**“Desarrollo de circuitos integrados fotodetectores para detección de posición y movimiento en superficies rugosas”**

Resumen

Este plan tiene como objetivo principal el diseño, la caracterización y el control de sensores CMOS versátiles con píxeles interconectables. Estos sensores tienen la capacidad de configurarse para monitorear en tiempo real cambios en la estructura de la luz que le llega, como por ejemplo el denominado “speckle”, que es el patrón de interferencia que se produce cuando se ilumina una superficie rugosa con luz coherente. Al modificarse la superficie iluminada, ya sea porque se esté desplazando, vibrando o cualquier otra causa, se producirán fluctuaciones del speckle que llevan información de su movimiento. Estos patrones de interés pueden ser producidos bien por superficies por las que se propagan ondas acústicas y de ultrasonido, técnica utilizadas en ensayos no destructivos, o bien por superficies en movimiento, para conocer posición y velocidad como en ejes de motores. Los sensores de píxeles interconectables propuestos buscan medir desplazamientos de patrones de speckle de manera continua, obteniendo como salida un valor analógico proporcional a la correlación en tiempo real entre el patrón de luz incidente y uno grabado inicialmente. Esto los diferencia de los dispositivos comerciales actuales, que capturan las imágenes sucesivas y computan la correlación procesando digitalmente la información obtenida del sensor, lo cual es costoso en tiempo y consumo. La técnica propuesta permitiría entonces medir desplazamientos mucho más veloces y vibraciones de mayor frecuencia que los dispositivos comerciales. Los resultados obtenidos permitirán obtener métricas como rango de operación, sensibilidad, consumo y versatilidad del sensor.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar, simular y enviar a fabricar un sensor fotodetector de píxeles interconectables para medición de correlación de patrones en tiempo real. La aplicación objetivo es su uso en técnicas de instrumentación, particularmente enfocado en la detección de posición y desplazamiento de partes mecánicas móviles y en la detección de vibraciones mecánicas en superficies rugosas. El nuevo sensor permitirá, por un lado, registrar la posición y velocidad de estas superficies sin necesidad de marcas adicionales en la pieza, ya que se utiliza la naturaleza rugosa de las superficies para registrar su speckle y hallar las variables de interés. Por otro lado, el chip contará con una salida analógica que permitirá registrar variaciones de mayor frecuencia.

Objetivos específicos

● Determinar las especificaciones del nuevo sensor. Se investigarán las especificaciones de los sensores comerciales actuales y las características específicas de la aplicación.

● Realizar pruebas experimentales con el sensor con el que actualmente está trabajando el grupo de investigación para identificar las posibles optimizaciones.

● Diseñar y simular pre y post layout un circuito integrado de píxeles interconectables optimizado para la aplicación, de acuerdo a la información obtenida de las especificaciones y las mediciones.

● Enviar el circuito integrado para fabricación.

Antecedentes

La idea de un sensor de luz CMOS con píxeles interconectables puede encontrarse en patentes y artículos en la bibliografía moderna (e.g. [1-4]); algunos están orientados a modificar la resolución o mejorar la sensibilidad o rango dinámico del sensor, otros a utilizar la información de píxeles vecinos para realizar cálculos específicos para procesamiento de imágenes o para emular la retina. Sin embargo, estos enfoques están casi siempre basados en configuraciones de lectura similares a los Active Pixel Sensors (APS), donde un valor proporcional a la intensidad de luz incidente es integrado de alguna manera en cada píxel, y la salida es un conjunto de tensiones asociadas a cada punto de interés. Esta técnica, que se utiliza desde hace décadas pero se perfecciona en forma permanente según el avance de la tecnología y aplicaciones [5-8], es deseable para detección de imágenes en la manera tradicional, donde la imagen completa es almacenada instantáneamente y luego es adquirida o “impresa” píxel a píxel, tal como ha sido heredado de las películas fotográficas de las cámaras analógicas, pero no es especialmente conveniente para casos en los cuales para lograr la finalidad de la adquisición no es necesario conocer la información de cada píxel. Hace pocos años se presentó un sensor CMOS con una variante a esta idea [9], que brinda una salida continua para la detección óptica de ultrasonido en superficies rugosas, realizando la computación local a nivel de píxel con un comparador (pero en tiempo continuo). Siguiendo esta línea, se diseñó y caracterizó en el Laboratorio de Ingeniería Óptica, de la Univ. Nacional del Comahue (lugar de trabajo del Director propuesto) un arreglo de píxeles en el cual cada uno puede conectarse con cualquiera de sus vecinos para formar diferentes zonas de detección. Estas zonas pueden ser amplificadas independientemente, de modo tal que la señal de salida es la suma ponderada de las fotocorrientes generadas en cada zona. Este prototipo fue diseñado originalmente para ser utilizado específicamente en el cabezal de un codificador óptico basado en haces no difractivos (Non Diffractive Beams, NDB) [10], con la finalidad de detectar el centro de un NDB y configurar a su alrededor un patrón de detección particular. Sin embargo, sus dos características principales (la capacidad de generar zonas de detección programables con ganancia programable, y la interconección) lo han dotado de una versatilidad que ha abierto una línea de trabajo para su aplicación en instrumentación. El prototipo se ha utilizado en forma exitosa para la medida de desplazamientos mecánicos muy rápidos (en el rango de ultrasonido) y en este caso se pretende implementar una versión mejorada para extender la utilización de esta familia de sensores optoelectrónicos a la medida de posición angular, velocidad de rotación en vástagos, y a la vibración de superficies, en todos los casos con fines industriales.

Esta tesis continúa en esta línea de trabajo, pasando a una aplicación industrial que aproveche toda la investigación previa. El primer prototipo, diseñado para su uso en la autoalineación de un cabezal de codificador óptico, mostró su versatilidad cuando se lo programó para operar como sensor en dos aplicaciones alternativas: en primer lugar como correlador de speckle en tiempo real y en segundo lugar para leer imágenes en forma alternativa a la lectura píxel a píxel, usando una base de Walsh-Hadamard [11]. A partir de estos resultados es que se propone aquí utilizar este prototipo como punto de partida para realizar una nueva versión del sensor, en tecnología avanzada, implementando más píxeles y con mayor ancho de banda de operación, preservando su versatilidad para las restantes aplicaciones.

Desarrollo

Los sensores de ángulo de bajo costo con suficiente robustez, confiabilidad, y precisión son muy buscados en aplicaciones automotrices, robóticas e industriales en general. Particularmente en la industria automotriz, estos sensores se utilizan en muchos lugares, como en el posicionamiento del acelerador, detección del volante y detección de la posición de los pedales, sensado de piezas del motor, etc. [12]. En robótica, son utilizados frecuentemente para detectar la posición de ruedas o el ángulo en articulaciones [13]. En la elección de sensores de ángulo es importante contar con ciertas características de interés como linealidad, rango de operación, costo, resolución, sensado sin contacto con la pieza y para una pieza genérica (sin marcado específico o imanes), bajo consumo, facilidad de operación, entre otras [14-16]. Entre estas características, los sensores de ángulo ópticos se destacan por su alta resolución, sensibilidad, y por ser inmunes a la interferencia electromagnética. Una posible desventaja es su sensibilidad a ciertas condiciones ambientales como la presencia de polvo o aceites, por lo que en algunos lugares se utilizan sensores magnéticos o inductivos, inmunes a esta condición, pero limitados por la interferencia electromagnética, necesidad de agregar elementos en la superficie a medir (imanes, por ejemplo), sensibilidad a la temperatura, consumo, entre otras. Los sensores ópticos de ángulo más difundidos son los codificadores ópticos y los de fibra óptica, que tienen también limitaciones: en los primeros deben adherirse elementos a las piezas a medir (una red de difracción o elemento óptico equivalente), la resolución depende del tamaño del sensor y son muy sensibles a vibraciones [17]; para los últimos, la relación costo-performance no es adecuada [18]. En la industria automotriz existe un particular interés en la medida de vástagos en rotación pertenecientes a distintas partes del motor y cualquier mecanismo de posicionamiento mecánico del automóvil en general [19]. En este trabajo se propone resolver el problema de la medición de ángulos utilizando un método óptico, a través de la técnica de correlación del patrón de speckle. Por speckle se entiende al patrón de fluctuación de la intensidad reflejada por un objeto rugoso, debido a la interferencia mutua entre los diferentes frentes de onda cuando se ilumina el objeto con luz coherente. Los patrones de speckle constituyen una valiosa fuente de información sobre la superficie iluminada. Esta técnica ya es utilizada para la aplicación de detección de desplazamientos en superficies rugosas, utilizando por ejemplo los chips con los que cuentan los ratones ópticos de las computadoras [20-21], sin embargo, estos sensores correlacionadores comerciales se basan en un sensor óptico convencional que captura dos imágenes y realiza la correlación mediante procesamiento externo, lo que no permite grandes velocidades de correlación y no es óptimo para aplicaciones de bajo consumo. Una propuesta alternativa fue publicada hace pocos años, un circuito integrado fotodetector diseñado específicamente para la detección de ultrasonido en superficies rugosas [9], pero está completamente orientada a la medición de ultrasonido, por lo que no es versátil para otras aplicaciones. El circuito integrado que se propone en este caso resuelve el problema utilizando la técnica de correlación de speckle en tiempo real, a través de la interconexión dinámica y personalizada de sus píxeles, y se pretende aprovechar para medir la velocidad de rotación de ejes, a través de los picos de correlación instantánea que se generarán en cada vuelta. Además, al contar con un chip versátil, puede aprovecharse para ser utilizado en otras aplicaciones como la detección de ondas de ultrasonido en superficies rugosas o en la técnica de dispersión dinámica de luz, lo que aporta un valor agregado importante como circuito integrado multipropósito para otras áreas de la industria.

Alcance

Este plan de trabajo plantea el desarrollo de un circuito integrado capaz de medir principalmente posición angular y velocidad de giro de piezas en rotación. Se espera obtener un sensor con una linealidad de la fotorespuesta uniforme en todo el sensor y de al menos dos órdenes de magnitud de intensidad de luz incidente. Se espera obtener una respuesta en frecuencia del sistema completo que permita medir variaciones de luz de frecuencias que superen el MHz. El trabajo de este plan culminará una vez finalizado el diseño del sensor, dejando la caracterización y desarrollo de aplicaciones para etapas posteriores.