

Teoría y aplicación de la Informática2
Trabajo Practico

Tendencias de aplicaciones utilizando Ultrasonido

Autores:

Carolina Montserrat Villasanti López

Oswaldo Sanabria

Setiembre del 2001

Indice

<i>Pag2</i>	Índice
<i>Pag3</i>	Introducción
<i>Pag7</i>	Principio Ultrasonido
<i>Pag8</i>	<i>Estado actual del Ensayo no destructivo con Ultrasonido</i>
<i>Pag8</i>	Aplicaciones
<i>Pag18</i>	Bibliografía

Ultrasonido

Introducción

Para la mayoría de las personas, una vibración mecánica es interpretada como sonido si su frecuencia se encuentra en el rango comprendido entre 20 a 20.000 hertzios; sin embargo, los fenómenos acústicos incluyen aquellos cuya frecuencia sean superiores a los 20.000 hertzios, los ultrasonidos, y los inferiores a los 20 hertzios o infrasonidos.

Las ondas ultrasónicas exhiben una característica que las hace extraordinariamente útiles: cuando viajan por un medio, cualquiera que sea, son reflejadas si existe una discontinuidad o alguna sustancia extraña en su trayectoria, de esta manera el eco reflejado contiene información del medio y los ultrasonidos han dejado al descubierto un mundo que permanecía invisible: tuberías de refrigeración de una central nuclear muestran de repente sus grietas y desperfectos inapreciables al ojo humano, materiales metálicos de gran tamaño son inspeccionados para encontrar defectos en el interior, los fetos son monitoreados en pantalla antes de nacer, y los barcos pesqueros encuentran los bancos de peces con haces de ultrasonido.

En la naturaleza podemos apreciar los ultrasonidos por ejemplo en los murciélagos. Estos animales son, en su mayoría, ciegos. Su metodología consiste en emitir ondas ultrasónicas que son propagadas en el aire y al chocar estas ondas contra un medio que presenta una resistencia a su propagación, son reflejadas hacia el animal que así tiene una imagen perfecta del entorno por el cual se está desplazando logrando así “ver” lo que pasa a su alrededor. Esto le permite cazar y desplazarse sin ningún inconveniente.

Es interesante también el hecho de que las mariposas nocturnas captan los ultrasonidos que los murciélagos emiten. Esto les permite reorientarse en el camino y conservar la vida. Basado en este mecanismo se han diseñado emisores de este tipo de sonido, capaces de ahuyentar a los insectos que destruyen las cosechas.

Historia de los ultrasonidos

Antes de la Segunda Guerra Mundial, el sonar, la técnica de enviar ondas acústicas a través del agua y de análisis de la señal eco para caracterizar los objetos sumergidos, inspiró a los primeros investigadores del ultrasonido para explorar maneras de aplicar el concepto a la diagnosis médica. En 1929 y 1935, Sokolov estudió el uso de ondas ultrasónicas en la detección de objetos del metal.

Mulhauser, en 1931, obtuvo una patente por usar ondas ultrasónicas, usando dos transductores, para detectar defectos en sólidos. Firestone (1940) y Simons (1945) desarrollaron pruebas ultrasónicas pulsadas usando una técnica de la pulso-eco.

Poco después de finalizada la Segunda Guerra Mundial, los investigadores en Japón comenzaron a explorar capacidades de diagnóstico médicas del ultrasonido. Los primeros instrumentos ultrasónicos utilizaron una presentación del A-modo con “blips”

en una pantalla del osciloscopio. Esto fue seguida por una presentación del B-modo con una proyección de imagen de dos dimensiones, y escala de grisis.

El trabajo de Japón en ultrasonido era relativamente desconocido en los Estados Unidos y la Europa hasta los años 50. Entonces los investigadores presentaron sus resultados en el uso del ultrasonido de detectar cálculos biliares, masas del pecho, y tumores a la comunidad médica internacional. Japón era también el primer país para aplicar el ultrasonido Doppler, una aplicación del ultrasonido que detecta objetos móviles internos tales como sangre que cursa a través del corazón para la investigación cardiovascular.

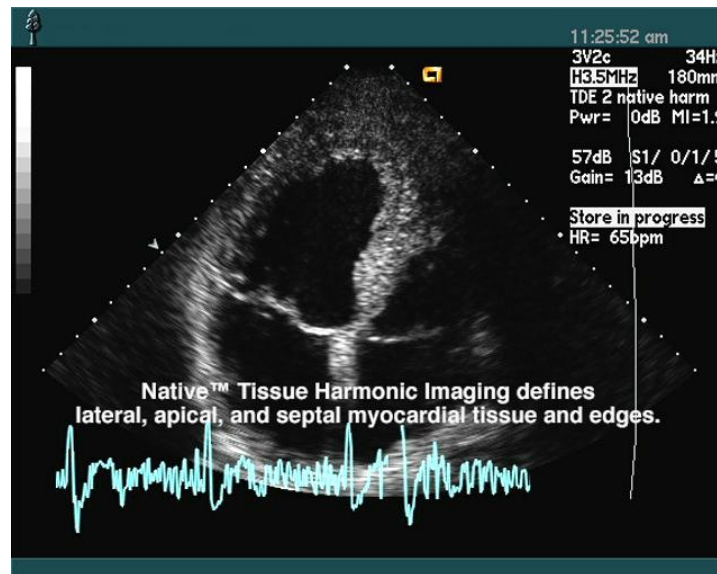


Figura 1 Imagen ultrasónica cardiovascular

Los pioneros del ultrasonido que trabajaban en los Estados Unidos contribuyeron muchas innovaciones y descubrimientos importantes al campo durante las décadas siguientes. Los investigadores aprendieron utilizar ultrasonido para detectar el cáncer potencial y para visualizar tumores en sujetos vivos y en tejido. Proyección de imagen en tiempo real, otra herramienta de diagnóstico significativa para los médicos, presenta imágenes del ultrasonido directamente en la pantalla de la CRT del sistema a la hora de la exploración. La introducción de Doppler espectral y del color posterior representó el flujo de la sangre en varios colores para indicar la velocidad del flujo y la dirección.

Los Estados Unidos también produjeron el primer explorador del "contacto" para el uso clínico de mano, la segunda generación del equipo B-modo, y el prototipo para primera el explorador con brazo robot, con imágenes 2-D.

Principios de la evaluación no destructiva (NDE)

La prueba no destructiva se ha practicado por muchas décadas, con progresos rápidos iniciales en la instrumentación estimulada por los avances tecnológicos que ocurrieron durante la Segunda Guerra Mundial y el esfuerzo subsecuente de la defensa. Durante los días anteriores, el propósito primario era la detección de defectos. Como parte del diseño de la " vida segura ", fue pensado que una estructura no debe desarrollar defectos

macroscópicos durante su vida, con la detección de tales defectos que eran una causa para el retiro del componente del servicio. En respuesta a esta necesidad, las técnicas cada vez más sofisticadas usando el ultrasonidos, las corrientes de Foucault, las radiografías, tintes penetrantes, las partículas magnéticas, y otras formas de analizar la energía emergieron.

A principio de los años 70, dos acontecimientos ocurrieron que causaron un cambio importante. La mejora continuada de la tecnología, en particular su capacidad de detectar los defectos pequeños, llevo a una situación no satisfactoria en que más y más piezas tuvieron que ser rechazadas, aunque la probabilidad de falla no había cambiado.

Sin embargo, la disciplina de la fractura mecánica emergió, permitiendo a uno predecir si una grieta de una tamaño dado fallaría bajo carga determinada dada una característica conocida del material como la dureza. Otros leyes fueron desarrollados para predecir el índice de crecimiento de grietas bajo cargamento cíclico (fatiga). Con el advenimiento de estas herramientas, llegó a ser posible validar las estructuras que contenían defectos si las tallas de esos defectos eran sabidas. Esto formó la base para la nueva filosofía del " fail safe " o del diseño tolerante de " daños ". Los componentes que con defectos podrían continuar en servicio mientras se pueda establecer que esos defectos no serían un críticos.

Un nuevo desafío fue presentado así a la comunidad de prueba no destructiva. La detección no era bastante. Era necesario también obtener la información cuantitativa sobre el defecto para servir como entrada de información predecir la vida restante del elemento. Estas, condujo a la creación de un número de programas de investigación alrededor del mundo y de la aparición de una nueva disciplina la evaluación no destructiva cuantitativa (QNDE) como nueva disciplina.

Durante este mismo período aquello relacionado directamente con la aplicación del método de inspección por ultrasonido ha contribuido para ser utilizado en este campo y en el establecimiento de procedimientos y normas, particularmente en la industria aérea, eléctrica y en el campo de la energía nuclear.

Ya que la inspección por ultrasonido es básicamente un fenómeno mecánico, es adaptable para determinar la integridad estructural de los materiales de ingeniería.

Se utiliza en el control de calidad e inspección de materiales en diferentes ramas de la industria.

Sus principales aplicaciones consisten en: detección y caracterización de discontinuidades, medición de espesores, extensión y grado de corrosión, determinar características físicas como tamaño de grano, constantes elásticas y estructura metalúrgica.

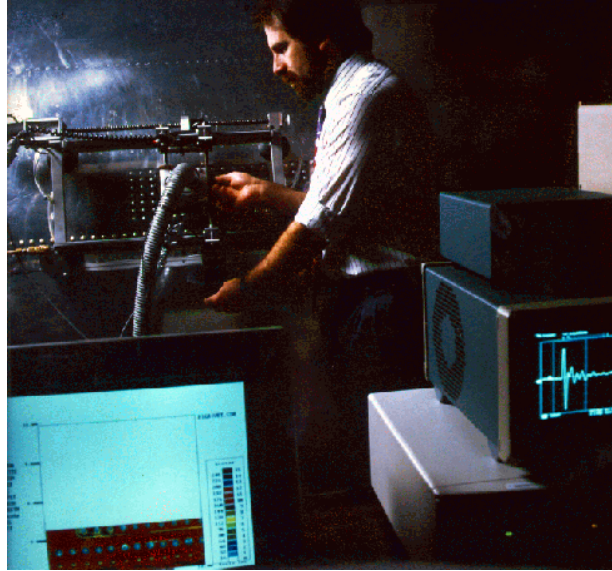


Figura 2 Utilización de ultrasonidos para pruebas NDE

Principios de ultrasonido

El ultrasonido no se diferencia, en cuanto a sus características fundamentales, del sonido perceptible a través del oído. Dicho con más sencillez, son ondas acústicas de idéntica naturaleza que las ondas que podemos oír.

La emisión de la onda se produce por una excitación sobre un cuerpo que produce una vibración mecánica. Esta vibración mecánica se expande a través del aire en forma de onda sonora viajando a una velocidad aproximada de 340 metros en un segundo.

En la inspección de materiales por ultrasonido las frecuencias son, por regla general, notablemente más elevadas y oscilan entre 0.25 y 25 MHz. En principio, las ondas ultrasónicas pueden propagarse dentro de todos los medios donde existen fracciones de materia, o sea, átomos o moléculas capaces de vibrar, por lo que se propaga a través de gases, líquidos y sólidos. Por el contrario no podrán producirse en el vacío, por no existir elementos de la materia que las sustenten.

Las ondas ultrasónicas se propagan en cualquier material elástico cuando las partículas atómicas o moleculares de un material elástico son movidas desde su posición en equilibrio por cualquier fuerza aplicada; esfuerzos internos actúan para restablecer las partículas a su posición original, el desplazamiento de la materia que ocurre en las ondas ultrasónicas es extremadamente pequeño, la amplitud, el modo de vibración y la velocidad de las ondas difiere en los sólidos, líquidos y gases básicamente por la separación de las partículas en cada estado de la materia. Estas diferencias influyen en las fuerzas de atracción entre las partículas y los medios elásticos de la materia.

El movimiento de las partículas se propaga en la materia, en forma de onda longitudinal o bien de otro tipo. En una pieza a verificar, la onda longitudinal se consigue al empujarse, en sentido vertical a la superficie las partículas ahí presentes.

El primer plano de partículas es puesto en movimiento y transmite la energía de movimiento a los planos siguientes de partículas. Si todas las partículas están simultáneamente en movimiento, sus movimientos serían de una misma fase. Como las partículas en realidad están unidas elásticamente entre sí, los planos siguientes de partículas se retrasan en su movimiento.

Entre las más importantes aplicaciones iniciales del método destaca la inspección para la detección de discontinuidades internas en forjas para rotores de motores utilizados en la industria aeronáutica, la inspección por haz angular con variación del ángulo, el empleo de la columna de retardo para la inspección en zonas cercanas a la superficie de entrada y un método por pulsos para la medición de espesores.

El desarrollo reciente del método de inspección por ultrasonido está relacionado en primera instancia con lo siguiente:

1. Alta velocidad en la aplicación de sistemas automatizados de inspección.
2. Instrumentos mejorados para obtener una gran resolución en la detección de fallas.
3. Una mejor presentación de los datos.
4. Interpretación simple de los resultados.
5. Estudio avanzado de los cambios finos de las condiciones metalúrgicas.

6. Análisis detallado de los fenómenos acústicos involucrados.

Estado actual del Ensayo no destructivo con Ultrasonido

Se han hecho muchos avances importantes. Las teorías cuantitativas se han desarrollado para describir la interacción de los campos de analizados con los defectos. Las herramientas relacionadas permiten que NDE sea considerado durante el proceso del diseño en un pie igual con otras disciplinas incidente-relacionadas de la ingeniería. Las descripciones cuantitativas del funcionamiento de NDE, tales como la probabilidad de la detección, se han convertido en una parte integral del gravamen de riesgo estadístico.

Los procedimientos de la medida se convirtieron inicialmente para los metales se han extendido a los materiales dirigidos, tales como compuestos, donde el anisotropía y la no homogeneidad tienen implicaciones importantes. Los avances rápidos en capacidades de la numeración y el computar tienen totalmente cambiante las caras de muchos instrumentos y el tipo de algoritmos que se utilicen en el proceso de los datos que resultan. Los sistemas de alta resolución de la proyección de imagen y las modalidades múltiples de la medida para caracterizar un defecto han emergido. El interés está aumentando no solamente de defectos de la detección, el caracterizar y el clasificar, pero de caracterizar los materiales en los cuales ocurren. Las metas se extienden de la determinación de características microestructurales fundamentales tales como talla de grano, porosidad y textura (orientación preferida del grano) a las características materiales relacionadas con los mecanismos tales del incidente como fatiga, arrastramiento, y dureza de la fractura -- las determinaciones que son a veces absolutamente desafiantes hacer debido al problema de efectos competentes

Ventajas de la Prueba por Ultrasonido

Proporciona gran poder de penetración, lo que permite la inspección de grandes espesores; se tiene gran sensibilidad, ya que se pueden detectar discontinuidades extremadamente pequeñas; proporciona gran exactitud para determinar la posición, estimar el tamaño, orientación y forma de discontinuidades.

Se necesita una sola superficie de acceso para llevar a cabo la inspección, la interpretación de los resultados es inmediata, no existe peligro o riesgo en su aplicación, la portabilidad de los equipos; los equipos actuales tienen la capacidad de almacenar información en memoria y comunicarse con una computadora.

Aplicaciones

Entre las áreas en donde se aplica ultrasonido están las de medicina, militar e industrial, a continuación se muestran algunas de los proyectos que utilizan ultrasonidos.

Vehículo inteligente para el desarrollo psicomotriz de niños discapacitados.

El éxito obtenido a nivel de prototipo, junto con los estudios realizados en centros de rehabilitación europeos enmarcados dentro del Proyecto VII.9-PALMA(1); dio lugar a que los investigadores participantes iniciaran un proyecto similar El proyecto SUMAR (Sensores de Ultrasonido para la Movilidad Asistida con Robots) permite adelantar una versión de dicho prototipo acorde a las disponibilidades tecnológicas y económicas del país y la región. El objetivo del trabajo es la construcción de un vehículo con autonomía inteligente y programada por niveles para ayudar al desarrollo de la percepción en niños con discapacidades motrices.

El desarrollo de este vehículo ha sido encarado con un enfoque relativamente nuevo, derivado de los estudios realizados por Jean Piaget que ya en 1977 destacó el valor de la movilidad independiente en el desarrollo físico, cognitivo y social de los niños. Los psicopedagogos señalan que la capacidad de desplazamiento no solo alimenta la curiosidad del niño sino que también aumenta el deseo de dominar el ambiente poniendo en acción su voluntad. En ese sentido, la movilidad favorece la posibilidad de aprender los límites del ambiente físico y social, lo que ayuda al niño a formarse una imagen de sí mismo y del mundo que lo rodea.

Diferentes estudios publicados en los últimos años enumeran los beneficios que se asocian con el desplazamiento de niños con discapacidades motoras e incluso visuales: incremento de la participación activa en la totalidad del proceso de aprendizaje, mayor facilidad para la comunicación, aumento en la autoestima, en las interacciones sociales, y una mejor adquisición de los conceptos espaciales. Por ese motivo, la tendencia actual en investigación apunta al desarrollo de móviles basados en la robótica, la automatización, la electrónica y la informática aplicada.





A diferencia del proyecto Iberoamericano, el SUMAR utiliza una plataforma ampliamente disponible en el país adaptando la carrocería de uno de los modelos de cochecitos eléctricos para niños que se ven cotidianamente en nuestras plazas. Se aprovecharon las experiencias del proyecto anterior para diseñar un nuevo sistema de censado por ultrasonido que opera de modo diferente al original ya presentado anteriormente y cuya versión mejorada se presenta en estas mismas jornadas, un sistema de control de motores con regulación de velocidad y aceleración adecuados al vehículo de juguete, una arquitectura de comunicaciones tipo 'bus' que permite fácilmente agregar, quitar y modificar los módulos funcionales del sistema y un nuevo módulo de control central implementado con una PC de tamaño reducido (PC/104) de muy bajo costo y apta para aplicaciones de control.

El resultado de este proyecto será la combinación de un instrumento útil para el estudio de los medios alternativos y aumentativos para la comunicación de niños con capacidades especiales y la posibilidad de lograr un producto, que fabricado en nuestro país, obtenga un mercado a nivel internacional. En este último aspecto se espera combinar la iniciativa de algún productor local con la amplitud del mercado europeo.

El sonido direccional

Lo oye sólo la persona a la que está dirigido. Puede rebotar en la pared y tomar otra dirección.

Un invento reciente, el sonido direccional, desarrollado por un estudiante del famoso del Massachusetts Institute of Technology (MIT). Consiste en un aparato que emite una columna de ultrasonido que se escucha sólo en un lugar específico. El nombre del descubridor es Joseph Pompei un estudiante graduado del Laboratorio de Medios del MIT.

El sonido que sale del aparato es como un haz de rayo láser, que no ilumina ni quema donde no toca. Así, este tipo de sonido también puede rebotar contra una pared y tomar otra dirección. El spot de audio -como se ha apodado- emite una columna de sonido envuelta en silencio, del mismo modo en que un haz de luz está envuelto en la oscuridad. Todo aquel que se encuentra parado dentro del haz emitido por este liso disco negro escucha el sonido alto y claro. Fuera del haz sólo hay silencio o, si hay alguna superficie cerca, murmullos a punto de desvanecerse originados por el reflejo de las ondas sonoras.

Se tuvo la paciencia de montar cientos de laminillas piezoeléctricas sobre un disco plano de unos 30 cm de diámetro. Las laminillas, alimentadas por un dispositivo electrónico adecuado, emiten un ultrasonido, cada uno el suyo. El sonido audible se dispersa en todas las direcciones, por ejemplo cuando sale de un altavoz normal, por lo que toda la audiencia oye lo mismo. Por el contrario, los ultrasonidos se propagan como la luz, en un estrecho pincel en línea recta.

Pero el oído humano no percibe los ultrasonidos, por lo que el invento no tendría que funcionar. En realidad, la suma de los cientos de ultrasonidos individuales tampoco debería ser audible, porque el oído ni suma ni resta.

Pero sí funciona. El truco está en que el aire no se deforma homogéneamente bajo la energía sonora, sino que lo hace de forma "no proporcional". Se conoce como "acústica no lineal".

El spot de audio no genera directamente el sonido audible. Genera el haz de ultrasonido que funciona como un largo y angosto parlante que libera sonido audible -su efecto secundario-. Es como si se hubiese creado un holograma de una lámpara que pudiera ser encendida para generar luz. El ultrasonido es la lámpara, el sonido audible es la luz.

Diversas compañías ya han comenzado a soñar con las posibles aplicaciones comerciales de este descubrimiento. Los supermercados y otros comercios podrían dirigir haces con anuncios de sus productos a los consumidores. Las máquinas expendedoras quizá pronto puedan hablarles a las personas que pasan a su lado. Las discotecas podrían dividir una sala en zonas con distinta música. Daimler Chrysler esta buscando la forma de instalar estos haces de sonido en sus vehículos de modo tal que cada uno de los pasajeros pueda escuchar su propia música. Los militares lo podrían emplear para confundir a las tropas enemigas.

American Technology Corporation, una compañía emplazada en San Diego que desarrolla un producto similar, ya ha firmado un contrato para instalar los haces de sonido en la consola del nuevo destructor Aegis-class Navy como sustituto opcional de los auriculares de los operadores de radio.

En cuanto a los consumidores, Terry Conrad, presidente de ATC, estima que en los próximos dos años comenzarán a ser "golpeados" por haces de sonido.

El spot de audio de Pompei, cuya patente está por ser aprobada, es el producto de una fascinación de su niñez por la acústica y una obsesión de ocho años con la idea de que lograr que el sonido baile. Pompei dijo que halló resistencia a la idea en sus aplicaciones de graduado, pero que luego encontró una cálida recepción en el Media Lab del MIT. "He escuchado tantas veces a la gente diciendo que esto no funcionaría -dijo-. Mi respuesta era que se trataba de algo demasiado bueno como para no trabajarlo." (Fuente: La Nación).

Empalmes de Fibra Óptica

Existen cierto número de factores que tienen marcada influencia en la calidad de los empalmes de Fibra Óptica.

La más importante de ellas el corte de la fibra para realizar el empalme.

El corte de la fibra es el proceso en el que el extremo de la fibra sufre un pequeño rayado y doblez que ocasiona que se fracture en forma limpia en todo el diámetro de la fibra. Lo que se persigue mediante el corte es realizar una ruptura limpia que deje expuesta una cara sin rugosidades y que sea perpendicular al eje de la fibra.

Un corte perfecto presentará un ángulo de 0° (cero grados) lo que significará que la cara de la fibra tiene un ángulo de 90° con respecto a cualquier parte del eje de la fibra.

Las cortadoras de fibra óptica van desde la más sencilla que es portátil cuyo elemento de corte es de carburo hasta las más complejas que realizan el corte mediante ultrasonido y que pueden proporcionar en forma consistente cortes con ángulos que tienen fracciones de grado.

Imagenología Ultrasónica

En el Departamento de Ingeniería de Sistemas Computacionales y Automatización dentro del área de la Imagenología Ultrasónica se realiza investigación, estudio y desarrollo de algoritmos que ayuden a la simplificación, adaptación y optimización de técnicas para la obtención de imágenes ultrasónicas de alta resolución. En particular de la Técnica de Apertura Focal Sintética (Synthetic Aperture Focusing Technique (SAFT)). SAFT es una técnica utilizada en Imagenología Ultrasónica, particularmente flexible, que puede ser adaptado a una gran variedad de materiales, geometrías y modos de propagación ultrasónicos. Se puede decir que SAFT es una técnica capaz de convertir un sistema estándar para captura de imágenes ultrasónicas en un sistema de obtención de imágenes de alta resolución.

La utilización de sistemas computacionales de alto desempeño puede resolver la problemática que presenta SAFT en cuanto a la complejidad de sus algoritmos. La utilización de sistemas de procesamiento paralelo permitirán un óptimo manejo de SAFT en los procesos de enfoque ultrasónico en recepción.

Se espera que los avances y resultados obtenidos con la aplicación de SAFT repercutan en beneficios en los trabajos que se realizan en la área de procesamiento de señales, área en la cual se estudian y desarrollan métodos paramétricos y no-paramétricos de estimación espectral en señales Doppler de ultrasonido con aplicación en el análisis de flujo sanguíneo. De igual manera estos beneficios deben repercutir en otra área asociada que es la de procesamiento de imágenes, en la cual se estudian, desarrollan e implementan técnicas de procesamiento paralelo para la adquisición, procesamiento digital y despliegue de imágenes ultrasónicas. En esta área de investigación se trabaja en colaboración con los miembros de la Red Iberoamericana de Ultrasonidos, del subprograma de Electrónica e Informática de CYTED.

La línea de investigación en Imagenología Ultrasónica se desarrolla en colaboración con el Centro de Ultrasónica del Instituto de Cibernética Matemática y Física de la Habana, Cuba. Esta línea de investigación ha sido patrocinada en parte por los proyectos mencionados en la sección de proyectos financiados.

Proyectos con ultrasonido realizados en Paraguay.

Proyecto Palma (Plataforma de Apoyo Lúdico a la Movilidad Alternativa)

Instituciones Participantes: CAPS (Portugal), CITEI-INTI (Argentina), EE-Campinas (Brazil), Esc. Ing. Universidad Católica (Chile), UPN (Colombia), LED (Paraguay), CRPCC Gulbekian (Portugal).

El proyecto trata de contribuir al desarrollo de la autonomía personal, sobre todo de niños con parálisis cerebral que presentan graves problemas motóricos, partiendo de los trabajos actualmente en marcha del CRPCC Gulbekian de Lisboa. Para ello, se ha

elaborado una plataforma móvil de conducción personalizada, incorporando sensores de proximidad, interfaces de comunicación y procesadores asociados. Las soluciones tecnológicas desarrolladas o adaptadas del mundo de los robots móviles, tienen por objeto la ayuda al discapacitado en la justa medida, utilizando ya sea estrategias autoadaptativas por evaluación previa y automática de comportamientos anteriores o bien por personalización externa. La plataforma consiste de un pequeño vehículo de juguete convenientemente adaptado mediante un hardware especial y un software de control central, encargado de la gestión del movimiento del vehículo y de la coordinación de todos los elementos del sistema.



Para la adecuación del sistema a las características particulares del niño usuario, se definen cinco niveles de utilización para la integración de las decisiones del niño al control del sistema. Esta integración es realizada de manera gradual a partir de un nivel básico, en el cual el vehículo se desplaza de manera autónoma sin intervención del niño, hasta el nivel de utilización máximo, en el cual es el niño el que decide de manera autónoma la dirección que ha de seguir el vehículo.

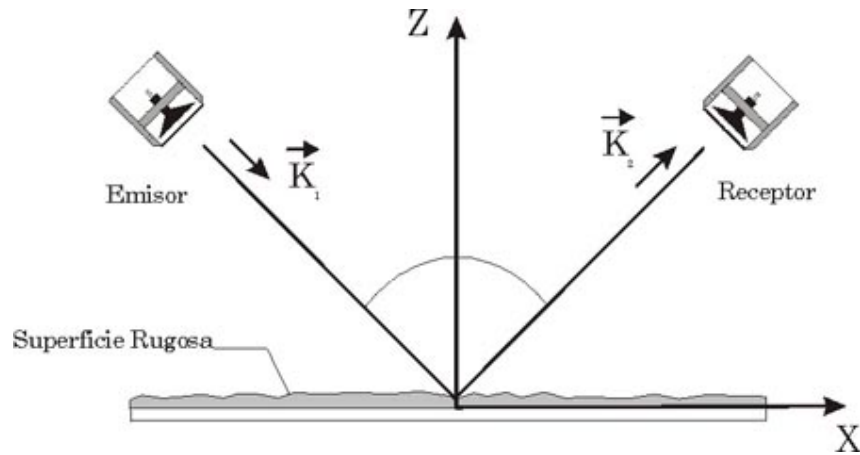
Obtención de Características de Rugosidad Superficial con Técnicas Láser y Ultrasonicas "RUGOLASUS"

Instituciones Participantes: Laboratorio de Electrónica Digital - Universidad Católica de Asunción (Paraguay), Instituto de Automática Industrial – CSIC (España).

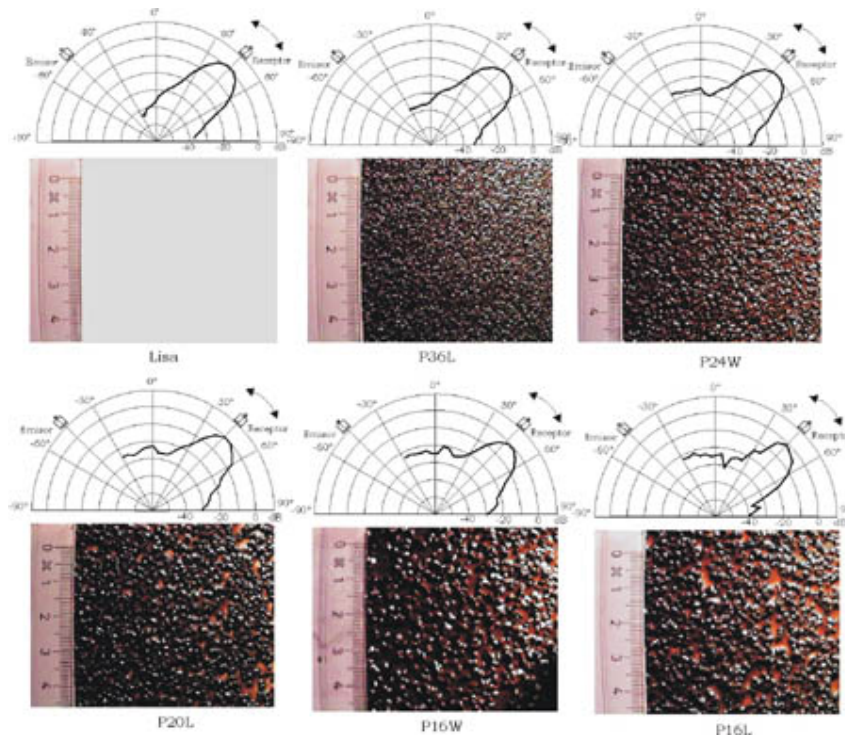
El proyecto RUGOLASUS se centra en la determinación sin contacto de rugosidades en superficies, en el rango comprendido entre los 0.1 y 10 mm utilizando sistemas sensoriales del tipo láser y de ultrasonidos. En particular se aborda el problema de la determinación de rugosidades macroscópicas aleatorias e isotrópicas con vistas a la implantación en problemas industriales.

Han sido preparadas las superficies a ser utilizadas en las distintas experiencias, que están siendo llevadas a cabo por ambos equipos, las cuales consisten de papeles de lijas con tamaño y densidad de granos en el rango de medida de interés. Se procedió además

a la definición y configuración del instrumental de adquisición, así como de la elaboración del software para la adquisición de las señales.
 El principio de medida del sistema sensorial basado en técnicas ultrasónicas puede apreciarse en la figura abajo.



En los gráficos a seguir se representan, en un diagrama polar, la energía de las imágenes ultrasónicas adquiridas en modo pulso_eco, por medio de un barrido angular del transductor receptor, sobre las distintas superficies experimentales.



Medición de distancia por Ultrasonidos

Proyecto estudiantil realizado por estudiantes de la Universidad Católica “Nuestra Señora de la Asunción”

El objetivo del trabajo es la realización de un medidor de distancias utilizando ultrasonidos. Para ello, se requiere del diseño de las etapas de acondicionamiento de la señal así como del programa de control para la obtención de la medida de distancia. En este trabajo, se han utilizado dos transductores piezoeléctricos sintonizados a una frecuencia de trabajo de 40 kHz, y un detector de tono para la detección de la señal de eco. Para la obtención de la medida de distancia, se ha utilizado el kit de la empresa Motorola, el MC68HC11A8.

En la actualidad, la gran mayoría de los sistemas de ultrasonidos diseñados para operar en aire utilizan la técnica pulso-eco para la obtención de la medida de distancia. Esta técnica consiste en emitir una señal ultrasónica (a una frecuencia de 40000 Hz) que una vez que rebote luego de chocar contra un cuerpo, sea captada (la señal) por uno de los transductores (sensores), en éste caso el sensor receptor.

Determinar el instante de comienzo de una señal de eco (ultrasonido) con respecto a un tiempo de referencia, es equivalente a realizar la medida de distancia desde el elemento transductor al objeto sobre el cual se ha producido la reflexión ya que tenemos el tiempo de vuelo de la señal y la velocidad del sonido (340 m/seg) como datos. Teniendo en cuenta que la velocidad de propagación del sonido es lo suficientemente baja para ser medida con una electrónica relativamente sencilla, la medida del tiempo de vuelo (**TOF**, por sus siglas en inglés) es hoy en día, una de las técnicas más comúnmente utilizada.

Medida del TOF utilizando la técnica pulso-eco

El proceso de emisión/recepción puede ser descrito someramente de la siguiente forma: aplicando un impulso eléctrico al transductor, se provoca en el mismo un movimiento mecánico oscilatorio, que se amortigua progresivamente debido a la inercia de la membrana. Esta vibración es transmitida y propagada por el medio hasta alcanzar un objeto cuya impedancia acústica sea diferente de la del medio de propagación, ocurriendo en su superficie un fenómeno de reflexión de ondas, debido a la diferencia de impedancias acústicas entre el medio y el objeto; las ondas reflejadas son de nuevo propagadas por el medio, siendo finalmente captadas por un dispositivo receptor [Vargas, 99].

Uno de los métodos más convencionales para la determinación del TOF, consiste en poner en marcha un contador al mismo tiempo en que se aplica el pulso de excitación al transductor y pararlo cuando la señal de eco alcanza un determinado umbral. Este método posee un alto grado de incertidumbre en la determinación del TOF debido a las variaciones que sufre la señal de eco en función del objeto reflector y de las condiciones de propagación. Debido a esto, algunos autores han desarrollado sistemas sensores que poseen amplificación o umbrales dinámicos [Canhui, 93], [Freire, 94], para contrarrestar los efectos de la propagación. Un umbral dinámico introduce compensaciones de atenuación en la propagación, aunque no puede corregir errores debido a cambios en la forma de la señal producidos por efectos de la reflexión sobre objetos.

Si la señal de eco es previamente digitalizada, pueden aplicarse técnicas de procesamiento de señal en la determinación del TOF. Técnicas tales como la correlación por ejemplo, resultan adecuadas cuando los pulsos se encuentran atenuados o distorsionados debido a diferencias de camino o a la presencia de ruido enmascarante [Vargas, 99].

El método utilizado en este trabajo para la detección de la señal es el de detección de tono. El motivo de dicha elección es la capacidad que tiene el detector de tonos para

determinar la presencia de una señal de eco independientemente de la amplitud [Ferdegini, 2000]. El detector de tonos analiza la frecuencia de la señal respecto a una señal de referencia, o lo que es mismo, la diferencia de fase. En la figura 1 puede apreciarse un diagrama de bloques del sistema.

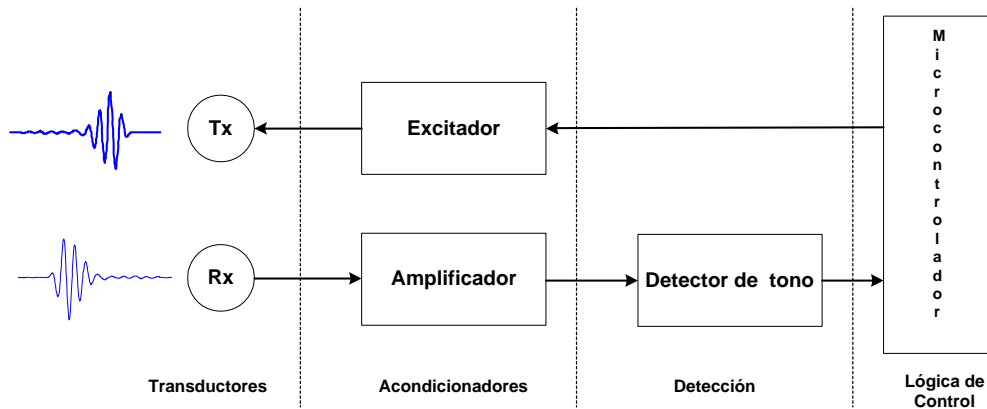


Figura 1 - Diagrama de bloques del sistema realizado

Descripción del diseño realizado

A partir de la especificaciones técnicas del problema, se determinó el rango de distancias a medir, siendo la distancia máxima requerida de 2 metros. Como se opera en el modo emisión/recepción, la distancia total recorrida por la onda es de 4 metros.

La vibración residual del emisor es acoplada al receptor, lo cual origina lo que se conoce como zona muerta, imposibilitando la medida de distancias pequeñas; en nuestro sistema esta zona muerta es de 5 cm; es decir, el rango de medida está comprendido en $[5e^{-2} \leq \text{Rango} \leq 2]$ mts.

El sistema consta de dos etapas: una de transmisión y otra de recepción. La generación de la señal de excitación es realizada por medio de una salida del microcontrolador, esta salida es aislada galvánicamente utilizando un optoacoplador, el 4N35. La señal de excitación consiste en una salva de n pulsos cuadrados, sintonizados a 40 kHz, la salida del optoacoplador es amplificada en corriente y para ello, se ha utilizado el ULN2003 que cumplía con los requisitos de corriente del transductor.

La etapa de recepción consta de dos amplificadores en cascada, ambos de ganancia alta para amplificar la señal recibida por el transductor receptor hasta la saturación. El nivel de tensión obtenido a la salida de los amplificadores es de ± 12 V, lo que no es adecuado para aplicarlo directamente al circuito detector de tonos. Por ello, se ha utilizado un enclavador implementado con dos diodos del tipo 1N4148 en antiparalelo. Con la técnica de detección por tono no se requiere incluir filtros ya que el propio detector es un filtro cuya sintonía depende del ajuste del ancho de banda, esto simplifica el diseño y ha sido uno de los motivos por el cual se ha seleccionado esta técnica. La salida del detector de tono es una señal digital que puede ser conectada directamente al microcontrolador.

El módulo detector de tono, está compuesto básicamente por un circuito integrado, el LM567. El LM567 posee internamente un PLL (*Phase Locked Loop*) y un detector de fase en cuadratura el cual responde con un nivel lógico bajo cuando la señal de entrada coincide con la frecuencia central de enganche del PLL. Normalmente, los circuitos de detección por tonos suelen utilizar una frecuencia igual a la señal que se desea detectar. Esto conlleva a un error ocasionado por el tiempo de enganche propio del integrado

detector de tonos; este tiempo depende principalmente de la fase inicial con la cual la señal de eco ingresa al detector, y puede variar, en el caso general, entre uno y diez ciclos de esta señal. El cálculo del error máximo de distancia se obtiene tomando como tiempo de vuelo el tiempo correspondiente a diez ciclos de la frecuencia de ultrasonido. Se admite de esta forma para el sistema detector de tonos un error máximo de 4.1cm, dada la imposibilidad de corregir el mismo [Ferdegini, 2000].

A fin de solventar este problema de precisión, se ha optado por utilizar una frecuencia mucho mayor, múltiplo de la señal de eco (40KHz). La frecuencia adoptada para el efecto fué de 1 MHz (25 veces la frecuencia de detección). Con esto, el tiempo de enganche es casi instantáneo ya que el PLL solo trata de alinear su fase de clock con la de la señal y al ser esta múltiplo de la frecuencia de entrada, el PLL no se ve afectado en su funcionamiento y se logra una mayor precisión. Con este enfoque, se ha conseguido mejorar la variación de la medida y no se ha encontrado, en la literatura consultada, que los autores tengan en cuenta este punto, por lo que lo consideramos como un aporte importante. No se ha determinado cuantitativamente la mejora obtenida, quedando aún trabajo por realizar. Sin embargo, en medidas preliminares, se ha constatado que la incertidumbre en la medida es del orden del milímetro.

Bibliografía:

- Sergio Franco, "Design with Operational Amplifiers and Analog Integrated Circuits", Mac Graw Hill 2ª Ed., 1988
- Vargas Enrique, "*Caracterización de Reflectores e Irregularidades Superficiales por Ultrasonidos en Aire*", Instituto de Automática Industrial - Consejo Superior de Investigaciones Científicas. 1999.
- Fernando Ferdeghini, Diego Brengi, Daniel Lupi, "Sistema de Detección Combinado para Sensores Ultrasónicos", Centro de Investigación y Desarrollo en Electrónica e Informática (CITEI), Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI). Disponible en Internet.
- www.GYCOM.com
- www.rionegro.com.ar/arch200105/s20j17.html
- www.gemedicalsystems.com/laes/rad/us/index.html
- www.intvi.gov.ar/gd/jornadas2000/citie-078.html
- [www.icfes.gov.com/revistas/ingeinve/no36\(1997\)/articulos4.html](http://www.icfes.gov.com/revistas/ingeinve/no36(1997)/articulos4.html)
- www.led.net.py
- http://www.cnde.iastate.edu/ncce/UT_CC/Intro_Adv.html