IoT-aware Waste Management System based on Cloud Services and Ultra-Low-Power RFID Sensor-Tags

سیستم مدیریت پسماند آگاه از اینترنت اشیا مبتنی بر خدمات ابری و برچسب های سنسور RFID بسیار کم مصرف

نام ارائه دهنده : محمد ایمان برادر

نام استاد : دکتر سمیه جاسبی

دانشکده مکانیک و برق و کامپیوتر

رشته تحصیلی: دکتری کامپیوتر

گرایش: معماری سیستم های کامپیوتری

بهار ۱۴۰۰

This article has been accepted for publication in a future issue of this journal, but has not been fully edited. Content may change prior to final publication. Citation information: DOI 10.1109/JSEN.2020.3010675, IEEE Sensors Journal

IoT-aware Waste Management System based on Cloud Services and Ultra-Low-Power RFID Sensor-Tags

L. Catarinucci, R. Colella, S. Ino Consalvo, L. Patrono, C. Rollo, and I. Sergi

Abstract— **Waste management is a challenge for modern cities as it impacts on environmental sustainability and on the level of quality perceived by citizens. In the last few years, several progresses have been made in this direction with the introduction in the city of door-to-door separate waste collection. A key element for the success of such actions is to achieve excellent cooperation from citizens. The Digital Transformation process in this sector will require time other than a careful management of the data associated with the waste collection processes. At this regard, the progress of hardware and software technologies enabling the Internet of Things (IoT) will contribute significantly to accelerate the whole process. Among these innovative solutions, the use of RFID tags with augmented capabilities and cloud-based software architectures capable of properly managing collected data will be crucial to obtain an intelligent and efficient waste management system. In this paper, an innovative system capable of capturing and processing data relating to the door-to-door separate waste collection in the context of future smart cities is presented. In particular, the system includes an innovative RFID sensor-tag equipped with low-cost weight sensors and a Cloud software system capable of managing the collected data and satisfying the various stakeholders' expectations. First results on both functional and performance validation of the overall system are shown.**

Index Terms—**Cloud, Embedded system, Internet of Things, Performance, Proof-of-Concept, RFID, Sensor-tag, Waste management.**

and manage traffic and transportation systems, power plants, water supply networks, waste management, information systems, hospitals, and other community services. The smart city exploits the Information and Communication Technology (ICT) to integrate a plethora of physical devices connected to the network, the so-called Internet of Things (IoT) [1], [2], in order to optimize the efficiency of city operations and services. From a technological point of view, the solutions that are nowadays available for designing and developing new smart systems are innumerable, mainly due to the exponential spread of devices connected to the Internet. Sensors or actuators have acquired a new meaning because of the introduction of computational intelligence on the devices that were previously limited to sensing. Thanks to the development of microcontrollers and microcomputers with an operating system, it is now possible to design integrated systems with their own intelligence (edge-computing) or cloud-based systems over Internet, delegating the computational load to connected machines and reducing the cost. In this perspective, a smart system capable of monitoring the waste disposal process could represent the ideal solution to address the aforementioned problem.

In the field of waste management, several solutions are proposed in the literature, most of these are based on the use of

۱ - تعریف مساله و هدف اصلی مقاله

۱ - ۱ سوال اصلی مطرح شده در مقاله چیست؟

مدیریت پسماند یک چالش برای شهرهای مدرن است زیرا بر پایداری محیط زیست و سطح کیفیت درک شده شهروندان تأثیر می گذارد. در چند سال گذشته ، با معرفی جمع آوری جداگانه زباله از درب خانه در شهر ، پیشرفتهای زیادی در این راستا حاصل شده است. یک عنصر اصلی برای موفقیت چنین اقداماتی دستیابی به همکاری عالی از شهروندان است. در این راستا ، پیشرفت فناوری های سخت افزاری و نرم افزاری امکان پذیر کردن اینترنت اشیا به تسریع کل روند کمک خواهد کرد. در میان این راه حل های ابتکاری ، استفاده از برچسب های RFID با قابلیت های تقویت شده و معماری نرم افزاری مبتنی بر ابر با قابلیت مدیریت صحیح داده های جمع آوری شده برای دستیابی به سیستم مدیریت پسماند هوشمند و کارآمد بسیار مهم خواهد بود. در این مقاله سوال اصلی مطرح شده یک سیستم نوآورانه قادر به ضبط و پردازش داده های مربوط به جمع آوری زباله جداگانه از درب خانه در زمینه شهرهای هوشمند می باشد که به طور خاص ، این سیستم شامل یک برچسب سنسور RFID ابتکاری مجهز به سنسورهای کم وزن و یک سیستم نرم افزاری Cloud است که قادر به مدیریت داده های جمع آوری شده و انتظارات ذینفعان مختلف را برآورده می کند.

۱-۲ چه مشکلی باید برطرف شود؟

پدیده هایی مانند شهرنشینی ، صنعتی شدن و رشد اقتصادی منجر به افزایش تولید زباله های جامد به ازای هر نفر شده است. به همین دلیل ، مدیریت پسماند یکی از سخت ترین چالش هایی است که شهرهای مدرن باید با آن روبرو شوند. یک سیستم هوشمند قادر به نظارت بر روند دفع زباله می تواند راه حل ایده آل برای حل مشکل پسماندهای شهری باشد.

۱-۳چه ضرورتی برای مطرح شدن مسئله است؟

مدیریت پسماند شامل چندین فرآیند مانند جمع آوری ، حمل و نقل ، فرآوری ، دفع ، مدیریت و نظارت بر مواد زائد است. این فرآیندها هزینه قابل توجهی از پول ، زمان و کار را در بردارد. این نیاز کاملاً منطبق با مفهوم مدرن شهر هوشمند است ، که یک منطقه شهری است که از انواع مختلف سنسورهای جمع آوری اطلاعات الکترونیکی برای تهیه اطلاعات مفید برای مدیریت کارآمد دارایی ها و منابع استفاده می کند که شامل داده های جمع آوری شده از شهروندان ، دستگاه ها و دارایی ها است که برای نظارت و مدیریت سیستم های ترافیک و حمل و نقل ، نیروگاه ها ، شبکه های آبرسانی ، مدیریت پسماند ، سیستم های اطلاعاتی ، بیمارستان ها و سایر خدمات جامعه پردازش و تحلیل می شود. این شهر هوشمند از فناوری اطلاعات و ارتباطات برای ادغام انبوهی از دستگاههای فیزیکی متصل به شبکه ، به اصطلاح اینترنت اشیا برای بهینه سازی کارایی شهر بهره برداری می کند.از دیدگاه فناوری ، راه حل هایی که امروزه برای طراحی و توسعه سیستم های هوشمند جدید در دسترس هستند ، عمدتاً به دلیل گسترش تصاعدی دستگاه های متصل به اینترنت ، بی شمار هستند. حسگرها یا محرک ها به دلیل ورود هوش محاسباتی در دستگاه هایی که قبلاً محدود به حسگری بودند ، معنای جدیدی پیدا کرده اند. به لطف توسعه میکروکنترلرها و ریز رایانه ها با یک سیستم عامل ، اکنون می توان سیستم های یکپارچه ای را با هوشمندی (محاسبات لبه ای) یا سیستم های مبتنی بر ابر با استفاده از اینترنت ، مدیریت بار محاسباتی به ماشین های متصل و کاهش هزینه ها ، طراحی کرد. از این منظر ، یک سیستم هوشمند قادر به نظارت بر روند دفع زباله می تواند راه حل ایده آل برای حل مشکل فوق باشد.

۱-۴ چه روشهایی قبلا برای این کار انجام شده؟

در زمینه مدیریت پسماند ، چندین راه حل در ادبیات قبلی ارائه شده است ، بیشتر آنها مبتنی بر استفاده از فناوری RFID و رایانش ابری است.

- در مقاله گذشته [۳]، نویسندگان پیشنهاد می کنند که هر شی قابل بازیافت را به یک برچسب RFID مجهز کنند که اطلاعات اساسی را ذخیره می کند و به کاربران کمک می کند تا زباله ها را به روشی صحیح مرتب کنند. با این وجود ، این رویکرد شامل تغییرات مربوطه ، به ویژه در سیستم بسته بندی است.
- در مقاله گذشته [٤] استفاده از کارت RFID را برای احراز هویت کاربری که زباله می کشد و برای جمع آوری برخی از امتیازات اعتبار داده شده توسط سیستم ، پیشنهاد می کند.
- سیستم مبتنی بر RFID دیگری در مقاله گذشته [٥] نشان داده شده است. علیرغم اینکه معماری آن به طور کامل شرح داده نشده است ، این راه حل به شما امکان می دهد تا کاربران را با استفاده از یک برچسب انفعالی RFID در سطل زباله شناسایی کرده و میزان زباله را توسط سنسور لودسل نصب شده بر روی بازوهای خودروی جمع آوری زباله اندازه گیری کنید. بنابراین،داده ها توسط یک خواننده RFID مبتنی بر دستیار دیجیتال شخصی PDA بر روی کامیون جمع آوری می شوند و سپس از طریق Wi-Fi به ابر ارسال می شوند.
- سیستم پیشنهادی در مقاله گذشته [٦] با استفاده از انواع مختلف حسگرها و فن آوری ها ، مانند ZigBee، Raspberry و Smart-M۳ ، مدیریت هوشمند زباله را کنترل می کند ، و بر این اساس ، سطل آشغال را کنترل می کند. علاوه بر این ، این امکان را برای شما فراهم می کند تا بهترین و کوتاهترین مسیر کامیون های زباله را دنبال کنید و وضعیت سطل آشغال در یک برنامه اندرویدی گزارش شود.

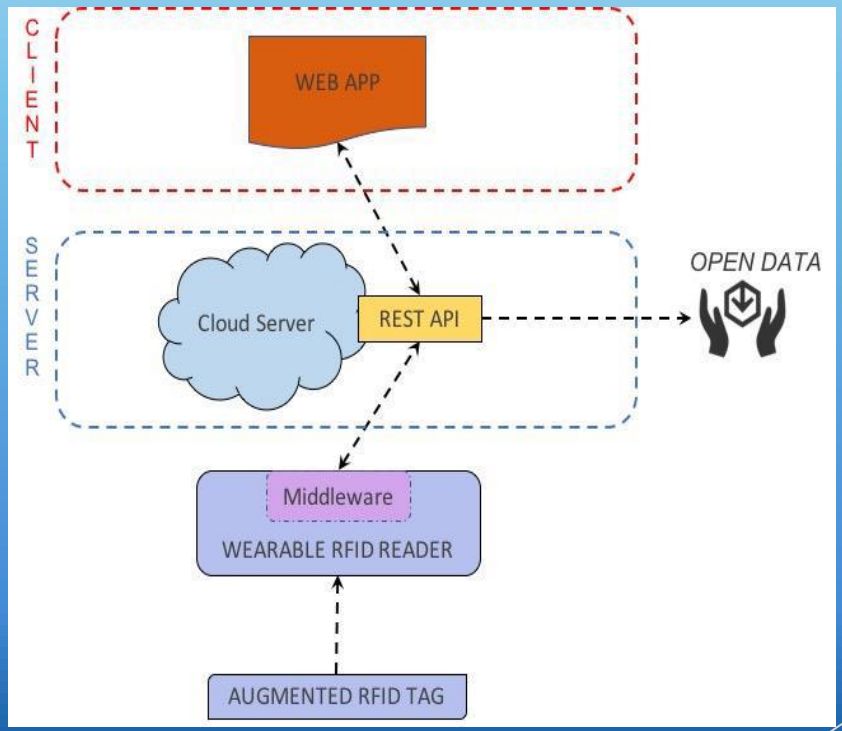
۱-۵روش پیشنهادی ارائه شده چیست؟

به لطف یک برچسب RFID ابتکاری که روی سطل آشغال اعمال شده است ، این سیستم به شما امکان می دهد تا شهروندانی را که زباله تحویل می دهند شناسایی و ثبت کند و وزن زباله های دفع شده توسط هر شهروند را تشخیص دهد. علاوه بر این ، سیستم می تواند زمان برداشت و محل دفع زباله را ثبت کند. سرانجام ، رفتگر می تواند هر گونه ناهنجاری (به عنوان مثال ، دفع زباله اشتباه) را گزارش کند. اطلاعات در یک سیستم Cloud جمع آوری می شود و به عنوان داشبورد در اختیار کاربران متقاضی (شهروندان ، مقامات شهرداری و غیره) بر اساس مجوزهایشان قرار می گیرد. علاوه بر این ، تمام داده های جمع آوری شده ، به طور مناسب ناشناس ، می توانند به عنوان داده های آزاد در دسترس قرار گیرند تا توسط سرویس های شخص ثالث مورد استفاده قرار گیرند. استفاده از سیستم پیشنهادی برای مدیریت پسماند خانه به خانه مزایای مختلفی را به همراه دارد که مناطق مختلف را تحت تأثیر قرار می دهد بهبود خدمات جمع آوری و دفع زباله با کاهش هزینه مدیریت برای دولت های محلی و کنترل بیشتر فرآیند دفع. علاوه بر این ، سیستم پیشنهادی می تواند اجرای یک سیستم محاسبه دقیق و عادلانه مالیات بر پسماند را بر اساس تعداد واقعی جمع آوری زباله امکان پذیر سازد. به این ترتیب شهروندان انگیزه بیشتری برای انتخاب انواع مختلف مواد دارند تا مقدار زباله دفع شده را به حداقل برسانند و همچنین شامل مالیات نسبی نیز می شوند.

۲-توضیح راه حل پیشنهادی مقاله برای حل مسئله

۲-۱روش پیاده سازی شده برای حل مسئله مقاله به چه صورت است؟ (بصورت گام به گام توضیح داده شود)

هدف سیستم مدیریت پسماند مدیریت کل فرآیند جمع آوری زباله است. از طریق یک برچسب RFID که دارای قابلیت سنجش وزن است ، اجازه می دهد مقدار زباله های شهری تولید شده توسط هر شهروند را تشخیص دهد. ساختار سیستم از چهار مولفه اصلی تشکیل شده است: یک برچسب RFID ابتکاری با قابلیت های تقویت شده ، RFID Reader پوشیدنی ،Cloud Server و یک برنامه وب.



- برچسب RFID که روی سطل آشغال قرار داده شده است ، به سنسوری مجهز است که می تواند وزن زباله را تشخیص دهد. خواننده RFID پوشیدنی وظیفه جمع آوری قرائت برچسب ها و ارسال آنها به سرور Cloud را دارد. خواننده RFID از طریق فناوری GPRS با سرور Cloud ارتباط برقرار می کند و اگر سیگنال GPRS به طور موقت در دسترس نباشد ، قادر است اطلاعات را در EEPROM خود ذخیره کند. سرور Cloud وظیفه ذخیره و پردازش داده های حاصل از RFID Reader و برنامه وب را بر عهده دارد. تمام اطلاعات در یک پایگاه داده رابطه ای ذخیره می شوند و از طریق API مورد پرس و جو قرار می گیرند. پایگاه داده از طریق پرونده های نقشه برداری رابطه ای شی ORMدر منطق کسب و کار ترسیم می شود. علاوه بر این ، ماژول منطق کسب و کار جریان داده را مدیریت می کند و همچنین درخواست ها و پاسخ های API را قالب بندی می کند. سرانجام ، برنامه وب داشبوردهایی را در اختیار کاربران قرار می دهد که خلاصه اطلاعات ذخیره شده در سرور Cloud را دارند. برنامه وب از طریق یک ماژول API با سرور Cloud ارتباط برقرار می کند و تمام داده های مورد نیاز برای عملیات منطقی کسب و کار را دریافت می کند.

۲-۲روش ارائه شده به چه صورت پیاده سازی شده؟(نرم افزاری یا بصورت اثبات ریاضی دقیقا توضیح داده شود)

روش ارایه شده به صورت مطالعاتی و آزمایشگاهی است.

۲-۳نحوه مقایسه ایده مطرح شده با دیگر ایده‌های مطرح شده در مقاله

- مقایسه انجام شده بر اساس مدیریت پسماند به روش سنتی نسبت به روش مدرن می باشد و همچنین از لحاظ هزینه و مفید بودن روش پیشنهادی و تشویق طرح مالیات بر پسماند و بطور کلی چگونگی تاثیر بر محیط زیست و سطح زندگی مقایساتی صورت گرفته است.

۳- نقاط قوت و ضعف مقاله

- نقاط قوت کامل بودن تمام قسمت های مقاله کارهای پیشین ، پیاده سازی ، توضیحات بخش بخش سیستم پیشنهادی و ... است و از نظر تکنیکی بهبود خدمات جمع آوری و دفع زباله با کاهش هزینه مدیریت برای دولت های محلی و کنترل بیشتر فرآیند دفع. علاوه بر این ، سیستم پیشنهادی می تواند اجرای یک سیستم محاسبه دقیق و عادلانه مالیات بر پسماند را بر اساس تعداد واقعی جمع آوری زباله امکان پذیر سازد. به این ترتیب شهروندان انگیزه بیشتری برای انتخاب انواع مختلف مواد دارند تا مقدار زباله دفع شده را به حداقل برسانند و همچنین شامل مالیات نسبی نیز می شوند.
- نقاط ضعف نقطه ضعفی در مقاله ملاحضه نمی شود.

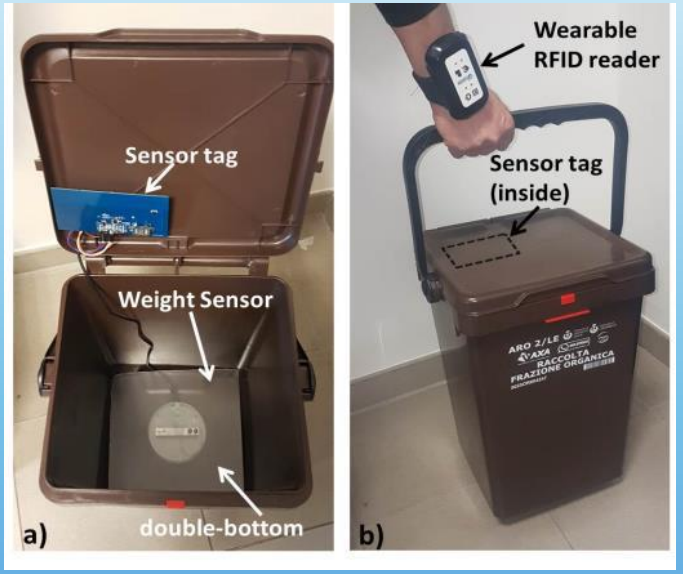
۴- جمع بندی و پیشنهادات برای کارهای آتی

- این مقاله بر روی طراحی یک راه حل IoT گرا سخت افزار / نرم افزار جدید متمرکز شده است که قادر به ضبط و پردازش داده های مربوط به جمع آوری زباله از درب خانه است. این سیستم جدید با استفاده از برچسب های حسگر RFID بسیار کم مصرف و مقرون به صرفه که روی هر سطل آشغال استفاده شده و قادر به شناسایی ، سنجش و انتقال وزن پسماند است ، با بهره گیری از نرم افزار مبتنی بر Cloud ، داده ها را جمع آوری ، مدیریت و تجزیه و تحلیل می کند. معماری به طور خاص ، سیستم نرم افزار از یک Cloud Server و یک برنامه وب تشکیل شده است. مورد اول شامل یک ماژول پایگاه داده SQL ، یک ماژول منطق تجاری است و توابع احراز هویت را فراهم می کند. مورد دوم شامل داشبورد و رابط کاربری است که به کاربران مانند شهرداری ها ، شهروندان و شرکت های زباله اجازه می دهد. پلت فرم پیشنهادی از نظر حساسیت در تشخیص سطل آشغال ، قابلیت اطمینان در حس وزن و نگهدار ، با مدت زمان بسیار طولانی (سال ها) گره IoT مبتنی بر RFID ، عملکرد بهینه را برجسته می کند. علاوه بر این ، برنامه وب طراحی شده و تحقق یافته به کاربران مجاز اجازه می دهد تا از طریق رابط های کاربری ساده و بصری ، با تمام اطلاعات جمع آوری شده مشورت کنند. هر کاربر قادر خواهد بود اطلاعات مختلفی را بر اساس نقش بازی شده در سیستم تجسم کند. به طور خلاصه نتایج به دست آمده نشان داد که راه حل پیشنهادی قادر است با مشکل مدیریت پسماند روبرو شود و تمایز را در بهره برداری از معماری ها و دستگاه های جدید IoT گرا ، کم هزینه و مقیاس پذیر بهبود بخشد.
- در آینده پیشنهاد می گردد که درخصوص مدیریت پسماند از سیستم پیشنهادی در مقیاس بزرگ تر بررسی انجام شود.

۵-شبیه‌سازی

اعتبارسنجی عملکردی سیستم پیشنهادی از طریق اثبات مفهوم در آزمایشگاه انجام شده است.

به طور خاص ، برای یک هفته ، طرح جمع آوری زباله زیر شبیه سازی شده است:



- دوشنبه: ارگانیک
- سه شنبه: پلاستیک و شیشه
- چهارشنبه: ارگانیک
- پنجشنبه: کاغذ و آلومینیوم
- جمعه: ارگانیک
- شنبه: پسماندهای طبقه بندی نشده

علاوه بر این ، سه شهروند در این اعتبار سنجی عملکردی شبیه سازی شده اند. برای این منظور ، سه سطل زباله به برچسب حسگر تحقق یافته مجهز شده اند و هر یک از آنها به یک شهروند و سپس به یک مکان خاص (عرض و طول) در سیستم مرتبط شده اند. هر روز هر سطل آشغال طبق برنامه تعیین شده جمع آوری زباله پر می شود.(a)

از یک دستگاه RFID خوان پوشیدنی برای شبیه سازی فرایند جمع آوری زباله توسط رفتگر استفاده شده است.هر روز برچسب سنسور روی هر سطل زباله خوانده شده است تا اطلاعات مربوط به وزن زباله را برای شهروند مربوطه به سرور منتقل کند.(b)

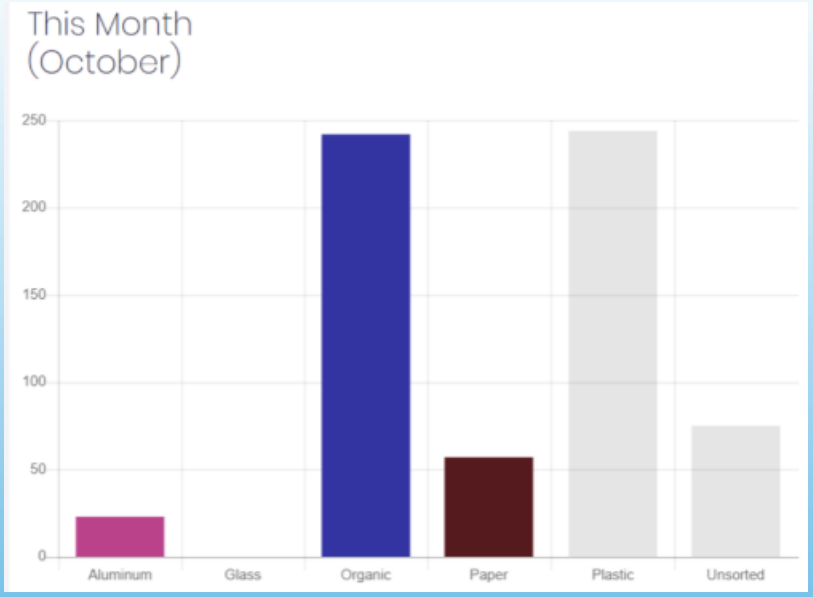
به منظور شروع فرایند خواندن ، خواننده RFID در "حالت خواندن" تبدیل شده است. این روش اسکن حضور برچسب RFID به مدت ۹۰ ثانیه را آغاز می کند. اگر در این زمان خواننده قادر به خواندن برچسب RFID باشد ، کد EPC ، نوشته شده در برچسب RFID ، به سرور Cloud ارسال می شود (یا به طور موقت در حافظه خواننده EEPROM ذخیره می شود تا زمانی که سیگنال GPRS دریافت شود) و زمان اسکن دوباره شروع می شود ، در غیر این صورت خواننده باید دوباره در "حالت خواندن" تنظیم شود. رفتگر در طی عملیات معمول جمع آوری زباله می تواند:

- در صورت عدم تشخیص ناهنجاری ، برچسب RFID را بخواند.
- وجود یک ناهنجاری به سرور Cloud سیگنال (به عنوان مثال ، شهروند دفع زباله نادرست انجام داده است). در این حالت ، رفتگر خواننده را در " حالت ناهنجاری "با فشار دادن ۳ ثانیه دکمه برنامه ریزی شده برای ناهنجاری تشخیص می دهد.

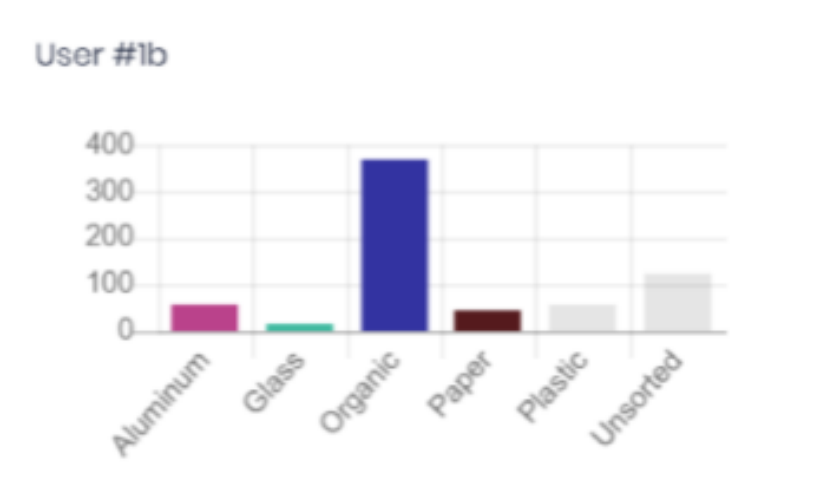
برای هر بار خواندن برچسب ، خواننده RFID داده ها را به ماژول GPRS به Cloud Server ارسال می کند. سرور Cloud هر رویداد جدیدی را بررسی می کند و مطابقت بین ID برچسب و موقعیت (طول و عرض جغرافیایی) را که در آن خواندن انجام شده است ، تأیید می کند. به طور خاص ، موقعیت توسط ماژول GPS تعبیه شده در دستگاه RFID خوان پوشیدنی فراهم می شود. از آنجا که هر شناسه برچسب مربوط به یک شهروند خاص و در نتیجه مربوط به یک مکان خاص است ، سرور Cloud بررسی می کند که آیا مختصات خواننده در منطقه ای نزدیک به محل زندگی شهروند قرار دارند یا خیر. در غیر این صورت ، برای جلوگیری از سرقت سطل های زباله ، یک هشدار به سیستم اعلام می شود. داده های ذخیره شده در سرور Cloud به درستی پردازش می شوند و از طریق داشبورد خلاصه به کاربران مجاز مختلف نشان داده می شوند.

پس ازتأیید تکمیل هفته ، سه کاربر مختلف (به عنوان مثال یک شهروند ، یک شهرداری و یک شرکت پسماند) به سیستم عامل دسترسی پیدا کرده اند تا صحت ذخیره سازی و تفسیر داده ها توسط سیستم را تأیید کند.

دسترسی به برنامه وب به عنوان یک شرکت زباله ، اطلاعات مربوط به کل زباله های جمع آوری شده ، سازمان یافته توسط دوره و نوع را می توان تجسم کرد(A) . اگر ورود به سیستم توسط یک شهروند انجام شود ، او می تواند اطلاعات مربوط به تحویل خود (نوع و وزن و زباله) را که براساس سال ، ماه و هفته سازماندهی شده تجسم کند(B) سرانجام ، دسترسی به برنامه وب به عنوان شهرداری ، می تواند اطلاعات مربوط به وزن زباله های تحویل داده شده توسط هر شهروند را نشان دهد. علاوه بر این ، شهرداری می تواند هرگونه هشدار ایجاد شده توسط سیستم یا ناهنجاری گزارش شده توسط رفتگر را تصور کند(C)



A



B

#	BASKET	WEIGHT	POSITION	DATA	ANOMALY TYPE
113	cab4	62	40.333316 - 18.113995	08-10-2019 08:12:15	Incorrect Disposal

C