



Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones

Programas de Maestría y Doctorado en Ingeniería Telemática
Seminario de Investigación

Simulación de rutas en sistemas integrados de transporte público mediante computación paralela en entornos IoT

Juan Pablo Ruiz Rosero
Estudiante de Doctorado
Octubre 2 de 2015

1. Desarrollo de firmware con capacidad Plug and Play en entornos IoT

Hoy en día dentro de las aplicaciones del Internet de las Cosas (IoT), las redes de sensores inalámbricas (WSN) ofrecen la capacidad de medir, inferir y entender las variables de diversos ambientes[1]. Los sensores empleados en éstas redes entregan el resultado de la medición de las diferentes variables en salidas análogas o digitales [2]. Estas salidas son procesadas por un microcontrolador el cual se encarga de decodificarlas y multiplexarlas [3]. Dicha decodificación se realiza mediante una serie de librerías específicas, previamente cargadas en un firmware, para cada uno de los sensores utilizados.

En la actualidad es necesaria una librería específica para cada tipo y/o maraca de sensor. A pesar de que existen estándares internacionales como IEEE 1451 para conectar diferentes transductores (sensores y actuadores) bajo un mismo protocolo [4], no existe una gran cantidad de productos comerciales que se ajusten completamente a éste estándar, debido a que éste protocolo requiere un hardware más potente dentro del sensor para su implementación [5], [6]. Debido a esto, se hace necesario modificar el firmware de un microcontrolador para que éste pueda manejar un nuevo sensor, lo cual puede demandar una gran trabajo [7]. Por esta razón, se propuso como proyecto de doctorado diseñar una aproximación para el desarrollo de firmware con capacidad de conectar sensores Plug and Play para entornos IoT. A pesar del crecimiento exponencial de artículos científicos indexados que tratan temas sobre el IoT (ver Figura 1a) y el crecimiento de artículos sobre diferentes tipos de arquitecturas para esta temática (ver Figura 1b), el crecimiento de publicaciones científicas sobre elementos reconfigurables para entornos IoT no es muy significativo (ver Figura 1c).

Las información encontrada en la búsqueda del estado del arte y expuesta aquí, muestra que pese a que se encontró un nicho de investigación en esta área, existen fuertes razones que indican que a pesar de que existe un protocolo para dar capacidades Plug and Play a dispositivos dentro de entornos IoT, su implementación no es factible y los intentos por realizar una investigación que busque mejorar o adaptar este protocolo, son muy escasos, pues no hay razones suficientes que motiven a realizar nuevas investigaciones en el tema. Esta falta de interés, existe porque los dispositivos IoT se han convertido, con el paso del tiempo, en elementos de muy bajo costo [1], por

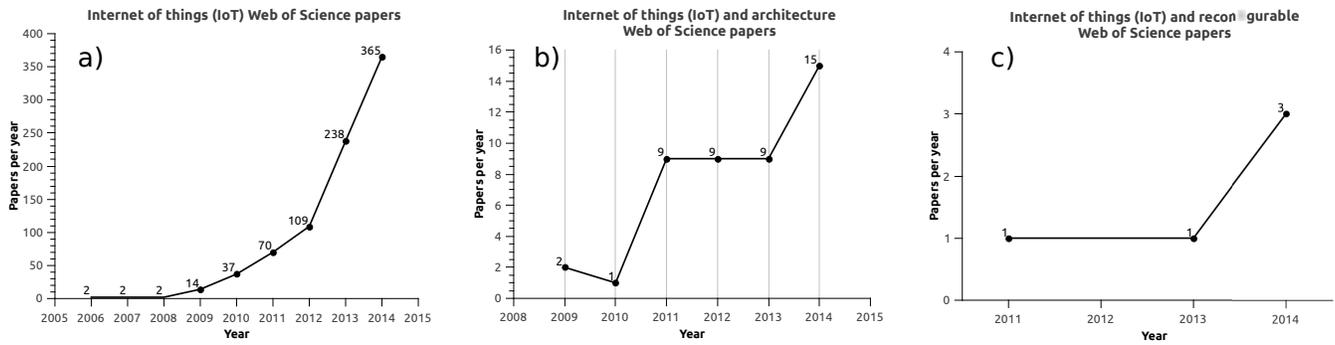


Figura 1: Crecimiento de artículos indexados en Web of Science en el campo del Internet de las Cosas (IoT). a) IoT, b) IoT y arquitectura y c) IoT y reconfiguración

lo cual es más eficiente reemplazar un dispositivo completo de bajo costo con un nuevo sensor, que tener un dispositivo de un alto costo el cual tenga la capacidad de Plug and Play para conectar un nuevo sensor.

2. El internet de las cosas (IoT)

El Internet de las Cosas (IoT) es definido como: “Interconnection of **sensing and actuating devices** providing the ability to **share information** across platforms through a **unified framework**, developing a common operating picture for enabling innovative applications. This is achieved by seamless **ubiquitous sensing**, data analytics and information representation with Cloud computing as the unifying framework.” [1]

Las redes de sensores inalámbricas (WSN) dentro la IoT, ofrecen la capacidad de medir, inferir y entender las variables de ambientes urbanos, industriales, de transporte y hasta de seguridad nacional, entre otros [1]. Del mismo modo, gracias a las tecnologías inalámbricas abiertas como el Bluetooth, RFID, WiFi y las redes celulares; así como a los nodos sensores y actuadores conectados a estas redes; la IoT se encuentra al borde de transformar el actual Internet estático en un futuro Internet totalmente integrado [8]. Dentro de estas iniciativas se destacan dos tendencias:

- Distributed and cloud computing: from parallel processing to the internet of things [?]
- Smart cities - Collaborative sensing [?]

3. Computación distribuida, en el IoT

El IoT permitirá que los microcontroladores se encuentren en todas partes, como por ejemplo dentro de las pinturas de las paredes. Este tipo de microcontroladores a futuro podrán soportar tareas distribuidas de nuestro computador personal cuando el lo requiera.

4. Ciudades inteligentes

Las ciudades inteligentes contarán con una red de sensores que permitirán tener una fotografía fiel del comportamiento del tráfico. Actualmente, los dispositivos móviles como los smartphones alertan sobre el estado actual del tráfico. Igualmente, muchos de los sistemas integrados de transporte público, cuentan con plataformas que les permite a los operadores conocer el estado actual de cada una de sus unidades.

5. Sistemas integrados de transporte público

Hoy en días existen diferentes sistemas integrados de transporte publico en el mundo, como el Transantiago de Santiago de Chile, el Metro de Rio de Janeiro, el Metroplus de la ciudad de Medellín, y Transmilenio de Bogotá, entre otros. Transmilenio es uno de los sistemas integrados de transporte público más grandes del mundo, que junto al SITP suman más de 8.825 buses (1.636 para Transmilenio y 7.189 para el SITP) [9, 10], con 115.5 Km de vías troncales, más de 140 estaciones y 9 portales, que en conjunto movilizan en promedio más de 2.300.000 pasajeros diarios [11]. Actualmente, ste sistema, cuenta con diferentes pro y contra:

- Pro:
 - Tiempos de movilidad reducidos. 45 min promedio
 - Información en vivo de todo el sistema.
- Contra:
 - Sistema al borde de su capacidad.
 - Un mal manejo de la información disponible.

Al centro de control de Transmilenio, le llega información sobre la ubicación de cada uno de los articulados del sistema. Esta información es utilizada por los operadores con el fin de distribuir de manera eficiente los buses para soportar la demanda por parte de los usuarios. Desafortunadamente, este es un método poco efectivo, ya que cada operador se encarga de al rededor de 80 buses, en donde depende de la experiencia del operador, el correcto y eficiente empleo de sus buses asignados.

6. Simulación de tráfico en un sistema integrado de transporte

La simulación de tráfico, es un método ampliamente usado en las investigaciones para el modelamiento de los SITP, permitiendo a su vez el desarrollo y planeamiento de sus redes [12]. Este tipo de simulaciones maneja tres diferentes modelos: macroscópico, microscópico o mesoscópico [13]. En los modelos de simulación macroscópica se tiende a simular el tráfico como un flujo continuo, utilizando en ocasiones teorías de flujos hidráulicos, sin considerar individualmente a los vehículos [13, 14, 15]. Por su lado, los modelos microcopicos describen el comportamiento de las entidades que componen el flujo de tráfico (los vehículos), así como sus interacciones en detalle [16, 17]. Por su parte, los modelos mesosopicos mezclan elementos de los modelos macroscópicos y

microscópicos en una sola aproximación, describiendo las entidades de tráfico desde un alto nivel y el comportamiento e interacciones de las mismas desde un nivel más bajo [16, 18].

En la actualidad, existen un gran número de herramientas para la simulación de tráfico [19, 12, 15, 13, 16, 20, 21, 22, 23], las cuales tienen en cuenta los diferentes modelos de simulación (macroscópico, microscópico y mesoscópico). Desafortunadamente, estas herramientas de modelamiento se ven limitadas cuando se desea simular el sistema de transporte público completo de una gran ciudad, debido a que los tiempos de procesamiento aumentan de una manera inmanejable al momento de evaluar todas las variables relevantes que se requieren para simular de una manera consistente un sistema integrado de transporte público completo. Del mismo modo, existe diferentes estudios que han generado herramientas para la simulación y asignación óptima de rutas en sistemas de transporte como Transmilenio [24, 25, 26, 27, 28]. Lamentablemente, estos estudios han encontrado que el problema de simulación de este sistema integrado de transporte público es un problema NP-duro de gran escala, por lo cual no es posible la obtención de resultados globales debido al tamaño de los sistemas [24, 27]. El no poder simular de manera consistente todo el sistema integrado de transporte, permite que las simulaciones brinden datos solo para llegar a optimización de recursos locales y no a una optimización global.

Estas herramientas de modelamiento se ven limitadas cuando se desea simular un sistema de transporte público completo de una gran ciudad. Diferentes estudios han encontrado que el problema de simulación de sistema integrado de transporte público es un problema NP-duro de gran escala, por lo cual no es posible la obtención de resultados globales debido al tamaño del sistema [24, 27]. Este tipo de simulaciones, solo permiten la optimización de recursos locales y no una optimización global.

7. Preguntana de investigación

¿Cómo simular la asignación de rutas de un sistema integrado de transporte público mediante computación distribuida en entornos IoT?

8. Hipótesis

Diseñar un entorno de simulación que emplee la capacidad de la computación distribuida (o computación paralela) que brindan los entornos IoT, para la simular la asignación de rutas en sistemas integrados de transporte público.

9. Objetivos

9.1. Objetivo General

Diseñar un sistema de simulación de rutas en sistemas integrados de transporte público mediante computación paralela en entornos IoT

9.2. Objetivos Específicos

- Realizar un estudio sobre las variables relevantes que brinda el IoT para la simulación de sistemas integrados de transporte público.
- Diseñar un módulo de simulación de variables determinantes que permitan modelar de una manera consistente un sistema integrado de transporte público.
- Validar el módulo de simulación con los datos de un sistema integrado de transporte público.

Bibliografía

- [1] Jayavardhana Gubbi, Rajkumar Buyya, Slaven Marusic, and Marimuthu Palaniswami. Internet of things (iot): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7):1645–1660, 2013.
- [2] J.G. Webster and H. Eren. *Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook, Second Edition: Spatial, Mechanical, Thermal, and Radiation Measurement*. Measurement, instrumentation, and sensors handbook. Taylor & Francis, 2014.
- [3] W. Dargie and C. Poellabauer. *Fundamentals of Wireless Sensor Networks: Theory and Practice*. Wireless Communications and Mobile Computing. Wiley, 2010.
- [4] E.Y. Song and K. Lee. Understanding iec 1451-networked smart transducer interface standard - what is a smart transducer? *Instrumentation Measurement Magazine, IEEE*, 11(2):11–17, April 2008.
- [5] C Emmanouilidis, S Katsikas, and C Giordamli. Wireless condition monitoring and maintenance management: A review and a novel application development platform. In *Proceedings of the 3rd World Congress on Engineering Asset Management and Intelligent Maintenance Systems Conference (WCEAM-IMS 2008)*, pages 27–30, 2008.
- [6] Ángel Asensio, Álvaro Marco, Rubén Blasco, and Roberto Casas. Protocol and architecture to bring things into internet of things. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2014, 2014.
- [7] A. El Kouche, H.S. Hassanein, and K. Obaia. Wsn platform plug-and-play (pnp) customization. In *Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP), 2014 IEEE Ninth International Conference on*, pages 1–6, April 2014.
- [8] Lu Yan, Yan Zhang, Laurence T Yang, and Huansheng Ning. *The Internet of things: from RFID to the next-generation pervasive networked systems*. CRC Press, 2008.
- [9] TRANSMILENIO S.A. El sitp en camino al 100
- [10] El Tiempo. Transmilenio aumentará la flota de buses para evitar retrasos en rutas, 2014.
- [11] Jaime García. Coyuntura/ transmilenio hacia el futuro, Septiembre 2014.
- [12] G Kotusevski and KA Hawick. A review of traffic simulation software. 2009.
- [13] Wilco Burghout and Johan Wahlstedt. Hybrid traffic simulation with adaptive signal control. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2015.
- [14] Ch Buisson, JP Lebacque, and JB Lesort. Strada, a discretized macroscopic model of vehicular traffic flow in complex networks based on the godunov scheme. In *CESA'96 IMACS Multiconference: computational engineering in systems applications*, pages 976–981, 1996.
- [15] Wilco Burghout. Mesoscopic simulation models for short-term prediction. *Royal Institute of Technology*, 2005.
- [16] Ramachandran Balakrishna, Constantinos Antoniou, Moshe Ben-Akiva, Haris Koutsopoulos, and Yang Wen. Calibration of microscopic traffic simulation models: Methods and application. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2015.
- [17] Vincenzo Punzo and Antonino Tripodi. Steady-state solutions and multiclass calibration of gipps microscopic traffic flow model. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2015.

- [18] Tom Van Woensel and Nico Vandaele. Modeling traffic flows with queueing models: a review. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 24(04):435–461, 2007.
- [19] Martin Fellendorf and Peter Vortisch. Validation of the microscopic traffic flow model vissim in different real-world situations. In *Transportation Research Board 80th Annual Meeting*, 2001.
- [20] R.C. Bu. *Simulación: un enfoque práctico*. Ingeniería industrial. Limusa, 1994.
- [21] Qi Yang, Haris Koutsopoulos, and Moshe Ben-Akiva. Simulation laboratory for evaluating dynamic traffic management systems. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1710):122–130, 2000.
- [22] R Jayakrishnan, Cristian E Cortes, Riju Lavanya, and Laia Pagès. Simulation of urban transportation networks with multiple vehicle classes and services: Classifications, functional requirements and general-purpose modeling schemes. In *TRB 2003 Annual Meeting*, 2003.
- [23] Ana LC Bazzan and Franziska Klügl. A review on agent-based technology for traffic and transportation. *The Knowledge Engineering Review*, 29(03):375–403, 2014.
- [24] M Valbuena and D Hidalgo. *Propuesta metodológica para la evaluación de rutas del sistema TransMilenio*. PhD thesis, Tesis Magíster Ingeniería Civil, Universidad de los Andes, Bogotá, 2002.
- [25] D Arana, A Medaglia, and F Palacios. Herramienta para el diseño óptimo de la red de rutas en sistemas de transporte masivo con aplicación a transmilenio sa. *Memos de Investigación. IIND*, 26, 2004.
- [26] Sergio Duarte, David Becerra, and Luis Fernando Niño. Un modelo de asignación de recursos a rutas en el sistema de transporte masivo transmilenio a model for resource assignment to transit routes in bogota transportation system transmilenio. *Avances en Sistemas e Informática*, 5(1):163–171, 2008.
- [27] Miguel Ángel Ortiz and Juan Pablo Bocarejo. Transmilenio brt capacity determination using a microsimulation model in vissim. In *Transportation Research Board 93rd Annual Meeting*, number 14-5116, 2014.
- [28] Antonio Jiménez Martín, Alfonso Mateos Caballero, and Francisco J Peña Escobar. A first approach to the optimization of bogotá’s transmilenio brt system. 2013.