

A continuación se presenta el resumen para el desarrollo de mi tesis, seguido de los puntos claves para la elaboración del Project Charter, Risk Management Analysis, Quality Management Analysis, Schedule Management Analysis y una breve devolución de la materia.

Resumen de proyecto, Tesis de Maestría de Mariano Morel

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 interconexión) 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.

Bases y puntos clave para el desarrollo de la documentación:

Project Charter, Risk Management Analysis, Quality Management Analysis, Schedule Management Analysis

Sin entrar en el detalle fino de la elaboración de documentos para llevar a cabo un análisis completo de un proyecto como el visto en esta asignatura, a continuación se mencionan algunos delineamientos que pueden servir como punto de partida para su desarrollo.

Project Charter:

El Project Charter define los objetivos, el alcance y los elementos clave del proyecto. En este caso, se puede enfocar en:

- Objetivo general: Diseñar y enviar a fabricar un sensor CMOS con píxeles interconectables para medición de correlación de patrones de speckle en tiempo real, con aplicaciones industriales.
- Alcance: El desarrollo del sensor está dirigido a la medición de posición angular y velocidad de piezas en rotación, pero se puede extender a otras aplicaciones como la detección de vibraciones o ultrasonido en superficies rugosas.
- Justificación: La técnica propuesta ofrece una mejora sobre los dispositivos comerciales, permitiendo una medición más rápida y eficiente de desplazamientos y vibraciones, con un consumo menor.
- Entrega esperada: Un sensor con capacidad de medición en tiempo real, con mayor sensibilidad y velocidad que los dispositivos comerciales actuales.

Risk Management Analysis:

Se identifican y gestionan los riesgos asociados al proyecto. Algunos riesgos posibles son:

- Riesgos técnicos: Fallos en el diseño del sensor durante las fases de simulación pre y post layout. Mitigación: realizar pruebas exhaustivas antes de la fabricación.
- Riesgos de fabricación: Retrasos en la entrega de los chips fabricados. Mitigación: asegurar plazos de entrega y tener alternativas de fabricantes.
- Riesgos de integración: El sensor puede no integrarse adecuadamente con los sistemas de monitoreo industriales existentes. Mitigación: diseñar el sensor con compatibilidad flexible y realizar pruebas en escenarios reales.
- Riesgos de costo: Incrementos imprevistos en el costo de fabricación o pruebas adicionales. Mitigación: planificar un presupuesto con márgenes para imprevistos.

Quality Management Analysis:

El enfoque aquí es asegurar que el sensor cumpla con los requisitos de calidad y desempeño definidos.

- Especificaciones de calidad: El sensor debe tener una respuesta lineal en todo el rango de luz incidente y una frecuencia de operación que supere el MHz. Además, debe mostrar robustez y precisión en aplicaciones automotrices y robóticas.
- Procesos de calidad: Simulaciones exhaustivas en las fases pre y post layout para asegurar que el diseño cumple con las especificaciones. Realización de pruebas en ambientes controlados y realistas.
- Control de calidad: Establecer métricas como rango de operación, sensibilidad y consumo de energía. Comparar con sensores comerciales para validar el rendimiento.

Schedule Management Analysis:

La gestión del cronograma debe incluir las etapas clave de desarrollo y fabricación.

- Fases del cronograma:

1. Diseño y simulación del sensor: Definir especificaciones, realizar simulaciones pre y post layout (simulaciones previas al diseño físico y después de la colocación de componentes).
2. Fabricación del prototipo: Enviar el diseño para fabricación, considerando tiempos de espera.
3. Pruebas y caracterización: Realizar pruebas del prototipo fabricado en aplicaciones industriales.
4. Control de proyecto: Revisar y ajustar las actividades en función de los avances y los resultados obtenidos.

Devolución de la asignatura y agradecimientos.

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a Guillermo Fairhurst, los ayudantes y disertantes de la materia "Gestión de Proyectos en la Industria de Semiconductores". Los conceptos presentados fueron no solo relevantes sino extremadamente enriquecedores, brindando una comprensión integral de las dinámicas y desafíos actuales en este campo.

A lo largo de la cursada, los ejemplos expuestos fueron claros y concretos, acompañados por material de estudio abundante y de alta calidad. Además, el lenguaje empleado en las clases fue preciso y accesible, facilitando una experiencia de aprendizaje fluida. Las clases no solo fueron participativas, sino también amenas, creando un ambiente propicio para el debate y la reflexión. El tiempo dedicado a cada clase fue adecuado, permitiendo el desarrollo completo de los temas, y destaco que todas las consultas recibieron respuestas tanto durante como fuera del horario de cursada, lo cual fue invaluable para nuestra formación.

En resumen, esta cátedra ha sido excepcional, dejando un legado importante para quienes deseen trabajar en la gestión de la industria de semiconductores. La calidad del contenido y el compromiso de todo el equipo docente hacen de esta materia un recurso indispensable para profundizar en el área.