

IoT სენსორული სისტემა და მონაცემთა გადაცემის LoRa ტექნოლოგია უფლისციხის კულტურული მემკვიდრეობის ძეგლის შესწავლისათვის

გიორგი ბასილაია¹, დავით ჩხაიძე², ზაალ აზმაიფარაშვილი¹, დავით ყვავაძე²

1-საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2-ილიას სახელმწიფო უნივერსიტეტი

რეზიუმე

განხილულია კულტურული მემკვიდრეობის ძეგლის, უფლისციხის შესწავლის მიზნით შექმნილი სენსორული სისტემა, მონაცემთა გადაცემის დაბალი ენერგომომხმარების ქსელი, რომელიც დაფუძნებულია LoRa გადაცემის სტანდარტზე. აღწერილია გამოყენებული სენსორები, დაგროვებისა და გადაცემის მოწყობილობები. გამოყენებული ახალი ქსელური გადაცემის ტექნოლოგიის შედარება წინამორბედებთან და მისი შეფასება ენერგო მოხმარების მხრივ. წარმოდგენილია ინსტალაციებისა და მონაცემთა გადაცემის სქემა, ნაჩვენებია და გაანალიზებული სისტემის მიერ რამდენიმე წერტილზე გაზომილი ერთი თვის ტემპერატურისა და ტენიანობის მონაცემები.

საკვანძო სიტყვები: IoT სისტემა. ნივთების ინტერნეტი. კულტურული მემკვიდრეობა. ძეგლი. მონიტორინგი. უკაბელო სენსორი. LoRa.

1. შესავალი

დღითიდღე სულ უფრო აქტუალური ხდება ე.წ. ნივთების ინტერნეტის ტექნოლოგია (Internet of Things - IoT), რომელიც გულისხმობს მოწყობილობებსა და სენსორებს შორის მონაცემების ურთიერთმიმოცვლის სისტემებს. მათი პრაქტიკული გამოყენება შეიძლება შეგვხდეს ისეთ დარგებში, როგორცაა უსაფრთხოება, ენერჯის მართვა, სოფლის მეურნეობა, ჭკვიანი ქალაქი, ჭკვიანი სახლი, ჯანმრთელობა, გაზომვები, ტრანსპორტი და კულტურული მემკვიდრეობის ძეგლების კვლევა [1,2].

IoT გადაწყვეტილებებს გააჩნია სპეციფიური მოთხოვნები, როგორცაა მონაცემთა გადაცემის დიდი დისტანცია და დაბალი სიჩქარე, ელექტრო ენერჯის მოხმარების დაბალი დონე და ხელმისაწვდომი ფასი. ფართოდ გამოყენებული მოკლე დისტანციაზე მოქმედი რადიო გადაცემის ტექნოლოგიები, როგორცაა ZigBee და Bluetooth არ არის ადაპტირებული შორ მანძილებზე გადაცემისათვის, ხოლო მობილური კავშირგაბმულების საშუალებები ამ პრობლემის ერთ ერთი გადაჭრის გზაა, მაგრამ ისინი ზედმეტად დიდ დენს მოიხმარს.

საჭირო გახდა ახალი ტიპის უკაბელო კავშირგაბმულობის ტექნოლოგიის – LPWAN გამოყენება (Low Power Wide Area Network – დაბალი ენერჯის ფართო არის ქსელი). LPWAN ტიპის ქსელების პოპულარულობა სწრაფად იზრდება, რადგან ის მოიხმარს ძალზე დაბალ ენერჯიას, აქვს მონაცემთა გადაცემის დიდი დისტანცია და საკმაოდ ხელმისაწვდომი ფასი. მჭიდროდ დასახლებულ არეში მისი გადაცემის დისტანცია 1-5 კილომეტრამდეა, ნაკლებად დასახლებულში – 10-40 კმ. [3].

გარდა ამისა დაფიქსირებულია ამ ტექნოლოგიით მონაცემთა გადაცემის მსოფილო რეკორდი 702 კმ [4]. ამ ტექნოლოგიებიდან დღეისთვის აქტუალურია Sigfox, LoRa და NB-IoT. ზოგიერთ ქვეყანაში უკვე ხელმისაწვდომია ამ ტექნოლოგიების ქსელები მობილური ოპერატორების დახმარებით, მაგალითად ამჟამად Sigfox ხელმისაწვდომია 58 ქვეყანაში [5], LoRa მოქმედებს 51 ქვეყანაში [6], NB-IoT კი 37 ქვეყანაში [7].

მსოფლიოში, დღემდე შემორჩენილი, მრავალი კულტურული მემკვიდრეობის ძეგლი არსებობს. ამ მხრივ განსაკუთრებით მდიდარია საქართველო. სამწუხაროდ მრავალსაუკუნოვანი ძეგლების უმეტესობა მუდმივად განიცდის ბუნებრივ თუ ადამიანურ ზემოქმედებას, ეროზიას, გამოფიტვას, ზიანდება კედლის მხატვრობა, ბევრი მათგანი კრიტიკულ მდგომარეობაშია და საჭიროებს ყოველდღიურ მეთვალყურეობას, დიაგნოსტიკას და შესაბამისი საკონსერვაციო თუ სარესტავრაციო სამუშაოების სწორად დაგეგმვას და განხორციელებას. მათ შორისაა უფლისციხის კლდეში ნაკვეთი კომპლექსი, რომელიც განიცდის გარემოს ზემოქმედებას (ტემპერატურა, ტენიანობა, ნალექი), რაც იწვევს დროთა განმავლობაში ძეგლის დაზიანებას და ნგრევას.

სტატიაში განხილულია უფლისციხეში გარემო ფაქტორების (ტემპერატურა, ტენიანობა) ძეგლზე ზემოქმედების შესწავლის მიზნით შექმნილი დაკვირვების სენსორული სისტემა, გარემოს პარამეტრებზე დაკვირვების წერტილებიდან მონაცემთა შეგროვების და გადაცემის პრობლემის გადაჭრის გზა სენსორული ქსელის არქიტექტურის საშუალებით, რომელიც მოიხმარს ძალზედ მცირე ენერჯიას და შესაბამისად მუშაობს ხანგრძლივი დროის განმავლობაში. გამოყენებულია დაბალი ელ.მოხმარების ფართო არეს ქსელის (LPWAN) LoRa ტექნოლოგია, რომელიც უზრუნველყოფს დროის რეალურ რეჟიმში რამდენიმე წერტილზე გაზომილი პარამეტრების – ტემპერატურის, ტენიანობის მონაცემების გადაცემას ნივთების ინტერნეტის ქსელში მათი შემდგომი ვიზუალიზაციის, მეცნიერული ანალიზისა და გარემოს ფაქტორების ძეგლზე ზემოქმედების შესწავლის მიზნით.

2. ძირითადი ნაწილი

კულტურული მემკვიდრეობის ძეგლების კვლევისას არსებობს გარკვეული შეზღუდვები, მაგალითად, ხშირად საკვლევი ობიექტი საერთოდ არ არის ან ნაწილობრივ არის უზრუნველყოფილი ელექტროენერჯით, ან ძეგლი იმდენად დიდია, რომ შეუძლებელია მასზე დამაზიანებელი ზემოქმედების გარეშე ელ-გაყვანილობით მისი ყველა წერტილის დაფარვა და დამატებით მონაცემთა საკომუნიკაციო გაყვანილობის მოწყობა. შესაბამისად ჩნდება უკაბელო, დამოუკიდებელი წერტილების შექმნის აუცილებლობა, რომელიც დამოუკიდებლად მოახდენს სენსორებიდან მონაცემების აღებას და გადაცემას. ამ ეტაპამდე ასეთი გადაცემის საშუალებებს წარმოადგენდა ZigBee, Wifi, ან GPRS/3G/LTE გადამცემები. მიუხედავად იმისა, რომ გარკვეულწილად შესაძლებელია მათი ელ. მოხმარების ოპტიმიზაცია, დროის დიდ მონაკვეთში მაინც ჩნდება ენერჯის შევსების აუცილებლობა, რაც ყოველთვის ვერ ხერხდება.

ამ დრომდე ხელმისაწვდომი სისტემები, როგორც წესი, ეყრდნობა კვების ხაზებსა და საკომუნიკაციო კაბელებს და წარმოადგენს შედარებით რთულ, მოუხერხებელ ინსტალაციებს, ხოლო ძეგლების შემთხვევაში მათი გამოყენება არასასურველია მათი მონტაჟისას გამოწვეული დამაზიანებელი ეფექტის გათვალისწინებით.

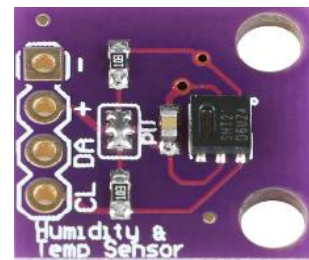
ზემოაღნიშნული გარემოებებიდან გამომდინარე უფლისციხის კომპლექსის სხვადასხვა ქვაბულში კლდის პარამეტრების (ტემპერატურა და ტენიანობა) განსაზღვრისათვის შეირჩა 8 წერტილი (ნახ.1). ამ წერტილებში შეიმჩნეოდა კლდის ზოგიერთ მონაკვეთზე მაღალი ტენიანობის კვალი, რაც ერთ-ერთ დამაზიანებელ ფაქტორად მიიჩნევა. გარდა ამ წერტილებისა, შეირჩა ე.წ. ცენტრალური შემკრები წერტილი, რომელიც სხვადასხვა ქვაბულებიდან გამოგზავნილ ინფორმაციას მიიღებს, შეკრებს და შემდეგ მობილური ოპერატორის ინტერნეტ კავშირის საშუალებით გადააგზავნის ღრუბლოვან სერვერზე შემდგომი ვიზუალიზაციისა და დამუშავებისათვის.



ნახ.1. დაკვირვების წერტილები UC1-UC8

საზომი სენსორებიდან გამოყენებულია კომპანია SENSIRION-ის წარმოებული ტემპერატურისა და ტენიანობის სენსორი SHT21 (ნახ.2). მას აქვს ციფრული გამოსასვლელი I²C ინტერფეისით, მოიხმარს მცირე ენერგიას, გამოირჩევა სტაბილურობით და მწარმოებლის მიერ ხდება კალიბრირებული სახით მიწოდება.

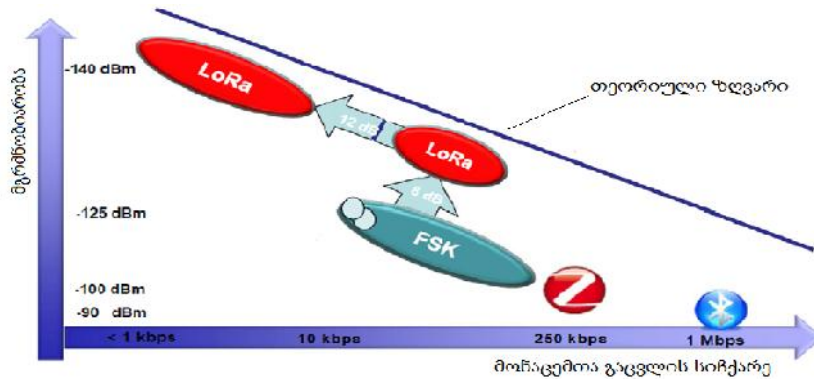
ჩიპი, გარდა ორი სენსორისა, შეიცავს ანალოგურ ციფრულ გარდამქმნელს, მეხსიერებასა და ციფრული დამუშავების მოდულს. სენსორის ჩიპს აქვს 4 მუშა კონტაქტი SDA ორმხრივი მიმდევრობითი მონაცემები, VSS დამიწება, VDD კვება, SCL სინქრონიზაცია. სენსორის ფარდობითი ტენიანობის პარამეტრის გარჩევადობაა 8/12 ბიტი - 0.7/0.04 %RH, ხოლო ტემპერატურის 12/14 ბიტი - 0.04/0.01 °C. ენერგომოხმარება ძილის რეჟიმში 0.15 μ A, ხოლო გაზომვისას 300 μ A [7].



ნახ.2. ტემპერატურისა და ტენიანობის სენსორი SHT21

სენსორებიდან მონაცემთა გადაცემისთვის გამოყენებული იქნა LoRa ტექნოლოგია. აღნიშნული ტექნოლოგიის შერჩევა მოხდა მისი განსაკუთრებული დაბალი ენერგომოხმარების გამო, რაც საშუალებას გვაძლევს კაბელების დაქსელვის გარეშე განვითაროთ მოწყობილობები საკვლევ ობიექტზე. რათქმუნდა დიდი ზომის აკუმულატორებით შესაძლებელი იქნებოდა ელ.მომარაგების ქსელის თავიდან აცილება, მაგრამ

მნიშვნელოვანია მცირე ზომების შენარჩუნება, რათა ავირიდოთ ძეგლის ვიზუალური სახის დამახინჯება. LoRa დაბალსიჩქარიანი და ამავდროულად მაღალი მგრძობიარობის მქონე ტექნოლოგიაა რომელიც შორ მანძილებზე გადაცემასაც თავისუფლად უზრუნველყოფს (ნახ.3).



ნახ.3. LoraWAN ტექნოლოგიის შედარება - სიჩქარე და მგრძობიარობა

შერჩეული გადამცემი მოდული Semtech SX1278 – Ra-02 (ნახ.4) მუშაობს ღია სიხშირეზე 433 MHz აზიის რეგიონისათვის, 868 MHz ევროპისათვის ხოლო 915 MHz სიხშირეზე ამერიკისთვის, მისი მოქმედება ეფუძნება LoRaWAN MAC დონის პროტოკოლს.



ნახ.4. LoRaWAN მოდული LORA RA-02 433MHZ - SX1278

აღსანიშნავია მოდულის ძალზედ დაბალი - ფასი 10 ლარი.

ქსელური არქიტექტურის მხრივ ტექნოლოგია ეფუძნება საბოლოო მოწყობილობებს, როუტერებსა და კოორდინატორს. საბოლოო მოწყობილობები კლასტერული ხის ფოთლებია, რომლებიც მონაცემებს ზომავს, როუტერები კრებს ინფორმაციას, ხოლო კოორდინატორები როუტერებისგან მიღებულ გზავნილებს გადასცემს მონაცემთა ცენტრში. ჩვენ შემთხვევაში უფლისციხეში გამოყენებულია მხოლოდ მიმღებ-გადამცემი მოდულები, რადგან LoRa სტანდარტის და შესაბამისი როუტერების მხარდაჭერა ქვეყანაში მოქმედ მობილურ ოპერატორებს ამ ეტაპისთვის არ გააჩნიათ.

მონაცემთა გადაცემის ეფექტური სიჩქარე ვარირებს 0,018 კბ/წმ-დან 37.5 კბ/წმ-მდე დიაპაზონში. GPRS, ZigBee, WIFI, ტექნოლოგიებთან შედარებით LoRaWAN იდეალური გადაწყვეტილებაა და მოცემულია პირველ 1-ელ ცხრილში [9].

GPRS, ZigBee, Wifi, LoRa ტექნოლოგიების შედარება

ცხრ.1

ტექნოლოგია	ენერგომოხმარება	კავშირის მაქს. რაოდენობა	გადაცემის სიჩქარე
GPRS	მაღალი	დამოკიდებულია სადგურზე	მაქს. 171.2 კბ/წმ
ZigBee	დაბალი	255	მაქს. 171.2 კბ/წმ
WiFi	მაღალი	255	10-100მბიტი/წმ
LoRa	ძალიან დაბალი	200 000	0.1 დან 250 კბ/წმ

ცხრილიდან ნათლად ჩანს, რომ LoRa ტექნოლოგია ლიდერია კავშირის რაოდენობის, ენერგომოხმარების მხრივ და მეორე ადგილზეა გადაცემის სიჩქარით.

ზემოთ აღწერილი ტექნოლოგიებისა და მოწყობილობების გამოყენებით მოხდა სისტემის შექმნა, რომელიც მიკროკლიმატის მონაცემებს ზომავს ქვაბულებში SHT21 სენსორების საშუალებით (ნახ.5-6) და აგზავნის მათ მონაცემებს ერთ ცენტრალურ მიმღებთან, სადაც მონაცემთა გადაგზავნა GPRS ინტერნეტით, მობილური ოპერატორის დახმარებით ხდება.



ნახ.5 SHT21 სენსორი წერტილი UC4



ნახ.6 SHT21 სენსორი წერტილი UC5

ყოველ წერტილზე კლდზე მიმაგრებული SHT21 სენსორი მიერთებულია LoRa Ra-02 მოდულზე Ra-02, რომელიც ახდენს სენსორიდან ციფრული ინფორმაციის ამოკითხვას. მოდული, რომელიც მუშაობს ერთჯერად LI-ON 3.7V 2600mAh (ნახ.7) აკუმულატორზე, აქტიურდება 5 წუთში ერთხელ და მიღებულ ინფორმაციას გადასცემს ცენტრალურ წერტილზე დაყენებულ იგივე ტიპის მოდულს, რომელიც ყველა მოწყობილობიდან მონაცემთა მიღებისთვისაა კონფიგურირებული.



ნახ.7. UC3 წერტილი LoRa Ra-02 გადამცემი და SHT21 სენსორი

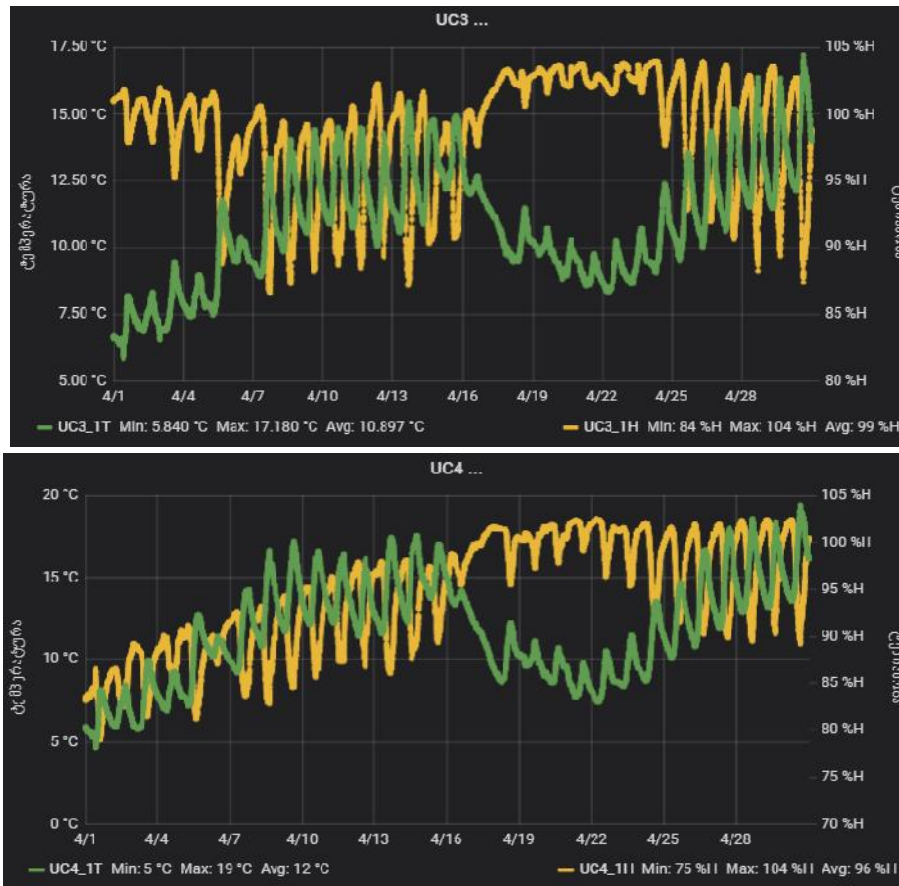
მიღებული ინფორმაცია დაკავშირებულია იქვე არსებულ GPRS მოდულზე SIM800C (ნახ.8), რომელიც მობილური ოპერატორის ინტერნეტ ქსელშია ჩართული.

ინტერნეტ ქსელის საშუალებით ხდება მონაცემთა ატვირთვა ნივთების ინტერნეტის (IoT) სისტემა MAXIOT-ში MQTT პროტოკოლის გამოყენებით. ნივთების ინტერნეტის სისტემა MAXIOT ახდენს ინფორმაციის გადამუშავებას და მონაცემთა ბაზაში განთავსებას, რომელიც გაშვებულია ღრუბლოვან სერვერზე. ამავე სერვერზე დაინსტალირებულია მონაცემთა ვიზუალიზაციის ღია სისტემა Grafana (ნახ.9),



ნახ.8. GPRS გადამცემი მოდული SIM800C

რომლის საშუალებითაც შესაძლებელია ვიზუალური გრაფიკების მიღება და მონაცემთა დამუშავება. ასევე კრიტიკული მნიშვნელობების მიხედვით შეტყობინებების გენერაცია.



ნახ.9. UC3 და UC4 წერტილები, 2019 წ. აპრილის მონაცემები (ტემპერატურა და ტენიანობა)

როგორც გრაფიკებიდან ჩანს UC3 ქვაბულში მინიმალური ტემპერატურა 2019 წლის აპრილში შეადგენდა 5.84 °C, მაქსიმალური 17.18 °C, ხოლო საშუალო 10.897 °C; UC4 ქვაბულში მინიმალური 5 °C, მაქსიმალური 19 °C, ხოლო საშუალო 12 °C.

აღსანიშნავია ენერგომომხმარების მხრივ მიღებული შედეგი, რომელიც მოცემულია მე-2 ცხრილში. აქედან ჩანს, რომ UC3 წერტილისთვის მაქსიმალური დაბვის ცვლილებამ 1 თვეში შეადგინა 0.25 ვოლტი. თუ ჩავთვლით, რომ რეკომენდებული დაბვის მინიმუმია 3.5 ვოლტი მაშინ შესაძლოა გავთვალოთ მუშაობის სავარაუდო დრო.

სხვადასხვა წერტილზე აკუმულატორთა დაბვის 1 თვის სტატისტიკა ცხრ.2

წერტილი	დაბვა 01.04.2019	დაბვა 01.05.2019	ცვლილება	სავარაუდო დრო
UC3	4.11 ვ.	4.04 ვ.	0.07 ვ.	6 თვე
UC4	4.03 ვ.	3.78 ვ.	0.25 ვ.	3 კვირა
UC5	4.09 ვ.	3.93 ვ.	0.16 ვ.	2 თვე

ექსპერიმენტის დროს გამოყენებული იყო სხვადასხვა მწარმოებლის აკუმულატორები, საიდანაც UC3 წერტილზე არსებულმა აკუმულატორმა აჩვენა საუკეთესო შედეგი, სენსორის და გადამცემის მუშაობის სავარაუდო დრო 6 თვე.

3. დასკვნა

შეიქმნა სენსორული დაკვირვების სისტემა, რომელიც დაფუძნებულია თანამედროვე LoRa ტექნოლოგიაზე. ეს ტექნოლოგია, დაბალი ელექტრომომხმარებისა და მაღალი გადაცემის რადიუსის წყალობით, უზრუნველყოფს სენსორული ქსელის მუშაობას უფლისციხეში, რომელიც არ საჭიროებს ელექტრო და მონაცემთა გაყვანილობის საკაბელო ქსელის შექმნას, ერთი აკუმულატორით კი შესაძლებელია 6 თვემდე ავტონომიური მუშაობის უზრუნველყოფა. სისტემის შექმნისას ასევე გამოყენებულია MAXIOT ნივთების ინტერნეტის IoT სისტემა და ვიზუალიზაციის პლატფორმა Grafana. სტატიაში მოყვანილია ტემპერატურისა და ტენიანობის გაზომილი შედეგები 2019 წლის აპრილისთვის.

გარდა ამ პარამეტრებისა (ტემპერატურა და ტენიანობა) იგეგმება ბზარებზე დაკვირვება (ბზარის ჭრილის ზომის კონტროლი) და მიწისძვრებზე დაკვირვება ამავე ტექნოლოგიის გამოყენებით. უფლისციხეში სისტემის წარმატებული ფუნქციონირება მიღებული, გამოცდილების საფუძველზე, ქმნის მსგავსი სისტემების საქართველოსა და მსოფლიოს სხვა ძეგლებზე მოწყობის წარმატებულ საწინდარს.

ლიტერატურა – References – Литература:

1. Ratasuk R., Mangalvedhe N., Ghosh A. (2015). Overview of LTE enhancements for cellular IoT, in: Proc. of PIMRC, Hong Kong, China, pp. 2293– 2297
2. Jara A.J., Sun Y., Song H., Bie R., Genooud D., Bocchi Y. (2015). Internet of Things for cultural heritage of smart cities and smart regions, in: 2015 IEEE 29th International Conference on *Advanced Information Networking and Applications Workshops* (WAINA), pp. 668–675.
3. Centenaro M., Vangelista L., Zanella A., Zorzi M. (2016). Long-range communications in unlicensed bands: The rising stars in the IoT and smart city scenarios, *IEEE J. Wirel. Comm.* 23 (5) (2016) 60–67
4. LoRa მსოფლიო რეკორდი. <https://www.thethingsnetwork.org/article/ground-breaking-world-record-lorawan-packet-received-at-702-km-436-miles-distance>
5. Sigfox მსოფლიო დაფარვის რუქა. www.sigfox.com/en/coverage/
6. LoRa მსოფლიო დაფარვის რუქა. www.lora-alliance.org/
7. NB-IoT მსოფლიო დაფარვის რუქა. www.gsma.com/iot/deployment-map/
8. SENSIRION SHT21 სენსორის აღწერა. <http://www.farnell.com/datasheets/1780639.pdf>
9. Song, Yonghua & Lin, Jin & Tang, Ming & Dong, Shufeng. (2017). An Internet of Energy Things Based on Wireless LPWAN. *Engineering*. 3. 460-466. 10.1016/J.ENG.2017.04.011.

IOT SENSOR SYSTEM AND LORA DATA TRANSMISSION TECHNOLOGY FOR STUDY OF UPLISTSIKHE CULTURAL HERITAGE MONUMENT

Basilaia Giorgi ¹, Chkhaidze David ², Azmaiparashvili Zaal ¹, Kvavadze David ²

1-Georgian Technical University

2-Ilia State University

Summary

Paper discusses the IoT based sensor system that was created for study of Uplistsikhe rock cut city cultural heritage monument located in Georgia. System uses low power data transmission network based on LoRa standard. Sensor, data acquisition and transmission devices as well as network technologies used for the project are described, characterized and compared. Some estimations are calculated based on energy consumption statistics. Paper shows installation sites, network distribution schemas and one-month temperature/humidity data visualization of several sites.

IOT

. ¹,
1-
2-

. ²,

LORA

. ¹,

. ²

Рассматривается система датчиков на основе IoT, созданная для изучения памятника культурного наследия города Уплистихе. Система использует сеть передачи данных с низким энергопотреблением на основе стандарта LoRa. Датчики, устройства сбора и передачи данных, а также сетевые технологии, используемые для проекта, описаны, охарактеризованы и сравнены. Некоторые оценки рассчитаны на основе статистики потребления энергии. В статье показаны места установки, схемы сетевого распределения и визуализации данных температуры / влажности за один месяц для нескольких точек.