

Smart parking prototype with IoT for a university campus

Juan Pablo Francisco Posadas Durán Ph D¹, Federico Felipe-Duran E², and Miguel Sánchez Meras MsC¹
¹Instituto Politécnico Nacional, México, ffelipe@ipn.mx, mmerzs@ipn.mx, jposadas@ipn.mx

Abstract– A Smart City is a place where people could live in a better way because the city has services and infrastructure to improve quality of life of their citizens. A Smart City must develop many aspects, one of them is urban mobility. In this paper we present a Smart Car Parking System for an Academic Campus in Mexico City. The car parking has the next features, can display a signal if a slot is free, a user can reserve a slot using a cellular app, a QR system access to the car parking. The system uses a LoRA network to communicate information. Each slot has a sensor managed for an Arduino SBC, Arduino uses LoRA to send data to a Raspberry computer that works as server. The Raspberry server allows user's connections from cellular phones to check availability at the parking car o to make reservations

Keywords-- *Smart City, IoT, Urban Mobility, Raspberry, App.*

<p>Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LEIRD). ISSN, ISBN: (to be inserted by LEIRD). DO NOT REMOVE</p>
--

Smart parking prototype with IoT for a university campus

Juan Pablo Francisco Posadas Durán Ph D¹, Federico Felipe-Duran E¹, and Miguel Sánchez Meras MsC¹

¹Instituto Politécnico Nacional, México, ffelipe@ipn.mx, mmmerz@ipn.mx, jposadas@ipn.mx

Abstract— *A Smart City is a place where people could live in a better way because the city has services and infrastructure to improve quality of life of their citizens. A Smart City must develop many aspects, one of them is urban mobility. In this paper we present a Smart Car Parking System for an Academic Campus in Mexico City. The car parking has the next features, can display a signal if a slot is free, a user can reserve a slot using a cellular app, a QR system access to the car parking. The system uses a LoRA network to communicate information. Each slot has a sensor managed for an Arduino SBC, Arduino uses LoRA to send data to a Raspberry computer that works as server. The Raspberry server allows user's connections from cellular phones to check availability at the parking car o to make reservations.*

Keywords-- *Smart City, IoT, Urban Mobility, Raspberry, App.*

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente la mayoría de las personas en el mundo vive en ciudades. Según datos de la Organización de las Naciones Unidas, alrededor del sesenta por ciento de la población del mundo vive en una de ellas [1]. A raíz de esta situación se ha creado una política a nivel mundial llamada Ciudades Inteligentes (Smart Cities) que tiene como meta tecnológica analizar problemas en las ciudades modernas, así como diseñar, planificar y construir soluciones que hagan la vida más agradable en modelos sostenibles a largo plazo. Los gobiernos nacionales y locales, Centros de Investigación, Universidades, Organizaciones Internacionales y gente común se han enfocado y en muchos casos colaborado para lograr la meta de tener Ciudades Inteligentes.

Algunas organizaciones internacionales que han creado grupos de trabajo sobre Ciudades Inteligentes son la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU), el Instituto de Ingenieros Electrónicos y Electricistas (IEEE) y la Organización Internacional de Estándares (ISO), muchos de sus enfoques se cruzan, pero cada organización le da mayor peso a ciertos temas de acuerdo a los fines con los que se creó la Organización. Si bien no existe una definición universalmente aceptada de Ciudad Inteligente las principales áreas de interés que se abordan son el manejo de energía, la movilidad urbana, manejo de agua y basura, medio ambiente, salud, educación y gobiernos digitales. Mejorar alguno de esas características impacta de una u otra forma en las otras áreas, por ejemplo, un trámite de gobierno que se vuelva digital y se realice en línea

evita tiempos de traslado y en consecuencia disminuye la necesidad de movilidad, reduce la contaminación entre otras cosas [2].

Las tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC's) juegan un papel sumamente importante en una Ciudad Inteligente. Las TIC's dan un soporte fundamental a las acciones y políticas que se dan en una Ciudad moderna, por ejemplo, cuando se reporta algún accidente de tránsito se comunica a la policía y a los servicios de emergencia el lugar y características del evento, las personas se pueden enterar del lugar del accidente y evitarlo para no tener retrasos en su desplazamiento. La Figura 1 presenta una avenida congestionada en la Ciudad de México.



Fig. 1 Avenida congestionada Ciudad de México

Otra tecnología que se incorpora de forma importante en las Ciudades Inteligentes es el Internet de las Cosas (IoT), los sistemas o nodos de IoT están incrustados en muchos dispositivos como automóviles, televisiones inteligentes, sistemas de aire acondicionado, su comunicación por Internet con servidores que pueden almacenar datos obtenidos durante su operación abren muchas oportunidades para el análisis y toma de decisiones tanto de gobiernos como de empresas privadas, una aplicación importante es para agilizar la movilidad urbana en las ciudades ya que puede reportar mucha información valiosa para los conductores de los automóviles o bien para las personas encargadas de la supervisión y operación del tráfico ciudadano [3].

La Unidad Profesional Adolfo López Mateos, del Instituto Politécnico Nacional, es un campus universitario donde diariamente conviven alrededor de veinte mil estudiantes de nivel licenciatura y postgrado.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LEIRD).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LEIRD).
DO NOT REMOVE

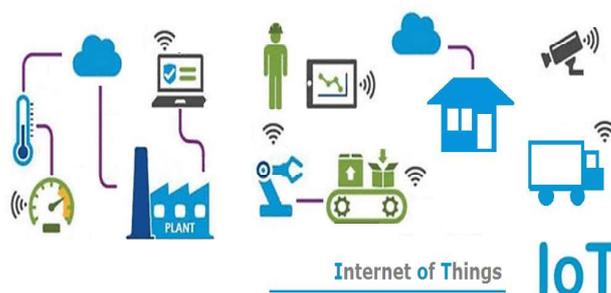
También acuden cerca de mil empleados administrativos, dos mil profesores y una cantidad no estimada de visitantes a actividades culturales, deportivas o bien para realizar diversos trámites. El campus es conocido coloquialmente como Zacatenco y es en la práctica una pequeña ciudad con sus propios problemas de tráfico, contaminación del aire o ruido ambiental. Si se toma en cuenta que el parque vehicular de aproximadamente dos millones de unidades en el año mil novecientos ochenta a cincuenta millones en la actualidad se comprenderá que el Campus Zacatenco tiene sus propios problemas de movilidad urbana.

En este proyecto se ha desarrollado un sistema inteligente para administrar un estacionamiento de automóviles para mejorar la movilidad urbana en el Campus Zacatenco. Un usuario del estacionamiento podrá reservar un cajón vía Internet, de forma que pueda ir directamente al cajón, el usuario también puede consultar la disponibilidad de cajones para evitar pérdidas de tiempo buscando un lugar disponible.

II. CONCEPTOS BÁSICOS

Los sistemas de Controladores Lógicos Programables se diseñaron para controlar procesos industriales utilizando una computadora en líneas de ensamblado y producción o bien dispositivos robóticos. Los PLC's fueron diseñados para reemplazar relevadores conectados de forma lógica. Sin embargo los PLC's tienen sus propios protocolos y lenguajes de programación que con el tiempo se han vuelto costosos. Con el desarrollo de las Computadoras de Placa Reducida, (SBC) los costos de construir nodos inteligentes, tanto para procesos industriales, como para insertarlos en dispositivos se ha vuelto muy atractivo, tanto por el bajo costo de construcción como la flexibilidad y potencia que el acceso a Internet que tiene un nodo IoT [4].

Un sistema IoT tiene sensores conectados a un dispositivo y a una computadora que procesa datos generados en el dispositivo. La computadora puede dar retroalimentación al dispositivo al que está conectado y también enviar información a un servidor por medio de Internet. Los datos en el servidor pueden ser agregados a dispositivos similares o relacionados, de forma que sirven para realizar análisis más detallados del comportamiento global de ese conjunto de dispositivos y en consecuencia tomar decisiones de forma global que permiten al sistema completo tener un mejor desempeño. Tales ecosistemas de dispositivos se han ido creando y proporcionan opciones a los tomadores de decisiones más completas y que permiten políticas integrales en contaminación, seguridad o temas de salud. La Figura 2 muestra sistemas IoT.



Un sistema IoT genérico tiene los siguientes componentes:

- Sensores. Están conectados al dispositivo para recoger información del mismo.
- Identificadores. Permiten conocer la fuente de los datos o dispositivo, así como reconocer a los sensores.
- Software. Para administrar y manejar al dispositivo, también analiza los datos que le proporcionan los sensores a la computadora y en su caso tomar acciones locales. También permite comunicarse con el servidor.
- Conectividad a Internet. Se encarga de enviar información, en ambos sentidos, a un servidor o aplicación de alguna computadora externa.

Las Ciudades Inteligentes deben reunir varias características, aunque ya se mencionó que no existe un criterio universalmente aceptado, tales características se describen a continuación:

- Economía. Se considera a las Tecnologías de la Información y Comunicación disponibles, energía, disponibilidad de agua, infraestructura de salud, infraestructura para la movilidad y servicios digitales de gobierno.
- Medio Ambiente. Aquí se considera a la calidad del aire, niveles de ruido, biodiversidad, calidad del medio ambiente, manejo de basura y de desechos urbanos y la calidad del agua.
- Sociedad y cultura. Se incluye educación seguridad de los bienes y las personas, museos, teatros, galerías de arte y prevención y recuperación ante desastres naturales, ataques terroristas y accidentes de cualquier tipo.
- Energía. Uso de energías limpias y uso inteligente de la electricidad.

Se puede observar que las temáticas se entremezclan y la mejora de alguna de ellas deriva en la mejora de otra o varias más, por ejemplo los servicios bancarios, si varios de ellos son

digitales, pago de servicios como colegiaturas, pago de electricidad, esto implica que los habitantes de la ciudad van a realizar menos desplazamientos, esto impacta en mejora de la movilidad urbana, en la calidad del aire al tener menos movimientos y en la salud de las personas ya que tendrán más tiempo para su descanso y recreación, de la misma forma la actividad económica se mejora porque existe una reducción del consumo de energía lo que se traduce en una mejor aprovechamiento de los recursos económicos [5].

III. DESARROLLO.

El prototipo que se construyó está compuesto por los siguientes módulos, el primero es una etapa de sensado que permite monitorear los cajones del estacionamiento, ya sea que están libres o bien ocupados, en este módulo una computadora de placa reducida Arduino se encarga de manejar la información de los cajones del estacionamiento; el siguiente módulo permite establecer comunicación entre el nodo IoT, propiamente dicho y un servidor, el servidor está alojado en otra computadora de placa reducida, pero en este caso es una Raspberry Pi 3, la comunicación se realiza con el protocolo LoRA. El servidor almacena información de usuarios y de los cajones del estacionamiento, también se encarga de establecer comunicación con una aplicación móvil que los usuarios del estacionamiento tienen para acceder al sistema. La Figura tres muestra los módulos del sistema [6] [7].

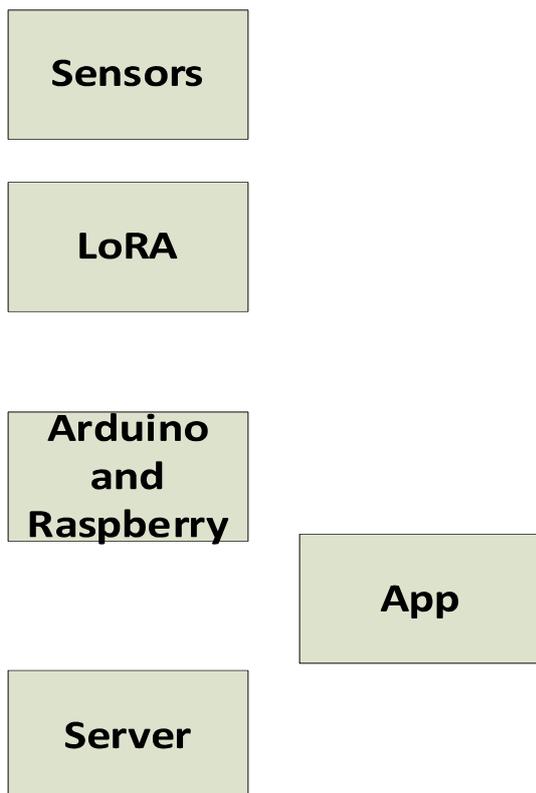


Fig. 3 Módulos del Sistema

Los sensores utilizados para detectar la presencia de automóviles en los cajones fueron de detección de campo magnético Honeywell, cada uno de ellos se conectó a la computadora Arduino y para reportar visualmente la ocupación de los cajones se utilizaron diodos rojos, para el caso de ocupado y verde para marcar cajón vacío. La computadora Arduino utilizada cuenta con catorce puertos digitales de entrada / salida, además cuenta con software disponible para el manejo de los catorce puertos. Las computadoras Arduino y Rapsberry, esta última funciona como servidor, fueron conectadas con el protocolo LoRA para enviar el estatus de los cajones y realizar operaciones vía Internet por medio del servidor. Se utilizaron antenas REYAX RYLR896 configuradas para transmisión punto a punto. Para configurar la transmisión en cada una de las computadoras se utilizaron comandos AT. La Figura 4 muestra las antenas utilizadas.



Fig. 4 Antena LoRa

Para programar la información que se transmite entre ambas computadoras se utilizó el programador FT232RL, la antena instalada en la computadora Arduino en el canal 0 y la antena de la Raspeberry en el canal 1. La figura 5 muestra el código LoRA para conectar las antenas [8] [9].

```

bits = String(acum);
bit_length = bits.length();

String cmd;

cmd = cmd + "AT+SEND=1" + "," + bit_length + "," + bits + "\r\n";
lora.print(cmd);
Serial.print("Send Data: ");
Serial.print(cmd);
  
```

Fig. 5 Software de conexión de las antenas LoRA

EL servidor Raspberry fue configurado con el sistema operativo Linux, Apache como software de servidor, para la

base de datos MySQL y para el desarrollo de la interfaz Web PHP. Se usó una computadora personal para configurar y levantar el software en el servidor. Apache fue instalado tanto en la computadora Raspberry como en la computadora personal y ambas deben estar conectadas a la misma de red de Internet para poder realizar la configuración. También es importante definir a los usuarios y sus privilegios en el servidor para Apache y MySQL [10 [11].

El servidor Raspberry tiene una base de datos para manejar y administrar el estacionamiento inteligente, la base de datos cuenta con tablas para usuarios del estacionamiento, los automóviles y los cajones del estacionamiento, esto último porque el prototipo desarrollado servirá de modelo para todos los estacionamientos con que cuenta el Campus Académico Zacatenco. La Figura 6 muestra la arquitectura de las tablas de la base de datos.



Fig. 6 Base de datos para el estacionamiento

La información que se almacena en la tabla de usuarios corresponde a estudiantes, profesores y personal administrativo ya que por cuestiones internas al Instituto deben manejarse de diferentes maneras, aunque no se haya desarrollado tales diferencias en el prototipo.

En la Raspberry se configuró un servicio Web, para realizar esta tarea se usaron los métodos GET y POST de PHP, de esa forma se conectaron la base de datos con el servidor.

Los usuarios del prototipo pueden realizar diferentes peticiones al sistema, algunas de ellas son automatizadas, pero otras requieren proporcionar datos al sistema. Algunas de las peticiones del usuario son:

- El usuario ocupa un cajón del estacionamiento.
- El usuario desocupa el cajón.
- Alta de un usuario en el sistema
- El usuario reserva un cajón

Para implementar medidas de seguridad al sistema se desarrolló una clave digital de salida con código QR, para ello se utiliza un código QR que se tiene en las credenciales de

estudiantes, profesores y personal administrativo, la herramienta se elaboró de acuerdo al proceso de entrada, para realizar ésta se debe presentar el código QR de la credencial a un lector colocado en la entrada, por medio de software se crea otro código QR que es indispensable presentar a la salida, es diferente al de la credencial, sólo de esta manera se activa el pase de salida del estacionamiento, este nuevo código QR es enviado al teléfono celular del usuario. La Figura 7 muestra un código QR de salida



Fig. 7 Códigos QR para entrar y salir

Los usuarios del sistema tienen como interfaz una aplicación móvil, ellos pueden realizar varias tareas con la aplicación, pueden visualizar el estatus de los estacionamientos, también pueden realizar reservaciones, este proceso es interesante, un usuario realiza la reservación de un cajón y éste queda marcado como ocupado durante una ventana de tiempo, otros usuarios que utilicen la app observaran el cajón como ocupado, físicamente se observara el led rojo encendido por lo que los usuarios que lleguen lo deberán dejar libre, una vez que la ventana de tiempo se cumple y si el usuario no ha llegado se marca como disponible.

La app tiene los siguientes módulos Una página inicial con que comienza la app, otra para realizar altas en el sistema de usuarios, cuando el usuario entra al estacionamiento otra una acción se dispara para actualizar el estatus de los cajones, por último, otra acción se inicia para presentar la disponibilidad de cajones.

La aplicación móvil fue desarrollada utilizando Android Studio, cada vez que se inicia una acción en el sistema se realiza una petición al servidor, esto se desarrolló utilizando Python para crear un script, éste se encarga de realizar una conexión con MySQL para reflejar los cambios que se vayan suscitando.

Debido a la pandemia de COVID 19 no fue posible construir el sistema en un estacionamiento real en alguno de los estacionamientos existentes en el Campus Zacatenco, el prototipo fue creado a escala y los módulos se fueron probando por separado, pero los módulos de software, de comunicación, el servidor y la aplicación móvil si se pudieron probar sin mayores problemas.

El módulo de sensado de automóviles fue instalado, ajustado y probado con automóviles reales, esta tarea es muy importante porque el sensado de ocupación de cajones del estacionamiento es la parte primordial del sistema, sin embargo, el cableado y conexión a la computadora Arduino se realizó a escala. En la Figura 8 se puede observar parte del proceso de prueba y ajuste de los sensores de proximidad.

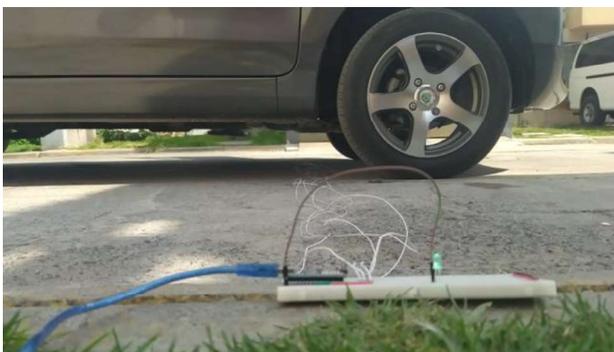


Fig. 8 Pruebas del módulo de sensado

Una vez construida la etapa de sensado se procedió a probar la comunicación punto a punto de las antenas LoRA, las pruebas fueron exitosas y cada vez que se ocupaba, en la simulación, un cajón la comunicación era correcta con el servidor. Se hicieron pruebas activando uno o varios sensores y en todos los casos funcionó correctamente.

La última prueba fue la entrada y salida del estacionamiento inteligente, como ya se mencionó, los usuarios, estudiantes o trabajadores utilizan un código QR de su credencial del Instituto, esto les permite la entrada siempre y cuando estén registrados como usuarios del estacionamiento. Un programa en el servidor Raspberry genera un código de salida diferente para poder activar la puerta de salida. La Figura 9 muestra pruebas exitosas para entrar y salir.

Las pruebas finales, donde se probó el sistema completo también se efectuaron y el sistema trabajó correctamente. Para las pruebas integrales se utilizaron seis sensores de presencia, para la conexión a Internet se utilizó una red local casera, como se mencionó la pandemia de COVID 19 no permitió realizar las pruebas físicamente en el campus, por la misma razón se utilizó conexión punto a punto de la Comunicación LoRA porque una red operativa de este tipo que funciona en Zacatenco no estaba disponible para probarla

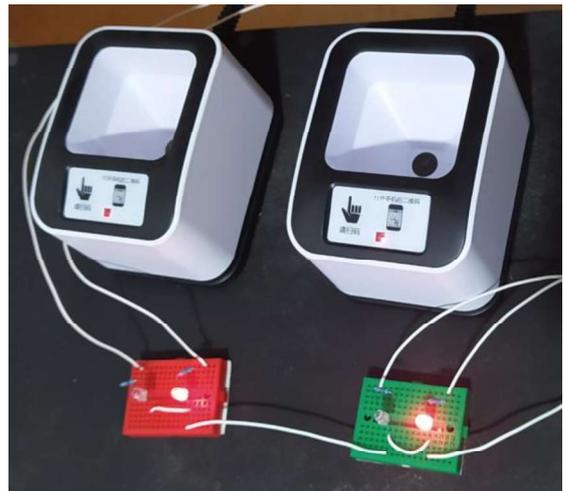


Fig. 9 Prueba de entrada y salida

IV. CONCLUSIONES

El prototipo de estacionamiento inteligente fue construido y probado operacionalmente y brindo resultados satisfactorios. La integración de las tecnologías involucradas fue lograda, la etapa de sensado y conexión a la computadora Arduino es un trabajo de ingeniería electrónica, la ingeniería de comunicación para conectar con protocolos LoRA y de Internet con WiFi también fue satisfactoria, el software de la aplicación móvil, lo programas de administración de Arduino y del servidor Raspberry se integraron correctamente.

Los trabajos futuros son interesantes, un estacionamiento típico del Campus Zacatenco tiene en promedio ciento cincuenta lugares, colocar los sensores, realizar el cableado y configurar una computadora de administración y control es una tarea que requiere utilizar varias computadoras Arduino y con mayor número de puertos de I/O, la conexión a Internet en el campus tiene sus retos, la conexión a la Red LoRA también es una tarea que haría independiente al Sistema.

Por último, se debe desarrollar una aplicación Web en un servidor profesional para tener una interfaz mucho más potente en tal servidor.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan en esta sección la colaboración brindada por los estudiantes Verónica Trejo y Omar quienes implementaron la aplicación como parte de su proceso de titulación en la ESIME Zacatenco. También a los Sistemas de Becas por Exclusividad de la Comisión Organizadora de Fomento a las Actividades Académicas y al Sistema de Estímulo al Desempeño Docente de la Secretaría Académica del Instituto Politécnico Nacional de México. También a la Secretaría de Investigación y Postgrado porque este trabajo se deriva de las actividades del proyecto de investigación

“Gestión de movilidad en un Campus Inteligente”, clave 20220602.

REFERENCIAS

- [1] United Nations Organization, Desafios Globales, “Población”, 25 July 2022, New York, USA, 2022. <https://www.un.org/es/global-issues/population>
- [2] Institute of Electrical and Electronics Engineers, “What makes a city smart”, 25 July 2022, USA, 2022. https://smartcities.ieee.org/images/files/pdf/IEEE_Smart_Cities-Flyer_Nov_2017.pdf
- [3] A. Rayes, S. Salam, “Internet of Things From Hype to Reality”, Second Edition, 2019, Springer Natures, Switzerland, pp 2-22.
- [4] S. Suk-Hwan, K. Seong, Ch. Dae-Hyuk, I. Stroud, “Theory and Design of CNC Systems”, Springer-Verlag, USA, 2008, pp 229-269.
- [5] A. Ermolaev, Ch. Lee, “Implementing ITU-T International Standards to Shape Smart Sustainable Cities”, ITU, 2019, pp 13-22
- [6] S. Monk, “Programming the Raspberry Pi: Getting Started with Python”, 1st Edition, Union Kingdom, 2013.
- [7] S. Monk, “Programming Arduino Getting Started with Sketches”, 2nd Edition, Union Kingdom, 2016.
- [8] REYAX, “LoRAAT commnad guide”, <https://reyax.com/products/rylr896/>
- [9] REYAX, “RYL896 UART Interface 868/915 Mhz LoRA datasheet”, <https://reyax.com/products/rylr896/>
- [10] R. Petersen, “Linux Manual de Referencia”, Sexta edición, McGraw-Hill interamericana, Spain, 2008.
- [11] Apache Software Foundation, “Manual de referencia”, 2022, <https://httpd.apache.org/docs/2.2/>
- [12] H. Garcia-Molina, J. Ullman, J. Widom, “Database Systems: The Complete Book”, <http://infolab.stanford.edu/~ullman/dscb.html>