

Recolección y clasificación automática de desechos reciclables

Carlos E. Mejía , Christian Llivisaca , Fabián Astudillo-Salinas , Andrés Vázquez-Rodas 

Escuela de Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad de Cuenca, 12 de Abril S/N, Cuenca, Ecuador.

Autores para correspondencia: fabian.astudillos@ucuenca.edu.ec, andres.vazquezr@ucuenca.edu.ec

Fecha de recepción: 25 de agosto de 2017 - Fecha de aceptación: 29 de septiembre de 2017

ABSTRACT

This paper describes a Smart City garbage collection and classification system, especially suitable for big cities. The traditional collection of garbage is based on pre-established schedules and routes, independent of the real level of garbage in the collection containers. This translates into unnecessary expenses for municipal garbage collection services because they could visit places where the containers are not full, resulting in a loss of time, fuel, among other costs. Considering the type of waste during collection might create additional opportunities, such as facilitating the reuse of waste. The use of containers equipped with sensors that measure the fill level and sending this information wireless to a server in the Internet cloud, besides a container specific filling system that allows the differentiation between types of waste materials, are explained. Furthermore, the manuscript provides a synoptic description of the needed sensors and software.

Keywords: Garbage collection, containers, internet cloud, ThingSpeak, Matlab, heuristic, garbage classification, CSP¹.

RESUMEN

Este documento describe un sistema de recolección y clasificación de basura para una Ciudad Inteligente. La recolección de basura tradicional está basada en horarios y rutas pre-establecidas, independientemente del nivel real de basura en el conjunto de contenedores. Esto se traduce en gastos innecesarios para los servicios municipales de recolección de basura porque podrían visitar lugares donde los contenedores no están llenos, lo que resulta en una pérdida de tiempo, combustible, entre otros costos. Teniendo en cuenta el tipo de residuo durante la recolección, podría crear oportunidades adicionales, como facilitar la reutilización de los desechos. En el presente artículo, se explica el uso de contenedores equipados con sensores que miden el nivel de llenado y el envío de esta información de forma inalámbrica a un servidor en la nube de Internet, además de un sistema de llenado específico de contenedores, que permite la diferenciación entre los tipos de materiales de desecho. Además, el manuscrito proporciona una descripción sinóptica de los sensores y el software necesarios.

Palabras clave: Recolección de basura, contenedores, nube de internet, ThingSpeak, Matlab, heurística, clasificación de basura, CSP¹.

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo actual de todas las ciudades modernas es el de mejorar la calidad de vida de sus ciudadanos y el nivel de satisfacción de sus turistas y visitantes. Las denominadas Ciudades Inteligentes hacen uso de las tecnologías de información y comunicación actuales para alcanzar estas metas. El desarrollo urbano se está volviendo cada vez más dependiente del uso efectivo de servicios inteligentes (Wenge,

¹ CSP: Content Security Policy

Zhang, Dave, Chao, & Hao, 2014). Muchas son las ciudades a nivel mundial que tienen grupos de trabajo y proyectos orientados a la implementación del paradigma de Ciudad Inteligente (Gil-Castineira *et al.*, 2011; Madakam & Ramaswamy, 2015; Herrera-Quintero, Jalil-Naser, Banse, & Samper-Zapater, 2015; Paradells, Gomez, Demirkol, Oller, & Catalan, 2014; Lin, Quan, Zhang, & Huang, 2015; Ambrosch, Dado, Janota, & Spalek, 2015; Cheng, Longo, Cirillo, Bauer, & Kovacs, 2015; Pla-Castells, Martinez-Dura, Samper-Zapater, & Cirilo-Gimeno, 2015). El Municipio de Cuenca se encuentra también definiendo las pautas que se seguirán para llevar a nuestra ciudad a ser una “ciudad inteligente”. Entre otras, las mejoras más comunes se enfocan en: movilidad, transporte público, aplicaciones destinadas al turismo, servicios de emergencia, etc. Definitivamente se pueden realizar un sin número de aplicaciones centradas en la búsqueda de mejorar el diario vivir de las personas.

En la actualidad se proponen muchos avances tecnológicos en el área del Internet de las Cosas (IoT) (Fujdiak, Masek, Mlynek, Misurec, & Olshannikova, 2016). La mayor ventaja de los sistemas basados en IoT es la cooperación de las diferentes tecnologías de comunicación y dispositivos dentro de un sistema funcional, donde la mayoría de información y datos son compartidos de forma autónoma, segura e inteligente. En este contexto, uno de los temas más relevantes es la sostenibilidad y el medio ambiente, tal es su importancia, que se realizan cumbres y tratados internacionales con fin de establecer un control sobre la contaminación que los países generan (Salcedo, 2008). En Thakker & Narayanamoorthi (2015) se menciona que todo proceso de modernización tiene una desventaja y uno de los aspectos principales que preocupa a los gobiernos es la contaminación. Además, Kumar, Vuayalakshmi, Prarthana, & Shankar (2016) establece que para una nación en desarrollo el factor ecológico es uno de los más influyentes, ya que estos presentan una amenaza al proceso de desarrollo. Esto, debido a que la contaminación tiene posteriores efectos en la salud pública, el calentamiento global, la proliferación de virus y enfermedades, etc.

Debido al constante crecimiento de la población, especialmente en zonas urbanas, surge la problemática de cómo manejar de manera óptima los desechos orgánicos y reciclables que se generan diariamente. Los autores en Borozdukhin, Dolinina, & Pechenkin (2016) resaltan el hecho de que la mayoría de las empresas municipales manejan la eliminación de residuos a través de horarios y rutas preestablecidas. Con esto surge la problemática que se busca dar solución en el presente trabajo. Específicamente, se pretende evitar situaciones en las que los camiones recolectores de basura realizan sus recorridos por contenedores que están a medio llenar o en el peor de los casos vacíos. El objetivo es reducir el desperdicio de tiempo y recursos que implica una recolección no eficiente de desechos, con el impacto económico resultante para las empresas de recolección. Como complemento a la recolección eficiente, está la clasificación adecuada de los desechos, que es un aspecto fundamental debido a que el reciclaje genera un impacto positivo al cambio climático. Los residuos pueden ser reutilizados y de esta forma se reduce la contaminación.

Saravana, Sasi, Ragavan, & Balakrishnan (2016) resalta la importancia y relevancia del reciclaje con el soporte en los avances tecnológicos para una sociedad sostenible. Establece que, actualmente, existen grandes instalaciones para la separación manual de la basura. Por otra parte, y debido a la existencia de una gran variedad de materiales, los consumidores pueden confundirse en cómo realizar una correcta clasificación, lo cual acarrea más problemas que soluciones al sistema global de clasificación de residuos. Por su parte, Novelle & Salmador (2008) establecen la necesidad de reducir la participación humana en la limpieza. Lo que se pretende es que robots reduzcan la carga de trabajo del ser humano, especialmente en ambientes hostiles.

El ritmo acelerado de crecimiento poblacional y una demanda apremiante para la protección del medio ambiente crean un marco difícil para la gestión de residuos. Esto se traduce en un problema prioritario para los gobiernos municipales. Yang & Thung (2016) indican que la inmensa mayoría de residuos terminarán por ser depositados en vertederos o incinerados y sólo un pequeño porcentaje será destinado al reciclaje. Por lo tanto, es una prioridad la utilización de tecnología y redes de comunicaciones con el fin de incrementar el porcentaje de desechos reutilizados.

Los aspectos mencionados anteriormente establecen una justificación del por qué buscar un sistema de clasificación automática de desechos, pues este actuaría como complemento e incentivo para conducir a la población hacia una cultura del reciclaje. En este contexto, se implementaron en la ciudad de Pekín máquinas que recompensan a los usuarios con dinero para el transporte en tren como

incentivo al reciclaje (Ecosfera, 2013). Específicamente, los usuarios reciben dinero a cambio de botellas de plástico, incitando de esta manera a la población a hacer conciencia de los desechos que generan. Bajo estas premisas, el presente trabajo propone un método para minimizar los recursos empleados en la recolección de desechos urbanos, satisfaciendo las necesidades de los usuarios y colaborando, al mismo tiempo, a la conservación del medio ambiente. Se considerarán contenedores de gran capacidad distribuidos en distintos sectores de la ciudad. Cada contenedor constará de tres sistemas, uno para medir su nivel de llenado, otro con la capacidad de clasificar los materiales ingresados y finalmente un sistema de comunicación inalámbrica. El contenedor enviará periódicamente información de su estado (localización, nivel de llenado) por la red municipal pública de Internet (IEEE 802.11b). Esta información será procesada para obtener la capacidad disponible del contenedor y determinar si necesita ser vaciado, además, con base a la información global, se establece la ruta óptima que tome en cuenta solo los contenedores que sobrepasan el umbral de capacidad con el fin de ahorrar tiempo y recursos. Finalmente, debido a que los desechos se encuentran separados en base al tipo de material (plástico, vidrio, cartón, etc.), las empresas que lo requieran podrán ser informados, reduciendo aún más los costos de recolección.

2. TRABAJOS RELACIONADOS

En cuanto al tema de basureros inteligentes podemos citar a Joshi *et al.* (2016) y Kumar, Vuayalakshmi, Prarthana, & Shankar (2016). El primero plantea un basurero inteligente para ciudades, que consiste en contenedores con hardware basado en un microcontrolador y un sensor infrarrojo. Los datos son enviados mediante un módulo GPRS. Kumar *et al.* (2016) plantean una solución similar. La diferencia radica en que en este trabajo se usa tags RFID² para verificar y controlar a los vehículos recolectores. Los vehículos también tienen un módulo GPRS³; además, se usan aplicaciones móviles para la monitorización de los contenedores y la implementación de un servicio en la nube llamado ThingSpeak⁴ para almacenar los datos.

Para el proceso de recolección, no solamente se requiere de basureros inteligentes sino también la optimización de rutas. Fujdiak *et al.* (2016) implementa un algoritmo genético para dar respuesta al problema de la optimización de rutas. El algoritmo propuesto es complejo y requiere una importante capacidad de cómputo; sin embargo, mediante la aplicación de este algoritmo los autores consiguieron un ahorro importante de recursos, comparándolo con un sistema de rutas preestablecidas. El problema de la optimización de rutas es parecido al problema del Agente Viajero, el cual requiere visitar todos los puntos de interés, minimizando la distancia y sin repetir la ruta. Una posible solución es la heurística del vecino más cercano, si bien se encuentra una solución rápida, no se garantiza que esta sea la óptima, por lo que no cumple con los requerimientos del problema. Otra solución que cumple con los requerimientos es la búsqueda a profundidad a un mayor costo computacional. En Chávez, Moreno, & Peralta (2014) se establece que es difícil realizar un análisis de un algoritmo para determinar la cantidad exacta de tiempo que este requiere para ser ejecutado, porque depende en gran parte del algoritmo y del ordenador en donde está siendo ejecutado el algoritmo, pero una vez que se cuenta con un algoritmo que funciona de manera idónea, es necesario definir los criterios que permitan medir su rendimiento o comportamiento. Estos deben considerar el uso eficiente de los recursos y la simplicidad del algoritmo.

Otro aspecto importante dentro del proceso de recolección de desechos es la clasificación de éstos, Thakker & Narayanamoorthi (2015) proponen un método pos-recolección en el que se establece fases de identificación y clasificación para la generación de energía eléctrica a través de biogás. En general, las siguientes propuestas buscan realizar la clasificación de desechos mediante el reconocimiento de imágenes. Los autores Saravana *et al.* (2016) proponen usar una webcam con el fin de extraer tres patrones: color (R, G, B), tamaño y textura. Novelle *et al.* (2008) plantean un sistema de

² RFID: Radio-Frequency Identification

³ GPRS: General Packet Radio Services

⁴ ThingSpeak: Plataforma abierta de aplicaciones, diseñada para permitir conectar personas con objetos

reconocimiento por imágenes que son adquiridas usando una webcam. La idea es entrenar un software para que reconozca ciertos objetos. El tipo de material a clasificar es metal, vidrio, plástico y papel. La clasificación está centrada en reconocer la forma del objeto, utilizando métodos de procesamiento de imágenes genéricos, como, por ejemplo, la detección de fronteras (algoritmo de Canny⁵). Yang & Thung (2016) clasifica los desechos usando el algoritmo SIFT⁶. Este algoritmo procesa la imagen con un filtro gaussiano con el fin de clasificar la forma del objeto. Se toma un lote de imágenes obtenidas en la web como conjunto de entrenamiento para la red neuronal, conocida como SVM (*Support Vector Machine*). Los autores obtuvieron una efectividad en general del 63%. Finalmente, Torres, Rodea, Longoria, Sánchez, & González (2015) proponen un algoritmo en el que se convierta la imagen obtenida a binario. Aunque este algoritmo está restringido a tres tipos de objetos (botellas de plástico, cubiertos de plástico y lata de aluminio), se obtuvo una eficacia del 98%; sin embargo, se requiere de un alto costo computacional.

En el presente proyecto se propone una clasificación basada en sensores capacitivos. Se busca clasificar el objeto por su compuesto, el compuesto tiene un valor dieléctrico que varía para metal, plástico, madera, etc. Los sensores capacitivos e inductivos reaccionan al dieléctrico, éste es diferente para cada material, con lo cual se podría diferenciar los materiales que son censados. Se propone implementar un sistema que detecte el objeto por su composición, mas no por su forma. A diferencia de los trabajos mencionados previamente, que realizan la clasificación pos-recolección, este proyecto plantea la clasificación de desechos en el momento en que son depositados.

3. DESCRIPCIÓN

El escenario de implementación es la ciudad de Cuenca. La recolección de los desechos se la va a realizar en base a los datos recolectados de diferentes contenedores ubicados en la ciudad. Los datos recolectados son sobre la lectura del nivel de llenado de los contenedores. Actualmente, la ciudad de Cuenca cuenta con acceso a Internet en los parques. Tratando de aprovechar al máximo de la infraestructura que disponen las entidades públicas de la ciudad, los contenedores se ubicarían en los parques.

El prototipo del contenedor implementado consta de dos secciones para clasificar materiales (metal y plástico). El dispositivo planteado está compuesto por un microcontrolador, un módulo inalámbrico de comunicación, y dos sensores ultrasónicos para medir el nivel de llenado de cada sección. El nivel de llenado es medido en intervalos de un minuto, y el valor de medición es transmitido a través del módulo inalámbrico, usando los puntos de acceso del parque, al servicio en la nube ThingSpeak para almacenarlos (Fig. 1a). Para la ruta óptima de recolección se aplica un algoritmo heurístico. La información de entrada son los contenedores que han sobrepasado un umbral de llenado. La información del nivel de llenado está disponible a los usuarios mediante la aplicación de ThingSpeak para Android (Fig. 1b).

Adquisición de datos

En la implementación se empleará un Arduino Uno para realizar el control, un sensor ultrasónico HC-SR04 para medir el nivel de llenado del contenedor, sensores capacitivos para la detección del dieléctrico del material (LJZ30A3-H-Z/BX), y finalmente, un módulo WiFi ESP866 para enviar la información. El módulo implementa el estándar IEEE 802.11b. El servicio en la nube ThingSpeak almacena datos de dispositivos (IoT). La información se almacena en canales, estos son de dos tipos públicos y privados. Al canal se le asigna un ID único con el fin de direccionar los datos, además de claves para lectura y escritura. Dentro del canal se pueden crear campos. El canal configurado consta de dos campos correspondientes al nivel de llenado de cada sección. La lectura de la información es pública, mientras que la escritura es privada.

⁵ Algorithme de Canny: Es un operador desarrollado por John F. Canny en 1986 que utiliza un algoritmo de múltiples etapas para detectar una amplia gama de bordes en imágenes

⁶ SIFT: Scale Invariant Feature Transform

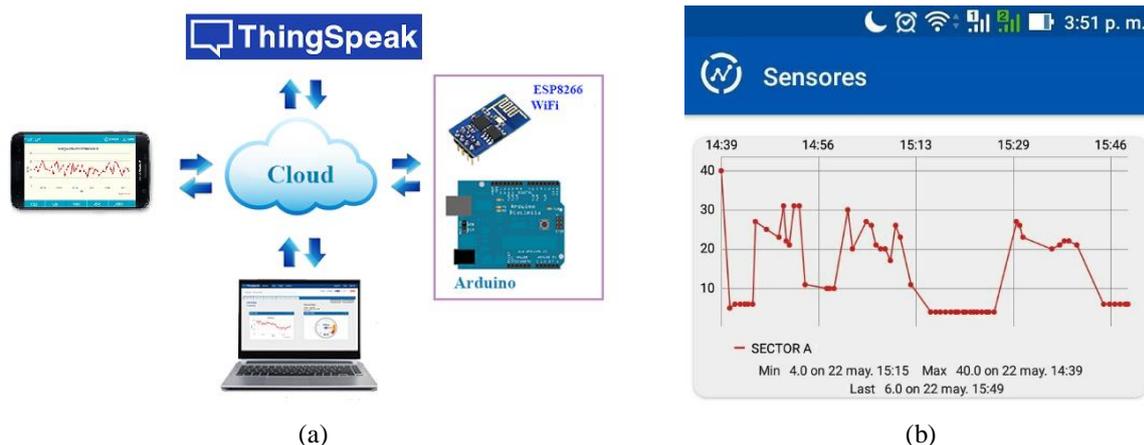


Figura 1. (a) Arquitectura, (b) App ThingSpeak (nivel de llenado vs tiempo).

Interfaces

El sistema cuenta con dos interfaces. En la primera interfaz se obtienen los datos de la nube y se visualizan en un mapa. Los contenedores se representan con un cuadro de color, en función del nivel de llenado. Se tienen cuatro niveles de llenado, los cuales se representan con los colores: rojo, naranja, azul y amarillo (rojo representa que el contenedor está lleno, y amarillo que el contenedor está vacío). Presionando sobre el contenedor se muestran los datos del nivel de llenado (Fig. 5). La segunda interfaz toma la información del nivel de llenado de los contenedores. La ruta óptima es generada en función de los contenedores cuyo nivel sobrepasó cierto umbral (Fig. 2). La interfaz muestra la ruta que deberá seguir el vehículo de recolección. El algoritmo que genera la ruta óptima sirve para reducir tiempo y recursos (Fig. 8a&b).

Como se mencionó anteriormente, la búsqueda en profundidad encuentra la ruta óptima. El costo computacional depende del número de contenedores a visitar, este valor no debe ser mayor a 10, debido a que el tiempo de procesamiento crece exponencialmente (Fig. 4). La solución al problema de optimización, basado en la búsqueda a profundidad, se fundamenta en el algoritmo de Heap (1963), el cual genera todas las posibles permutaciones de *n* objetos.

Tabla 1. Distancias entre puntos de interés.

Distancias entre las ubicaciones en estudio						
Nombre del Parque	Sitios					
	1	2	3	4	5	
San Sebastián	1	0	0.7	1.3	1.46	2.93
María Auxiliadora	2	0.7	0	0.68	1.35	2.88
Fray Jodoco Ricke	3	1.3	0.68	0	1.77	3.4
Carlos Cueva Tamariz	4	1.46	1.35	1.77	0	1.62
Centro de Recolección	5	2.93	2.88	3.4	1.62	0

El algoritmo implementado realiza todas las permutaciones posibles de los contenedores activos. Usando las permutaciones y las distancias entre los diferentes puntos, se obtiene la ruta óptima que será la de menor distancia recorrida. El algoritmo se basa en las medidas de tráfico mensual que ofrece Google Maps (no es en tiempo real), pero ofrece una primera aproximación. Se realizó un ajuste en las distancias de entre 10 y 100m, tomando en cuenta el nivel de tráfico. La distancia es la métrica utilizada en la heurística propuesta.

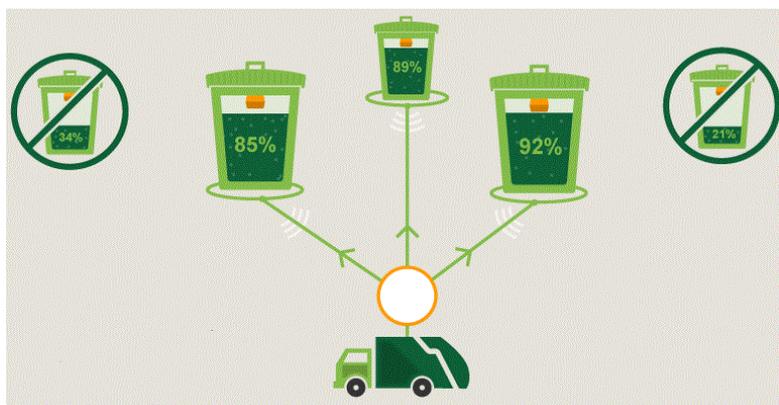


Figura 2. Recolección selectiva.

Clasificación de desechos

El sistema de clasificación se diseñó de tal manera que los objetos sean colocados sobre la compuerta de ingreso. En función de las señales digitales de los sensores capacitivos, se da paso al objeto, previamente, el sistema de clasificación posiciona la bandeja giratoria para direccionar el flujo entrante al primer o segundo contenedor (Fig. 3). La evaluación del prototipo se restringió a botellas de plástico menores de un litro y bebidas enlatadas.

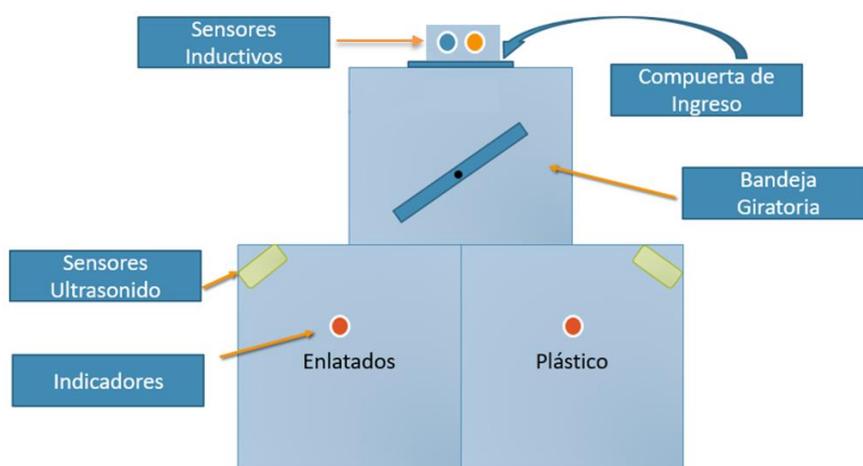


Figura 3. Modelo de contenedor y clasificador.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se describe un análisis del algoritmo de optimización e interfaces implementadas, además de posibles mejoras al proyecto.

Evaluación del algoritmo de optimización

Como se indicó previamente, el algoritmo, por su característica de búsqueda a profundidad, se encuentra limitado a un cierto número de contenedores. En la Figura 4 se puede observar el tiempo de cómputo en segundos que requirió el algoritmo versus el número de contenedores. Se puede notar que a partir de 10 contenedores el tiempo empieza a crecer abruptamente. Por lo cual se estableció un límite máximo de 10 contenedores debido a que el tiempo de procesamiento es extremadamente alto y no cumpliría las condiciones de monitorización en tiempo real que se busca en el proyecto.



Figura 4. Tiempo de computo vs número de contenedores activos.



Figura 5. (a) Contenedores en la ciudad (b) Nivel de llenado.

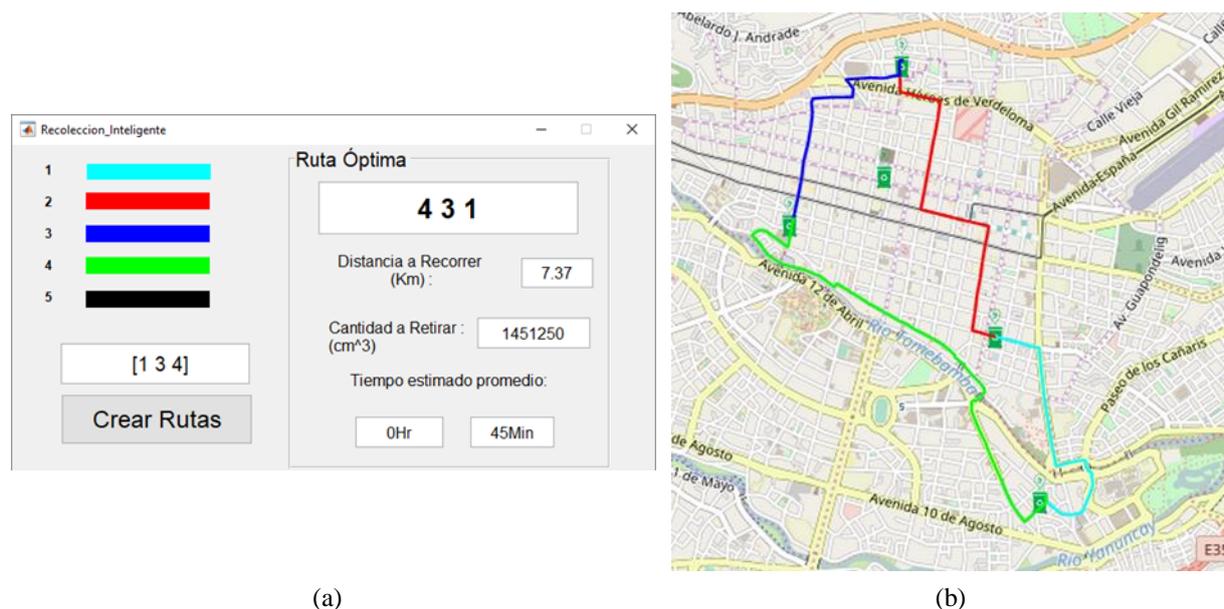


Figura 6. (a) Interfaz (b) Ruta de los 4 contenedores + centro de recolección.

Como se explicó anteriormente se tomó un escenario local, en este caso, la zona urbana de la ciudad de Cuenca. Se escogieron cuatro ubicaciones para los contenedores y una como centro de recolección. Los puntos de interés se grafican directamente en el mapa de la aplicación implementada (Fig. 5a). El hardware en los contenedores envía los datos a la nube, esta información es procesada por la aplicación (Fig. 5b). Una vez que la información es procesada, la aplicación muestra (Fig. 6a) la ruta

(Fig. 6b) a seguir para la recolección, además de la distancia que debe recorrer el vehículo de recolección, el volumen de desechos que recolectará y el tiempo aproximado que le tomará realizar el recorrido.

Uno de los principales problemas que se puede encontrar en el tema de reciclaje, es que el sistema dependa de la conciencia de los ciudadanos al colocar los desechos en el lugar que correspondan. Otro problema que se puede dar es la falta de información sobre la compresión de los desechos y la capacidad del camión recolector, ya que este podría recolectar más basura si ésta se pudiera comprimir. Entonces, una de las posibles soluciones sería tener compresores de basura en los contenedores, así el nivel de llenado no estaría sujeta a variaciones. Otra solución es permitir que los vehículos puedan generar nuevas rutas en función de su capacidad.

5. CONCLUSIONES

El artículo aplica el nuevo concepto de internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés) y trabajos sobre la nube de internet, para la búsqueda de una solución óptima al problema de la recolección de basura, además de un sistema de clasificación de desechos que no requiera una alta capacidad de procesamiento computacional. Se demostró que se puede diseñar e implementar un pequeño dispositivo que mida la capacidad de un contenedor. Este dispositivo permite subir la información a internet. El algoritmo de optimización estuvo restringido a un cierto número contenedores, debido a las permutaciones que se deben realizar, pero, como se vio en la discusión, el algoritmo respondería bien a un problema dinámico y de cálculo de rutas en un ambiente cambiante, puesto que el tiempo de solución no supero un segundo, que es una tolerancia aceptable para hablar de procesamiento en tiempo real. Con respecto a la clasificación de los desechos, se tuvo un buen resultado al momento de identificar el compuesto del material. Aunque hubo algunas interferencias entre los sensores, debido a que algunos objetos tienen etiquetas de plástico que confunden al sensor. Esto se puede solucionar fácilmente agregando un tercer sensor. En términos generales se logró identificar el 99% de los objetos censados.

Actualmente, este sistema ha sido probado en una escala muy limitada, en el futuro nos gustaría trabajar en la implementación de un sistema aplicado sobre un ambiente variable y dinámico (tráfico, estado de vías, capacidad del vehículo recolector, etc.), además de ampliar y mejorar el algoritmo de control. La idea es generar un sistema completamente automático e implementar de mejor manera el sistema de clasificación para abarcar una mayor cantidad de compuestos para la separación. También se puede extender el proyecto para que los vehículos puedan subir información del tráfico en tiempo real, con lo cual se mejoraría la optimización de rutas de la recolección. Finalmente, tenemos que mencionar que, para mejorar la recolección y la clasificación, no solo depende de la tecnología que podamos agregar a una Ciudad Inteligente, sino también de la cultura de la gente.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento a la Universidad de Cuenca, por permitirnos participar en la elaboración del presente artículo.

REFERENCIAS

Ambrosch, K. E., Dado, M., Janota, A., Spalek, J. (2015). *Smart Cities as a university common talk: The case of UNIZA*. In: Smart Cities Symposium Prague (SCSP), 6 p.
doi:10.1109/SCSP.2015.7181562

- Borozdukhin, A., Dolinina, O., Pechenkin, V. (2016). *Approach to the garbage collection in the 'Smart Clean City' project*. In: Information Science and Technology (CiSt), 4th IEEE International Colloquium on, pp. 918-922.
- Chávez, M., Moreno, P., Peralta, J. (2014). Aplicación de la teoría de la complejidad en optimización combinatoria. *Inventio*, 10(20), 35-42.
- Cheng, B., Longo, S., Cirillo, F., Bauer, M., Kovacs, E. (2015). *Building a big data platform for Smart Cities: Experience and lessons from Santander*. In: Big Data (BigData Congress), IEEE International Congress on, pp. 592-599. doi:10.1109/BigDataCongress.2015.91
- Ecoosfera. (2013). *Ciudadanos de Pekín pagan su viaje en metro con botellas de PET*. Disponible en <https://ecoosfera.com/2013/07/ciudadanos-de-pekín-pagan-su-viaje-en-metro-con-botellas-de-pet/>
- Fujdiak, R., Masek, P., Mlynek, P., Misurec, J., Olshannikova, E. (2016). *Using genetic algorithm for advanced municipal waste collection in Smart City*. In: Communication Systems, Networks and Digital Signal Processing (CSNDSP), 2016 10th International Symposium on, 6 p.
- Gil-Castineira, F., Costa-Montenegro, E., Gonzalez-Castano, F. J., Lopez-Bravo, C., Ojala, T., Bose, R. (2011). Experiences inside the Ubiquitous Oulu Smart City. *Computer*, 44(6), 48-55. doi: 10.1109/MC.2011.132
- Heap, B. R. (1963). Permutations by interchanges. *The Computer Journal*, 6(3), 293-298.
- Herrera-Quintero, L. F., Jalil-Naser, W. D., Banse, K., Samper-Zapater, J. J. (2015). *Smart cities approach for Colombian context. Learning from ITS experiences and linking with government organization*. In: Smart Cities Symposium Prague (SCSP), 6 p. doi:10.1109/SCSP.2015.7181557.
- Joshi, J., Reddy, J., Reddy, P., Agarwal, A., Agarwal, R., Bagga, A., Bhargava, A. (2016). *Cloud computing based smart garbage monitoring system*. In: Electronic Design (ICED), 3rd International Conference on, 6 p. doi: 10.1109/ICED.2016.7804609
- Kumar, N. S., Vuayalakshmi, B., Prarthana, R. J., Shankar, A. (2016). *IOT based smart garbage alert system using Arduino UNO*. In: Region 10 Conference (TENCON), 2016 IEEE, pp. 1028-1034. doi: 10.1109/TENCON.2016.7848162
- Lin, X., Quan, H., Zhang, H., Huang, Y. (2015). *The 5I model of Smart City: A case of Shanghai, China*. In: Big Data Computing Service and Applications (BigDataService), IEEE First International Conference on, pp.329-332. doi:10.1109/BigDataService.2015.34
- Madakam, S., Ramaswamy, R. (2015). *100 new smart cities (India's smart vision)*. In: Information Technology: Towards New Smart World (NSITNSW), 5th National Symposium on, vol., no., 6 p. doi: 10.1109/NSITNSW.2015.7176407
- Novelle, I. R., Cid, J. P., Salmador, A. (2008). Intelligent garbage classifier. Universidad Internacional de La Rioja (UNIR). *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, 1(1), 31-36.
- Paradells, J., Gomez, C., Demirkol, I., Oller, J., Catalan, M. (2014). *Infrastructureless smart cities. Use cases and performance*. In: Smart Communications in Network Technologies (SaCoNeT), International Conference, 6 p. doi: 10.1109/SaCoNeT.2014.6867772
- Pla-Castells, M., Martinez-Dura, J. J., Samper-Zapater, J. J., Cirilo-Gimeno, R. V. (2015). *Use of ICT in Smart Cities. A practical case applied to traffic management in the city of Valencia*. In: Smart Cities Symposium Prague (SCSP), 5 p. doi: 10.1109/SCSP.2015.7181559.
- Salcedo, R. L. (2008). La organización de las naciones unidas y el desarrollo del derecho internacional ambiental. *Terra*, 24(36), 187-202.
- Saravana, G., Sasi, S., Ragavan, R., Balakrishnan, M. (2016). Automatic garbage separation robot using image processing technique. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 6(4), 326-328.
- Thakker, S., Narayanamoorthi, R. (2015). *Smart and wireless waste management*. In: Innovations in Information, Embedded and Communication Systems (ICIIECS), International Conference on, 4 p. doi: 10.1109/ICIIECS.2015.7193141
- Torres, A., Rodea, O., Longoria, O., Sánchez, F., González, L. (2015). Intelligent waste separator. *Computación y Sistemas*, 19, 487-500. doi: 10.13053/CyS-19-3-2254

- Wenge, R., Zhang, X., Dave, C., Chao, L., Hao, S. (2014). Smart city architecture: A technology guide for implementation and design challenges. *China Communications*, 11(3), 56-69. doi: 10.1109/CC.2014.6825259.
- Yang, M., Thung G. (2016). *Classification of trash for recyclability status*. Stanford University. Disponible en <https://www.semanticscholar.org/paper/Classification-of-Trash-for-Recyclability-Status-Yang-Thung/6be5beb87646d44f83152f95aca37b40806690a4>