EL PROCESADOR ADAPTATIVO DE HOWELLS-APPLEBAUM

Daniel Rubio y Miguel Angel Lagunas
T.T.I. Procesado de Señal en Comunicaciones
E.T.S. Ingenieros de Telecomunicación
Aptdo. 30002
08080 Barcelona

ABSTRACT

The Howells-Applebaum adaptive processor, working with the asumptions that the desired signal is absent most of the time and the direction of arrival of the desired signal is known, has an associated adaptive loop for each element. Two modifications are introduced in the basic model: the incorporation of a "hard-limiter" to limit the required dynamic range, and the use of a spatial matrix filter to maintain desired mainlobe signals while realizing good cancellation of interference.

INTRODUCCION

El procesador adaptativo de Howells-Applebaum es, básicamente, un anulador adaptativo de interferencias, con un control independiente para cada elemento del array. Trabaja con las suposiciones de que la señal deseada está ausente la mayor parte del tiempo, como sucede en radares pulsados y sistemas de sonar, por lo que no utiliza una señal de referencia temporal, sino espacial;es decir, se supone la dirección de llegada conocida. Por su facilidad de implementación, ha sido aplicado extensamente al tratamiento de clutter e interferencias.

MODELO BASICO

El lazo para cada elemento de los que forman el array es el que se indica en la Figura 1:

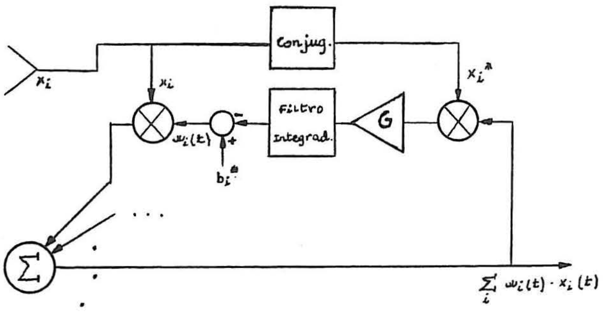

Figura 1:Lazo básico del procesador.

$w_i(t)$, el peso de cada elemento, está formado por la contribución de dos términos; uno fijo (que viene dado por la dirección de llegada de la señal deseada), y otro variable, que es la salida del lazo adaptativo.

Puede demostrarse fácilmente que la rapidez en la convergencia depende del nivel de la señal interferente según (tiempo de respuesta)/(tiempo de integración)=1/(1+u), con la siguiente relación de u con PRI, que es el cociente entre la potencia de la señal interferente y la potencia de ruido del receptor: $u=u_{min}(1+PRI)$. (ver en /1/ o /2/).

Como ejemplo, se muestra en la Figura 2 la diferente evolución en la respuesta que se sigue para PRI de 8 y 13 dB. En abscisas se coloca el número de la muestra, y en ordenadas el módulo al cuadrado de la salida del array.Se ve claramente que la respuesta es mucho más rápida para la interferencia de mayor potencia, como era de esperar.

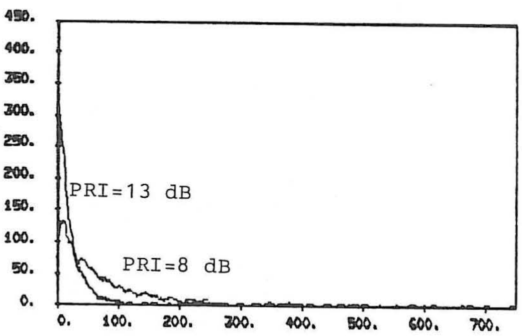

Figura 2: Evolución de la salida del array para interferencias de distinta potencia.

PRIMERA MODIFICACION: CONTROL DEL MARGEN DINAMICO DENTRO DEL LAZO

En el conformador anterior se observa, en primer lugar, que en el lazo se trabaja con un nivel proporcional al módulo al cuadrado de la señal existente en los sensores, y, por otra parte, que el tiempo de respuesta es mucho menor para las señales más débiles.

Introduciendo un "hard-limiter" tras el conjugador en cada uno de los lazos, se tendrá a su salida $k\ x_i^*/|x_i|$, con lo que se pasa a trabajar con una señal que es proporcional al módulo de la señal existente en los sensores, y no al módulo al cuadrado, como hasta ese momento; el margen dinámico pasa a ser,por lo tanto, la mitad. La u, el parámetro que da la rapidez de la respuesta, pasará a ser proporcional a $\sqrt{1+PRI}$, por lo que ahora el tiempo de respuesta es mayor /1/. Es lógico que sea así, porque con la introducción del "hard-limiter" se pasa a trabajar con menos información de la señal que ha llegado a los sensores, ya que prescindimos de la información que representa su módulo. Sin embargo,ahora no existirá tanta diferencia entre los tiempos de respuesta a interferencias de distinta potencia.

En la Figura 3 se muestra la distinta evolución para los casos en que se trabaja con hard-limiter y sin él.En el primer caso la respuesta es mucho más lenta. Las dos curvas son para una interferencia de PRI=13 dB que tiene un ángulo de llegada de 10º (en la figura 2 también era éste el ángulo de llegada).

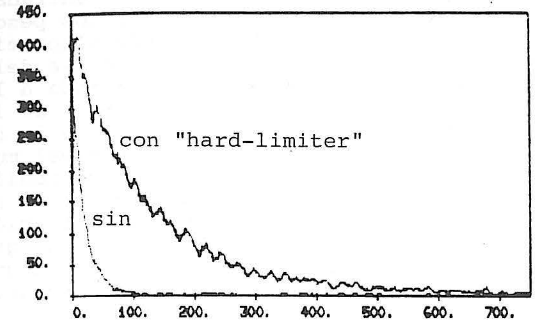

Figura 3: Comparación entre los tiempos de respuesta del procesador trabajando con "hard-limiter" y sin él para una interferencia de PRI=13 dB.

SEGUNDA MODIFICACION: RESTRICCIONES EN EL HAZ PRINCIPAL

Hasta el momento actual, la respuesta en el haz principal varía (y mucho), dependiendo del ángulo de llegada de la interferencia. La modificación que se hace ahora es para solucionar esto en parte. Con ella conseguiremos que todo el proceso de adaptación se produzca manteniéndose constante el valor de un cierto número de derivadas en la dirección principal.

Se trata de buscar una matriz adecuada e introducirla en el conformador como se indica en la Figura 4. Esta matriz ha de ser tal, que no deje pasar las posibles variaciones que afectarían a aquellas características de la respuesta inicial que se desea que permanezcan invariables.

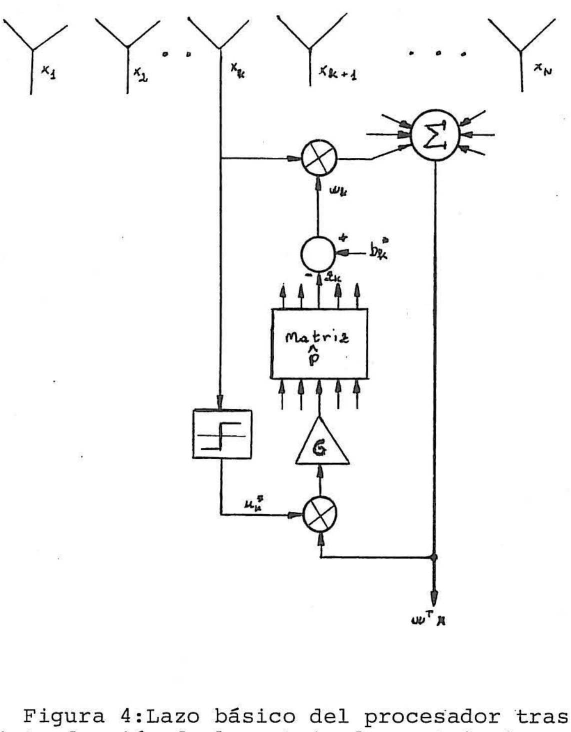

Figura 4: Lazo básico del procesador tras la introducción de la matriz de restricciones.

Al introducir la matriz en el lazo se conseguirá que únicamente la componente no variable (b_k*) del peso final resultante (w_k), contribuya a aquellas características del diagrama que se pretenden controlar. Así, por ejemplo, si lo que se pretende es mantener constante el nivel de la respuesta en la dirección principal en un array lineal de elementos equiespaciados (o lo que es lo mismo, mantener constante la suma de los pesos del array), la matriz a introducir será tal que, para cualquier entrada, la suma de las salidas será nula; con esto, el nivel de la respuesta en la dirección principal no variará, independientemente de la señal existente en los sensores. Fácilmente se ve que esto se consigue con una matriz del tipo:

$$\hat{P} = I - C_o C_o^T = I - \begin{bmatrix} 1/\sqrt{Q} \\ 1/\sqrt{Q} \\ \vdots \\ 1/\sqrt{Q} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/\sqrt{Q} & 1/\sqrt{Q} & \cdots & 1/\sqrt{Q} \end{bmatrix}$$

(Q es el número de elementos del array lineal)

Si se desea mantener el nivel de la respuesta, y sus dos primeras derivadas, la matriz será de la forma:

$$\hat{P} = I - \sum_{m=0}^{2} C_m C_m^T$$

donde $C_m^T C_n = \delta_{mn}$, la delta de Kronecker. La síntesis de los C_m es simple, ya que el diagrama de un array lineal y su derivada n-ésima pueden escribirse como:

$$G(\theta) = \sum_{k=1}^{N} w_k \, e^{jk\theta}$$

$$G^n(\theta) = \sum_{k=1}^{N} (jk)^n \, w_k \, e^{jk\theta}$$

En consecuencia, los elementos de C_m (para m=0, 1,2) están dados por:

$$C_{0i} = d_0$$

$$C_{1i} = e_0 + e_1 i$$

$$C_{2i} = f_0 + f_1 i + f_2 i^2$$

Las constantes que definen los elementos de C_m se ajustan de manera que todos los C_m sean de longitud unidad y mutuamente ortogonales.

Supongamos que una vez diseñada de esta forma la matriz $\hat{P}$, se tiene a su entrada un vector de la forma: $C = a_0C_0 + a_1C_1 + a_2C_2 + a_rC_r$, donde C_r es un vector remanente, ortogonal a los otros tres vectores, C_1, C_2, C_3. La salida vendrá dada por:

$$S = \hat{P}\,C = (I - C_0C_0^T - C_1C_1^T - C_2C_2^T)(a_0C_0 + a_1C_1 + a_2C_2 + a_rC_r) = a_rC_r$$

Lo que se obtiene a la salida es únicamente aquella parte de la entrada que no nos altera las características que pretendíamos conservar; como consecuencia de esto, el tiempo de respuesta aumentará, ya que se utiliza realmente menos información de la que se tiene. En general, el tiempo de respuesta aumentará al aumentar el número de restricciones.

A modo de ejemplo se incluyen los diagramas de radiación y pesos finales de un array lineal de cinco elementos equiespaciados en el que se ha pretendido mantener, sucesivamente: el nivel de la respuesta en la dirección principal; el nivel y la primera derivada; y, por último, el nivel y las dos primeras derivadas. Los pesos del array en estado de reposo eran iguales y de valor $1/\sqrt{5} = 0.44721$. La señal interferente llega formando un ángulo de 10º con la dirección principal. El lector podrá comprobar con facilidad que los pesos son justamente los que hacen mantener las características deseadas. Así, en los tres casos, la suma de los pesos coincide con la suma de los del array primitivo; en los dos últimos casos se mantiene también constante el parámetro $\sum i\, w_i$; en el último caso, se mantiene, además, el parámetro $\sum i^2\, w_i$.

Por último, cabe destacar que este método es más general, y que puede utilizarse no tan sólo para mantener características en la dirección principal, sino que nos permite mantener las características que deseemos del diagrama primitivo en cualquier dirección, sin más que cambiar los C_m de restricción. /2/

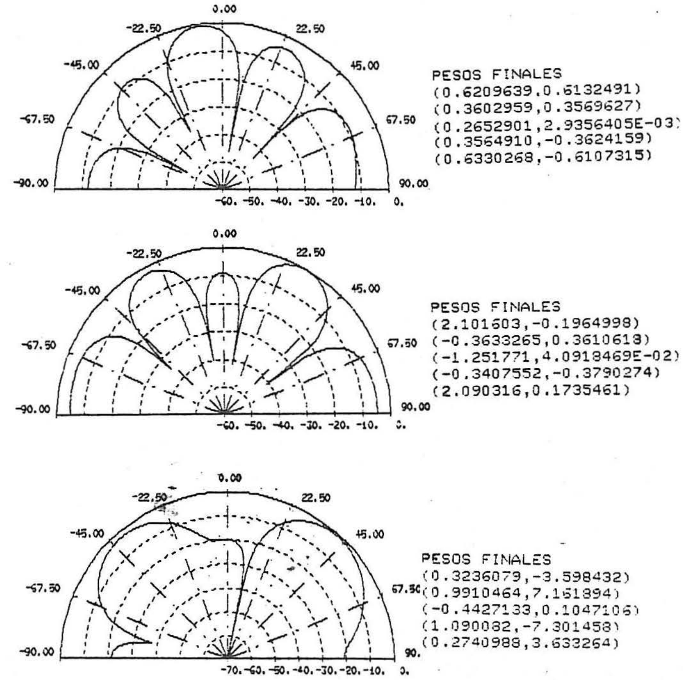

Figura 5:Diagramas resultantes tras la a-adaptación. El número de restricciones impuestas ha sido, respectivamente, de una(nivel), dos (nivel y primera derivada) y tres (nivel y dos derivadas).

OTRA UTILIZACION DEL LAZO BASICO: DISCRIMINACION SEGUN EL NIVEL DE POTENCIA

En algunas aplicaciones puede que no haya conocimiento a priori de la estructura de la señal deseada o de la dirección de llegada. Se tratará de discriminar en nivel de potencia, para ser capaces derecuperar una señal débil en presencia de una señal mucho mayor.

Para hacer esto, se añaden a un array cualquiera N sensores auxiliares, en los que se ha introducido una realimentación en el lazo de Howells-Applebaum , consistente en multiplicar el peso auxiliar por el coeficiente N P_s y meter lo que resulte, restando, a la entrada del lazo de los elementos auxiliares. Con esta modificación, mientras que el nivel de entrada no sea superior a un cierto nivel, P_s, los pesos del array auxiliar no sufren apenas alteración alguna, con lo que la salida final es la del array principal. En cambio, si la entrada a los sensores presenta un nivel muy superior al inicialmente fijado, porque hay, además de la señal deseada, de nivel P_s,otra de un nivel mucho mayor, los pesos del array auxiliar se modificarán hasta obtener a la salida una señal de nivel P_s; para ello, se meterá un nulo en recepción en la dirección de llegada de la señal de gran potencia. Durante el proceso se producirá una disminución de la relación de señal a ruido.

CONCLUSIONES

A pesar de estar pensado para funcionar en ausencia de la señal deseada, por lo que no puede utilizar una referencia temporal, como el LMS, tiene unos tiempos de respuesta comparables a los de éste. Los métodos de adaptación son, también, muy similares, aunque el procesador de Howells-Applebaum utilice referencia espacial (la dirección de llegada de la señal deseada).

Comparando con el procesador básico, los tiempos de respuesta de las sucesivas modificaciones se van haciendo mayores al tener que prescindir de una mayor cantidad de información sobre lo que llega a los sensores.

Como conclusión final, puede afirmarse que el procesador de Howells-Applebaum, basado en una idea muy intuitiva, es de una gran versatilidad, como puede verse por las distintas modificaciones hechas y las aplicaciones que tiene.

REFERENCIAS

/1/R.A. Monzingo y T.W. Miller, "Introduction to Adaptive Arrays", John Wiley and Sons, Inc. pág 217-291, Año 1980

/2/D. Rubio Corral. "Conformador de Howells-Applebaum con procesado digital". Proyecto final de Carrera, E.T.S. Ingenieros de Telecomunicación de Barcelona, año 1986