

Environmental engineering Aplinkos inžinerija

ATLIEKŲ KONTEINERIŲ UŽPILDYMO LYGIO MATAVIMAS NAUDOJANT DAIKTŲ INTERNETO IR „LORAWAN“ TECHNOLOGIJOS MAŽOS GALIOS JUTIKLIUS

Nino INASARIDZE, Vaidotas VAIŠIS *

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva

Gauta 2020 m. liepos 3 d.; priimta 2020 m. rugpjūčio 19 d.

Santrauka. Straipsnyje aptariami daiktų interneto jutikliais pagrįsti sprendimai, gerinantys atliekų surinkimą ir stebėjimą viešuose atliekų konteineriuose. Straipsnyje nagrinėta, ar matavimo procese naudojama stebėjimo sistema gali būti pritaikyta konteinerių užpildymui stebėti. Sistemą sudaro belaidis modulis, sujungtas su ultragarsiniu jutikliu. Siunčiami duomenys leidžia apskaičiuoti tuščią vietą atliekų konteineriuose. Vertės gaunamos matuojant atstumą nuo konteinerio viršaus iki atliekų paviršiaus. Duomenims perduoti panaudoti mažaenergiškai tolumo plėtimo tinklo (LoRaWAN) siųstuvai. Tyrimo tikslas – išbandyti nebrangią stebėjimo sistemą bei apibūdinti naują jutiklių ir siųstuvų modulių sistemą. Sistemos vartojamos elektros energijos sąnaudos yra itin mažos, naudojamų jutiklių spektras gana platus. Matavimai atlikti Vilniaus mieste. Analizuoti dviejų dydžių tipų konteineriai, matavimai atlikti penkiuose konteinerių horizontalaus pjūvio taškuose. Tyrimas atliktas esant dviem skirtingiems konteinerių užpildymo lygiams. Rezultatai rodo, kad ultragarso jutiklis gali reprezentatyviai matuoti atliekų užpildymo gylius, esant skirtingam konteinerių užpildymo lygiui. Atsižvelgiant į rezultatus, galima rekomenduoti šį jutiklį intelektualioje atliekų tvarkymo rinkoje. Tokia sistema gali suteikti reikiamų duomenų atliekų surinkimo procesui optimizuoti miestuose ir išvengti konteinerių perpildymo problemų.

Reikšminiai žodžiai: konteineriai, atliekų tvarkymas, „LoRaWAN“, daiktų interneto jutikliai.

Įvadas

Viena iš esminių XXI amžiaus aplinkosaugos iššūkių visame pasaulyje yra atliekos. Visų pirma viso pasaulio miestai susiduria su didėjančiais atliekų srautais dėl sparčiai didėjančios urbanizacijos. Viešųjų atliekų konteineriai daugelyje vietų užpildomi greičiau nei bet kada, daugelis konteinerių, prieš juos surenkant, būna perpildyti, o dauguma jų nėra tinkamai išvalyti. Rezultatas – ne tik didėja atliekų kiekiai gatvėse, nehigieniškos sąlygos žmonėms ir nemalonūs kvapai, bet ir neigiamas poveikis sveikatai bei aplinkai (Silva et al., 2018). Perpildyti atliekų konteineriai sukelia tokias neigiamas pasekmes kaip oro taršą (kvėpavimo takų ligos), paviršinių vandenų užtaršą (pažeista mitybos grandinė, dermatologinės ligos) ir daugelį kitų. Netinkamai tvarkomos atliekos daro įtaką visoms ekosistemoms, jau nekalbant apie ligas, kurias gali platinti žiurkės, pelės ir paukščiai.

Miestai vis dažniau diegia naujas daiktų interneto (angl. *Internet of Things*, IoT) sistemas, siekdami kaupti ir analizuoti naujus duomenis apie urbanizuotas teritorijas.

Tai leidžia siūlyti naujas paslaugas, svarbias energijos ir žaliavų vartojimo efektyvumui optimizuoti (Silva et al., 2018; CONTENUR, n.d.). Atliekų tvarkymas miestuose naudojant „LoRaWAN“ technologiją ir mažo galingumo daiktų interneto modulių ir jutiklių sistema yra visiškai originalus ir šiuolaikiškas sprendimas. Tai nauja tendencija visame pasaulyje ir daug žadanti technologija daugelyje aplinkosaugos sričių. Be to, naudojant „LoRaWAN“ technologiją ir mažos galios IoT jutiklio mazgą, palengvėja aplinkosaugos problemų sprendimas, palyginti su kitomis „senesnėmis“ technologijomis. Pavyzdžiui, naudojant „LoRa“ technologiją, taupoma energija ir tuo prailginamas siųstuvo veikimo laikotarpis iki 10 metų, apimama didesnė teritorija (iki 15 km) ir kt. (Augustin et al., 2016; Cerchecci et al., 2018; Zanella et al., 2014). Šiame straipsnyje aptariamas belaidžio jutiklių tinklo (WSN) sprendimas, skirtas kietųjų atliekų stebėsenai. Naudojama novatoriška IoT mazgo architektūra atliekų konteinerių užpildymo stebėsenai.

*Autorius susirašinėti. El. paštas vaidotas.vaisis@vgtu.lt

1. Tyrimo metodika

Matavimai atlikti penkiuose konteinerio horizontalaus pjūvio taškuose, dviejų dydžių konteineriuose su dviem atliekų užpildymo lygiais. Panaudotas ultragarso jutiklis HY-SRF05. Konteinerių tipai, matavimo taškai ir ultragarso jutiklis parodyti 1, 2 ir 3 paveiksluose. Visi matavimai buvo pakartoti tris kartus. Eksperimentas buvo vykdomas nuo 2019 m. sausio 23 d. iki vasario 4 d. Vilniaus mieste. Eksperimento metu vidutinė aplinkos temperatūra buvo nuo $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ iki $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Eksperimentui pasirinkti vieni populiariausių tipų komunalinių atliekų konteinerių, kuriuos gamina įmonė CONTENUR:

- konteineris C1100 F – aukštis 1 metras (A) (1 pav.);
- konteineris C90 – aukštis 1 metras (B) (2 pav.).

Konteinerio užpildymo lygio matavimas naudojant ultragarso jutiklį HY-SRF05. Ultragarso jutiklis yra prietaisas, galintis išmatuoti atstumą iki objekto, naudojant garso bangų atspindį. Jis matuoja atstumą pagal laiką, kurį trunka siunčiama ir nuo paviršiaus atsispindėjusi tam tikro dažnio garso banga (Osyooy, n.d.). Trukmė nuo sukuriamos garso bangos iki grįžusios garso bangos yra siunčiamas siųstuvo modulio duomuo. Šie duomenys konvertuojami į atstumą arba mikrovaldiklyje įrašyta programa, arba vėliau apdorojant pirminius duomenis tokiomis programomis kaip „Microsoft Excel“ programinis paketas. Sensoriaus veikimui įtakos neturi saulės spinduliai ar juodos spalvos medžiagos. Vienintelis apribojimas vykdant atliekų stebėseną – akustiškai minkštos medžiagos, pvz., audiniai. Jų matavimui reikėtų pasirinkti kitų



1 paveikslas. Konteineriai C1100 F ir C90 (CONTENUR, n.d.)
Figure 1. Container C1100 F and C90 (CONTENUR, n.d.)

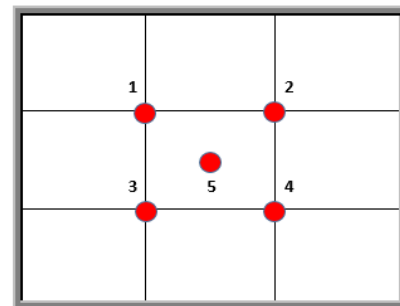
tipų jutiklius, nebent stebėsenai nereikia didelio tikslumo. Eksperimentinio prototipo modulį sudaro ultragarso siųstuvai ir imtuvo modulis. Šie komponentai sumontuoti hermetiškoje plastikinėje dėžutėje, patogumui išorėje yra pagrindinis valdymo mygtukas. Pagal jutiklio techninių duomenų lapą rekomenduojamas atstumo matavimo diapazonas yra nuo 2 cm iki 3 m.

Šiame prototipe panaudotas ultragarso jutiklis su dviem siųstuvais ir imtuvais (3 pav.). Nauja jutiklio konstrukcija leidžia sumažinti siunčiamos garso bangos kampą, dėl to didėja matavimo skirtingais atstumais tikslumas (Osyooy, n.d.). Jutiklis lengvai prijungiamas prie mikrovaldiklio plokštės – galima jungti tiesiogiai arba su ilginamuoju laidu, nereikia lituoti.

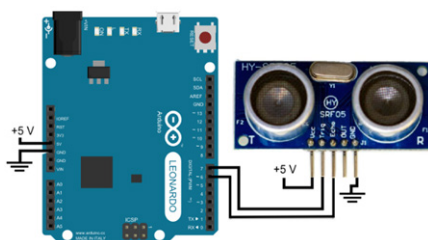
3 paveiksle parodytas IoT jutiklio mazgas ir „LoRa“ perdavimo modulis, pagamintas Vilniaus Gedimino technikos universitete. Siekiant užtikrinti geriausią santykį tarp matavimo tikslumo ir energijos efektyvumo, buvo pasirinktas mažos kainos ir mažos galios jutiklis.

Eksperimentinio modulio apribojimai ir sklendaus veikimo prielaidos (Khedikar et al., 2018; Saji et al., 2016):

- sistema nematuoja atliekų svorio, tačiau, sumontuota vidiniame konteinerio dangčio paviršiuje, išmatuoja faktinį atliekų sluoksnio lygį, apskaičiuojamas atstumas nuo konteinerio viršaus (privalumas, nes nebūtina kalibruoti naudojant skirtingos konstrukcijos konteineriuose, stebima neužpildyta konteinerio erdvė);



2 paveikslas. Konteinerio vaizdas iš viršaus, penkių matavimo taškų išdėstymas
Figure 2. A view from the top of the container with five points of measurement in the waste bin



3 paveikslas. Ultragarso jutiklis HY-SRF05 (Osyooy, n.d.) ir sukonstruotas IoT mazgas su „LoRa“ perdavimo moduliū
Figure 3. Ultrasonic sensor HY-SRF05 (Osyooy, n.d.) and constructed IoT node with LoRa transmission module

- sistema atspari dulkiams, garams ir nejautri skirtingam apšviestumui (ultragarso netrikdo dulkęs, tinkamam veikimui nebūtina šviesa (Osoyoo, n.d.));
- labai konkurencinga kaina, lyginant su analogiškas funkcijas atliekančiais moduliais (komponentų kaina nesiekia 2–3 eurų, bendra vertė nesiekia 15 eurų (Osoyoo, n.d.; Jin et al., 2014).

2. Tyrimo rezultatai ir diskusija

Pagrindiniai tyrimo duomenys – atstumas nuo konteinerio viršutinio horizontalaus paviršiaus iki atliekų paviršiaus:

- matuoti naudojant ultragarso jutiklį ir „LoRa“ duomenų perdavimo modulį;
- matuoti naudojant laboratorinę nerūdijančiojo plieno liniuotę.

Matavimai suskirstyti į dvi kategorijas:

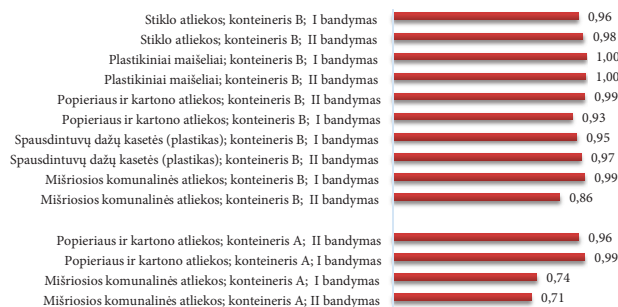
- I bandymas – konteineris beveik užpildytas;
- II bandymas – konteineris beveik tuščias.

Visi pirminiai duomenys apdoroti statistinės analizės programiniu paketu.

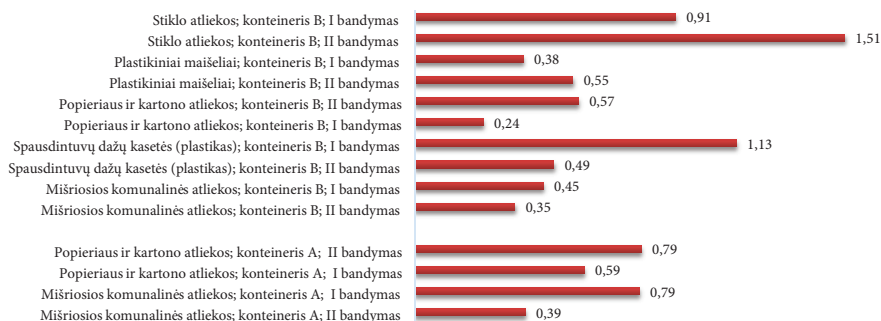
Rezultatai vertinami pagal koreliacijos koeficientą, absoliučiąją paklaidą, procentinę paklaidą.

Koreliacijos koeficientas

Siekdami sužinoti, koks stiprus yra ryšys tarp jutiklio ir laboratorine liniuote išmatuotų reikšmių, apskaičiavome koreliacijos koeficientą (4 pav.):



4 paveikslas. Koreliacijos koeficiento verčių tarp visų konteinerių jutiklio ir liniuote išmatuotų verčių palyginimas
Figure 4. Comparison of correlation coefficient between measured and actual values of all containers fulfillment



5 paveikslas. Absoliučiosios paklaidos verčių tarp visų konteinerių jutiklio ir liniuote išmatuotų verčių palyginimas
Figure 5. Comparison of absolute error between measured and actual values of all containers fulfillment

- 1 rodo stiprų teigiamą ryšį;
- -1 rodo stiprų neigiamą ryšį;
- 0 artimos vertės rodo, kad ryšio tarp duomenų nėra.

Palyginus koreliacijos koeficientų vertes, matyti, kad jutiklio ir siųstuvo modulis konteinerių užpildymo matavimus atlieka gan preciziškai. Daugumos matavimo duomenų koeficientų vertės yra gana artimos 0,99.

4 paveiksle pastebimas gan akivaizdus skirtumas tarp matavimų, kai konteineris yra beveik užpildytas (I bandymas) ir kai konteineris yra beveik tuščias (II bandymas), todėl galime daryti išvadą, kad ultragarso jutiklio matavimai yra tikslesni, kai konteineris yra didesnio tūrio (A tipo) ir užpildytas iki vidutinio lygio (apie 50–30 %).

Absoliučioji paklaida

Duomenų kiekybinėms vertėms analizuoti naudojome absoliučiosios paklaidos vertes. Absoliučiosios paklaidos vertė yra skirtumas tarp jutikliu išmatuotos V_A ir jos tikrosios vertės V_E :

$$\Delta = |V_A - V_E| \quad (1)$$

Palyginus absoliučiąją paklaidą, galima daryti išvadą, kad rezultatai yra labai geri, nes dauguma verčių yra gana žemos (5 pav.).

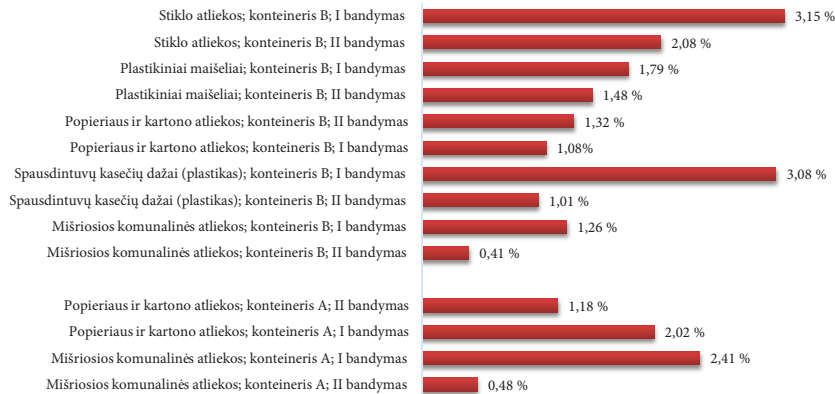
Mažiausia absoliučiosios paklaidos reikšmė – 0,24 – yra „Konteineris B, I bandymas – aukščiausias lygis“, o didžiausia reikšmė yra „Konteineris B, II bandymas – apatinis lygis“ – 1,51.

Procentinė paklaida

Absoliučioji paklaida labai priklauso nuo matuojamo dydžio skaitinės vertės. Viena, kai analizuojame dešimčių eilės vertes, visai kas kita, jei vertės yra dešimtyjų eilės. Siekiant išvengti duomenų vertinimo netikslumų, buvo atlikta ir duomenų procentinės paklaidos analizė (6 pav.).

Kai procentinė paklaida artima nuliui, vadinasi, matavimo rezultatas yra labai arti faktinės vertės (6 pav.). Naudota ši formulė:

$$\Delta, \% = \left| \frac{V_A - V_E}{V_E} \right| \cdot 100 \% \quad (2)$$



6 paveikslas. Procentinės paklaidos verčių tarp visų konteinerių jutikliu ir liniuote išmatuotų verčių palyginimas
Figure 6. Comparison of percentage error between measured and actual values of all containers

Remiantis tokiu procentinės paklaidos palyginimu, galima daryti išvadą, kad rezultatai yra labai geri, nes dauguma rezultatų yra tarp 1 ir 2 %. Mažiausia procentinė paklaidos vertė yra 0,41 % mišriųjų komunalinių atliekų atvejui „konteineris B, II bandymas“, kai konteineris beveik tuščias. Didžiausia vertė yra atvejui „konteineris B, I bandymas“, kai konteineris beveik užpildytas.

Išvados

1. Ultragarso jutiklis gali reprezentatyviai matuoti atliekų paviršiaus lygį konteineriuose.
2. Matavimai tinkamai atliekami ir esant skirtingiems konteinerių užpildymo lygiams.
3. Jutiklis geriausiai matuoja didesnio tūrio konteinerių užpildymo lygį. Juose atliekos tolygiau pasikirsto konteinerio paviršiuje.
4. Tikslusni jutiklio matavimų rezultatai gauti esant beveik tušties konteineriams. To priežastis – jutiklio siunčiamos ultragarso bangos kampas. Kai matuojamasis paviršius yra labai arti jutiklio, matavimas atliekamas nuo labai mažo ploto ir lokalūs paviršiaus nelygumai turi labai didelę įtaką rezultatui.

Remdamiesi šiuo eksperimentu galime rekomenduoti naudoti šį jutiklį intelektinėse atliekų tvarkymo sistemose.

Literatūra

- Augustin, A., Yi, J., Clausen, T., & Townsley, W. M. (2016). A study of LoRa: Long range & low power networks for the internet of things. *Sensors*, 16(9), 1466. <https://doi.org/10.3390/s16091466>
- Cercheci, M., Luti, F., Mecocci, A., Parrino, S., Peruzzi, G., & Pozzebon, A. (2018). A low power IoT sensor node architecture for waste management within smart cities context. *Sensors*, 18(4), 1282. <https://doi.org/10.3390/s18041282>
- CONTENUR. (n.d.). *CONTENUR - company which devoted to designing, manufacturing, and marketing comprehensive urban waste container solutions.* <https://www.contenur.com/en/products/containers/rear-loading/>

- Jin, J., Gubbi, J., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2014). An information framework for creating a smart city through internet of things. *IEEE Internet Things*, 1(2), 112–121. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2013.2296516>
- Khedikar, M. A., Khobragade, M. M., & Sawarkar, M. N. (2018). Garbage management of smart city using IoT. *Sensors*, 18(4), 1282. <https://doi.org/10.3390/s18041282>
- Osoyoo. (n.d.). *Arduino lesson – Ultrasonic Sensor HC-SR04 module.* <http://osoyoo.com/2018/08/arduino-lesson-ultrasonic-sensor-hc-sr04-module/>
- Saji, R. M., Gopakumar, D., Kumar, S. H., Sayed, K. N. M., & Lakshmi, S. (2016). A survey on smart garbage management in cities using IoT. *International Journal of Engineering and Computer Science*, 5(11), 18749–18754.
- Silva, B. N., Khan, M., & Han, K. (2018). Towards sustainable smart cities: A review of trends, architectures, components, and open challenges in smart cities. *Sustainable Cities and Society*, 38, 697–713. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.01.053>
- Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., & Zorzi, M. (2014). Internet of things for smart cities. *IEEE Internet Things*, 1(1), 22–32. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2014.2306328>

FILLING LEVEL MEASUREMENTS OF WASTE BINS USING LOW POWER SENSORS OF THE INTERNET OF THINGS AND LORAWAN TECHNOLOGY

N. Inasaridze, V. Vaišis

Abstract

The article discusses IoT based solutions to improve waste collection and monitoring in public waste containers. The paper examines whether the monitoring system used in the measurement process can be used to monitor the filling of containers. The system consists of a wireless module connected to an ultrasonic sensor. The data sent makes it possible to calculate the empty space in the waste containers. The values are obtained by measuring the distance from the top of the container to the surface of the waste. Low-power long-distance broadband network (LoRaWAN) transmitters were used for data transmission. The aim of the research: to test an inexpensive monitoring system and to describe a new system of sensors and transmitter modules. The system is characterized by extremely low power

consumption and a wide range of sensors used. Measurements were performed in Vilnius. Containers of two types of sizes were analyzed, measurements were performed at five points of horizontal cross section of the containers. The study was performed at two different levels of container filling. The results show that an ultrasonic sensor can representatively measure waste filling depths at different levels of container filling. Based on the results, this sensor can be recommended in the intelligent waste management market. Such a system can provide the necessary data for optimizing waste collection processes in cities and avoid container overcrowding problems.

Keywords: waste bins, waste management, LoRaWAN, IoT sensors.