International Scientific Conference 20 UNITECH 26

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
19-21 November 2026
GABROVO

АРХИТЕКТУРА НА КОМУНИКАЦИОННА СИСТЕМА ЗА ПРЕЦИЗНО ПЧЕЛАРСТВО

Евелина Василева, Красен Ангелов*, Николай Манчев, Боян Карапенев

Технически университет - Габрово, ул. „Х. Димитър“ №4, Габрово, България
**кореспондиращ автор: kkangelov@tugab.bg*

COMMUNICATION SYSTEM ARCHITECTURE FOR PRECISION BEEKEEPING

Evelina Vasileva, Krasen Angelov*, Nikolay Manchev, Boyan Karapenev

Technical University of Gabrovo, 4 H. Dimitar, Gabrovo, Bulgaria
**Corresponding author: kkangelov@tugab.bg*

Abstract
Beehive monitoring can provide useful information for people associated with beekeeping to help to manage their honey bee colonies. The information obtained from the monitoring process can contain data about beehive's temperature, humidity, weight etc. Such a monitoring system is a practical tool in Precision Beekeeping. Honey bee colonies can be monitored using various communication system architectures that are different in methods and approaches. Since there are several monitoring system architectures, beekeeper himself should choose the one that suits his needs. To facilitate the beekeeper's choice of the suitable architecture, a selection algorithm was developed. This paper focuses on different automatic communication monitoring system architectures for real-time beehive monitoring, distinguishing their advantages and disadvantages.

Keywords: precision beekeeping; real-time monitoring, communication system, system architecture.

ВЪВЕДЕНИЕ

Поради значимостта на медоносните пчели се наблюдава засилен интерес към използване на модерни технологии за мониторинг на пчелните кошери и поведението на пчелите. Поради различни причини, напр. въздействието на патогени върху здравето на пчелите, синдрома на разпадане на пчелните семейства, оценката на състоянието на пчелните семейства и др. [1], необходимостта от наблюдение на пчелните кошери е съществена и важна.

Тъй като проверките на място смущават пчелите, за целите на мониторинга могат да се използват съвременни технологии. Те предоставят необходимата информация за управление на пчелните семейства, без да налагат ръчни инспекции [2]. Прецизното пчеларство (Precision Beekeeping – PB) е отделен клон на прецизното земеделие (Precision Agriculture – PA) [3]. То се осигурява чрез внедряване на технически системи за автоматизиран мониторинг на пчелните семейства и пчелините в реално време. Няколко международни научни проекта имат за цел да увеличат наличността на практически инструменти и технически средства за нуждите на прецизното пчеларство [4].

Пчелните семейства могат да бъдат наблюдавани автоматизирано чрез различни подходи и методи [4]. В архитектурите на тези системи събирането на данни от сензори може да варира по от-

Print ISSN: 1313-230X, Online ISSN: 3033-1404

ношение на начина на предаване (чрез кабелни или безжични технологии), съхранението на данните и използването на междинни устройства. Една система за мониторинг може да бъде допълнена и със система за подпомагане на вземането на решения, която отговаря за анализа на данните, определянето на състоянието на пчелното семейство и избора на подходящи мерки. В [3-7] е предоставена информация за други ресурси, свързани с технологиите за мониторинг на пчелни кошери с медоносните пчели. Въпреки това са необходими допълнителни проучвания относно архитектурите на комуникационните системи, които могат да се използват за предаване на сензорни данни от наблюдение на пчелните кошери.

В настоящия доклад са предложени и анализирани няколко подхода за комуникация и предаване на сензорни данни от пчелните семейства към пчеларя, с цел наблюдение в реално време. Целта на доклада е да анализира различни комуникационни системни архитектури за предаване на данните от мониторинг на пчелните семейства в реално време.

СИНТЕЗ И АНАЛИЗ НА КОМУНИКАЦИОННИ СИСТЕМНИ АРХИТЕКТУРИ

При синтезът и анализът на комуникационна архитектура се приема като предварително условие, че се използват цифрови сензор, поставени в кошера. Методологията за правилното разполагане на сензорите в кошера не се разглежда в настоящия доклад.

А) Първи подход

При този подход, представен на фиг. 1, данните от сензорите се предават чрез кабелна или безжична връзка към компютърна станция, разположена в близост до пчелина [6-8]. Чрез специализиран софтуер и система за визуализация информацията може да бъде представена локално на пчеларя. Освен това данните могат да бъдат анализирани автоматично, а решения или заключения относно състоянието и поведението на пчелните семейства – изпращани директно на електронна поща или мобилно устройство на пчеларя.



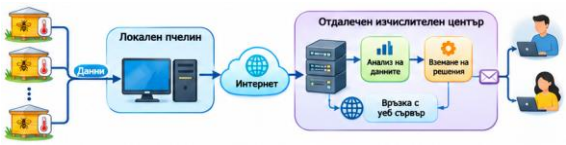
***Фиг. 1**. Комуникационна архитектура с локално съхраняване и обработка на сензорните данни*

За дистанционно наблюдение на събраните данни може да се осъществи отдалечен достъп до компютъра в пчелина, като се използват стандартни средства (напр. Remote Desktop Protocol (RDP) базирани инструменти за отдалечена връзка, интегрирани в операционните системи) или специализиран софтуер за отдалечен достъп. Възможно е също така да се създаде локален уеб-сървър, осигуряващ публичен достъп до събраните данни [9]. Предимства на този подход: сензорните данни се съхраняват локално и са достъпни дистанционно; пчеларят може да получава съобщения относно състоянието и поведението на пчелните семейства. Недостатъците са, че е необходимо разполагането на компютър в пчелина, който при това ще работи непрекъснато, а това налага използването на устройство за непрекъсваемо захранване (UPS) за да се сведат до минимум последиците от колебанията в електрическата мрежа. Към това е необходима постоянна Интернет свързаност, която да позволи отдалечения достъп и публичното разглеждане на данните. Ако компютърът бъде изключен, процесът на събиране на данни се прекъсва, а информацията става недостъпна.

Б) Втори подход

Данните от сензорите, предавани чрез кабелна или безжична връзка, постъпват в компютъра на пчелина, откъдето се препращат към отдалечена изчислителна

станция (отдалечен сървър или облачна услуга) – фиг. 2. В този случай компютърът на пчелина служи като междинно устройство. Съществуват няколко начина за предаване на данните. Един от тях е използването на база данни, която се копира на отдалечения сървър. Друг вариант е директното прехвърляне на данните към отдалечена база данни. В изчислителния център може да бъде разработен уеб-сървър, осигуряващ публичен достъп до информацията. Освен това, данните на сървъра могат да бъдат автоматично анализирани от специализиран софтуер, а получените решения или заключения – изпратени директно на пчеларя. Предимствата на този подход са, че данните се съхраняват както локално, така и в отдалечени бази данни. Пчеларят може да получава съобщения относно състоянието и поведението на пчелните семейства. Дори ако компютърът на пчелина е изключен, съхранените данни остават достъпни чрез уеб-сървъра (посредством уеб или локални приложения). Недостатък е необходимостта от наличие на компютър на самия пчелин, поради което е препоръчително използването на непрекъсваемо токозахранващо устройство (UPS). За предаването на данни е необходима постоянна Интернет свързаност. Продължителните прекъсвания на електрозахранването могат да нарушат мониторинга на пчелните семейства, тъй като при изключване на компютъра процесът на събиране на данни се прекъсва.



***Фиг. 2**. Комуникационна архитектура с локално съхраняване на сензорните данни и отдалечен изчислителен център/сървър*

В) Трети подход

Чрез използването на специфично интерфейсно устройство, данните от сензорите се предават (посредством кабелна или безжична връзка) към отдалечена изчислителна станция (отдалечен сървър или облачен сървър) за последващ анализ – фиг. 3.



***Фиг. 3**. Комуникационна архитектура със съхраняване на сензорните данни директно на отдалечен сървър*

В този контекст, като интерфейсни устройства могат да послужат едноплаткови компютри (напр. Raspberry Pi [10]) или изчислителни платформи, базирани на микроконтролер (напр. Arduino [11]). В изчислителния център може да бъде разработен уеб сървър за осигуряване на публичен достъп до данните. Данните на сървъра могат да бъдат анализирани автоматично, а получените решения или заключения – изпратени директно на пчеларя.



***Фиг. 4**. Системна архитектура с Raspberry Pi като интерфейсно устройство*

При използване на Raspberry Pi като интерфейсно устройство (фиг. 4), към него лесно може да се добави 1-Wire мрежа [12], тъй като то разполага със съответния драйверен модул. Устройството може да се програмира на различни езици, като Python, Ruby или C/C++. Основното ограничение тук е броят на 1-Wire сензорите, които могат да бъдат свързани към Raspberry Pi. По подразбиране в мрежата могат да се включат само десет 1-Wire сензора, тъй като този брой е твърдо зададен/кодиран в драйвера за 1-Wire мрежи на Raspberry Pi. Този лимит може да бъде променен чрез прилагане на специален пач (корекция) или чрез актуализиране/надгражда-

не на фърмуера и ядрото на Raspberry Pi. Тъй като някои модели Raspberry Pi разполагат с Ethernet порт, събраните от сензорите данни могат да се предават към отдалечена база данни (напр. MySQL), без да е необходимо допълнително мрежово устройство (като например Wi-Fi адаптер). Достъпът до Raspberry Pi може да се осъществява дистанционно чрез мрежовия протокол SSH. Това позволява приложенията, работещи на интерфейсното устройство, да бъдат модифицирани и подобрявани от разстояние. Данните могат да се предават и чрез безжична технология, но в такъв случай, както вече бе споменато, е необходимо допълнително мрежово устройство. В определени ситуации пчеларят може да бъде информиран за състоянието на кошерите чрез SMS или имейл съобщения, генерирани от специално разработено приложение за уведомяване за грешки или събития, работещо на Raspberry Pi.

Въпреки че Arduino няма вградена Ethernet функционалност, то също може да се използва като интерфейсно устройство. В такъв случай е необходимо допълнително устройство за мрежова свързаност (напр. Arduino Ethernet Shield). Предимства на този подход: не е необходим компютър на пчелина за събиране и пренос на данни. Консумацията на електроенергия е значително по-ниска, когато се използва интерфейсно устройство. В някои случаи е възможно приложенията на интерфейсното устройство да бъдат модифицирани или подобрени дистанционно. Дори ако интерфейсното устройство е изключено, до съхранените данни все още може да се осъществи достъп чрез уеб базирани или локални приложения. Недостатъци на този подход: ако интерфейсното устройство бъде изключено (напр. поради колебания в електрозахранването), процесът на събиране на данни се прекъсва. При проблеми с интернет връзката новите данни не могат да бъдат записани в отдалечената база данни. Възможно е да се наложи допълнителна конфигурация за конкретни интерфейсни устройства. Някои интерфейсни устройства може да не разполагат с Ethernet функционалност.

Г) Четвърти подход

Данните от измервателните възли (сензорите) се предават чрез безжична връзка директно към отдалечена изчислителна станция (отдалечен сървър, облачен сървър). В този случай всеки измервателен възел може да получи IP адрес от маршрутизатор и да използва това устройство за предаване на данни, или може да използва допълнителни безжични IoT контролери или радиомодули (напр. базирани на LoRa, NB-IoT, 4G/5G и др.) за изпращане на информацията. Концепцията за отдалечения изчислителен център остава непроменена. Като измервателни възли могат да се използват специализирани устройства за сензорни мрежи (наричани „motes“). Споменатите по-рано устройства като Raspberry Pi и Arduino също могат да бъдат адаптирани като измервателни възли в тази архитектура.

Пример за такава комуникационна архитектура за мониторинг е показан на фиг. 5 и се състои от три основни компонента:

– Измервателен възел – елемент от системата, отговорен за извършването на измервания чрез сензори в конкретен кошер и за предаването на тези данни към основния модул. Този елемент включва микроконтролер, безжичен приемо-предавател, сензори и източник на захранване;

– Основен модул – елемент от системата, който приема данни от измервателните възли и ги прехвърля към облачен сървър с база данни. Основният модул се състои от няколко интегрирани блока: микроконтролер с ниска консумация на енергия, безжичен приемо-предавател, конектори за периферни устройства, външно устройство за съхранение (опционално) и източник на захранване (напр. 5V DC захранващ адаптер или акумулатор);

– Отдалечен сървър с база данни – данните от измервателните възли се за-

писват директно в облачна база данни за последващ анализ и визуализация. За достъп до съхранените данни е разработена допълнителна уеб-базирана система. Уеб-базираната система може да бъде адаптирана към нуждите на пчеларите чрез внедряване на различни графични елементи за визуализация на данните; също така могат да бъдат добавени функции за анализ на данните.

Предимства на този подход: не е необходим персонален компютър или споменатите по-рано интерфейсни устройства за събиране на данни. Всеки измервателен възел предава данни независимо, така че при евентуална грешка се губят данните само от съответния възел.

Недостатъци на този подход: за всеки от измервателните възли трябва да се осигури източник на захранване. Ако се използват батерии, е необходим редовен контрол на състоянието им, за да се предотврати неочаквано изключване на възела. При използване на 4G/5G или NB-IoT контролери е необходима отделен SIM модул и карта за всеки отделен кошер.



***Фиг. 5**. Мониторингова система базирана на архитектура с безжична комуникация*

Д) Пети подход

Данните от сензорите не се изпращат за последващ анализ, а се обработват директно в самия измервателен възел, след което решенията се предават направо на пчеларя – фиг. 6.



***Фиг. 6**. Комуникационна архитектура с директна обработка в измервателните възли*

Този подход предполага използването на безжична комуникация базирана на IoT контролери / радиомодули. Освен това е възможно за всеки измервателен възел да се създаде отделен уеб сървър, осигуряващ отдалечен достъп до данните. Реализацията може да бъде постигната чрез използване на множество интерфейсни устройства (напр. от типа Raspberry Pi или Arduino), или чрез разработване на специализирана електронна схема.

Предимства на този подход: възможност за пълно персонализиране на решението (при разработване на специализирана схема). Всеки измервателен възел предава данни независимо, което означава, че при възникване на грешка се губят данни само от един възел. Не се прехвърлят „сурови“ данни, а се изпращат единствено изведените заключения. Тази архитектура е модулна и това я прави изключително гъвкава и скалируема.

Недостатъци: за всеки измервателен възел е необходимо да се осигури източник на захранване. Налага се редовен контрол на всеки възел, за да се предотврати неочаквано изключване (напр. поради изтощаване на батерията). Ако се използват IoT радиомодули базирани на 4G/5G или NB-IoT контролери, за всеки възел кошер е необходим отделен SIM модул и карта. Понякога е по-добре да са налични всички първични (сурови) данни, тъй като не само анализираната информация може да бъде полезна. Разходите за такава система са по-високи в сравнение с решенията, базирани на класическа кабелна връзка.

РЕЗУЛТАТИ

Комуникационните архитектури, описани в настоящия доклад, бяха подложени на сравнение. За целите на сравнението са избрани критериите, представени в таблица 1 (където DSS - decision support system е система за подпомагане на вземането на решения). Някои от критериите могат да бъдат незадължителни за определени системни архитектури.

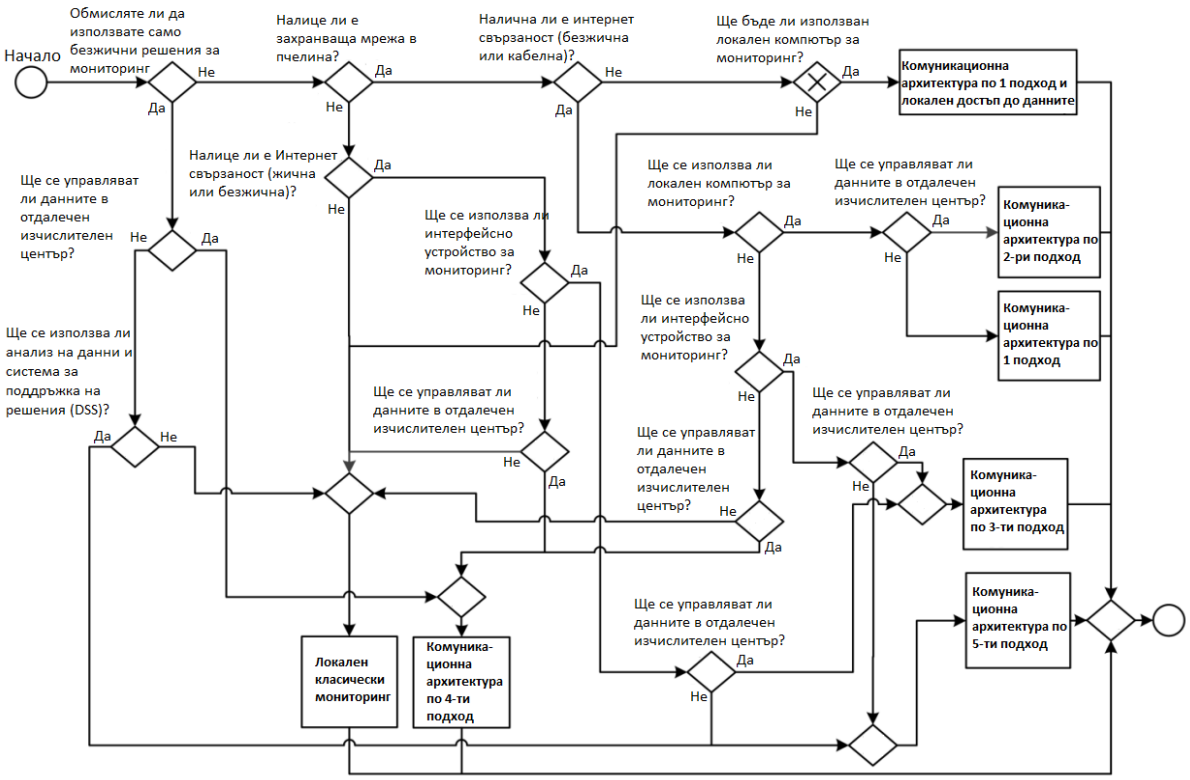
Един от тези критерии е изискването за Интернет свързаност – при системата за мониторинг на пчелни семейства на място тя не е задължителна. Интернет свързаност е необходима единствено при отдалечен достъп до данните; ако такъв липсва, данните все още могат да бъдат достъпени локално. По същия начин, постоянното захранване от електрическата мрежа (220V) не е задължително при мониторинга на пчелни семейства използващ измервателни възли, тъй като тези устройства могат да се захранват чрез алтернативни енергийни източници или батерии.

***Таблица 1**. Сравнителен анализ на комуникационните архитектури за прецизно пчеларство*

Критерий	Тип комуникационна архитектура				
	1	2	3	4	5
Локален компютър	+	+	–	–	–
Използване на интерфейсно устройство	–	–	+	–	+
Съхранение на данни	+	+	+	+	–
Анализ на данните и възможност за DSS	+	+	+	+	+
Отдалечен изчислителен център	–	+	+	+	–
Необходимост от захранване 220V	+	+	Опционално	–	–
Интернет свързаност	Опционално	+	+	+	+

Най-простата комуникационна системна архитектура, която може да бъде внедрена за мониторинг в пчелните семейства, е системата за локален мониторинг. Разходите за внедряване на първата и втората системна архитектура са повисоки поради необходимостта от компютър и мрежово захранване на територията на пчелина. Разходите за реализиране на четвъртия и петия подход зависят от броя и вида на измервателните възли. Системните архитектури, използващи отдалечен изчислителен център (подходи 2 до 4), гарантират, че събраните данни остават достъпни дори при прекъсване на процеса на мониторинг (загуба на свързаност, проблеми с измервателните възли и т.н.). Това е различно от първия подход, при който данните се съхраняват на компютър в пчелина и не са достъпни дистанционно, ако свързаността прекъсне (достъпът е възможен само на място) или ако възникнат проблеми с компютъра (данните стават недостъпни). Изборът на подходяща комуникационна архитектура в платформата за мониторинг в кошерите може да отнеме значително време на пчеларя. За да се улесни този избор, е разработен модел на бизнес процеси (чрез нотация за моделиране), който представя алгоритъм за подбор, показан на фиг. 7.

В този алгоритъм са използвани само общи условия. Първото условие разглежда ситуация, в която пчеларят трябва да прецени дали процесът на мониторинг ще се осъществява чрез безжична технология. Една от причините за това може да бъде голямото разстояние между кошерите, при което безжичните решения биха улеснили внедряването на системата за мониторинг. Алгоритъмът за подбор е валидиран чрез подробното сравняване, анализ и оценка на наборите от съществуващи решения за внедряването на комуникационни решения, разгледани в анализираните научни публикации [2-9].



***Фиг.** 7. Алгоритъм за избор на комуникационна архитектура на системата за мониторинг на пчелин*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описаните комуникационни системни архитектури за мониторинг в прецизното пчеларство показват колко разнообразни могат да бъдат възможните решения. Пчеларите трябва самостоятелно да изберат подходящата архитектура, като се ръководят от своите нужди, финансови разчети и наличните технологии в района на пчелина. Разработеният алгоритъм за избор може да съкрати времето, необходимо за вземане на решение, тъй като посочва ключовите условия, изисквани за всяка конкретна архитектура. Алгоритъмът не включва финансови изчисления, тъй като те зависят от множество променливи и съответно, той може да бъде допълнен с подобна информация. Ако е необходимо съхранение на измерените данни, се препоръчват архитектури, които записват информацията в отдалечена база данни. При такъв подход данните остават достъпни дори ако процесът на мониторинг бъде прекъснат, и няма риск от загубата им при евентуални технически проблеми с компютъра в пчелина. Важен аспект е осигуряването на електрозахранване; ако липсва постоянна връзка с електрическата мрежа (220V), следва да се обмислят алтернативни източници (например слънчева енергия). При използване на автономно захранване и безжичен пренос на данни е препоръчително да се минимизира обемът на информацията, изпращана от измервателния възел към отдалечения сървър, с цел намаляване на консумацията на енергия. В случаите, когато пчеларят желае да получава известия за състоянието на пчелните семейства (напр. роене, загиване на семейството и др.) и да взема съответните решения, е целесъобразно да се внедри система за подпомагане на вземането на решения. Такава система трябва своевременно да прогнозира възникващи ситуации, като разпознава тенденции в поведението на пчелите. Предложените системни архитектури са приложими не само в пчеларството, но и във всяка друга сфера, изискваща мониторинг на даден обект в реално време.

БЛАГОДАРНОСТИ: *Докладът се публикува във връзка с резултатите от изпълнение на дейностите по проект № НИП2026-20/2026 „Изследване на технологии и интелигентни приложения за обработка и визуализация на данни в IoT/5G комуникационни мрежи“ към УЦНИТ при ТУ – Габрово.*

ЛИТЕРАТУРА

[1] Genersch E, von der Ohe W, Kaatz H, Schroeder A, Otten C, Büchler R, Berg S, Ritter W, Mühlen W, Gisder S, Meixner M, Liebig G, Rosenkranz P. The German bee monitoring project: a long term study to understand periodically high winter losses of honey bee colonies. Apidologie 2010; 41:332–352.

[2] Welcome to colonymonitoring.com http://colonymonitoring.com/cmwp/.

[3] Haddaoui S., N. Khlifa, S. Chikhi, S. Varastehpour and F. Adjailia, "A Comprehensive Review of Beekeeping Datasets for Precision Apiculture Research," 2024 10th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT), Vallette, Malta, 2024, pp. 2043-2048

[4] Tsvetanov T., Precision beekeeping: essence and systems in the transfer of information in the manufacture, Bulgarian Journal of Animal Husbandry, Vol. 59 No. 3, 2022, pp. 58-67.

[5] Mihalev G., S. Yordanov, H. Sotiycheva, Beehive Condition Monitoring System Intended for Application in Beekeeping, Automation and Informatics, Vol. 2, 2023, pp. 37-43.

[6] Jeong J. et al., "IoT and AI Systems for Enhancing Bee Colony Strength in Precision Beekeeping: A Survey and Future Research Directions," in IEEE Internet of Things Journal, vol. 12, no. 1, 2025, pp. 362-389.

[7] Liyanage N., C. Attanayaka, T. Perera, D. Neilkumara, I. S. Bandara and L. Chandrasiri, "IoT-Based Smart Beehive Monitoring System," 2024 6th International Conference on Advancements in Computing (ICAC), Colombo, Sri Lanka, 2024, pp. 247-252.

[8] Meitalovs J, Histjajevs A, Stalidzans E. Automatic Microclimate Controlled Beehive Observation System. 8th International Scientific Confernce “Enginieering for Rural Development,”, Latvia University of Agriculture, 2009, p. 265–271.

[9] Buchanan G., R. Tashakkori, A Web-App for Analysis of Honey Bee Hive Data, 2019 SoutheastCon, Huntsville, AL, USA, 2019, pp. 1-6.

[10] Raspberry Pi. http://www.raspberrypi.org/.

[11] Arduino – Home. http://arduino.cc/.

[12] Nicolau V., M. Andrei and B. Olteanu, "Data Switch in Long Line 1-Wire Networks for Monitoring System of Large Sensor Arrays," 2023 IEEE 29th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME), Craiova, Romania, 2023, pp. 265-268.