

ВОЛОЩУК СЕРГІЙ

Чорноморський національний університет ім. Петра Могили

<https://orcid.org/0009-0006-3169-7316>email: serhii.voloshchuk@chmnu.edu.ua**САВІНОВ ВОЛОДИМИР**

Чорноморський національний університет ім. Петра Могили

<https://orcid.org/0000-0002-0862-5879>email: volodymyr.savinov@chmnu.edu.ua**МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ФУНКЦІОНУВАННЯ МАЛОПОТУЖНИХ ПРИСТРОЇВ ІОТ**

Темою дослідження є управління енергоспоживанням малопотужних пристроїв інтернету речей. Основна увага приділена методам та алгоритмам, які дозволяють збільшити час автономної роботи пристроїв при збереженні їх оптимальної продуктивності та функціональних якостей. Згадуються останні тенденції в сучасних методах планування електроживлення, такі як персоналізовані енергетичні профілі, контури зворотного зв'язку з користувачем, контекстно-орієнтована адаптація, прогнозування в управлінні електроживленням та покращення перехідних характеристик; які згадуються авторами.

Ключові слова: Інтернет речей, IoT, малопотужні пристрої, керування енергоспоживанням, батареї, алгоритми, продуктивність, адаптація контексту, прогнозоване керування, зворотний зв'язок користувачів.

VOLOSHCHUK SERHII, SAVINOV VOLODYMYR

Petro Mohyla Black Sea National University

MODEL OF THE PROCESS OF LOW-POWER IOT DEVICES FUNCTIONING

The paper discusses various challenges in energy management of resource-constrained IoT devices. Key strategies in prolonging battery life while keeping up performance for low-power IoT devices are explored. Investigations are done on personalized power settings, user feedback mechanisms, contextual adaptation, predictive power management, and energy consumption monitoring. Integrating user preferences and behaviors into the devices could make them more efficient. The paper presents findings and examples to ensure efficient IoT device operation across industries. Low-power IoT devices are limited in terms of lifetime and performance by the capacity available within a battery. Unlike many other devices, numerous IoT devices are deployed at remote or inaccessible locations where replacing or recharging batteries is not feasible or too expensive. Efficient energy management is needed to realize a broad spectrum of IoT applications. As IoT ecosystems become sophisticated, the complexity of energy management grows. These device networks usually are heterogeneous, having different operational profiles, communication protocols, and energy requirements. The challenge to any developer or system integrator is, therefore, how to strike a balance in the consumption of energy to ensure maximum performance with battery life. For low-power IoT devices, new approaches in energy management are needed. Such approaches need to strike a balance between scalability, performance, and energy conservation, while delivering extremely long battery life and seamless operation. These are some of the problems whose fixing might yield the potential of low-power IoT technologies in enhancing connectivity, intelligence, and resilience across industries. The paper presents some valuable methodologies that approach some of the central issues concerned with energy management in low-power IoT devices. These research contributions, covering areas that span from communication protocols and energy-optimizing strategies to firmware/software improvement and predictive management, with a view toward real-world applications, increase the current potential field considerably, adding new insights and practical solutions.

Keywords: Internet of Things, IoT, low-power devices, energy management, batteries, algorithms, performance, contextual adaptation, predictive management, user feedback.

Постановка проблеми у загальному вигляді та**її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями**

Функції наступного покоління мережевих інтелектуальних систем виходять на перший план завдяки дедалі ширшому впровадженню малопотужних пристроїв Інтернету речей абсолютно в усіх секторах. Ці пристрої, разом із вбудованими датчиками та комунікаційними можливостями, які підтримують аналітику даних моніторингу в режимі реального часу, підвищують ефективність та сприяють прийняттю обґрунтованих рішень. Однак основною проблемою використання малопотужних пристроїв Інтернету речей є гармонійний баланс між максимальним часом автономної роботи і високою продуктивністю з повною функціональністю.

Обмежена ємність акумуляторів суттєво обмежує час роботи та продуктивність малопотужних пристроїв Інтернету речей. На відміну від класичних електронних пристроїв, які мають доступ до електромережі або принаймні до великих акумуляторів, пристрої Інтернету речей часто встановлюються у віддалених або важкодоступних місцях, де заміна або підзарядка акумуляторів може бути неможливою або, принаймні, дуже дорогою. Тому ефективне управління енергоспоживанням стає ключовим фактором для стабільної підтримки широкого спектру додатків, що підтримуються технологіями Інтернету речей.

Крім того, ускладнення сучасних екосистем Інтернету речей робить їх все більш складними для управління споживанням. Типовими для IoT-інсталяцій є гетерогенні мережі з різними робочими профілями, протоколами зв'язку і, перш за все, вимогами до енергоспоживання пристроїв. Це ставить перед розробниками, інженерами та системними інтеграторами завдання збалансувати енергоспоживання таких пристроїв для максимізації загальної продуктивності системи та економії часу автономної роботи.

Це вимагає гнучких і масштабованих методів, які контролюють споживання в додатках Інтернету речей у дуже динамічній формі. Наприклад, пристрої будуть піддаватися різним вимогам до підключення,

умовам навколишнього середовища і робочим навантаженням. Тому гнучкі системи мають важливе значення для динамічного регулювання енергоспоживання, що допоможе зберегти цінність установки IoT, запобігаючи погіршенню якості даних, зростанню витрат на обслуговування і зниженню надійності пристроїв.

Ці виклики створюють нагальну потребу в нових підходах до управління енергоспоживанням, які працюють для малопотужних пристроїв Інтернету речей. Такий підхід повинен враховувати досягнення тонкого балансу між різними силами масштабованості, поліпшені продуктивності та енергозбереження з метою максимізації часу автономної роботи і гарантування безперебійного функціонування екосистем Інтернету речей. Лише вирішивши ці три проблеми, зацікавлені сторони зможуть повною мірою використовувати технології Інтернету речей з низьким енергоспоживанням для створення нової ери зв'язку, інтелекту та стійкості в різних галузях промисловості.

Відповідно, в наступних частинах будуть розглянуті останні дослідження і розробки в галузі управління батареями для малопотужних пристроїв Інтернету речей, які охоплюють нові підходи, інновації та практичні питання.

Аналіз досліджень та публікацій

У літературі, присвяченій рішенням з управління споживанням для малопотужних пристроїв Інтернету речей, представлено велику кількість наукових досліджень, технічних документів і галузевих звітів. Цей розділ висвітлює процес розробки стратегій управління батареями та їх застосування в реальних сценаріях розгортання IoT шляхом критичного аналізу сучасних досягнень та основних результатів у цій галузі.

Young-Jong Kim і Mohamed A. Ahmed (2023) [1] описують дизайн і значення домашньої системи енергоменеджменту, яка підтримує персоналізовані налаштування для управління енергоспоживанням. Їхній основний підхід полягає у зборі даних про споживання енергії через хмарні платформи та платформи Інтернету речей, щоб забезпечити адаптацію до конкретних звичок та вподобань різних користувачів, пропонуючи стратегії енергозбереження. Таким чином, такі системи енергоменеджменту зможуть пристосовуватися до потреб кожного окремого домогосподарства, забезпечуючи при цьому енергоефективність і задовольняючи потреби користувачів.

Ефективні механізми зворотного зв'язку з користувачами є дуже важливими для вдосконалення та покращення систем управління споживанням. У дослідженні Петаджарві та ін. (2014) [2], присвяченому еволюції LTE для зв'язку M2M та IoT, дослідники підкреслили, що підвищення енергоефективності та продуктивності пристроїв полягає у включенні зворотного зв'язку з користувачами в протоколи зв'язку.

Дослідження програмно-визначених радіотехнологій для енергозбереження, проведене Ханом і Кумаром [3], зосереджене на тому, як можна використовувати відгуки користувачів для забезпечення динамічного регулювання параметрів живлення. Таким чином досягається поліпшення енергоспоживання на основі контекстних даних користувачів у режимі реального часу.

Таким чином, ці дослідження надають важливі методології та погляди на пом'якшення ключових проблем в управлінні енергоспоживанням малопотужних пристроїв IoT. Ці дослідження включають нові протоколи зв'язку, стратегії поліпшення енергоспоживання, вдосконалення прошивки/програмного забезпечення, прогнозоване управління енергоспоживанням і сценарії реальних застосувань, які значно сприятимуть подальшому розвитку поточного дискурсу і прогресу в цій галузі.

Невирішені частини проблеми

Поведінка та вподобання користувачів суттєво впливають на енергоспоживання пристроїв Інтернету речей. Однак у більшості вже існуючих стратегій управління зарядом акумулятора не вистачає адаптації, орієнтованої на користувача. Для підвищення енергоефективності та покращення користувацького досвіду в пристроях актуальною є розробка алгоритмів управління споживанням, здатних інтегрувати вподобання користувачів, патерни використання або будь-яку іншу контекстну інформацію. Для забезпечення адаптації, орієнтованої на користувача, будуть розроблені нові методи отримання зворотного зв'язку від користувачів, вивчення їхніх уподобань та динамічного коригування поведінки пристроїв.

Формулювання цілей статті

Детальний опис у попередньому розділі щодо відкритих аспектів управління батареями в малопотужних пристроях Інтернету речей фактично є основною метою дослідження в цій статті. В рамках цього дослідження було розширено горизонт методів управління батареями, забезпечивши ретельне дослідження та аналіз, після чого продемонстровано ефективну, довговічну, орієнтовану на користувача реалізацію IoT.

Конкретні завдання для досягнення мети дослідження є наступними:

– Визначення основних проблем. Найважливіші питання та невирішені проблеми з управлінням акумулятором малопотужних пристроїв IoT потребують належного аналізу сукупності досліджень та галузевих практик.

– Вдосконалення моделей функціонування та алгоритмів керування живленням, спеціально розроблених для потреб та подолання виявлених перешкод. В рамках подальших зусиль за допомогою машинного навчання та теорії управління розробляються адаптивні контекстно-орієнтовані алгоритми, здатні динамічно змінювати стратегію керування живленням залежно від ситуації, що змінюється.

Виклад основного матеріалу

Конфігурація енергозберігаючих режимів пристроїв Інтернету речей базується на вподобаннях користувачів, які віддають перевагу або енергозбереженню, або продуктивності. Пристрої також можуть робити це, отримуючи відгуки користувачів з опитувань, аналізу використання або телеметрії пристрою, щоб продовжувати адаптувати та вдосконалювати стратегії управління батареєю відповідно до вимог та уподобань користувача.

На рис. 1 показана поточна реалізація моделі, орієнтованої на користувача.

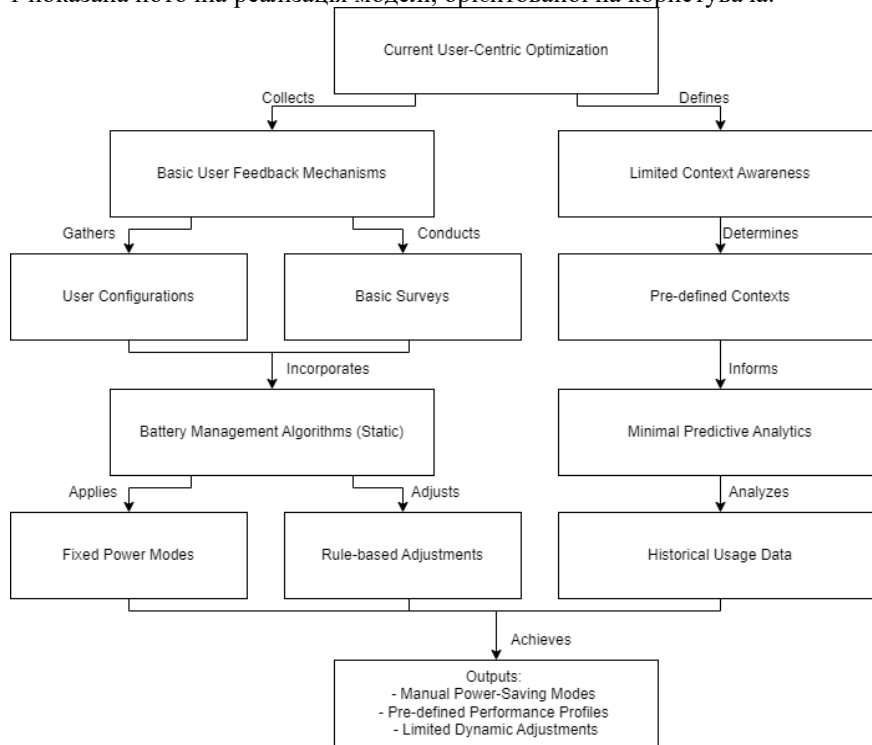


Рис. 1. Концептуальна модель функціонування IoT системи в режимі обмеженого енергопостачання

В існуючій моделі, орієнтованій на користувача, механізми зворотного зв'язку з користувачем по суті базуються на ручному налаштуванні та простих опитуваннях. Контексти в цій моделі визначені заздалегідь і підлягають дуже незначному коригуванню в реальному часі. Предиктивна аналітика керується історичними даними і не здатна робити прогнози в реальному часі. І останнє, але не менш важливе: алгоритми, що використовуються, є статичними і базуються на правилах. У цій статті пропонуються механізми покращення персоналізованого управління батареєю та зворотного зв'язку з користувачем, щоб задовольнити потребу в адаптації, орієнтованій на користувача (рис. 2).

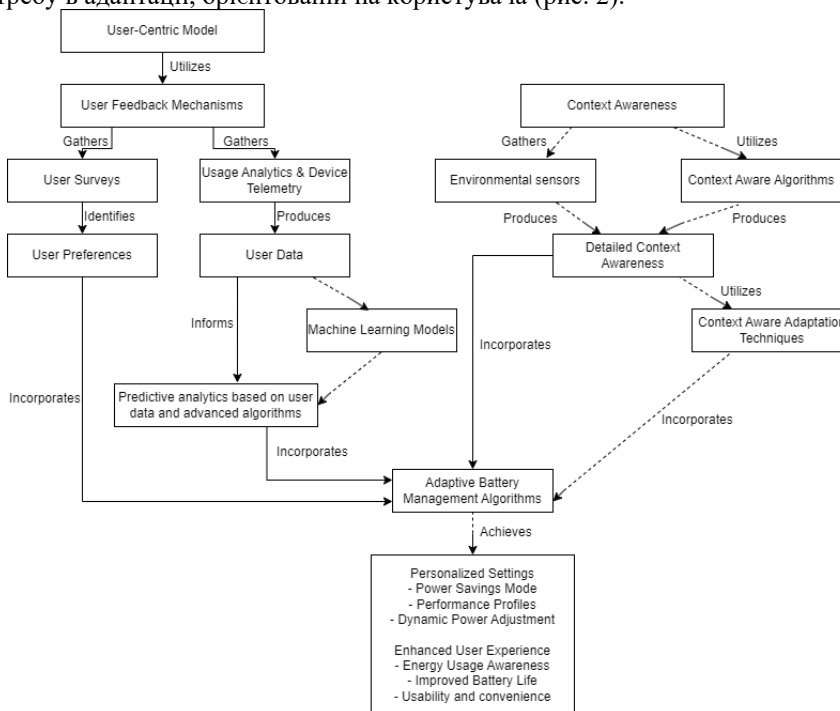


Рис. 2. Поліпшена концептуальна модель функціонування IoT системи в режимі обмеженого енергопостачання

Нижче докладніше розглянуто, як можна досягти цього аспекту.

Персоналізовані налаштування керування живленням. Наявність можливості налаштувати параметри керування живленням у пристрої допомагає користувачеві створювати енергозберігаючі режими за власним бажанням. Це дозволить користувачеві або заощадити енергію, або підвищити продуктивність, в залежності від його стилю використання та вимог. У зв'язку з цим, алгоритм персоналізованого налаштування керування живленням може базуватися на методах машинного навчання для аналізу поведінки та вподобань користувача. Алгоритм генерує персональні налаштування керування живленням, що відповідають вимогам кожного користувача відповідно до його стилю використання, вподобань та поведінки під час заряджання.

Механізми зворотного зв'язку з користувачами. Впровадження механізмів зворотного зв'язку з користувачами дозволяє змінювати та вдосконалювати стратегії керування енергоспоживанням з часом на основі даних користувачів. Таким чином, виробники можуть використовувати відгуки користувачів - через опитування, аналіз використання та телеметрію пристроїв - для кращого розуміння вподобань користувачів, щоб покращити їхній досвід у майбутньому. Алгоритм аналізу відгуків користувачів може використовувати методи обробки природної мови для вилучення інформації з даних відгуків користувачів. Коментарі, відгуки та рейтинги користувачів аналізуються на предмет спільних тем, тенденцій настроїв і напрямків для вдосконалення стратегій управління енергоспоживанням.

Контекстно-залежна адаптація. Розробка контекстно-залежних алгоритмів, які дозволяють пристроям динамічно змінювати параметри керування живленням з урахуванням відповідних факторів, таких як місцезнаходження, час доби та дії користувача. Через це ці стратегії керування живленням постійно змінюються відповідно до поточних умов навколишнього середовища та поведінки користувачів у той час. Робота алгоритму контекстно-залежної адаптації для ідентифікації поточного контексту користувача спирається на дані від низки різноманітних датчиків та інших джерел контексту. Дані датчиків, такі як GPS, навколишнє освітлення або дані акселерометра, аналізуються за допомогою алгоритму налаштувань батареї, адаптуючись до поточної ситуації користувача, щоб поліпшити споживання енергії та роботу користувача.

Прогнозне керування живленням. Прогнозована аналітика може дозволити пристроям профілювати, як використовуються батареї, і заздалегідь приймати правильні рішення щодо керування батареями. Прогнозні алгоритми планують стратегії керування живленням відповідно до майбутніх потреб для бездоганної роботи на основі тенденцій, витягнутих із історичних даних використання та навколишнього середовища. Моделі машинного навчання можуть передбачати майбутні моделі використання акумулятора в алгоритмах прогнозного керування, скажімо, використовуючи прогнозування часових рядів або аналіз тенденцій. Таке прогнозоване споживання акумуляторів дозволяє алгоритму вивчати минулу інформацію про використання акумулятора та кліматичні змінні, щоб адаптувати свої налаштування керування.

Прозорий моніторинг енергоспоживання. За допомогою прозорого моніторингу можна відстежувати енергоспоживання пристрою користувача та впливати його звички на термін служби батареї. Завдяки статистиці в реальному часі та сповіщенням про споживання енергії зростатиме обізнаність і підтримка користувачів щодо енергоефективної поведінки. Алгоритм також може використовувати методи візуалізації даних для моніторингу споживання енергії та відображати статистику споживання енергії якомога простіше та зручніше для користувача. Це дозволяє користувачеві розумно приймати рішення щодо використання пристрою та керування живленням, оскільки алгоритм надає користувачеві інформацію про тенденції споживання електроенергії, відключення електроенергії та поради щодо економії енергії.

Ці стратегії, якщо їх застосувати до розгортання систем Інтернету речей, будуть дуже ефективними для вирішення досі невідомих аспектів керування акумулятором для малопотужних OSP. У цьому відношенні екосистема IoT зможе підвищити енергоефективність, надійність і задоволеність користувачів за рахунок динамічної адаптації, гетерогенності різних джерел живлення, архітектури периферійних обчислень, заходів безпеки та конфіденційності, масштабованості та сумісності.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Підводячи підсумки, деякі корисні відомості та відповідні інноваційні рішення були розроблені для дослідження керування живленням для малопотужних пристроїв IoT.

Пріоритет у адаптації, орієнтований на користувача, надає користувачам особисті параметри конфігурації для керування батареєю, механізми зворотного зв'язку з користувачем і контекстно-залежні алгоритми адаптації. Такі інновації дозволяють користувачам покращити поведінку пристроїв, поліпшити час роботи батареї відповідно до вподобань і шаблонів використання, покращити взаємодію з користувачем і підвищити енергоефективність.

Наукова новизна роботи полягає у вдосконаленні моделі функціонування системи IoT в режимі обмеженого енергопостачання за рахунок використання адаптивних алгоритмів, моделей машинного навчання, методів прогнозування аналітики та детальної адаптації з урахуванням контексту для підвищення енергоефективності системи IoT.

Ця робота робить внесок у пошук сталого та надійного розгортання IoT для таких сфер, як розумні міста, охорона здоров'я, сільське господарство чи промислова автоматизація, шляхом удосконалення найсучасніших технологій керування акумуляторами. До напрямків досліджень можна включити подальшу

модернізацію алгоритмів керування батареями, експериментальну перевірку для реального розгортання технологій Інтернету речей та дослідження нових технологій збору та зберігання енергії.

Література

1. Y.-C. Kim. Design and implementation of home energy management systems (HEMS) with personalized energy management settings / Y.-C. Kim, M. A. Ahmed // *IEEE Trans. Smart Grid.* – 2023 – Volume 14, Issue 1, January. – P. 455–463.
2. J. Petäjäljärvi. On the coverage of LPWANS: range evaluation and channel attenuation model for LoRa technology / J. Petäjäljärvi, K. Mikhaylov, A. Roivainen, T. Hänninen, M. Pettissalo // *Proc. IEEE Wireless Commun. Netw. Conf. Workshops (WCNCW).* – 2016. – P. 1–6.
3. T. B. Welch. Energy efficient transmission: An SDR approach / T. B. Welch, W. A. Sethares, D. M. M. Walker // *IEEE Trans. Consum. Electron.* – 2012. – Volume 58, Issue 2, May. – P. 405–412.