

FILTRO ANALOGICO DE MEDIA L_p NO LINEAL

Rogelio De Jesús Peregrina¹ y Alejandro Díaz Sánchez²

Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica
Luis Enrique Erro No 1, 72000, Santa María Tonantzintla, Puebla, México
Tel.: (222) 2-66-31-00, Fax: (222) 2-47-05-17
rdjesus@susu.inaoep.mx¹, adiazsan@inaoep.mx².

ABSTRACT

In this work an exploration about the nonlinear mean analog filters is achieved. These filters show a good performance when impulsive noise is present and they have the great advantage of preserving edges, a characteristic that is very important in the image processing. Contrary to other filters, the nonlinear mean analog filters present a simple structure. This benefit is exploited to obtain architectures that can be employed in systems of image processing to pixel level using CMOS analog circuits in current-mode. In this form, simulations to level system of the nonlinear L_p mean analog filters is presented.

RESUMEN

En este trabajo se realiza una exploración acerca de los filtros analógicos de medias no-lineales. Este tipo de filtros exhibe un buen rendimiento en la eliminación de ruido impulsivo y tiene la gran ventaja de preservar bordes, característica que es muy importante en el procesamiento de imágenes. Otra característica importante, en comparación con otros filtros no-lineales, es que los filtros de medias no-lineales presentan una estructura muy simple. Este beneficio es aprovechado para obtener arquitecturas que pueden ser empleadas en sistemas de procesamiento de imágenes a nivel píxel usando circuitos analógicos CMOS en el dominio de la corriente. De esta forma, se presentan simulaciones del filtro analógico de media L_p no-lineal a nivel sistema.

FILTRO ANALOGICO DE MEDIA L_p NO LINEAL

Rogelio De Jesús Peregrina¹ y Alejandro Díaz Sánchez²

Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica
Luis Enrique Erro No 1, 72000, Santa María Tonantzintla, Puebla, México
Tel.: (222) 2-66-31-00, Fax: (222) 2-47-05-17
rdjesus@susu.inaoep.mx¹ y adiasanz@inaoep.mx².

RESUMEN

En este trabajo se realiza una exploración acerca de los filtros analógicos de medias no-lineales. Este tipo de filtros exhibe un buen rendimiento en la eliminación de ruido impulsivo y tiene la gran ventaja de preservar bordes, característica que es muy importante en el procesamiento de imágenes. Otra característica importante, en comparación con otros filtros no-lineales, es que los filtros de medias no-lineales presentan una estructura muy simple. Este beneficio es aprovechado para obtener arquitecturas que pueden ser empleadas en sistemas de procesamiento de imágenes a nivel píxel usando circuitos analógicos CMOS en el dominio de la corriente. De esta forma, se presentan simulaciones del filtro analógico de media L_p no-lineal a nivel sistema.

1. INTRODUCCION

Las técnicas empleadas por los filtros no-lineales están adquiriendo una gran importancia en aplicaciones de procesamiento de imágenes y señales. Estas técnicas ofrecen mejores características para remover algunos tipos de ruido que las técnicas empleadas por los filtros lineales [1][2].

Generalmente, en el procesamiento de imágenes, los filtros lineales fallan en presencia de ruido dependiente de señal [2] (como por ejemplo ruidos multiplicativo e impulsivo). Existen muchas técnicas de filtrado no-lineal para remover esos tipos de ruido sin degradar las características importantes de la imagen. Algunos de los filtros no-lineales más utilizados en el procesamiento de imágenes, como los filtros de medianas, los filtros de apilamiento, los filtros de rango, entre otros, requieren de operaciones de búsqueda, ordenamiento y selección [2]. Aunque esos filtros exhiben buen rendimiento, tales operaciones hacen que se obtenga una gran complejidad en circuitos analógicos o digitales [3][4].

Desde la introducción de los filtros de medias no-lineales, se conoce que éstos exhiben un buen desempeño

en remover ruido impulsivo sin deteriorar las características importantes de una imagen [5].

En adición, hasta la fecha, hay una gran demanda para obtener sistemas que cumplan los requerimientos de alta velocidad, bajo voltaje, baja potencia y bajo costo en la extracción de información de una escena visual. Inmediatamente después que una imagen ha sido transformada a una señal eléctrica, ésta presenta el nivel de procesamiento más bajo, es decir, las señales están a nivel píxel. En estos casos, se pueden utilizar técnicas de circuitos analógicos y técnicas de procesamiento en paralelo para la mejora de la imagen. Cuando se emplean circuitos analógicos de baja potencia rodeando un arreglo de sensores de imágenes, el producto obtenido es un sistema de adquisición de imágenes de bajo costo que puede ser adaptado a un sistema portátil.

La intención de este trabajo es proponer alternativas para la realización de filtros analógicos de medias no-lineales para procesamiento de imágenes. Para este propósito, se estudia el filtro de media L_p no-lineal a nivel sistema.

A continuación se proporciona la organización de este trabajo. En la siguiente sección se muestran las características más importantes de los filtros de medias no-lineales. En esta sección, también se presenta una justificación para emplear este tipo de filtros en forma analógica. En la sección III se presenta la arquitectura para el filtro de media L_p no-lineal y algunas simulaciones a nivel sistema para tres conjuntos de pesos a_i . Finalmente, en la sección IV se presentan las conclusiones.

2. CARACTERISTICAS DE LA MEDIA NO-LINEAL

La media no-lineal puede ser considerada como una generalización de la media lineal [5]. El filtro de media no-lineal, introducido por primera vez por Kundu, Mitra, y Vaidyanathan [5], fue definido a partir de la media no lineal L_p . Este filtro puede ser derivado de una definición más general de medias no-lineales [6]. Si se considera una

secuencia de números x_i , para $i = 1, 2, \dots, N$, medias no-lineales están definidas por [6]:

$$y = g^{-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^N a_i \cdot g(x_i)}{\sum_{i=1}^N a_i} \right) \quad (1)$$

donde $g(x)$ es una función analítica univaluada y a_i son los pesos de la función. Las propiedades de los filtros de medias no-lineales dependen de la función $g(x)$ y los pesos a_i . Medias no-lineales comunes para procesamiento de señales son mostrados en la tabla 1 [6].

Tabla 1. Funciones de interés para procesamiento de señales [6].

$g(x)$	Función
x	Media aritmética \bar{x}
$1/x$	Media armónica y_H
$\ln(x)$	Media geométrica y_G
$x^p, p \in \mathfrak{R} - \{-1, 0, 1\}$	Media L_p y_{L_p}

En la tabla 1, cuando $g(x) = x^p$, \mathfrak{R} es el conjunto de los números reales. Si los pesos a_i son constantes, los filtros de la media no-lineal pueden ser reducidos a los filtros homomórficos [2], los cuales también son de gran interés en el procesamiento de imágenes. Cuando los pesos a_i no son constantes se pueden obtener otros filtros de la media no lineal eligiendo de manera apropiada los parámetros a_i . De esta forma se puede obtener el filtro de la media contra armónica al elegir los pesos como $a_i = x_i^p$ [6], con $g(x) = x$:

$$y_{CH_p} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i^{p+1}}{\sum_{i=1}^N x_i^p} \quad (2)$$

Las medias no-lineales previamente descritas tienen la siguiente propiedad [6]:

$$\begin{aligned} \min(x_i) \leq y_{CH_p} \leq y_{L_p} \leq y_H \leq y_G \leq \bar{x} \\ \leq y_{L_p} \leq y_{CH_p} \leq \max(x_i) \end{aligned} \quad (3)$$

Los filtros de medias no-lineales pueden remover algunos tipos de ruido eficientemente sin deteriorar

características importantes en imágenes. A excepción de la media geométrica no lineal, los filtros de medias no-lineales tienden a preservar bordes en las imágenes. Cuando una señal es corrompida por ruido impulsivo de alto índice de probabilidad, los filtros de medias no-lineales presentan un buen rendimiento [5][6]. Sin embargo, una desventaja que éstos presentan es que solo pueden remover ruido impulsivo negativo o ruido impulsivo positivo, pero no pueden remover simultáneamente ambos tipos. En este caso se han empleado técnicas usando el concepto de umbralización [5]. Cuando se presenta ruido dependiente de señal, los filtros de medias no-lineales también exhiben un buen desempeño. Para eliminar este tipo de ruido, se pueden emplear los filtros homomórficos [2]. Este tipo de filtros pueden ser considerados como un caso especial de la ecuación (1), por lo tanto, los filtros de medias no-lineales pueden ser utilizados para reducir ruido dependiente de señal [6]. Los filtros de medias no-lineales definidos por las funciones y_G , y_H , y_{L-p} y y_{CH-p} son utilizados para remover ruido impulsivo positivo. Cuando se presenta ruido impulsivo negativo, se pueden emplear los filtros de medias no-lineales definidos por las funciones y_{Lp} y y_{CHp} [6].

Otra característica importante de los filtros de medias no-lineales, es que éstos presentan una estructura muy simple, lo cual hace que se puedan emplear en realizaciones analógicas. Usualmente, en una aproximación digital, una ventana con movimiento secuencial es barrida sobre toda una imagen. El valor del píxel central dentro de la ventana es reemplazado con el valor resultante de una función que depende de los valores de todos los píxeles dentro de la misma ventana. En este caso pueden ser empleadas las funciones que definen a los filtros de la media no-lineal. Sin embargo, esta técnica no es eficiente para realizaciones analógicas. Otra aproximación que puede ser utilizada es la modificación del valor del píxel bajo consideración dentro de una vecindad de píxeles empleando procesamiento en paralelo. Cuando una imagen ha sido convertida a una señal eléctrica, ésta presenta el nivel de procesamiento más bajo. Entonces, se pueden emplear circuitos analógicos de baja potencia alrededor de un arreglo de sensores de imágenes. Combinando esas dos técnicas, técnicas analógicas y de procesamiento en paralelo, se pueden obtener filtros analógicos de medias no-lineales para procesamiento de imágenes.

3. FILTRO DE MEDIA L_p .

Dependiendo de la función $g(x)$ y de los pesos a_i , las arquitecturas de los filtros de medias no-lineales se pueden obtener a partir de la ecuación (1). Tales arquitecturas ya han sido propuestas en [7]. En este trabajo solo nos enfocaremos en el filtro de media L_p no-

lineal. En este caso, si $g(x) = x^p$, una arquitectura para el filtro de media L_p no-lineal es ilustrada en la figura 1. Para los bloques que realizan las funciones x^p y $x^{1/p}$, se pueden emplear las arquitecturas propuestas presentadas en la figura 2.

En general, los filtros de medias no-lineales pueden ser realizados en forma analógica [7]. De acuerdo a las figuras 1 y 2, los filtros de medias no-lineales presentan una estructura muy simple en su arquitectura. Se pueden emplear bloques de circuito simples para construir este tipo de filtros tales como circuitos multiplicadores, divisores, generadores de funciones logarítmicas y antilogarítmicas. Evidentemente, circuitos en modo corriente proporcionan ventajas para el procesamiento de señales analógicas. Se pueden llevar a cabo operaciones de adición y sustracción muy fácilmente empleando esta técnica. En lo que sigue, se presentará la forma en como se ha realizado una estimación para la prueba a nivel sistema de este tipo de filtro.

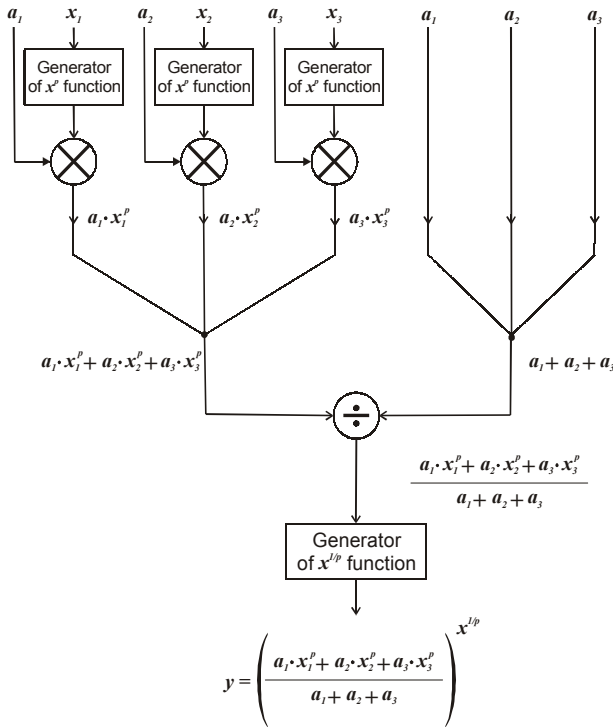


Figura 1. Arquitectura del filtro analógico de media L_p no-lineal para tres datos de entrada.

Tabla 2. Tres tipos de pesos a_i [5].

	a_1	a_2	a_3
Tipo 1	1	1	1
Tipo 2	0.5	1	0.5
Tipo 3	0.25	1	0.25

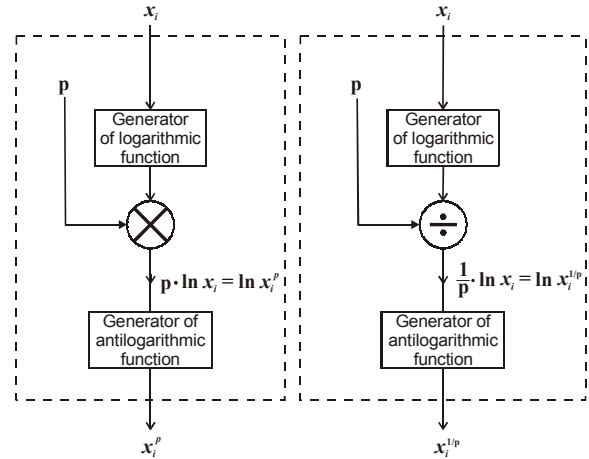


Figura 2. Arquitecturas para obtener las funciones x^p y $x^{1/p}$.

3.1 Prueba del filtro de media L_p .

Una estimación sobre el funcionamiento del filtro de media L_p se llevó a cabo en Maple 7.00. Las señales de entrada, tomando el conjunto de pesos del tipo 1, tipo 2 y tipo 3, y las señales de salida, todas normalizadas, se muestran en la figura 3.

Para la elección de los pesos a_i , se emplearon los conjuntos mostrados en la tabla 2 [5]. En este caso se tienen tres tipos diferentes de pesos.

En referencia a la figura 1, para las entradas x_i , las señales empleadas son de forma sinusoidal desfasadas 0° , 90° y 180° , para x_1 , x_2 , y x_3 , respectivamente. Para una mejor interpretación de los resultados, la señal de interés es x_2 . De esta forma las señales de entrada correspondientes a x_1 y x_3 , estarán desfasadas 90° y -90° respectivamente, ambas de x_2 . Esto se puede notar en la figura 3.

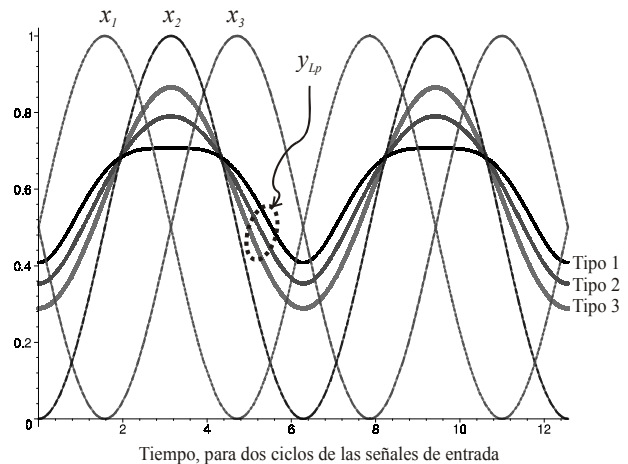


Figura 3. Respuesta del filtro analógico de media L_p no-lineal para tres señales de entrada con $p = 2$.

Para este caso se ha tomado a $p = 2$. Cuando cambiamos este parámetro a $p = 3$, introduciendo las mismas señales de entrada, la respuesta para los tres tipos de pesos a_i presentados en la tabla 2, se muestra en la figura 4. Se puede observar de ambas figuras (figuras 3 y 4), que el comportamiento del filtro es reducir la señal de interés, en este caso x_2 , a un valor medio cercano a los otros dos datos que están desfasados cuando esta señal de interés es grande. Este comportamiento se realiza adecuadamente cuando la señal de interés es cercana a cero. Cuando la señal es cercana a 1, el filtro trata de alcanzar un valor medio entre los otros dos datos, pero no lo suficiente. Por lo tanto, este tipo de filtro puede reducir ruido impulsivo negativo, mientras que el ruido impulsivo positivo no lo reduce de manera satisfactoria. En este caso se puede notar que con el conjunto de pesos del tipo 1, se exhibe un mejor comportamiento.

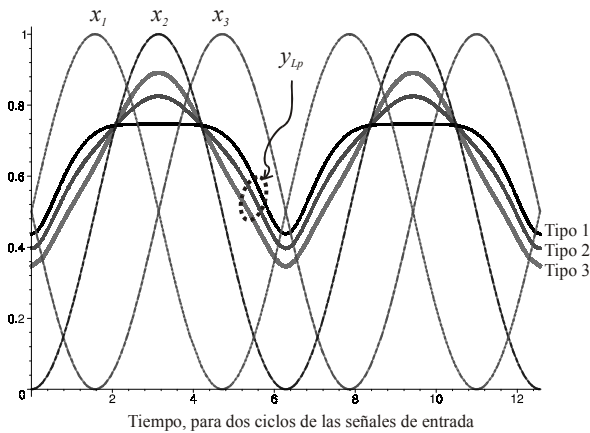


Figura 4. Respuesta del filtro analógico de media L_p no-lineal para tres señales de entrada con $p = 3$.

Si cambia el valor p a un valor negativo, se tiene una media L_{-p} (y_{L-p}). Por el contrario al caso anterior, cuando la señal de interés, x_2 , es una señal muy grande cercana a 1, el filtro reduce la señal a un valor medio entre los valores de las señales x_1 y x_3 . Sin embargo, cuando la señal de interés es cercana a cero, el filtro no realiza la media en forma adecuada, aún cuando son empleados los tres tipos de conjuntos de pesos. Esto se puede observar claramente en la figura 5. De esta forma se puede decir que el filtro de media L_{-p} no puede eliminar de manera satisfactoria el ruido impulsivo positivo, mientras que el ruido impulsivo negativo no es eliminado. Nuevamente se puede notar que al utilizar el conjunto de pesos del tipo 1 se obtiene un mejor comportamiento.

4 CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó una investigación acerca de los filtros analógicos de medias no-lineales. Se presentó la

arquitectura y la funcionalidad a nivel sistema del filtro analógico de media L_p no-lineal. Esto abre paso para que se pueda realizar este tipo de filtro en forma analógica empleando técnicas de diseño en modo corriente debido a que la estructura del filtro de la media L_p es muy simple.

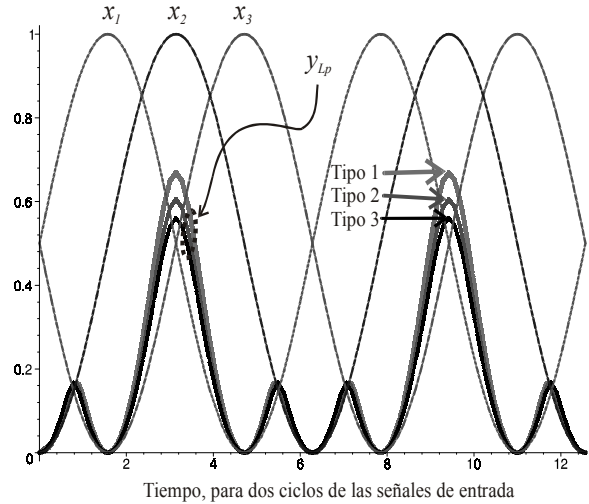


Figura 5. Respuesta del filtro de la media no-lineal para tres señales de entrada con $p = -3$.

4. REFERENCIAS

- [1] Sanjit K. Mitra and Giovanni L. Sicuranza, Nonlinear image processing, Academic Press, 2001.
- [2] Ioannis Pitas and Anastasios N. Venetsanopoulos, Nonlinear digital filters, principles and applications, Kluwer Academic Publishers, 1990.
- [3] J. S. Jimmy and W. Harvey Holmes, "Analog implementation of median filters for real time signal processing," *IEEE Trans. on Circuits and Systems*, Vol. 35, No. 8, August 1988.
- [4] S. Vlassis, K. Doris, S. Siskos and I. Pitas, "Analog Implementation of Erosion/Dilation, Median and Order Statistics Filters," *Pattern Recognition, Special Issue on Mathematical Morphology and Nonlinear Image Processing (Wiley)*, Vol.33, pp. 1023-1032, 2000
- [5] Amlan Kundu, Sanjit K. Mitra and P. P. Vaidyanathan, "Application of two-dimensional generalized mean filtering for removal of impulse noises from images," *IEEE Transaction on Acoustic, Speech, and Signal Processing*, Vol. ASSP-32, No. 3, June 1984.
- [6] Ioannis Pitas and Anastasios N. Venetsanopoulos, "Nonlinear mean filters in image processing," in *IEEE Transaction on Acoustic, Speech, and Signal Processing*, Vol. ASSP-34, No. 3, June 1986.
- [7] Rogelio De Jesús Peregrina and Alejandro Díaz Sánchez, "Analog Implementation of Nonlinear Mean Filters," 2002 WSEAS International Conference on System Science, Applied Mathematics & Computer Science, and Power Engineering Systems, October 2002.