

EDEGUNS LIETU INTERNETA IEKĀRTĀM ENOSE FOR INTERNET OF THINGS

Autori: **Mārīte ELKSNE**, e-pasts: marite.elksne@gmail.com,
Artūrs SOLOVJOVS, e-pasts: arturss5@inbox.lv
Zinātniskā darba vadītājs: **Dr.sc.ing., profesors Artis TEILĀNS**,
Rēzeknes Tehnoloģiju akadēmija,
Atbrīvošanas aleja 115, Rēzekne, Latvija

Abstract. System “eNose” is developed within a project “eNose for Internet of things”, which is a part of a project contest “Research Grant of Rezekne Academy of Technologies”. The aim of this work is to explore whether it is possible to detect spoiled food with help of sensors and a neural network. System “eNose” is intended to detect and classify spoiled food products within storages and notify related users. Detection and classification are performed by four gas sensors and a neural network. As a result, a web application was developed that performs such functions as storage and sensor registration, neural network training, spoiled food detection based on sensor data, and user permission control. It was concluded that sensors for this application must be very precise in order to receive best possible results.

Keywords: classification, enose, food, neural network, sensor.

Ievads

Attīstoties tehnoloģijām, arvien biežāk ir vērojama tendence izstrādāt iekārtas, kas imitē kādu no cilvēka maņām. Šīs ierīces visbiežāk izmanto dažādus sensorus, kas spēj noteikt apkārtējās vides stāvokli un attiecīgi apstrādāt saņemto informāciju. Šādas ierīces ir, piemēram, elektroniskie deguni, kas ar sensoru palīdzību nosaka izvēlēto vielu koncentrāciju un pēc tam veic vielas atpazīšanu, kā arī ziņo par trauksmi nepieciešamības gadījumā. Šādu pieeju arvien plašāk sāk izmantot medicīnas nozarē pacientu veselības stāvokļa noteikšanai [1], kā arī preparātu kvalitātes analīzei [2].

Viens no elektroniskā deguna lietojuma gadījumiem ir bojātu pārtikas produktu noteikšana noliktavās un automātiska paziņojumu izsūtīšana piesaistītajiem lietotājiem. Uzņēmumos, kas nodarbojas ar pārtikas produktu pārstrādi, ir īpaši svarīgi sekot līdzi tam, lai noliktavās esošie produkti ir svaigi un piemēroti lietošanai uzturā. Nespēja nodrošināt pietiekošu kvalitāti var novest pie soda sankcijām, kā arī izraisīt uzņēmuma reputācijas pasliktināšanos. Lielās pārtikas noliktavās visu pārtikas produktu stāvokļa apsekošana kļūst par laikietilpīgu procesu. Ir jāņem vērā arī iespēja, ka darbinieks var kļūdīties, nosakot produkta stāvokli pēc tā izskata, jo tas ne vienmēr ir noteicošais faktors. Šādu sistēmu varētu izmantot ne tikai komerciālās noliktavās, bet arī mājas apstākļos, lai laicīgi atpazītu bojātos produktus ledusskapī. Šī funkcionalitāte tiek panākta ar sensoru un neironu tīkla palīdzību.

Sistēma “eDeguns” ir izstrādāta projektu konkursa “Rēzeknes Tehnoloģiju akadēmijas grants pētniecībai” projekta “eDeguns lietu interneta iekārtām” ietvaros.

Darba mērķis ir izpētīt, vai ir iespējams atpazīt bojātus pārtikas produktus, izmantojot neironu tīklu un gāzu sensoru rādījumus.

Darba uzdevumi:

- 1) Izpētīt esošos programmrisinājumus, kas paredzēti sensoru datu apstrādei, izanalizēt to priekšrocības un trūkumus, lai konkretizētu sistēmas “eDeguns” funkciju klāstu.
- 2) Izpētīt programmatūras izstrādes tehnoloģijas, izvērtēt to priekšrocības un trūkumus, izvēlēties piemērotākos risinājumus sistēmas “eDeguns” izstrādei.
- 3) Izstrādāt sistēmu “eDeguns”, kas var iegūt datus no gāzu sensoriem, padot tos apstrādei neironu tīklam un noteikt, kāds pārtikas produkts ir bojāts.

- 4) Izveidot testa stendu un iegūt datus no dažādiem pārtikas produktiem neironu tīkla modeļa apmācīšanai.
- 5) Apmācīt neironu tīkla modeli ar iegūtajiem datiem.
- 6) Pārbaudīt apmācītā neironu tīkla precizitāti testa stendā ar dažādiem pārtikas produktiem.

Materiāli un metodes

Autoru motivācija šī darba izstrādei ir pievērst cilvēku uzmanību mašīnmācīšanās tehnoloģiju izmantošanas iespējām sadzīves problēmu risināšanai un labklājības uzlabošanai.

Darbā tika pielietotas sekojošas metodes:

- Zinātniskās literatūras analīze, lai iegūtu informāciju par līdzīgiem zinātniskajiem pētījumiem un to rezultātiem, noskaidrotu, kādi neironu tīklu tipi ir visvairāk atbilstoši konkrētā pētījuma veikšanai, kā arī uzzinātu, kādas gāzes visvairāk izdalās pārtikas produktu bojāšanās procesā.
- Datu ieguves metode, lai ar speciāli izstrādāta testa stenda palīdzību un tajā esošajiem sensoriem ievāktu datus par dažādiem pārtikas produktiem kontrolētā vidē.
- Datu apstrādes metode, lai ar neironu tīkla palīdzību apstrādātu sensoru rādījumus, kas ievākti dažādiem bojātiem pārtikas produktiem, un veiktu klasifikāciju.

Rezultāti un to izvērtējums

Izpētot vairākas lietu interneta platformas, detalizētāk tika izanalizētas trīs no tām: *ThingsBoard*, *ThingSpeak* un *Lattelecom – Internet of Things*. Faktori, kas tika ņemti vērā analīzes procesā, ir to ierīču pārvaldības funkcija, paziņojumu sistēma, datu vizualizēšana un neironu tīkla integrēšana.

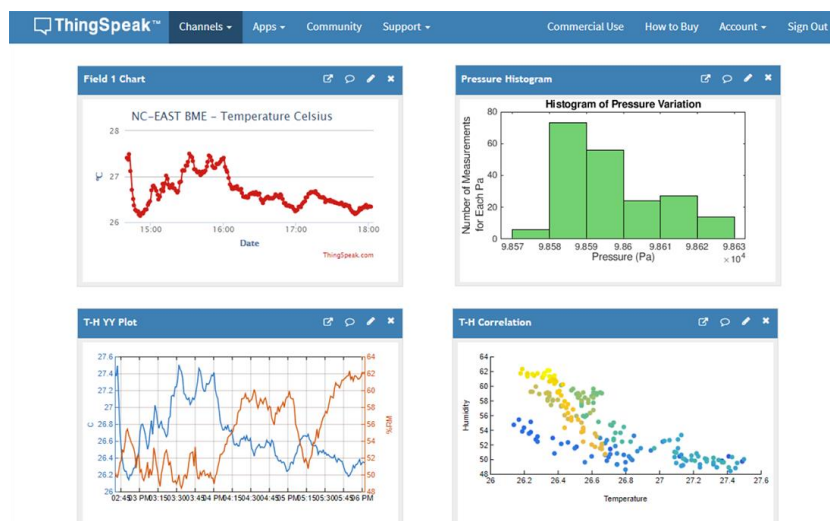
ThingsBoard ir bezmaksas atvērta koda lietu interneta platforma, kas paredzēta ierīču pārvaldīšanai, datu vākšanai, to apstrādei un attēlošanai. Visas pievienotās lietu interneta ierīces tiek kontrolētas, izmantojot drošu *API*. Dati tiek vizualizēti, lietojot logrīkus un modificējamu instrumentu paneli (skat.1.attēlu). Tāpat var definēt dažādus datu apstrādes noteikumus, notikumus un brīdinājumus, kas tiek izsaukti, izpildoties definētajiem nosacījumiem [3].

Latest telemetry		
Last update time	Key ↑	Value
2017-04-17 23:39:35	humidity	46.0
2017-04-17 23:39:35	sound	0
2017-04-17 23:39:35	temperature	22.0

1.attēls. *ThingsBoard* instrumentu panelis

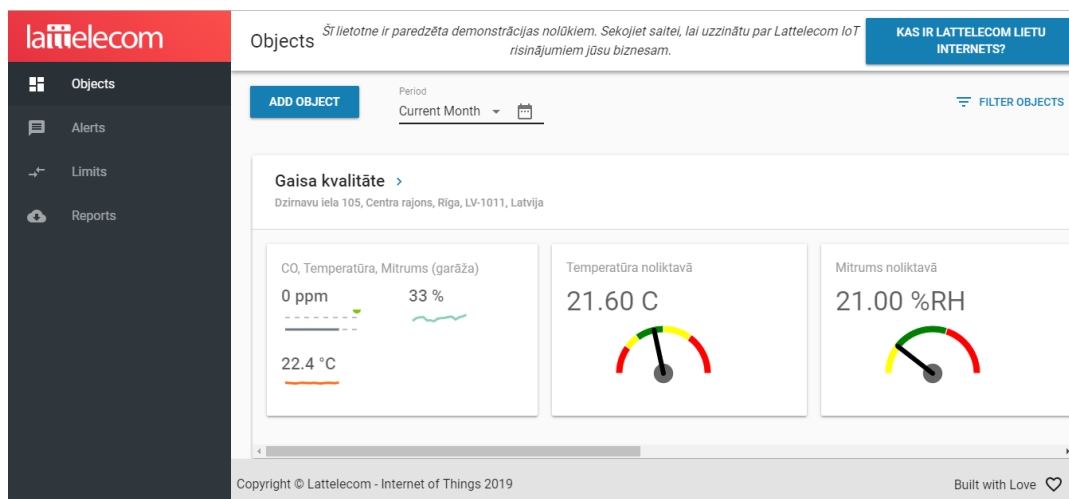
ThingSpeak ir lietu interneta analītikas platforma, kas ļauj vākt, vizualizēt un analizēt datu plūsmas. *ThingSpeak* nodrošina tūlītēju datu attēlošanu no ierīcēm, tiklīdz tie nonāk servisā (skat.2.attēlu). Lai veiktu datu analīzi un apstrādi, *ThingSpeak* platformā ir iespējams

izpildīt *MATLAB* kodu [4]. Viens no visbiežākajiem *ThingSpeak* pielietojumiem ir sarežģītu lietu interneta sistēmu prototipēšana [5].



2.attēls. *ThingSpeak* datu vizualizēšana

Lattelecom – *Internet of Things* ierīces darbojas, izmantojot *LoRa* tehnoloģiju, kas, atšķirībā no ierastajiem bezvadu un mobilā interneta veidiem, nodrošina datu pārraidi lielos attālumos ar zemām uzturēšanas izmaksām. Visi mērījumi tiek pārvaldīti speciālā interneta portālā (skat.3.attēlu). Lietu interneta pārvaldības portāls grafiskā un ciparu formātā atspoguļo sensoru un mērierīču datus, kā arī ļauj uzstādīt brīdinājumus par ārkārtas situācijām vai avārijām. Portālā ir iespējams pārvaldīt visas iekārtas, sekot to mērījumiem, aplūkot vēsturiskos datus un veikt datu analīzi [6].



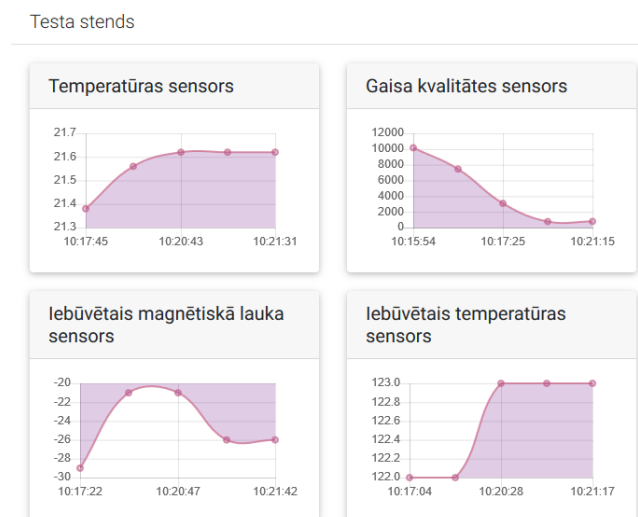
3.attēls. *Lattelecom* lietu interneta portāls

Izpētot piedāvātās lietu interneta platformas, tika secināts, ka tām ir ierobežotas neironu tīkla integrēšanas iespējas. Tika arī noteikts, ka sistēmai “eDeguns” ir nepieciešama ērta ierīču pārvaldības funkcija, paziņojumu sistēma, reāllaika datu vizualizēšana, kā arī integrēts neironu tīkls, kura pārvaldībai un izmantošanai nav nepieciešamas padziļinātas zināšanas mašīnmācīšanās jomā.

Apkopojot informāciju par vairākām tīmekļa lietotņu izstrādes tehnoloģijām, tika izanalizētas katra rīka priekšrocības un trūkumi. Rezultātā tika pieņemts lēmums sistēmas “eDeguns” tīmekļa lietotni realizēt *Python* valodā ar *Django* izstrādes ietvara palīdzību un

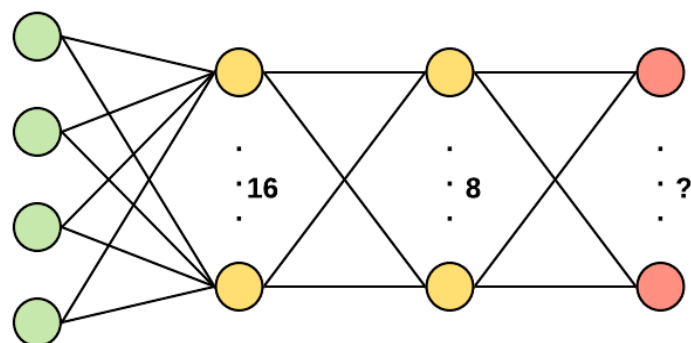
MySQL datubāzi. Neironu tīkla modelēšanai tika nolemts izmantot *TensorFlow* mašīnmācīšanās ietvaru ar papildus bibliotēku *Keras*. Tehnoloģiju izvēle tiek pamatota ar programmēšanas valodas piemērotību mašīnmācīšanās algoritmu izstrādei, kā arī tīmekļa lietotņu izstrādes ietvara dotajām iespējām ātri realizēt standarta funkcijas.

Pēc esošo sistēmu un izstrādes tehnoloģiju analīzes tika izstrādāta tīmekļa lietotne, kas ļauj lietotājam reģistrēt un pārvaldīt savas noliktavas un sensorus, apmācīt neironu tīklu, saņemt reāllaika paziņojumus par bojājajiem produktiem noliktavā, balstoties uz sensoru rādījumiem, kā arī veikt lietotāju piekļuves tiesību kontroli. Tāpat tika iestrādāta sensoru rādījumu reāllaika vizualizācija (skat.4.attēlu).



4.attēls. Sistēmas “eDeguns” sensoru rādījumu reāllaika attēlojums

Sistēmas “eDeguns” pamatā darbojas vairāku klašu klasifikācijas neironu tīkla modelis (skat.5.attēlu). Tas sastāv no 4 savstarpēji savienotiem līmeņiem, tam ir 4 ieejas neironi, kas atbilst sensoru skaitam, pirmajā slēptajā līmenī ir 16 neironi, otrajā slēptajā līmenī – 8. Šim modelim ir dinamisks neironu skaits izejas līmenī, kas mainās atkarībā no to produktu skaita, uz kuriem tas ir ticis apmācīts.



5.attēls. Sistēmas “eDeguns” neironu tīkla struktūra

Projekta ietvaros tika realizēts arī testa stends praktisku eksperimentu veikšanai. Tā pamatā ir ledusskapis, kura aizmugurē ir piestiprināts mikrokontrolers, kas nodrošina datu nolasīšanu no sensoriem un to padošanu tīmekļa lietotnei (skat.6.attēlu).



6.attēls. Ledusskapja aizmugure ar mikrokontrolleri

Ledusskapja iekšpusē ir izvietoti 4 gāzu sensori (skat.7.attēlu). Gāzes, kuras tiek mērītas, ir oglekškābā gāze (CO_2), metāns (CH_4), amonjaks (NH_3) un sērūdeņradis (H_2S).



7.attēls. Ledusskapja iekšpuse ar sensoriem

Veicot eksperimentus ar bojātiem pārtikas produktiem, tika novērots, ka sensoru precizitātei un jutībai ir jābūt ļoti augstai, jo produktu izdalīto gāzu apjoms ir salīdzinoši mazs, lai noteiktu būtisku atšķirību starp dažādiem pārtikas produktiem. Svarīgs ir arī gāzu sensoru novietojums ledusskapī, t.i., gāzu, kuras ir smagākas par gaisu, sensori ir jāizvieto apakšā un to gāzu, kuras ir vieglākas par gaisu, sensori ir jāizvieto augšējos plauktos. Projekta turpmākai attīstībai ir nepieciešams iegūt jutīgākus sensorus, lai iegūtu precīzākus rezultātus.

Secinājumi

- Esošās sensoru vadības lietotnes ir paredzētas vispārīgai lietošanai un nenodrošina specifiskas datu apstrādes funkcijas ar neironu tīklu.
- *Python* programmēšanas valoda tika izvēlēta tās plašā mašīnmācīšanās bibliotēku atbalsta, kā arī pilnvērtīgo un kvalitatīvo tīmekļa izstrādes ietvaru dēļ.

- Projekta ietvaros tika izstrādāta sistēmas “eDeguns” tīmekļa lietotne, kas nodrošina sensoru datu apstrādi ar neironu tīkla palīdzību un bojāto produktu klasifikāciju.
- Sistēma “eDeguns” bojāto produktu klasifikācijai izmanto vairāku klašu klasifikācijas neironu tīklu, kas, saņemot četru sensoru rādījumus, spēj noteikt bojātā produkta nosaukumu.
- Praktisku eksperimentu veikšanai tika realizēts testa stends, kas sastāv no ledusskapja, mikrokontrollera un 4 gāzu sensoriem.
- Sistēmas precizitātes uzlabošanai ir nepieciešams iegādāties precīzākus sensorus, jo bojāto produktu izdalīto gāzu apjoms ir salīdzinoši neliels.

Summary

Nowadays with development of technologies we can observe such devices being developed that resemble one or another of the human senses. Such devices are, for instance, electronic noses, that with the use of sensors measure concentrations and perform compound recognition. It can also be set up to send a notification in case of an emergency. This approach can be used in order to recognize spoiled food in storages and send notifications to related users. This system can be very useful in large storages, as well as, home refrigerators. The aim of this work is to research and find out if it is possible to recognize spoiled food products with the use of a neural network and gas sensor data.

At first, authors analysed three IoT data processing platforms in order to acknowledge their pros and cons, as well as, generate new ideas for “eNose” system. These platforms were ThingsBoard, ThingSpeak, and Latt Telecom - Internet of Things. It was observed that all these platforms lack neural network integration support. This analysis also proved that “eNose” system requires efficient device control, notification system, real time data visualisation, and built-in neural network that will not require machine learning knowledge in order to use it. After reviewing several software development technologies it was decided to use Python programming language and Django framework for web application development. As for neural network, Python and TensorFlow framework with Keras library was used. As a result, according web application was developed that is capable of collecting data from sensors and processing it using the built-in neural network.

“eNose” system is based upon a multi class classification neural network. It consists of 4 interconnected layers. It has 4 input neurons, 16 neurons in the first hidden layer, and 8 neurons in the second hidden layer. This neural network model has dynamic output neuron count which depends on the food product count that it was trained on.

In the scope of this project, a test bed was also built. It consists of a refrigerator that has a microcontroller attached on its back that collects sensor data and then sends it to the web application. Inside the refrigerator there are 4 gas sensors. The gases that are measured are carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), ammonia (NH₃), and hydrogen sulphide (H₂S).

After performing several experiments with spoiled food products, it was observed that sensor precision and sensitivity must be very high because the amount of gas emitted from the spoiled products is relatively small. Gas sensor placement in the refrigerator is also very important, for example, lighter than air gas sensors are placed on the higher shelves, whereas heavier than air gas sensors are placed on the bottom shelves of the refrigerator. To successfully continue research in this project, higher sensitivity sensors are a necessity.

Literatūra

1. Haalboom, M., Gerritsen, J.W., Palen, J. Differentiation between infected and non-infected wounds using an electronic nose. *Clinical Microbiology and Infection*. 2019. [Piekļuve:17.01.2020]
2. Wasilewski, T., Migon, D., Gebicki, J., Kamysz, W. Critical review of electronic nose and tongue instruments prospects in pharmaceutical analysis. *Analytica Chimica Acta*. 2019. [Piekļuve:17.01.2020]

3. *ThingsBoard Open-source IoT Platform*. [Tiešsaiste] Pieejams: <https://thingsboard.io/>
[Piekļuve:17.01.2020]
4. *Learn More About ThingSpeak*. [Tiešsaiste] Pieejams: https://thingspeak.com/pages/learn_more
[Piekļuve:17.01.2020]
5. Sridharan, M., Devi, R., Dharshini, C.S., Bhavadarani, M. IoT based performance monitoring and control in counter flow double pipe heat exchanger. *Internet of Things*. 2019. No. 5: p34-40
[Piekļuve:17.01.2020]
6. *Pirmais lietu interneta tīkls Latvijā*. [Tiešsaiste] Pieejams: <https://iot.lattelecom.lv/lv>
[Piekļuve:17.01.2020]