SISTEMA DE LOCALIZACIÓN EN REDES DE SENSORES ACÚSTICOS INTELIGENTES UTILIZANDO SECUENCIAS GOLAY

C. De Marziani – J. Ureña– M. Mazo– A. Hernández –J.M.Villadangos

Departamento de Electrónica, Universidad de Alcalá, Escuela Politécnica, Campus Universitario, S/N
Carretera de Barcelona, km 33,700 – CP: 28871 – Alcalá de Henares, Madrid, España
Tel:+34 918856544 / Fax:+34 918856591
marziani@depeca.uah.es

RESUMEN

En este trabajo se presenta un sistema de localización utilizando emisiones acústicas para proporcionar información sobre la posición relativa de un conjunto de objetos o nodos que componen el entorno, por ejemplo robots móviles. El término localización se refiere a una colección de mecanismos y técnicas que miden estas relaciones espaciales e involucra principalmente dos pasos: la determinación de distancias entre los objetos del sistema y su posicionamiento. Para el primero de éstos, es necesario realizar el estudio de las técnicas más adecuadas de procesamiento de señales para la determinación de distancias a través de la medición de diferencias de tiempos de vuelo, en particular se analiza la utilización de secuencias Golay.

1. INTRODUCCION

Las redes de sensores inteligentes proporcionan nuevos métodos de supervisión en ambientes físicos. Aunque un único sensor no puede sustituir a un observador humano, la escalabilidad y bajo coste de un conjunto de ellos proporciona una buena solución en un gran número de situaciones. Cada objeto de la red de sensores necesita información acerca de su ubicación geográfica y de su posición relativa con respecto al resto de nodos. Existen numerosas aplicaciones, donde la ubicación de cada nodo es importante: diseño de protocolos de comunicación basados en la ubicación geográfica de sus nodos [1]; recolección de datos físicos en hábitat naturales [2]; aplicaciones de seguridad, así como también en los espacios inteligentes [3], para la selección y coordinación de servicios y dispositivos. Los mecanismos de localización más comunes se basan en la medición de tiempos de vuelo (TDV) utilizando señales radiofrecuencia (RF) o bien señales acústicas con sincronización por RF o infrarrojos (IR) [4]. Numerosas cuestiones hacen que el uso de RF sea restrictivo en las redes de sensores relacionadas principalmente con consumos, interferencias o incompatibilidades con otros sistemas inalámbricos. Además existen problemas relacionados con un funcionamiento multimodo simultáneo del sistema de localización.

En la actualidad, quedan varias consideraciones técnicas por resolver, destacándose: el uso exclusivo de señales acústicas de muy baja potencia sin necesidad de otro sistema, por ejemplo RF, para sincronización y resolución de los problemas asociados a éstas; ajuste a las condiciones del entorno; codificación de las señales acústicas utilizadas para permitir un funcionamiento multimodo simultáneo; desarrollo de algoritmos para interrelación entre nodos, etc. En la siguiente sección se presenta el sistema propuesto; la sección 3 estudia el algoritmo de posicionamiento y en la sección 4 se presenta la utilización de secuencias Golay como técnica de codificación para la emisión simultanea de señales.

2. CARACTERISTICAS DEL SISTEMA DE LOCALIZACION

El objetivo de nuestro trabajo es la definición y diseño de una red de sensores acústicos inteligentes (fig. 1), cuyas características más importantes son: 1) todos los nodos son iguales en su arquitectura y funcionalidad, 2) sin conexión física entre ellos; 3) sin necesidad de realizar emisiones distintas a las propiamente acústicas, por lo que no se requerirán enlaces de RF o IR para la sincronización.

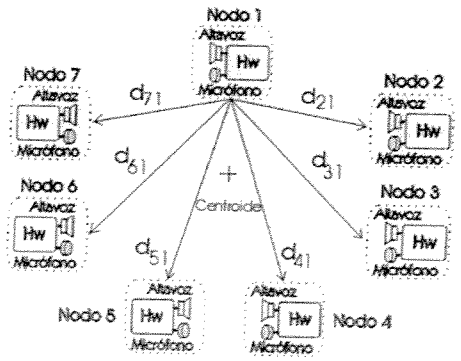


Fig. 1 Esquema General del Sistema Propuesto.

Esto permitirá a cada nodo conocer su posición relativa al resto de nodos, generalmente móviles mediante técnicas de determinación de distancias a partir de la medición de TDV. Además, se pretende que las señales emitidas puedan enmascararse junto con señales acústicas convencionales sin que estas últimas se vean afectadas de modo perceptible para el usuario humano. Cada nodo está constituido por un módulo de transmisión y otro de recepción (fig. 2).

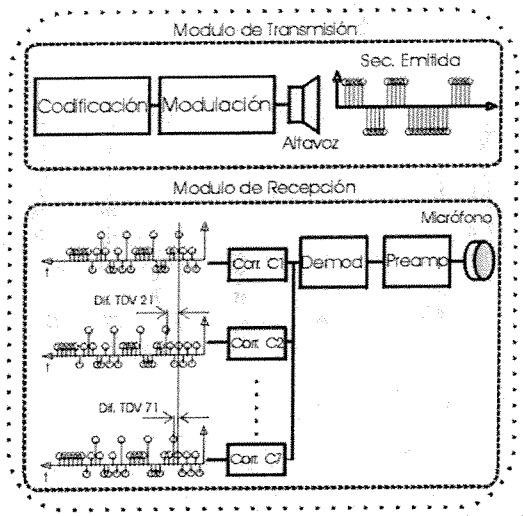


Fig.2 Diagrama del hardware propuesto para cada nodo.

El modulo receptor está compuesto de un micrófono, una etapa de preamplificación, una demodulación y luego un sistema de correladores para determinar el momento en que llega cada secuencia y medir TDV.

3. ALGORITMO DE POSICIONAMIENTO

El algoritmo de posicionamiento utiliza la técnica MDS, Multidimensional Scaling Technique [5] ampliamente utilizada en la estimación de la posición de nodos en redes de sensores "Ad Hoc" [6] para sistemas de dos dimensiones (2D) o de tres dimensiones (3D). Dado un conjunto de K nodos se define una matriz de coordenadas **X** de dimensiones KxC; donde C es la dimensión del espacio considerado (C=2 ó C=3). Se define $\mathbf{B}=\mathbf{X}\mathbf{X}^{\mathbf{T}}$, denominada matriz producto de puntos, donde cada elemento se determina aplicando el Teorema del Coseno al triangulo formado por lo nodos i,j y un tercero de referencia [7].

En la práctica se parte del cálculo de la distancia Euclídea entre los diferentes nodos, por cualquiera de los métodos conocidos, y se construye una matriz de distancias **D**. Para formar **B**, es necesario seleccionar algún punto como referencia; siendo el más conveniente el centroide de la figura que forman los nodos [7].

De esta manera cada elemento de **B** se obtiene según (1). Donde d_{ij}, d_{ik}, d_{il}, d_{im} y d_{mn} son las distancias entre nodos, K es el número de nodos del sistema y los subíndices $i,j,l,m,n = 0\ldots K$. es la identificación de cada uno.

$$b_{ij} = -\frac{1}{2}\left[d_{ij}^{\,2} - \frac{1}{K}\sum_{k=1}^{K} d_{ik}^{\,2} - \frac{1}{K}\sum_{l=1}^{K} d_{lj}^{\,2} + \frac{1}{K^2}\sum_{m=1}^{K}\sum_{n=1}^{K} d_{mn}^{\,2} \right] \quad (1)$$

A partir de **B**, probablemente contaminada con ruido, es posible obtener la matriz de coordenadas estimadas **X*** factorizando **B** a través de una descomposición en valores singulares (SVD). Resulta entonces que $\mathbf{B}=\mathbf{U}\mathbf{S}\mathbf{U}^{\mathbf{T}}$ donde **S** es una matriz diagonal con los autovalores asociado y las columnas de **U** representan los autovectores, por las propiedades de estas resulta que la matriz de coordenadas estimadas es: $\mathbf{X}^*=\mathbf{U}\mathbf{S}^{1/2}$. Seleccionando las dos o tres primeras columnas de **X*** se obtiene las coordendas estimadas para cada nodo. En la fig. 3 se presenta un caso práctico en 2D para seis nodos, distribuidos según **X** (cm). Asumiendo que todos los nodos conocen las distancias entre sí y contaminando la matriz de distancias **D** con un error aleatorio no mayor a 5 cm. . Aplicando a esta matriz el algoritmo MDS y realizando la transformación de coordenadas correspondiente los resultados estimados se ven en **X***: Los resultados muestran que los errores en la estimación de las coordenadas están dentro del rango de errores.

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 140 \\ 189 & 225 \\ 155 & 55 \\ 69 & 39 \\ 19 & 248 \end{bmatrix} \quad \mathbf{X}^* = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 138.62 \\ 192.45 & 223.29 \\ 160.42 & 47.438 \\ 73.527 & 36.298 \\ 23.443 & 246.39 \end{bmatrix}$$

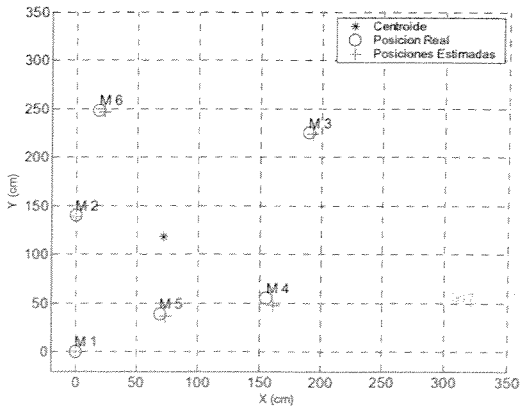


Fig.3 Mapa de valores reales y estimados por MDS en 2D.

4. TECNICA DE CODIFICACIÓN DE SEÑALES

La codificación de las señales acústicas debe permitir, principalmente, un funcionamiento multimodo del sistema y poder intercambiar información entre nodos vecinos.

Dadas sus buenas características de autocorrelación (AC) y las ventajas de implementación hardware se analiza la utilización de Pares de Secuencias Complementarias Golay [8]. Estos códigos pueden obtenerse para longitudes que sean cualquier potencia de dos y su implementación puede realizarse en sistemas de lógica reprogramable [9] mediante correladores eficientes [10]. Dado un par de secuencias Golay (Ai,Bi) de longitud $L=2^i$, donde i representa la semilla de generación constituidas por valores {-1,+1}, se sabe que la suma de AC de ambas secuencias del par, C_{AA} y C_{BB}, da un resultado ideal: una función delta de Dirac de peso $2L$.

4.1 Análisis y selección de un grupo de secuencias

Seleccionando uno de los posibles pares Golay (Ai,Bi), y teniendo en cuenta sus características, es posible hallar otro par $(Ai+\frac{L}{2}, Bi+\frac{L}{2})$, ortogonal al seleccionado, es decir de CC nula en todo instante. Si se incrementa la cantidad de secuencias a emitir, no es posible hallar otros que cumplan con la característica de ortogonalidad.

El siguiente paso planteado es la búsqueda de grupos de pares que posean baja correlación cruzada (CC) entre aquellos que constituirán el grupo. Se procedió a un análisis exhaustivo con MATLAB® realizando todas las combinaciones posibles de pares de secuencias para diferentes longitudes y descartando aquellas cuyo valor de CC superara un umbral de selección. Se define el umbral de selección US_{CCP}, con (2) lo cual nos permite descartar aquellas secuencias cuyos picos de CC superan un determinado porcentaje del pico máximo de AC.

$$US_{CCP} = \frac{Pico\ Max\ CC}{Pico\ Max\ AC} \qquad (2)$$

Los análisis realizados no mostraron buenas características de CC de grupos de pares. Basándose en las características de las secuencias Golay expuestas en [11], en vez de seleccionar el par, se selecciona una de las secuencias que compone el par (Ai,Bi) a fin de lograr conjuntos de baja CC. Generando todas las correlaciones posibles dentro del grupo la AC tiene un pico máximo de valor L. Dado que se busca que las correlaciones cruzadas sean lo más bajas posibles, se aplica el algoritmo anterior adecuado al uso de una sola secuencia. A partir de los grupos generados, se busca aquel donde la CC de todas las combinaciones de secuencias sea lo más baja posible. Los resultados obtenidos muestran, en la Tabla 1, que para diferentes longitudes de secuencia se pueden hallar varios grupos que se ajustan al criterio de selección. Se planeta un segundo algoritmo de selección en MATLAB® para reducir la cantidad de conjuntos; según el criterio de promedio más bajo de pico máximo de CC entre todos y varianza más pequeña. Utilizando secuencias de longitud $L=128$ bits, las mejores combinaciones se muestran en la Tabla 2.

Longitud	U_{SCCP}	Grupos (G=7)
16	0,75	393
32	0,50	19
64	0,41	21
128	0,35	266

Tabla 1. Grupos de secuencias hallados en funcion de la longitud de secuencia y el umbral de selección U_{SCCP}.

Grupo de Secuencias de 128 bits							
Nº	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
1	**A0**	**A4**	**A46**	**A47**	**A48**	**A49**	**A109**
2	A0	A4	A46	A47	A48	A49	B109
3	A0	A4	B46	B47	B48	B49	B109
4	A0	B4	B46	B47	B48	B49	B109
5	A1	A5	A46	A47	A48	A49	A108
6	A1	A5	A46	A47	A48	A49	B110
7	A1	A5	B46	B47	B48	B49	B110
8	A1	B4	B46	B47	B48	B49	B110
9	A4	B1	B46	B47	B48	B49	B109
10	A5	B0	B46	B47	B48	B49	B110
11	B0	B4	B46	B47	B48	B49	B110
12	B1	B5	B46	B47	B48	B49	B109

Tabla 2. Grupos de Secuencias Simples de 128 bits con el mínimo valor de CC.

4.2 Simulación de la emisión de las secuencias

Para verificar el funcionamiento multimodo de los grupos de la Tabla 2, se selecciona el primero de estos y se simula una emisión con una modulación BPSK a una frecuencia de *10* kHz, y una frecuencia de muestreo *10* veces superior. La demodulación en el receptor se realiza de forma asíncrona. La figura 3 muestra el análisis de una sola secuencia, A0, transmitida de forma continua con una relación $SNR=0\ dB$. Los resultados de la figura 4 muestran que se obtiene un pico máximo de correlación de L.

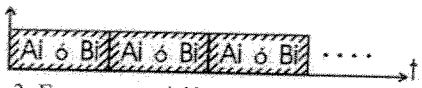


Fig 3. Esquema emisión continua de una de las secuencias.

Si se realiza la emisión simultánea de las secuencias del grupo, en un determinado receptor se recibirá la señal deseada y la transmitida por el resto de nodos lo cual genera un ruido correlado a lo cual se suma el ruido ambiente. En la figura 5, se simula lo expuesto y en la figura 6 se muestran los resultados obtenidos para la detección de A0.

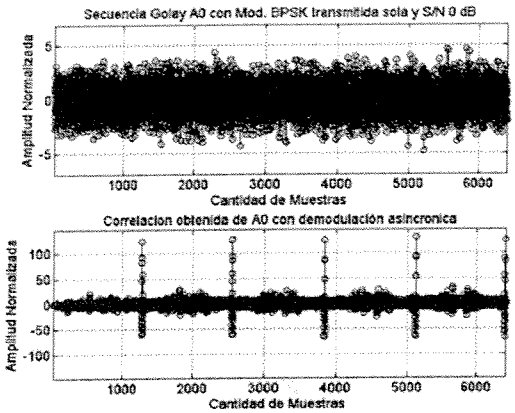


Fig. 4. Detección de A0 emitida con SNR=0dB.

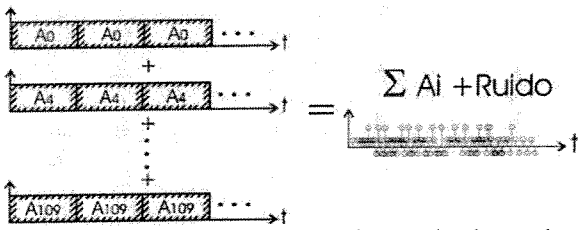


Fig. 5. Esquema de emisión continua y simultanea de todas las secuencias del Grupo.

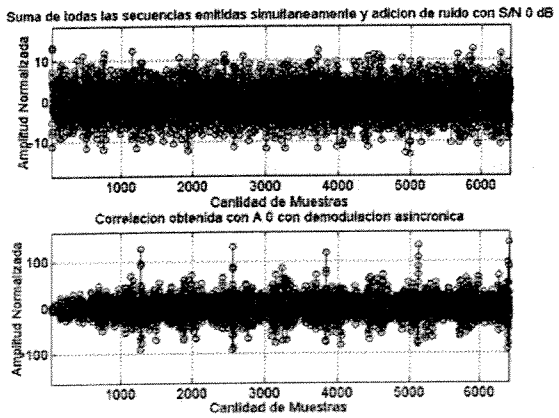


Fig. 6 Detección de A0 según esquema fig. 3.

5. CONCLUSIONES

Las buenas características de correlación de las secuencias Golay utilizando solo una de las posibles del par permiten realizar mediciones de TDV aun en situaciones con SNR de 0 dB en emisiones multimodo. Dadas las características del procesamiento de señales analizado, es posible implementar en lógica reconfigurable el hardware de cada nodo, lo cual permite trabajar en tiempo real y con gran fiabilidad. Uno de los objetivos de la codificación de las señales acústicas es reducir al mínimo la potencia de emisión a fin de enmascararlas con señales acústicas convencionales sin que estas se vean afectadas de modo perceptible para el usuario humano, los resultados obtenidos hacen necesario implementar mejoras para incrementar la relación SNR y realizar una detección mas precisa de las señales codificadas y por consecuencia de los tiempos de vuelo de la señal emitida. Con respecto al algoritmo de posicionamiento, para la correcta estimación de los objetos, se hace necesario conocer la ubicación de al menos dos de ellos en un sistema de dos dimensiones.

6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación del Ministerio de Ciencia y Tecnología a través del proyecto PARMEI (ref. DIP2003-08715-C02-01), y de la Comunidad de Madrid a través del proyecto ENIGMA (07T/0051/2003 1).

7. REFERENCIAS

[1] J. Stankovic, et. al.; "Real-Time Communications and Coordination in Emmbedded Sensor Networks"; Proceedings of IEEE, Vol 91, No 7, Julio 2003. Pags. 1002-1022.

[2] A. Mainwaring, et.al.; "Wireless Sensor Networks for Habitat Monitoring". 2002.

[3] J. C. Garcia, M. Mazo, E. Basagoitia; "Entornos Inteligentes y su Aplicación a los Sistemas autónomos de Ayuda a la Movilidad". I Jornadas Cyted sobre Tecnologías de Apoyo a la Discapacidad. Mayo 2003. Pags 69-75.

[4] A. Savvides, Girod L, et al.; "Localization in Sensor Networks", http://lecs.cs.ucla.edu/~girod/official/

[5] F. Wickelmaier; "An Introduction to MDS"; Sound Quality Research Unit, Aalborg University, Denmark, May 4, 2003

[6] X. Ji, H. Zha; " Sensor Positioning in Wireless Ad-Hoc Sensor Networks Using Multidimensional Scaling", Department of Computer Science and Engineering, The Pennsylvania State University.

[7] V. Raykar, I. Kozintsev, R. Lienhart; "Position Calibration of Microphones and Loudspeakers in Distributed Computing Platforms"; IEEE Transactions On Speech And Audio Processing.

[8] M. Golay; "Complementary Series", IRE Transactions on Information Theory, vol. IT-17, Abril 1961. Pags 82-87.

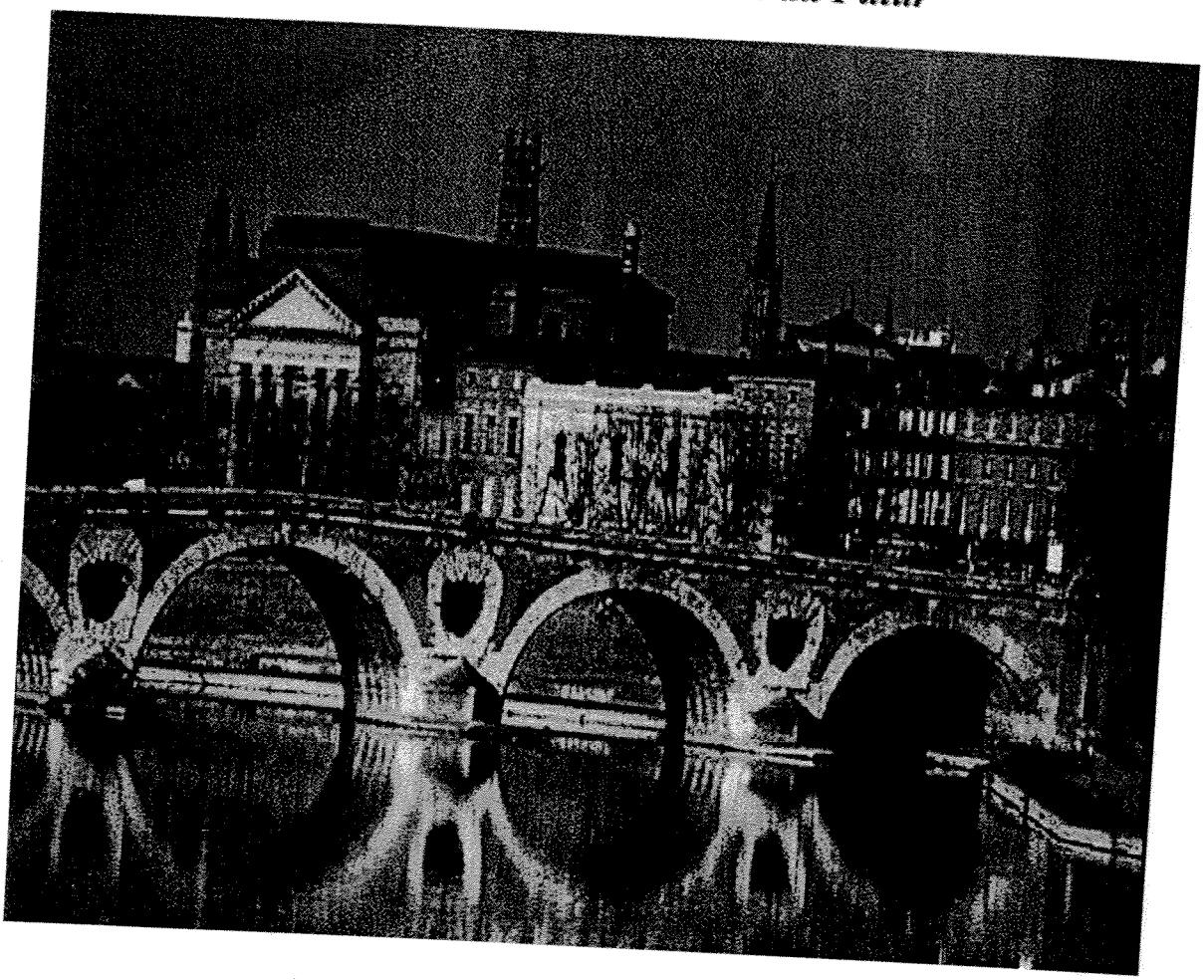
[9] A. Hernández, J. Ureña, J. J. García, V. Díaz, M. Mazo, D. Hernanz, J. P. Dérutin, J. Serot. "Ultrasonic signal processing using configurable computing". 15th TriennialWorld Congress of the International Federation of Automatic Control (IFAC'02). Barcelona, 2002.

[10] B. M. Popovic (1999); Efficient Golay correlator. IEE Electronics letters, Vol. 35 No. 17. Pags. 1427-1428.

[11] S. Budisin, "Golay Complementary Sequences are Superior to PN Sequences", Systems Engineering, 1992, IEEE International Conference.

SAAEI – EPF' 04

Seminario Annual de Automática, Electronica Industrial e Instrumentación
Electronique de Puissance du Futur



TOULOUSE
15 – 17 Septembre 2004
Centre de Congrès Pierre Baudis

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI
UNIVERSIDADE DE VIGO
DIPUTACIÓ DE TARRAGONA
INP ENSEEIHT
DGA
UNIVERSITE PAUL SABATIER TOULOUSE III
ANSOFT

Álvaro Hernández Alonso

De: "LUIS MIGUEL BERGASA" <BERGASA@DEPECA.UAH.ES>
Para: <profesores@depeca.uah.es>
Enviado: martes, 28 de septiembre de 2004 19:36
Asunto: Si no has enviado ponencias al SAAEI'04 puedes borrar este e-mail

Hola,

Como ya os había adelantado en un e-mail anterior os adjunto el ISBN que debéis aplicar al CD de actas de la edición de este año.

Titre: SAAEI-EPF'04
ISBN: 2-907801-06-6

Saludos

****
* Luis M. Bergasa Pascual
* Departamento de Electrónica. Despacho 343-O
* Escuela Politécnica. Universidad de Alcalá
* 28871 Alcalá de Henares. Madrid. SPAIN
* Phone: +34-918856569
* Fax: +34-918856591
* e-mail: bergasa@depeca.uah.es
* http://www.depeca.uah.es/
****