Programación Matemática y Software (2010)
Vol.2. Num. 1. ISSN: 2007-3283

Recibido: 1 de Agosto del 2009 Aceptado: 4 de Enero del 2010
Publicado en línea: 30 de Junio del 2010

Medición del tremor parkinsoniano mediante un instrumento virtual analizado y diseñado con SysML

Juan Fernando García Mejía,* Flor del Río González Romero,* Arturo Garduño Aparicio*

*Departamento de Instrumentación Virtual, Centro Universitario UAEMEX Atlacomulco, carretera Toluca-Atlacomulco Km 60, Atlacomulco, Estado de México, México.

kyrill_lakota@hotmail.com

Resumen. En este artículo se presenta el análisis y diseño, mediante el lenguaje de modelado de sistemas, de un instrumento virtual de medición no invasivo de una señal eléctrica representativa del tremor parkinsoniano, el cual es un signo de una enfermedad de carácter neurológico-degenerativo conocida como mal del Parkinson. El sistema propuesto está constituido en su etapa física por una tarjeta de adquisición de datos, un circuito de medición compuesto por amplificadores operaciones y fotorresistencias como elemento sensor, la parte lógica se compone de módulos de adquisición, medición de frecuencia y visualización, los cuales son codificados en Lab View.

Palabras clave: tremor parkinsoniano, lenguaje de modelado de sistemas.

Abstract. This paper talk about the analysis and design through the Systems Modeling Language a virtual instrument non-invasive measurement of an electrical signal representative of parkinsonian tremor, which is a sign of a neurological disease, a degenerative character known as Mal Parkinson's disease. The proposed system is constituted in its physical stage by a data acquisition board, a measuring circuit consisting of operational amplifiers and resistors as a photo sensor, the logic part consists of modules for acquisition, frequency measurement and display which are encoded in Lab View.

1 Introducción

El mal de Parkinson es un trastorno degenerativo asociado con el daño a la sección del cerebro encargada de la movilidad, el cual fue descrito por James Parkinson, en Inglaterra, en el año de 1817. Este mal pueden padecerlo tanto hombres como mujeres. Hoy se estima que en los próximos 25 años habrá un incremento de 100% en la cantidad de casos reportados. Con esto en mente, se construyó un instrumento virtual de medición del tremor parkinsoniano, de carácter no invasivo, el cual fue analizado y diseñado mediante el lenguaje de modelado de sistemas.

Los instrumentos virtuales presentan un problema teórico: la falta de técnicas de análisis y diseño holístico de las etapas físicas y lógicas que los componen.[1,2,3,4,5,6,7] En los diagramas de flujo, esquemáticos o de bloques que se emplean para representar la funcionalidad de manera general y las expresiones matemáticas, si se utilizan técnicas de procesamiento digital, tratamiento de los datos medidos o aspectos de los circuitos de electrónica, esto queda desarticulado del desarrollo de los componentes lógicos de los instrumentos virtuales. De continuar así, esta tendencia provocaría en el futuro retrasos en la entrega y un aumento de los costos de implementación y mantenimiento, tal como se presentan ahora en la industria del *software*.

Una solución para este problema[8] propone el análisis y diseño holísticos de los instrumentos virtuales, mediante los diagramas de flujo de datos (DFD). Otra forma de solucionarlo es recurriendo al lenguaje de modelado de sistemas, el cual a diferencia de la otra solución, se ha convertido en un estándar aprobado.

1.1 Tremor parkinsoniano

Los signos representativos del mal de Parkinson son la rigidez y la bradicinesia —pérdida de sensibilidad en los músculos faciales—, la acinesia —pérdida o falta de movimiento—, la inestabilidad postural y el tremor parkinsoniano, el cual se define como un movimiento involuntario, rítmico y oscilatorio que se produce por la contracción alternante de músculos inervados recíprocamente —agonistas-antagonistas— y que se presenta en estado de reposo. El tremor parkinsoniano se ha registrado en 70% de los casos de esta enfermedad. Una de las formas de seguimiento del mal de Parkinson es mediante la medición del tremor, la cual se lleva a cabo con las técnicas que se describen en el cuadro 1.

Cuadro 1. Diversos principios de medición del tremor parkinsoniano y sus desventajas

Técnica	Desventaja
Acelerómetros.[9]	Su desventaja es su carácter invasivo, pues los dispositivos se colocan en el paciente.
Medición de señales mioeléctricas con equipo de electromio-cardiografía.[10]	Son de carácter invasivo y el costo de los instrumentos de medición de EMG es alto.
Grabación en video del movimiento para su posterior análisis.[11]	Su ventaja es su carácter no invasivo; su desventaja es su alto costo, debido a las características de grabación y reproducción del equipo.

1.2 Lenguaje de modelado de sistemas

El propósito general del lenguaje de modelado de sistemas (SysML) tiene aplicaciones en ingeniería de sistemas; soporta la especificación, el análisis del diseño, así como la verificación y validación de un rango amplio de sistemas complejos. Estos sistemas incluyen hardware, *software*, información, procesos y personal.[12]

En el año 2001, el Consejo Internacional de Ingeniería de Sistemas (INCOSE, por sus siglas en inglés) decidió hacer del lenguaje de modelado unificado (UML) un lenguaje estándar para la ingeniería de sistemas. El UML se adapta a necesidades específicas y a un gran número de herramientas de modelado. Gracias a los mecanismos de extensión —denominados estereotipos—, se pueden definir vocabularios de modelado nuevos, lo que permite que el UML se adapte a dominios específicos y disciplinas diversas. La adaptación del UML para sistemas de ingeniería recibe el nombre de OMG Systems Modeling Languaje (OMG SysML™), cuya primera versión (1.0) está basada en el UML 2.1.1.[13]

Una forma de describir la relación existente entre los lenguajes UML y SysML es considerando un diagrama de Venn, como se muestra en la figura 1, donde, en los conjuntos que agrupan a estos lenguajes, la intersección indica los elementos de UML reutilizados por SysML y la región marcada con la etiqueta “SysML *extensions to* UML” indica los elementos nuevos, que no tienen contraparte en UML o han sido reemplazados.

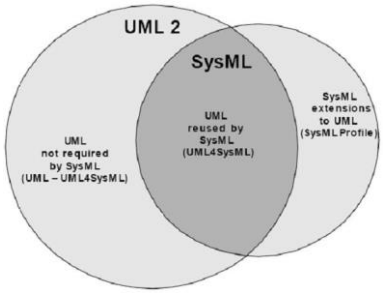

Figura 1. Un diagrama de Venn donde se muestran los componentes del estándar SysML, el cual está formado por diagramas reutilizados de UML y sus extensiones.

En la figura 2 se ven los diagramas que componen el estándar del SysML mostrando tres tipos de diagramas: el de requerimientos, los de comportamiento y los de estructura.

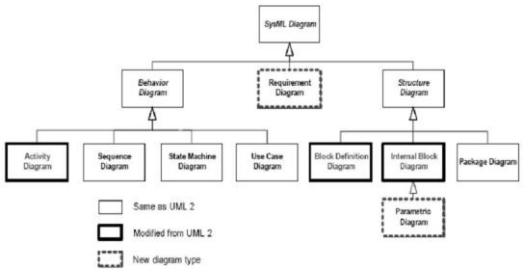

Figura 2. Tipos de diagramas que forman el estándar SysML, donde se muestran los que fueron modificados a partir de los diagramas de UML, los que se ocupan sin ninguna modificación y los exclusivamente originales.

2 Análisis y diseño

En la figura 3 se muestra el diagrama de contexto del instrumento que aquí se propone. Éste es el diagrama donde se observan los actores que intervienen en el instrumento.

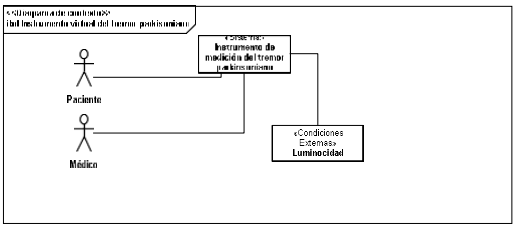

Figura 3. Diagrama de contexto elaborado con un diagrama de bloques interno, para mostrar parte del entorno del instrumento.

En la figura 4 se ven los casos de uso del sistema que aquí se propone y se muestra a los usuarios que participan en el instrumento y sus funciones.

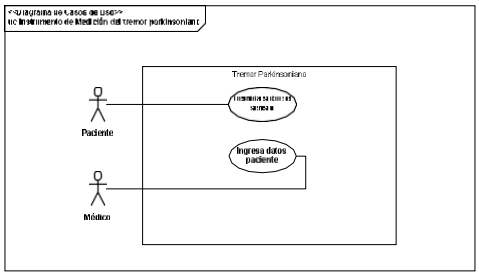

Figura 4. Diagrama de casos de uso del sistema, en el cual se observan dos actores: el médico y su paciente.

En las figuras 5, 6 y 7 se muestran los diagramas de actividad, requerimientos y paquetes, respectivamente. También se indican los pasos que se llevan a cabo para hacer una medición del tremor parkinsoniano y se señalan los requisitos que debe cumplir el desarrollo, como la portabilidad y la economía, y por último, en el diagrama de paquetes se ven los componentes de un instrumento virtual, los cuales son lógicos y físicos; asimismo, se describen los elementos que integran estas etapas.

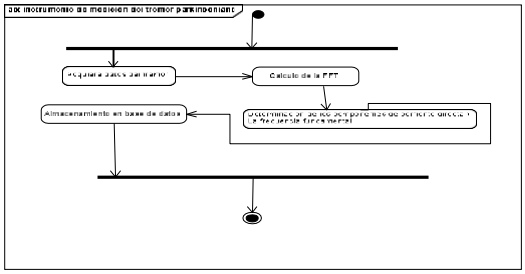

Figura 5. Diagrama de actividad del sistema, en el cual se observan las actividades llevadas a cabo por el instrumento.

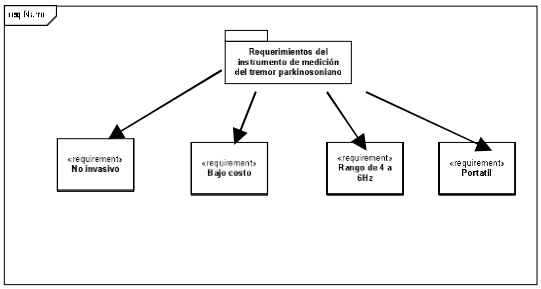

Figura 6. Diagrama de requerimientos del sistema, en el cual se realiza un análisis de los atributos que se desean que tenga el instrumento a desarrollar.

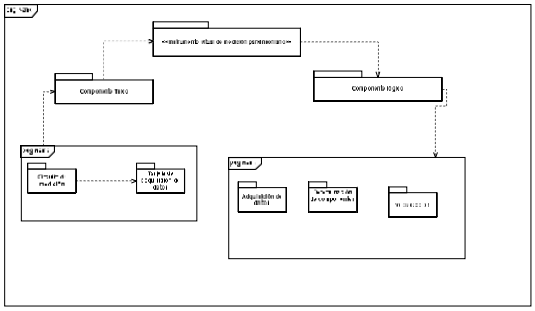

Figura 7. Diagrama del paquete del sistema en el que se muestran los componentes del instrumento.

3 Desarrollo

En la figura 8 se muestra el circuito de acondicionamiento de la señal, con el cual se convierten las variaciones de resistencia del elemento sensor (R2) en una diferencia de potencial mediante el amplificador operacional número 1. El componente (R3), con su lazo de retroalimentación, controla las variaciones luminosas que se presentan en los diversos escenarios de medición.

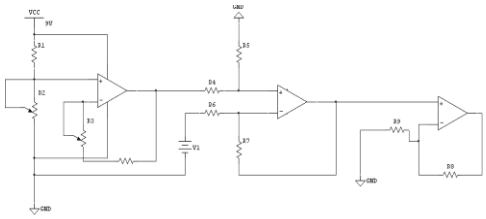

Figura 8. Diagrama eléctrico del circuito de medición del tremor parkinsoniano, compensado para variaciones de luz.

El amplificador operacional número 2 tiene como finalidad reducir el voltaje *offset* mediante un circuito restador; el número 3

amplifica el voltaje para que éste pueda ser adquirido por una computadora personal.

Uno de los elementos de un sistema de instrumentación virtual es la tarjeta de adquisición de datos, por lo que en este artículo se propone el uso de la tarjeta NI USB-6008 de National Instruments, la cual tiene las siguientes características:

- 8 entradas analógicas de 12 o 14 bits.
- 2 salidas analógicas de 12 bits.
- 12 TTL/CMOS digitales.
- 12 líneas I/O.
- 32-bit, 5Mhz Counter.
- Digital triggering.
- Bus-powered.

El desarrollo lógico que estamos proponiendo en este artículo está basado

en la obtención e interpretación de datos mediante los componentes y herramientas de adquisición de datos y visualización que proporciona LabView.

En la figura 9 se muestran las rutinas necesarias para adquirir en la computadora los valores de voltaje obtenidos del sensor antes descrito.

La adquisición de datos se basa en las siguientes actividades:

1) Creación de tarea: se le informa al sistema que ha sido asignada una nueva tarea de adquisición de datos.
2) Definición de canal analógico: se indica el dispositivo y la entrada analógica por la cual los datos van a ser obtenidos.
3) Tiempo de muestreo: se define el número de muestras por segundo, así como la correspondiente frecuencia de muestreo.
4) Iniciar tarea: este elemento prepara el dispositivo y el canal analógico.
5) Lectura: en esta fase el instrumento virtual adquiere datos del exterior mediante una tarjeta de adquisición.
6) Interpretación de datos analógicos: en esta etapa se propone la integración de un elemento gráfico para visualizar los datos representativos de las variaciones de voltaje.
7) Terminar y limpiar: esta fase le indica al sistema que el usuario ha decido terminar con la tarea de adquirir datos.

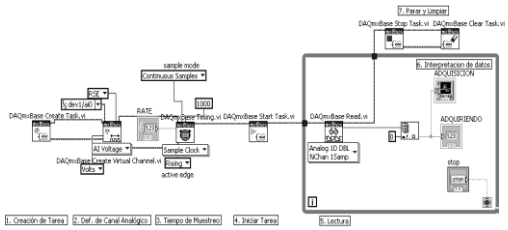

Figura 9. Código de LabView para la adquisición de datos en la etapa física del instrumento virtual.

Las rutinas correspondientes a la visualización y el análisis del espectro de Fourier se muestran en la figura 10, siguiendo las siguientes actividades:

1) Inverso de la frecuencia de muestreo (dt): esto se realiza con el fin de obtener el coeficiente correspondiente a la derivada del tiempo.
2) Obtención del la frecuencia diferencial (df): mediante el instrumento virtual FFT Spectrum (Mag-Phase) proporcionado por LabView, se obtiene el dato correspondiente a la frecuencia diferencial.
3) Eliminación del coeficiente 0: esta operación es necesaria para descartar el componente de CD arrojado por el acondicionamiento de la señal, de tal manera que la cresta más alta del espectro multiplica al coeficiente df, todo esto con el fin de obtener la magnitud correspondiente a la frecuencia adquirida.
4) Visualización del espectro: se propone la integración de un elemento gráfico para visualizar el espectro de Fourier.

5) Obtención de la frecuencia: en esta fase se indica la frecuencia generada por la señal eléctrica del sensor.

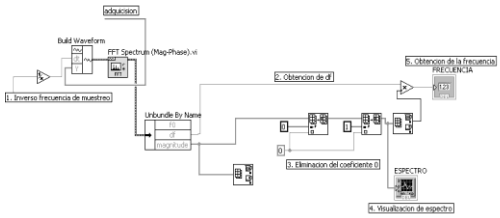

Figura 10. Código de LabView para la medición del tremor parkinsoniano, basado en la transformada rápida de Fourier.

4 Resultados

Cuando ya se puso en funcionamiento el módulo de adquisición de datos, se procedió a realizar una prueba del tremor parkinsoniano en un paciente que no estuviera medicado con Levodopa en las instalaciones de la Asociación de Enfermos de Mal de Parkinson ubicada en Atlacomulco, Estado de México.

Al paciente se le citó una hora antes de la ingesta de una dosis de Levodopa, con lo cual el tremor parkinsoniano se vuelve a presentar en el enfermo. En este caso especifico, el tremor parkinsoniano ha aumentado conforme trascurre el tiempo.

En la figura 11 se ve una señal eléctrica oscilatoria de frecuencia constante (véase el circuito en la figura 8), la cual es representativa del tremor parkinsoniano. Este movimiento es involuntario, rítmico y oscilatorio, tal como se le definió en la sección 1.1 del presente artículo.

El módulo de adquisición de datos, en combinación con el módulo de análisis y visualización del espectro, da como resultado lo que aparece en la figura 12, donde se observa que el elemento 28, correspondiente al eje del tiempo, responde a la magnitud espectral.

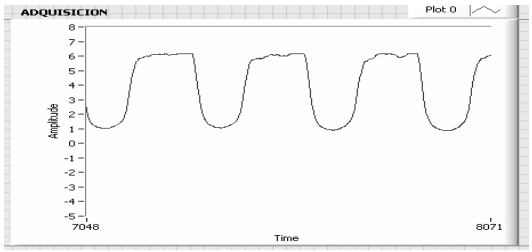

Figura 11. Señal eléctrica representativa del tremor parkinsoniano en un paciente que no ha ingerido Levodopa. La frecuencia de este signo del mal de Parkinson se incrementa conforme avanza la enfermedad, esto debido a su carácter crónico degenerativo.

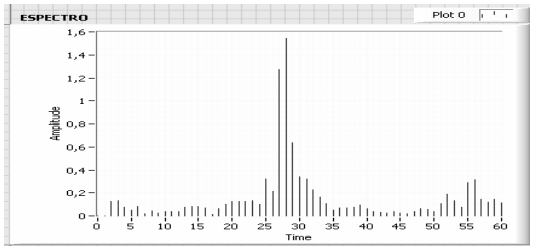

Figura 12. Espectro de Fourier de la señal eléctrica representativa del tremor parkinsoniano mostrado en la figura 11. Con el espectro de Fourier se determina la frecuencia a partir de la magnitud frecuencial.

5 Conclusiones

El uso de una fotorresistencia como elemento sensor, así como del circuito propuesto en la figura 8, permite medir el tremor parkinsoniano de forma no invasiva y a un costo bajo, en cuanto al sensor y manejo de señales. Con el uso de los diagramas SysML, se sistematizan las actividades de análisis y diseño del instrumento virtual, de tal forma que se garantiza cierta calidad en el producto obtenido. Sería interesante pensar en un trabajo futuro que utilice alguna metodología ágil para el desarrollo de *software* para la parte lógica.

A partir de los datos proporcionados por este instrumento, próximamente será posible elaborar una caracterización matemática del tremor parkinsoniano, ya que esto no se ha hecho todavía —si nos atenemos a lo que se reporta en la literatura consultada.

La segunda fase de este desarrollo consistiría en realizar un estudio de repetibilidad, linealidad e histéresis para garantizar la confiabilidad del instrumento.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Autónoma del Estado de México su apoyo al presente proyecto mediante la Secretaría de Investigación y Estudios Avanzados, y al C. P. Salvador Escamilla, presidente de la Asociación de Enfermos de Parkinson del Norte del Estado de México, por su colaboración durante las pruebas de este estudio.

Referencias

1. De la Rosa Vázquez, “Sistema para detección de cáncer cervicouterino empleando espectroscopía óptica”, ponencia presentada en el XX Congreso de Instrumentación Somi, León, Guanajuato, octubre de 2005.
2. Carranza Castillo, “Sistema de digitalización de 10 canales para ser procesados a través del puerto paralelo”, ponencia presentada en el XX Congreso de Instrumentación Somi, León, Guanajuato, octubre de 2005.
3. Rangel, D., “Sistema portátil para caracterizar lámparas UV-VIS”, ponencia presentada en el XX Congreso de Instrumentación Somi, León, Guanajuato, octubre de 2005.
4. Arroyo, S., “Plataforma de cuatro canales para adquisición y procesamiento de señal mioeléctrica”, ponencia presentada en el XXIII Congreso de Instrumentación Somi, Mérida, Yucatán, octubre de 2008.
5. Cruz, I. “Monitoreo de señales electrofisiológicas como apoyo médico en el tratamiento de pacientes con lesiones musculares”, ponencia presentada en el XXIII Congreso de Instrumentación Somi, Mérida, Yucatán, octubre de 2008.

6. Quintana, S., “Fotopletismógrafo de bajo consumo en corriente, alimentado por puerto USB de una computadora”, ponencia presentada en el XXIII Congreso de Instrumentación Somi, Mérida, Yucatán, octubre de 2008.
7. Guzmán, R. “Medición a distancia de variables eléctricas a través de los puertos GPIB y Ethernet”, ponencia presentada en Electro 2006, Creel, Chihuahua, octubre de 2006.
8. García, M., “Un espirómetro virtual: diseño e implementación basados en análisis estructurado, transformada Wavelet discreta y Matlab”, ponencia presentada en el VI Congreso de Cómputo CICOS, Cuernavaca, Morelos, junio de 2008.
9. Saavedra, J., “Efecto del *tens* en el efecto de la enfermedad del Parkinson”, *Arch Neurocien*, vol. 10, núm. 3, México, octubre de 2005, pp. 133-139.
10. Pérez, M., “Demodulador digital para acelerometría dinámica”, en *Memorias del I Taller de Cómputo Reconfigurable “Óptica y electrónica”*, Coordinación de Sistemas Computacionales-Instituto Nacional de Astrofísica, Apixaco, Tlaxcala, 2003.
11. Brunetti, F., “Un conjunto de herramientas portátiles para la valoración y el estudio de desórdenes neuromotores”, ponencia presentada en las XXVI Jornadas de Automática, Universidad de Alicante, España, septiembre de 2005.
12. OMG, “Systems Modeling Language (OMG SysML™) 2008”, versión 1.0, OMG, 2008, pp. 27-31.
13. Weilkiens, T., *Systems Engineering with SysML/UML Modeling, Analysis, Design*, Morgan Kaufmann Publishers, Eslsevier, 2007, pp. 22-44.

Juan Fernando García Mejía Maestro en Ciencias en Electrónica Juan Fernando García Mejía egresado del Instituto Tecnológico de Toluca, actualmente se es doctorante de tecnologías de la información y análisis de decisiones por la Universidad Popular Autónoma de Puebla, su línea de investigación es el modelado e implementación de instrumentos virtuales mediante lenguaje de modelado de sistemas y lenguajes de programación gráficos

Arturo Garduño Aparicio Ingeniero en computación, egresado del Centro Universitario UAEM Atlacomulco, su línea de investigación es la instrumentación virtual, en la cual se ha desempeñado como colaborador de diversos artículos. Actualmente se dedica como consultor en el área de diseño de sistemas de instrumentación virtual para microempresas en la zona norte del Estado de México

Flor del Río González Romero. Ingeniera en computación, egresada del Centro Universitario UAEM Atlacomulco, actualmente estudiante del 4to. semestre de la Maestría en Ciencias de la Computación en la Universidad Autónoma del Estado de México bajo la línea de investigación: Ingeniería del Software y Docente del Centro de Bachillerato Tecnológico Acambay.