

A METHODOLOGY FOR ENVIRONMENTAL AND AIR QUALITY MONITORING USING LORAWAN SENSOR PLATFORMS⁹

Assoc. Prof. Georgi Hristov, PhD

Department of Telecommunications,
“Angel Kanchev” University of Ruse
Tel.: 082 888 663
E-mail: ghristov@uni-ruse.bg

Assoc. Prof. Plamen Zahariev, PhD

Department of Telecommunications,
“Angel Kanchev” University of Ruse
Tel.: 082 888 663
E-mail: pzahariev@uni-ruse.bg

Eng. Jordan Raychev, PhD Student

Department of Telecommunications,
“Angel Kanchev” University of Ruse
Tel.: 082 888 353
E-mail: jraychev@uni-ruse.bg

Assist. Prof. Diyana Kinaneva, PhD

Department of Telecommunications,
“Angel Kanchev” University of Ruse
Tel.: 082 888 353
E-mail: dkyuchukova@uni-ruse.bg

Eng. Ivan Mihov, PhD Student

Department of Telecommunications,
“Angel Kanchev” University of Ruse
Tel.: 082 888 663
E-mail: i_mihov@abv.bg

Abstract: The paper presents a methodology for the use of small, compact and low-power wireless sensor devices to obtain data about various environmental and air quality parameters. The introduction section of the paper provides a brief overview of the technology trends in the sensor systems and a short analysis on the most significant reasons and the most important parameters for air quality and environmental monitoring. The paper continues with a comparative analysis on the telecommunication standards for low-power wireless communications, which are used in the modern sensor systems. The focus of the next section is on the presented methodology for environmental and air quality monitoring. Detailed specifications and guidelines for the development of LoRaWAN sensor platforms for air quality and environmental analysis are also provided and the benefits from their use are shortly discussed.

Keywords: Air quality monitoring, environmental monitoring, sensor systems and networks, LoRaWAN

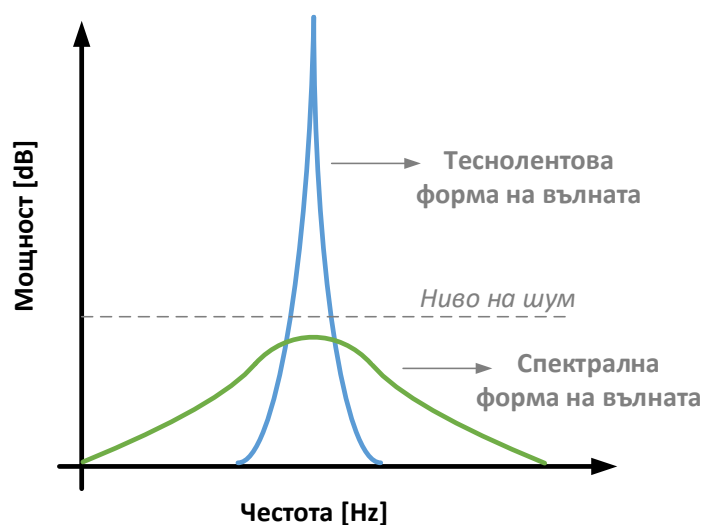
ВЪВЕДЕНИЕ

Интернет на нещата е една нова концепция, която добива популярност с изключителни темпове. Широко използвана в различни аспекти на нашия живот [1], тя стои в основата на съвременните интелигентни градове, които разчитат на информацията, получена от сензорни устройства за подобряване ефективността на градската екосистема и качеството на живот.

Интернет на нещата може да бъде реализирана и полезна технология и в други области, например в здравеопазването за проследяване на здравния статус на пациенти и възрастни или може да бъде използван като удобство по време на тренировки и фитнес упражнения за проследяване на активността и извличане на статистики за това. В света на интелигентните градове „нещата“ се използват за проследяване и мониторинг на различни параметри на градската среда като качество на въздуха, температура, влажност, безопасност, градски транспорт и редица други [3].

Изграждането на съвременни системи, базирани на Интернет на нещата е свързано с редица предизвикателства. Едно от най-значимите сред тях е необходимостта от безжична технология, която ще послужи за изграждане на свързаност между отделните компоненти на новата технология. Днес съществуват различни стандарти за безжична комуникация. Няколко от тях са широко използвани и приложими за обекти и устройства с изключително малка мощност. Те могат да бъдат IP-съвместими или да са такива, които не работят с IP протокола. По-голяма част от безжичните стандарти, приложими за маломощни устройства се характеризират с това, че имат малък обхват [7, 8]. Пример за такъв стандарт е Bluetooth, който е един от най-често използваните протоколи за комуникация на устройства в близко разстояние. За нуждите на Интернет на нещата Bluetooth протокола е еволюирал до нова версия BLE (Bluetooth Low Energy), която се характеризира с приблизително същия обхват като нейния предшественик, но със значително намалена консумация на мощност. BLE е адаптиран в здравеопазването под формата портативни медицински или живото поддържащи устройства. Друга технология, която среща нуждите за Интернет на нещата е ZigBee. ZigBee е стандарт, базиран на IEEE 802.15.4 и дефинира серия от комуникационни протоколи на високо ниво, използвани за създаване на частни мрежи с малки цифрови радиоприемници с ниска мощност и ниска честотна лента. Стандартът е предназначен предимно за индустриални цели [4, 5].

Друга обещаваща технология за Интернет на нещата е LoRaWAN. За разлика от дотук споменатите безжични технологии, приложими в Интернет на нещата, LoRaWAN е технология, насочена към приложения с широк обхват. Тя е проектирана да предоставя WAN свързаност с ниска консумация на енергия и специфични функции. Характеризира се с двупосочна комуникация и е оптимизирана за работа с маломощни устройства, като поддържа големи мрежи с хиляди устройства и скорост на предаване на данни от 0,3 kbps до 50 kbps. LoRaWAN е технология, която работи с нелицензиран радио спектър [2].



Фиг. 1 Форма на вълната при UNB и SSM модулация

ТЕХНИКИ ЗА МОДУЛАЦИЯ, ИЗПОЛЗВАНИ ПРИ МАЛОМОЩНИ НИСКОЧЕСТОТНИ МРЕЖИ

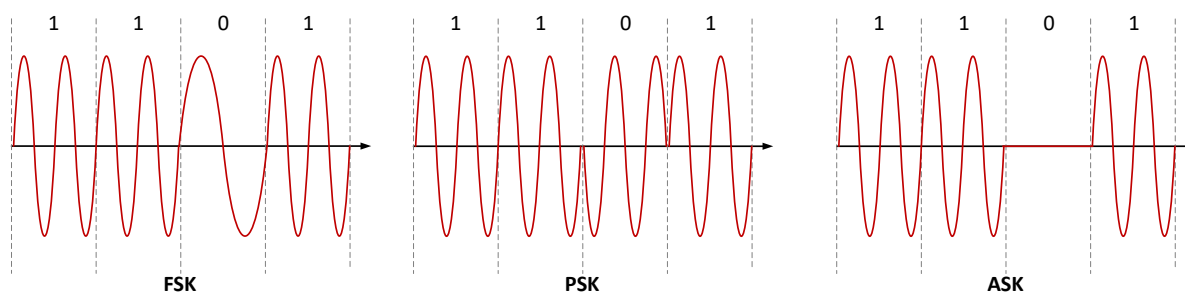
Модулацията е процес, при който се променят параметрите на високочестотен сигнал, наречен носещ, под въздействие на сигнала, носител на информация, наречен модулиращ. Съществуват две разклонения на стандарти за модулация, използвани в маломощните широкообхватни мрежи – UNB (Ultra Narrow Band) модулация и SSM (Spread Spectrum) модулация. Накратко, UNB може да предостави малко по-дълъг обхват на комуникация, докато SSM има по-голяма устойчивост към интерференция и смущения. Фиг. 1 илюстрира формата на вълните при UNB и SSM техниките за модулация. Състоянието или формата на вълната, която носещата вълна е приела се нарича символ и се характеризира с специфична фаза, големина или честота. Дефинират се две понятия за скорост: битова и символна (още наричана бодова) скорост. Битовата скорост се дефинира като честота на битовия поток в системата (брой битове за единица време), а символната скорост се определя като отношение на битова скорост към броя битове във всеки символ. Това се изразява с формула 1.

$$\text{Символна скорост} = \frac{\text{битова скорост}}{\text{битове за символ}} \quad (1)$$

В теорията на модулацията битовата и символната скорост играят важна роля. Те са определящи за честотната лента на комуникационния канал. Колкото повече битове се изпращат с един символ (вследствие на сложността на техниката за модулация), толкова по-тесен спектър може да се използва за същото количество данни. Дългото комуникационно разстояние при LPWAN мрежите се постига на физическо ниво с подходяща модулация, която се фокусира върху по-висока енергия за бит, отколкото по-голяма битова скорост. Ако могат да се увеличат броя на битове предавани с един символ, посредством подходяща модулация, и ако битовата скорост не е от значение, то тогава символната скорост пада (понеже е обратнопропорционална на броя битове), вследствие на което се стеснява използвания честотен спектър.

UNB модулация

UNB модулацията е тип цифрова модулация, която щади по ефективен начин честотната лента при предаването на информация. Технологиите в LPWAN мрежите, които използват такава модулация обикновено работят с 100 Hz широки честотни канали, като с различни модулационни техники се постигат изискванията за комуникация, с ниска консумация на енергия на определен задоволителен обхват. В основата на цифровата модулация е предаването на данни посредством промяна на някои аспекти на основния сигнал. Три от характеристиките, които могат да се променят с течение на времето са фаза, честота и амплитуда. В зависимост от изменения параметър се дефинират три класа цифрова модулация: фазова (phase-shift keying), честотна (frequency-shift keying) и амплитудна (amplitude-shift keying) манипулации (модулации на цифрови сигнали).



Фиг. 2 Цифрова модулация, при която честотата (FSK), фазата (PSK) или амплитудата (ASK) на носения сигнал се променят, за да се изпратят данни

Тези манипулации, както и различни техни вариации се използват широко в LPWAN мрежите. Колкото по-сложна става модулацията, толкова повече битове в един символ могат да се изпращат.

График частоты в кГц в зависимости от времени в мс. Частота увеличивается ступенчато, достигая 600 кГц к 63 мс.

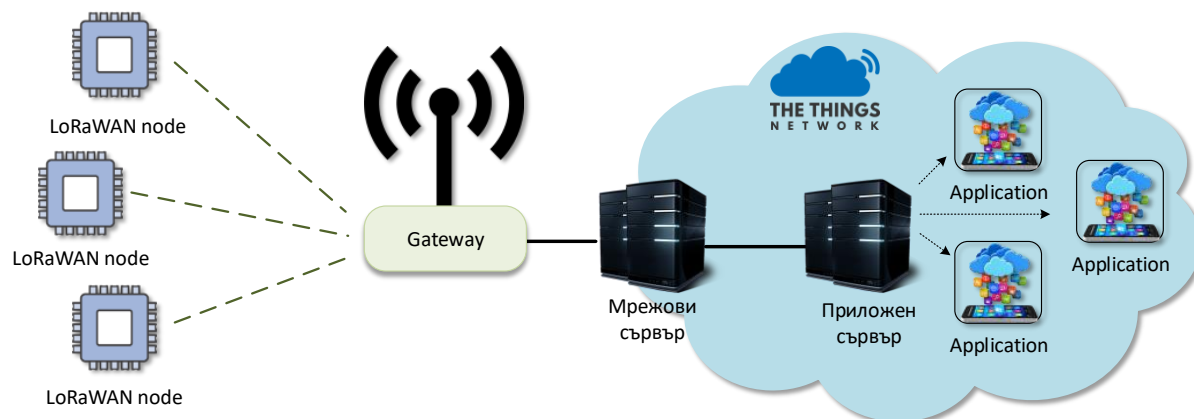
Время [мс]	Частота [кГц]
0	400
2	580
4	420
6	580
8	420
15	600
31	430
63	600

ПЛАТФОРМА ЗА ИЗВЛИЧАНЕ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ НА ДАННИ ОТ ОТВОРЕН ТИП ПОСРЕДСТВОМ LORA БАЗИРАНА КОМУНИКАЦИОННА ИНФРАСТРУКТУРА

- 76 -

извършва при прототипни мрежи и мрежи с малък или среден размер. Проектиранта мрежа се основава на модифицирана версия на описаната трислойна архитектура, представена на фиг.4.

Първият слой на проектираната мрежа е изграден от сензорни станции, чиято основна функция е измерването на основни физични като температура, влажност и атмосферно налягане. Събраните данни се енкапсулират и предават към мрежов концентратор посредством LoRa модуляция.



Фиг. 4 Архитектура на проектираната LoraWAN мрежа

Предимствата на този тип модуляция се състои във възможността за предаване на полезна информация на разстояния между 15-20 км със сравнително маломощни предаватели. Разстоянието, както при всички други безжични технологии бива повлиявано от фактори като позицията на сензорните станции, позицията на мрежовите портали, околната среда (наличие на пряка и непряка видимост), вида на антената, мощността на предавателя и други. Към момента най-голямата покрита дистанция чрез използване на Lora модуляция е 702.676 км при използвани 25 mW предавателна мощност.

Вторият слой на архитектурата е изграден от мрежови концентратори. Тяхната основна задача е събирането на данни от сензорните станции и комутирането им към мрежовия слой. Капацитетът на мрежовите концентратори е една от най-важните им характеристики. Той се определя основно от възможност за едновременно обработване на заявки. Повечето мрежови концентратори поддържат до осем канала (IF0-IF7), като честотната лента на всеки един от тях е 125 kHz. Подобен тип концентратори са предназначени за използване при асинхронни мрежи от тип звезда с общ капацитет на мрежата над 10 000 сензорни станции.

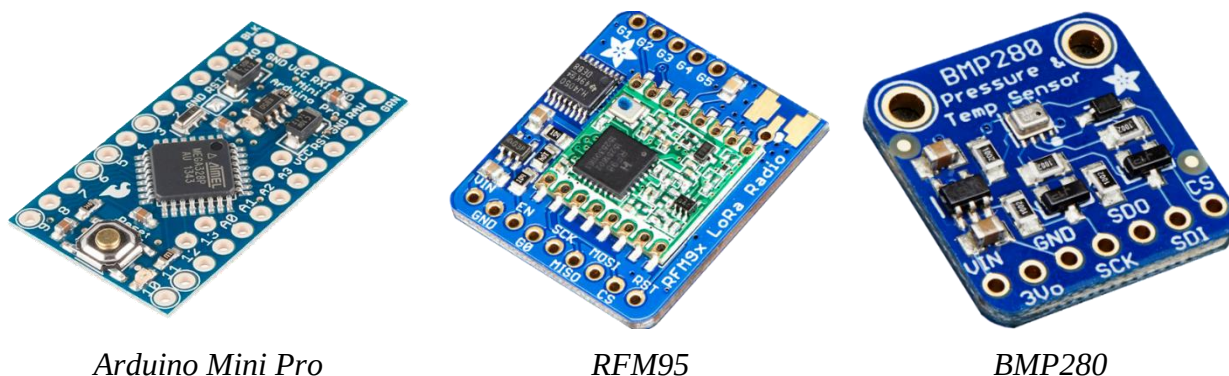
Третият слой на архитектурата представлява приложен сървър, чиито функционалност се свежда до агрегирането на трафика от множество концентратори и маршрутизирането на трафика към приложния слой. Приложният слой или сървър от своя страна служи за съхранение и визуализация на получената информация.

Използвани компоненти

За изграждането на гореспоменатата платформа са използвани сензорни станции, които имат следните характеристики: поддържат LoRa технологията; възможност за криптиране на изпращаните данни; възможност за предаване на статична и динамична информация; възможност за предаване с различен фактор на разпространение; ниска цена; добра енергийна ефективност.

Основните компоненти използвани за изграждането на крайните сензорни станции са развоен микропроцесорен модул, предавателен Lora модул, антена и сензор/и за измерване на дадени физически параметри. Развойния микропроцесорен модул най-често представлява едночипова микропроцесорна системи, която позволява бързо и ефективно прототипиране и тестване на нови системи, процеси и протоколи. Микропроцесорната платформа Arduino е най-популярната хардуерна платформа с отворен код за разработване на вградени микропроцесорни системи.

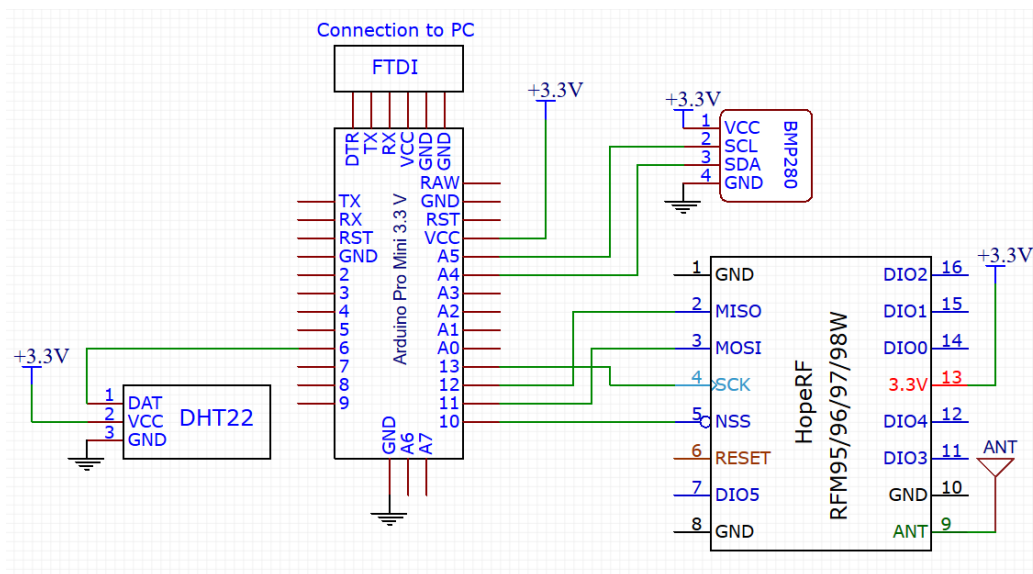
Предавателният модул представлява компонент от сензорните станции, чрез който се извършва безжичното предаване на информация между сензорната станция и мрежовия концентратор посредством LoRa модуляция. На пазара се предлагат и намират сравнително голям брой предавателни модули, които поддържат LoRa модуляция, което прави избора на подобен модул не лека задача. Въпреки множеството сходства между тези модули, някои от тях се различават със значително по-добро покритие, което е приоритетна характеристика за много приложения. Някои от най-основните и често срещани модули са RFM95/96/97/98(W), RN2483 и други. За нуждите на настоящия проект и изграждането на прототипната сензорна станция е избран предавателен модул RFM95. Модулът е със работна честота 868 MHz, което е едно от изискванията за безплатно използване на радиочестотния ефир на територията на република България.



Фиг. 5 Компоненти на сензорната станция

Измервателните сензори не представляват задължителен компоненти за функционирането на крайната измервателна станция, но са препоръчителен елемент към нея. Ако измервателната станция се проектира с цел изследване на характеристиките на LoRa модуляцията и разпространението на сигнала, то измервателните сензори не са необходимост. В случай, че е необходимо станцията да измерва определени физични параметри от заобикалящата ни среда, то тогава сензорите са задължителен елемент. За сензорната станция е избран сензор BMP280, който измерва температура и атмосферно налягане с точност до 1°C и съответно 1 hPa и DHT22 сензор за влажност с точност до 5%.

Задължителни елементи за сензорната станция са антена и захранване. Използвана е диполна антена на 868 MHz с вертикална поляризация и 50 Ω импеданс. Проектираната сензорна станция е мобилна затова захранването ще се реализира от батерия.

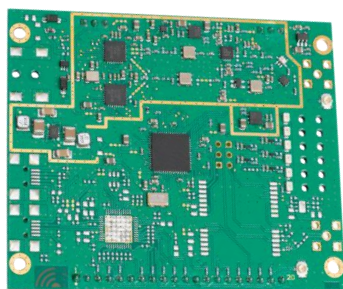


Фиг. 6 Електрическа схема на сензорната станция

На фиг.6 е представена електрическата схема на проектираната сензорна станция. Основната логическа единица в схемата е микроконтролерът, който обединява всички измервателни сензори и предавателния LoRa модул.

Проектираната сензорна станция е изработена под форма на къщичка за птици със сравнително малки размери за по-лесното и инсталиране на съответното място. За изработването и отпечатването на къщичката е използван 3D принтер за моделиране чрез отлагане на материал или т.нар. FDM технология (Fused filament fabrication) използващ екологично чист материал – PLA (Polylactic Acid).

За изграждането на мрежовия концентратор (фиг. 7) са използвани два компонента – LoRa концентратор и едночипов микрокомпютър. LoRa концентраторът събира директно данните от сензорите, а микрокомпютърът реализира TCP/IP връзка към сървър и отговаря за предаването на данните от сензорите в подходящ вид към сървър за съхранение, визуализация и анализ. Съществуват различни по тип LoRa концентратори, като основно се категоризирани според броя на оперативните канали, с които работят. Най-разпространените LoRa концентратори са осем каналните поради факта, че имат възможност за множество приемане и предаване на информация (до 8 канала със различен фактор на разпространение). Това предоставя възможност концентратора да бъде използван и комбиниран с по-широк кръг от крайни мрежови станции (работещи с различни фактори на разпространение). За нуждите на настоящия проект е използван LoRa концентратор IC880a. С навлизането на концепцията за Интернет на Нещата, едночиповите микрокомпютри добиха още по-голяма популярност. Един от най-ярките примери за подобен тип устройство е платформата Raspberry Pi, която се характеризира с висока производителност, ниска цена и редица възможности, които предоставя. Едночиповият микрокомпютър е основен компонент от мрежовия концентратор, тъй като той извършва процесите по маршрутизация на приетите данни от крайните сензорни станции към мрежовия и приложния сървър и обратно [6].



LoRa концентратор IC880a



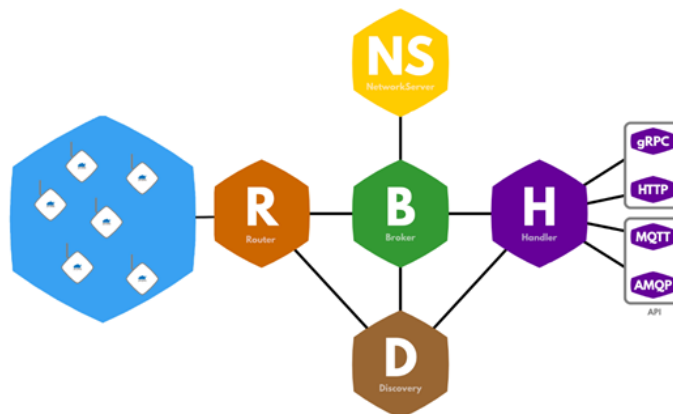
Raspberry Pi Model B+



Сензорна станция

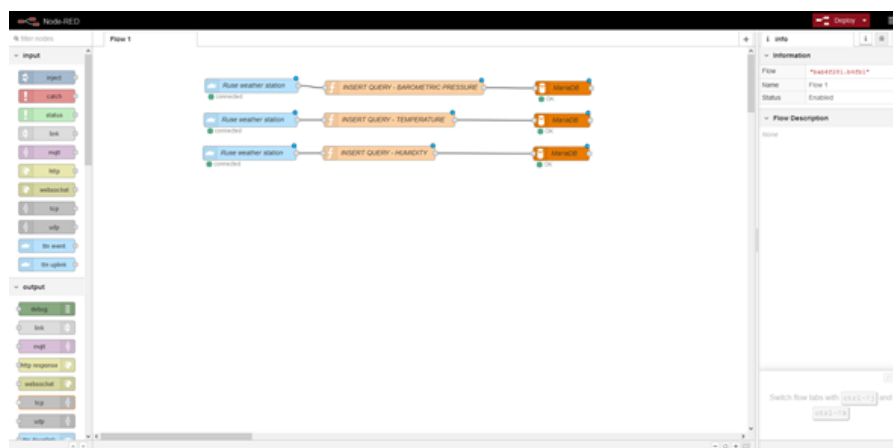
Фиг. 7 Компоненти на мрежовия концентратор

Мрежовият и приложният слой друга съществена част от LoraWAN мрежите. Съществуват два основни типа мрежови сървъри, които могат да бъдат използвани – частни, при които цялата информация от мрежовите концентратори се събира и обработва от определена частна организация или публични, при които информацията се съхранява в публично пространство, където се съхранява за определено време. Популярна публична платформа е The Things Network (TTN), която е свободна за ползване след регистрация. TTN платформата има следната мрежова архитектура (фиг. 8)



Фиг. 8 Архитектурата на мрежовия слой на TTN мрежата

Мрежовият слой на публичната TTN мрежа е елемент с разпределено управление, който е разположен между мрежовите концентратори и приложния слой и извършва основните маршрутизиращи процеси. Системата е изградена по децентрализиран начин и е разделена на няколко основни компонента. Функционалността на представената мрежова архитектура може да бъде описана по следния начин: събраната информация от крайните сензорни станции се енкапсулира в LoraWAN съобщения и бива предавана към съответните мрежови концентратори (в близост до сензорната станция) чрез LoRa протокола. Мрежовият концентратор от своя страна обработва приетата информация и я маршрутизира към специализиран маршрутизиращ отговарящ за съответния район. Специализираният маршрутизатор е свързан към един или няколко брокера, които се явяват основния елемент в мрежовата архитектура на TTN мрежата.



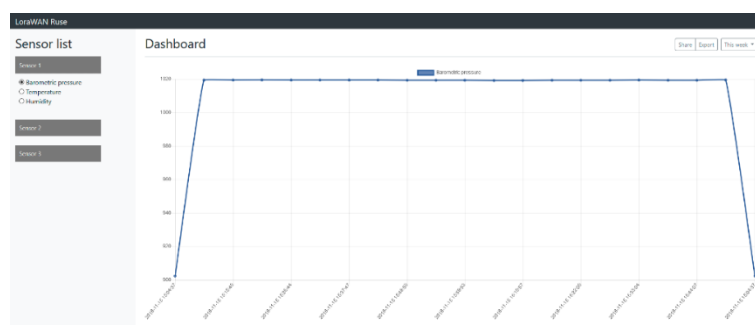
Фиг. 9 Основен изглед на софтуерния инструмент Node-Red

СЪХРАНЕНИЕ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ НА СЪБРАНАТА ИНФОРМАЦИЯ

Съхранението и визуализирането на информацията е етап при изграждането на LoraWAN мрежите, който често се обединява в т.нар. приложен сървър. Вече бе казано, че информацията, която бива изпращана към мрежовия сървър на TTN бива съхранявана за известен период от време след което биват изтривани от сървъра. Именно поради тази причина е необходимо събраната от сензорните станции информация да бъде съхранявана на

приложен сървър. За приложен сървър се използва Node-Red инструментът, който позволява блоково програмиране (визуално) и предоставя бързо и лесно прототипиране на системи и процеси. Основен изглед на изнтрумента е представен на фиг. 9

На работният екран се виждат три основни потока, които представлява изградени комуникационни връзки към мрежовия сървър на TTN. Тези връзки са необходими, тъй като чрез тях се извлича информацията, която бива предавана от сензорната станция. Първият от трите представени блока представлява програмируем блок, който извършва връзката към TTN сървъра. При създаването на този блок е необходимо да бъдат конфигурирани основните параметри чрез които Node-Red да се свърже към TTN сървъра. След осъществяване на физическа връзка между Node-Red и TTN сървъра, данни се формират в подходящ начин и биват изпращани към SQL сървър за съхранение на данни. Идеята на SQL сървъра е перманентно съхранение на данните и последващото им използване за визуализация и анализ. SQL сървъра съхранява всеки уникален физически параметър в отделна таблица, като срещу всеки запис се съхранява и името на сензорната станция от който е извлечена стойността.



Фиг. 10 Визуализация на информацията събрана от сензора за атмосферно налягане



Фиг. 11 Визуализация на информацията събрана от сензора за температура



Фиг. 12 Визуализация на информацията събрана от сензора за влажност

Визуализацията на съхранената в базата от данни информация се извършва от уеб приложение създадено за целите на проекта. На фиг. 10-12. се вижда основния екран на приложението. Организацията на приложението е със сравнително минималистичен изглед, за да бъде минимизирано натоварването на уеб сървъра. В лявата част на екрана в табличен вид са представени всички налични към момента сензори и съответно физичните параметри, които те измерват. Проектираната сензорна станция, както се вижда от фигурата, е под първи

номер, като под нейната дървовидна структура са трите физични параметъра, които тя измерва – атмосферно налягане, температура и влажност.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящия доклад бяха разгледани основните моменти при изграждане на платформа за събиране и визуализиране на информация от сензорни станции. Представено е състоянието на съвременните маломощни широкообхватни мрежи и компонентите изграждащи този тип мрежи. Разгледан е пълният работен процес за изграждане на таква платформа – от избора на мрежови компоненти до визуализация на данни за температура, влажност и атмосферно налягане.

ACKNOWLEDGMENTS

This paper reflects the results received during the implementation of Project №2018-FEEA-02, funded by the Scientific and Research Fund of the University of Ruse “Angel Kanchev”. The study was financially supported by the University of Ruse “Angel Kanchev” contract №BG05M2OP001-2.009-0011-C01, "Support for the development of human resources for research and innovation at the University of Ruse “Angel Kanchev”", which is funded with support from the Operational Program "Science and Education for Smart Growth 2014 - 2020" financed by the European Social Fund of the European Union.

REFERENCES

- [1] Borgia, E. (2014). The Internet of Things vision: Key features, applications and open issues. *Computer Communications*, 54, 1-31, ISSN 0140-3664, <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2014.09.008>
- [2] Centenaro, M., Vangelista, L., Zanella, A., Zorzi, M. (2016). Longrange communications in unlicensed bands: the rising stars in the IoT and smart city scenarios. *IEEE Wireless Communications*, 23(5), 60-67
- [3] Clements, A. L., Griswold, W. G., Abhijit, R. S., Johnston, J. E., Herting, M. M., Thorson, J., Collier-Oxandale, A., Hannigan, M. (2017). Low-Cost Air Quality Monitoring Tools: From Research to Practice (A Workshop Summary). *Sensors Journal*, 17(11), 2478; DOI: <https://doi.org/10.3390/s17112478>
- [4] Liu, S., Xia, C., Zhao, Z. (2016). *A Low-power Real-time Air Quality Monitoring System Using LPWAN based on LoRa*, 13th IEEE International Conference on Solid-State and Integrated Circuit Technology (ICSICT), 3-5
- [5] Luvisotto, M., Tramarin, F., Vangelista, L., Vitturi, S. (2018). On the Use of LoRaWAN for Indoor Industrial IoT Applications. *Wireless Communications and Mobile Computing*, Article ID 3982646, 11 pages, <https://doi.org/10.1155/2018/3982646>
- [6] Saari, M., Baharudin, A. M., Hyrynsalmi, S. (2017). *Survey of prototyping solutions utilizing Raspberry Pi*. 40th International Convention on Information and Communication Technology Electronics and Microelectronics MIPRO 2017 - Proceedings 2017
- [7] Saha, D., Shinde, M., Thadeshwar, S. (2017). *IoT based air quality monitoring system using wireless sensors deployed in public bus services*. In Proceedings of the Second International Conference on Internet of things, Data and Cloud Computing (ICC '17). ACM, New York, NY, USA, Article 87, 6 pages, DOI: <https://doi.org/10.1145/3018896.3025135>
- [8] Snyder, E. G., Watkins, T. H., Solomon, P. A., Thoma, E. D., Williams, R. W., Hagler, G. S., Shelow, D., Hindin, D. A., Kilaru, V. J., Preuss, P. W. (2013). The changing paradigm of air pollution monitoring. *Environmental science & technology*, Oct 15, 47(20), 11369