



SISTEMA DE CO-PROCESAMIENTO EN RASPBERRY PARA LA ELIMINACIÓN DE LA RETROALIMENTACIÓN EN DISPOSITIVOS AUDITIVOS AUXILIARES UTILIZANDO FILTROS ADAPTATIVOS

Martin Naveda Leyva
ESIME Culhuacán
Instituto Politécnico Nacional
martin.naveda_98ca@hotmail.com

Giovanny Sánchez Rivera
ESIME Culhuacán
Instituto Politécnico Nacional
gsanchezriv@ipn.mx

Juan Gerardo Ávalos Ochoa
ESIME Culhuacán
Instituto Politécnico Nacional
javaloso@ipn.mx

Carlos Alfonso Trejo Villanueva
ESIME Culhuacán
Instituto Politécnico Nacional
carlosalfonsotrejovillanueva@gmail.com

Abstract

Hoy en día, los dispositivos auxiliares auditivos presentan un efecto no deseado debido a su estructura. En particular, este efecto es denominado retroalimentación acústica. Hasta la fecha varios autores han propuesto algoritmos adaptativos para reducir la potencia de la señal de retroalimentación. Sin embargo, ninguno de los algoritmos adaptativos existentes ha sido validado en hardware, por lo tanto, un reto es la implementación de estos algoritmos en dispositivos embebidos portables, los cuales permitirían una fácil integración en los dispositivos auxiliares dado que estos dispositivos cuentan con área limitada. En este trabajo se presenta la implementación del algoritmo de mínimos cuadrados promediados (LMS, del inglés: Least-Mean-Square) sobre hardware embebido en una tarjeta de desarrollo Raspberry Pi. Los resultados experimentales muestran que la implementación del filtro adaptativo en el dispositivo Raspberry Pi reduce la retroalimentación acústica de manera significativa teniendo un bajo costo computacional.

Palabras clave: Algoritmo, mínimos cuadrados promediados, dispositivos auxiliares auditivos, dispositivos embebidos, retroalimentación acústica.



Durante los últimos años, el número de pacientes que padecen de disminución de la capacidad auditiva ha aumentado de manera significativa. Actualmente, la ingeniería biomédica desarrolla dispositivos auxiliares auditivos externos para resolver el problema de la disminución auditiva. Estos dispositivos electrónicos permiten amplificar los sonidos, logrando así una mejor percepción del sonido. Además, estos dispositivos no requieren de intervención quirúrgica para ser colocados en comparación con las prótesis cocleares y normalmente se colocan detrás de las orejas. La retroalimentación acústica se presenta como el problema más frecuente en los dispositivos auxiliares auditivos externos y este fenómeno acústico ocurre cuando el micrófono y el altavoz se encuentran cerca uno del otro, en otras palabras, la retroalimentación de la señal ocurre cada vez que se toma la señal de un micrófono (un transductor de entrada) y ésta sea retroalimenta a través de un altavoz (un transductor de salida) para ser captada nuevamente por el mismo micrófono. Para resolver este problema varios autores han propuesto algoritmos basados en el algoritmo LMS (del inglés: Least-Mean-Square algorithm) para resolver el problema de la retroalimentación. A continuación, se describen los trabajos más relevantes presentados hasta la fecha.

Lee, Rao, y Garudadri (2017) presentaron una variante del algoritmo LMS para realizar una cancelación de retroalimentación acústica sin la necesidad de calcular el camino de retroalimentación. Para lograr esto, los autores usan algoritmos de proporcionalidad como una herramienta.

Anand, Kar y Swamy (2018) propusieron un cancelador de retroalimentación acústica utilizando una combinación entre una mejora de algoritmo de proyecciones afines y unos filtros LMS de paso variable.

Nordholm, Schepker, Tran y Doclo (2018) propusieron un esquema de filtrado

adaptativo, el cual utiliza dos filtros adaptativos NLMS (del inglés: Normalized Least Mean Squares) y PEM (del inglés: Prediction Error Method) de manera combinada. Cabe señalar que tienen un detector de estabilidad que controla la conmutación entre los dos filtros.

Tabla I: Comparación entre el algoritmo LMS y sus variantes en términos de su complejidad computacional. *N define el número de coeficientes del filtro FIR.

Algoritmo	Mult. (*N)	Sumas (*N)	Implementado
LMS	$2N+1$	$2N$	NO
Lee et. al.	$11N$	$8N+1$	NO
Anand et. al.	$4N+2$	$4N$	NO
Nordholm et. al.	$3N+1$	$3N$	NO

Como se observa en la Tabla I, los trabajos existentes poseen una alta complejidad computacional, la cual es expresada en sumas y multiplicaciones, en comparación con el algoritmo LMS dado que requieren más operaciones aritméticas, por lo que, no han sido implementados en dispositivos embebidos (sistemas mínimos) y solo han sido presentados como modelos teóricos. Por lo tanto, esto representa una oportunidad para implementar el algoritmo LMS en dispositivos embebidos dada su baja complejidad computacional. En este trabajo se propone la implementación del algoritmo LMS en un sistema embebido Raspberry PI (sistema mínimo) para disminuir los efectos negativos de la retroalimentación en dispositivos auxiliares auditivos.

Retroalimentación Acústica

El feedback o retroalimentación acústica se produce cuando el micrófono del audífono recibe la señal ya amplificada que sale del auricular (Centro auditivo Valencia, 2014). Debido a la arquitectura presente en los

dispositivos auxiliares auditivos como el que se muestra en la Figura 1.1, la posibilidad de retroalimentación aumenta como efecto de la cercanía presente entre el altavoz y el micrófono. Actualmente, los filtros digitales adaptativos son considerados una solución potencial para eliminar la retroalimentación acústica.

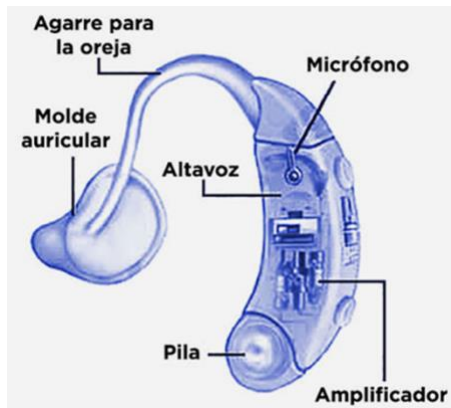


Figura 1.1. Arquitectura de un dispositivo auxiliar auditivo

Filtro Digital Adaptativo

Entre los algoritmos adaptativos comúnmente utilizados se tienen aquellos basados en la búsqueda del gradiente, de los cuales el algoritmo LMS es el mejor exponente. Lo anterior se debe principalmente a su baja complejidad computacional, flexibilidad y robustez. En este algoritmo los pesos se ajustan hasta que el error cuadrático medio MSE (del inglés: Mean Squared Error) sea minimizado. La ecuación del algoritmo LMS está definida como:

$$w(n + 1) = w(n) + \mu e(n)x(n) \quad (1)$$

Donde $w(n+1)$ es el siguiente coeficiente del filtro, $w(n)$ es el coeficiente actual del filtro, μ es el factor de convergencia, $x(n)$ es la señal de entrada al filtro y $e(n)$ es la señal de error.

En este algoritmo los coeficientes del filtro se ajustan hasta que el error cuadrático medio

es minimizado, el factor de convergencia μ determina el error mínimo local así como la velocidad de convergencia, siendo directamente proporcional a la velocidad de convergencia e inversamente proporcional al error cuadrático medio mínimo, es decir cuando μ es grande la velocidad de convergencia es alta pero el error cuadrático medio es más alto, y cuando μ es pequeño la velocidad de convergencia se reduce pero el error cuadrático medio es menor.

El algoritmo LMS requiere N multiplicaciones para calcular la salida del filtro, y $N+1$ multiplicaciones para calcular $\mu e(n)X(n)$ ya que el factor μ permanece constante durante toda la operación del sistema y $\mu e(n)$ es común para todos los coeficientes del filtro.

La estructura de un filtro adaptativo LMS, se muestra en la Figura 1.2, esta cuenta con cuatro señales, donde $x(n)$ es la señal de entrada, $d(n)$ la señal deseada, $y(n)$ la señal de salida y $e(n)$ la señal de error, la cual es utilizada para adaptar los parámetros del filtro adaptativo (Ifeachor & Jervis, 2002).

La mayoría de los filtros adaptativos de la actualidad se implementan con sistemas digitales, debido a que presentan algunas ventajas sobre los filtros analógicos, las cuales se resumen en: alta confiabilidad, exactitud, y menor sensibilidad a la temperatura y al envejecimiento. Sin embargo, los filtros analógicos presentan una velocidad de convergencia mayor que los digitales, debido a que en los sistemas digitales se requiere realizar un número elevado de operaciones (Velazquez-Lopez, Sanchez-Garcia & Perez-Meana, 2006).

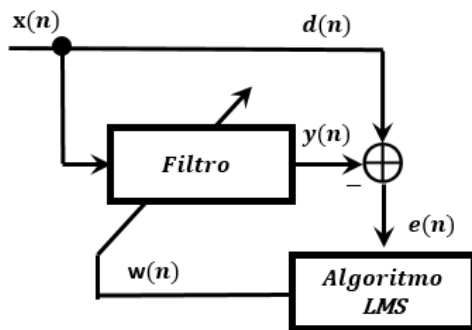


Figura 1.2. Estructura general de los filtros adaptativos.

Propuesta De Solución

En este apartado se describe la implementación del algoritmo adaptativo LMS en una computadora embebida Raspberry PI. Este sistema de cómputo posee un tamaño reducido, lo que facilita su integración en un sistema portátil, lo cual es un requisito primordial para el diseño de dispositivos auxiliares dado que estos son de dimensiones reducidas y llevados en los oídos de los usuarios. Por este motivo, se implementó el esquema de la Figura 1.3 en la Raspberry PI, dado que este sistema de cómputo ofrece conectividad Bluetooth, lo que permitirá una fácil comunicación inalámbrica entre el sistema embebido Raspberry PI y el dispositivo auxiliar auditivo.

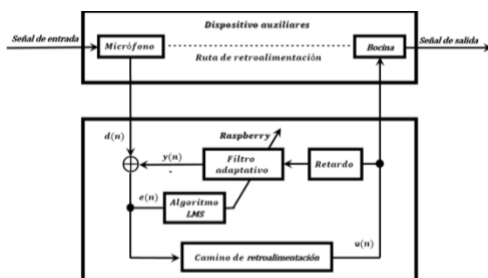


Fig. 1.3. Diagrama a bloques del dispositivo auxiliar auditivo utilizando el filtro adaptativo LMS.

En la Figura 1.3 se observa que el micrófono obtiene la señal de entrada para generar la señal $d(n)$, posteriormente esta señal es procesada por el filtro adaptativo LMS, para identificar la respuesta de la trayectoria de retroalimentación (feedback). Una vez identificada esta señal, se eliminan los efectos de retroalimentación y la señal obtenida $u(n)$ se envía a la bocina para ser reproducida. La señal de error $e(n)$ se obtiene restando la salida del filtro adaptativo a la señal de referencia $d(n)$.

Simulación en software

Para la implementación del algoritmo adaptativo LMS se realizó inicialmente una simulación en MATLAB® para validar su funcionamiento. En la Figura 1.4 se muestra la amplitud de la señal de entrada con retroalimentación captada por el micrófono, la cual viaja a través de la trayectoria de retroalimentación, utilizada para este experimento.

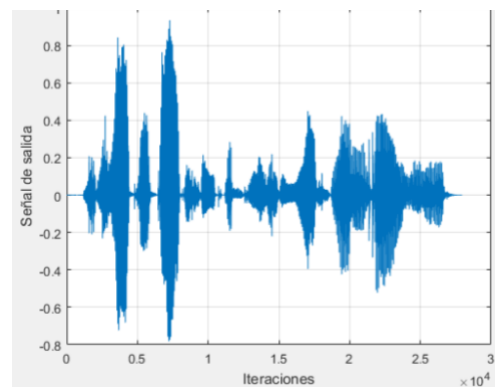


Figura 1.4. Señal de entrada con retroalimentación.

En el experimento de cancelación de la señal de retroalimentación se utilizó un filtro adaptativo de 64 coeficientes. El factor de convergencia μ , se escogió a prueba y error, obteniendo un valor de 0.01 para realizar una cancelación adecuada. La elección de este valor asegura la convergencia puesto que se

observó que valores cercanos a 1 provocaba que el algoritmo divergiera. Al hacer funcionar el filtro se compara la señal con retroalimentación y la que sale del filtro sin retroalimentación. La Figura 1.5 muestra en color azul la señal de entrada mientras que en color rojo se observa la señal filtrada.

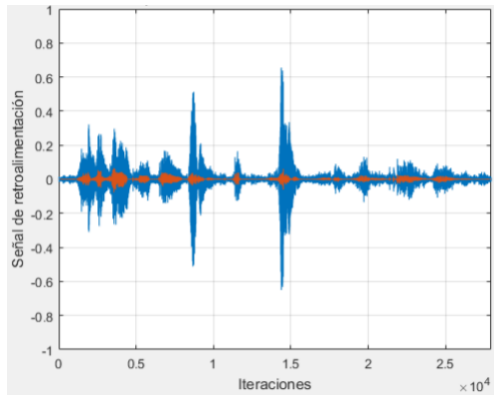


Figura 1.5. Señal con y sin retroalimentación.

Como se observa en la figura 1.5, el algoritmo LMS atenúa adecuadamente el efecto de retroalimentación teniendo un bajo costo computacional dado que realiza 129 multiplicaciones y 128 sumas a cada muestra obtenida para calcular el valor de los coeficientes del filtro, como se muestra en la Figura 1.6. en donde se puede observar como se ajustan conforme el experimento avanza.

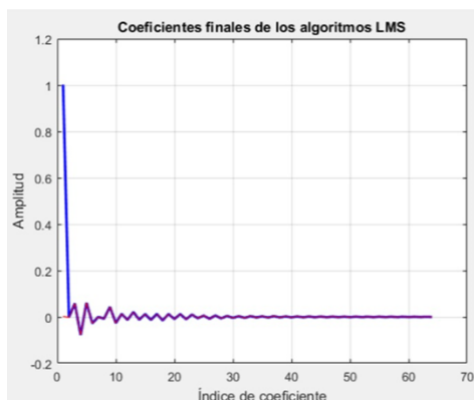


Figura 1.6. Coeficientes del filtro adaptativo (color azul) y la trayectoria de retroalimentación (color morado).

En la Figura 1.6, se observa que el algoritmo LMS identifica correctamente los coeficientes de la trayectoria de retroalimentación dado que los iguala en magnitud conforme el experimento se lleva a cabo.

Implementación hardware

Una vez validado el experimento en software, se procedió a implementar el algoritmo LMS en la Raspberry PI para validar su funcionamiento en hardware.

Las Figuras 1.7 y 1.8 muestran la señal de entrada original y la señal de salida después de haber sido procesada por el filtro LMS, respectivamente. Como se puede observar los resultados obtenidos en la placa embebida son idénticos a los resultados obtenidos en las simulaciones realizadas en Matlab, lo que permite confirmar el correcto funcionamiento del filtro adaptativo en el sistema embebido.

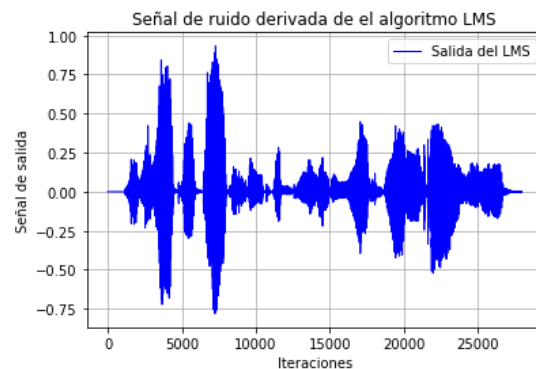


Figura 1.7. Señal de entrada con retroalimentación.

Comparación de la señal de retroalimentación con y sin el filtro adaptativo LMS

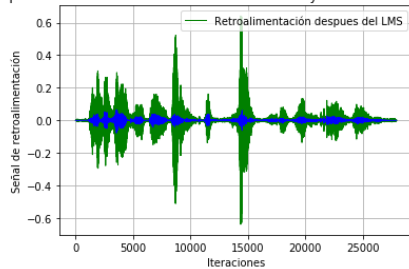


Figura 1.8. Señal con y sin retroalimentación.

La simulación de estos algoritmos utiliza el formato de punto flotante para tener la máxima precisión de los coeficientes del filtro, tal como se muestra en la Figura 1.9. en donde se ve nuevamente la correcta identificación de la trayectoria de retroalimentación.

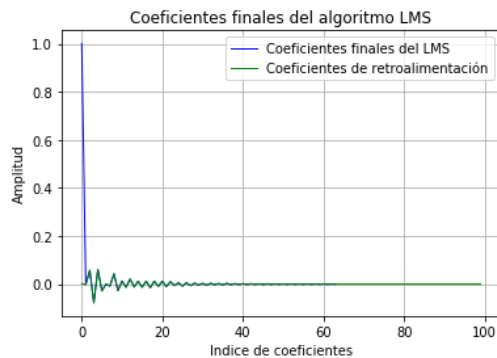


Figura 1.9. Coeficientes del filtro adaptativo (color azul) y la trayectoria de retroalimentación (color verde).

Finalmente, en este trabajo, se calculó el tiempo de ejecución del algoritmo LMS en la Raspberry PI para verificar si el tiempo de procesamiento es adecuado para trabajar con las señales en tiempo real. El tiempo necesario para procesar una muestra de la señal de entrada es de 125 μ s, es decir, cada muestra es generada a una frecuencia de 4 KHz y el sistema embebido Raspberry PI requiere solo de 86 μ s para procesar cada muestra. Por lo tanto, es posible procesar señales en tiempo real dado que la Raspberry

PI necesita solo 86 μ s teniendo 125 μ s disponibles.

Conclusiones

En este trabajo se realizó la implementación del algoritmo LMS en un dispositivo embebido Raspberry PI para ser conectado a un dispositivo auxiliar auditivo. Cabe mencionar que a pesar de que este algoritmo no presenta una velocidad de convergencia alta se ha podido realizar una cancelación de retroalimentación adecuada. Evidentemente, el uso de un algoritmo adaptativo de mayor velocidad podría mejorar este aspecto a costa de incrementar su costo computacional, lo que no garantiza un procesamiento en tiempo real. Por otra parte, el experimento realizado muestra que la implementación del algoritmo LMS en el dispositivo embebido Raspberry PI puede procesar señales en tiempo real, dado que la baja complejidad computacional del algoritmo LMS y la capacidad de cómputo del sistema mínimo son adecuados, es decir, la Raspberry PI procesa una muestra de la señal de entrada en un tiempo de 86 μ s teniendo 125 μ s disponibles.

Referencias

Anand, A., Kar, A., & Swamy, M. N. S. (2018). An improved CLMS algorithm for feedback cancellation in hearing aids. *Applied Acoustics*, 129, 417-426.

Centro auditivo Valencia. (2014) ¿Por qué pitan mis audífonos? El problema del feedback. Recuperado el 19 de Noviembre de 2020. Recuperado de <https://www.centroauditivo-valencia.es/2014/09/01/por-qu%C3%A9-pitan-mis-aud%C3%ADfonos-el-problema-del-feedback/>

Ifeachor, E. C., & Jervis, B. W. (2002). *Digital signal processing: a practical approach*. Pearson Education.

Lee, C. H., Rao, B. D., & Garudadri, H. (2017, August). Sparsity promoting LMS for adaptive



feedback cancellation. In 2017 25th European Signal Processing Conference (EUSIPCO) (pp. 226-230). IEEE.

Nordholm, S., Schepker, H., Tran, L. T., & Doclo, S. (2018). Stability-controlled hybrid adaptive feedback cancellation scheme for hearing aids. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 143(1), 150-166.

Velazquez-Lopez, J., Sanchez-Garcia, J. C., & Perez-Meana, H. M. (2006). Adaptive filters with codified error LMS Algorithm. *Telecommunications and Radio Engineering*, 65 (6-10).