

IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN CANCELADOR ADAPTATIVO DE RUIDO

Xavier Sevillano Domínguez

Joan Claudi Socoró Carrié

Dpto. de Comunicaciones y Teoría de la Señal
 Ingeniería La Salle, Universitat Ramon Llull
xavis@salleURL.edu

Dpto. de Comunicaciones y Teoría de la Señal
 Ingeniería La Salle, Universitat Ramon Llull
jclaudi@salleURL.edu

ABSTRACT

This paper studies the problem of adaptive noise cancellation; specially, its application on speech signals.

Two different aspects of the implementation of an adaptive noise canceller are discussed: the microphone array structure and the LMS adaptive algorithms which update the weights of the canceller.

A study of the improvement introduced by adaptive noise cancellation, in terms of speech intelligibility, is also presented.

1. INTRODUCCIÓN

La cancelación adaptativa de ruido es una técnica de filtrado adaptativo que permite recuperar eficientemente una señal corrompida por ruido aditivo. El diagrama de la figura 1 servirá para explicar el funcionamiento del sistema.

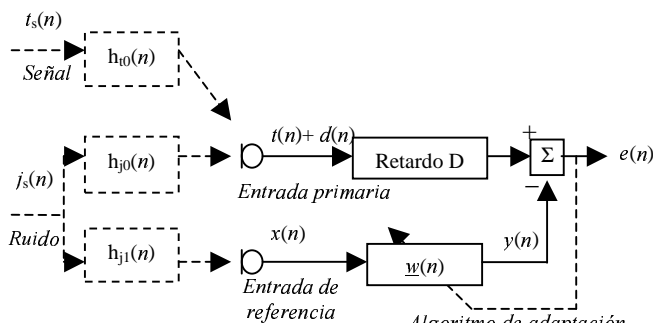


Figura 1. Esquema del cancelador adaptativo de ruido

El cancelador adaptativo de ruido tiene dos señales de entrada: la entrada primaria (formada por una versión filtrada de la señal deseada, o *target*, corrompida por una versión también filtrada del ruido aditivo o *jammer*) y la entrada de referencia (que deberá ser una señal correlada con el *jammer* e incorrelada con el *target*, es decir, sólo ruido) [1]. En la entrada primaria se puede insertar un retardo ajustable de D muestras, que permite que la predicción de cada muestra de ruido se haga a partir de muestras anteriores y posteriores a ella.

La entrada de referencia será procesada por un filtro adaptativo, cuyos coeficientes se irán ajustando de acuerdo a algún algoritmo de adaptación del tipo LMS. El objetivo de este filtrado es minimizar la potencia de la señal de salida $e(n)$; cuando se consiga este objetivo, $y(n)$ será aproximadamente igual a la componente de ruido presente en la entrada primaria.

Entonces, si se restan las señales de la entrada primaria y la salida del filtro, el resultado será una señal igual al *target* más un término de error residual.

1.1. El beamformer adaptativo

En este trabajo se ha aplicado la cancelación de ruido a señales de voz contaminadas por ruido; en este contexto, uno de los campos en que tienen mayor aplicación estas técnicas es el desarrollo de audífonos. Los dispositivos tradicionales amplifican la señal deseada y el ruido de fondo por igual, no mejorando la inteligibilidad del habla en casos de ruido elevado.

En este caso, la señal deseada (*target*) proviene de una única fuente habitualmente situada frente al oyente, mientras que el ruido es generado por un cierto número de fuentes repartidas por el espacio. Esta separación espacial puede ser aprovechada para reducir el nivel de ruido sin empeorar la calidad de la señal y ello se reflejará en un incremento de la inteligibilidad del habla.

Los *beamformers* (o conformadores de haz) son estructuras que procesan las señales procedentes de un *array* de sensores; su objetivo es mejorar la recepción de la señal deseada procedente de una dirección específica (el *target*) en presencia de señales aditivas procedentes de direcciones diferentes (*jammers*). En la figura 2 se presenta el esquema del *beamformer* adaptativo basado en un *array* de dos micrófonos.

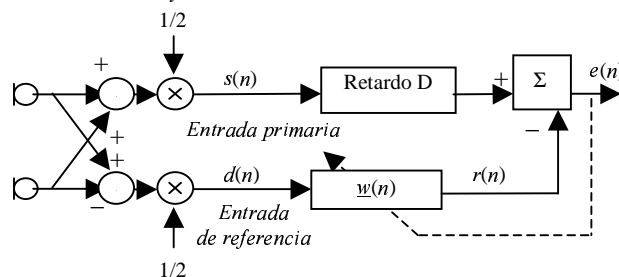


Figura 2. El beamformer adaptativo

Si la fuente que emite la señal deseada (*target*) está situada frente a los micrófonos y no hay reverberación, la operación resta que se hace en la etapa de preprocesado da lugar a una señal diferencia $d(n)$ que sólo depende del ruido procedente de los *jammers*; es decir, bajo estas condiciones ideales, en la entrada de referencia del cancelador hay únicamente ruido, tal y como se ha presentado, de forma ideal, en la figura 1, mientras que en la entrada primaria habrá señal más ruido.

1.2. Técnicas para el control de la adaptación

Aunque el uso del cancelador adaptativo mejora el rendimiento del audífono en presencia de ruido elevado, el algoritmo de filtrado LMS puede dar problemas cuando la señal deseada tenga mayor amplitud que el ruido. La ecuación de actualización del vector de coeficientes del filtro FIR es:

$$\underline{w}(n+1) = \underline{w}(n) + \mu \cdot e^*(n/n) \cdot \underline{x}(n) \quad (1)$$

Cuando el algoritmo haya convergido, la señal $e(n)$ será igual al *target*. Dado que esta señal se utiliza como señal de error en el algoritmo adaptativo, es deseable que el proceso de adaptación de los coeficientes se detenga cuando el *target* tenga una intensidad elevada, ya que, en este caso, el valor de los coeficientes sufrirá unas fuertes fluctuaciones que darán lugar a un aumento del ruido residual a la salida del cancelador. Por este motivo se diseñan técnicas que controlen el proceso de adaptación de los coeficientes del filtro en caso de que el *target* tenga mucha más potencia que el ruido aditivo (*jammer*).

1.2.1. Control de la adaptación por comparación de potencias

Se realiza una estimación de relación de potencias entre el *target* y el *jammer*: las varianzas de las señales suma ($s(n)$, de la entrada primaria) y diferencia ($d(n)$, de la entrada de referencia) se comparan dentro de una ventana exponencial. El proceso de adaptación se detiene cuando la varianza de la señal suma es 1.5 veces mayor que la de la señal diferencia [2].

1.2.2. Algoritmos LMS modificados

El método de control de la adaptación basado en la comparación de potencias realiza un control "todo o nada" del proceso de adaptación de los coeficientes del filtro cancelador; sería interesante utilizar alguna técnica basada en un control más "inteligente" de este proceso. Estas modificaciones consisten en aplicar funciones no lineales a la señal de entrada del filtro adaptativo y/o a la señal de salida. Uno de los algoritmos más interesantes es el que se presenta a continuación [3]:

$$\underline{w}(n+1) = \underline{w}(n) + \mu \cdot e^*(n/n) \cdot \underline{x}(n) \cdot f[x(n), y(n)] \quad (2)$$

donde la función f tiene la siguiente forma:

$$f(n) = \frac{\mu}{L \cdot [\hat{\sigma}_e^2(n) + \mu \cdot \hat{\sigma}_x^2(n)]} \quad (3)$$

donde L es la longitud del filtro y μ es el paso de adaptación. La estimación variante en el tiempo de la potencia de la señal de voz (*target*), $\hat{\sigma}_e^2(n)$, se obtendrá utilizando una ventana exponencial de una longitud que permita seguir las fluctuaciones de la señal de voz; esto se consigue promediando el valor instantáneo de la potencia de salida mediante un filtrado paso bajo que procese las muestras de los 10 ms anteriores; este tiempo es mucho mayor que el periodo de actualización de los coeficientes, pero es suficientemente grande para seguir las fluctuaciones de la voz, pues la duración de un fonema oscila entre los 50 y los 200 ms.

La estimación variante en el tiempo de la potencia de la señal de referencia, $\hat{\sigma}_x^2(n)$, se obtiene procediendo del mismo modo.

El método presentado aprovecha los intervalos en los que la señal *target* es débil o inexistente para que el algoritmo trabaje con un paso de convergencia mayor, y que éste se reduzca cuando el *target* tiene amplitudes elevadas.

1.3. Análisis de la mejora aportada: test de inteligibilidad

Para evaluar subjetivamente el proceso de cancelación se realizaron tests de inteligibilidad de las señales de voz contaminadas con ruido, antes y después de procesar.

A tal efecto se prepararon series de 10 palabras; a cada oyente se le presentaba una serie sin procesar y luego, una vez procesada. Este proceso se repitió con tres niveles distintos de relación señal-ruido (SNR). Los porcentajes de acierto se presentan en la figura

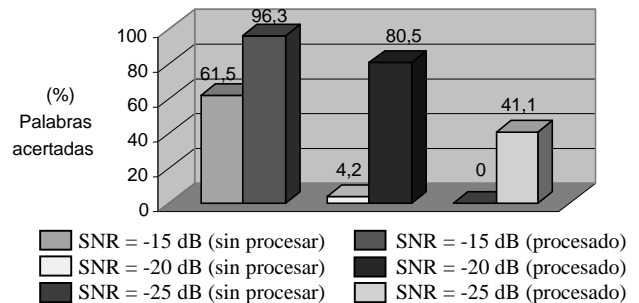


Figura 3. Resultado de la prueba de inteligibilidad.

2. CONCLUSIONES Y LÍNEAS DE FUTURO

Se aprecia que la cancelación adaptativa de ruido mejora muy notablemente la inteligibilidad de la voz, incluso en presencia de altos niveles de ruido; esto habla de la importancia que puede tener la aplicación de este tipo de sistemas en audífonos.

Como líneas de futuro se ha planteado la posibilidad de utilizar aprendizaje artificial (aprendizaje por refuerzo), así como técnicas de análisis de componentes independientes (ICA) aplicadas al campo de la cancelación de ruido [4].

3. REFERENCIAS

- [1] Greenberg, J.E. and Zurek, P.M., (1992). "Evaluation of an adaptive beamforming method for hearing aids". *J. Acoust. Soc. Amer.*, 91, pgs. 1662-1676, 1992.
- [2] Kompis, M. and Dillier, N., "Noise reduction for hearing aids: Combining directional microphones with an adaptive beamformer". *J. Acoust. Soc. Amer.*, 96, pgs. 1910-1913, 1994.
- [3] Greenberg, Julie E., "Modified LMS algorithm for speech processing with an adaptive noise canceller", *IEEE Trans. Speech and Audio Proc.*, 4(6):338-351, 1996.
- [4] Hyvärinen A., Oja E. "Independent Component Analysis: a Tutorial".