# Primeros pasos en el modelado de sistemas heterogéneos para movilidad inteligente

Iosu Gómez[a], Unai Díaz de Cerio[a], Jorge Parra[a], Juan M. Rivas[b] y J. Javier Gutiérrez[b]

[a] Sistemas Embebidos Confiables. Ikerlan, Arrasate-Mondragón
[b] Grupo de Ingeniería Software y Tiempo Real, Universidad de Cantabria, Santander
{iosu.gomez, UDiazCerio, JParra}@ikerlan.es, {rivasjm, gutierjj}@unican.es

**Resumen extendido.** En aplicaciones de movilidad inteligente (Smart Mobility), diferentes nodos computadores distribuidos (vehículos y elementos de la infraestructura) colaboran para ejecutar un lazo de control inteligente (con decisiones basadas en inteligencia artificial) en el que hay requisitos de tiempo real. Este es un caso particular de sistema ciberfísico, es decir, un sistema informático que integra las capacidades de computación, almacenamiento y comunicación junto con las capacidades de sensorización y/o control de elementos o dispositivos en el mundo físico, en el que los aspectos de predictibilidad y confiabilidad son cruciales. En este tipo de aplicaciones, es necesario demostrar que la coordinación de las tareas de control distribuido con los algoritmos de inteligencia artificial y los sistemas de percepción avanzada (visión, radar, lidar, etc.) se realiza dentro de los requisitos de tiempo impuestos para asegurar su correcto funcionamiento. Con este concepto de movilidad inteligente también están relacionados otros como la conducción autónoma aplicable a los vehículos o el platooning, que consiste en la circulación de vehículos en grupo con objeto de aumentar la capacidad de transporte en las vías de comunicación (carreteras, ferrocarril u otros espacios).

En este contexto, se propone aportar soluciones al modelado global de estas aplicaciones basadas en cuatro pilares fundamentales:

- Plataformas de cómputo heterogéneas, entendidas como sistemas que contienen diferentes tipos de elementos de procesamiento tales como núcleos de computación convencionales (posiblemente con diferentes capacidades) y otros elementos de procesado paralelo específico como GPUs (Graphics Processing Unit) o NPUs (Neural-Network Processing Unit).
- Particionado tipo ARINC 653 basado en hipervisor que proporciona aislamiento espacial y temporal entre aplicaciones.
- Middleware de comunicaciones centrado en los datos como ROS (Robot Operating System), actualmente en su versión ROS2, que se apoya en el estándar de la OMG DDS (Data Distribution Service for Real-Time Systems).
- Técnicas actuales de modelado, análisis y optimización de sistemas de tiempo real, en particular: el actual metamodelo de MAST 2 que soporta particionado y las nuevas técnicas para el análisis, optimización de la asignación de prioridades, asignación de ventanas a particiones, y asignación de tareas a procesadores que son aplicables a sistemas distribuidos de tiempo real particionados con flujos complejos (tipo DAG, Directed Acyclic Graph).

En esta primera aproximación, se ha hecho una revisión de las técnicas existentes actualmente para predecir el comportamiento temporal de las GPUs, llegando a la conclusión de que no hay un modelo claro de este comportamiento, y de que es muy dependiente de la configuración del uso de la memoria y de la aplicación y el hardware concreto que se utilice. Así pues, a falta de ese modelo interno de las GPUs, su integración en las técnicas de análisis de tiempos de respuesta convencionales para sistemas distribuidos debe pasar por la definición de patrones de uso y del modelado de algoritmos concretos sobre plataformas específicas. Se puede tomar la GPU como caja gris en la que se calculan los tiempos de ejecución en situaciones particulares y se define el modelo de interacción con la CPU. Como algoritmos concretos a modelar se proponen inicialmente los que se usan en dos tipos de aplicaciones: (1) sistemas ferroviarios de operación autónoma (ATO, Automatic Train Operation) que se encargan de automatizar la operación de un tren, y en los que se trata de optimizar el consumo energético, confort y puntualidad mediante diferentes algoritmos de inteligencia artificial, y (2) sistemas de percepción artificial para conducción autónoma aplicables en sectores como el ferroviario, el de automoción o el de la industria en general. Teniendo modelados estos aspectos de la plataforma se continuará con el modelado del middleware ROS apoyado en trabajos previos realizados para DDS.

**Palabras clave**: modelado, movilidad inteligente, sistemas ciberfísicos, sistemas distribuidos, tiempo real, análisis de planificabilidad.

Este trabajo ha sido financiado en parte por MCIN/ AEI /10.13039/501100011033/ FEDER “Una manera de hacer Europa” a través de los proyectos PID2021-124502OB-C42 y PID2021-124502OB-C44 (PRESECREL).