

UNIVERSIDAD VERACRUZANA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA Y RESILIENCIA URBANA

DATOS GENERALES
Nombre del Curso
SISTEMAS EN TIEMPO REAL

PRESENTACIÓN GENERAL
Justificación
<p>Actualmente las tecnologías de información, comunicaciones y particularmente la ingeniería electrónica constituyen el cimiento para la instrumentación y desarrollo de edificaciones sustentables. Por lo tanto la demanda de servicios en telecomunicaciones especializadas, procesos de electrónica con aplicación específica, el manejo de dispositivos programables y el uso de sistemas embebidos han sido objeto de interés cuyo crecimiento ha sido exponencial con el advenimiento y desarrollo de las nuevas tecnologías, por lo que, cada vez es mayor la demanda de recursos humanos capaces de analizar y comprender el funcionamiento de los mismos, así como programar, diseñar y proporcionar mantenimiento a estos dispositivos. Dentro de este contexto multidisciplinario, el programa de maestría en ingeniería y resiliencia urbana pretende satisfacer la necesidad de formar este tipo de recursos humanos con conocimientos de vanguardia en el área de comunicaciones, electrónica y programación de sistemas en tiempo real, con actitud innovadora y emprendedora para contribuir con liderazgo y compromiso al bienestar social.</p>

OBJETIVOS GENERALES DEL CURSO
<p>Formar recursos humanos con capacidad de aplicar conocimiento científico y tecnológico en áreas específicas de sistemas en tiempo real capaces de incidir en el desarrollo de los sectores de la sociedad involucrados en la industria y la instrumentación electrónica de edificaciones inteligentes.</p>

UNIDADES, OBJETIVOS PARTICULARES Y TEMAS
UNIDAD 1
Fundamentos teóricos de sistemas en tiempo real
Objetivos particulares

Definir y brindar al estudiante el marco conceptual sobre el cual se desarrollará la asignatura, lo cual, a manera de introducción, permitirá una mejor asimilación de los desarrollos tecnológicos e implementaciones con prestaciones de tiempo real que se realizarán.

Temas

- 1.1. Definición formal de sistemas en tiempo real.
- 1.2. Clasificación de los sistemas en tiempo real.
- 1.3. Cualidades de los sistemas en tiempo real.
- 1.4. Sistemas operativos de tiempo real.
- 1.5. Características de los sistemas operativos de tiempo real.
- 1.6. Clasificación de los sistemas operativos de tiempo real.
- 1.7. Uso de computadoras para el desarrollo de sistemas en tiempo real.
- 1.8. Implantación de sistemas en tiempo real.
- 1.9. Restricciones de precedencia en sistemas en tiempo real.
- 1.10. Interacción entre los sistemas en tiempo real y los sistemas en línea.
- 1.11. Metodología de diseño de sistemas en tiempo real en hardware embebido.
- 1.12. Tolerancia a fallas en sistemas en tiempo real.
- 1.13. Metodología de diseño de software con prestaciones de tiempo real.

UNIDAD 2

Definición formal de tareas en tiempo real

Objetivos particulares

Presentar las definiciones formales de las tareas en tiempo real y temas a fines, permitiendo así, que el estudiante comprenda el estrecho vínculo que existe entre la instrumentación electrónica de edificaciones inteligentes y los sistemas en tiempo real. Para ello, el estudiante deberá aprender a cabalidad las plataformas de hardware y software que permiten la implementación de sistemas en tiempo real.

Temas

- 2.1. Caracterización de tareas en tiempo real.
- 2.2. Definición de tiempo de arribo de tareas en tiempo real.
- 2.3. Definición de tiempo de ejecución de tareas en tiempo real.
- 2.4. Definición de plazo de tareas en tiempo real.
- 2.5. Definición de tiempo de finalizado de tareas en tiempo real.
- 2.6. Clasificación de las tareas en tiempo real de acuerdo con su tiempo de arribo.
- 2.7. Descripción de las restricciones de tiempo de tareas en tiempo real concurrentes.

UNIDAD 3
Programación de sistemas en tiempo real en el sistema operativo QNX® empleando lenguaje C
Objetivos particulares
<p>Dar a conocer al estudiante el sistema operativo de tiempo real QNX® y utilizarlo como una herramienta de software que hace posible la implementación de sistemas en tiempo real en computadoras de escritorio cuyo procesador cuente con arquitectura de tipo Intel®. En esta unidad, se pretende que el estudiante realice la programación de sistemas en tiempo real empleando lenguaje C, cuya versatilidad lo ha posicionado como uno de los lenguajes de programación predilectos para el desarrollo de algoritmos de ejecución concurrente. En este contexto, el estudiante aprenderá a programar tareas en tiempo real y tareas en tiempo real concurrentes, aprenderá a comunicar, sincronizar y temporizar procesos y a medir sus tiempos de ejecución.</p>
Temas
<ol style="list-style-type: none"> 3.1. Edición y compilación de programas en el sistema operativo QNX®. 3.2. Encabezados de la biblioteca estándar. 3.3. Secuencias de escape en lenguaje C. 3.4. Tipos de datos en lenguaje C. 3.5. Operadores de igualdad y relación en lenguaje C. 3.6. Palabras reservadas en lenguaje C. 3.7. Funciones y prototipo de funciones en lenguaje C. 3.8. Sentencias de control. 3.9. Recursividad. 3.10. Arreglos unidimensionales de datos. 3.11. Cadenas de datos. 3.12. Arreglos bidimensionales de datos. 3.13. Manejo de apuntadores. 3.14. Manejo de tareas. 3.15. Identificadores de procesos. 3.16. Ejecución sincronizada de procesos. 3.17. Comunicación entre procesos mediante tuberías sin nombre. 3.18. Comunicación entre procesos mediante tuberías con nombre. 3.19. Temporización de procesos. 3.20. Medición de tiempos de ejecución de procesos. 3.21. Manejo de señales. 3.22. Tratamiento de señales. 3.23. Programación de tareas en tiempo real concurrentes. 3.24. Simulación en tiempo real de sistemas dinámicos mediante tareas en tiempo real concurrentes.

UNIDAD 4
Programación de sistemas de control en tiempo real en computadoras de arquitectura embebida
Objetivos particulares
<p>Diseñar e implementar sistemas de control en tiempo real en computadoras de arquitectura embebida. Para llevar a cabo dicho fin, el estudiante deberá aprender a utilizar el sistema operativo Linux®, lo que requerirá el manejo y empleo de los conocimientos de programación en lenguaje C que se han obtenido en la unidad anterior. En esta unidad, se reforzarán dichos conocimientos y se complementarán con el propósito de que la transición entre la implementación de sistemas en tiempo real basados en computadoras de escritorio y la implementación de sistemas en tiempo real basados en computadoras de placa reducida, se asimile de mejor manera. Mediante la impartición de los temas concernientes a esta unidad y al finalizarla, el estudiante será capaz de programar e implementar sistemas de control embebidos con prestaciones de tiempo real, con aplicaciones en sistemas de instrumentación electrónica. Resulta prioritario para esta unidad, que el estudiante tenga conocimientos sólidos en sistemas de control automático.</p>
Temas
<p>4.1. Compatibilidad y similitudes de programación de sistemas en tiempo real con el sistema operativo QNX®.</p> <p>4.2. Simulación en tiempo real de sistemas dinámicos lineales e invariantes en el tiempo.</p> <p>4.3. Simulación en tiempo real de sistemas de control de lazo cerrado.</p> <p>4.4. Sintonización y programación en tiempo real de controladores digitales de tipo P, PI, PD y PID.</p> <p>4.5. Simulación en tiempo real de sistemas expresados en espacio de estados.</p> <p>4.6. Simulación en tiempo real de sistemas dinámicos lineales multivariables con parámetros invariantes en el tiempo.</p> <p>4.7. Implementación en tiempo real de observadores de estado para sistemas dinámicos lineales multivariables con parámetros invariantes en el tiempo.</p> <p>4.8. Simulación en tiempo real de sistemas dinámicos no lineales.</p>

UNIDAD 5
Filtrado digital embebido en tiempo real para sistemas dinámicos
Objetivos particulares
<p>Proporcionar al estudiante los conocimientos y herramientas necesarias que le permitan diseñar, programar e implementar sistemas de filtrado digital embebido haciendo uso de la computadora de placa reducida jetson nano®. En esta unidad, el estudiante aprenderá a simular sistemas dinámicos estocásticos y a implementar esquemas de control basado en observadores con aplicaciones en</p>

sistemas dinámicos lineales estocásticos y sistemas dinámicos no lineales estocásticos. En adición de lo anterior, se analizarán las herramientas de software que permiten la paralelización de procesos en GPU's, lo que conjuntamente con la implementación de técnicas de filtrado digital embebido con desempeño en tiempo real, hará posible el desarrollo de sistemas embebidos con aplicaciones en implementaciones prácticas fuertemente influenciadas por incertidumbres causadas por diversas fuentes de ruido, por lo que resulta imprescindible un enfoque basado en fenómenos cuya naturaleza es intrínsecamente no determinística.

Temas

- 5.1. Simulación en tiempo real de sistemas dinámicos lineales con ruidos aditivos agregados a la entrada y salida.
- 5.2. Simulación en tiempo real de sistemas dinámicos lineales multivariantes con ruidos agregados a la entrada(s) y salida(s).
- 5.3. Técnicas de recursividad para la obtención y simulación en tiempo real de los momentos de probabilidad de procesos estocásticos.
- 5.4. Simulación en tiempo real de procesos estocásticos estacionarios.
- 5.5. Simulación en tiempo real de procesos estocásticos no estacionarios.
- 5.6. El problema del filtrado digital en tiempo real.
- 5.7. Características temporales de los filtros digitales en tiempo real como parte de un sistema computacional con arquitectura embebida.
- 5.8. Filtrado digital multivariable en tiempo real.
- 5.9. Implementación en tiempo real de observadores de estado para sistemas dinámicos lineales estocásticos del tipo una entrada - una salida, con parámetros invariantes en el tiempo, como ejemplo de filtros digitales en tiempo real.
- 5.10. Implementación en tiempo real del filtro digital de Kalman como ejemplo de filtrado digital multivariable en tiempo real para sistemas dinámicos lineales estocásticos.
- 5.11. Implementación en tiempo real del filtro digital de Kalman extendido como ejemplo de filtrado digital multivariable en tiempo real para sistemas dinámicos no lineales estocásticos.

TÉCNICAS DIDÁCTICAS Y ASPECTOS METODOLÓGICOS

Lectura e interpretación de textos científicos.
Discusión de problemáticas.
Simulación.
Estudio de casos prácticos.

EQUIPO NECESARIO

Aula académica con pizarrón blanco, sistema de ventilación, proyector y pantalla para proyección y análisis de diapositivas.

BIBLIOGRAFÍA

- Guevara, P. y Medel, J.J. (2003). *Introducción a los Sistemas en Tiempo Real*. Instituto Politécnico Nacional. México.
- Medel, J.J., Guevara, P. y Cruz, D. (2001). *Temas selectos de sistemas en tiempo real*. Primera edición. Editorial Instituto Politécnico Nacional. México.
- Buttazzo, G. (1997). *Hard real-time computing systems*. Scuola Superiore S. Anna. Kluwer Academic Publishers.
- Liu, J. (2000). *Real-Time Systems*. Prentice Hall: Hoboken, NJ, USA.
- Burns, A. y Wellings, A. (1997). *Real-Time Systems and Programming Languages*. Pearson Education: London, UK.
- Stankovic, J., Spuri, M., Ramamritham, K. y Buttazzo, G. (1998). *Deadline Scheduling for Real-Time Systems*. Kluwer Academic Publishers: Norwell, MA, USA.
- Haykin, S. S. (2002). *Adaptive filter theory*. Pearson Education India.
- Galeano, G. (2009). *Programación de sistemas embebidos en C*. Primera edición. Alfaomega grupo editorial. México.
- Deitel, M. (2004). *C/C++ Como programar*. Cuarta edición. Ed. Pearson Educación.
- Marquez, F. (2004). *Unix programación avanzada*. Universidad de Alcalá. Ed. Alfaomega.
- García, E. (2008). *Compilador C CCS y simulador proteus para microcontroladores PIC*. Primera edición. Alfaomega grupo editorial. Barcelona, España.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS (04 de noviembre de 2022)

- Lv, J., Shi, P., Wan, Z., Cheng, J., Xing, K., Wang, M. y Gou, H. (2022). Research on a Real-Time Monitoring Method for the Three-Dimensional Straightness of a Scraper Conveyor Based on Binocular Vision. *Mathematics*, 10(19), 3545. MDPI AG. Recuperado de: <https://www.mdpi.com/2227-7390/10/19/3545>. Fecha: 08 de marzo de 2023.
- Capel, M. I. (2022). Artificial Neuron-Based Model for a Hybrid Real-Time System: Induction Motor Case Study. *Mathematics*, 10(18), 3410. MDPI AG. Recuperado de: <https://www.mdpi.com/2227-7390/10/18/3410>. Fecha: 08 de marzo de 2023.
- Pereira Álvarez, P., Kerfriden, P., Ryckelynck, D. y Robin, V. (2021). Real-Time Data Assimilation in Welding Operations Using Thermal Imaging and Accelerated High-Fidelity Digital Twinning. *Mathematics*, 9(18), 2263. MDPI AG. Recuperado de: <https://www.mdpi.com/2227-7390/9/18/2263>. Fecha: 08 de marzo de 2023.
- Bahabry, A., Ghazzai, H., Vesonder, G. y Massoud, Y. (2019, April). Space-time low complexity algorithms for scheduling a fleet of UAVs in smart cities using dimensionality reduction approaches. In *2019 IEEE International Systems Conference (SysCon)* (pp. 1-8). IEEE. Recuperado de:

https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8836828?casa_token=gkM26yilqyAAAAAA:MBwFz3ly_dFpyAcULtihFlc7JP1zMqW8IKHxjWw8wdOXvkGoXOE0tbduydzg1QG2-Nm_pNcz_RA. Fecha: 08 de marzo de 2023.

- Zhang, Z., Tian, Z., Zhou, M., Nie, W. y Li, Z. (2018, May). Riddle: Real-time interacting with hand description via millimeter-wave sensor. In *2018 IEEE International Conference on Communications (ICC)* (pp. 1-6). IEEE. Recuperado de: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8422765?casa_token=CfXbmqXa2f4AAAAA:q_GrUSrSzDqrOXqj9H06RWJtinjRIHJFa_uN5V-yGX0SSa7uUuPWJeiT26VDoBcqWM5EkxjHiUw. Fecha: 08 de marzo de 2023.
- Valdéz, J., Delgado, G., Guevara, P. y Cano, J. (2019). Transmission Times Reconstruction in a Telecontrolled Real-Time System. *IEEE Latin America Transactions*, 17(03), 349-357. Recuperado de: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8863304>. Fecha: 08 de marzo de 2023.
- Delgado-Reyes, G., Guevara-Lopez, P., Loboda, I., Hernandez-Gonzalez, L., Ramirez-Hernandez, J., Valdez-Martinez, J.-S. y Lopez-Chau, A. (2020). State Vector Identification of Hybrid Model of a Gas Turbine by Real-Time Kalman Filter. *Mathematics*, 8(5), 659. MDPI AG. Recuperado de: <https://www.mdpi.com/2227-7390/8/5/659>. Fecha: 08 de marzo de 2023.
- Delgado-Reyes, G., Valdez-Martínez, J. S., Hernández-Pérez, M. Á., Pérez-Daniel, K. R. y García-Ramírez, P. J. (2022). Quadrotor Real-Time Simulation: A Temporary Computational Complexity-Based Approach. *Mathematics*, 10(12), 2032. MDPI AG. Recuperado de: <https://www.mdpi.com/2227-7390/10/12/2032>. Fecha: 08 de marzo de 2023.
- Valdez-Martínez, J. S., Guevara-López, P., Delgado-Reyes, G., González-Baldovinos, D. L., Cano-Rosas, J. L., Calixto-Rodríguez, M., Villanueva-Tavira, J., et al. (2022). Communication Times Reconstruction in a Telecontrolled Client–Server Scheme: An Approach by Kalman Filter Applied to a Proprietary Real-Time Operating System and TCP/IP Protocol. *Mathematics*, 10(20), 3885. MDPI AG. Recuperado de: <https://www.mdpi.com/2227-7390/10/20/3885>. Fecha: 08 de marzo de 2023.

Otros Materiales de Consulta

- Oppenheim, A. V., Willsky, A. S. y Nawab, S. H. (1998). *Señales y sistemas segunda edición*. Prentice-Hall.
- Granville, W. A., Smith, P. F., Longley, W. R. y Byington, S. T. (1980). *Cálculo diferencial e integral* (No. 515.307 G735.). ED. F DF: Limusa.
- Diprima, B. (1974). *Ecuaciones Diferenciales*. Edit. Limusa, México.
- Apostol, T. M. (1991). *Calculus, volume 1 y 2*. John Wiley & Sons.
- Kuo, B. C. (1996). *Sistemas de control automático*. Pearson Educación.
- Kuo, B. C. (1997). *Sistemas de control digital*. Compañía Editorial Continental. ISBN 9682612926.

- Ogata, K. (1996). *Sistemas de control en tiempo discreto*. Pearson educación.
- Khalil, H. K. (2015). *Nonlinear control* (Vol. 406). New York: Pearson.
- Helstrom, C. W. (1991). *Probability and stochastic processes for engineers*. Macmillan Coll Division.
- Ross, S. M. (1995). *Stochastic processes*. John Wiley & Sons.

EVALUACIÓN			
SUMATIVA			
Aspecto a evaluar	Forma de evaluación	Evidencia	Porcentaje
Participación en clase	Escrita	Reportes	10
Tareas	Escrita	Trabajos escritos	20
Habilidad para la solución de ejercicios	Escrita	Exámenes parciales, evaluando los contenidos por unidad	70
Total			100