que esté, transmitir mensajes en una variedad de formas o de lenguas, o utilizar “objetos” de información abiertos en cualquier parte del mundo... Aunque autores y comentaristas dividan los acontecimientos del decenio en categorías muy distintas puede afirmarse que tal vez tres megatendencias principales han configurado la evolución del entorno de las comunicaciones actuales: avances tecnológicos espectaculares en la reproducción y distribución de la información, una nueva dinámica de la organización y la economía.”

A comienzos de la próxima década, (...) los sistemas habrán sido explotados hasta el máximo de sus capacidades y no podrán satisfacer los requisitos de los usuarios en demanda y calidad.

Así pues, la década de los 90 se considerará el decenio en el que el conocimiento se ha convertido en el motor de una nueva sociedad mundial. Uno de los factores que han propiciado esta evolución ha sido el desarrollo de las Comunicaciones Móviles Personales, que han

captado la atención de los medios, y con ello, la imaginación del público. Difícilmente pasa una semana sin encontrar un artículo relacionado con el tema en una revista o diario de larga tirada. Las encuestas y estudios de marketing realizados continúan proyectando una enorme demanda, augurando que al menos la mitad de los hogares o la mitad de las personas desean comunicaciones móviles personales.

En el campo de la radiotelefonía móvil celular, estamos asistiendo a la implantación de la segunda generación de radiosistemas móviles, con tecnología digital, en contraposición a los sistemas de primera generación que utilizaban modulaciones analógicas. Esos sistemas celulares de segunda generación incluyen el GSM y DCS 1800 (acceso TDMA) en Europa, el IS-54 (acceso TDMA) y el IS-95 (acceso CDMA) en América, mientras que los japoneses tienen un sistema TDMA de banda estrecha. En Europa también se han desarrollado dos sistemas de telecomunicación sin hilos, conocidos como CT2 y DECT. Algunos de estos sistemas son, no obstante, significantemente diferentes, de manera que está apareciendo la necesidad de una tercera generación de sistemas que sea compatible con los ya existentes y que sea capaz de satisfacer los nuevos requisitos en términos de diferentes servicios con diferentes grados de calidad, y también en términos de velocidades.

En este sentido, el programa UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) en Europa y un grupo de estudio de la UIT están contemplando los sistemas de comunicación personales para el año 2000. Pero ¿es esto suficiente, y hasta qué punto es posible predecir sobre el futuro, dados los avances tecnológicos que con certeza van a producirse? ¿Cuáles son, por otra parte, las características que se deberían anticipar en un futuro sistema de comunicaciones móviles? Las telecomunicaciones personales universales (UPT), que permitirán a los usuarios personalizar un terminal para comunicaciones con un número personal propio, y las denominadas redes inteligentes (IN), son objeto actualmente de estudio. Ofrecer una cobertura total junto con una alta capacidad requiere el uso de redes microcelulares con estaciones base y redes de distribución que no deben ser excesivamente caras.



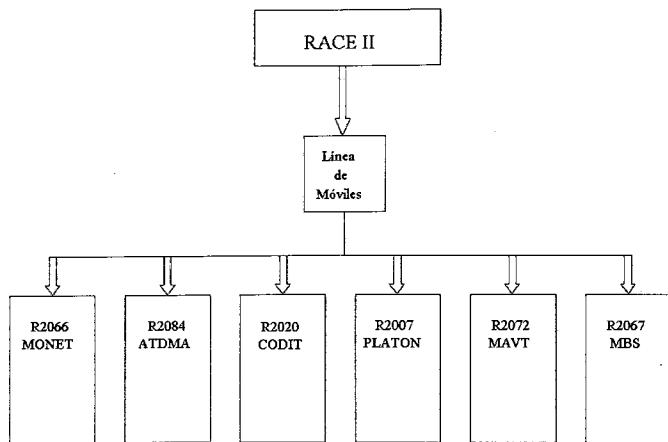


Figura 1. Programa de investigación europeo RACE II.

LOS SISTEMAS DEL FUTURO

A comienzos de la próxima década, los sistemas de segunda generación habrán estimulado el mercado masivo de las comunicaciones móviles. Para entonces, los sistemas habrán sido explotados hasta el máximo de sus capacidades y no podrán satisfacer los requisitos de los usuarios en demanda y calidad. Las expectativas son de poder llegar a una penetración de hasta un 40% de la población activa para el año 2005, lo que representa una población de unos 100 millones de usuarios o más. Será el momento oportuno para un sistema de tercera generación, un sistema universal, multifunción, que usará técnicas digitales desarrolladas a lo largo de los noventa y tecnologías del año 2000.

A pesar de la creciente demanda de los sistemas de comunicación personales, desde el punto de vista del usuario, el gran abanico de estándares que existe en la actualidad es mayor de lo que sería deseable

Con la previsión de que más del 50% del teletráfico estará asociado a terminales móviles o sin hilos, la Comisión Económica Europea (CEE) lanzó una ambiciosa iniciativa de investigación a través del programa RACE (Research on Advanced Communications for Europe) en 1988. El propósito de este programa era el estudio de técnicas que permitiesen la creación de un sistema móvil de tercera generación para finales de siglo:

el sistema UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) [1].

A pesar de la creciente demanda de los sistemas de comunicación personales, desde el punto de vista del usuario, el gran abanico de estándares que existe en la actualidad es mayor de lo que sería deseable. La necesidad de un único estándar para los sistemas móviles de tercera generación es una visión compartida por operadores y Administraciones, no únicamente en Europa, sino en todo el mundo.

Con la finalización de la primera fase del proyecto RACE, denominada RACE I y desarrollada entre 1988 y 1992, el ETSI dió un paso decisivo al crear el grupo SMG-5 con el fin de avanzar en una estandarización detallada del sistema UMTS. Simultáneamente al comienzo de los trabajos de normalización del UMTS en el ETSI, la Comisión Europea lanzó una nueva fase del programa RACE, llamada RACE II, que terminó entre finales de 1994 y comienzos de 1995. Los diferentes proyectos que fueron creados tenían por objetivo progresar en el conocimiento de ciertos esquemas a través de conceptos validados por experimentos, y contribuir eficazmente a la normalización. Las acciones llevadas a cabo en el campo de la tecnología de las comunicaciones incluyen entre otras:

- Comunicaciones móviles y personales
- Redes inteligentes
- Servicios de datos e imágenes
- Ingeniería de servicios integrados
- Experimentos en comunicaciones avanzadas
- Tecnologías de seguridad de la información

Con el fin de lograr una máxima eficiencia, la segunda fase del programa RACE estaba estructurada en términos de líneas de proyectos. La línea de proyectos móvil estaba compuesta de seis proyectos, cinco de ellos íntimamente relacionados con el desarrollo del UMTS

(PLATON, MONET, ATDMA, CODIT, MAVT) y uno (MBS) dirigido específicamente a la definición del concepto de sistema móvil de banda ancha operando en la banda de frecuencias de 60 GHz.

El debate del acceso múltiple es, por tanto, uno de los principales problemas que deberán resolverse.

Los proyectos ATDMA y CODIT experimentaron las posibilidades de los métodos de acceso TDMA y CDMA (técnica de acceso múltiple en la que los usuarios del sistema transmiten en la misma banda y de forma simultánea gracias al uso de un código de identificación de usuario apropiado) respectivamente, con el fin de compararlos a posteriori sobre una base común. El proyecto MONET estudió los conceptos concernientes a la red del sistema UMTS y consideró de manera idéntica los diferentes métodos de acceso. El proyecto PLATON estudió y desarrolló las herramientas lógicas necesarias en la ingeniería de redes. El proyecto MAVT estudió los algoritmos de codificación de voz e imagen en un entorno móvil. Por último, el proyecto MBS se interesó en la utilización más futurista de la banda de 60 GHz para la transmisión en banda ancha.

EL SISTEMA UMTS

El sistema UMTS está siendo concebido para proveer, de manera universal, una amplia variedad de servicios al usuario mediante una familia de terminales. La universalidad de un servicio particular dependerá tanto de condicionantes técnicos como económicos.

Desde el punto de vista de los servicios, el UMTS soportará una mayor variedad de servicios con mejor calidad y mayores velocidades de transmisión que los actualmente ofrecidos por sistemas como el GSM/DCS 1800 y el DECT. El UMTS soportará voz, datos, fotografía, gráficos, multimedia y otras clases de servicios. Adicionalmente, se considera como esencial para el UMTS ofrecer mejor calidad en términos de cobertura y probabilidad de bloqueo. En el caso de servicio de voz, la percepción global de calidad y fiabilidad de la llamada deberá ser comparable a la ofrecida por la red fija actual.

Desde el punto de vista de disponibilidad, el UMTS deberá ofrecer cobertura universal. Esto significa la necesidad de ofrecer la capacidad de conectividad en una gran extensión geográfica: al menos Europa, aunque potencialmente el mundo entero. La universalidad también significa la disponibilidad de los servicios de UMTS en la multiplicidad de entornos en los que el sistema deberá trabajar: rural, urbano, interiores de negocios y residencial. Incluye a peatones y vehículos tanto públicos como privados.

En lo que concierne al interfaz radio, una de las características clave del sistema será el método de acceso adoptado, para poder satisfacer así los requisitos de calidad en cualquier tipo de entorno. El debate del acceso múltiple es, por tanto, uno de los principales problemas que deberán resolverse. Los sistemas actuales tales como el GSM y el DECT están basados en una técnica de acceso TDMA. La experiencia acumulada por fabricantes la hace candidata para los sistemas de tercera generación, siempre que la evolución de los conocimientos y de la tecnología actual permitan una mejora de prestaciones [2].

En Norte América, una política gubernamental que permite a las compañías que operan en el campo celular una gran flexibilidad a la hora de adoptar tecnologías de transmisión ha estimulado una gran actividad

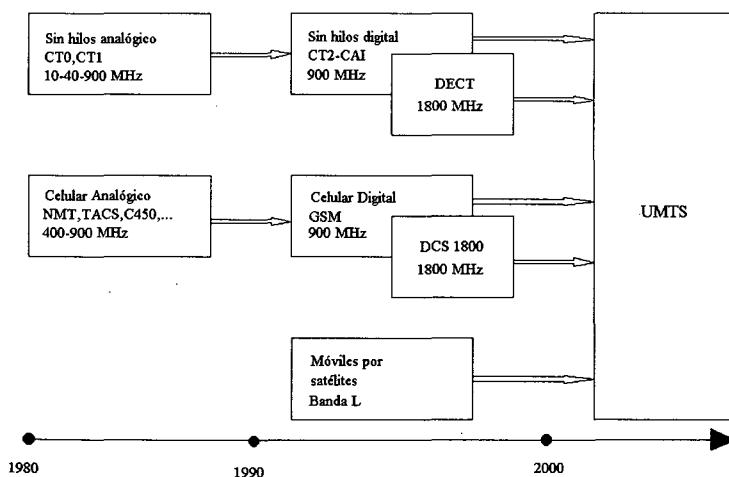


Figura 2. Evolución de los sistemas móviles actuales hacia el UMTS.



al margen de los procesos de estandarización oficiales. En este sentido, el esfuerzo más claro lo está realizando la compañía Qualcomm que, en cooperación con otras compañías operadoras y vendedoras de equipos, está desarrollando un sistema dual con transmisión digital basado en spread spectrum CDMA. Demostraciones de los primeros equipos de CDMA y estimaciones de capacidad optimistas por parte de Qualcomm han llevado a muchas compañías a aplazar decisiones en el desarrollo de sistemas duales hasta el desarrollo de futuras pruebas.

No obstante, cualquier técnica de acceso presenta puntos débiles y puntos fuertes, de manera que la solución para un sistema de tercera generación podría bien basarse en una combinación de esas técnicas, es decir, en un método de acceso híbrido.

ACCESO CDMA

Los sistemas de espectro ensanchado, «spread spectrum», dentro de los cuales se incluyen los sistemas de acceso múltiple CDMA, comenzaron a desarrollarse a mediados de la década de los 50. Las primeras aplicaciones se produjeron en el campo militar por la robustez que presentaba frente a las interferencias, ya fueran provocadas, o ya fueran debidas a la propagación multicamino. Una posible definición de este tipo de técnicas, que refleja fielmente sus características, la podemos encontrar en [3]:

«Spread spectrum es un modo de transmisión en el que la señal ocupa un ancho de banda mayor que el estrictamente necesario para enviar la información; el ensanchamiento en frecuencia se lleva a cabo mediante el uso de una secuencia código, independiente de la secuencia de información, y para la compresión en frecuencia de la señal recibida y posterior recuperación de la información, se lleva a cabo una recepción sincronizada con la secuencia código en el receptor.»

Una de las muchas ventajas de las técnicas de espectro ensanchado reside en su aplicación a sistemas de acceso múltiple. El acceso en este tipo de sistemas multiusuario se conoce como Code Division Multiple Access (CDMA). El CDMA es una técnica de ensanchamiento del espectro frecuencial, en donde todos los terminales móviles utilizan un mismo canal radioeléctrico bidireccional de banda ancha. Antes de ser transmitida, la señal de información es multiplicada por una secuencia pseudoaleatoria con el objeto de ensanchar el espectro de la señal a transmitir. Esa secuencia pseudoaleatoria, llamada también código, es específica de cada enlace entre un móvil y la estación base.

El CDMA es una forma de acceso múltiple más distribuida en relación al esquema TDMA. Una de sus características básicas es la inmunidad y diversidad inherentes que presenta frente a las interferencias, lo que la hace especialmente atractiva en los entornos limitados

por interferencias, como así ocurre en los sistemas celulares. Además, en este tipo de sistemas, el plan de reuso de frecuencias se simplifica y resulta más flexible en comparación con las otras técnicas de acceso. En teoría, el mismo conjunto de frecuencias puede ser reutilizado en cada célula, lo que permite un aumento de la eficiencia espectral. Otra de las ventajas que ofrece un sistema con acceso CDMA es la posibilidad de convivir con otros sistemas de banda estrecha ya existentes sin afectarlos sensiblemente, gracias a la expansión de energía que se produce a lo largo del gran ancho de banda disponible.

Al añadir nuevos usuarios al sistema, las prestaciones se degradan de manera suave, lo que no es posible en un sistema TDMA

Con el fin de demostrar su viabilidad en los sistemas celulares, entre Noviembre de 1991 y Septiembre de 1992 se llevaron a cabo cuatro pruebas de un sistema con acceso CDMA (esquema propuesto por Qualcomm), en las ciudades de San Diego (California), Münster (Alemania), Ginebra (Suiza) y Washington (DC). La estimación de capacidad que se obtuvo en estas pruebas experimentales, con una cobertura entre el 90% y 95%, fue de aproximadamente diez veces la que soporta el actual sistema móvil analógico que opera en los EEUU (AMPS). En la actualidad se está explorando detalladamente la opción del acceso CDMA para su aplicación en los futuros sistemas móviles de tercera generación. Las ventajas indicadas por esta compañía y otros defensores del CDMA se pueden resumir en [4-5]:

1. El sistema no precisa de igualadores de canal al aprovechar de forma constructiva la interferencia intersimbólica producida por la propagación multicamino.
2. Se requiere un único equipo de radio por estación base o emplazamiento puesto que todos los usuarios comparten el mismo canal radioeléctrico.
3. No precisa asignación ni coordinación de frecuencias al compartir todos los usuarios el mismo radiocanal, lo que simplifica la gestión del mismo.
4. Permite un proceso de handover «suave», ya que cada célula utiliza idéntica banda de frecuencias.
5. Al añadir nuevos usuarios al sistema, las prestaciones se degradan de manera suave, lo que no es posible en un sistema TDMA en donde un nuevo usuario debería necesariamente interferir a alguno de los usuau-

rios antiguos produciendo un cambio brusco en la calidad del servicio.

6. Permite la coexistencia de sistemas analógicos en su misma banda, ya que la señal CDMA es vista por los sistemas analógicos como ruido, mientras que el sistema CDMA percibe la señal analógica como una interferencia de banda estrecha.

7. Permite el aprovechamiento del factor de actividad vocal de forma natural, lo que permite incrementar la capacidad del sistema.

DIRECT-SEQUENCE CDMA

Cuando se analiza detenidamente el problema del acceso múltiple, se observa que el propósito último consiste en conseguir la separabilidad entre las señales provenientes de usuarios que intentan transmitir simultáneamente a través del sistema. Desde un punto de vista más formal, el concepto de separabilidad entre señales se puede formular a través de la operación producto escalar. Siempre que el producto escalar entre dos señales, $s_1(t)$ y $s_2(t)$, provenientes de dos usuarios diferentes sea nulo

$$\int_{-T} s_1(t)s_2(t)dt = 0$$

se dice que esas dos señales son ortogonales entre sí. La separabilidad entre señales está asociada al concepto de ortogonalidad, de manera que dos señales ortogonales entre sí son separables en el receptor, y por consiguiente, susceptibles de ser enviadas por el mismo canal de transmisión.

Por lo que respecta a los sistemas de spread spectrum, existen básicamente dos maneras de ensanchar el espectro en transmisión: modulación por secuencia directa, conocida como «direct sequence», y modulación por saltos en frecuencia, conocida como «frequency hopping». Por motivos de capacidad, la tecnología actual hace aconsejable el empleo de la técnica de direct sequence en los sistemas de acceso múltiple. Cuando se emplea un

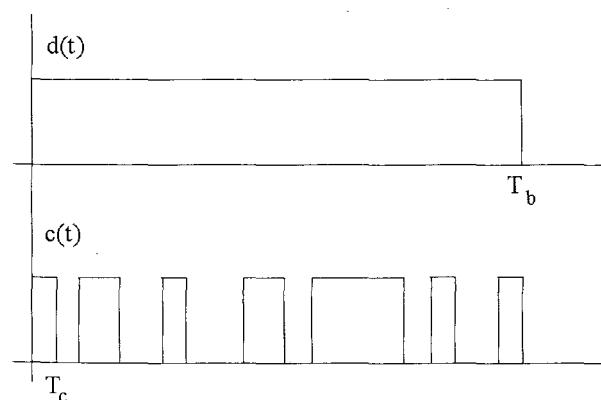


Figura 3. Señal de datos y secuencia código.

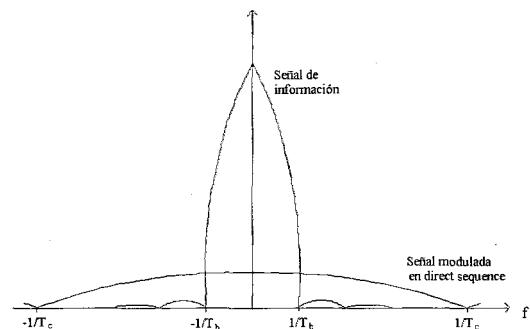


Figura 4. Espectro de potencia de la señal de información y de la señal modulada en direct sequence.

esquema DS/CDMA (Direct-Sequence CDMA), la ortogonalidad entre las señales de los diferentes usuarios se consigue modulando la señal de información con una secuencia código. A diferencia de los esquemas de acceso FDMA y TDMA, todos los usuarios del sistema comparten toda la banda de frecuencias y transmiten simultáneamente en tiempo. La separabilidad en recepción, se logra asignando a cada uno de ellos una secuencia código distinta, $c(t)$, orthogonal al resto de secuencias.

En un sistema CDMA se suele adoptar señales DS-PSK, por lo que respecta a los esquemas de modulación empleados. En un esquema DS/PSK, la secuencia $c(t)$ modula la señal de información $d(t)$ de manera que la señal transmitida, $s(t)$, puede expresarse como

$$s(t) = \sqrt{2S}c(t)d(t)\cos(w_0t) = \sqrt{2S}d'(t)\cos(w_0t)$$

donde S es la potencia transmitida.

De la ecuación anterior se deduce que al modular la señal de información con la secuencia $c(t)$ se produce un ensanchamiento del espectro de potencia en un factor G_p ,

$$G_p = \frac{T_b}{T_c}$$

donde T_c es el período de «chip» de la secuencia código y T_b es el período de bit de la señal de datos. El factor G_p se conoce como ganancia de procesado.

En el receptor, la compresión en frecuencia de la señal recibida permite recuperar la señal de información:

$$s(t)c(t) = \sqrt{2S}d(t)\cos(w_0t)$$

El diagrama de bloques de la Figura 5 ilustra los elementos básicos de un sistema de comunicaciones digital de espectro ensanchado. Los generadores de se-



cuencias generan una secuencia binaria pseudoaleatoria (PN), que modula la señal de información en el transmisor, y la demodula en recepción. Para un correcto funcionamiento del sistema, es necesaria una correcta sincronización entre la secuencia recibida y la generada localmente en el receptor.

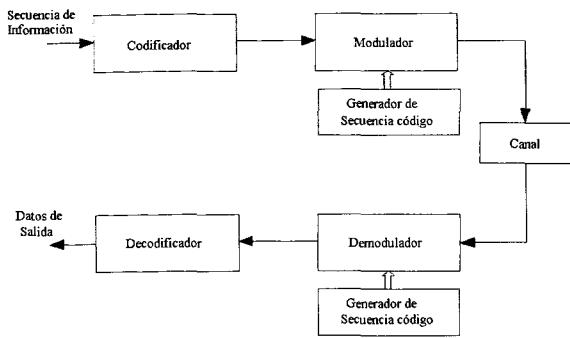


Figura 5. Diagrama de bloques de un sistema DS/CDMA.

Desde un punto de vista de diseño, cabe insistir en dos aspectos básicos para un correcto funcionamiento de un sistema CDMA: por una parte, en la elección de secuencias códigos apropiadas, y por otra, en la necesidad de habilitar procedimientos de sincronismo.

Por lo que respecta a los códigos de acceso, la búsqueda de secuencias estrictamente ortogonales conduciría a un número insuficiente de secuencias como para poder albergar un sistema de gran capacidad. El interés en los diversos estudios sobre secuencias pseudoaleatorias que se han realizado se ha centrado primordialmente en la búsqueda de conjuntos formados por un gran número de secuencias que presenten un buen comportamiento desde un punto de vista de ortogonalidad, aunque no sean estrictamente ortogonales.

Junto a estos aspectos básicos de un esquema CDMA, existen otros específicos del entorno móvil donde esta técnica de acceso es utilizada. Un problema característico que aparece cuando el CDMA se aplica en el entorno de las comunicaciones móviles consiste en la necesidad imperiosa de adoptar un control de potencia para combatir el fenómeno conocido como «near-far», típico de un escenario móvil. Este fenómeno consiste básicamente en el enmascaramiento de la señal de un usuario lejano recibida en la estación base, por parte de las señales de usuarios situados en las proximidades de la base. Para paliar los efectos de este problema, se debe habilitar una técnica de control de la potencia emitida por el móvil con el objeto de recibir en la estación base aproximadamente la misma potencia de señal por lo que respecta a cada una de las unidades móviles asignadas a esa base, con independencia de su emplazamiento.

Si las secuencias PN utilizadas fueran perfectamente ortogonales, el nivel de potencia recibido corres-

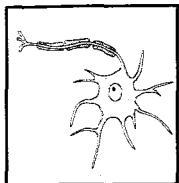
pondiente a un usuario interferente en relación al nivel de potencia correspondiente al usuario útil sería irrelevante. Sigue no obstante que ello no es así, y en consecuencia, un nivel de potencia excesivo por parte de un usuario interferente no puede ser compensado por la naturaleza «quasi-ortogonal» de las secuencias PN seleccionadas. Si las potencias de la señal útil e interferente, moduladas con secuencias PN aleatorias, coinciden a la entrada del receptor DS-PSK, entonces el factor de rechazo de la señal interferente es igual a $10\log G_p$ dB a la salida del receptor. Sin embargo, cuando las potencias no coinciden, el receptor DS-PSK será únicamente capaz de mejorar en $10 \log G_p$ dB la relación señal a potencia interferente a la entrada. Ello es totalmente insuficiente por si sólo para combatir las potencias interferentes elevadas que inevitablemente aparecen en un entorno móvil, donde el receptor debe manejar márgenes dinámicos del orden de 80 dB. Por el contrario, valores de G_p superiores a 30 dB son poco usuales, debido a razones prácticas de implementación.

El objetivo de un control de potencia, por tanto, consiste en que cada emisor ubicado en una unidad móvil transmita la potencia justa para que la potencia recibida por un receptor en la estación base sea idéntica para todos los móviles. El interrogante que queda es si ese control de potencia debe ser realmente muy estricto o, por el contrario, es suficiente con que no se permita la aparición de potencias interferentes excesivamente mayores a la de la señal útil.

Ese y otros interrogantes acerca de la idoneidad de un acceso CDMA para sistemas de comunicaciones móviles de tercera generación pueden quedar resueltos en función de las prestaciones que ofrezca y de como evolucione el estándar IS-95 para sistemas de segunda generación.

REFERENCIAS

- [1] S. CHIA, "The Universal Mobile Telecommunication System", IEEE Communications Magazine, Vol. 30, No. 12, Diciembre 1992.
- [2] "Communications avec les Mobiles", Commutation & transmission, Numéro Spécial 1993.
- [3] R.L. PICKHOLTZ, D.L. SCHILLING, L.B. MILSTEIN, "Theory of Spread-Spectrum Communications- A Tutorial", IEEE Trans. on Communications, Vol COM-30, No. 5, Mayo 1982.
- [4] W.C.Y. LEE, "Overview of Cellular CDMA", IEEE Trans. on Vehicular Technology, Vol 40, No. 2, Mayo 1991.
- [5] A. SALMASI, K.S. GILHOUSEN, "On the System Design Aspects of Code Division Multiple Access (CDMA) Applied to Digital Cellular and Personal Communications Networks", IEEE 41th VTC, St. Louis, Mayo 1991.



DEL CEREBRO A LA IMPLEMENTACIÓN ARTIFICIAL: ÚLTIMOS AVANCES

Enric Claverol*

*Proyectista del Departament d'Enginyeria Electrònica, UPC
Proyecto dirigido por Joan Cabestany, catedrático del DEE, UPC
e-mail: claverol@eel.uc.es

No han pasado tantos años desde que Ramón y Cajal, nuestro ilustre ganador del premio Nobel, propuso por primera vez que la neurona constituyía el elemento procesador básico en el razonamiento humano. Sus tratados de histología son todavía hoy una obra valiosa pero la tecnología ha avanzado y con ella nuestra comprensión del sistema nervioso. La perspectiva que nos interesa en este artículo es la del ingeniero: el cerebro es una máquina

El cerebro es una máquina compacta en espacio (...) óptimamente adaptativa a los cambios del entorno

compacta en espacio, con capacidades de procesado de la información increíblemente superiores a los de los microprocesadores más avanzados y óptimamente adaptativa a los cambios del entorno. Imagínense una máquina capaz de funcionar con gran parte del sistema dañado tal como vemos en lesiones cerebrales severas. ¿Por qué no podemos reproducir, si es necesario plagiando, estas características, al menos parcialmente, en nuestros sistemas?

Lo que pretende este artículo es dar una visión parcial de algunos de los últimos avances en este campo.

DE LO QUE NO TRATAREMOS.

Dado que el cerebro está relacionado con conceptos tan difíciles de definir como la mente, la conciencia, el ánimo, etc. ha de quedar claro que el sistema nervioso será tratado aquí como un supercomputador. (Penrose R., 1994). Una máquina, como veremos más adelante masivamente paralela, que a efectos prácticos será considerada una caja negra que acepta información sensorial (Interfaces Input - Output), la procesa y la retorna. En este contexto nos interesa estudiar sus enormes capacidades como reconocedor y clasificador de imágenes, sonidos, etc, como extractor de leyes generales entre cantidades masivas de información, planificador y la mayoría de actividades que nos gustaría ver eficientemente ejecutadas en inteligencia artificial.

La batalla es dura pero hemos empezado con una victoria. La capacidad de cálculo potencial de un autómata de estados finitos implementado sobre Silicio (un antiguo Z-80) es muy superior a la de un cerebro humano frente a problemas parecidos. Esta limitación está sin duda relacionada con la estructura en red del sistema nervioso central y la carencia de una única unidad central de control.

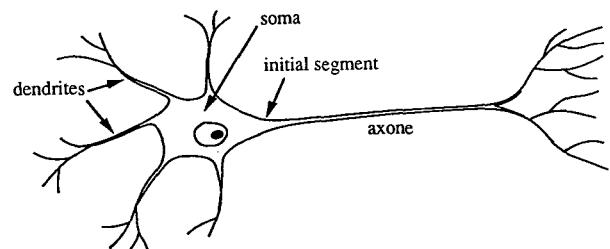


Figura 1. Motoneurona típica de vertebrado.

LAS BASES.

La neurona es una célula como cualquier otra de las presentes en tejido biológico y que clásicamente se ha simplificado en el esquema de la fig. 1. Se trata de un dispositivo procesador de señales eléctricas con componentes de baja frecuencia. Las señales eléctricas se introducen en la unidad por el árbol dendrítico y se propagan de forma pasiva con la atenuación característica de un cable hasta llegar al cuerpo central o soma. Allí, tal como

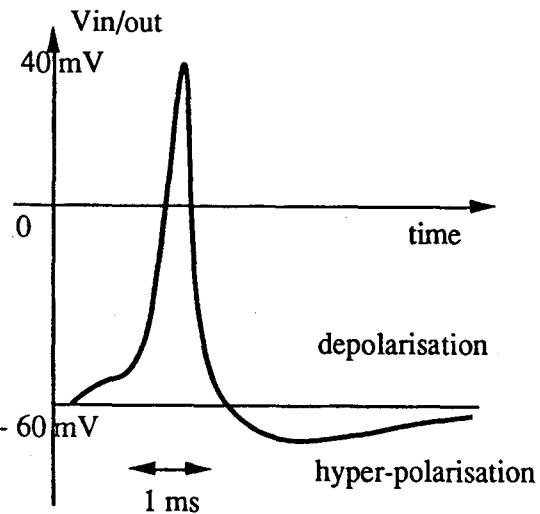


Figura 2. Potencial de acción ($V_{\text{interior}} - V_{\text{exterior}}$ de membrana)



en una impedancia terminal, las diferentes señales de tensión son sumadas temporalmente, obteniendo así una señal de magnitud superior. La presencia de elementos activos en la membrana somática y en el segmento inicial del terminal axónico son responsables de un efecto disparo por umbral. Cuando el potencial eléctrico supera este umbral, el soma, actuando como fuente de tensión, genera una señal de forma característica conocida como potencial de acción (fig. 2). Esta señal se propaga por el terminal axónico, esta vez activamente, debido a regeneradores con un efecto parecido a un amplificador en una red de telecomunicaciones. (Kandel et al, 1995).

Esta es la unidad básica integrante del sistema nervioso, tanto central como periférico.

La idea presentada en el párrafo anterior es el modelo clásico de neurona enunciado ya por Ramón y Cajal. Su hipótesis sobre el camino seguido por la señal (de dendritas a axón pasando por soma) no se pudo basar en mediciones experimentales debido a las limitaciones técnicas de la época. Su deducción se fundamentó en la disposición de las neuronas procesadoras de la información llegada del mundo exterior: siempre mostraban el árbol dendrítico hacia el exterior.

MODELOS MATEMÁTICOS CLÁSICOS.

Diversas han sido hasta el momento las descripciones matemáticas propuestas para el comportamiento de la neurona:

Modelo McCulloch - Pitts: Algunos autores consideran que la computación neuronal nació en 1943 (McCulloch & Pitts, 1943) con los primeros intentos por entender la neurona. Para simplificar el análisis se supuso que la neurona actuaba con lógica de umbral (activada o no activada). La activación dependería del número de señales llegadas a sus múltiples entradas y el único retardo apreciable sería el producido en las conexiones sinápticas.

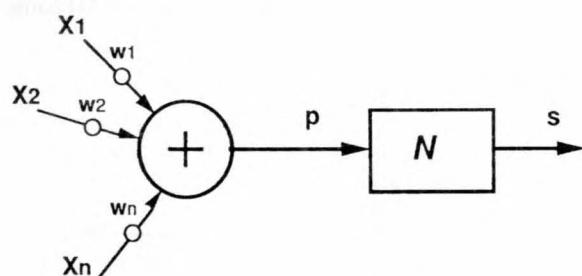


Figura 3. Modelo de neurona. Suma ponderada de las entradas y función de ponderación.

Por otro lado, la función no lineal de umbral dificultaba la resolución analítica de problemas utilizando este esquema básico. Se optó por sustituir la función de umbral por una de tipo sigmoide o tangente hiperbólica. La figura 3 es el esquema general, donde N es una función no lineal (como la de tipo umbral propuesta por

McCulloch) o línea, X_n es el valor de la señal a cada entrada y W_n un factor multiplicativo sobre esta señal.

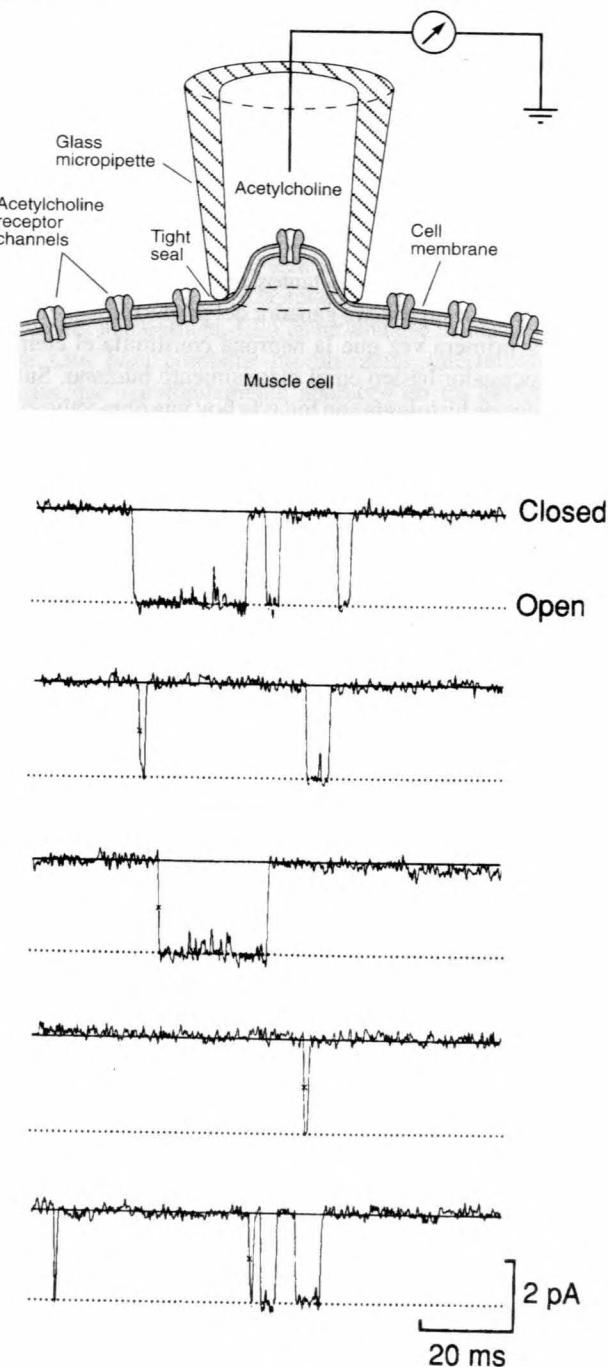


Figura 4. Patchclamp. Una pipeta permite aislar un único canal iónico de membrana.

Una consecuencia del uso de funciones N lineales fue la posibilidad de utilizar algoritmos por descenso de gradiente dada la naturaleza derivable de las funciones implicadas. Hoy, *back propagation* es el más representativo y más ampliamente utilizado de todos los algoritmos de aprendizaje. Las redes neuronales artificiales usadas habitualmente en trabajos de clasificación e interpolación se basan exclusivamente en *back propagation* y en un

modelo derivado de las hipótesis de MacCulloch y Pitts conocido como Perceptrón. Aunque estas estructuras eran claramente una simplificación excesiva, ya presentaban ventajas como algoritmos resolutores de problemas reales. Por ejemplo: el Departamento de Ingeniería Electrónica de la UPC (Universitat Politècnica de Catalunya) trabaja actualmente en un sistema basado en redes neuronales artificiales destinado a la clasificación de monedas.

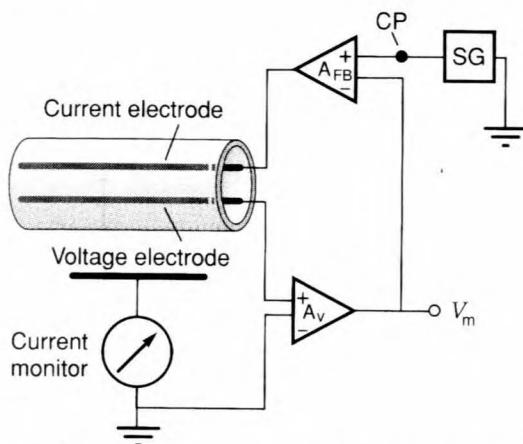


Figura 5. Voltage-clamp. Dos electrodos monitorizan la tensión transmembrana. La diferencia respecto a una referencia gobierna la fuente de corriente. Así se consigue mantener V constante.

Los parámetros modificables en las unidades son las constantes que escalan las señales recibidas por cada entrada de la neurona, clásicamente estos factores de escala se conocen como pesos. El aprendizaje se basa en que la red sea capaz de aprender en base de una modificación correcta de los pesos entre neuronas.

Modelo Hopfield: los esquemas basados en la idea original de MacCulloch tienen en común lo que se conoce como procesado *feedforward*, es decir se comportan como una red de puertas lógicas que implementan una función salida en base a una entrada. El problema se resuelve siempre sin intervención de lazos de realimentación. Ésta ya es una diferencia clara con sistemas biológicos reales puesto que los caminos de realimentación se encuentran profusamente en el sistema nervioso. Hopfield propuso un modelo donde el comportamiento de la unidad es parecido al del spin del electrón, pudiendo estar en estado +1 o -1. (Hopfield, 1985).

Modelo continuo: Una alternativa a las propuestas con tiempo discretizado son las soluciones basadas en ecuaciones diferenciales.

Por ejemplo,

$$\left(\frac{dp}{dt} \right) = \sum W_n * X_n(t)$$

donde p es el estado de la unidad, W_n es el peso para las señales llegadas por la dendrita n y $X_n(t)$ la señal por la misma dendrita.

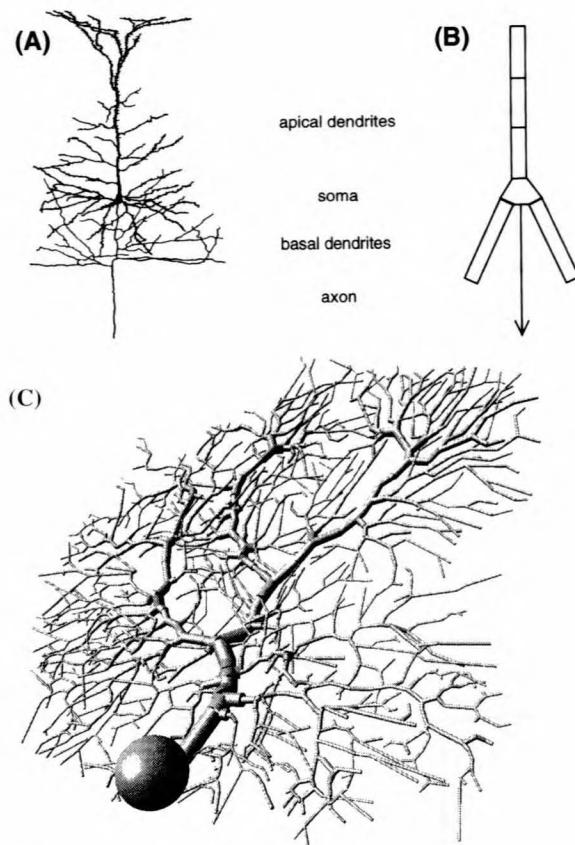


Figura 6. (A) Neurona piramidal.
 (B) Modelo compartimental simple.
 (C) Modelo compartimental complejo de neurona de Purkinje.

Hasta aquí hemos visto algunos de los modelos más clásicos de neuronas. Existen muchos otros como los algoritmos de cuantificación vectorial, los basados en máquinas de Boltzmann, etc.

Para más detalles sobre algoritmos y modelos ver Hassaun M. 1995.

ÚLTIMOS AVANCES EN LAS TÉCNICAS DE ESTUDIO DEL SISTEMA NERVIOSO.

En los últimos años la neurociencia ha experimentado avances significativos. Ello se debe, por una parte a la mejora en la tecnología experimental que permite hacer medidas tanto *in vivo* como *in vitro* de la actividad eléctrica del sistema nervioso, y por otro lado, al nacimiento de una nueva línea de investigación conocida como neurociencia computacional. Esta última se basa en el uso del ordenador como simulador. Dado que las características electrofisiológicas de la membrana neuronal son cada vez más conocidas ya se dispone de una serie de ecuaciones que predicen de una manera muy exacta la generación y propagación de impulsos nerviosos.

A nivel experimental, el registro monoelectrodo que permite observar los potenciales de una única unidad son la experiencia más antigua. Un paso importante han



sido las medidas multielectrodo que permitían detectar sincronización entre diversas unidades en una misma etapa de procesador o bien el progreso de la actividad en etapas secuenciales del procesado de información. Los métodos por imagen, PET (Positron Emission Tomography), SPECT (Single Photon Emission Tomography) y fNMR (functional Nuclear Magnetic Resonance) y fluorescencia son capaces de mostrar el grado de actividad eléctrica de diferentes zonas cerebrales en condiciones *in vivo*.

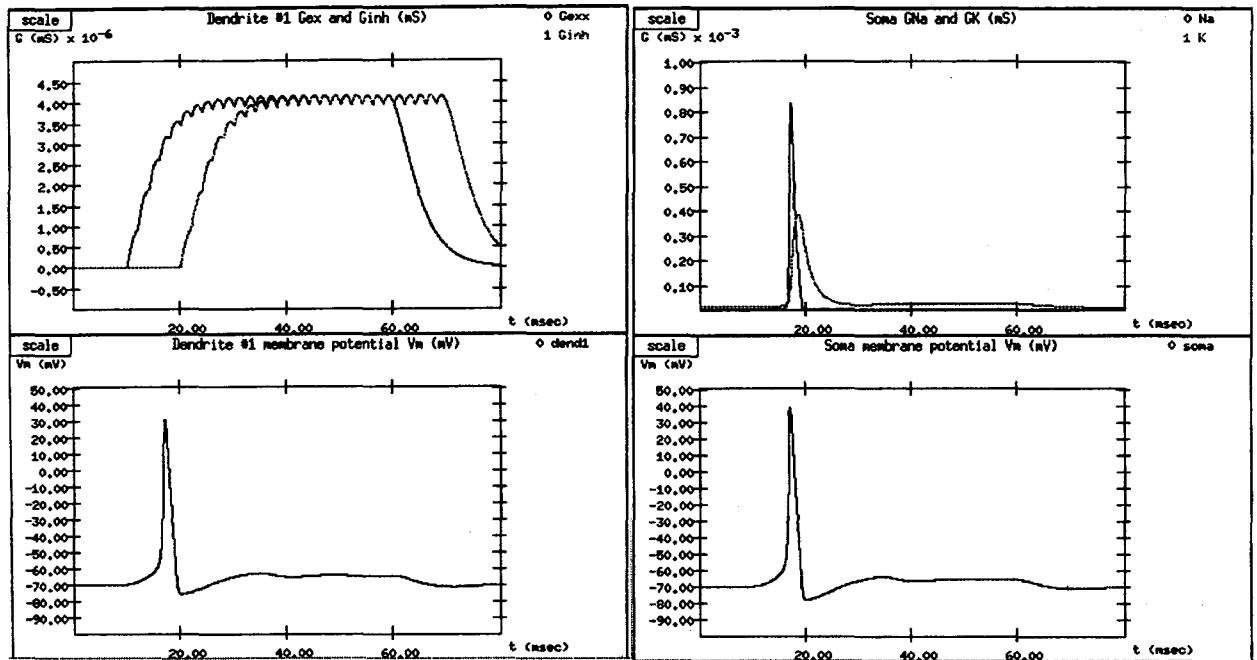


Figura 7. Potenciales de acción emulados con Genesis.

Las ventajas de estos sistemas son evidentes:

- la localización de los módulos cerebrales activos en cada tipo de trabajo,
- la determinación del camino seguido desde la llegada de la información sensorial,
- su procesad
- la integración de diferentes fuentes,
- y la activación motora.

Los sistemas por imagen permiten visualizar la presencia de sustancias que, directa o indirectamente, son evidencias de la actividad eléctrica. Por ejemplo, el mayor consumo energético de las neuronas y los cambios de concentración de sustancias implicadas en el metabolismo y marcadas previamente permiten identificar los centros más activos.

In vitro, es posible inyectar una sustancia fluorescente a la neurona, la cual permite registrar con una

simple cámara de vídeo la activación de las neuronas en tiempo real. Se consigue de esta manera una resolución mucho mayor (unidad a unidad) comparado con otros métodos como SPECT y PET.

También es importante obtener datos de estructuras todavía más simples que la neurona. De la misma manera que caracterizar la pureza de un semiconductor puede ser importante para poder simular su comportamiento en el dispositivo, también lo es conseguir carac-

terizar la membrana, las moléculas que en ella se hallan integradas y el flujo iónico a su través. Para ello se han desarrollado técnicas como patchclamp, voltageclamp y currentclamp. No nos extenderemos más en métodos experimentales sino que profundizaremos un poco en neurociencia computacional.

GENESIS

Es uno de los paquetes de software más usados en la simulación de tejido nervioso. Ha sido desarrollado por la Universidad de Caltech. Se trata de un entorno perteneciente a los de la familia conocida como compartimentales. En ellos cada neurona se describe como un conjunto de trozos de membrana interconectados. Cada segmento se caracteriza por una serie de ecuaciones que describen el flujo de diferentes clases de iones y del potencial transmembrana. Cuanto mayor sea el número de segmentos usados por cada unidad menor será la velocidad de resolución de los sistemas pero mayor la exactitud de las soluciones. En la práctica, se encuentra un compromiso tal que el resultado es válido y la velocidad suficientemente alta. En cualquier caso, la simulación de cantidades de neuronas superiores al millar con un número de compartimentos elevado por cada unidad,

precisa de ordenadores dedicados, paralelos o la distribución de la carga computacional sobre varias máquinas en red.

A título de ejemplo, las ecuaciones de Hodgkin y Huxley (los cuales recibieron el premio Nobel por ellas) tienen como solución, con condiciones de contorno adecuadas, exactamente la señal conocida como potencial de acción y medible en neuronas reales. La clave reside en la suposición de que la dinámica de las puertas que formaban canales en la membrana seguía una dinámica de primer orden:

$$\left(\frac{dp}{dt} \right) = \alpha(V)(1-p) - \beta(V)p$$

Donde p es el porcentaje de puertas específicas para un ion abiertas (y $(1-p)$ la fracción de puertas cerradas). Las constantes dependientes del voltaje son el ritmo de apertura y el ritmo de cerrado.

Complicando algo más la ecuación se obtuvieron resultados como los de la figura 8.

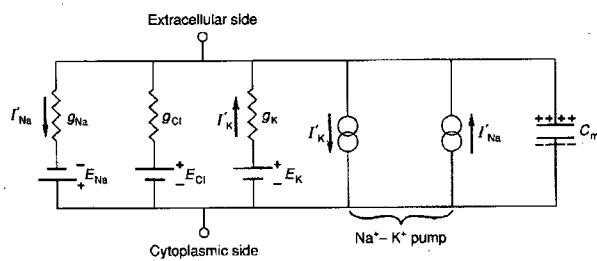


Figura 8. Modelo eléctrico de un segmento de membrana.

Una manera cómoda de representar un segmento (compartimento) de membrana es la de componentes electrónicos discretos (fig. 8). La membrana se comporta como una impedancia pasiva pero con un potencial de reposo no nulo (-80 mV). En paralelo se encuentra un compensador (capacidad trasmembrana) que representa la capacidad de almacenaje de cargas. Además de estos elementos básicos. Se encuentran conductancias llamadas activas que permiten el paso de NA y K. Su particularidad es que dependen del potencial de membrana y por esta razón muestran un fenómeno de avalancha que es el conocido potencial de acción.

Genesis permite interconectar compartimentos de manera manual o bien siguiendo criterios estadísticos. Ésta sería la primera fase en toda simulación que consiste en la construcción del modelo. También se dispone de librerías con varios tipos de canales (además de los ya vistos de NA y K). Su presencia unida a patrones de interconexión determinados entre neuronas son los responsables de los CPG (Central Pattern Generators). Estos son sistemas oscilantes normalmente actuando a modo de relojes en procesos repetitivos como andar, el latir del corazón, el nadar de los invertebrados, etc.

Otra aplicación del entorno Genesis la constituye la comparación de resultados experimentales de EEG (Electrical Encephalography) y resultados simulados. De esta manera se confirma que Genesis ofrece datos biológicamente creíbles. (Bower J., 1994).

ALGORITMOS DE APRENDIZAJE BIOLÓGICAMENTE PLAUSIBLES.

Una idea repetida con frecuencia es que la información almacenada en el código genético es a todas luces insuficiente para describir con exactitud los billones de conexiones sinápticas que forman el sistema nervioso central. Deben haberse codificado pautas para el comportamiento de la neurona (lo que computacionalmente serían algoritmos) que finalmente, después de una etapa de aprendizaje, consiguen rendimientos óptimos en variadas facetas del procesado de información.

Los algoritmos Hebbianos tienen su origen en la conocida regla de Hebb: una conexión entre neuronas con alta actividad acaba facilitándose. La potenciación de una conexión sináptica significa que la unidad receptora será alterada en mayor grado por el potencial de acción llegado de la primera. A veces, se generará otro potencial de acción en la neurona receptora y este se extenderá nuevamente por su axón. Este mecanismo ha sido observado experimentalmente (Bliss T., 1973) y se han inducido con electrodos cambios permanentes en las características de una sinapsis.

Pero ésta es sólo la idea general. Caracterizar más cuidadosamente este fenómeno hasta el punto de hacer posible la implementación de modelos artificiales con alguna utilidad práctica es una tarea más complicada. Los últimos trabajos han ofrecido resultados alentadores:

- se ha observado experimentalmente que algunas conexiones con una baja actividad han aumentado su eficiencia por mecanismos asociativos: cuando otras conexiones del mismo árbol dendrítico se han mostrado activas, las conexiones vecinas han aumentado su eficiencia aunque no hayan destacado por frecuencias altas de potenciales de acción (Levy, W., 1979).

- la actividad en contrafase en dos sinapsis se ha demostrado como un estrategia de reducción de la eficiencia de las conexiones. (Stanton P., 1989)

- la respuesta de una sinapsis es no lineal. Ante un tren de impulsos evocados mediante un electrodo, la sinapsis responde con una amplitud decreciente en el tiempo. La potenciación de esta durante periodos de alta actividad parece ser dependiente de la frecuencia de los trenes de potenciales de acción (Markram H., 1996).

- la vía de propagación clásicamente admitida para el potencial de acción había sido desde la dendrita, pasando por el soma celular y hasta el final del axón. Se



ha demostrado experimentalmente que la propagación en sentido inverso (aunque de manera algo más limitada) también es posible (Markram et al. 1994). El papel de este fenómeno en los algoritmos de modificación de pesos no se había estudiado hasta que recientemente se observó el efecto de un potencial de acción llegado por esta vía opuesta a la clásica hasta una sinapsis. El resultado importante se obtiene cuando antes o después de su llegada, ha aparecido también otro potencial nervioso desde una unidad diferente. Para diferencias menores de 100 msec, la coincidencia entre la propagación inversa y la llegada de un nuevo impulso puede tanto potenciar como disminuir el peso de la conexión.

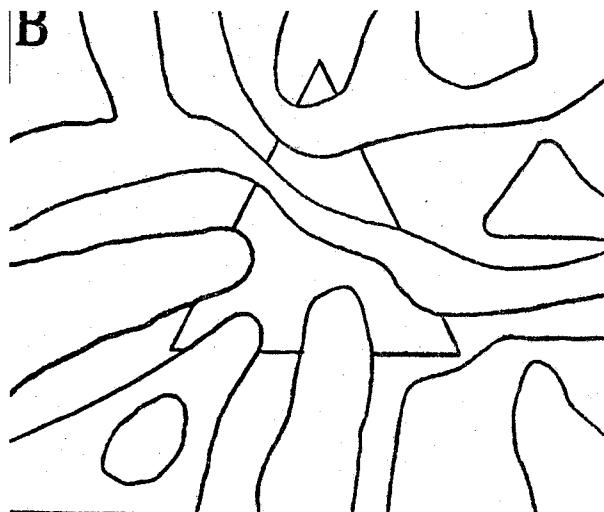


Figura 9. Triángulo ocluido pero fácilmente reconocible.

La pregunta sobre como estos resultados dan luz sobre el aprendizaje no supervisado del cerebro se está empezando a responder por varias vías. Una de ellas es la hipótesis de una red nerviosa fundamentada en la detección de invariancias en la información recibida.

Sería de utilidad un algoritmo capaz de descubrir en señales variantes con el tiempo características significativas mientras, que despreciara las que no lo fueran. De hecho, este es un problema parecido a la reducción de dimensionalidad.

Se han sugerido esquemas simples capaces de entrenar neuronas artificiales para que su salida sea una medida de la varianza de una señal o para que adapte sus

El filtrado de ruido sobre señales con componentes de baja frecuencia parece ser fácilmente implementable con mecanismos observados en sinapsis reales.

pesos en función de esta varianza. También se ha sugerido que la variancia significativa puede ser la mostrada en ventanas temporales grandes (los cambios lentos suelen comportar información significativa) mientras que para ventanas temporales pequeñas, la neurona puede minimizar su variancia. En otras palabras, el filtrado de ruido sobre señales con componentes de baja frecuencia parece ser fácilmente implementable con mecanismos observados en sinapsis reales.

En el apartado que sigue nos centraremos ya no en algoritmos sino en un modelo de neurona y una estructura de interconexión que ha mostrado propiedades interesantes.

DYNAMICAL LINKING

A título de ejemplo vamos a describir uno de los mecanismos surgidos del interés de los ingenieros por descubrir el comportamiento real del tejido nervioso.

Tanto en medidas multielectrodo en animales anestesiados como en simulaciones en entornos semejantes a *Genesis* se ha observado la posibilidad de que varias neuronas se sincronicen frente a determinados flujos de información. Esto significa que disparan sus potenciales de acción en fase y que mantienen una frecuencia casi idéntica (Eckhorn et al. 1988; Sporns et al. 1989). La estimulación con información visual simple (barras luminosas, flashes, etc.) ha demostrado que la sincronización está condicionada al estímulo, es decir, a la información procesada. Un mismo estímulo ocasiona la misma sincronización en experiencias repetidas.

¿Podría estar este fenómeno relacionado con alguna de las funcionalidades del cerebro?

En procesado de imagen el reconocimiento de objetos choca con la falta de algoritmos flexibles capaces de percibir como una unidad (el objeto) secciones dispersas pero con algunas características comunes. Por ejemplo, la figura 9 muestra un triángulo parcialmente oculto



Figura 10. Dálmatas con cabeza hacia la izquierda. Sólo reconocible después de entrenamiento

y la figura 10 un problema de reconocimiento incluso difícil para el ojo no entrenado.

Algunos autores han propuesto soluciones basadas en osciladores acoplados. Las señales sensoriales actúan sobre un grupo de neuronas modificando alguna de sus características como oscilador (fase, frecuencia o amplitud). Señales de magnitudes diferentes modifican de manera diferente el comportamiento del oscilador.

La red recibe los valores de potencia media para diversas bandas del espectro. El número de segmentos en que se ha de dividir éste es fijo y se estudió empíricamente para el problema específico que nos ocupa.

El número de unidades para la etapa de entrada se corresponde con el número de estas bandas. Cada unidad oscilante recibe como entrada la potencia media para la banda que se le ha asignado. Cuando el valor de la

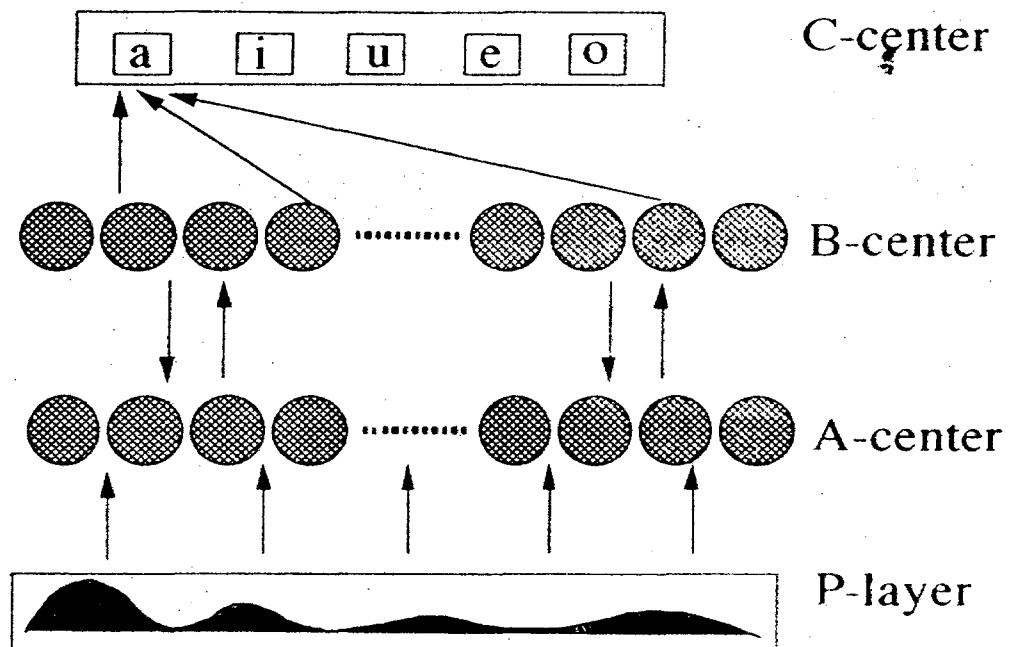


Figura 11. Red completa para reconocimiento de vocales por sincronización.

La sincronización aparece gracias a la interconexión de las unidades (tal como en el cerebro lo hacen los árboles dendríticos y los axones). La presencia de un estímulo en el campo visual asociado a una neurona comporta modificaciones en la actividad en todas aquellas que se le conectan. Estas conexiones tendrán un peso sináptico asociado, es decir, algunas perturbarán las unidades vecinas con mayor facilidad que otras.

En reconocimiento de voz también se ha propuesto un modelo de neurona y una estructura de la red capaz de identificar sonidos y clasificarlos correctamente. En concreto, vamos a ver la solución para el reconocimiento de vocales independiente del hablante.

*Será menos probable
conseguir oscilaciones
síncronas entre unidades que
no pertenezcan a ninguno de
los patrones aprendidos*

potencia en un segmento es suficientemente alta la unidad puede entrar en oscilación mientras que para valores bajos se mantienen constante.(capa A)

Conexiones laterales excitadoras e inhibidoras son responsables de la activación síncrona de varias unidades (sincronización local).

Una segunda capa de unidades posee interconexiones entre ellas con pesos prefijados. Un peso mayor hace más probable la sincronización mientras que uno menor la dificulta. Dado que cada patrón a reconocer se caracteriza por una determinada forma del espectro, los pesos en la segunda capa se determinan siguiendo dicha forma. Por ejemplo, si una vocal se caracteriza por valores de potencia altos en las bandas B1 y B4, las unidades de la capa B asignadas a estas bandas se interconectan entre ellas con pesos sinápticos altos.

La consecuencia de este patrón de interconexión es que existe una mayor probabilidad de que unidades de la segunda capa pertenecientes a alguno de los patrones aprendidos oscilen de manera síncrona. Será menos probable conseguir oscilaciones síncronas entre unida-



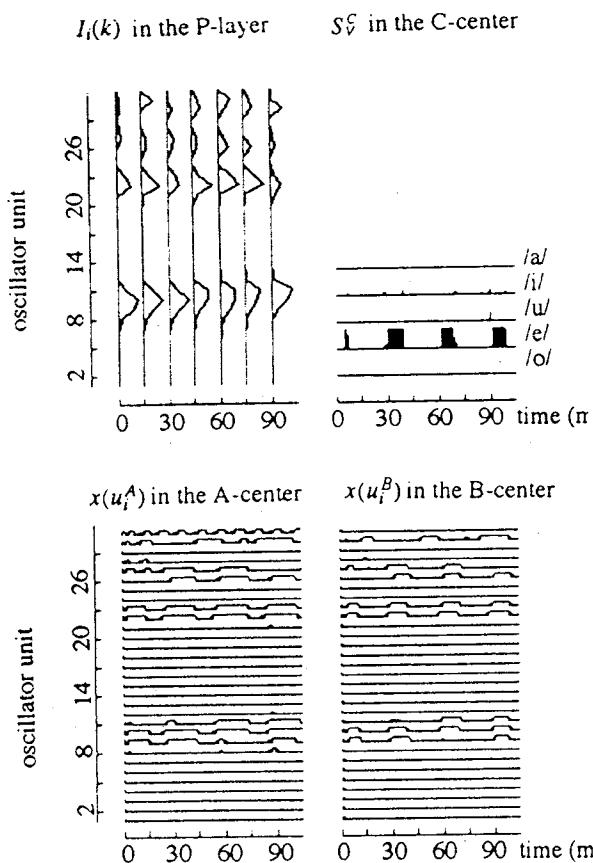


Figura 12. Espectro de entrada (sup-izq.)
Activación de unidades (inf.)
Detección de sincronización en última capa (sup-der.)

des que no pertenezcan a ninguno de los patrones aprendidos. En resumen, la estrategia seguida que pretende ser una hipótesis sobre el procesado auditivo es transformación del señal auditivo temporal en su espectro de potencia, excitación de las unidades de la primera capa proporcionalmente a la potencia de la banda del espectro que les corresponda, propagación de las oscilaciones de la primera capa a la segunda capa y detección de sincronizaciones en esta capa por correlación del valor instantáneo de las unidades.

El estado actual de la tecnología experimental y de la implementación VLSI hacen pensar que veremos pasos agigantados en los próximos años.

De hecho, puede suponerse que una tercera capa posee un grupo de unidades capaces de detectar valores altos y simultáneos en varias neuronas de la capa B.

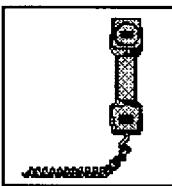
La fig. 12 muestra las sincronizaciones de la segunda capa para el espectro de una vocal. (Fang Liu et al, 1994).

CONCLUSIONES

Este artículo ha pretendido ser una introducción a las neurociencias desde la perspectiva del ingeniero. El Departamento de Ingeniería electrónica de la UPC ha propuesto soluciones hardware para implementación de R.N.A. (Cabestany J., et al., 1995). El estado actual de la tecnología experimental y de la implementación VLSI hacen pensar que veremos pasos agigantados en los próximos años. Algunos de los primeros resultados se han comentado en los párrafos anteriores.

BIBLIOGRAFÍA

- BLISS T., LOMO T., 1973. J. Physiol Lond. Vol 232:331.
- BOWER J., BEEMAN D., The book of Genesis. TELOS. Springer-Verlag. 1994.
- CABESTANY J., MORENO J.M., CASTILLO F., Realización física de redes neuronales artificiales (neurocomputadores). Computación Neuronal. Universidad de Santiago de Compostela. 1995.
- ECKHORN et al., Coherent oscillations : a mechanism of feature linking in the visual cortex? Biol Cybernetics 60:121-130. 1988
- FANG LIU et al., Flexible vowel recognition by the generation of dynamic coherence in oscillator neural networks: speaker-independent vowel recognition. Biol Cybern. 71, 105-114 (1994).
- HASSAUN M., Fundamentals of artificial NN. The MIT Press. 1995.
- KANDEL E., et al. Essentials of Neural Science and Behaviour Ed. Appleton and Lange. 1995.
- LEVY W.B., Steward O., Brain Research 175, 233-245 (1979).
- MARKRAM H., et al. Redistribution of synaptic efficacy between neocortical pyramidal neurons. Nature Vol 382:807.
- MARKRAM H., et al. Regulation of Synaptic Efficacy by Coincidence of Postsynaptic Apps and EPSPs. Science Vol 275, p213.
- PENROSE R.. Shadows of the mind. Oxford University Press. 1994.
- STANTPN P., SEJNOWSKI T. 1989. Associative long-term depression in the hippocampus induced by Hebbian covariance. Science. Vol 339:215.
- SPORNS O. et al. Reentrant signaling among simulated neuronal groups leads to coherency in their oscillatory activity. Proc. Natl. Acad. Sci USA 86:7265:7269.



COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA Y TELEFONÍA MÓVIL

Fernando Las Heras Andrés

Profesor Titular. Grupo de Radiación.
Dpto. Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones
ETS de Ing. de Telecomunicación. Universidad Politécnica de Madrid.
e-mail : fernando@gr.ssr.upm.es

Uno de los aspectos menos conocidos que trata la Compatibilidad Electromagnética (CEM) es la regulación de estándares de seguridad, es decir, normativa relacionada con posibles riesgos de las radiaciones en la salud de las personas.

Inicialmente se pueden clasificar las radiaciones en ionizantes (aquellas que produce mutaciones celulares o daños genéticos, p.ej. los rayos X) y no ionizantes, incluyéndose aquí la banda de radiofrecuencia (RF). Los efectos que los campos electromagnéticos de RF tienen sobre un sistema biológico son de tipo térmico cuando se trata de campos de alta potencia, pero también pueden ser análogos a los de una radiación ionizante si se trata de campos de baja potencia y larga exposición.

La mayoría de los servicios de telefonía celular actualmente operan en la banda 900MHz ; por ejemplo, el sistema de telefonía móvil digital GSM opera en la banda 890-915MHz para la transmisión desde el móvil con una potencia de pico que para un terminal personal alcanza 2W. Cabe preguntarse si esta potencia de una emisión no ionizante radiada por una antena a pocos centímetros de la cabeza del usuario puede tener algún riesgo por la seguridad de éste.

De hecho, en Estados Unidos, a inicios de 1993, se inició una gran polémica sobre la posible incidencia de la exposición a radiaciones de RF en la generación de diversos tipos de cáncer, y en concreto, la incidencia del uso de teléfonos móviles celulares en la aparición de cáncer en el cerebro.

Tras muchos debates, estudios estadísticos e investigación patrocinada tanto por empresas privadas como por iniciativa gubernamental no se llegó a ninguna evidencia definitiva sobre el impacto de la utilización de teléfonos en la aparición de cáncer de cerebro u otro tipo de alteraciones biológicas [1].

Sin embargo sirvió para sensibilizar a la población y hacer que las instituciones dedicadas a la

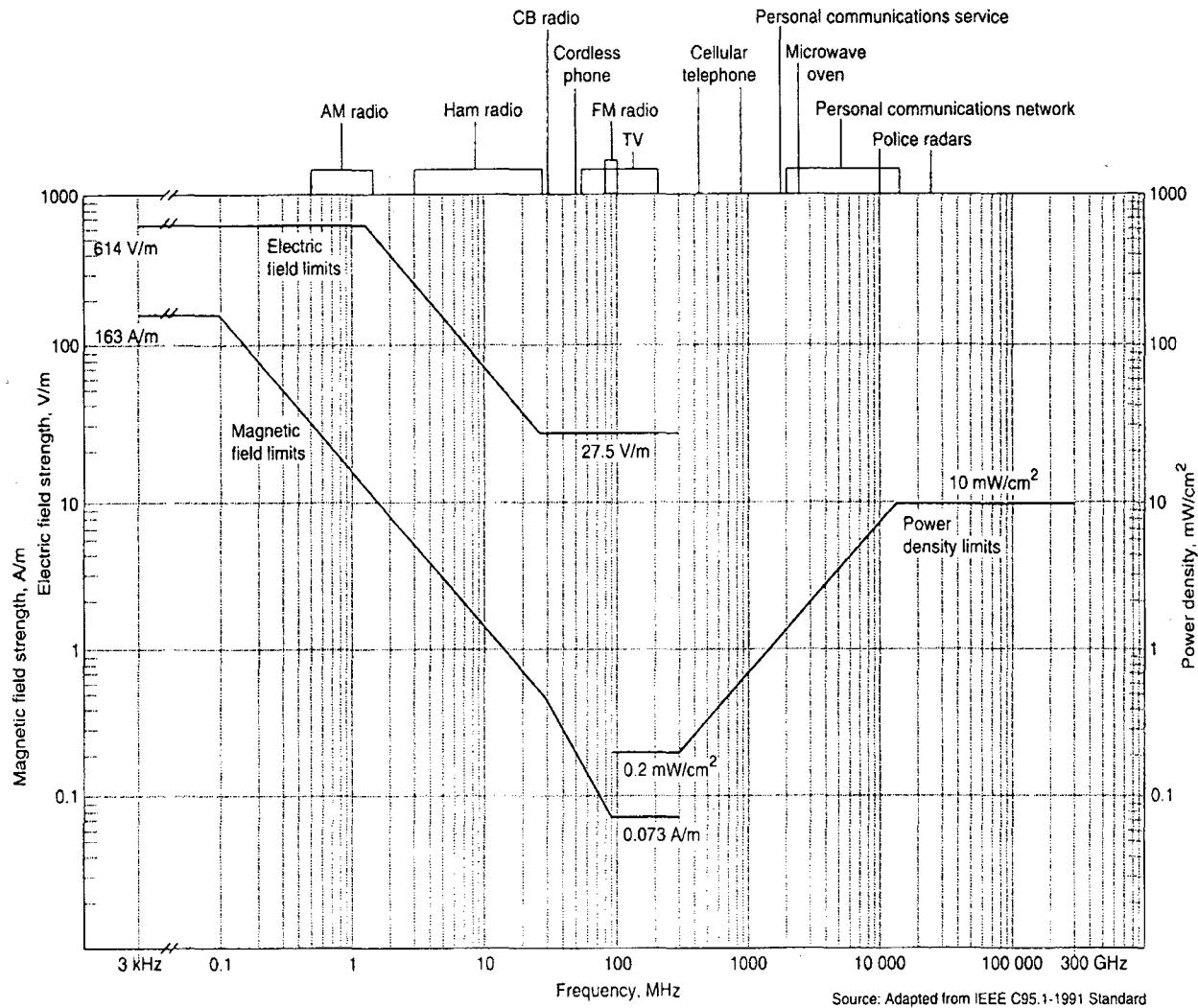
normalización en el campo de la CEM tuvieran que replantearse sus estándares y promover nuevos estudios (algunos de los cuales todavía no han concluido). En Estados Unidos el estándar más reciente sobre seguridad en relación con los teléfonos celulares y otros productos es la IEEE C95.1-1991 : «IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3KHz to 300GHz», que también está reconocida como norma ANSI (American National Standards Institute).

Los efectos de los campos electromagnéticos de RF (...) pueden ser análogos a los de una radiación ionizante si se trata de campos de baja potencia y larga exposición.

¿ Y en España ? Pues lo mismo pero con el correspondiente retardo y atenuación. Retardo tecnológico de Europa en general y de España en particular, que obliga a seguir los pasos que se marcan desde las organizaciones de normalización «internacionales» (IEEE, ANSI) y su adopción por la FCC (Federal Communications Commission). Atenuación del impacto social debido a nuestra propia idiosincrasia, ya que seguramente no tendremos ningún rubor en hablar en cualquier tertulia de tal o cual personaje público, pero ¿ a quién se le ocurriría hablar de los posibles riesgos de la radiación de los teléfonos móviles en el cerebro de sus usuarios ?

En cualquier caso ya tenemos en España una norma equivalente a la C95.1. Es la norma europea UNE-ENV 50166-2 :1996 «Exposición Humana a





Source: Adapted from IEEE C95.1-1991 Standard

Figura 1. Límites de seguridad del estándar C95.1-1991 en la banda 3KHz-300GHz, en entorno no controlado.

Campos Electromagnéticos. Alta Frecuencia (10KHz a 300GHz).»

Para un entorno no controlado (donde a priori no se conoce la exposición) y para la banda 300-3000MHZ, la norma C95.1 recomienda una exposición máxima en términos de densidad de potencia (S) de $f/1500 \text{ mW/cm}^2$ (siendo f la frecuencia en MHz) en un tiempo medio de 30 minutos, aunque puede excederse siempre que la tasa de absorción específica (SAR) sea inferior a 0.08 W/Kg promediado a todo el cuerpo o que en todo punto no se sobrepase una SAR de 1.6W/Kg promediado sobre 1 gramo de tejido.

En dicha norma se define la absorción específica (SA) como el incremento de energía (dWe) absorbida o disipada en un incremento de masa (dm) contenido en un elemento de volumen (dv) y dada una densidad (ρ). La tasa de absorción específica (SAR) se define como la variación temporal de la absorción específica : $\text{SAR} = d/dt(dWe/dm) = d/dt(dWe/(dv))$.

Ciento es que los niveles descritos en el estándar anterior se han fijado dejando un gran margen respec-

to de niveles que sí se saben que son dañinos. Por ejemplo, se acepta entre los investigadores médicos que una exposición por encima de los 100W/Kg de SAR durante más de 100 minutos puede producir cataratas por sobrecalentamiento. Sin embargo el debate queda más abierto cuando los efectos no son directamente térmicos, es decir , niveles más pequeños pero con tiempos continuos o pulsado de más larga duración ; y todavía hoy se discuten temas como el posible efecto en los núcleos celulares donde se localiza el DNA.

Pero supongamos, en cualquier caso, que los niveles de los estándares de seguridad existentes garantizan que no hay ningún efecto biológico por la utilización de un teléfono móvil personal (ojo que no nos estamos refiriendo a los teléfonos inalámbricos domésticos, cuyas potencias de emisión hacia la base que se conecta a la red telefónica básica son muy inferiores a las del teléfono móvil celular).

Entonces para hacernos una idea de la holgura con que se cumplen dichos estándares deberíamos analizar una configuración en la que se está radiando

a la frecuencia de 900MHz un campo electromagnético a través de la antena de teléfono móvil personal que se sitúa a escasos centímetros de la cabeza y con una potencia de pico a la entrada de la antena que puede variar típicamente entre 0.2 y 2 watos. A estas frecuencias la exposición máxima no se fija en términos de campo eléctrico o magnético sino en términos de densidad de potencia (S) o, si esta se excede, en términos de tasa de absorción específica (SAR). Estos últimos parámetros son calculables a partir del conocimiento del campo electromagnético en dicho entorno.

De hecho se han publicado resultados sobre simulaciones en ordenador del campo electromagnético que se genera en un sistema compuesto de un dipolo situado en las proximidades de una estructura que en forma y material simula los tejidos biológicos de la cabeza humana. Algunos resultados utilizando el método de los momentos y diferencias finitas en el dominio del tiempo (FDTD) pueden encontrarse en [2] y [3], respectivamente.

Sin embargo vamos a tratar de llegar a algunos resultados del mismo orden de magnitud y de una forma mucho más simple que requiere únicamente unos conocimientos básicos de propagación. Para ello realizaremos la aproximación de que la potencia se radia isotrópicamente y que el campo radiado pese a que estamos en una zona de campo próximo se com-

porta como una onda plana en espacio libre. A partir de estas suposiciones se puede estimar el valor de densidad de potencia, S, y de la tasa de absorción específica, SAR, tal como se indica en el diagrama de la figura 2.

Por ejemplo, con una potencia P=1W (suponiendo una antena omnidireccional y que toda la potencia a la entrada de antena se radia), tomando una distancia al cerebro de R=5cm, y unas propiedades del tejido cerebral de conductividad $\sigma=1.23 \text{ S/m}$ y densidad $\rho=1.03 \times 10^3 \text{ Kg/m}^3$, se obtienen los valores

$$S=32 \text{ W/m}^2, E=155 \text{ V/m}, \text{ SAR}_{\text{pico}}=14 \text{ W/Kg}$$

A la misma distancia los resultados de la simulación realizada en [3] utilizando FDTD, cuya discretización y curvas de nivel de campo se muestran en la figura 3, dan un valor de SAR de pico de aproximadamente 4W/Kg, valor más real y algo más bajo que el calculado de manera aproximada, como cabría esperar cuando se tienen en cuenta efectos como la reflectividad de la piel, la reducción de la ganancia del sistema radiante en presencia del operador, las características dieléctricas de los tejidos

En cualquier caso podemos sacar conclusiones interesantes. En primer lugar la densidad de potencia es superior a la que se establece en la norma C95.1

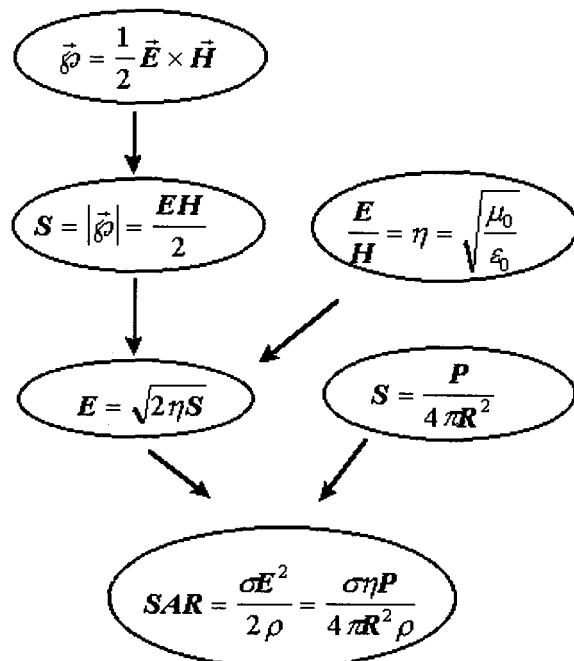


Figura 2. Aproximación de onda plana radiando en medio indefinido para la estimación de SAR.

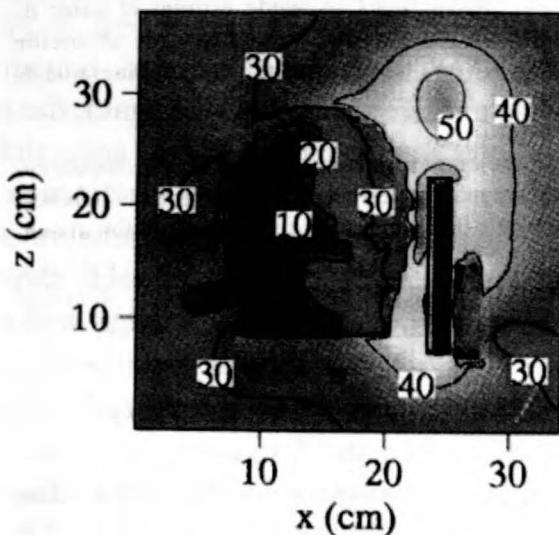


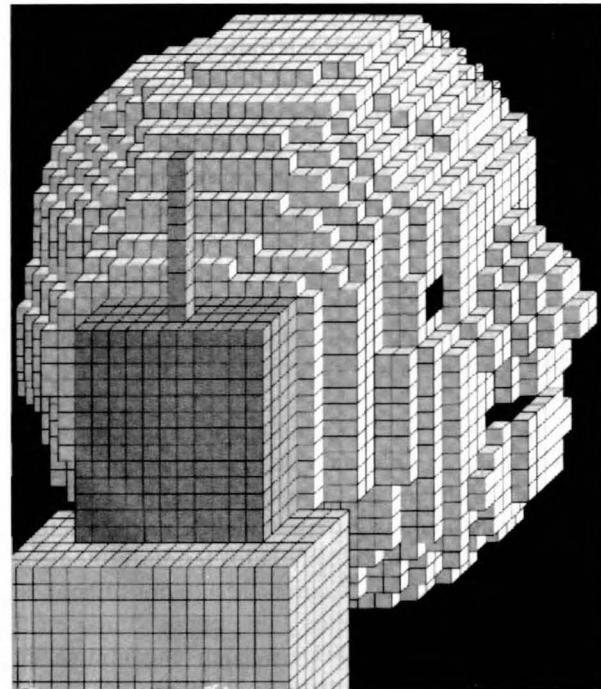
Figura 3. Discretización y niveles de campo, $10\log(E2)$, del análisis FDTD realizado en [3].

($f/1500 \text{ mW/cm}^2 = 6 \text{ W/m}^2$ a la frecuencia de 900MHz). Por tanto hay que proceder a comparar los valores de pico de SAR obtenidos en nuestro problema con los máximos recomendados (1.6 W/Kg). ¡ Curiosamente se sobrepasan!

Y aunque los números presentados inducen a la preocupación, no se puede llegar a ninguna conclusión definitiva pues el punto de partida -establecimiento de los valores máximos- no tiene un fundamento científico exacto y de hecho en el estándar C95.1 los niveles máximos radiados quedan redactados en el apartado de «Recomendaciones» y son estándares que deben revisarse cada 5 años.

¿Hacia dónde vamos en este tema ? La evidencia muestra que con el progreso tecnológico la sociedad también se conciencia más del impacto ecológico de aquél y los organismos de normalización tienden a

En Estados Unidos, a inicios de 1993, se inició una gran polémica sobre la posible incidencia de la exposición a radiaciones de RF en la generación de diversos tipos de cáncer

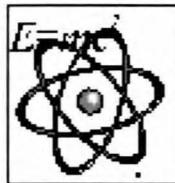


proponer normas más restrictivas, sobre todo cuando todavía queda incertidumbre sobre los riesgos reales, si es que los hay. Por ejemplo, en esta norma se cita que no se ha demostrado que la duración de exposición con los niveles dados en una norma anterior (la ANSI C95.1-1982) sea un riesgo significativo y sin embargo el nuevo estándar es más restrictivo. Por otra parte la tendencia del servicio de telefonía celular es aumentar la cobertura, y ello pasa por disminuir el tamaño de celda, disminuir la distancia entre estaciones base y disminuir la potencia de los terminales base y móviles.

Un último consuelo para pesimistas e hipocondríacos : según se recoge en la norma C95.1-1991 , tampoco se ha encontrado fundamento científico en que ciertos grupos de población puedan ser más susceptibles a que se manifieste en ellos efectos por exposición a los campos electromagnéticos a esas frecuencias. Si es así al menos podremos decir que todos somos iguales ante la radiación no ionizante.

REFERENCIAS

- [1] M. FISCHETTI. «The cellular phone scare». IEEE Spectrum, June 1993.
- [2] H.R. CHUANG. «Human Operator Coupling Effects on Radiation Characteristics of a Portable Communication Dipole Antenna. IEEE AP, vol 42, no.4, April 1994.
- [3] M.A. JENSEN, YAHYA RAHMAT-SAMII. «EM Interaction of Handset Antennas and a Human in Personal Communications». Proceedings of the IEEE, vol.83, no.1, January 1995.



SISTEMAS DE COMUNICACIÓN TRANSOCEÁNICOS: EFECTO GORDON-HAUS

Alejandro Cañada García

Ingeniero de Telecomunicación de la E.T.E.S.E. Telecomunicación de Barcelona

Universidad Politécnica de Cataluña

e-mail: acanada@iies.es

INTRODUCCIÓN

En estos momentos se despliegan por todo el mundo sistemas de comunicación capaces de afrontar el gran incremento producido en el campo de las telecomunicaciones en los últimos años. Los nuevos sistemas de transmisión ópticos trabajan a velocidades por canal de 2.5 Gbit/s. A nivel intercontinental, este enorme tráfico solo puede ser transportado por los cables submarinos de fibra óptica, ya que la capacidad de los antiguos cables coaxiales o de los enlaces por satélite es muy reducida frente a la demanda y al ancho de banda óptico. Así se están instalando actualmente los últimos cables transoceánicos ópticos como el TAT-12/13 en el Atlántico Norte, el TPC-5, un anillo óptico que comunica ambos lados del Pacífico o el Africa ONE, una enorme red óptica de 40,000 km que hacia 1999 proporcionará al continente africano las más modernas tecnologías en telecomunicaciones [1,2].

Todos estos proyectos se basan en la transmisión totalmente óptica, donde los complejos repetidores de los antiguos sistemas, llamados híbridos ya que interrumpen la propagación en la fibra para regenerar electrónicamente el pulso, han sido sustituidos por amplificadores ópticos de fibra dopada con Erbio (EDFA). Estos últimos consiguen superar el cuello de botella que la regeneración electrónica impone en la capacidad de transmisión y además son más económicos. Sin embargo, el diseño del sistema debe ser estudiado desde un punto de vista totalmente diferente: los efectos que limitan principalmente la propagación en la fibra como el ruido de emisión estimulada (ASE) de los EDFA's, la dispersión y la no linealidad, se acumulan ahora con la distancia. Aunque existan diversas técnicas para minimizarlos, la capacidad de estos sistemas parece quedar limitada por la dispersión y la no linealidad en torno a los pocos Gbit/s por canal. La transmisión de solitones ópticos, pulsos de gran robustez capaces de propagarse indefinidamente sin distorsión, gracias al efecto combinado de la dispersión y de la no linealidad de la fibra, es la alternativa para superar este límite. Sin embargo las pérdidas de la fibra obligan a amplificar el solitón para poder mantener sus propiedades. Como en los sistemas convencionales, el ruido de los amplificadores se va a acumular con la

distancia, pero además, la propagación del solitón en su presencia, se va a ver afectada de una forma muy particular: el solitón llega al extremo de la fibra desplazado en el tiempo aleatoriamente. Este jitter es conocido como efecto Gordon-Haus y limita severamente la capacidad de un sistema basado en la transmisión de solitones. Para reducirlo se recurre habitualmente a técnicas activas como la modulación síncrona o pasivas como el filtrado óptico después de cada amplificación. Esta última es la técnica de mayor proyección pues, además de su simplicidad, permite el uso extensivo del multiplexado en división de longitud de onda (WDM), mediante el cual se pretenden alcanzar velocidades del orden de 100 Gbit/s por fibra.

Primero describiremos las características y limitaciones de un cable transoceánico de fibra óptica, después analizaremos la propagación de los solitones en la fibra y finalmente simularemos el efecto Gordon-Haus y su reducción mediante filtros ópticos.

SISTEMAS DE LARGA DISTANCIA

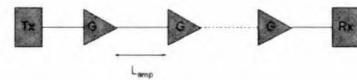


Figura 1: Configuración de un sistema totalmente óptico (Tx: Transmisor, Rx: Receptor, L_{amp} : Distancia entre amplificadores, G: Ganancia del amplificador para compensar las pérdidas en L_{amp}).

La figura 1 representa el esquema general de un sistema por fibra óptica de larga distancia. En los casos que plantearemos más adelante tomaremos una velocidad de bit B de 10 Gbit/s, una separación entre amplificadores L_{amp} de 31,5 km y una distancia de 9000 km. En comunicaciones ópticas se considera una transmisión libre de error cuando la probabilidad de error es inferior o igual a 10^{-9} . Cada etapa de amplificación añade



a la señal ruido de emisión espontánea que se va a ir acumulando a lo largo del enlace. En el extremo de la fibra de longitud L la densidad espectral de ruido resulta igual a:

$$S_{acu} = N(G - 1)hv n_{sp} = \frac{\alpha L}{\ln G} (G - 1)hv n_{sp} \quad (1)$$

donde h es la energía de un fotón, G y n_{sp} son respectivamente la ganancia del amplificador y el factor de emisión espontánea del amplificador, N el número de amplificadores y el coeficiente de pérdidas de la fibra. El ruido acumulado va a depender del factor $(G-1)/\ln G$, por lo que para minimizarlo va a ser necesario reducir la ganancia, o lo que es lo mismo, la distancia entre amplificadores. Esto incide directamente en los costes del sistema, que pretende una mayor separación entre amplificadores Lamp para reducir su número.

Los últimos sistemas de comunicación transoceánicos por fibra óptica utilizan amplificadores de fibra dopada con Erbio

Por otro lado el efecto de la dispersión cromática (cambio del índice de refracción con la frecuencia) se traduce en el progresivo ensanchamiento del pulso de entrada. Cada componente frecuencial tiene una velocidad de fase diferente por lo que llegan al extremo de la fibra en momentos diferentes. Si el ensanchamiento es tal que pulsos consecutivos se solapan, entonces no podremos distinguir el uno del otro (Interferencia Inter Simbólica). La longitud de dispersión L_D , que depende del ancho del pulso y de la dispersión de la fibra, indica la distancia a partir de la cual el efecto dispersivo empieza a ser importante. En sistemas de larga distancia este efecto se va a ir acumulando, por lo que la necesidad de mantener una buena probabilidad de error limita la máxima tasa de bit, ya que los pulsos deberán estar más separados. Se opera en tercera ventana ($1.55 \mu m$), donde podemos obtener fibras con dispersión mínima (esto normalmente sucede a $1.3 \mu m$), las ‘Dispersion-Shifted Fibers’ (DS).

Finalmente, las fibras ópticas tienen un comportamiento no lineal caracterizado por la dependencia del índice de refracción con la intensidad del campo óptico. Esta dependencia es conocida como efecto Kerr y se expresa como:

$$n = n_0 + n_2 I, \quad (2)$$

donde n_0 es la parte lineal del índice de refracción y n_2 el coeficiente no lineal ($\sim 3 \times 10^{-16} \text{ cm}^2/\text{W}$ en fibras de silicio). La consecuencia es que se produce un cambio de fase en el pulso, que depende de la amplitud del campo provocando el ensanchamiento del espectro. En el mínimo de dispersión, esta automodulación de fase (SPM), junto con la presencia de la señal y del ruido de los amplificadores, genera nuevas componentes frecuenciales que acaban degradando la señal. De forma análoga al caso anterior, se define una longitud de no linealidad LNL , dependiente de la potencia del pulso y de la no linealidad de la fibra, que nos proporcionará una escala para medir el efecto no lineal.

Supongamos que deseamos transmitir el tren de pulsos gaussianos de la figura 2 compuesto por 32 “0” y 32 “1” en un sistema totalmente óptico convencional con formato RZ (Return to Zero). Hemos propagado el tren de pulsos en la fibra resolviendo numéricamente la ecuación de Schrödinger mediante el método Split-Step Fourier [3], sin tener en cuenta el ruido ASE. L_{amp} es igual a 31.5 km y la fibra tiene unas pérdidas de 0.21 dB/km, un coeficiente de dispersión $D = -0.4 \text{ ps/km.nm}$ y un coeficiente no lineal $n_2 = 3.2 \times 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$. La ganancia de los amplificadores es 6.6 dB. Los pulsos tienen un ancho FWHM (medido a la mitad del máximo) de 20 ps y la separación entre ellos es de 100 ps, resultando una tasa de bit de 10 Gbit/s. Simulando un fotoreceptor ideal y tomando los bits de tres en tres obtenemos el diagrama de ojo inicial de la figura 3 [4]. La figura 4 representa el diagrama de ojo después de 5000 km. Observamos claramente el deterioro de la señal recibida por lo que a esta distancia no podremos transmitir a 10 Gbit/s. En definitiva la dispersión y la no linealidad de la fibra limitan la velocidad por canal de un sistema de larga distancia convencional a unos pocos Gbit/s. La solución para aumentar en un orden de magnitud esta tasa de bit está en la transmisión de solitones ópticos.

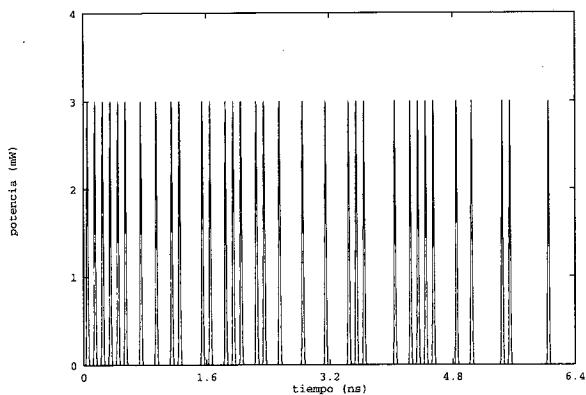


Figura 2: Tren de pulsos a la entrada de la fibra, 32 “0” y 32 “1”. El valor de la potencia indicado solo corresponde a la simulación de la figura 4.

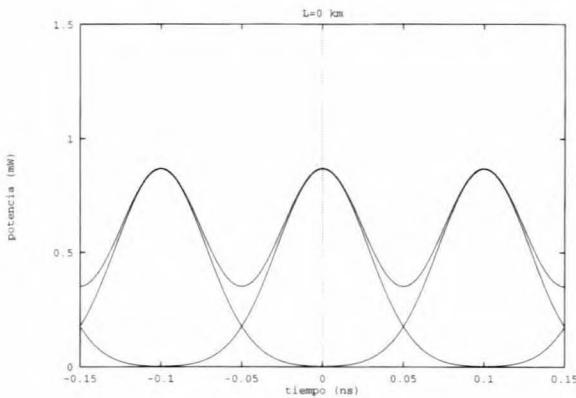


Figura 3: Diagrama de ojo del tren de pulsos de entrada. El ancho de banda eléctrico es 5 GHz.

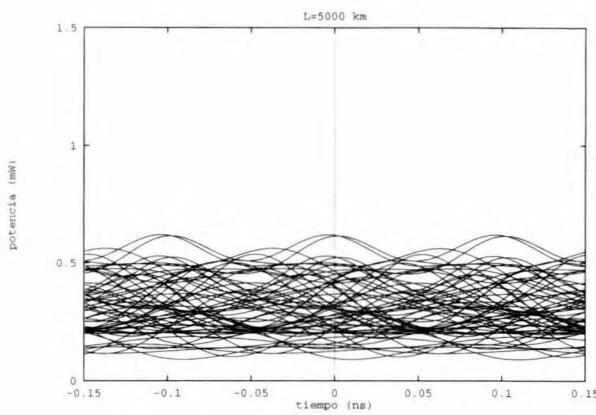


Figura 4: Diagrama de ojo a 5.000 km. La dispersión y la no linealidad han degradado la señal.

SOLITONES EN FIBRA ÓPTICA

En términos generales la palabra solitón se refiere a un tipo particular de ondas que bajo ciertas condiciones se propagan en solitario y sin distorsión indefinidamente. Su existencia en la fibra óptica fue propuesta y demostrada numéricamente por Akira Hasegawa en 1973, aunque no fue hasta 1980 cuando se observaron los primeros solitones ópticos en fibra. Desde entonces se han propuesto múltiples aplicaciones para su uso en sistemas de comunicación y en dispositivos ópticos. Lo que les hace extraordinariamente aptos para las comunicaciones a larga distancia es que consiguen mantener su forma y su espectro a lo largo del enlace gracias al efecto combinado de la no linealidad y de la dispersión.

Los solitones más habituales son los que tienen un perfil en forma de secante hiperbólica: $u(t)=N \operatorname{sech}(t)$, donde N es el orden del solitón. Cuando $N=1$, se le llama solitón fundamental y es el utilizado en sistemas de transmisión pues los demás no conservan el mismo perfil, aunque evolucionan de forma periódica a lo largo de la distancia (a este periodo se le llama periodo de solitón). Sus parámetros característicos son la potencia de pico P_0 , el ancho T_0 ($T_0=T_{FWHM}/1.763$) y el periodo de solitón z_0

(depende del ancho T_0 y de la dispersión de la fibra). En una fibra sin pérdidas el solitón fundamental se propagaría indefinidamente en el régimen de dispersión anómala ($D>0$) si escogemos T_0 y P_0 tales que $L_D=L_{NL}$, es decir si las magnitudes de los efectos dispersivo y no lineal son de la misma magnitud. Sin embargo, en una fibra real necesitamos amplificar el pulso periódicamente para restaurar su potencia. Para ello se utiliza el esquema del llamado solitón promedio. La idea consiste en dar al solitón una potencia mayor (en un factor que llamaremos $Q=G\ln G/(G-1)$), de forma que en promedio, se comporte como un solitón fundamental en una fibra sin pérdidas [3]. La figura 5 representa la evolución del solitón promedio en una fibra con los mismos parámetros que los de la figura 2 pero $D=0.4$ ps/km.nm, resultando $Q=1.9$ y $L_{amp}=L_D/8=31.5$ km. Vemos que de este modo podemos propagar a largas distancias solitones ópticos, superando las limitaciones que suponían la dispersión y la no linealidad en los sistemas convencionales.

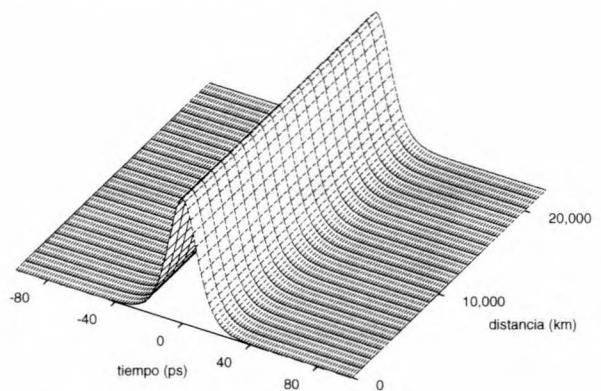


Figura 5: Propagación del solitón promedio.

EFFECTO GORDON-HAUS

Desgraciadamente, en los sistemas de transmisión de solitones, el ruido ASE, además de degradar la relación señal a ruido, da lugar al efecto Gordon-Haus que limita severamente el producto entre la tasa de bit y la distancia máxima de propagación [5]. Los EDFA's introducen ruido ASE en cada amplificación. Debido a la no linealidad, parte del ruido se incorpora al solitón: las variaciones de amplitud varían el ancho temporal del pulso, mientras que las variaciones de fase conducen a cambios aleatorios de la frecuencia de portadora, el llamado "Random Walk" frecuencial. Las fluctuaciones del ancho son suficientemente pequeñas para no afectar significativamente a la transmisión. Sin embargo los cambios en la frecuencia de portadora varían la velocidad de grupo a cada amplificación, con lo que el pulso llega al extremo de la fibra desplazado de forma aleatoria. El producto tasa de bit-distancia de transmisión, BL , queda entonces limitado por:

$$BL \leq 0.4945 \left(\frac{f^2 A_{ef} L_{amp} Q}{q_0 n_{sp} n_2 D h(G-1)} \right)^{1/3} \quad (3)$$



donde hemos supuesto una ventana de detección igual a $2T_w = 2f/B$ (normalmente $f=1/3$), h es la constante de Planck, D es el parámetro de dispersión, A_{ef} es el área efectiva de la fibra y $2q_0$ es la separación entre solitones normalizada a T_0 ($B=1/2q_0T_0$). A partir de la ecuación (3) vemos que la distancia L disminuye con el cubo de la tasa de bit y con la potencia del solitón (P_0D/T_0), que se convierte en un parámetro de compromiso cuyo valor deberá ser grande para tener una buena relación señal a ruido pero pequeño para minimizar el efecto Gordon-Haus. A altas tasas de bit, la distancia máxima de transmisión queda por lo tanto limitada severamente. De hecho existe otra fuente de jitter debida a la interacción entre solitones vecinos, aunque el efecto Gordon-Haus prevalece como la principal limitación del producto BL .

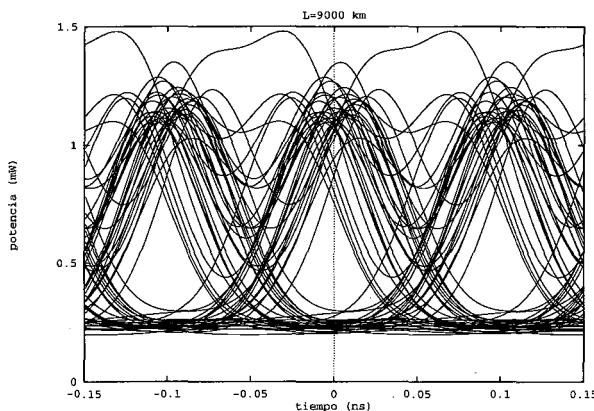


Figura 6: Diagrama de ojo del tren de pulsos recibido a 9.000 km en presencia del ruido de los amplificadores. El jitter observado es el efecto Gordon-Haus.

En términos generales la palabra solitón se refiere a un tipo particular de ondas que bajo ciertas condiciones se propagan en solitario y sin distorsión indefinidamente.

Para comprobar el efecto Gordon-Haus hemos propagado el mismo tren de la figura 2 pero esta vez transmitimos solitones promedio. Los parámetros del sistema y de los pulsos son los mencionados anteriormente. Para simular el ruido basta con sumar a la señal en cada amplificación componentes espectrales complejas convenientemente normalizadas [4]. El factor de emisión

espontánea de los amplificadores es $n_{sp} = 1.4$. En la figura 6 comprobamos cómo el diagrama de ojo se ha degradado a causa de la acumulación de ruido y al jitter temporal debido principalmente al efecto Gordon-Haus. La desviación típica del jitter resulta igual a 13.4 ps. En la figura 7 podemos observar cómo el efecto Gordon-Haus y también la interacción entre solitones (se producen dos colisiones) afectan negativamente a la propagación de los pulsos.

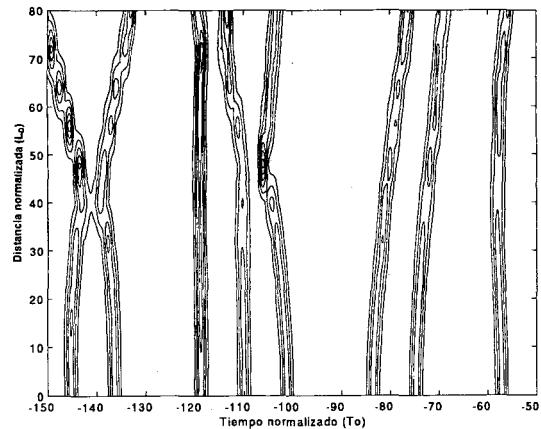


Figura 7: Evolución del contorno de campo correspondiente a la palabra 11011101101 ($L_D=252$ km, $T_0=11.3$ ps).

Para reducir este jitter deberemos actuar sobre la transmisión. Lo haremos colocando filtros ópticos después de cada amplificador [4,6]. Imaginemos que las fluctuaciones de ruido han desplazado el espectro del solitón de la frecuencia central del filtro. Según la figura 8, las frecuencias altas van a sufrir mayores pérdidas que las bajas. El resultado es que se produce un desplazamiento del espectro hacia la frecuencia central. De esta forma se crea una fuerza que atrae de nuevo al solitón, evitando así su desplazamiento en frecuencia. Entonces bastará añadir un exceso de ganancia δ (en campo y normalizado) a la ganancia del amplificador para restaurar la energía perdida en los lados del espectro por el efecto del filtrado, mientras que la acción de la no linealidad en el siguiente tramo de propagación se encargará de recuperar las características del solitón.

Los filtros ópticos más sencillos son los Fabry-Perot (FP). El ancho de banda del filtro B_w viene relacionado con el exceso de ganancia por:

$$B_w = \frac{1}{\pi T_0} \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{3} \frac{\delta L_{amp}}{L_D}}} . \quad (4)$$

En la figura 9 podemos observar la ostensible mejora del diagrama de ojo usando filtros de ancho de

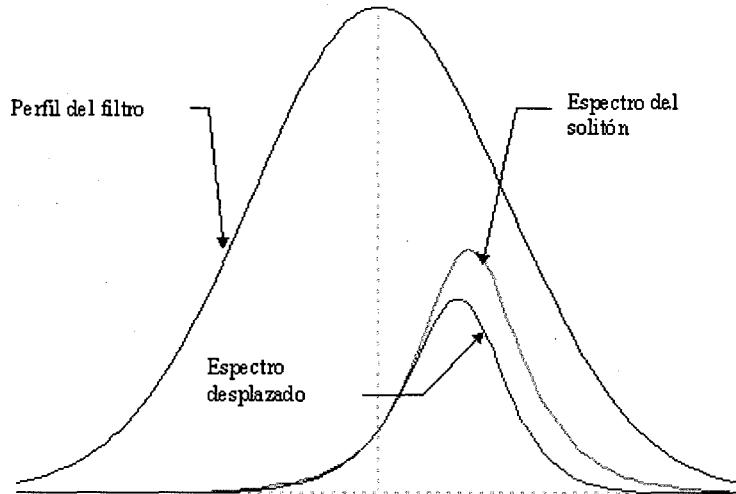


Figura 8: Si el solitón se desplaza en frecuencia, el filtro atenúa el espectro de forma desigual. Se produce un desplazamiento del espectro hacia la frecuencia central del filtro (las proporciones del gráfico han sido exageradas).

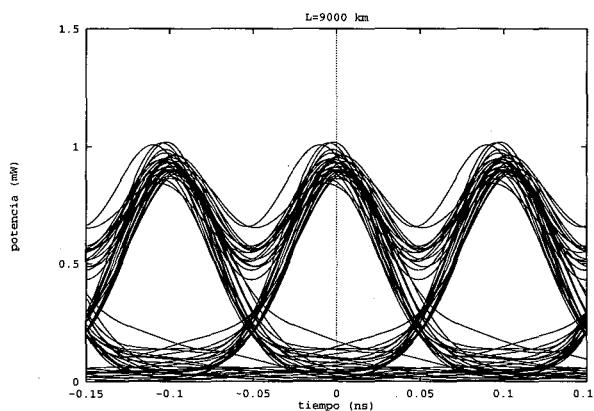


Figura 9: Diagrama de ojo a 9.000 km con filtros en línea Fabry-Perot con $BW=145$ GHz.

banda igual a 145 GHz ($\delta=0.05$); el jitter se ha reducido a 3.1 ps. Además el filtrado periódico consigue reducir el nivel de ruido acumulado.

Se ha conseguido eliminar la mayor parte del jitter de la figura 5.

En algunos casos necesitaremos transmitir a mayores distancias. Desafortunadamente el exceso de ganancia hará crecer la potencia de ruido en la banda de paso, que acabará por destruir el solitón [7]. Lo podemos ver en la figura 10, en la que el diagrama de ojo a 15000 km está completamente deteriorado, los solitones se han destruido. Si en vez de transmitir a una distancia mayor nos hubiera interesado reducir más el jitter habríamos utilizado filtros de ancho de banda menor, con una fuerza de atracción y también un exceso de ganancia mayor, por lo que el ruido se habría acumulado más rápidamente y la

inestabilidad habría aparecido antes. Una forma de evitar esta acumulación de ruido consiste en desplazar progresivamente la frecuencia central de los filtros de modo que el ruido superviviente del anterior filtrado se vea parcialmente eliminado por el siguiente, y así sucesivamente [8]. De esta forma el ruido es incapaz de seguir el desplazamiento de la banda de paso, mientras que el solitón es atraído permanentemente por los filtros.

Otra opción para evitar la inestabilidad de los FP consiste en utilizar filtros con un perfil que permita reducir el exceso de ganancia. Los candidatos más simples para ello son los filtros Butterworth [9], cuyo comportamiento en la banda de paso es maximalmente plano. De este modo reducimos el exceso de ganancia respecto del caso FP para una misma fuerza. Hemos sustituido los filtros FP anteriores por filtros Butterworth de orden 2 de misma fuerza, con un ancho de banda de 75 GHz y un exceso de ganancia $\delta=0.025$ (la mitad del filtro FP). La

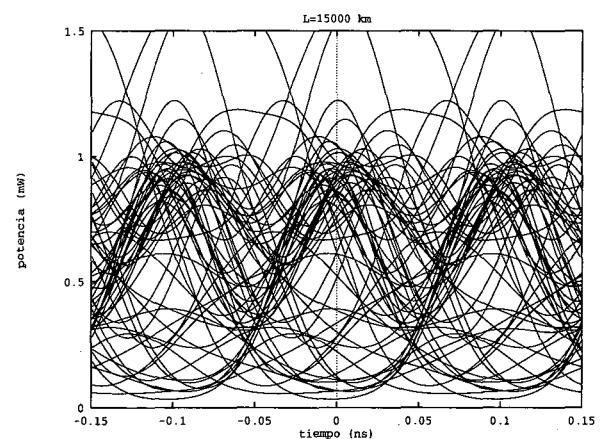


Figura 10: Diagrama de ojo a 15.000 km con filtros Fabry-Perot, $Bw=145$ GHz.



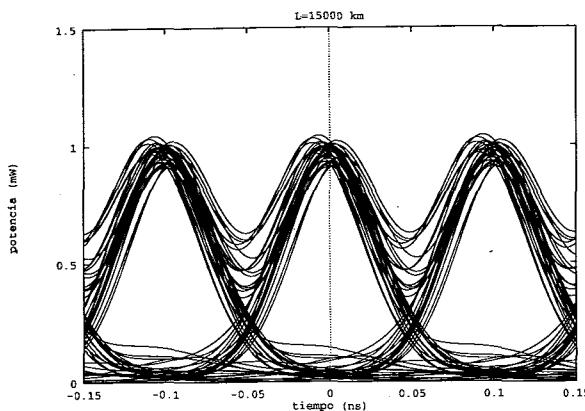


Figura 11: Diagrama de ojo a 15.000 km con filtros Butterworth de orden 2, $Bw=75$ GHz.

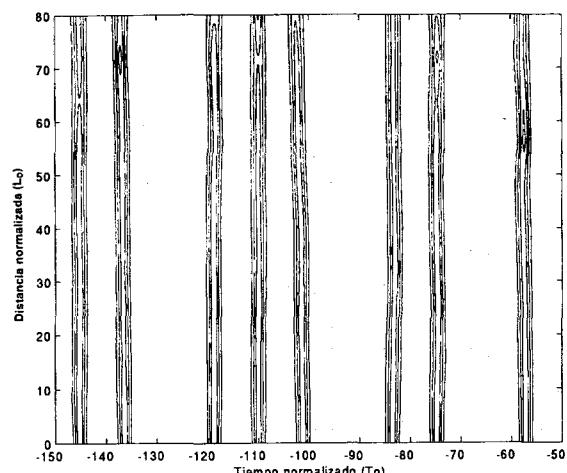


Figura 13: Evolución del contorno de campo correspondiente a la palabra 11011101101, con filtros Butterworth de orden 2.

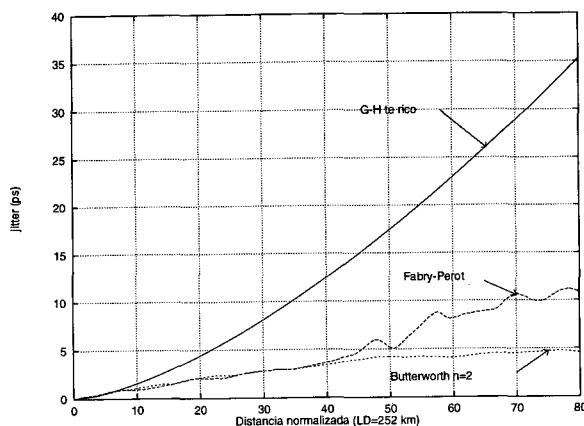


Figura 12: Evolución del jitter con filtros Fabry-Perot ($\delta=0.05$) y Butterworth de orden 2 de misma fuerza.

figura 11 muestra cómo la acción de los filtros Butterworth consigue controlar la transmisión a 15000 km. En la figura 12, comprobamos cómo para una misma fuerza dada, los filtros Butterworth reducen el jitter, permitiendo la transmisión de solitones al doble de la distancia conseguida por los Fabry-Perot y en la figura 13 cómo Gordon-Haus e interacción prácticamente han desaparecido gracias al efecto de los filtros Butterworth.

CONCLUSIÓN

Los futuros sistemas de comunicación de larga distancia por fibra óptica emplearán solitones ópticos para alcanzar tasas de varias decenas de Gbit/s gracias a la mutua cancelación de los efectos dispersivo y no lineal. Para ello se utilizará el esquema del solitón promedio. Sin embargo el efecto Gordon-Haus limita la capacidad que se puede conseguir con tales sistemas por lo que será necesario controlar la transmisión a fin de reducirlo. El filtrado es una buena solución para ello y además reduce la interacción entre solitones, pero establece unas distancias críticas a partir de las cuales la señal se desestabiliza. En este artículo hemos demostrado la efectividad de los

filtros Butterworth para alejar esta distancia, y en definitiva mejorar la acción del filtrado.

REFERENCIAS

- [1] P. TRISCHITTA et al., "The TAT-12/13 Cable Network," *IEEE Comm. Magazine*, vol. 34, pp. 24-28, 1996.
- [2] W. C. MARRA, "Africa ONE: The Africa Optical Network," *IEEE Comm. Magazine*, vol. 34, pp. 50-57, 1996.
- [3] G. P. AGRAWAL, "Nonlinear fiber optics", 2nd ed., Academic Press, 1995
- [4] D. MARCUSE, "Simulations to demonstrate reduction of the Gordon-Haus effect," *Opt. Lett.*, vol 17, pp. 34-36, 1992.
- [5] J.P. GORDON, H. A. HAUS, "Random walk of coherently amplified solitons in optical fiber transmission," *Opt. Lett.*, vol. 11, pp. 665-667, 1986.
- [6] H. KUBOTA, M. NAKAZAWA, "Soliton Transmission Control in Time and Frequency Domains," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 29, pp. 2189-2197, 1993.
- [7] M. MATSUMOTO, A. HASEGAWA, "Numerical study of the reduction of instability in bandwidth-limited amplified soliton transmission," *Opt. Lett.*, vol. 18, pp. 897-899, 1993.
- [8] L. F. MOLLENAUER, J. P. GORDON, S. G. EVANGELIDES, "The sliding-frequency guiding filters: an improved form of soliton jitter control," *Opt. Lett.*, vol. 17, pp. 1575-1577, 1992.
- [9] A. MECOZZI, "Soliton transmission control by Butterworth filters," *Opt. Lett.*, vol. 20, pp. 1859-1861, 1995.



SISTEMA DE POSICIONAMENT GLOBAL, GPS

Marina Martínez-García

Professora associada del grup d'Astronomia i Geodèsia Espacial,
Departament de Matemàtica Aplicada i Telemàtica, UPC
e-mail: marina@mat.upc.es

Fins fa poc, la possibilitat d'accendir a un sistema de posicionament precís es limitava als exèrcits professionals o a la recerca científica més puntera. Determinar la posició de qualsevol punt de la Terra amb errors per sota del centímetre ha estat possible gràcies un revolucionari sistema de posicionament: el GPS o Sistema Global de Posicionament.

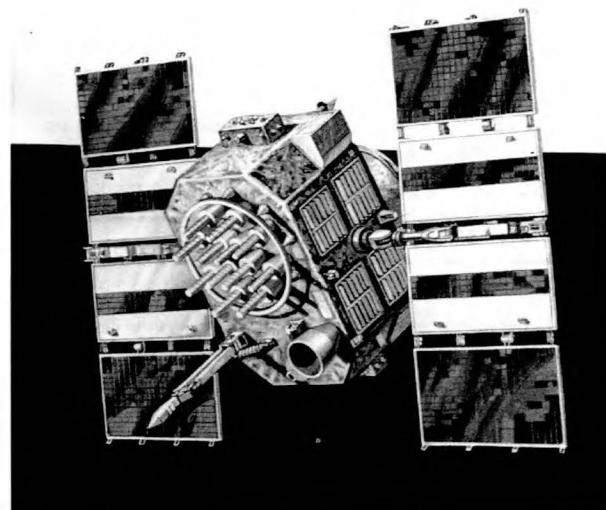
El Global Positioning System (GPS) aplicat a problemes «civils» va néixer als EUA a principis dels vuitanta i ha demostrat des dels seus inicis ser una eina molt valuosa en tots els camps en els quals ha estat aplicat: de la navegació marítima i aèria fins a tasques tant quotidianes com la conducció de cotxes.

El que és clar és que el GPS ha revolucionat el mercat de les aplicacions tecnològiques d'aquest final de segle i ha assentat les bases dels sistemes de posicionament del segle XXI.

Però, en que consisteix el Sistema GPS?

El GPS és un sistema de posicionament que determina distàncies i posicions fent servir com a observable el temps que triga un senyal elèctric en viatjar del satèl·lit emissor a una antena receptora. Aquest temps multiplicat per la velocitat de la llum ens dóna la distància aparent («pseudo-distància») entre el satèl·lit i el receptor.

Resoldre un model senzill de navegació suposaria tenir alhora les pseudo-distàncies de com a mínim quatre



satèl·lits per poder «triangular» i estimar la posició (tres coordenades incògnita) a més de l'error del rellotge del receptor.

El sistema consta de tres parts ben diferenciades o segments. D'una banda disposem de la constel·lació de vint-i-cinc satèl·lits NAVSTAR en òrbita al voltant de la Terra que emeten un senyal i que constitueixen l'anomenat segment espacial. De l'altra, cinc estacions formen

Determinar la posició de qualsevol punt de la Terra amb errors per sota del centímetre ha estat possible gràcies un revolucionari sistema de posicionament: el GPS

l'anomenat segment de control. L'estació principal (master control station) està situada a Colorado Springs (California). Finalment, els aparells receptors i de processament del senyal rebut des dels satèl·lits constitueixen el segment utilitari.

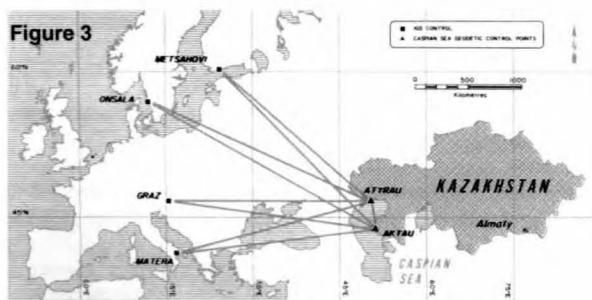
Sobre l'ona portadora que emet cada satèl·lit es modula un codi i un missatge de navegació. L'emissió d'ambdós elements es controla per rellotges d'alta precisió i es repeteix de forma periòdica.

El missatge de navegació indica les efemèrides del satèl·lit, dades atmosfèriques i paràmetres de control dels rellotges de precisió.

Existeixen dos tipus de codi: el codi C/A (Course/Adquisition or Clear /Acces code), de baixa precisió, i el codi P (Precise or Protected code), d'alta precisió. El primer es d'ús civil mentre que el segon es reserva a les Forces Armades dels EUA, la OTAN, els Australian Defence Forces i alguns organismes civils com el Defense Mapping Agency i la National Geodetic Survey.

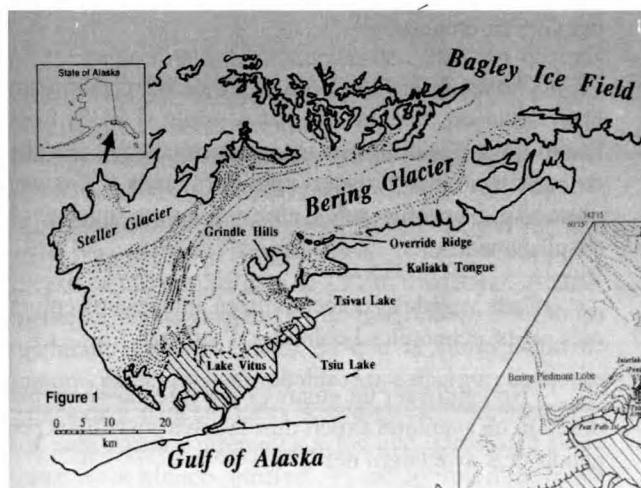
Cada satèl·lit emet dues ones portadores de codi i de missatge, L1 i L2, de freqüències 1.5 GHz i 1.2 GHz

aproximadament. Depenent de la freqüència de la portadora i del codi a desxifrar podem accedir a un posicionament d'alta o de baixa precisió. El processament del senyal es pot fer mitjançant la mesura de la fase o mitjançant les pseudo-distàncies.



El primer mètode permet la determinació de distàncies de forma molt precisa però es veu afectat de l'ambigüitat en la inicialització de la fase (mesura del número inicial de cicles), l'eliminació de la qual requereix del post-processament de les dades. Per tant, per ara el preu de l'exactitud és la impossibilitat d'obtenir resultats a l'instant.

El segon mètode no es veu afectat per aquest problema però dóna un posicionament de baixa precisió. En aquest sentit es pot dir que la baixa precisió amb un mínim pre-procés permet posicionament a temps real. És per aquest motiu que la primera tècnica s'empra per Topografia i Geodesia mentre que la segona s'utilitza per navegació.



En qualsevol cas, el sistema GPS es tridimensional, no posciona sobre cap superfície concreta, sinó que dóna unes coordenades en un sistema de referència cartesià lligat a la Terra (WGS84). Aquest sistema de referència té l'origen al geocentre terrestre i eixos en la direcció del Pol Nord instantani, en la direcció del punt d'intersecció entre l'equador i el meridià de Greenwich i un tercer eix formant un triedre directe amb els anteriors. L'avantatge d'un sistema de posicionament tridimensional que no utilitzi referències del terreny és, bàsicament, que no esta

En camps com l'agricultura i el medi ambient el GPS ha esdevingut una porta oberta a un gran ventall de possibilitats

lligat als canvis de la fesomia del lloc: moviments sísmics, catàstrofes, naturals, etc... El GPS dóna unes coordenades que després, i segons les necessitats, podem situar dins l'entorn geogràfic de la zona (mapes topogràfics) per a una millor orientació de l'usuari.

Segons això una aplicació inmediata del GPS es estudiar variacions de la superfície terrestre (prospeccions geològiques i geotectònica). És el cas d'algunes repúbliques ex-soviètiques de l'Àsia Central que envolten el mar Caspi. En aquests països, i en especial al Kazakhstan, les explotacions petrolieres i els jaciments minerals que s'estenen a les vores del mar suposen la base de l'economia nacional. És per això que s'han establert xarxes de receptors GPS diferencial que estudien els moviments de la línia de la costa per tal de fer previsions i plans estratègics d'acció davant situacions de risc.





Una altra mostra de les aplicacions geològiques de la tecnologia GPS la trobem en l'estudi del moviment de glaceres.

L'exemple més espectacular és el Gran Glaciar de Bering que avança des de l'interior de la península cap al Golf d'Alaska a velocitats d'uns 30 metres per dia. El moviment del glacier produeix una forta erosió i desplaça llacs i rius dels seus llits habituals, la qual cosa remodela el paisatge i la geografia del lloc en molt poc temps.

La medició d'alçades de pics de muntanyes com l'Everest és un altre ús del GPS. Les variacions d'aquestes mesures són un bon punt de referència per a l'estudi indirecte del moviment de plaques tectòniques i de possibles tendències a l'enfonsament o elevació de punts concrets de l'escorça terrestre.

El GPS també té quelcom a dir fora de les aplicacions més lligades al coneixement científic. En camps com l'agricultura i el medi ambient el GPS ha esdevingut una porta oberta a un gran ventall de possibilitats: El departament d'Agricultura dels EUA controla les fumigacions aèries mitjançant mapes detallats amb rutes traçades per cobrir de manera més efectiva cada zona a tractar. Els avions desinsectadors es guien per un sistema de navegació GPS que indica el camí a seguir per tal d'optimitzar recursos de combustible i insecticida.

A Catalunya grups de recerca com el d'Astronomia i Geodesia Espacial de la Universitat Politècnica de Catalunya son capdavanters en aplicacions del sistema

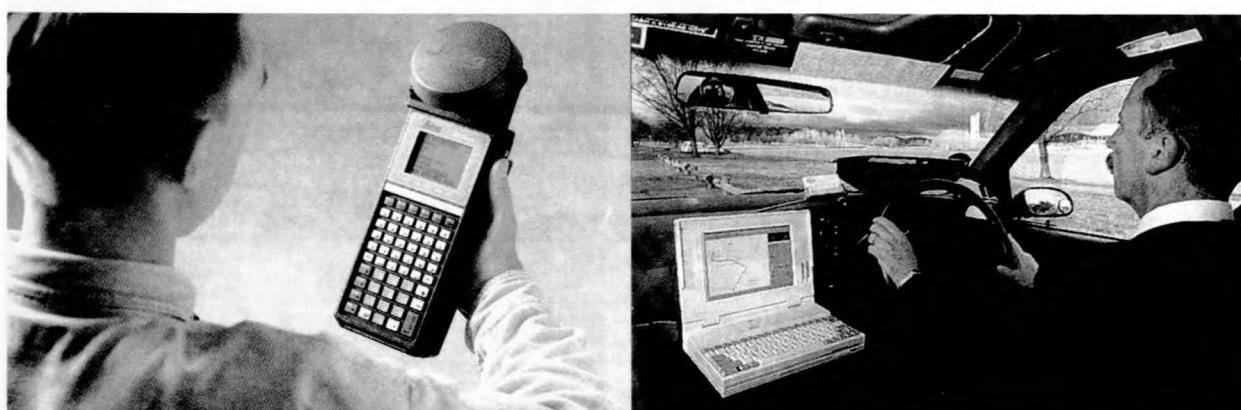
GPS a les Ciències de la Terra. En concret, el nostre grup es concentra en l'estudi de l'Atmosfera: Ionosfera i Troposfera (veieu el nostre web <http://maite125.upc.es/~manuel/storm/storm.html>).

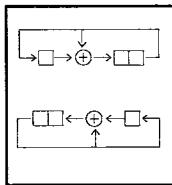
L'interès suscitat per l'ample ventall de possibilitats del GPS ha portat a organismes de la comunitat europea a impulsar un projecte europeu de sistema de posicionament global recolzat en tècniques del GPS diferencial.

A part de les qüestions de més envergadura com l'orientació de satèl·lits de baixa òrbita (LEOS, Low Earth Orbiter Satellite), ja s'estan comercialitzant aparells de navegació per turismes que permetran a l'usuari ubicar-se i escollir rutes alternatives en qualsevol desplaçament.

Cada vegada es comercialitzen antenes i receptors més petits, econòmics i còmodes d'utilitzar.

No caldrà ser un «tuareg» per orientar-se en ple desert ni un aventurer expert dins la selva amazònica per gaudir dels avantatges del GPS!





INTRODUCCIÓN A LA CODIFICACIÓN DE CANAL

Eduardo Monroy Escabosa

Proyectista del Departamento de Matemática Aplicada y Telemática, UPC

e-mail: edu-monroy@gratimail.com

dmoy1413@alu-etsetb.upc.es

1. EL AUGE DE LA CODIFICACIÓN CONTINUA DE CANAL

Debido al incremento de las necesidades de intercambio de información en todos los sectores de la sociedad, los servicios de telecomunicación han ido apareciendo y creciendo para satisfacer tan alta demanda. En consecuencia, se ha hecho necesaria la aparición de distintos sistemas de transmisión y almacenamiento, y su mejora en eficacia (fiabilidad) y eficiencia (mayor velocidad, menor potencia, menor ancho de banda, ...).

La codificación de canal juega un papel muy importante tanto en uno como en otro aspecto, ya que, como demostró *Shannon* en 1948, con una codificación apropiada se pueden reducir los errores producidos por un canal (líneas telefónicas, radioenlaces, enlaces vía satélite,...) o un soporte de almacenamiento (memorias de semiconductores, bandas magnéticas, discos compactos, ...), ambos ruidosos, sin sacrificar ni la tasa de transmisión, ni su potencia, ni su ancho de banda.

Dentro de la codificación de canal con códigos continuos, la técnica que más se ha desarrollado, por ser con la que mejores resultados se han obtenido, es la **modulación codificada de enrejado (T.C.M.):** *Trellis-Coded Modulation*. Es una técnica relativamente joven, el primer esquema de este tipo fue propuesto en 1976 por *Gottfried Ungerboeck*. Una avalancha de investigación y aplicación de T.C.M. tuvo lugar. Actualmente se puede establecer que la teoría de T.C.M. ha madurado hasta un punto en que la consecución de mejoras parece menos probable. Sin embargo, cuestiones acerca de ganancias reales de código, de comportamientos ante canales diferentes a los que introducen ruido gaussiano blanco aditivo, y de complejidades de implementación, están siendo estudiadas activamente.

Existen varias aplicaciones en comunicaciones digitales que utilizan los códigos continuos, como por ejemplo:

• **Códigos Planetarios Estándar de la N.A.S.A.:** han sido utilizados a menudo en comunicaciones vía satélite. Su principal utilización fue el lanzamiento de la sonda espacial *Voyager* en misión hacia Marte, Júpiter y Saturno en 1977. Se trata de dos códigos continuos lineales (convolucionales), uno de ellos con parámetros

$L=7, k=1, n=2$ y el otro $L=7, k=1, n=3$ que se utilizaron con demodulación indecisa.

• **Códigos de Canal Convolucionales en G.S.M.:** la codificación de canal en el sistema digital de telefonía móvil utiliza un código continuo lineal (convolucional) con parámetros $L=5, k=1, n=2$.

• **V.32 y V.33:** un código continuo no-lineal (de enrejado) que provee de inmunidad frente a ambigüedades de fase de 90° utilizando la técnica de *T.C.M.*, fue adoptado en dos estándares internacionales de la C.C.I.T.T.:

• **V.32:** para transmisión a 9.6 kbit/s sobre la red telefónica conmutada, módem full-dúplex en la banda vocal con 2 hilos. Se utiliza un código con parámetros $S=8, k=4, n=5$ modulando con una constelación 32-QAM rotada.

• **V.33:** para transmisión a 14.4 kbit/s sobre líneas privadas, punto a punto con 4 hilos. Se utiliza un código con parámetros $S=8, k=6, n=7$ modulando con una constelación 128-QAM rotada.

2. LA CODIFICACIÓN DE CANAL CON CÓDIGOS CONTINUOS

2.1. La codificación de canal: objetivo y tipos

El principal objetivo de la codificación de canal es la protección de la información digital a transmitir o almacenar asegurándole una mayor inmunidad frente al ruido, de manera que no llegue alterada al receptor, independientemente de la bondad del canal.

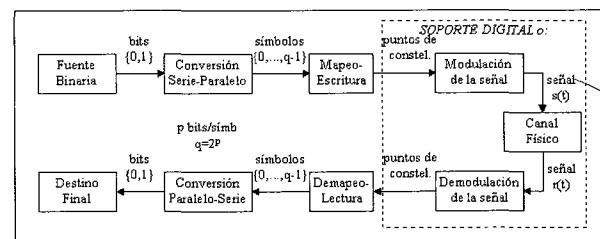


Figura 1. Sistema de Transmisión-Almacenamiento Digital No-Codificado.



Esta información, en un sistema de transmisión, o de almacenamiento, digital no-codificado (Figura 1), se crea en una fuente binaria (datos, voz, imagen, ...) normalmente con un tratamiento que, por conversión o por compresión, reduce el coste de la transmisión. Tras una conversión serie-paralelo, estos bits se convierten en símbolos digitales pertenecientes a un mismo alfabeto. A través del mapeo, estos símbolos se traducen en puntos de la constelación que el modulador transforma en una señal que se transmite a través del canal, o, en el caso en que se trate del almacenamiento de información, los símbolos se pasan a una unidad de escritura que los registra en un soporte digital. El receptor capta la señal que ha podido ser modificada en el espacio que ha debido recorrer como canal y que el demodulador transforma en puntos de la constelación y el demapeador en símbolos digitales, o, en su caso, recupera los símbolos gracias a la unidad de lectura, que han podido ser modificados durante el tiempo que han estado almacenados en el soporte. En cualquier caso, estos símbolos digitales, que son una estimación ya que no suelen coincidir con los originales por la modificación en el canal, sufren una conversión paralelo-serie que entrega al destino unos bits estimación de los entregados por la fuente binaria.

Lo que se pretende en toda transmisión es que la información experimente la menor modificación posible, y que esos bits que se entregan al destino sean lo más parecido posible a los originados en la fuente. La manera de cuantificar este parecido podría ser cuantificar la fiabilidad del canal, pero se trata de una tarea ardua. Lo más recomendable es cuantificar la fiabilidad de la transmisión mediante la tasa de error residual o B.E.R. (bit error rate). De esta manera ya se puede uno preguntar si la tasa de error del sistema de transmisión es menor o no de la que el usuario considera aceptable.

El problema aparece cuando se sobrepasa esta tasa de error máxima y la información se hace ininteligible. La primera solución en la que se piensa es el aumento de la potencia de transmisión, para aumentar la relación señal-a-ruido (S.N.R.). Pero no siempre es posible, ya que muchas veces la potencia de transmisión ya está limitada por otros aspectos. La solución que se tratará en este proyecto es la de la codificación de canal, ya que, como demostró Shannon en 1948, con una codificación apropiada de la información, los errores introducidos en ésta por un canal o un almacenamiento ruidoso pueden ser reducidos a un nivel arbitrario sin sacrificar la tasa de transmisión o almacenamiento.

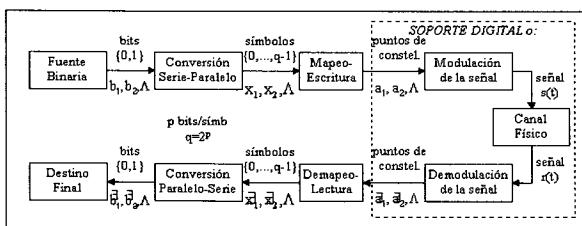


Figura 2: El Bloque Codificador de Canal.

El bloque encargado de la codificación de canal (ref Figura 2) se inserta, en el sistema de transmisión o almacenamiento, entre el convertidor serie-paralelo y el mapeador o la unidad de escritura, y el decodificador, entre el demapeador o la unidad de lectura y el convertidor paralelo-serie. Por lo tanto, es un bloque que, en un principio, transforma palabras de símbolos digitales en palabras de símbolos digitales pertenecientes al mismo abecedario, de cara a obtener una mayor inmunidad al ruido.

De cara a proteger la información originada en la fuente binaria, en los símbolos generados por el codificador debe haber más información que en los que le llegan. Esta “información extra” no es en sí información, pero hace posible la detección y corrección de errores. Algunas de las soluciones de codificación para la protección de la información son:

· **Codificación por repetición:** Cada vez que le llega un símbolo digital al codificador, éste entrega dos símbolos iguales al siguiente bloque. Debido a su falta de sofisticación es bastante ineficiente. Tasa del codificador: $R=1/2$.

$$x_t \Rightarrow y_t^{(0)} = x_t, y_t^{(1)} = x_t \quad (\text{Ecuación 1})$$

· **Codificación por bloques:** Cada vez que, y solamente cuando, llegan al codificador k símbolos (mensaje), éste envía al siguiente bloque, n símbolos (palabra código), dependientes únicamente de los k recibidos (una palabra código asociada a cada mensaje), con $n > k$. El ruido del canal se combate gracias a la redundancia ($n-k$) de la información. Codificadores de este tipo son: Golay, Hamming, B.C.H., Reed-Solomon,... Se suelen utilizar como códigos externos, más cercanos a la fuente, cuando se utilizan en combinación con los continuos. Tasa del codificador: $R=k/n$.

$$x_t^{(0)}, x_t^{(1)}, K, x_t^{(k-1)} \Rightarrow [y_t^{(0)}, y_t^{(1)}, K, y_t^{(n-1)}] = f(x_t^{(0)}, x_t^{(1)}, K, x_t^{(k-1)}) \quad (\text{Ecuación 2})$$

· **Codificación continua:** De manera “continua”, cada vez que llegan k símbolos digitales al codificador, pasan por una especie de “filtro” y entregan al siguiente bloque, n símbolos digitales ($n > k$), que dependen no sólo de los k recibidos, sino de tantas muestras anteriores como indique la “respuesta impulsional” del “filtro”. Se hacen depender los símbolos de la salida con el pasado más reciente de los símbolos de la entrada mediante funciones que pueden ser lineales (XOR), **codificadores convolucionales**, o no-lineales (AND , ...), **codificadores de enrejado**. Deben ser implementados mediante circuitos lógicos secuenciales, por la existencia de memoria. Se suelen utilizar como códigos internos, más cercanos al canal o soporte de almacenamiento, cuando se utilizan en combinación con los codificadores por bloques. Tasa del codificador: $R=k/n$.

$$x_t^{(0)}, x_t^{(1)}, K, x_t^{(k-1)} \Rightarrow \begin{cases} y_t^{(0)} = f(x_t, x_{t-1}, K, x_{t-m}) \\ y_t^{(1)} = f(x_t, x_{t-1}, K, x_{t-m}) \\ \vdots \\ y_t^{(n-1)} = f(x_t, x_{t-1}, K, x_{t-m}) \end{cases}$$

(Ecuación 3)

Para una mejor comprensión, se definirán estos parámetros de los codificadores (**Definición 1**):

k: número de entradas del codificador, símbolos por palabra de entrada.

n: número de salidas del codificador, símbolos por palabra de salida.

m: número de palabras de entrada anteriores, de los cuales depende también la salida, además de depender de la palabra de la entrada actual.

2.2. LA UTILIZACIÓN DE LA CODIFICACIÓN DE CANAL

Como ya se ha mencionado, normalmente no se suele utilizar un único codificador de canal, sino que, para tener una menor probabilidad de error con una menor complejidad, se utilizan sistemas de códigos concatenados, una combinación de dos niveles de codificación, codificador por bloques, con menor redundancia, con codificador continuo, para corregir la mayor parte de los errores debidos al canal, incluyendo un aleatorizador y un entrelazador. Así, tras el bloque convertidor serie-paralelo (*Figura 2*), se tiene:

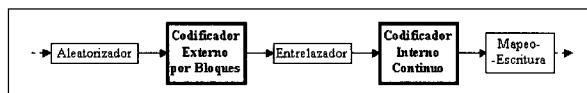


Figura 3. Codificación Combinada.

• El **aleatorizador** se utiliza para “esconder” al sistema la componente informativa de los datos. Es necesario que éstos lleguen al codificador con estadística equiprobable. La estadística del generador vista desde fuera es aleatoria, pero, internamente, se ha generado determinísticamente, porque debe ser reproducible para que el receptor pueda recuperar la información. La solución es la pseudoaleatoriedad.

• El **entrelazador** se utiliza para evitar las ráfagas de errores que se producen, cuando se sobrepasa la capacidad correctora del decodificador interno, ya que, cuando esto ocurre, el decodificador inyecta más errores de los que recibe, tiene tendencia a correlar errores, o cuando el canal tiene memoria e inyecta errores correlados. El entrelazado no hace disminuir la tasa de errores, que se mantiene, sino que deshace las ráfagas para ayudar al decodificador externo.

El problema que se quiere evitar es el producido cuando la señal correspondiente a un punto de la constela-

lación en el modulador se convierte en otro punto diferente de la constelación en el demodulador. Estos errores se producen por el ruido o porque no se puede asegurar una recuperación de fase perfecta, puede haber una diferencia de $/2$ (ó múltiplos). Una forma de evitar estos errores de rotación de fase es incluir en el *módem* un codificador diferencial, de esta manera el codificador interno basta con que sea lineal (convolucional), y, tras el entrelazador (*Figura 3*), aparece esta configuración:

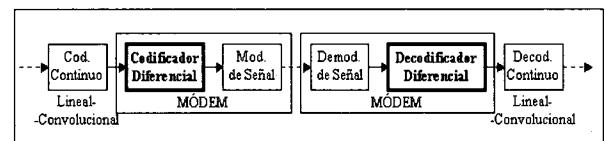


Figura 4. Codificación Diferencial para evitar Errores por Rotaciones de Fase.

Para evitar los errores producidos por el ruido, en este sistema de transmisión digital existe, o no, una interacción entre el demodulador y el decodificador continuo:

Hard-decision decoding: decodificación con demodulación firme. Recibe los símbolos que le entrega el demapeador tras conseguirlos a partir de los puntos entregados por el demodulador, una palabra de n símbolos por punto. La existencia de un demapeador supone una decisión por parte del demodulador, una decisión realizada por un bloque “apartado” de las tareas de decodificación, una perdida de información irrecuperable.

Soft-decision decoding: decodificación con demodulación indecisa. En lugar de hacer una construcción por bloques, se construye todo junto. Ya no se tiene una codificación y a continuación una modulación, o, más bien, una demodulación y luego una decodificación. Se trata de la “modulación codificada”. La idea principal es que el decodificador interno, el continuo, no trabaje con símbolos, sino con números reales. Ya no hace falta que el demodulador, mediante el demapeador, decida la palabra de n símbolos que corresponde al punto de la constelación recibido, y basta con que entregue al decodificador las coordenadas del punto. Para evitar problemas de rotación de fase el código continuo debe ser transparente a tales rotaciones, invariante. Esta condición hace que el código continuo adecuado deba ser no-lineal (de enrejado). La configuración resultante tras el entrelazador (*Figura 3*), en lugar de *Figura 4*, pasa a ser:

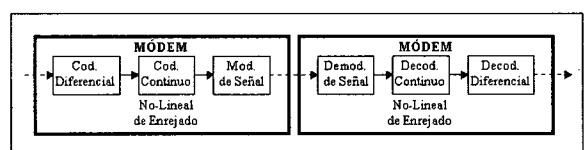
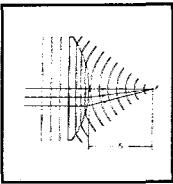


Figura 5. Soft-Decision Decoding con Decodificación Diferencial





ELS ESTUDIANTS DE LA UPC PARTICIPEN EN EL DISSENY ACTIU DEL TELESCOPI MÉS GRAN D'EUROPA

Santi Tintoré Segura¹, Javier Ramos Riveiro²,
Sergi Bisquert Olivé³

Col·laboradors de Projectes ESAII (UPC)
e-mail: stin1169@alu-etsetb.upc.es¹, fram1315@alu-etsetb.upc.es²,
xurxit@lix.intercom.es³

INTRODUCCIÓ

La UPC està participant en un dels projectes més importants dins l'astronomia observacional actual. El projecte del Gran Telescopi de Canàries (GTC) té com a objectius el disseny i la construcció d'un telescopi òptic que treballarà dins la banda del visible i l'IR proper.

Entre les tasques què la UPC participa cal destacar l'estudi del sistema de control dinàmic de la matriu de segments independents que conformen la superfície global parabòlica del mirall primari. Un grup d'estudiants de la UPC, sota la supervisió del professor Josep M. Fuertes (ESAII), estem participant en l'anàlisi i simulació del sistema actiu de control que es preveu que s'implanti en el GTC. Els treballs que portem a terme consten d'una primera part en la que simulem sota una plataforma de proves el comportament dels miralls, i una segona part en què es pretén caracteritzar el comportament del mirall primari sencer.

Per tal d'entendre millor quines són les nostres principals tasques farem una breu descripció de les necessitats que determinen la construcció d'un gran telescopi.

NECESSITAT DELS GRANS TELESCOPIS

L'astronomia és una de les ciències més exigents. No tan sols és necessari disposar d'un cel de la màxima qualitat i una comunitat científica experimentada, sinó que es fa imprescindible, cada cop més, disposar de

El projecte del Gran Telescopi de Canàries (GTC) té com a objectius el disseny i la construcció d'un telescopi òptic que treballarà dins la banda del visible i l'IR proper.

grans telescopis d'última generació per a ser competitius a nivell mundial. Actualment els observatoris del IAC (Instituto Astrofísico de Canarias) gaudeixen de totes aquestes característiques. El cel canari està considerat el millor de l'hemicícli nord per a la observació astronòmica i ha esdevingut una reserva astrofísica mundial protegida per llei fins i tot pel que fa al tràfic aeri i la polució lumínica. A més, els seus investigadors tenen un prestigi internacional molt important, les seves infraestructures tècniques són realment bones i disposen de bons telescopis. Ara bé, per a què l'astronomia i astrofísica espanyoles es puguin mantenir dins l'èlit internacional cal un nou gran telescopi que pugui competir amb els millors del món. L'observatori del Roque de los Muchachos, a l'illa de La Palma, serà l'emplaçament d'aquest nou Gran Telescopi de Canàries (GTC).

Els grans telescopis posseeixen molta capacitat d'observació gràcies al fet de tenir superfícies col·lectores grosses que permeten l'observació de cossos estelars de lluminositats molt débils i distingir detalls situats a molta distància impossibles de detectar amb tecnologies convencionals. Fins fa poc els grans telescopis estaven formats per un únic mirall primari, molt gruixut i pesat que necessitava estructures de molta envergadura. Amb aquesta tècnica s'aconsegueixen bons resultats fins a diàmetres de cinc o sis metres, però per a dimensions més grans apareixen deformacions en el mirall que fan impracticable una observació amb la precisió desitjada. A més els costos d'aquest tipus de telescopis degut a les enormes estructures i la perfecció necessària del pulit del mirall es fan insostenibles.

Una solució consisteix a segmentar el mirall primari en un grup de miralls hexagonals més petits diposats adequadament. La reducció de pes que això suposa abareixa els costos de l'estructura que suporta el primari, així com el pulit dels miralls. Ara bé, es necessita un sistema de control molt més complex que mantingui els segments correctament aliniats en tot moment. El GTC segueix aquesta segona tendència.

El disseny base del GTC està inspirat en el telescopi Keck de Hawaii. El mirall primari segmentat

previst ha d'estar format per 36 segments hexagonals de 90 cm. d'aresta formant una paràbola amb diàmetre total de 10 m. Es tracta d'un receptor òptic tipus Cassegrain.

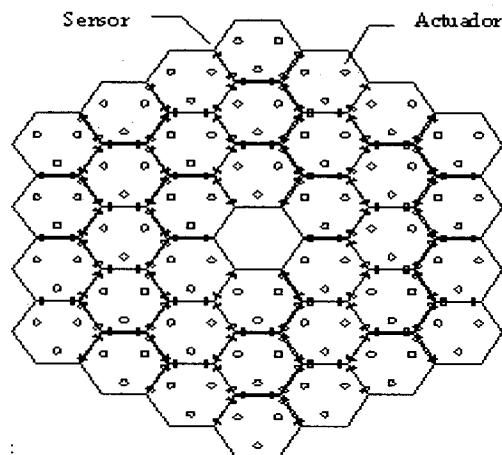


Figura 1. Mirall segmentat GTC.

PRINCIPIOS BÀSICS DE CONTROL DEL MIRALL PRIMARI

Per posicionar correctament els segments del mirall primari s'utilitzen 108 actuadors de longitud ajustable. La mesura de la posició relativa dels segments la duen a terme 168 sensors capacitius que ens donen la informació necessària per realitzar el control adequadament. Cada segment disposa de tres posicionadors ajustables en alçada que li proporcionen tres graus de llibertat. El sistema de control actiu (SCA) és l'encarregat d'assegurar la qualitat òptica requerida, a partir de les lectures dels sensors, calculant les correccions necessàries i enviant-les als corresponents actuadors per reposicionar els segments i alinear-los amb una precisió nanomètrica.

El sistema de control que s'està dissenyant per al GTC es descompon en dos subsistemes:

- Un subsistema passiu encarregat de mantenir els segments lligats a l'estructura del telescopi i orientar-los de manera adequada.
- Un subsistema actiu (SCA) que realitza en tot moment una monitorització i correcció de la posició dinàmica de cada segment.

En el disseny del sistema de control s'han de tenir en compte les interaccions existents entre l'estructura dinàmica del conjunt del telescopi i el control d'aquesta mateixa estructura. Aquestes interaccions s'expressen en termes d'amplada de banda en el cas del sistema de control i de modes propis en el cas de l'estructura del telescopi, essent aquests modes propis les freqüències de ressonància a les que vibra aquesta estructura. Si es dissenya un sistema de control amb una amplada de banda que sobrepassa qualsevol d'aquestes freqüències de ressonància els moviments de correcció que realitza el

sistema de control podrien excitar un o més d'aquests modes propis i causar una inestabilitat estructural que seria molt perillosa o fins i tot destructiva per al propi telescopi. Per tal d'evitar aquest tipus d'inestabilitats s'ha de separar àmpliament la freqüència màxima del bucle de control del mode propi més baix de l'estructura.

La solució que es proposa a aquesta limitació és un sistema de supervisió que executa simultàniament dos nivells de bucle de control:

- El nivell superior segueix una estratègia global per reposicionar el conjunt dels segments i aconseguir d'aquesta manera una correcta orientació amb el mirall secundari, actualitzant tots els actuadors mitjançant el processament de les mesures de tots els sensors a una freqüència relativament baixa (2-5 Hz).
- El nivell inferior segueix una estratègia distribuïda executada localment per a cada mirall, corregint les petites variacions d'aliniament de cada segment amb els seus veïns, recalcant el valor dels seus 3 posicionadors a partir dels sensors, a una freqüència relativament alta (50-100 Hz).

SISTEMA DE CONTROL DE LA PLATAFORMA DE PROVES

En el context del desenvolupament del GTC, s'ha dissenyat una plataforma de proves per tal de simular a petita escala els efectes de control global i distribuït en presència de diverses perturbacions i avaluar la robustesa i la fiabilitat del sistema. Aquesta plataforma de proves consta de 2 miralls hexagonals a escala real, amb 900 mm. d'aresta, 400 kg. de pes, 5 sensors distribuïts per l'aresta comuna d'ambdós miralls i 2 més en el mirall B per reposicionar l'estructura global en un pla de referència. A més, el mirall A té dos dels tres actuadors immobilitzats, per tant només disposa d'un grau de llibertat. El mirall B conserva els seus tres graus de llibertat obtenint així els moviments típics de "balanceig", "alabeig" i "pistó", tal i com es representa a la Figura 3 i 4.

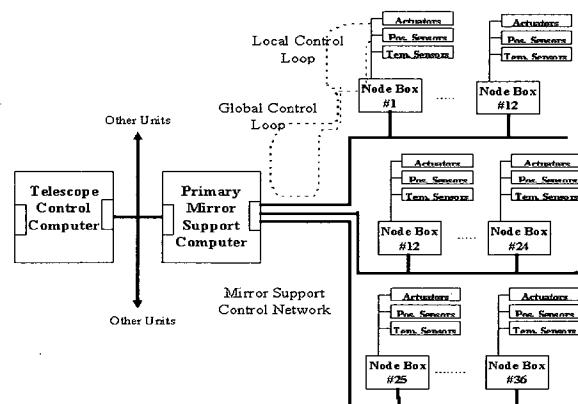


Figura 2. Estructura de control.



Com en el mirall primari, a la plataforma de proves també es realitza un control a dos nivells: un control global i un control distribuït. D'una banda, el control global utilitzarà les mesures de tots els sensors per reposicionar tots els actuadors a una freqüència baixa (2-5 Hz). D'altra banda, el control distribuït es realitza per separat en dues caixes nodals, una per a cada segment. Aquestes hauran d'analitzar les mesures d'alguns dels sensors (de l'aresta entre els segments) per corregir la posició dels seus actuadors, a una freqüència més alta (50-100 Hz).

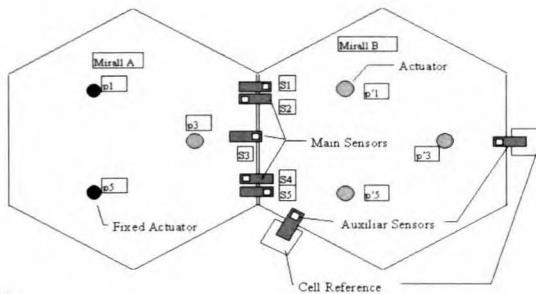


Figura 3. Sensors i actuadors del banc de proves

Com que els sensors ens mesuren la posició relativa dels dos segments (excepte els sensors de monitorització que mesuren la posició global respecte a l'estructura), i aquests es mouen segons la posició dels seus actuadors, podem trobar una relació directa entre aquestes posicions i el valor dels sensors. Així doncs, el sistema es pot expressar com:

$$\begin{aligned} s &= A p \\ A &= [s_1, s_2, s_3, s_4, s_5]^T \\ p &= [p_1', p_3', p_5', p_3]^T \end{aligned} \quad (1)$$

En aquest cas hem tingut en compte tan sols els 5 primers sensors, amb la qual cosa la matriu A té 5 files i 4 columnes. Utilitzant aquests sensors només tenim informació de la posició relativa entre els segments, i no tenim coneixement de la posició global de la plataforma. Per solucionar-ho es poden tenir en compte els dos sensors de monitorització, amb la qual cosa la matriu A serà de 7 files i 4 columnes, i dependrà, igual que en el cas anterior, només de paràmetres geomètrics.

Com és sabut, el sistema de control global de la plataforma haurà de minimitzar el valor dels sensors s. Per calcular el vector de posicionadors òptim p, es multiplica l'equació (1) per l'esquerra per una matriu B, que no és més que la pseudoinversa de A. Així s'obté l'equació (2). El vector de posicionadors calculat d'aquesta manera és l'òptim i és el que resol el sistema sobre-determinat (1) pel criteri de mínims quadràtics. El vector p aplicat a la plataforma en sentit negatiu minimitza l'error d'alineament dels dos segments.

$$p = B s \quad (2)$$

El Sistema de Control Distribuït reparteix cap a la caixa nodal A les lectures dels sensors s1, s2 i s3; i cap a la caixa nodal B les lectures dels sensors s2, s4 i s5 per tal que aquestes corregeixin individualment la seva posició relativa. Cada caixa nodal haurà de calcular les correccions en els seus actuadors a partir de les lectures dels seus sensors. Pel cas del sistema de control global, aquest càlcul es realitza utilitzant una sola matriu B, en aquest cas, haurem d'utilitzar dues matrius B1 i B2, una per a cada caixa nodal. Per calcular les matrius B1 i B2 s'utilitzen els coeficients de la matriu B que relacionen els sensors i posicionadors de cada caixa nodal. Aquest càlcul de B1 i B2 comporta descartar coeficients de la matriu B, amb la qual cosa el conjunt de les matrius B1 i B2 no serà exactament la pseudoinversa de A, que es tradueix en una inestabilitat del sistema.

Una solució d'aquest problema pot consistir a introduir informació de la posició global del sistema dins del control distribuït. Això es pot aconseguir introduint les lectures dels sensors de monitorització, o bé introduint el valor del posicionador p3 ja que aquest aporta informació suficient de la posició global dels dos segments.

És important constatar que el sistema control distribuït pot ser assintòticament inestable, sempre i quan el sistema de control global sigui capaç de compensar aquesta inestabilitat.

ESTAT DE RECERCA ACTUAL

Actualment s'estan realitzant diverses simulacions amb l'ajuda de les eines que ens ofereix MATLAB i amb les aplicacions del paquet SIMULINK TOOLBOX, per tal de comprovar la fiabilitat del sistema de control que s'ha dissenyat, i fer les modificacions que siguin necessàries.

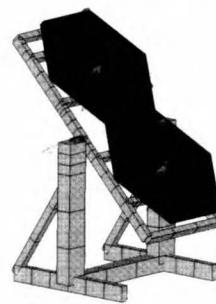


Figura 4. Model mecànic del banc de proves

Un dels objectius d'aquestes simulacions és determinar la relació que existeix entre el nombre de sensors que es disposen a cada segment i l'error d'aliniament comès. Amb el disseny actual del sistema de control del mirall primari, hi ha dos sensors a cada aresta entre segments, amb el que existeixen segments que posseeixen més informació que d'altres, i per tant, el seu error d'aliniament és menor. Per tal d'aconseguir que en el mirall l'error d'aliniament comès per tots els segments sigui el mateix, una possible solució seria disposar més sensors en les arestes d'aquells segments més perjudicats.



EL PERFILO DEL DIRECTIU I ELS ENGINYERS DE TELECOMUNICACIÓNS

Jaume Mussons i Sellés

Professor del Departament d'Organització d'Empreses
Universitat Politècnica de Catalunya
e-mail: empresas@oe.upc.es

Per avaluar les capacitats i habilitats que ha de tenir un Directiu, veurem que existeixen varies dimensions: algunes de caire professional, altres de tipus social, personal i gerencial. Molts autors han intentat presentar una definició que permeti descobrir la personalitat i perfil ideal d'un directiu. En un d'aquest intents G. Barceló Matutano en la seva obra 'El oficio de mandar' diu : "No existe ningú rasgo que podamos considerar típico de la jefatura, tampoco hay una forma de dirección que podamos considerar mejor. Pero se le exige: vocación, estabilidad emocional, carácter (mantenerse libre de presiones extrañas, firme, perseverante y fuerte), impulso de desarrollo, tenacidad, ambición, flexibilidad, iniciativa, toma de decisiones, organización, capacidad de relaciones, apertura a la innovación, optimismo".

Una altre definició oferta per C. Argyrys diu que el directiu és una persona amb facilitat de paraula, competitiu i persuasiu i que lluita de forma vigorosa per estalviar temps, és excel·lent en el terreny de l'individualisme i que estimula en les altres persones la competició del tipus tot o res.

Els Enginyers de Telecomunicacions tenen un perfil de directiu que dificulta les tasques de relació i de treball en grup

Direcció i lideratge són dos termes que sovint es confonen perquè és presenten relacionats. Malgrat tenir alguna cosa en comú, no signifiquen el mateix. El lideratge requereix l'ús del poder per influir en els pensaments i accions dels altres, mentre que el directiu és una persona que resol problemes, sap fer un judici correcte de les situacions, selecciona objectius i alternatives, classifica recursos, planifica, controla i dirigeix. Líder i directiu difereixen en les seves motivacions

i història personals , en la seva manera de pensar i sentir i en els seus objectius de treball i relacions.

Un estudi molt interessant és el realitzat per la empresa consultora internacional Hay Group durant la dècada dels 80 que determina els paràmetres clau d'èxit d' un directiu. L'estudi es va realitzar en 14 països, entre ells Espanya i va resumir les capacitats d'adaptació dels directius a les diferents demandes culturals i socials en només tres línies bàsiques:

• La primera es refereix en les relacions professionals. El directiu, per tenir èxit té de desenvolupar dues competències: respecte mutu i relacions. En Estats Units es tendeix a subordinar les relacions personals a les contractuales, molt més rígides i dures.

• La segona tracta de dos estils confrontats: Implantació versus planificació. El primer es concentra en la recerca de les persones adequades i deixa els resultats a la seva improvisació. En la planificació els directius preparen per endavant l'acció. L'estil d'implantació es troba a Estats Units i el de planificació a Europa i Japó.

• La tercera línia bàsica correspon a la autoritat, que es desglossa també en dos estils : participació i centralització. En el primer el directiu actua com a facilitador i potenciador del grup i sap com motivar les persones per avançar cap una altre fase. En el cas de la autoritat centralitzadora, el directiu sap que és el líder i pren decisions de forma individual que després sap vendre als altres.

En l'estudi de Hay Group s'identifiquen una sèrie de competències² comunes a totes les cultures que podem considerar universals i que són les determinants de l'èxit empresarial d'un directiu. Segons el seu punt de vista s'haria de contractar les persones en base a aquestes competències i després formar-los en coneixements i capacitats. Aquest és el nou enfoc que estan desenvolupant les empreses espanyoles actualment.³

Per analitzar aquestes competències en els directius un sistema podria ésser la pràctica diària. Comprovar en el seu treball diari la utilització d'aquestes capacitats en un període de temps llarg. Aquest mètode aplicat en



Factor personalidad	Média	Desv.	Hdna.	Hoda
A Sizotimia-Afectotimia	4,24	1,9	4	4
B Inteligencia baja-alta	6,13	1,94	6	6
C Poca-mucha fuerza del ego	5,75	1,74	6	7
E Sumisión-Dominancia	6,58	2,03	7	8
F Desurgenzia-Surgencia	5,3	2,04	5	5
G Poca-mucha fuerza superego	5,16	1,99	5	6
H Trectia-Parmia	5,01	2,15	5	5
I Harría-Premisia	4,73	1,75	5	5
L Alaxia-Protección	6,22	1,94	6	6
M Praxernia-Autia	6,11	2,13	6	5
N Sencillez-Astucia	5,23	1,93	5	4
O Apacible-Aprensivo	5,2	1,98	5	5
Q1 Conservadurismo-Radicalismo	7,27	1,76	7	7
Q2 Adhesión al grupo-Autosuficien	6,21	1,99	6	6
Q3 Baja integración-Control autoi	4,97	1,71	5	6
Q4 Poca-mucha tensión energética	5,68	1,84	6	5
DM Distorsión motivacional	5,27	1,73	5	5
NEG Negación	6,13	1,7	6	6
O1P Ajuste-Ansiedad	6,17	1,84	6,15	5,5
Q2P Introversión-Extraversión	4,83	2,25	4,7	4,75
Q3P Poca-mucha socialización	5,26	2,01	5,45	5,5
Q4P Dependencia-Independencia	6,53	1,73	6,6	7
DIRE Dirección Relaciones	5,66	1,68	5,6	4,9
DIPROD Dirección Productividad	6,43	1,14	6,5	6,6
CR Creatividad	6,76	1,55	6,77	6,5
FL Flexibilidad	6,05	0,78	6,09	6,4
LI Liderazgo	5,34	1,78	5,38	5,5

Figura 1

l'entorn empresarial és inviable per ésser massa llarg i costós. Una altre manera de determinar a priori aquestes facultats és mitjançant l'ús de tests de personalitat.

Un dels més coneguts i utilitzats és el 16 PF⁴ que mesura una sèrie de trets de personalitat⁵ de les persones. Més tard, seguint en la mateixa línia, Cattell i dos col·laboradors H.W. Eber i M.M. Tatsuoka durant l'any 70 van publicar un estudi que determinava els trets de personalitat idonis per ésser el directiu ideal. L'empresa consultora espanyola TEA CEGOS va traslladar aquest estudi a Espanya i va publicar més tard el perfil del directiu espanyol. Perfil que en molts casos no significava que fos el millor, però era la mitja dels directius entrevistats per la empresa.

Durant l'any 1995 vaig dirigir un estudi per determinar el perfil directiu dels alumnes de la Escola de Telecomunicacions de Barcelona, es van recollir 352 qüestionaris de personalitat 16PF. Els resultats es poden veure en el quadre de la figura 1.

Els alumnes presenten el següent perfil: El factor A és el més baix comparat amb la mitja del perfil espanyol, significa que la persona és molt reservada i escèptica i que prefereix treballar en solitari. Un altre factor divergent és el E que expressa una persona segura de sí mateixa i independent, valor una mica per sobre de la mitja espanyola.

També cal destacar el factor G, inferior a la mitja, significant una certa inestabilitat en els seus propòsits i una tendència a no acceptar les obligacions. El factor H indica una certa timidesa i allunyament de la realitat. Els factors I i L indiquen respectivament conducta pràctica i suspicàcia.

Finalment dels altres factors pendents destacarem l'espiritu liberal, l'autosuficiència, la despreocupació de les normes i l'estil de direcció per productivitat.

Analitzant les mitges de forma separada per cursos no es troben diferències significatives que puguin demostrar que els coneixements impartits en la Escola de Telecomunicacions facin canviar la personalitat directiva dels alumnes.

Podem pensar doncs que aquests trets de personalitat són adquirits en una època anterior a l'incorporació dels Estudis Superiors i posiblement són els que determinen el tipus de carrera escollida.

Com a resum podem afirmar que els Enginyers de Telecomunicacions tenen un perfil de directiu que dificulta les tasques de relació i de treball en grup, en canvi estan molt ben preparats per ésser autosuficients i per treballar en solitari, capacitats que sembla que en el futur cada vegada seran menys necessàries.

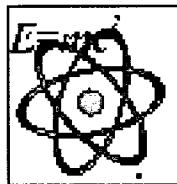
⁴ "International CEO competency study"

⁵ Una característica subyacente de la persona, que està casualment relacionada amb una actuació d'èxit en el treball

³ En el programa de col·laboració educativa Universitat-Empresa denominat Engitel multitud d'experiències avalen aquest tipus de contractació. Les empreses escolleixen els seus futurs directius en base al seu perfil de personalitat i molt poc respecte àrees de coneixements o notes de curs.

⁴ "Sixteen Personality Factorísimbol" de Cattell.

⁵ Un tret de personalitat pot ésser considerat com una disposició relativament àmplia i estable de comportar-se de certa forma que és pot transferir de manera realista de unes situacions a unes altres, es a dir, un tret de personalitat pot manifestar-se en una gran varietat de situacions.



SOBRE LAS INTERACCIONES FUNDAMENTALES, LAS PARTÍCULAS ELEMENTALES Y LAS TEORÍAS DE CAMPOS

Narciso Román Roy

Profesor Titular del Departamento de Matemática Aplicada y Telemática
Edificio C-3. Campus Nord U.P.C. Jordi Girona 1.
08034 Barcelona . España.
e-mail: matnrr mat.upc.es.

INTRODUCCIÓN

En el campo de la Física Teórica hay multitud de temas que, bien sea por su espectacularidad, bien sea por su trascendencia en el mundo actual, atraen la atención no sólo del especialista científico o técnico, sino también del público profano con inquietudes culturales. Entre dichos temas, quizás los que más interesan son los que tienen que ver con la *Teoría de la Relatividad*, la *Cosmología* y la *Astrofísica* y el *mundo subatómico*.

El propósito de este trabajo es incidir en la última cuestión. En concreto, se intentará hacer una somera descripción que pueda servir de introducción al fascinante mundo de las *fuerzas fundamentales* de la naturaleza, de las *partículas elementales* y de las teorías físicas que tratan de describirlas. Para una información más profunda y detallada sobre todos estos temas (pero que mantiene un nivel no excesivamente técnico) puede consultarse la referencia (1).

En la naturaleza hay cuatro fuerzas, (también llamadas en Física interacciones o campos) que son responsables de todos los fenómenos en el Universo

La exposición está dividida en tres partes. En la primera se presentan las *fuerzas* o *interacciones fundamentales* y sus características. La segunda está dedicada a la descripción de las *partículas elementales* y sus propiedades. Finalmente, en la tercera parte se hacen

algunos comentarios sobre las *teorías de campos*, que tratan de explicar estos fenómenos. También se incluye un apéndice donde se explican algunas cuestiones más técnicas que pueden servir para clarificar ciertos aspectos de la exposición.

INTERACCIONES FUNDAMENTALES

En la naturaleza hay cuatro *fuerzas*, (también llamadas en Física *interacciones* o *campos*) que son responsables de todos los fenómenos en el Universo: la fuerza o interacción **gravitacional**, la **nuclear débil**, la **electromagnética** y la **nuclear fuerte**. Vamos a describir brevemente las principales características de cada una de ellas.

Interacción gravitacional

Descripción: Es la responsable de la interacción entre las partículas con masa y, por extensión, de la configuración a escala macroscópica del Universo y de su estabilidad.

Acción: Actúa sobre todas las partículas que tienen masa no nula. Es de naturaleza atractiva.

Alcance: Prácticamente infinito.

Fuerza: Es la más débil. Tomando como unidad la más fuerte de las cuatro, ésta sería 10-39 veces más débil, aproximadamente.

Interacción nuclear débil

Descripción: Es la responsable de la *desintegración* de ciertas partículas inestables; es decir, de aquellos procesos en los que algunas partículas se descomponen (*decaen*) en otras más ligeras. Por extensión, es la que origina algunos procesos radiactivos (*desintegración beta*).

Acción: Actúa sobre las partículas denominadas *leptones* y *quarks* (ver la sección siguiente).



Alcance: Menos de 10^{-15} cm.

Fuerza: 10^5 (en la escala anterior).

Interacción electromagnética

Descripción: Es la responsable de la interacción entre las *partículas con carga eléctrica* y, por extensión, de todas las reacciones químicas (y, por consiguiente, de todos los fenómenos biológicos).

Acción: Actúa sobre todas las partículas cargadas eléctricamente. Es de naturaleza *atractiva* o *repulsiva*.

Alcance: Prácticamente infinito.

Fuerza: 10^2 .

Interacción nuclear fuerte

Descripción: Es la responsable de la interacción entre los *nucleones*, esto es, las partículas que forman el núcleo atómico (*protónes* y *neutrones*). Mantiene el núcleo unido (obsérvese que al tener los protones carga eléctrica positiva y los neutrones carga nula, por efecto de la fuerza electromagnética repulsiva entre los primeros, el núcleo sería inestable de no existir esta fuerza). Por extensión, es la responsable de la estabilidad de toda la materia.

Acción: Actúa sobre las partículas denominadas *quarks* (ver la sección siguiente). Es de naturaleza *atractiva*.

Alcance: 10^{-13} cm.

Fuerza: 1. Es la más fuerte.

PARTÍCULAS ELEMENTALES

De acuerdo con la teoría actualmente aceptada (que recibe el nombre de *Modelo Estándar*), las *partículas elementales* pertenecen a dos grandes grupos: los **fermiones** y los **bosones**¹. En realidad todas las partículas subatómicas, sean o no elementales son, o bien fermiones, o bien bosones y es el comportamiento estadístico de dichas partículas el que hace que pertenezcan a uno u otro grupo. El papel que desempeñan en la naturaleza las partículas elementales es muy diferente según sean fermiones o bosones, tal y como se verá seguidamente.

Fermiones

Las partículas elementales que forman parte del grupo de los *fermiones* son los constituyentes básicos de la *materia* y la *antimateria* en el Universo. Aunque no hay una razón aparente que justifique esta asimetría, el Universo parece estar formado esencialmente de materia, aun cuando también se ha detectado en él la presencia de antimateria, principalmente formando parte de los *rayos cósmicos* en forma de *antipartículas*.

Dentro del grupo de los fermiones existen dos familias de partículas elementales: los **leptones** y los **quarks**². En cada una de ellas se agrupan partículas (rigurosamente hablando, *partículas* y sus correspondientes *antipartículas*) con ciertas características comunes:

Familia	Nombre	Símbolo	Masa	Carga	Generación
LEPTONES	Electrón	e	0,511 MeV	-1	Primera
	Neutrino electrónico	ν_e	<18 eV ($>0?$)	0	
	Muón	μ	105,65 MeV	-1	Segunda
	Neutrino muónico	ν_μ	<0,25 MeV ($>0?$)	0	
	Tau	τ	1784 MeV	-1	Tercera
	Neutrino tauónico	ν_τ	<35 MeV ($>0?$)	0	
QUARKS	Up (Arriba)	u	336 MeV	+2/3	Primera
	Down (Abajo)	d	338 MeV	-1/3	
	Charm (Encanto)	c	1500 MeV	+2/3	Segunda
	Strange (Extraño)	s	540 MeV	-1/3	
	Top (Cima)	t	174000 MeV (aprox.)	+2/3	Tercera
	Bottom (Fondo)	b	55000 MeV (aprox.)	-1/3	

Tabla 1

¹ Los nombres de fermión y bosón son en honor de los físicos Enrico Fermi y Satyendra Nath Bose que, simultáneamente con Paul Adrian Maurice Dirac y Albert Einstein respectivamente, desarrollaron sendos modelos teóricos para describir el comportamiento estadístico de cada uno de estos tipos de partículas.

² La palabra leptón proviene del griego y significa ligero. El apelativo quark no tiene etimología; Murray Gell-Mann, que fue quien postuló teóricamente la existencia de estas partículas (simultáneamente a George Zweig) tomó su nombre del título de un cuento llamado Three quarks for Muster Mask.

<u>Nombre</u>	<u>Símbolo</u>	<u>Masa</u>	<u>Carga</u>	<u>Interacción</u>
Gravitón	g	0	0	Gravitacional
Bosones Vectoriales	Z_0 W^+, W^-	94000 MeV (aprox) 83000 MeV (aprox)	0 +1, -1	Nuclear Débil
Fotón	γ	0	0	Electromagnética
Gluones	G_1, G_2, G_3, G_4 G_5, G_6, G_7, G_8	Desconocida (pero no nula)	0	Nuclear Fuerte

Tabla 2

Leptones: Todos ellos son sensibles a la interacción nuclear débil pero no a la fuerte.

Quarks: Todos ellos son sensibles a la interacción nuclear fuerte. Una característica de estas partículas es que no aparecen como partículas libres sino como ingredientes de otras más pesadas que se denominan hadrones: las combinaciones de dos quarks (unquark y unantiquark)

Uno de los objetivos principales de la Física Teórica es poder unificar la descripción de las cuatro interacciones en una sola teoría de campos que sirva para explicarlas todas al unísono

son los llamados *mesones* (y *antimesones*), mientras que las de tres quarks (o tres *antiquarks*) reciben el nombre de *bariones* (o *antibariones*), los más conocidos e importantes de éstos últimos son el *protón* y el *neutrón*.

En cada una de estas familias hay tres *generaciones*. Al parecer, para explicar la constitución de la materia sólo la primera generación es realmente necesaria y, hoy en día, el papel que juegan las otras dos no está completamente claro (en general las partículas de estas generaciones forman partículas pesadas altamente inestables, que son los *mesones* y *bariones pesados*).

En la tabla 1 se recogen las propiedades principales de los leptones y los quarks. Para cada una de las partículas existe la correspondiente antipartícula: ambas tienen la misma masa pero carga eléctrica opuesta (véase el apéndice).

Bosones

Las partículas elementales del grupo de los *bosones* son las que llevan a cabo las interacciones fundamentales. Ésto significa que dos partículas fermiónicas que interactúen entre sí mediante una de las cuatro fuerzas, lo hacen intercambiando alguna de éstas partículas bosónicas.

Hay cuatro clases de partículas elementales del tipo bosónico. Cada una de ellas corresponde a una de las cuatro interacciones y contiene una o varias partículas.

En la tabla 2 se describen las principales propiedades de todas ellas. (Hay que hacer notar que, a diferencia de las partículas fermiónicas, las bosónicas no tienen antipartículas).

Es interesante hacer notar que existe una estrecha relación entre el alcance de una interacción y la masa del bosón o bosones que la implementa: en general, cuanto mayor es la masa de la partícula intermediadora, menor es el alcance de la interacción. Concretamente:

- La interacción gravitacional y la electromagnética tienen alcance infinito, lo cual está relacionado con el hecho de que las partículas que las sustentan (gravitón y fotón) tienen masa nula.
- La interacción gravitacional y la electromagnética tienen alcance finito, lo cual está relacionado con el hecho de que las partículas que las sustentan (bosones vectoriales y gluones) tienen masa no nula.

TEORÍAS DE CAMPOS

Para poder explicar de manera teórica las interacciones fundamentales y, eventualmente, la relación entre éstas y las partículas elementales, los físicos y matemáticos han elaborado diversas teorías que reciben el nombre genérico de **Teorías de Campos**. Las hay de dos tipos:

Teorías Clásicas de Campos: Son las que tratan de explicar el comportamiento *macroscópico* de las



<u>Interacción</u>	<u>Teoría Clásica</u>	<u>Teoría Cuántica</u>	<u>Unificación</u>		
GRAVITACIONAL	Teoría de la Relatividad General	Sin elaborar			
NUCLEAR DÉBIL	No existe (su rango es sólo microscópico)	Teoría Débil	Teoría Electro Débil	Teoría de Gran Unificación	Teoría de Super Unificación
ELECTRO-MAGNÉTICA	Teoría de Maxwell	Electrodinámica Cuántica (QED)			
NUCLEAR FUERTE	No existe (su rango es sólo microscópico)	Cromodinámica Cuántica (QCD)		Unificación	(Aún no elaborada)

Tabla 3

interacciones; esto es, cuando se consideran partículas y distancias grandes (macroscópicas).

Teorías Cuánticas de Campos: Son las que tratan de explicar el comportamiento *microscópico* de las interacciones; esto es, cuando se consideran partículas y distancias microscópicas (en concreto, cuando se trabaja a nivel *subatómico, atómico o molecular*).

Actualmente hay teorías de campos que describen bien cada una de las interacciones, clásica y/o cuánticamente. Uno de los objetivos principales de la Física Teórica es poder unificar la descripción de las cuatro interacciones en una sola teoría de campos que sirva para explicarlas todas al unísono (y que tendrá que ser cuántica necesariamente, ya que algunas de las interacciones sólo tienen rango microscópico). Hasta el momento, este objetivo sólo se ha cubierto parcialmente, aunque hay diversos intentos para culminarlo, como son las teorías de *Supersimetría* y *Supergravedad* y las teorías de *Cuerdas* y *Supercuerdas*.

La situación en el presente se resume en la tabla 3, en la que se halla especificado el nombre y carácter de las teorías que modelizan cada una de las interacciones.

La interacción gravitacional y la electromagnética tienen alcance finito, lo cual está relacionado con el hecho de que las partículas que las sustentan (bosones vectoriales y gluones) tienen masa no nula

La masa de las partículas elementales se mide en unidades de energía. Ello es debido a la conocida relación entre masa y energía establecida en la teoría de la Relatividad Especial de la Relatividad Especial

APÉNDICE

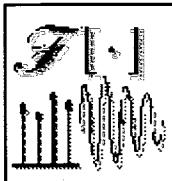
La masa de las partículas elementales se mide en unidades de energía. Ello es debido a la conocida relación entre *masa* y *energía* establecida en la *teoría de la Relatividad Especial*: $E=mc^2$ (*E* es la energía, *m* es la masa en reposo de la partícula y *c* es la velocidad de la luz). La unidad utilizada es el *electrón-Volt* (eV) que es el incremento de la energía cinética de un electrón que esté sometido a una diferencia de potencial de 1 Volt a lo largo de 1 centímetro, y equivale a $1,602 \times 10^{-19}$ Joules. En unidades de masa, 1 eV equivale a $1,782 \times 10^{-33}$ gramos. 1 MeV es un millón de eV.

Para medir la carga eléctrica de las partículas se toma como unidad la carga del electrón que es $1,602 \times 10^{-19}$ Coulombs.

Hay otras propiedades que son indispensables para la completa descripción de las partículas elementales (como son el *spin*, el *número bariónico*, el *número leptónico*, etc.), pero cuya explicación excede el objetivo de esta exposición.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. VARIOS AUTORES: Partículas Elementales. Quarks, Leptones y unificación de las fuerzas. Libros de Investigación y Ciencia. Prensa Científica. Barcelona 1984.



Y SE HIZO LA LUZ...

Jesús Roldán Andrade

Profesor Titular de Universidad del Grupo de Comunicaciones Ópticas.
Responsable de los Proyectos europeos MEPHISTO y MOON en la UPC
Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones
e-mail: roldan@biell.upc.es

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de comunicaciones por fibra óptica punto a punto son hoy en día una realidad. El desafío actual consiste en intentar aprovechar al máximo el gran margen espectral que ofrecen las fibras ópticas como medio de transmisión. Experimentos de multiplexación de canales en longitud de onda con separaciones de algunos nanómetros, que permiten multiplicar por un orden de magnitud la capacidad máxima alcanzada mediante técnicas de multiplexación temporal, son habituales. La posibilidad más ambiciosa consiste en permitir separaciones en longitud de onda del orden de magnitud de la velocidad de transmisión. Con estas técnicas de multiplexación en frecuencias ópticas pueden plantearse teóricamente capacidades globales de transmisión superiores a 1 Tbps.

Experimentos de multiplexación de canales en longitud de onda (...) permiten multiplicar por un orden de magnitud la capacidad máxima alcanzada mediante técnicas de multiplexación temporal

Más aun que la capacidad total de transmisión, la posibilidad de disponer en una red de telecomunicación de centenares o miles de canales de baja velocidad (del orden de 155 Mbps), promete revolucionar profundamente la concepción de sociedad actual. Se podrán apoyar servicios de telecomunicación con aplicación a la industria de servicios (como el teletrabajo en oficinas virtuales), al entretenimiento (como el vídeo bajo demanda) y otros servicios que aún no podemos tan siquiera imaginar. El interés actual en Comunicaciones Ópticas está principalmente centrado en los sistemas de comunicación con multiplexación y en la aplicación de los nuevos componentes (multiplexores, demultiplexores, amplificadores ópticos, conversores de longitud de onda, encaminadores en longitud de onda y conmutadores ópticos) y técnicas a la constitución de redes ópticas. La

independencia de las señales ópticas a diferentes longitudes de onda hacen que ésta sea una opción natural para redes de acceso múltiple, para aplicaciones que se benefician de un medio de transmisión compartido y para redes con gran número de usuarios. Además, el uso de múltiples longitudes de onda reducirá sensiblemente el número de fibras utilizadas a la hora de implementar una arquitectura de red fiable y robusta frente a fallos.

Las técnicas ATM y SDH han sido adoptadas en redes ópticas, aunque han sido completadas con la introducción de nuevas capas de red con tecnología totalmente óptica que son necesarias controlar y gestionar. El hecho de disponer de un número de portadoras elevado presentes de forma simultánea en la red obliga a que el operador a disponer de un sistema de gestión de los nuevos recursos disponibles y que facilite la operación, el mantenimiento y, en alguna medida, la administración de la red.

LA GESTIÓN DE LA RED ÓPTICA

Existe un principio en Telecomunicación que menciona que **no vale la pena instalar lo que no puede controlarse**. De manera que el futuro y la viabilidad de las redes ópticas está intimamente ligado con la capacidad de control y gestión de dichas redes y de sus recursos. Es por ello que diversas iniciativas se han establecido para el estudio, realización y estandarización de sistemas de gestión de redes ópticas. A nivel mundial pueden encontrarse iniciativas en Japón con un proyecto de la compañía NTT sobre redes de transporte fotónico, en USA con los proyectos **MONET** (Multiwavelenght Optical Network), **AON** (All-Optical Network) de MIT, AT&T y DEC, y **NTONTC** (Nationally Transparent Optical Network Consortium) de las compañías Nortel/BNR, Hughes, Rockwell, Sprint, Pacbell, Bay Area.

En Europa podemos encontrar en el marco de los proyectos ACTS las siguientes iniciativas: **METON**, **MEPHISTO** y **MOON**.

El proyecto **METON** (Metropolitan Optical Network) con participación de Ericsson (Suecia), CSELT (Italia), DT (Alemania), Ericsson (Italia), FT-CNET (Francia), HHI (Alemania), National Micro-Electronics



R.C. (Irlanda), Royal Institute of Technology (Suecia), Technical University of Denmark (Dinamarca), Telia (Suecia) y Thomson (Francia); cuyo objetivo fundamental es desarrollar una capa de transporte basada en técnicas de WDM para soportar tráfico ATM/SDH a un número elevado de usuarios en una red de ámbito metropolitano multiservicio.

La UPC participa en los otros dos proyectos ACTS (MEPHISTO y MOON) que son los que más intimamente están relacionados con la gestión de redes ópticas.

PROYECTO AC209-MEPHISTO

Objetivos

El principal objetivo de MEPHISTO es aplicar los principios de gestión de redes (TMN) a redes avanzadas totalmente ópticas, donde la multiplexación en longitud de onda (WDM) se emplea para la transmisión y para propósitos de enrutamiento. Con este fin, el proyecto desarrollará un innovador y genérico modelo de información para la operación y la gestión de redes y de elementos de red ópticos. MEPHISTO adaptará también y desarrollará aplicaciones software de gestión para realizar gestión de fallos, configuración, protección, restauración y prestaciones, de acuerdo con el nuevo modelo de información. Finalmente, el proyecto MEPHISTO demostrará y validará su modelo de información mediante una plataforma de emulación y de un prototipo de red óptica WDM en anillo.

Desarrollo Técnico

El proyecto identificará en primer lugar y examinará los elementos de red ópticos y los bloques funcionales, la funcionalidad óptica específica y los parámetros ópticos específicos que se deben controlar y monitorizar en el contexto de la operación y gestión global de red. Estos parámetros serán definidos, incluyendo el nivel al cual el correspondiente control de información debe hacerlos disponibles y procesados. Así, un adecuado conjunto de

El principal objetivo de MEPHISTO es aplicar los principios de gestión de redes (TMN) a redes avanzadas totalmente ópticas

objetos gestionados con un atributos y comportamientos bien definidos, será desarrollado para permitir una aproximación genérica para el control y la gestión de redes fotónicas, independientemente de su arquitectura interna y la tecnología empleada en los diferentes elementos de red ópticos.

El correspondiente conjunto de especificaciones en la arquitectura funcional y los aspectos de gestión de redes ópticas será abordado aplicando aproximaciones metodológicas innovadoras, cumpliendo las recomendaciones tanto de UIT-T y de ETSI.

MEPHISTO desarrollará un modelo de información compatible TMN para redes ópticas genéricas, con la intención de preservar los nuevos grados de flexibilidad y funcionalidad ofrecidos por las nuevas capas ópticas (constitución de redes WDM, transparencia a la velocidad de transmisión y al formato de modulación, esquemas rápidos de protección). Aplicaciones de gestión básicas (gestor-agente) se desarrollarán de acuerdo con el nuevo modelo de información, para proporcionar servicios de configuración, fallos y prestaciones. Este desarrollo empezará en base a agentes SDH y prototipos de gestores previamente desarrollados modularmente, de acuerdo con los conceptos y arquitectura de TMN. Se realizará la actualización con los nuevos módulos adecuados para redes fotónicas. Por un lado, un nuevo agente será implementado, incluyendo un interfaz software de gestión con programas de control en tiempo real para el hardware del prototipo, y por otro lado, el interfaz software de gestión para la plataforma software de emulación.

Finalmente, se procederá al test del sistema de gestión compuesto por la plataforma de gestión, el software de la plataforma y el prototipo hardware usando el mismo interfaz Q y el apropiado agente.

Contribución de la UPC

La contribución de la UPC al desarrollo técnico del proyecto puede resumirse en los siguientes puntos:

1. Análisis del impacto de la arquitectura de red óptica en el sistema de gestión de la red.
2. Identificación de los elementos de red óptica a gestionar. Determinación de sus parámetros, su funcionalidad y sus interacciones con el sistema de gestión.
3. Determinación de las estrategias de control de la red óptica y su aplicación a las áreas de gestión de configuración, fallos y prestaciones.
4. Colaboración en la preparación de las contribuciones a los comités de estandarización.

Resumen del experimento

Las aplicaciones de gestión software serán probadas y su comportamiento demostrado en dos diferentes montajes experimentales:

Una plataforma de emulación software, capaz de simular diferentes tipos de redes fotónicas será empleado para demostrar el rango total de las funcionalidades especificadas, incluyendo las más sofisticadas.

Un prototipo de red en anillo WDM, constituida por amplificadores ópticos y tres módulos de extracción-inscripción de señal óptica (OADMs), que serán actualiza-

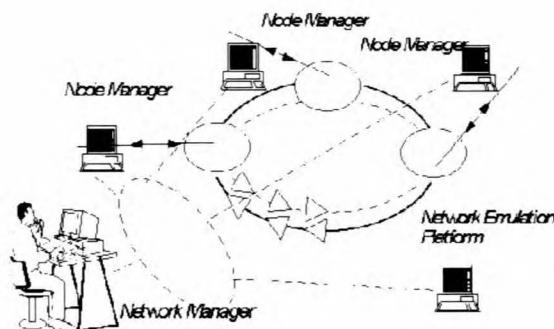


Figura 1. Esquema de la plataforma experimental del proyecto MEPHISTO

dos para cumplir con los principios de TMN y para demostrar la viabilidad práctica real del modelo de información definido, de las funcionalidades ópticas seleccionadas y de las nuevas aplicaciones de gestión.

Aspectos importantes

El planteamiento genérico orientado a aplicación del proyecto MEPHISTO para la gestión de redes de transporte tratará:

- La definición del modelo de información genérico para las redes fotónicas asegurando la compatibilidad con otros tipos de red y con los principios de TMN.

- La interrelación de agentes de gestión, gestores y sistemas de operación para redes fotónicas y elementos de red, incluyendo los aspectos de compatibilidad entre plataformas de trabajo.

- El impacto de los requisitos tecnológicos en el sistema de gestión, tanto en las aplicaciones software como en los interfaces software-hardware.

- Contribuciones a los comités internacionales de estandarización y a los foros sobre control y gestión de redes fotónicas.

Resultados esperados

Los principales resultados esperados del proyecto son:

- Definición de un innovador y genérico modelo de información, compatible TMN, para la operación y gestión de redes fotónicas, válido para diferentes elementos de red ópticos y asegurando la compatibilidad transversal.

- Desarrollo de un prototipo de aplicaciones de gestión para agentes y gestores WDM y demostración en una red óptica experimental.

- Determinación de tecnologías que permiten desarrollos industriales software y hardware para implementar redes ópticas WDM transparentes y totalmente gestionadas.

- Contribuciones a los estándares internacionales en gestión WDM.

PROYECTO AC231-MOON

Objetivos

MOON es un proyecto que pretende el desarrollo de un marco para la gestión de la capa fotónica de la futura

red de transporte pan-europea. Las funcionalidades pioneras serán implementadas en un demostrador de campo, la llamada red MOONET. Se incluye la gestión de cross-connects ópticos que utilizan multiplexación por división en frecuencia (FDM) y enlaces de transmisión de cientos de kilómetros con amplificadores ópticos en línea. Los objetivos del proyecto son:

- Identificar los elementos de red de las redes ópticas, tales como los cross-connects ópticos (OCCs), regeneradores ópticos, y terminales multiplexores ópticos (OTMX), que deben ser controlados en el contexto de la gestión de la red y la operación y mantenimiento.

- Examinar la aplicación de conceptos de las redes de transporte existentes, en relación con la operación, administración y mantenimiento (OAM) y gestión de red por un sistema de gestión de red de telecomunicación (TMN).

- Adaptar y desarrollar OAM, TMN y conceptos de protección para redes de transporte ópticas, incluyendo protocolos, objetos gestionados y la definición de sus atributos.

- Demostrar y validar estos conceptos en un experimento real de campo llamado MOONET.

Desarrollo Técnico

Las redes de transporte totalmente ópticas se descomponen en tres capas localizadas entre la capa de sección de regeneración de su capa cliente (SDH) y la capa de medio físico. La información característica y las funciones de procesado de transporte para cada capa serán definidas para asegurar la adecuada funcionalidad OAM. Esta funcionalidad será soportada por un canal adicional (overhead) usando una frecuencia adicional en cada enlace.

Para la gestión de la sección de regeneración óptica un canal de supervisión será implementado usando técnicas de FDM. Un regenerador óptico consiste en un amplificador de línea y, cuando sea necesario, un módulo de compensación de dispersión. Una señal fuera de banda (respecto a la banda de los amplificadores ópticos utilizados) se empleará como canal de supervisión. Esta solución garantiza una clara separación entre OAM y los datos de información de los usuarios. La señal de supervisión se terminará en cada regenerador, extrayéndola antes de los dispositivos de amplificación, convirtiéndola en señal eléctrica procesándola e insertándola de nuevo ópticamente después del dispositivo de amplificación. En los nodos con OCCs el canal de supervisión se termina finalmente y se proporciona un interfaz adecuado para el sistema de gestión de red.

Los operadores de redes de telecomunicación esperan que los suministradores de equipos proporcionen soluciones más que componentes de red. Además, esperan conseguir una solución compatible con sus aplicaciones de gestión TMN. Por este motivo, se emplean dispositivos de mediación (mediation devices) en multitud de aplicaciones. Estos dispositivos de mediación proporcionan un interfaz estándar (Q3) para TMN. No obstante,



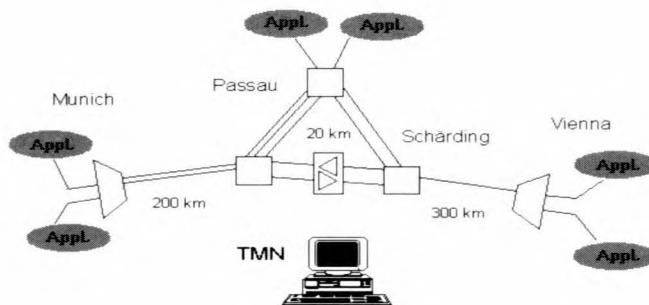


Fig 2. Plataforma experimental del proyecto MOON

existen numerosos interfaces a los elementos de red de la aplicación. Uno de los OCCs de MOONET tendrá un interfaz Q3, para conectar los otros dos al sistema TMN se usarán dispositivos de mediación.

Contribución de UPC

La contribución de la UPC al desarrollo del proyecto MOON se puede concretar en los siguientes aspectos:

- Determinación de los parámetros de control de la red óptica significativos para el sistema de gestión.
- Medida de la calidad de las señales ópticas sin interferencia en el tráfico eléctrico.
- Propuesta de estudio de control de calidad de los canales ópticos. Estudio sobre la estimación de la degradación de la calidad en los mencionados enlaces.
- Desarrollo de nuevas técnicas avanzadas para la supervisión de redes ópticas multiportadora.

Resumen del experimento

La experiencia de campo MOONET se basará en enlaces FDM y los OCCs del proyecto ACTS PHOTON, AC084. Este proyecto utiliza la red PHOTONET configurada como una estrella. El proyecto MOON extenderá dicha red.

En primer lugar, dos OCCs adicionales se suministrarán por parte de algunos socios del consorcio. Los OCCs se adaptarán a la red y se actualizarán para proporcionar un interfaz de gestión de red. Estos dos OCCs se integrarán con la aplicación de gestión basándose en un sistema de operación TMN (TMN-OS) y con los amplificadores ópticos repetidores de línea gestionados.

Finalmente, los dos nodos supplementarios se integrarán con la red existente y con los OCCs actualizados. En este momento, MOONET será una red en malla total con tres OCCs y dos terminales multiplexores ópticos.

Aspectos importantes

Estos son la gestión de OCCs y de regeneradores ópticos. La definición de un modelo apropiado de información para los objetos gestionados de estos elementos de red es importante para poder conseguir una solución de

gestión que permita adaptarse fácilmente a los sistemas de gestión actual de las redes de telecomunicación eléctricas.

Especial atención se pondrá en la gestión de configuración y de fallos. La naturaleza óptica de las señales influye decisivamente en la realización de dichas funciones de gestión. El reto técnico es doble: restringir la presentación al nivel de gestión de red de los parámetros significativos y necesarios, y conseguir tanta información como sea posible de las señales ópticas sin tener acceso al tráfico eléctrico.

Resultados esperados

La configuración de la experiencia de campo dará lugar a las pruebas de la funcionalidad de una red óptica gestionada. Su estructura permitirá la introducción de una variedad suficiente de fallos para asegurar la evaluación de la funcionalidad de la red.

Como ejemplo, el fallo de un enlace de fibra que conecte a dos OCCs puede ser simulado prácticamente para probar los servicios de notificación de fallos suministrados por el área funcional de gestión de fallos en el sistema de gestión. Escenarios de fallos incluirán el fallo de un OCC, de un amplificador óptico y la situación de excesiva atenuación de señal. Ejemplos de gestión de configuración serán el proceso de enrutamiento y el ajuste del nivel de potencia óptica.

El acceso a las aplicaciones será sencillo, ya que los equipos de transmisión SDH estarán conectados permitiendo la conexión a la red pública. Para ambas áreas funcionales, configuración y fallos, se comprobará la interacción con los sistemas de SDH.

CONCLUSIÓN

En estos años estamos asistiendo a la consagración de la tecnología óptica en el ámbito de las redes de telecomunicación. Prueba irrefutable de ello, es la necesidad manifiesta por parte de los operadores de red, de gestión de los nuevos recursos inherentes a la utilización de esta tecnología.



AQUELLOS TIEMPOS...

David Rincón Rivera

Estudiante de doctorado del Departamento de Matemática
Aplicada y Telemática
e-mail: teldrr@mat.upc.es

Probablemente, todos los que lean este revista serán ingenieros, estudiantes de ingeniería, o como mínimo, llevan el gusanillo de la ingeniería dentro. Seguramente, ésta no será la única revista que tengan sobre la mesa; será una más entre los últimos ejemplares de alguna revista de informática o telecomunicaciones, donde se describirán los equipos más modernos, nuevos algoritmos, nuevos modelos de tráfico o de propagación electromagnética... Hay que estar al día, dicen.

En la actualidad, la Humanidad ha alcanzado un nivel tecnológico considerable. En el caso concreto de las telecomunicaciones, nos acercamos cada vez más al objetivo de poner un terminal personal al alcance de todos y cada uno de los habitantes del planeta.

Sin embargo, no viene mal recordar de vez en cuando que somos *herederos* del trabajo hecho por otros ingenieros que nos precedieron. Herederos de una tradición, de una manera de hacer las cosas; de gente como nosotros, que quería aplicar a la vida diaria los avances científicos. La única diferencia entre ellos y nosotros son los medios disponibles, mucho más escasos en el pasado. Incluso así, fueron capaces de legarnos una cantidad impresionante de conocimientos sobre física, electrónica y matemáticas. Y, como buenos ingenieros, sin descuidar las aplicaciones prácticas y la economía; sin dejar de tocar con los pies en la tierra.

Este artículo quiere ser un pequeño homenaje personal a aquellos pioneros. He querido centrarlo en la figura de los introductores de la radio en nuestro país, las personas que fundaron y pusieron en funcionamiento la «Estación de Emisiones EAJ-1 Radio Barcelona», como símbolo de una de las primeras tecnologías de comunicación, junto con el teléfono, que se introdujo en la sociedad. El texto consiste en una serie de capítulos sueltos, breves episodios en la vida de la emisora durante sus primeros años, que pretendo sirvan para dar una idea general de cómo se trabajaba en aquellos tiempos. El material para escribir el artículo ha sido extraído de diversos números de la revista «Radio Barcelona» de los años 20 y 30. La prosa ha quedado un poco desfasada, como podréis ver en los fragmentos que se incluyen, pero le da un aire de antigüedad e incluso de inocencia, que me hace pensar en el entusiasmo con el que aquellos técnicos emprendieron la aventura de la radio... y nos hicieron soñar.

LA FUNDACIÓN DE LA EMISORA (14 DE NOVIEMBRE DE 1924)

Radio Barcelona nació a partir de la denominada Asociación Nacional de Radiodifusión, que agrupaba a los técnicos aficionados a la «Telefonía Sin Hilos» (TSH) de la Ciudad Condal (que se llamaban a sí mismos «sinhilistas»). La Asociación funcionaba en un régimen parecido a una cooperativa, y las emisiones se sufragaban mediante el pago de cuotas de socio. De hecho, uno de los objetivos de la revista era el de captar nuevos socios y así poder asumir nuevos retos.

Así se expresaba el director, apelando a los posibles suscriptores:

«(...) De ello se desprende que las emisiones de la primera estación española deben ser de una calidad tal, que no desmerezcan del abolengo de nuestra actividad artística, literaria y científica.

Es, pues, un compromiso moral el que adquiere nuestra ciudad al poner en marcha la nueva estación. Es absolutamente indispensable, por tanto, que se den buenos programas. Pero como ello no se hace sin dinero, es preciso que todos los que simpaticen con nuestra idea vengan en ayuda de nuestra difícil tarea. Sabios y profanos, pobres y ricos, comerciantes e industriales, campesinos y pescadores, de todos necesitamos y cada uno de vosotros será una ayuda preciosa. Aparte de lo que cada uno bienamente pueda, dinero algunos, procurando socios los otros, y los que las circunstancias no les permitan hacer nada de eso, que serán los menos, que colaboren moralmente y hagan ambiente favorable para nuestra Radio Barcelona. De todos necesitamos, pues queremos que las emisiones no sean obra de unos cuantos, sino de todos; obra, en fin de Cataluña.»

Pese a estos llamamientos casi patrióticos, la generosidad de los radioyentes era escasa; en uno de los comunicados (publicado en septiembre de 1925) se ofrecen cifras que nos dan una idea del éxito que tuvo la radio en la ciudad:

«(...) Triste es decirlo, pero de entre más de 100.000 aparatos que hay en Barcelona, sólo contamos en la A.N.de R. con tres mil socios, lo que nos induce a manifestar que existen 97.000 señores emboscados que gozan de las ventajas que les proporcionan 3.000 socios





I. Pablo Llorente, presidente de la A. N. de R.
II. Roigdon Sr. Noble, secretario de la A. N. de R.
III. P. Mr. de R. Noble, secretario de la A. N. de R.
IV. Enrique Huici, director de la Casa Guillén-García en España.
V. José P. Martínez, director de la Casa Vitória y Solerinos de D. Prades.
VI. Maldonado, director de la Compañía Nacional de Electrificación.

protectores como Vd., que, conscientes de sus deberes, contribuyen al sostenimiento de estas emisiones.(..)»

Los problemas económicos no impidieron que la aventura siguiera adelante; de hecho, la inversión en equipos de transmisión y enlaces fue considerable.

LA NUEVA ANTENA (SEPTIEMBRE DE 1925)

«Dentro de breves semanas, la gloriosa antena de Radio Barcelona, que fue la primera antena que en el corazón de la ciudad rompió sus vibraciones etéreas para llevar a lejanas comarcas las palpitaciones de la capital catalana, va a trasladarse a otro emplazamiento, en la cumbre del Tibidabo (Hotel Florida), desde donde, aumentada veinte veces su potencia, extenderá sus misteriosas ondulaciones, no a una reducida área, sino que sus ondas cubrirán a Europa entera, y quizás franquen los mares (...)»

Así se expresaba José María de Guillén-García, director de las Emisiones Radio Barcelona, en septiembre de 1925. Hasta esa fecha, la estructura radiante se hallaba situada en plena Plaza Cataluña, sobre el tejado del Hotel Colón. Dicha instalación se había quedado pequeña, tanto por dimensiones como por potencia de los equipos transmisores (apenas 50 W, que se pueden comparar con los 50 kW de la emisora actual de Onda Media Radio Barcelona). Por otra parte, la posición de la antena en el centro de la ciudad creaba muchas

interferencias a los radioescuchas que intentaban captar emisiones extranjeras. Así lo explicaba Victor Rossich en septiembre de 1925:

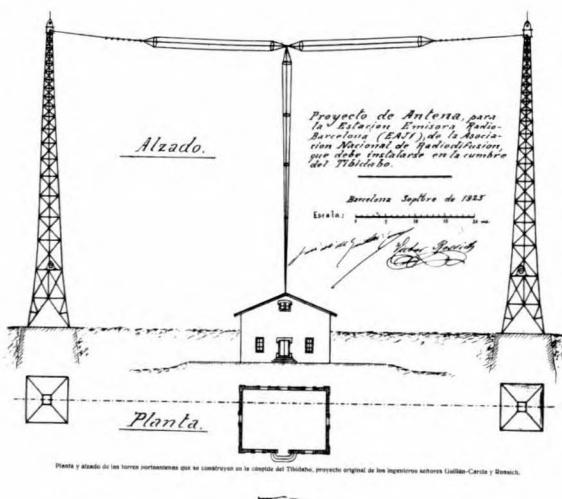
«(...) Esta considerable potencia hizo pensar a la dirección técnica de esta Asociación en la conveniencia de alejar la antena todo lo posible de esta capital, dentro de la necesidad de no alejarse excesivamente del estudio o sala de conferencias y conciertos actualmente instalado en la calle de Caspe, número 12. Este alejamiento es necesario para aminorar las causas de interferencia con las demás estaciones lejanas, nacionales y extranjeras, debidas a la proximidad y potencia de esta estación local.»

La descripción técnica de la estructura del poste radiante viene a continuación, e incluye un curioso argumento estético:

«(...) El aéreo estará sostenido por dos torres metálicas situadas a 80 metros de distancia entre sí, con línea horizontal y bajada vertical en medio, prismáticas, formada por cables de bronce cuidadosamente aislados.

Las torres, de forma esbelta y ligeras, tendrán 45 metros de altura, quedando l aéreo horizontal suspendido a unos 50 metros del piso de la caseta de aparatos de amplificación y radiotransmisión.

El carácter eminentemente artístico y bello del lugar prohibía el empleo de mástiles sostenidos por cables inclinados, por lo que la dirección técnica se ha decidido por torres, a pesar de ser esta solución muchísimo más cara. (...)»



Proyecto de la nueva antena del Tibidabo (1925)

También se renovaron los equipos emisores, y las líneas microfónicas de enlace entre los estudios y la antena. Aquí tenemos una descripción de las nuevas instalaciones técnicas:

«En el equipo radiotelefónico tipo 106-A, la potencia de la radiofrecuencia, en el sistema de antena, es de 1000 vatios y opera con frecuencias comprendidas entre 500 y 1,500 kilociclos (600-200 metros).

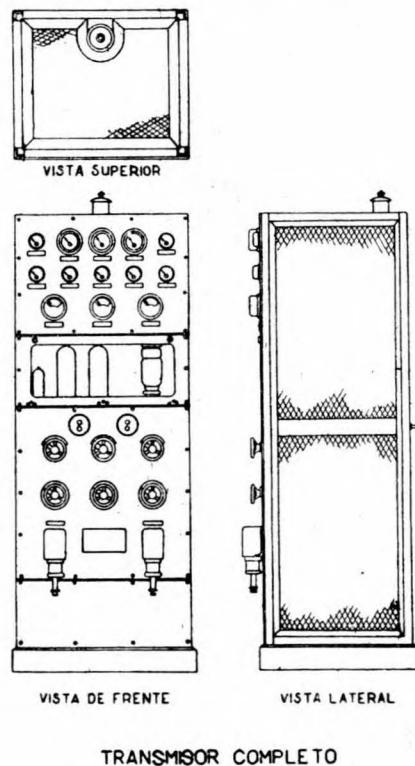
Las partes principales de que consta este equipo son las siguientes:

- 1º Radiotransmisor tipo 6-A.
- 2º Grupo de motor y generadores para la corriente de placa.
- 3º Grupo de motor y generadores para la corriente de filamento y rejilla.
- 4º Equipo de amplificadores para los micrófonos y el control; y
- 5º Radiorreceptor tipo 6,004-G»

La descripción del Radiotransmisor, pese a ser un poco densa, nos hace viajar a una época en la que la tecnología de radiofrecuencia estaba en pañales:

«El Radiotransmisor forma un solo grupo (figura n). Los motores y generadores se instalan en un departamento aparte, pero la puesta en marcha de ellos, la parada y el control están en el frente del panel del transmisor. En la parte de este panel hay una ventana de cristal, la cual se abre permitiendo el acceso a las válvulas y poder observarlas desde el frente del grupo. En la parte superior de esta ventana hay tres filas de aparatos de medida que están colocados simétricamente con la línea de los centros, y debajo de la antedicha ventana están montados los controles del transmisor y los 'relais' (sic) de sobrecarga.

ESTACION EMISORA WESTERN ELECTRIC
NUEVO TIPO



TRANSMISOR COMPLETO

El sistema oscilador-modular emplea dos válvulas de 250 vatios: una del modulador y otra del oscilador; ambas están en conjunción con otra válvula de 50 vatios, correspondiente al amplificador de entrada. La energía

de radiofrecuencia se amplifica por una válvula de reciente invención refrigerada por agua que utiliza 4,000 voltios en placa. La salida a la antena se verifica por medio de un circuito de capacidades acopladas. El empleo de una mutua capacidad en el acoplamiento de la antena asegura la supresión de los armónicos y limita la radiación a la frecuencia de onda prescrita.

La característica de la radiofrecuencia está achatada sobre una extensión de 100 a 5,000 ciclos, no variando más que una unidad de transmisión en ella y en el extremo final del grado necesario de frecuencia, especialmente 30 y 7,000 ciclos; luego la variación no es materialmente grande.

La razón de la potencia del transmisor es tal, que la energía de la onda portadora suministrada a la antena, debido a la acción de amplia capacidad de que está provista la válvula amplificadora, los valores de las puntas pueden extenderse durante la modulación a 2'5 kilovatios.

La potencia de la corriente continua suministrada a la placa de la válvula amplificadora es de 3'4 kilovatios y la de las válvulas osciladora, moduladora y amplificadora de audiofrecuencia reunidas es de 1'6 kilovatios. La potencia total comprendida en las líneas de suministro es de 7'5 kilovatios.

La puesta en marcha y parada del equipo se realiza cómodamente por medio de dos interruptores de presión. La protección de todos los circuitos está prevista por medio de los 'relais' de sobrecarga. Para el ajuste del voltaje de corriente continua hay tres reóstatos de campo colocados en el panel del transmisor, así como voltímetros que indican la tensión en los terminales del filamento de la válvula amplificadora de potencia, de la dinamo en rejilla y de los terminales de 4,000 voltios de los generadores de alta tensión. Junto con estos voltímetros van montados amperímetros para indicar las corrientes de rejilla y placa del amplificador de potencia del circuito cerrado, de antena, de placa, rejilla del oscilador y modulador de placa de la válvula amplificadora en audiofrecuencia y de carga del oscilador y del acoplamiento de resistencia. También hay un interruptor de presión y una válvula rectificadora que, en conjunción con un altavoz, obra como monitor de la salida de señales del transmisor.»

Los equipos estaban alimentados con generadores propios, ya que la compañía eléctrica no podía proporcionar la fuerza necesaria:

«Son dos los grupos generadores que suministran la energía al transmisor. Uno de ellos consiste en una dinamo de 24 voltios para la corriente de filamento y otra dinamo de 250 voltios para el voltaje de la rejilla y para la excitación de las dinamos de alto voltaje. Ambas son accionadas por un motor de 4 HP, y los dos montados sobre una misma base con los ejes acoplados.

El otro grupo de generadores consiste en dos dinamos a 2,000 voltios accionadas por un motor de 8 HP de fuerza. Uno de estos generadores se emplea para suministrar la corriente de placa a todas las válvulas,



excepto la amplificadora de potencia refrigerada por agua, que se le suministra la tensión de placas por medio de las dos dinamos conectadas en serie.»



Una de las lámparas de la nueva emisora

Por supuesto, los amplificadores eran una parte importante, y su linealidad, la característica más importante; por ello se pone especial énfasis en evitar la saturación:

«Para una uniforme transmisión hay que variar la amplificación de las corrientes del micrófono con arreglo a las variaciones de la palabra y de la música, y para esto hay un indicador de volumen cuya función es, por su intermedio, poder enviar uniformemente en su amplificación las señales al radiotransmisor. La comunicación y las señales entre la sala de control y el estudio se provee en la primera por un dispositivo situado en el panel ya mencionado y en el segundo por medio de un grupo telefónico y de señales montado en dicho estudio. (...)»

LAS LÍNEAS MICROFÓNICAS

Para poder enlazar los estudios centrales de la emisora con la antena, se disponía de líneas microfónicas especiales. Dichas líneas se aplicaron también a la retransmisión de acontecimientos desde lugares fijos, como el Ayuntamiento, la Diputación, los teatros, las salas de conciertos, el Liceo, la Universidad, etc. No se disponía de equipos de radiofrecuencia, por lo que en vez de "unidades móviles", lo que se usaban eran equipos transmisores portátiles que se conectaban a la emisora por medio de las líneas

Pese a que todos estos locales se encontraban en el centro de Barcelona, a poca distancia de la calle Caspe (donde se encontraban los estudios centrales), la instalación de las líneas supuso un esfuerzo gigantesco, tanto económica como técnicamente. No es de extrañar que el departamento técnico de la emisora expresara su orgullo:

«Pocas emisoras hay en el mundo, nos atrevemos a decir la única en Europa, que como Radio Barcelona posean unas líneas microfónicas de retransmisión propias tan extensas en la reducida área de una ciudad. Los pacientes estudios e infinitos ensayos realizados por el alma de las emisiones Radio Barcelona, el culto ingeniero señor Guillén-García, han dado como resultado el dotar a la emisora E.A.J. I de unas líneas y retransmisores que llenan plenamente las exigencias del más escrupuloso dilettanti de la música, como lo prueban las emisiones de la Banda Municipal y Teatro del Liceo. (...)»

Como en otros aspectos, el modelo a seguir en el trazado y construcción de las líneas era el de los Estados Unidos:

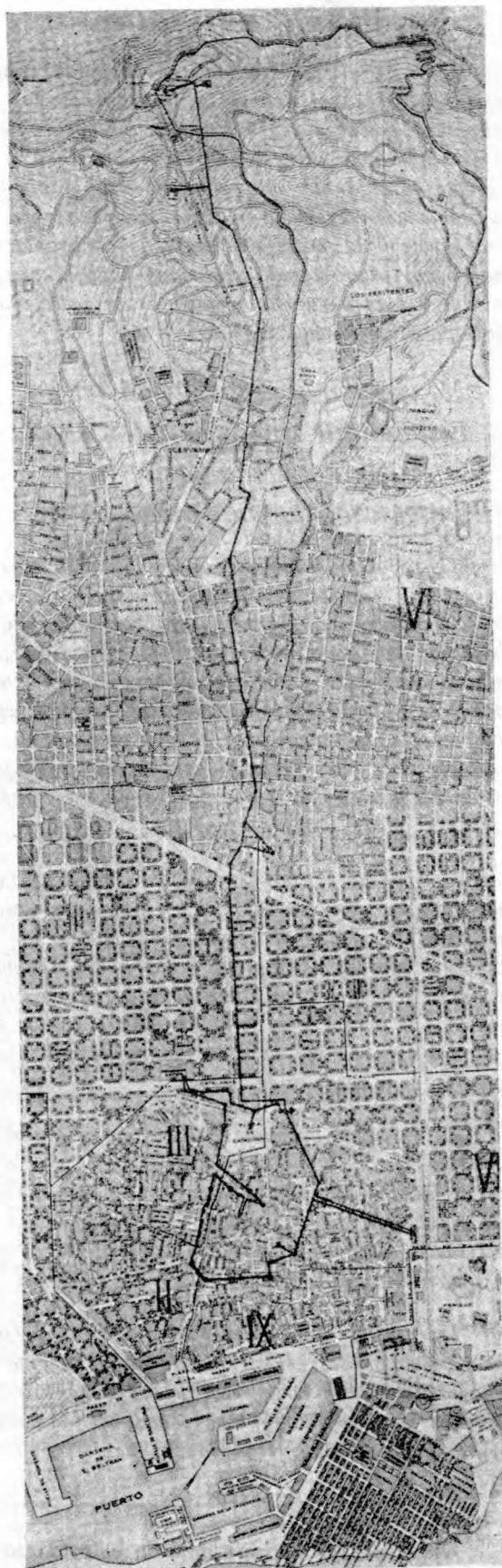
«(...) Sabido es que la retransmisión de la palabra es cosa fácil; pero cuando se llega a vibraciones que pasan de lo normal, como acontece con la música y el canto, no sirven las líneas telefónicas ordinarias. Por esta razón en América, en donde son maestros en retransmisiones, no se emplean nunca las líneas ordinarias, sino que se construyen, para unir las estaciones, 'extensions' especiales, casi siempre construidas por un grupo de emisoras, dado el gran coste de estas líneas. (...)»

Los autores del proyecto fueron los ingenieros Guillén-García, Villaverde y Oñate. Para la instalación de las líneas se usaron equipos muy avanzados (para la época):

«(...) Las líneas son tres: una microfónica, con hilo recubierto especial, muy grueso, de cobre electrolítico; otra para señales entre el transmisor y los estudios, y una tercera como línea auxiliar para el caso de rotura de una de aquéllas. Todas estas líneas van apoyadas sobre aisladores especiales para alta tensión y están dispuestas con transposiciones de módulo muy corto para evitar las inducciones de líneas cercanas (telegráficas, fónicas, alta tensión, tranvías, etc.) y de las mismas que paralelamente corren desde los estudios a la emisora.

Para tener la seguridad absoluta de que no existan inducciones se usará el 'cross-talk-meter' (medidor de conversaciones cruzadas), aparato poco conocido en nuestro país pero muy empleado en Norteamérica y que, en el tiempo que lo han usado los técnicos de Radio Barcelona, ha proporcionado resultados muy prácticos. (...)»

Curiosamente, hubo problemas al decidir el trazado, causado por las reticencias de los ciudadanos. El



Trazado de las líneas microfónicas de la emisora «Radio Barcelona»
RADIO BARCELONA - 5

siguiente párrafo, escrito en un estilo casi poético, permite hacerse una idea de como iban las cosas:

«(...) El trazado y tendido de las líneas se debe al inteligente jefe de telégrafos, don Luis Amador, quien, para sortear las serias dificultades con que se tropieza al pasar las líneas por la ciudad, ha necesitado su inagotable oratoria para convencer a propietarios y porteras, en rebeldía siempre que se trata de un bien público; pero por fin ha triunfado el tozudo extremeño y pronto será un hecho el tendido de las líneas que, dada la pericia de dicho señor en esta materia, esperamos resistirán los temporales más furiosos. (...)»

Finalmente, las líneas se pudieron instalar sin mayores problemas. El coste total del proyecto fue la astronómica cantidad de 30.000 pesetas, y en él se emplearon casi 40 km de alambre grueso de cobre que fue «fabricado especialmente por la casa Pirelli».

LOS CONFLICTOS CON LOS EMPRESARIOS DE TEATROS

Los grandes damnificados con la aparición de la radio fueron los empresarios de teatro barceloneses; pese a estar inicialmente a favor (se instalaron las líneas microfónicas entre los teatros y la emisora), posteriormente se dieron cuenta de que la radio era una competencia directa, pese a los argumentos de la dirección de la emisora:

«(...) Nada diremos del Gran Teatro del Liceo, que tras no pocos esfuerzos hemos logrado cerrar tratos con la empresa, lo que nos permite, como así lo hemos manifestado en un número anterior de la Revista, el que las emisiones posean un atractivo que pocas de Europa tienen.

Respecto a la transmisión desde los demás teatros nada podemos hacer, aunque no es por culpa nuestra. Los empresarios, tercos en el mal entendido de que la radio perjudica al teatro (afirmación falsa, como hemos demostrado varias veces), no nos dejan instalar nuestros micrófonos en los escenarios, perdiendo en esta estéril lucha todos: los radioyentes, por verse privados de dichas retransmisiones, y los empresarios no embolsando unas miles de pesetas que ofreceríamos a cambio de las retransmisiones. Esperamos que con el tiempo la ecuanimidad sabrá imponerse.»

LOS CONFLICTOS CON EAJ-13

Ya en los primeros años de la radiodifusión se dio la lucha por la audiencia. A los pocos meses de iniciar sus actividades Radio Barcelona, se creó el Radio Club Cataluña, que consiguió la licencia EAJ-13 (Radio Catalana, más tarde Ràdio Associació de Catalunya, tras la guerra Radio España de Barcelona, luego Cadena Catalana y en nuestros días Onda Cero Barcelona).



El funcionamiento de dos emisoras en la misma ciudad creaba gravísimos problemas de interferencias, en una época en la que algunos de los receptores que se encontraban en las tiendas carecían de sintonizador.

La polémica entre las dos asociaciones radiofónicas se trasladaron a la prensa (especialmente La Vanguardia y La Publicitat, también rivales), así como las respectivas revistas (Radio Barcelona y Catalunya Ràdio). Las disputas no se limitaban a las cuestiones técnicas, sino que eran un pretexto en la lucha por captar socios y oyentes; posiblemente también había un trasfondo político.

Las técnicas de contraprogramación e interferencias llegaron a los siguientes extremos:

«(...) la buena disposición de esta emisora (Radio Barcelona) para llegar a una aveniencia con Radio Catalana, deseos que se estrellaron siempre con el silencio hermético y la hostilidad manifiesta de la estación de la calle de París (Radio Catalana), que se ponía a tocar tangos y americanas cuando los radioyentes estaban en plena audición de los programas del Liceo.»

LA TELEVISIÓN

Para finalizar, y con el objeto de hacernos una idea del espíritu innovador de los radioaficionados de la época, señalaremos el gran interés en la posibilidad de efectuar emisiones de televisión (recordemos que faltaban más de 10 años para que la BBC iniciara retransmisiones regulares de TV). Reproducimos un artículo de Salvador Raurich, de octubre de 1926, con el título «El problema de la televisión: su estado actual»:

«El mundo sinhilista se preocupa profundamente por este grave problema como consecuencia inmediata de la radiotelefonía. La frecuencia con que se reciben en estas oficinas cartas haciendo preguntas sobre esta materia, demuestra que el problema interesa también a nuestros amigos radioyentes barceloneses.

Mientras unos se declaran abiertamente escépticos al punto de negar hasta las posibilidades de este triunfo científico, otros vislumbran su realización material creyendo que la televisión será una cosa equivalente a un telescopio mágico de visión directa.

A aquellos que niegan rotundamente hasta las posibilidades, nos limitaríamos a preguntarles si veinticinco años atrás hubieran creído en el próximo advenimiento de la radiotelefonía que nos trae a domicilio conciertos y discursos desde la ignota lejanía. A los demás les advertiríamos que en materia de descubrimientos científicos es peligroso soñar despierto.

Ahora bien; dejando de lado apreciaciones individuales, es necesario reconocer que el problema avanza de un modo sensible. Podrá tardar más o menos en

satisfacer las ansias de la humanidad, pero todo contribuye a crear un ambiente de credulidad bien fundada en los resultados presentes y otros que se avecinan.

Claro que el ideal consistiría en realizar el problema en el terreno de una visión retiniana directa, el 'telescopio' con el que sueñan los más optimistas. Pero no van, al parecer, por este camino las investigaciones presentes. Hoy por hoy, sólo cabe concebir la resolución del problema en el terreno de la transmisión, o lo que es igual concebir la posibilidad de poder contemplar la imagen movida proyectada sobre una pantalla luminosa sensible, lo cual presupone un efecto visual que recordaría la pantalla cinematográfica.

No viene mal recordar de vez en cuando que somos herederos del trabajo hecho por otros ingenieros que nos precedieron.

La mayoría de los experimentos recientes en televisión han tenido por fundamento explorar la luz reflejada de cada parte fraccional de una imagen, cada décimo de segundo o menos, y por medio de señales a gran velocidad, transmitirlos al aparato receptor en sucesión de la misma manera que se transmiten por fracciones parciales las fotografías o dibujos telegráficos.

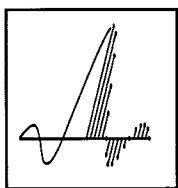
Hoy por hoy el transmisor de televisión viene a ser un transmisor ordinario de T.S.H., en lo que concierne a las ondas. Por ejemplo, uno de los que se han hecho más populares -el del sistema inglés Baird- opera con onda de 200 metros entre el centro de Londres y Harrow, a la distancia de unos 12 km., y lo que ocurre delante del transmisor en Londres, es visto claramente 'sobre una pantalla' en el receptor de Harrow.

La dificultad principal está en poder transmitir simultáneamente en 'bloque' y con la rapidez necesaria los casi incontables puntos luminosos y oscuros de que se compone una imagen o escena en movimiento, que es precisamente a lo que tienden los electrotécnicos que persiguen sin descanso la resolución del problema.

Entretanto, no conviene dejarse llevar de prejuicios y desconfianzas. El descubrimiento tan reciente de la radiotelefonía ofrece una lección que demuestra que lo imposible es una palabra casi vacía de sentido tratándose de las conquistas del genio científico.

Esperemos con serenidad.»

Este mensaje de esperanza en el progreso y pragmatismo ante las dificultades técnicas sintetiza en pocas palabras el trabajo de los ingenieros, y es, sin duda, la mejor manera de acabar este pequeño homenaje a los pioneros de la radio en nuestro país.



CONTROL ACTIVO DE RUIDO EN CONDUCTOS

Carlos Hernández*, Alberto González**, Antonio Albiol***

* Becario del Departamento de Comunicaciones, UPV

** Profesor Titular de Escuela Universitaria

*** Profesor Titular de Universidad

Departamento de Comunicaciones, UPV, ETSI Telecomunicación

Camino de Vera, s/n, Universidad Politécnica de Valencia

46071, Valencia, España

Tel: (96) 387-7300, Fax: (96) 387-7309, e-mail: chernand@dcom.upv.es

Abstract

El presente artículo define que es el *Control Activo de Ruido en Conductos*¹ dentro del campo del *Control Activo de Ruido*². Cuál es el principio sobre el que se basa, las diferentes aplicaciones que posee así como los problemas prácticos que se presentan en su implementación. Se propone un algoritmo adaptativo que realiza la estimación de los coeficientes del filtro digital, no mediante técnicas del gradiente, sino mediante simples operaciones de evaluación de funciones, algoritmo *Downhill Simplex Method*³.

INTRODUCCIÓN

El *Control Activo de Ruido* es una aplicación emergente del procesado digital de señales. La idea es conceptualmente simple: se desea atenuar una señal acústica indeseada, que denominaremos señal primaria; para ello se genera una segunda señal acústica mediante una fuente que llamaremos secundaria, que sumada a la señal primaria produzca la máxima cancelación posible. Aunque la idea es simple, su implementación práctica no está exenta de dificultades debido a numerosas razones, por lo que continua siendo un tema vigente de investigación. Dentro del CAR existen, principalmente, dos tipos de problemas, con dificultades y soluciones diferentes: por un lado el *Control Activo de Ruido en Conductos* y por el otro el *Control Activo de Ruido en Recintos*⁴.

El CAReC tiene aplicación en diferentes campos como son conductos de aireación, escapes de coches, etc, siendo su objetivo la cancelación del ruido a la salida del mismo. En cuanto al CAReR el problema es bastante más complejo. Normalmente el CAReR es propio del interior

de coches, aviones, salas y naves industriales, etc. En general el problema sólo es abordable en la práctica si las dimensiones del recinto son pequeñas en términos de longitudes de onda.

CONTROL ACTIVO DE RUIDO EN CONDUCTOS

Un sistema CAR para CAReC, Fig. 1, es propio de aplicaciones donde se desea controlar el campo acústico en conductos estrechos y de gran longitud. El mismo tendrá un micrófono de referencia ubicado en la región *upstream*⁵, una fuente secundaria ubicada en la zona de cancelación y un micrófono de error ubicado en la región *downstream*⁶.

La idea es conceptualmente simple: se desea atenuar una señal acústica indeseada, que denominaremos señal primaria

La señal de referencia es procesada por el sistema CAR para generar la señal de control que excita el altavoz de cancelación. La señal captada por el micrófono de error servirá para controlar el proceso adaptativo. El objetivo del sistema CAR será minimizar la medida de la potencia de la señal de error y por tanto del error residual del ruido acústico. Aunque aquí el sistema CAR es

¹ CAReC

² CAR

³ DSM

⁴ CAReR

⁵ Región del conducto entre la fuente primaria y el altavoz de calibración

⁶ Región del conducto entre el altavoz de cancelación y el micrófono de error



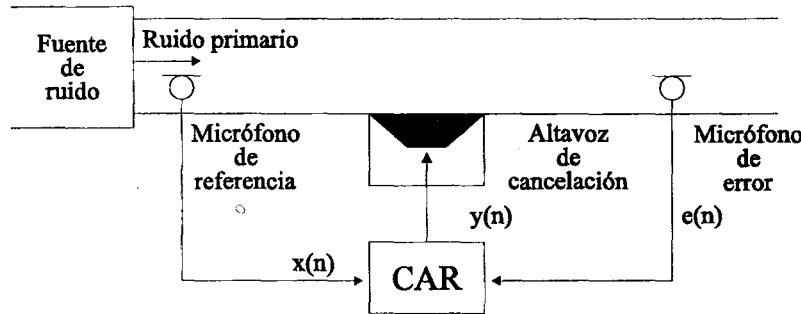


Figura 1. Sistema CAR para CAReC.

utilizado para el CAReC, los aspectos teóricos que se enuncién son extensibles a una gran variedad de problemas de control de ruido y vibraciones.

A partir de la Fig. 1 podemos obtener la estructura del sistema CAR para CAReC, Fig. 2. El ruido a cancelar será captado por el micrófono de referencia, $x(n)$, y procesado por el sistema CAR que implementa un filtro adaptativo. La salida de dicho filtro, $y(n)$, excitará la fuente secundaria en un intento de cancelar el ruido presente en la zona de cancelación, $d(n)$.

La señal de referencia $x(n)$ estará correlada con el ruido a cancelar y proporciona información sobre el mismo antes de que este llegue a la zona de cancelación. Esto es una condición necesaria para que el sistema CAR sea *causal*. La señal de error $e(n)$ será captada por el micrófono de error y utilizada para actualizar los coeficientes del filtro adaptativo, con el objetivo de lograr la minimización de la misma y por tanto alcanzar la cancelación del ruido primario.

Podemos considerar el procesamiento que realiza el sistema CAR como de *identificación de sistemas*. Esta identificación tiene como fin modelar un determinado proceso o función de transferencia desconocida. La idea

básica consiste en medir las señales producidas por el sistema desconocido para entonces elaborar un modelo del mismo, Fig. 3.

La función de transferencia del sistema desconocido será $P(z)^7$ mientras que $W(z)$ se asociará con la del filtro adaptativo. Generalmente basados en algoritmos adaptativos que tratan de minimizar una señal de error residual $e(n)$, para estos filtros adaptativos el caso ideal de cancelación se corresponde con $W(z) = P(z)$.

Suministrando tanto al sistema desconocido como al filtro adaptativo la misma señal $x(n)$, y midiendo las salidas $y(n)$ y $d(n)$ de los mismos, se pueden determinar las características de $P(z)$ mediante ajuste de los coeficientes de $W(z)$ minimizando la diferencia entre ambas salidas. En las aplicaciones prácticas $W(z) \approx P(z)$ debido a la presencia inevitable de ruido aditivo a la entrada del filtro adaptativo. En el caso en que el sistema desconocido sea variable en el tiempo, el filtro adaptativo deberá modificar constantemente su función de transferencia $W(z)$ para poder seguir estas variaciones.

La diferencia entre un sistema CAR y un sistema de identificación está en la manera en que se obtiene la señal de error $e(n)$. En un sistema CAR la señal $e(n)$ es el

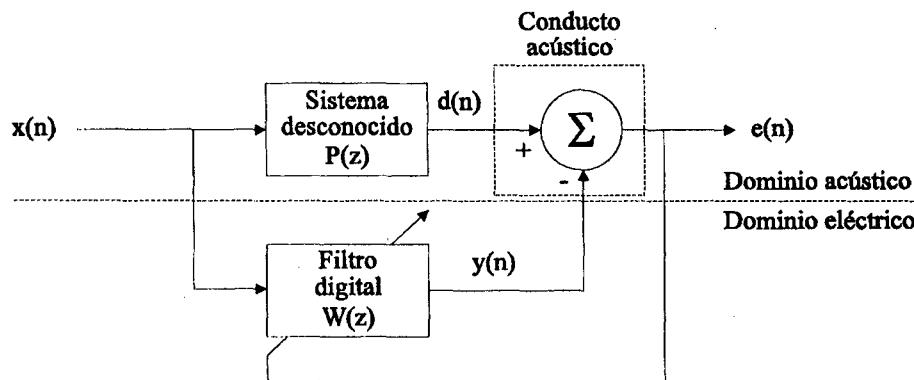


Figura 2. Sistema de identificación desde el punto de vista del CAR.

⁷ También *planta*, del inglés *plant*, en la literatura del tema

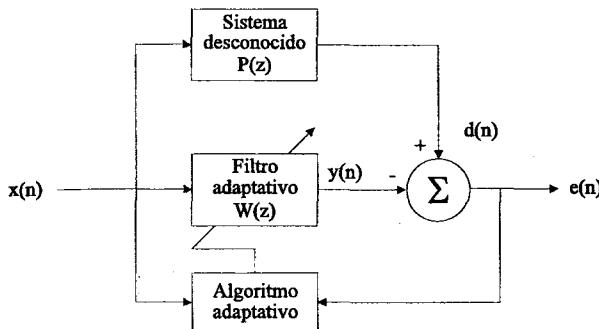


Figura 3. Estructura general de un identificador de sistemas adaptativos.

resultado de la *suma acústica* de la señal de ruido $x(n)$ y de la señal de cancelación $y(n)$, mientras que en el sistema de identificación la señal $e(n)$ será la diferencia, en el dominio eléctrico, entre la señal de salida del sistema a identificar y la señal de salida del filtro adaptativo.

Debemos tener en cuenta tres aspectos en un sistema de identificación: (1) la señal de entrada al sistema a identificar; (2) la estructura del filtro adaptativo; (3) el mecanismo de adaptación. Si la señal $x(n)$ posee un gran contenido espectral y la función de transferencia del sistema a identificar $P(z)$ es *estrecha*, el filtro adaptativo convergerá. Por otra parte, la estructura del filtro digital, FIR o IIR, deberá ser escogida según el caso específico del que se trate, teniendo en cuenta todas las ventajas e inconvenientes que ambos poseen. El algoritmo de adaptación podrá ser el clásico LMS o cualquier otro desarrollado.

De la Fig. 2 la señal $e(n)$ en el dominio Z, $E(z)$, se puede expresar como:

$$E(z) = D(z) - Y(z)$$

$$E(z) = P(z) X(z) - W(z) X(z) \quad (1)$$

Idealmente $E(z)=0$ cuando el algoritmo adaptativo converge. De la Ec. 1 tenemos entonces:

$$W(z) = P(z) \quad (2)$$

para $X(z) \neq 0$, lo cual implica que:

$$y(n) = d(n) \quad (3)$$

La Ec. 3 nos indica que cuando la salida del filtro adaptativo $y(n)$ es idéntica a la señal de ruido $d(n)$, la combinación acústica de ambas señales provoca que la señal de error sea:

$$e(n) = d(n) - y(n) = 0 \quad (4)$$

lo cual resulta en una cancelación perfecta de ambas ondas acústicas, basados en el *principio de superposición*.

Si el modelo $W(z)$ constituye una buena representación de la planta $P(z)$, entonces la aproximación hecha será capaz de cancelar señales con un gran ancho de banda, ruido aleatorio, con bastante efectividad. Esto asume que el sistema CAR dispone del tiempo suficiente para generar la señal de cancelación antes de que la señal de ruido llegue hasta la zona de cancelación. Dado que las señales pasan a través de la *planta* y del filtro adaptativo en *paralelo*, posibles cambios en la fuente primaria no afectarán el nivel de cancelación del ruido siempre que el filtro adaptativo represente con exactitud a la *planta*.

La generalidad de los algoritmos adaptativos pueden no converger debido a la presencia de realimentación acústica de la señal secundaria al micrófono de entrada así como al filtrado que sufre la señal que capta el microfono de error, la cual es utilizada por el algoritmo adaptativo para actualizar los coeficientes del filtro adaptativo $W(z)$. Se trata entonces de sustituir estos algoritmos adaptativos, por otros donde la estimación de los coeficientes del filtro que logra la cancelación del ruido, se haga mediante un método numérico basado en la medida de la potencia de la señal de error.

ALGORITMO DSM

El algoritmo DSM [NELDER 65] basa su búsqueda del mínimo de una función en la evaluación de la misma, evitando de esta manera el uso de derivadas para el cálculo de gradientes, etc, como es el caso del algoritmo LMS. Este algoritmo DSM no será muy eficiente en términos de la cantidad de evaluaciones que deberá realizar en la función a minimizar. Sin embargo, resultará muy útil en aplicaciones prácticas donde se desea contar con un método *que realice una tarea con relativa rapidez, evitando grandes problemas computacionales*.

El algoritmo DSM basa su búsqueda del mínimo de una función en la evaluación de la misma, evitando de esta manera el uso de derivadas para el cálculo de gradientes

La naturaleza geométrica de este método facilita mucho su descripción. Un *simplex* será una figura geométrica que contiene, en L dimensiones, $L+1$ puntos o vértices, estando relacionados estos por segmentos y lados. En un espacio bidimensional R^2 , el *simplex* será un



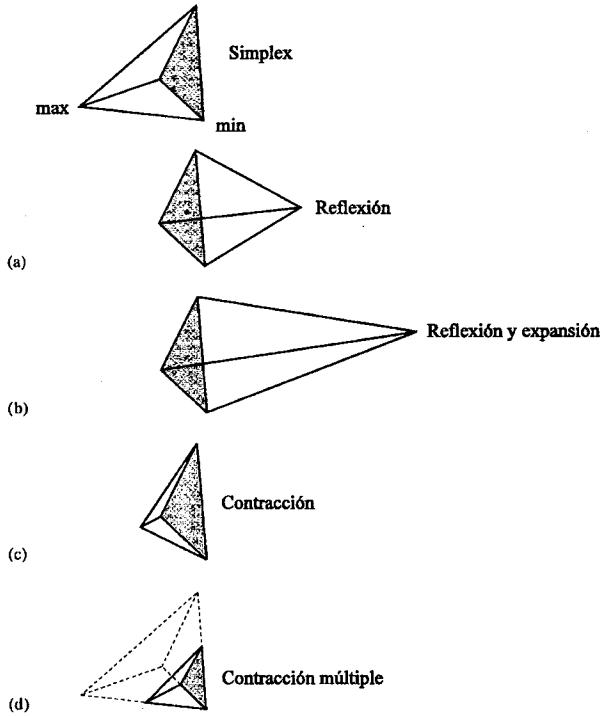


Figura 4. Posibles resultados al aplicar el algoritmo DSM al tetraedro irregular en R^3 : (a) reflexión desde el vértice max; (b) reflexión y expansión desde el vértice max; (c) contracción en una dirección desde el vértice max; (d) contracción en todas las direcciones hacia el vértice min.

triángulo, mientras que en uno tridimensional R^3 , el *simplex* será un tetraedro, no necesariamente regular. Serán de nuestro interés tetraedros *no degenerados*, o sea, aquellos que poseen un número finito de vértices, formando por tanto un volumen determinado de L dimensiones. Tomando cualquier vértice del *simplex* como *origen*, los L vértices restantes definirán L {vectores de dirección} que formarán el volumen del *simplex*, Fig. 4.

Entonces el algoritmo DSM comenzará a *descender* a través de una *topografía* L dimensional hasta encontrar un mínimo, ya sea este *local* o *global*, en la función multidimensional. El algoritmo DSM parte de un conjunto de $L+1$ vértices que definen el *simplex*. A partir de uno de estos vértices como inicio P_o , no importando cuál pues no influirá en las propiedades de convergencia del algoritmo DSM, entonces los restantes vértices se definen según:

$$P_i = P_o + \lambda e_i \quad (5)$$

donde e_i serán L vectores unitarios y λ un factor de escala, cuyo valor dependerá de las características de la función a minimizar, pudiéndose elegir λ_i diferentes para cada vector de dirección.

El algoritmo DSM entonces realiza una serie de pasos, la mayoría de ellos *moviendo* el vértice del *simplex*

donde la función es mayor, a través del lado opuesto del *simplex* en busca del valor menor. Estos pasos son llamados *reflexiones*, y tratan de mantener el volumen del *simplex*, evitando la degeneración del mismo, Fig. 4 (a)(b). Hecho esto, el algoritmo DSM *expande* el *simplex* en una dirección u otra, con diferentes valores de los vectores de dirección, Fig. 4 (c). Cuando alcanza un mínimo el *simplex* se *contrae* en todas las direcciones, Fig. 4 (d), ubicando todos los vértices alrededor del valor óptimo.

Los criterios para finalizar la minimización de una función multidimensional son críticos. Con la presencia de varias variables independientes así como la ausencia de un intervalo permitido para las mismas, solo se podrán imponer ciertos márgenes de tolerancia. Esto es, el algoritmo DSM concluye el proceso de búsqueda de un mínimo cuando el *vector distancia* en un determinado *ciclo* de procesado, sea fraccionadamente menor en magnitud que alguna tolerancia *tol*. Alternativamente, pudiéramos desear que el requerimiento de disminución de la función en cada ciclo de procesado sea fraccionadamente menor que alguna tolerancia *ftol*. Mientras que *tol* no debe ser menor que la raíz cuadrada de la presión del DSP, es válido para *ftol* un valor del orden de dicha presión, ligeramente mayor para evitar errores por redondeo en las operaciones del DSP [PRESS 92].

Los dos criterios anteriores no garantizan que bajo determinadas condiciones el algoritmo DSM no proponga una solución óptima, o sea, un mínimo local. Por tanto, será buena idea *reiniciar* el algoritmo DSM cuando este proponga una solución como óptima según los criterios de *tol* y *ftol*. Para esta reinicialización debemos reiniciar las variables auxiliares del algoritmo DSM, asignando valores a los $L+1$ vértices del *simplex*, tomando como vértice P_o , Ec. 5, la solución óptima que propone el algoritmo DSM en el momento de la reinicialización. Este proceso no debe ser costoso desde el punto de vista de tiempo. En el caso de que el algoritmo DSM proponga nuevamente esta solución como óptima debemos tomarla definitivamente.

RESULTADOS TEÓRICOS Y PRÁCTICOS

La simulación del algoritmo DSM se realizó utilizando *MATLAB*. En las Figs. 5 y 6 se muestra la adaptación de los coeficientes de un filtro adaptativo así como la señal de error. Para este caso: $x(n)=\sin(2\pi n/N)$; $d(n)=2\cos(2\pi n/N)$; $L=2$; $N=4$ y $ftol=10^{-4}$. Los valores óptimos para los coeficientes, cuando el algoritmo adaptativo haya convergido, se corresponderán con $w_o^*=0$ y $w_1^*=-2$.

La implementación práctica y comprobación de los resultados teóricos se realizó sobre un prototipo para CAREC que existe en el *Departamento de Comunicaciones de la UPV*, utilizando como dispositivo de procesado

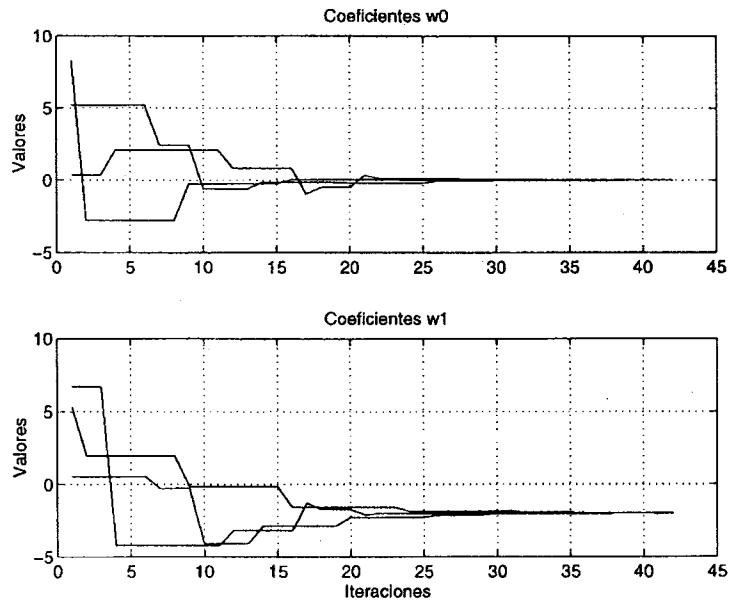


Figura 5. Coeficientes w_0 y w_1 para los $L+1$ vértices del simplex

de señal el DSP32/32C de AT&T. En las Figs. 7 y 8 se muestra el resultado de la cancelación de una señal periódica, con dos armónicos y frecuencia fundamental de 100 Hz.

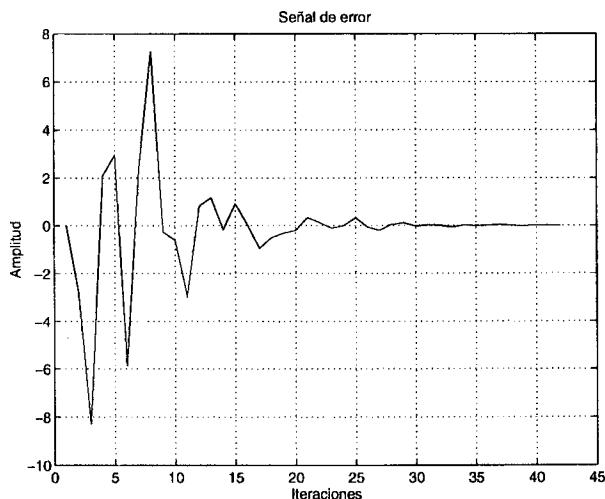


Figura 6. Señal de error durante la cancelación.

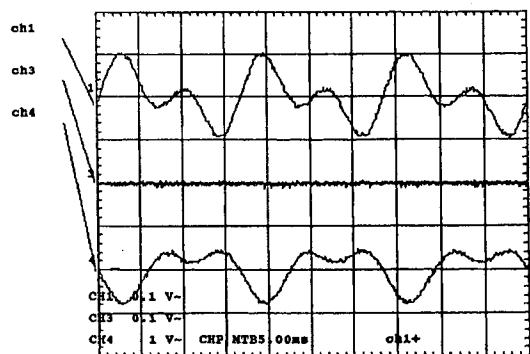


Figura 7. Señales antes de la cancelación: ch1 Señal $x(n)$, ch3 Señal $y(n)$, ch4 Señal $e(n)$

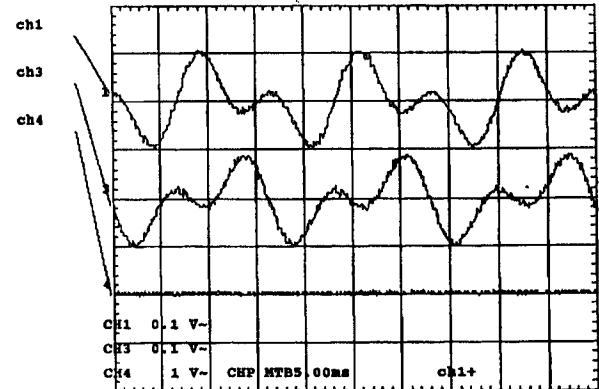


Figura 8. Señales después de la cancelación: ch1 Señal $x(n)$, ch3 Señal $y(n)$, ch4 Señal $e(n)$

BIBLIOGRAFÍA

[ERIKSSON 90] ERIKSSON, L.J.: Computer-Aided Silencing: An Emerging Technology. Sound and Vibration, July 1990

[KUO 96] KUO, S. M.; MORGAN, D. R.: Active Noise Control Systems. John Wiley & Sons Inc., 1996

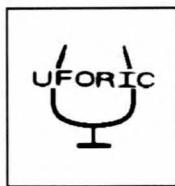
[NELSON 92] NELSON, P.; ELLIOTT, S.: Active Control of Sound. Academic Press, 1992

[NELDER 65] NELDER, J. A.; MEAD, R.: A Simplex Method for Function Minimization. Computer Journal, Vol. 7, pp. 308-313, 1965

[PRESS 92] PRESS, WILLIAM H.; TEUKOLSKY, SAUL A.; VETTERLING, WILLIAM T.; FLANNERY, BRIAN P.: Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing. Cambridge University Press, 1992

[WIDROW 85] WIDROW, B.; STEARNS, S.: Adaptive Signal Processing. Prentice-Hall Inc., 1985





YUFORIC'97

Rama de Estudiantes del IEEE de Barcelona

Mòdul B5 S-104

E.T.S.E. Telecomunicació de Barcelona, UPC

e-mail: ieee@casal.upc.es

Los días 10 y 11 de abril se celebró en Barcelona el primer YUFORIC («Youth Forum in Computer science and Engineering») en Europa. YUFORIC es un nuevo programa de la Computer Society del IEEE, creado en 1994, que tiene como principal objetivo el intercambio de ideas y experiencias entre jóvenes profesionales y estudiantes, con la finalidad de promocionar el avance en sus actividades de investigación en el campo de la ingeniería de telecomunicación y la informática.

Hasta la fecha se habían celebrado tres ediciones en Japón, dos en Tokio y una en Hiroshima. Estos congresos se organizan acorde con los intereses técnico-científicos de cada región. En esta edición de Barcelona se eligió como tema «Implantación y Desarrollo de las Redes y Servicios de Banda Ancha», dada la creciente demanda en el campo de las comunicaciones de un mayor ancho de banda y de la integración de los servicios. No podemos olvidar la revolución social que todo esto supondrá en la

entrada del nuevo milenio y que en Europa ya se ha discutido en el Informe Bangemann.

Barcelona ha significado una reorientación en la filosofía original de YUFORIC. La organización corrió a cargo, por primera vez, de estudiantes, con el apoyo de profesores. Como consecuencia directa de este hecho está la creación del Student Committee, que tiene como chairman al Professor N. Ranganathan de la University of South Florida para promocionar la colaboración de estudiantes en futuros YUFORICs.

Asimismo, la relación con las empresas se ha intensificado respecto a otras ediciones. Éstas han pasado a colaborar activamente tanto en el apartado económico como en el tecnológico, aportando equipos para realizar demostraciones y personal experimentado para dar diversas conferencias y ponencias. Como consecuencia de lo anterior, y del hecho que Barcelona pertenece a una



Rama de Estudiantes del IEEE de Barcelona.



El profesor Tadao Ichikawa en la sesión inaugural.

región del IEEE distinta que Japón, YUFORIC se ha consolidado como congreso internacional, después de haber cumplido tres años.

A la inauguración del congreso asistieron diversas autoridades: Sr. Luis Olivella, director del Institut Municipal d'Informàtica; Sr. Antoni Elias, director de la Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Telecomunicació de Barcelona; Sr. José A. Delgado Penín, vice-presidente de la Sección española del IEEE y el profesor Tadao Ichikawa, de la Facultad de Ingeniería de Hiroshima, miembro del Board of Governors de la Computer Society y General Chair de la YUFORIC Task Force.



Stands de empresas.

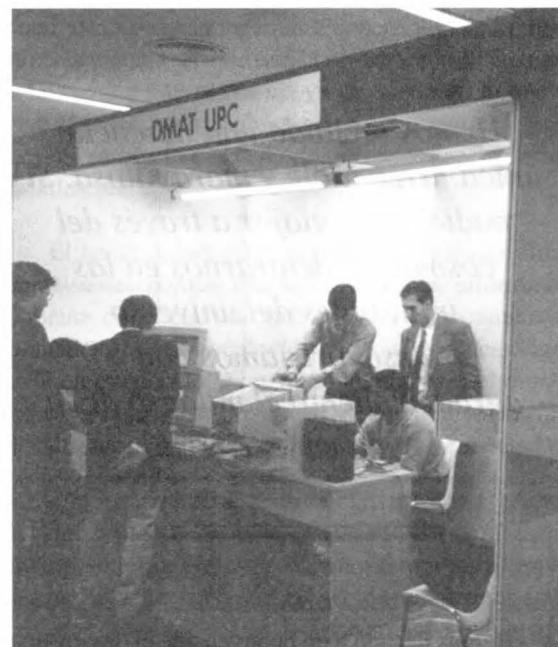
El congreso se desarrolló con relativa normalidad, sin grandes incidencias. La visita a Telefónica prevista para el jueves fue suspendida debido a un fallo en sus equipos. El resto de demostraciones, así como la presentación de equipos, se llevaron a cabo en stands a lo largo del viernes en paralelo con el resto de actividades. El día 10 por la noche se invitó a los asistentes al congreso a un cocktail para facilitar un primer contacto entre ellos, incentivando a un mayor intercambio de ideas según la filosofía del foro.

Durante el día 11 se desarrolló el aspecto científico del foro. Se presentaron las ponencias, repartidas en diversas sesiones según su temática (Redes, Protocolos, Servicios y Aplicaciones). El nivel técnico de las ponencias fue elevado, y cubrió temas de candente actualidad como Control de Congestión, Multiplexado de Fuentes, Rendimiento de Comutadores ATM, Nuevos Protocolos Multimedia, Evaluación de Redes, Interfaces Físicas ATM, Plataformas de Desarrollo, y Aplicaciones de las Redes ATM.

El aspecto técnico del foro se completó con dos interesantes conferencias. La primera, a cargo del señor Pedro J. Lizcano, de Telefónica Investigación y Desarrollo (I+D), sobre el tema "Evolución de las Redes y Servicios de Banda Ancha". La segunda conferencia, a cargo de Peter Sommer, de Hewlett-Packard, que versó sobre "MPEG over ATM", dedicada a la transmisión de vídeo en redes de banda ancha.

Como novedad en este tipo de congresos, cabe destacar el hecho de que los proceedings se publican también en versión electrónica. Podrán ser consultados en la dirección <http://casal.upc.es/~ieee/yuforic.html> (en preparación).

El desarrollo del congreso puede considerarse un éxito, tanto desde el punto de vista técnico como humano. El Comité Organizador quiere agradecer desde estas páginas, la ayuda de todas las personas, instituciones y empresas que han colaborado con nosotros. Asimismo, animamos al resto de Ramas de Estudiantes a organizar nuevas ediciones de Yuforic en el futuro. El esfuerzo vale la pena.



Demostración de un proyecto de video bajo demanda (DMAT-UPC)



LA REVOLUCIÓN DE LOS INTANGIBLES

Maria Cristina Escobar Labella

*Poyectista del Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions de la E.T.S.E.T.B.
(sobre el impacto social de las comunicaciones y la técnica)
y concertista de violín.
e-mail: alcet@gps.tsc.upc.es*

Hace tres mil millones de años en un planeta más joven que el nuestro apareció la vida en el seno de los océanos. Sin embargo el asalto a la tierra firme se produciría hace tan sólo 400 millones de años. Pienso que aquí hay un bonito detalle que quisiera destacar: la vida surgió en el mar porque en dicho medio los rayos ultravioleta del sol no destruían el DNA imprescindible para la reproducción de los seres vivos. Mientras tanto, al ir reaccionando el agua con las radiaciones se creó una capa de ozono que más tarde posibilitaría la colonización de las plantas en la superficie.

Así pues, LA VIDA CREÓ A LA VIDA y ésta es una idea que jamás deberíamos olvidar.

Hemos recibido una herencia única, irrepetible y maravillosa. Si pudiésemos viajar a través del cosmos y adentrarnos en las infinitudes del universo descubriríamos con agradoamiento el milagro de la vida en la Tierra. Al irnos alejando veríamos una masa inmensa cuya caricia cromática azul, marrón, verde y blanca relajaría nuestra vista... Disfrutaríamos del juego de luces y sombras del sol sobre el planeta. Sentiríamos a todo el ente bellamente vivo flotando en armonía con su marco oscuro. Sería una visión insuperable que no nos dejaría indiferentes...

*Hemos recibido una herencia
única, irrepetible y maravillosa. Si
pudiésemos viajar a través del
cosmos y adentrarnos en las
infinitudes del universo
descubriríamos con
agradecimiento el milagro de la
vida en la Tierra.*

Hemos llegado a un punto en que el desarrollo del llamado "primer mundo" está haciendo temblar las entrañas más profundas de nuestra querida Gaia. Os invito a reflexionar conmigo sobre un futuro en que la Inteligencia humana nos llevará a la comprensión mutua de los

distintos pueblos de la Tierra, a un desarrollo sostenible y a una paz verdadera para continuar construyendo más vida de nuestra propia vida.



1. HISTORIA DE LA CIENCIA

En la alborada de un amanecer, hace cinco millones de años, una nueva especie pobló un planeta más joven que el nuestro. Esta nueva especie se impondría a las demás gracias a su inteligencia, su capacidad de razonamiento y su conciencia de SER.

Nuestro hombre necesitaba subsistir y su equilibrio al principio era muy precario.

No tardó en alzar su cabeza para mirar hacia el cielo... ¡Cuántas cuestiones pasaron por su curiosa mente! Miraba al infinito oscuro tachonado con diminutos puntos de luz y agradecía en silencio el devenir del nuevo día...

Y es que se preguntaba el por qué de todo cuanto le rodeaba. Quería sentirse seguro, ver que todo era "siempre igual". Cualquier alteración del orden cósmico le provocaba inquietud y angustia vital ...

La historia del hombre no es otra que la eterna búsqueda de sí mismo, del porqué de su existencia y de la de todo cuanto le rodeaba con la finalidad de hallar respuestas para calmar su espíritu inquieto. Pienso que también es importante verla como la historia de la superación a sí mismo, del miedo a la libertad.

1.1. La ciencia moderna. El inductivismo.

De hecho, podemos hablar de ciencia desde las primeras civilizaciones. Sin embargo, no sería hasta el siglo XVIII que comenzó la ciencia moderna con Bacon y Galileo, tal como nosotros la conocemos hoy.

Pero, ¿Qué criterios marcan la frontera entre lo que es ciencia y lo que no lo es? Básicamente, la matematización y la formalización de un lenguaje que explicaría el mundo en general.

Según el inductivista ingenuo, la ciencia comienza con la observación. Ésta debe estar hecha con una mente libre de prejuicios mediante el uso de sus sentidos.

Los enunciados observacionales son singulares, esto es, se refieren a un acontecimiento concreto o estado de cosas en un lugar y momento determinado.

Los enunciados generales expresan afirmaciones acerca de las propiedades o el comportamiento de algún aspecto del universo. A diferencia de los enunciados singulares, se refieren a todos los acontecimientos de un determinado tipo en todos los lugares y en todos los tiempos. Todas las leyes y teorías que constituyen el conocimiento científico son afirmaciones generales de esa clase y a tales enunciados se les denomina enunciados universales.

Llegados a este punto nos planteamos el problema más grave de la inducción: ¿cómo se puede justificar el paso a las afirmaciones generales partiendo de simples observaciones singulares a menudo bastante precarias?

A ésto, los inductivistas responden que el número de observaciones debe ser grande, además deben repetirse en una amplia variedad de condiciones y finalmente ningún enunciado observacional debe entrar en contradicción con la ley universal derivada.

Se denomina razonamiento inductivo al que nos lleva a la justificación de un enunciado universal partiendo de una lista finita de enunciados singulares; es decir, al que nos lleva de la parte al todo.

Mediante la inducción pasamos de la observación singular a las leyes y enunciados generales, pero tan importante como ésto es el proceso posterior: A partir de dichas leyes y teorías, mediante la deducción es posible hacer predicciones y explicaciones.

El problema real de este razonamiento pienso que es el salto al vacío que se produce al pasar de las observaciones al “todo”, lo cual se agrava si los cálculos y teorías, después justifican o preveen nuevos acontecimientos.

1.2. El falsacionismo.

En el inductivismo es posible que la conclusión de una argumentación inductiva sea falsa y que sus premisas

sean verdaderas sin que ello suponga una contradicción. Además, ¿cuántas observaciones constituyen “un gran número”? ¿qué debe considerarse una “variación significativa en las circunstancias”? ¿puede la ciencia basarse en un “salto al vacío”, o sea el que lleva de n a infinito?...Como detalle curioso: la astrología, el psicoanálisis freudiano o el marxismo formarían parte de la ciencia según estos postulados.



A todo esto surge el falsacionismo que negará la inducción como fundamento de la ciencia. Según éste se puede demostrar que algunas teorías son falsas (de ahí el nombre) apelando a los resultados de la observación y la experimentación. Una hipótesis es falsable si existe un enunciado que sea incompatible con ella.

También introduce la idea de que la observación inductivista no es tan ingenua: Popper (un filósofo que analiza la ciencia) afirma que la observación está guiada por la teoría y que se realiza ya pensando en lo que se quiere obtener: no hay observación sin prejuicios. Además si no resulta lo que la teoría prevee se hace coincidir “casualmente”.

El falsacionista exige que las hipótesis científicas sean falsables porque una ley o teoría es informativa solamente en el caso de que excluya un conjunto de enunciados observacionales lógicamente posibles. Según esto si un enunciado no es falsable, entonces el mundo puede tener cualquier propiedad y comportarse de cualquier forma sin entrar en conflicto con los enunciados.

Popper afirma que la psicología adleriana (además del marxismo, el psicoanálisis freudiano, etc...) no es una ciencia porque no es falsable. Veamos ésto como ejemplo: la teoría de Adler dice que las acciones humanas están motivadas por sentimientos de inferioridad de algún tipo. Imaginemos a un hombre que se encuentra en la orilla de un peligroso río en el momento en que un niño se cae muy cerca de él. El hombre se tirará al río intentando salvar al niño o no se tirará. Si se tira, el adleriano explica que evidentemente el hombre necesitaba superar su senti-

miento de inferioridad demostrando que era lo suficientemente valiente como para arrojarse al río a pesar del peligro. Si el hombre no se tira, también el adleriano puede pretender que ello apoye su teoría. El hombre superaba su sentimiento de inferioridad demostrando que tenía la fuerza de voluntad de permanecer en la orilla imperturbable.

Para Popper la teoría adleriana no es falsable (siempre cae de pié) y por ello no es ciencia.

1.3. El estructuralismo: los paradigmas de Khun.

Thomas Khun es un físico reconvertido a historiador que tras analizar la estructura de las revoluciones científicas llega a una conclusión elemental pero olvidada hasta entonces: La ciencia la hacen las PERSONAS.

Para Khun existe un ciclo que hace evolucionar a la ciencia con "revoluciones científicas". Veamos cómo: existe la llamada "ciencia normal" inicial que es la aceptada por toda la comunidad "científica". Mientras tanto esta misma comunidad para reafirmarse y justificar su sustento se dedica a resolver los "rompecabezas" de las grandes leyes aceptadas por todos, escondiendo y minimizando detalles que podrían hacer temblar sus estructuras fundamentales (mencionaré como ejemplo el caso del "éter" ampliamente defendido a ultranza aún cuando se hacía insostenible...).

Al cabo del tiempo siempre surgen anomalías que por más que se intenten esconder (como que La Tierra era plana, el éter o la teoría general de la relatividad) provocan crisis importantes que llevan a una revolución científica. Tras una serie de reajustes vuelve a consolidarse una nueva "ciencia normal" fundamentada ahora en otros nuevos conceptos y técnicas.

... nadie del grupo puede dar por buenos unos resultados que contradigan aquello que a priori y nada inocentemente queremos demostrar...

Además Khun postula que entre dos ciencias normales no podemos hacer comparaciones: son incommensurables, es decir que no podemos comparar la ciencia de Newton con la de Einstein; cada una debe ser medida en su contexto.

Más tarde en esta línea del estructuralismo de la ciencia destacaría Lakatos (filósofo de la ciencia) que describiría cómo surgen los proyectos de investigación científica (PIC): Lakatos dice que en todo PIC existe un núcleo central compartido por todo el mundo y también

un cinturón protector formado por hipótesis auxiliares que actúan de refuerzo para el núcleo principal.

En un PIC existen dos reglas metodológicas: la heurística positiva que consiste en resolver los "rompecabezas" de la ciencia en el sentido que refuerza la certeza en el núcleo central y la heurística negativa que consiste en investigar aspectos que irían en contra de dicho núcleo.

Lakatos básicamente formalizó el lenguaje científico de Khun que provenía de la física pero, de hecho, en estos paradigmas o teorías podemos ver reflejado el día a día de nuestras universidades y en general centros de I+D.

Un investigador trabaja para alguien (el gran capital o las industrias militares). Este alguien quiere que unos "técnicos" o "científicos" le firmen unos análisis y le den unos resultados concretos por cuestiones económicas. Así se consigue la financiación para un grupo de investigación.

Por otro lado, nadie del grupo puede dar por buenos unos resultados que contradigan aquello que a priori y nada inocentemente queremos demostrar...

Los componentes del grupo de investigación se dedicarán a "resolver rompecabezas", es decir, problemas que no comprometen mucho y no se alejan del núcleo. Si apareciera algún problema cuya resolución puede implicar una crisis grave: o bien se es un "Einstein" para llegar hasta el final aún a pesar de ser arrinconado y olvidado por el resto de la comunidad científica o bien se obvian esos resultados inventando cualquier excusa ¡son tantas las variables a controlar que siempre puede fallar alguna...!

2. HISTORIA DE LA TÉCNICA

Comenzaré haciendo unas definiciones previas:

Techné: es un conjunto de habilidades manuales y artesanales para construir barcos, edificios, etc... Es el concepto que tenían los clásicos (griegos y romanos) de los que hacían "artefactos". De hecho etimológicamente es lo contrario de copia; es invención, creación, arte.

Técnica: aparece cuando lo artesanal se hace "más serio". Algunos para distinguirla de tecnología la definen como las técnicas artesanales pre-científicas que posteriormente llevarían a la revolución científica y más tarde a la Revolución Industrial.

Tecnología: para muchos es sinónimo de técnica pero hay quien la asocia más bien a las técnicas industriales vinculadas al conocimiento científico. De hecho quiero observar que etimológicamente tecnología significa la ciencia que estudia la Techné es decir la ciencia de las invenciones. Para muchos tanto técnica como tecnología es ciencia aplicada.

Tecnociencia: veremos este concepto muy a menudo y surge en un momento en que distinguir el límite donde termina la ciencia y donde comienza la técnica es realmente difícil sino imposible.

Realización técnica : según Quintanilla (otro físico reconvertido a la humanística) es un sistema de acciones humanas intencionalmente orientadas a transformar objetos concretos (no tienen porqué ser materiales) para conseguir de forma eficiente un resultado valioso. Técnica para él es una clase de realizaciones técnicas equivalentes respecto a: El tipo de acciones, su sistematización, las propiedades de los objetos sobre los que se ejercen, los resultados que se obtienen.

Tipos de tecnologías: (según M. Medina)

- a) Físicas
- b) biológicas
- c) sociales
- d) mixtas

Otra clasificación de tecnologías sería : técnicas simbólicas, de materiales, organizativas y metodológicas.

Hoy día nos movemos en un mundo en que se han creado nuevos dioses que todo lo resuelven: el dios dinero y la diosa técnica omnipresentes en nuestra sociedad. Pero, ¿fué acaso siempre así? ¿cuándo y cómo comenzó la técnica?. Veámoslo.

Desde las primeras civilizaciones existieron los que hoy día llamamos técnicos: Se trataba de quienes construían los edificios, calculaban el nivel de las aguas para cobrar impuestos, etc... Pero en aquel entonces no tenían el prestigio de nuestros días.

Por ejemplo, los griegos consideraban que todo lo referido a la “techné” estaba asociado a la habilidad manual y por tanto era despreciable. Los romanos la desarrollaron mucho pero continuaron sin valorarla (ver como detalle que no ha llegado hasta nuestros días ningún nombre de algún constructor naviero, arquitecto, etc , en cambio sí de artistas...).

Sí que existía la misma idea actual de que la “ciencia” es pura, ideal e inofensiva mientras la técnica es la que se “ensucia las manos” al aplicarla y por tanto es temida y peor vista que la ciencia. Un detalle actual, por ejemplo, sería que la oveja clonada Dolly se ha visto en la prensa como un “logro de la ciencia” cuando fué un “logro de la técnica” ya que la “ciencia” para realizar la clonación se conoce hace más de 20 años. Lo que se ha conseguido en realidad es la técnica necesaria para llevarlo a cabo.

Este desprecio de la técnica ocurriría hasta fines del siglo XVI con Francis Bacon que introdujo la máxima de “Saber es poder”. Además consideraba a la naturaleza como algo a explotar por el hombre, su dueño y señor. Contemporáneo suyo fué Galileo que introdujo el método

y la medida. Preconizó, como dije antes, el método inductivo-deductivo.

Un poco más tarde Newton con su Principia Mathematica será el precursor de la Ilustración que dió máxima importancia a la razón.

En plena Ilustración aparece la Revolución Industrial inglesa (S XIX, XX). Con ella surge el Positivismo y comienza a distinguirse entre ciencia pura y ciencia aplicada. Entonces aparece la tecnología como unión de ciencia y técnica que además excluye lo no constatable.

Pero ¿qué fue lo que en concreto rescató a la técnica de su desprecio?. Fué el nuevo concepto de progreso.

En aquel caldo de cultivo propiciaría nuevos cambios la Ilustración, la Revolución Francesa y la aparición del protestantismo como nueva filosofía de la vida del hombre triunfador, hecho a sí mismo, que daba importancia a los fines y no a los medios.

Para el protestante sólo había una posible salvación del alma (que tampoco era segura, pero sí una posibilidad): era el progreso económico y personal a cualquier coste. Ahí surge con fuerza la idea del individualismo y en definitiva su filosofía del “Self-made man”. Por otro lado, el progreso económico iba ligado a la técnica que ahorraba tiempo en los procesos productivos y el tiempo era dinero...

Así pues la técnica (Según B. Gilles en su Historia de las Técnicas) fué considerada un don de Dios para impulsar a los mortales a mejorar su condición. El hecho de concebir el porvenir como una posibilidad infinita, ilimitada confirma este carácter mítico del progreso.

Hoy día nos movemos en un mundo en que se han creado nuevos dioses que todo lo resuelven: el dios dinero y la diosa técnica omnipresentes en nuestra sociedad.

La utopía es lo irrealizable del imaginario. Pero, en la medida que la técnica realiza los imposibles, ella actúa como un agente mítico que refuerza la capacidad de realizarlo todo.

Condorcet (de la revolución francesa) plantea la perfectibilidad del hombre y no de la sociedad. Define PROGRESO como la flecha “ir hacia” pero basándose



sólo en algo científico-técnico (¿y lo moral?, ¿que hay del resto de aspectos?).

En definitiva, en esta época arranca el concepto de progreso como suma de razón, ciencia y técnica. Al añadir la máxima de nuestra sociedad de consumo que “el progreso nos lleva hacia la felicidad y el éxito en la vida” llegamos a tener los nuevos dioses de nuestro entorno de hoy día.

La utopía es lo irrealizable del imaginario. Pero, en la medida que la técnica realiza los imposibles, ella actúa como un agente mítico que refuerza la capacidad de realizarlo todo.

3. HISTORIA DE LAS COMUNICACIONES

El primer gran hito de nuestros antepasados fue la aparición del lenguaje verbal, la “revolución del habla”. Esto supuso un aumento cualitativo de la comunicación entre los homínidos. Al cabo de poco tiempo vendría la “revolución agrícola” (hace 12000 años).

La agricultura a su vez provocó que las poblaciones se asentasen. De ese modo pasaron de ser recolectores y cazadores nómadas dependientes de la naturaleza a procurarse ellos mismos su sustento con la agricultura y la ganadería para así conseguir un futuro menos incierto.

Al irse asentando, hace 6000 años aparecieron las primeras ciudades. Es lo que se conoce como la “revolución urbana”. De nuevo nos encontramos ante otro salto cualitativo en la comunicación :

En las ciudades coexistían ya una gran diversidad de personas y por lo tanto de pensamientos y modos distintos de ver las cosas. Fué en ese momento cuando apareció el lenguaje escrito. Atrás quedaba la prehistoria. Nuestro hombre tenía un largo camino que recorrer.

A la “revolución urbana” siguió posteriormente la “Revolución Industrial” que conllevó los mayores cambios sociales vividos hasta entonces.

Actualmente se podría decir que estamos viviendo la “revolución de las comunicaciones”, es decir de la informática, de las telecomunicaciones, etc... De hecho con internet, si continúa el ritmo de conectividad, vamos

a encontrarnos ante el momento de mayor comunicación mundial jamás visto hasta ahora (en 5 años se prevé pasar de los 25 millones actuales a 200 millones).

Si cada aumento de escala en la comunicación conlleva cambios sociales importantes, cabe esperar una revolución considerable de los Intangibles. Será de una magnitud tan importante que ni tan siquiera somos capaces de imaginarlo.

Desde los comienzos de la historia la especie humana destacó por su carácter social. Desde sus orígenes necesitó la compañía de otros seres de su misma especie porque lo ignorado le producía inquietud, la inquietud le producía angustia y ésta debía ser aplacada.

Si analizamos con detenimiento la historia podemos observar que cada vez que se ha producido un salto de escala cualitativo en la comunicación ha comenzado una nueva etapa en la vida humana. Cada una de estas nuevas etapas se ha caracterizado por el florecimiento de una cultura sustancialmente diferente a la anterior.

Si tenemos en cuenta que el actual salto de escala en la comunicación es el más intenso y rápido de todos los que se han producido hasta ahora, el cambio cultural que resulte implicará un gran cambio cualitativo que se producirá muy rápidamente.

Dicen que el cerebro humano, ese gran desconocido, tendrá que ser capaz de adaptarse a cambios rápidos para vivir en un universo tan dinámico.

3.1. El proceso en sí mismo.

Un aumento en la comunicación implica una intensificación de la interacción social. Esto nos lleva a la aparición de nuevas situaciones y tecnologías. A su vez, ésto implica que las nuevas situaciones destruyen las distintas formas de actividad existentes y a menudo no encajan con la cultura del momento.

Las nuevas situaciones producen una cultura propia que conlleva una crisis de transición de la cultura precedente hacia la nueva con las tensiones que ésto implica. Con el tiempo la nueva cultura y tecnología se acaban imponiendo.

Así aumentan las condiciones para una comunicación más potente que nos lleva de nuevo al principio del ciclo con un aumento de la comunicación.

3.2. Problemas derivados del aumento de las comunicaciones.

-**Capacidad de adaptación** a la rapidez de los cambios sociológicos que esto conlleva .

-**Tensiones generacionales** entre la cultura precedente y la futura.

-Problemas de privacidad y control: La seguridad en el entorno de las telecomunicaciones deja aún mucho que desear; por otro lado, al ir adquiriendo información por Internet, hay una serie de datos personales que posteriormente son vendidos a empresas interesadas para al cabo de poco ser bombardeados con propaganda de esos mismos temas. Aunque de hecho aquí cada uno debería pensar si eso le parece positivo o no porque para muchos sería muy cómodo obtener más información (sin pedirla) de aquello que les interesa.

De hecho, éste es el problema que más preocupa a los economistas ya que todavía no es fiable pagar a través de la telecompra.

-Uniformidad de la cultura occidental. Al ponerte en contacto distintas culturas siempre la dominante se impone al resto y en nuestro caso cabría hablar de la cultura de Norteamérica, Japón y Europa, perdiendo con ello la riqueza de la diversidad.

3.3. Puntos Favorables.

- Su naturaleza multisensorial.

- La capacidad de permitir la comunicación en dos direcciones, es decir, la interactividad.

- La posibilidad de acceso a cualquier punto del mundo al coste de una llamada local.

- La posibilidad de navegar desde casa a través de grandes cantidades de información y servicios de todo tipo.

- La capacidad para permitir una gama variada de formas de trabajo y reuniones a distancia.

- La capacidad de encuentro rápida entre personas con intereses comunes con independencia del lugar del mundo donde residan.

- La diversidad originada como resultado del contacto entre tantas culturas distintas que podría generar un mayor conocimiento y respeto entre los distintos pueblos...

4. CONCLUSIÓN

Después de este vuelo de ave sobre la ciencia, la técnica y las comunicaciones espero ayudar a una futura reflexión profunda sobre nuestro mundo. Pienso que es bueno conocer con detalle cómo funcionan aspectos de nuestro entorno que después implican decisiones demasiado importantes ya que a la larga afectan al planeta, a nuestra amada Tierra y a los hijos de nuestros hijos que a su vez pisarán las cenizas de sus antepasados, como decía el jefe Seattle...

Hemos visto que los dioses en que nos fundamentamos (la tecnociencia y la economía neoclásica?) son gigantes con pies de barro. Pero nosotros somos más

fuertes, podemos aprender y estamos a tiempo de rectificar.

Tenemos la inteligencia, tenemos los utensilios y los medios suficientes para hacer de éste un mundo donde hasta los hijos de un dios menor tengan cabida. Podemos darles la mano, hacer que alcen sus rostros con nombre y caminar con ellos todos juntos un sendero de alegría, el camino de la vida, que es nuestro camino.

Tenemos el deber de cuidar con esmero la única Tierra que hemos heredado y hacer de ella un hogar mejor donde todos los pueblos tengan cabida. Desconocemos aún los engranajes más íntimos del universo, nuestra



curiosidad ilimitada nos ha llevado a soñar la eternidad a lo largo de los siglos y las civilizaciones. Podemos aprender mucho de Gaia si sabemos escucharla para seguir creando siempre más vida de la propia vida.

BIBLIOGRAFÍA

BURCET, J., "Sostenibilitat i explosió de les comunicacions", escrit pel congrès "Sostenible"

CHALMERS ALAN F. ¿Qué es esa cosa llamada ciencia? Siglo XXI de España Editores s.a.

GILL, B. .Historia de las técnicas, Galimard, 1978

KUHN, T.S., La estructura de las revoluciones científicas, México, FCE,1971

LAKATOS, I.,The methodology of scientific research programmes, Cambridge university press,1978

LATOUR, B., Ciencia en acción editorial Labor

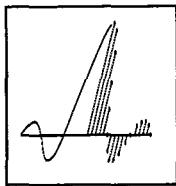
NEGROPONTE, El mundo digital, ediciones B, grupo Z

POPPER, K. R., La lógica de la investigación científica, Madrid,Tecnos 1967

RIERA, S. Més enllà de la cultura tecnocientífica, edicions 62

TERCERO, Sociedad Digital, Alianza editorial





TECNOLOGÍAS DEL HABLA: CONVERSIÓN DE TEXTO A VOZ

Antonio Bonafonte Cávez

Profesor Titular en el Grupo de Procesado de Señal.
Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions, UPC.
e-mail: antonio@gps.tsc.upc.es

TECNOLOGÍAS DEL HABLA

Aunque el procesado de voz ha constituido un área de intensa investigación durante varias décadas, ha sido durante ésta última cuando las tecnologías han alcanzado el grado de desarrollo suficiente para afrontar un amplio espectro de aplicaciones. En esta comunicación se pretende describir qué es, cuál es la aplicación y cómo funcionan los sistemas que convierten texto en voz. Sin embargo, esta área se complementa con otras áreas del procesado de voz, por lo que en primer lugar describiremos brevemente las distintas áreas tratadas por el procesado de voz.

Codificación de voz y audio

El objetivo de la codificación de fuente (bien sea voz, imagen o datos en general) es comprimir la información de tal forma que pueda ser transmitida o almacenada de forma eficiente. Para la señal de voz, los codificadores más eficientes utilizan un modelo de producción de voz consistente, por una parte, en una excitación que modela el aire que fluye desde los pulmones y la vibración de las cuerdas vocales y, por otra, un filtro que representa las cavidades bucal y nasal. Por otra parte, tanto para la señal de voz como para la señal de audio, se utiliza un modelo del sistema de percepción auditiva que indica que componentes de la señal no se han de preservar puesto que no pueden oírse, al quedar enmascaradas por otras componentes de la señal de mayor energía situadas próximas, bien temporalmente, bien frecuencialmente. Los codificadores actuales son capaces de lograr tasas de compresión de 8 para señales de voz y de 5 para señales de audio sin que se aprecie, en la mayoría de los casos, una pérdida en la calidad.

Reconocimiento del habla

Los sistemas de reconocimiento del habla extraen la información del mensaje de la señal de voz. Es un área en la que ya han aparecido un gran número de aplicaciones que se multiplicarán en los próximos años. Para comparar los distintos sistemas se han de analizar sus especificaciones o prestaciones según distintos criterios:

· Locutores que se reconocen: los sistemas pueden estar diseñados para uno o un grupo pequeño de usuarios, puede necesitar de un periodo de adaptación al usuario o bien pueden funcionar con cualquier usuario.

· Características de la señal, dependiendo del ruido, de la distorsión, etc. Aplicaciones típicas que requieren un buen comportamiento en estas situaciones son las relacionadas con comunicaciones móviles, línea telefónica, lugares públicos, etc.

· El tipo de habla: palabras aisladas, en donde sólo se pronuncia una palabra o se introducen pausas significativas entre palabras; habla continua; habla espontánea, donde se permiten las dudas, errores gramaticales, reformulación de frases, etc. propios del habla natural.

· Características del léxico: tamaño del vocabulario (decenas, centenas, miles o hasta decenas de miles de palabras), parecido entre palabras.

· Dominio semántico de la aplicación: dominios restringidos (como transacciones bancarias, etc.), dominios extensos (acceso a grandes bases de datos, dictado de informes médicos, etc.)

· Coste de la aplicación: ninguno de los sistemas existentes han sido diseñados para alcanzar las máximas prestaciones en todos los criterios anteriores, sino que, dependiendo de la aplicación, se centran en alguno de ellos a costa de limitar los objetivos en los otros. Por otra parte, se ha de tener en cuenta que muchas aplicaciones quedan limitadas por el coste del producto, valorado tanto en el coste del desarrollo como en la capacidad de cómputo y en la memoria requerida por cada sistema. Por tanto, en ocasiones es necesario utilizar sistemas sencillos y por tanto viables, aunque ello exija cierta rigidez y simplicidad a los diálogos con el usuario.

Síntesis de voz

Es la tecnología complementaria a la anterior para alcanzar una comunicación oral hombre máquina puesto que es el proceso de crear una réplica sintética de una señal vocal de forma que una máquina pueda transmitir información a una persona. Es el objeto de esta comunicación y será tratado en el siguiente apartado.

Identificación del locutor

Consiste en identificar al locutor a partir de una señal de voz. La mayoría de las aplicaciones están relacionadas con aspectos de seguridad: comprobación de identidad en operaciones *telebanco*, tarjetas de crédito inteligentes que necesitan una contraseña oral para identificar al propietario.

rio, etc. También encuentra un rango de aplicaciones como soporte a investigaciones policiales, etc.

Reconocimiento del idioma

Esta incipiente tecnología está encaminada a identificar el idioma en el que se expresa el locutor a partir de unos pocos segundos de habla. El objetivo es activar un sistema de reconocimiento automático del habla que permita al usuario comunicarse con la máquina en su propia lengua.

Traducción oral automática

El objetivo es transformar una señal de voz expresada en un idioma en señal de voz en otro idioma. Se han desarrollados varios prototipos que ofrecen buenas prestaciones en aplicaciones muy específicas. Estos sistemas suelen constar de un sistema de reconocimiento, con lo que se obtiene una representación textual de la señal de entrada, un traductor basado en técnicas de procesado del lenguaje natural y un sistema de conversión texto a voz. Simultáneamente, se están desarrollando algunos sistemas que integran el sistema de reconocimiento con el de traducción sin necesidad de disponer de la representación textual en el lenguaje de la señal de entrada.

Aunque en las áreas anteriores ha influido de forma muy significativa los procedimientos derivados del procesado de señal, la tecnología que se ha desarrollado es multidisciplinar: acústica, inteligencia artificial, procesado del lenguaje natural, estadística, fonética y en general lingüística, por citar sólo algunas, son disciplinas que participan en las áreas anteriores.

En todas las áreas anteriores, con excepción de la traducción –por el momento–, centra su actividad investigadora el *Grup de Tractament de la Parla*, del Departament de Teoria de la Senyal i Comunicacions de la Universitat Politècnica de Catalunya.

LA SÍNTESIS DEL HABLA

Utilidad de la síntesis del habla

Un sintetizador de voz es un dispositivo capaz de producir una réplica sintética de una señal vocal humana. El objetivo fundamental es posibilitar que los sistemas que han de proporcionar a las personas información de cierta complejidad, lo puedan realizar oralmente. En esta amplia definición quedan englobados muchos de los codificadores de voz, en los que, en base a ciertos parámetros obtenidos a partir de una señal de voz humana, se regenera –se sintetiza– una replica de dicha señal.

La comunicación oral presenta distintas ventajas. Al ser la forma más natural de comunicación entre personas resulta atractiva y es un valor añadido en las aplicaciones. Además, cuando la aplicación se desarrolla sobre un ordenador personal, la incorporación de dicha prestación representa un coste muy pequeño en comparación al producto. En este sentido, cada vez es más frecuente encontrar la respuesta oral en multitud de productos: expendedoras de tabaco, básculas, muñecos, etc. Y sobre ordenadores perso-

nales encontramos guías de museos, encyclopedias multimedia, maestros de ajedrez, etc. Incluso aparecen nuevas aplicaciones, como el aprendizaje de idiomas, en el que la señal vocal es el componente fundamental del propio producto. Otra de las ventajas de la respuesta oral es que libera al usuario de prestar atención a una pantalla o a un mensaje impreso pudiendo concentrarse en otras tareas. Por ejemplo, un operario puede recibir instrucciones o ayuda sin desviar la atención de su tarea.

Además, existen algunas aplicaciones en las que la información se ha de transmitir por un canal de comunicación apto para la voz pero no para el lenguaje escrito. El caso de mayor importancia es la red telefónica, donde mediante la respuesta oral, cualquier usuario con un teléfono es capaz de acceder a multitud de servicios proporcionados por el sistema proveedor del servicio. Por ejemplo, accesos a bases de datos o informaciones, lectores de facsímil o de correo electrónico, compras por teléfono, etc. requieren que el sistema utilice señal de voz. Análogamente, la respuesta oral es de gran utilidad para personas con deficiencias en la vista (inválidas, personas mayores, etc.). En estos casos, en algunos de los productos como básculas o termómetros, la voz pasa de ser una prestación complementaria a ser la prestación que posibilita el acceso al producto. Dispositivos más complejos, como lectores de documentos, pueden mejorar de forma significativa la calidad de vida de dichas personas, proporcionando fácil acceso a gran cantidad de información.

Hasta aquí hemos comentado las posibilidades de la síntesis de voz en cuanto a la comunicación hombre máquina. Sin embargo, la síntesis de voz también puede facilitar la comunicación entre personas, cuando alguna de ellas tiene afectada su aparato productor del habla. Es el caso, por ejemplo, del famoso físico S. Hawking. En esta dirección, el *Grup de Tractament de la Parla* está participando, aportando el sistema de síntesis, en un proyecto dirigido por *L'Institut de Educació Municipal de Barcelona* (concretamente por el Institut Municipal Pont del Dragó) y financiado por Inserso, para posibilitar la comunicación oral de personas que sufren parálisis cerebral y que actualmente basan su comunicación bien en el lenguaje escrito, bien en métodos alternativos (Bliss, Spc, etc.).

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DEL HABLA

Para dotar a un sistema de la capacidad de hablar se pueden utilizar distintos métodos. El primero de ellos, el más sencillo, consiste simplemente en registrar la señal de voz deseada y reproducirla en el momento adecuado. Anteriormente éste era el único modo y aparecieron aplicaciones como el contestador automático o los cursos de idiomas tradicionales. Actualmente la señal suele digitalizarse con lo que se consigue una mayor facilidad de acceso y un mayor rango de aplicaciones. El soporte puede ser magnético u óptico, necesario cuando el número de mensajes a reproducir es muy grande, o bien directamente en memorias de estados sólido, como es el caso algunos juguetes y de algunos contestadores telefónicos actuales. En



el caso de que la señal se almacene digitalizada, el uso de técnicas de codificación puede reducir enormemente la memoria necesaria.

Algunas aplicaciones de gran simplicidad requieren reproducir un número elevado de mensajes pero que pueden formarse fácilmente a partir de unas cuantas palabras o frases básicas. Este es el caso, por ejemplo, de los mensajes de información de algunas líneas de metro y ferrocarril en las que el mensaje es del tipo: "Pròxima estació: Palau Reial", o el método adoptado por el Servicio de Información 003 de Telefónica, para acoger al usuario y dar el resultado de las consultas. Los segmentos base ("pròxima estació", los dígitos, etc.) se concatenan de forma adecuada para formar el mensaje. En algunos casos, para disminuir el efecto de discontinuidad en las fronteras de los segmentos, o para mejorar la entonación, se combinan distintos locutores o se dispone de distintas versiones de cada palabra, por ejemplo, los dígitos en posición inicial, media o final.

Finalmente, el último método para dotar a un sistema de la capacidad de hablar es la conversión de texto en voz. Estos sistemas, para reproducir un mensaje, no parten de una señal vocal del mismo mensaje, sino que lo realizan encadenando pequeñas unidades acústicas (por ejemplo pronunciaciones de fonemas). Este método, que se desarrolla en el próximo apartado, es el indicado cuando el número de posibles mensajes a producir es ilimitado o desmesuradamente grande (por ejemplo el lector de documentos, de facsímil o de correo electrónico, la utilización por parte de personas con incapacidad en su aparato fonador, consultas a grandes bases de datos, etc.), o también cuando la información cambia frecuentemente en el tiempo. Incluso aunque los mensajes se mantengan relativamente estables en el tiempo y no sean muy numerosos, si se dispone de la información en forma textual, puede ser más económico y práctico disponer de un sistema de conversión de texto en voz. Por ejemplo, supongamos que un centro docente desea proporcionar información general del centro, fechas de matrícula, calificaciones de los estudiantes, etc; puede ser preferible desarrollar una aplicación que utilice la información escrita del centro, información que puede actualizarse sin más que modificar ficheros de texto, a registrar varias horas de señal de voz.

LA CONVERSIÓN DE TEXTO EN VOZ

Como se ha establecido en el apartado anterior, un sistema de conversión de texto en voz es aquel que es capaz de transformar un mensaje escrito, habitualmente un fichero de texto, en una señal de voz. Básicamente, el sistema requiere unos registros de señales orales relacionadas con unas unidades básicas (por ejemplo fonemas), que ha de concatenar siguiendo el texto de entrada. Para que el sistema realice una conversión de calidad, con la máxima inteligibilidad y naturalidad posible, es preciso modificar las unidades básicas, de forma que reflejen una entonación natural y apropiada al mensaje que se sintetiza, y suavizar las transiciones entre unidades, de forma que no se perciban discontinuidades entre ellas. Tanto en la definición de los

sonidos elementales, en el análisis de la influencia de unos sonidos sobre sonidos adyacentes y en la definición de patrones prosódicos juegan un papel fundamental los estudios que realizan fonétistas y lingüistas. Los principales módulos de dichos sistemas pueden apreciarse en la figura 1 y serán descritos a continuación.

Normalización del texto

El objetivo de este módulo es proporcionar al sistema un texto escrito ortográficamente, sin caracteres de control o de formato, números, acrónimos o abreviaturas. Aunque puede parecer un módulo sencillo es extraordinariamente complejo.

Las siglas, son las letras, generalmente iniciales, de nombres de personas, empresas, asociaciones, publicaciones, etc., que se utiliza por comodidad en vez del nombre entero. Los acrónimos son las siglas que, debido a que siguen la estructura fonética de la lengua se pronuncian como palabras. Sin embargo, es frecuente leer las partes de los acrónimos que se adaptan a la lengua como palabras y deletrear el resto: CD ROM se suele leer como ce de rom, y no como ce de erre o eme; PSOE como pe soe. Algunas siglas se han de sustituir por la palabra que representan y no leer como palabra ni deletrear: CCOO, EEUU o EUA JJOO, etc. Por otra parte, no es fácil de distinguir una sigla de una palabra que apareza en mayúsculas y menos si esta es extranjera. En ocasiones aparecen en las siglas cifras o símbolos: TV3, UpC, o Canal +. Además, la variedad de acrónimos y siglas que pueden aparecer en un texto escrito es enorme y el uso hace que aparezcan y desaparezcan con un gran dinamismo.

El tratamiento de las abreviaturas también es complejo. En primer lugar una misma abreviatura puede tener distintos significados dependiendo del entorno semántico y además, una misma abreviatura puede escribirse distinto dependiendo del autor o de la situación. Por ejemplo, para abbreviar la palabra teléfono, en una misma página de información, se ha encontrado Tf., Tel., Telf. y Tfno.

El tratamiento de los números tampoco es trivial. Obviamente se necesita de un módulo específico que traduzca de la representación numérica a la ortográfica, pero este módulo no depende únicamente del propio número. Se ha de establecer concordancia en género con la palabra a la que se refiere. Los números ordinales, indicados de forma diversa, requieren un tratamiento específico. Los números romanos también suelen aparecer en el texto escrito y en ocasiones son difíciles de detectar. Por ejemplo, Carlos I, no debe leerse como carlos i. Otro campo de dificultad son las fechas y las horas, presentes en gran variedad de formatos y que precisan establecer la concordancia en género y número entre los numeros y hora/s, minuto/s.

Finalmente otros casos que presentan ambigüedad son los signos de puntuación. El punto puede indicar fin de frase, pero también marcar millares en los números, o incluso inicio de parte decimal. Además indica el fin de una abreviatura. Algo similar ocurre con la coma, con los dos puntos, los guiones, etc.

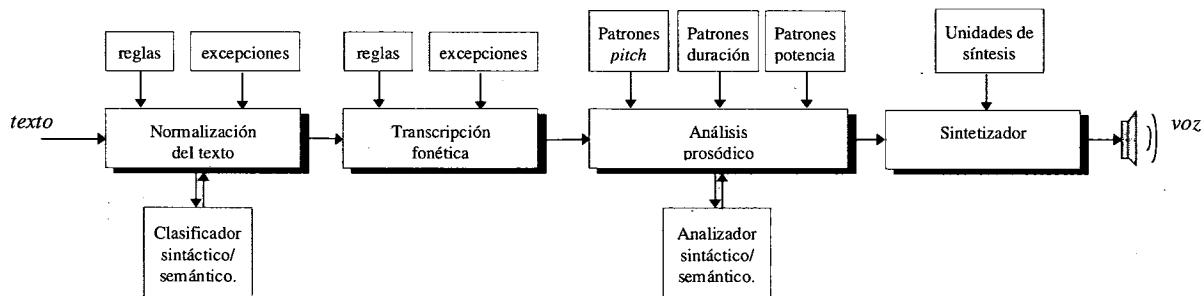


Figura 1. Sistema de conversión de texto en voz.

El método que se suele seguir para tratar toda esta casuística es el de tener un analizador que identifica cada uno de los componentes como palabra ordinaria, acrónimo, abreviatura, etc. Para cada caso, se dispone de unas reglas generales y de una lista de excepciones. Finalmente, se ha de aceptar un cierto error o una necesidad constante de actualizar los módulos anteriores adaptándolos a ámbitos específicos.

Silabificación y Transcripción fonética

Este módulo se encarga de representar el texto de entrada mediante un conjunto de sílabas y cada una de ellas mediante los fonemas (o alófonos) que lo componen. En castellano pueden definirse un conjunto de reglas que permiten determinar los alófonos que corresponden a las distintas letras. En catalán también es posible establecer estas reglas salvo algunas excepciones. Concretamente, no es posible distinguir cuando las vocales /e/ y /o/ tónicas son abiertas o cerradas, a no ser que éstas presenten tilde. En otras lenguas, como en la inglesa, es necesario un diccionario con la transcripción fonética de todas las palabras de la lengua, o al menos las más probables. Aún así, en ocasiones es preciso realizar un análisis sintáctico o semántico para asignar la transcripción adecuada a la palabra. Tal es el caso, en inglés, de *read*, (presente o pasado), o de *lives* (sustantivo o verbo).

Análisis prosódico

Una vez que se ha determinado cuál es la cadena de alófonos que componen el texto que se desea convertir en voz es necesario determinar cuál han de ser las características prosódicas de cada uno de forma que la señal de voz resultante tenga la continuidad y las características apropiadas al mensaje. La prosodia suele estar referido a tres características físicas: la frecuencia fundamental, la duración y la potencia.

La frecuencia fundamental, también llamada pitch, es la frecuencia de vibración de las cuerdas vocales, lógicamente cuando éstas vibran, en los sonidos sonoros. La evolución de la frecuencia fundamental con el discurso es la característica que influye de forma más notable y clara en la entonación. Es lo que se estudia, al hablar de entonación,

en los libros básicos de lengua que se utilizan durante el bachillerato.

Para determinar el pitch que debe tener cada uno de los fonemas sonoros se recurre a unos patrones melódicos que dependen del tipo de frase sobre la que se aplica el patrón. Así, un patrón melódico de interrogación, por ejemplo, indica que a partir de la última sílaba acentuada se produce un fuerte incremento de la frecuencia fundamental. Estos patrones melódicos básicos a nivel de frase se pueden complementar con otros globales, que ajustan el nivel medio de la frase y su rango de variación dentro del párrafo de forma que las partes más importantes queden resaltadas. También se complementan con patrones de detalle que configuran la evolución en cada palabra, o incluso en cada fonema, sobre los valores básicos establecidos por los patrones de frase.

La duración establece el tiempo que ha de durar cada uno de los fonemas y cada una de las pausas que aparecen en el mensaje. Mediante coeficientes globales se regula la velocidad de articulación de la voz resultante. La duración de los fonemas dependen del tipo de fonema, pero también del énfasis del fonema dentro del mensaje (acentos, inflexiones en la voz, etc.). Además, existe una tendencia de alargar la duración de los fonemas hacia el final de las frases.

La potencia asociada a la pronunciación de un fonema depende de cada fonema (por ejemplo, las vocales y algunos sonoros tienen mayor amplitud), pero también del énfasis del fonema dentro del mensaje. En general parece existir cierta correlación entre el valor de la frecuencia fundamental y el incremento de la potencia del fonema respecto la media. Al igual que el pitch y la duración, se incrementa en las sílabas acentuadas. Otra consideración es que la potencia decae notablemente hacia el final de las frases.

Asignación de fonemas a unidades disponibles

Una vez que sabemos qué alófonos queremos concatenar y con qué características prosódicas podría parecer que el siguiente módulo debería tomar unas unida-

des básicas, modificarlas y concatenarlas. En realidad esto es lo que realiza el módulo de síntesis, pero previamente se deben relacionar los alófonos con las unidades básicas de síntesis que utiliza el sistema de conversión de texto en voz. Para obtener síntesis de alta calidad no es posible utilizar directamente los alófonos como unidades básicas de síntesis puesto que estas unidades están muy afectadas por la presencia de los sonidos adyacentes. El tracto vocal evoluciona de forma continua al articular los sonidos por lo que la transición entre los sonidos con los que se articulan los fonemas se realiza de forma gradual. De tal forma que, por ejemplo, las características espectrales del alófono /b/ en la palabra *Buran*, se acercan gradualmente hacia las del alófono /u/. Por tanto, si como unidad básica se utiliza el alófono /b/ extraído de la palabra *Burán*, será adecuado para ponerlo antes de /u/ pero no de otros alófonos.

Para solucionar este problema algunos sistemas modelan explícitamente la transición entre fonemas, pero la mayor parte de los sistemas actuales utilizan los difonemas como unidades básicas en la síntesis. Un difonema comprende parte de dos fonemas centrado precisamente en la transición. Así, la palabra *Burán*, se puede representar mediante los difonemas \$•b b•u u•r r•a a•n n•\$, donde \$ indica silencio. Al concatenar el difonema P•b con b•u, la unión entre las unidades se realiza en la parte más estacionaria de /b/, por lo que es más sencillo conseguir transiciones suaves entre segmentos.

Aún así, en algunos casos, la influencia de un alófono alcanza a varios de los fonemas adyacentes. Por ejemplo, el análisis espectral de los sonidos /taral/ revela que en realidad lo que se pronuncia es /taral/, con una primera *a* de corta duración. Por tanto, el difonema i•r debe depender de la vocal a la que precede. En general, cuanto mayor sea el tamaño de las unidades mejor es la calidad de la síntesis pero mayor es el número de ellas y por tanto mayor es la memoria que se requiere.

Una solución de compromiso consiste en utilizar mayoritariamente difonemas e introducir agrupaciones mayores en las situaciones más problemáticas. En castellano con inventarios de alrededor de 500 difonemas y 100 grupos mayores puede conseguirse buena calidad. Dicho inventario, a 16 kHz y codificando la señal únicamente mediante la ley A exige poco más de 1Mbyte de memoria.

Síntesis del habla

El último elemento del sistema de síntesis es el que toma unidades de síntesis elementales pregrabadas y las modifica para que tengan las características prosódicas deseadas. Existen distintos métodos, la mayoría derivados de sistemas de codificación. A continuación se describirán muy brevemente los dos más utilizados aunque en la literatura se encuentran otros métodos que también proporcionan buenas prestaciones. En todos los casos, el modificar la potencia de la señal consiste en añadir un factor de ganancia. Por tanto, sólo comentaremos lo que se refiere a frecuencia fundamental y duración.

MÉTODOS BASADOS EN PREDICCIÓN LINEAL

Estos métodos se basan en un modelo del aparato fonador como una excitación, que modela el aire que fluye de los pulmones y la vibración de las cuerdas vocales, y un filtro, que modela las cavidades bucales y nasales. El filtro se actualiza frecuentemente (cada varios milisegundos) de forma que represente correctamente los distintos estados que atraviesa el sistema tracto vocal. Esta descripción es válida entre otras para síntesis *LPC*, multipulso o *CELP*.

Para modificar la duración y la frecuencia fundamental se actúa sobre la excitación que es donde reside la información referente a la vibración de las cuerdas vocales. En el caso de la frecuencia fundamental para señales sonoras, la señal de excitación debe contener componentes periódicos. La periodicidad de la excitación (el *pitch*) en muchos métodos es un elemento del modelo que puede modificarse fácilmente en la fase de síntesis. Para modificar la duración puede tomarse la longitud deseada de respuesta del filtro a la excitación.

Métodos basados en solape temporal síncrono

Estos métodos han sido introducidos recientemente y proporcionan muy buena calidad con muy poca complejidad. En la fase de análisis, la señal se descompone en ventanas síncronas con la frecuencia de *pitch*. Estas ventanas, en la fase de síntesis, se suman acercándolas o alejándolas, para incrementar o disminuir el *pitch*. Las ventanas además pueden repetirse u omitirse para modificar la duración.

Síntesis por formantes

La síntesis de formantes suele prestar menor calidad que los otros métodos presentados, pero sus requerimientos de memoria son mínimos. No suele realizarse sobre difonemas sino que representa mediante ciertos parámetros cada uno de los alófonos y utiliza reglas de coarticulación e interpolación en las transiciones.

La voz sintética se genera sumando las respuestas de un banco de filtros a una señal de excitación. La excitación queda determinada mediante la potencia, el tipo de excitación (periódica o aleatoria) y, para el caso de periódicas, relacionada con sonidos sonoros, la frecuencia fundamental. En cuanto al banco de filtros, cada filtro paso-banda modela un formante quedando especificado por la frecuencia central y el ancho de banda.

BIBLIOGRAFÍA

El siguiente artículo se ha utilizado en la primera sección de esta comunicación y es una excelente referencia para valorar el impacto de las tecnologías del habla en lo referente a las telecomunicaciones:

L.R. RABINER: "Applications of Voice Processing to Telecommunications". Proceedings of the IEEE, pp. 199-228. February 1994, Vol. 82, No 2.