

УДК 629.31 (045)

DOI: 10.18372/2310-5461.34.11607

Р. С. Одарченко — канд. техн. наук, доц.
 Національний авіаційний університет
 orcid.org/0000-0002-7130-1375
 e-mail: odarchenko.r.s@mail.rumailto:ki@ukr.net

Д. М. Пробита
 Національний авіаційний університет
 orcid.org/0000-0001-7604-282X
 e-mail: daria_probitaya@bk.ru

І. В. Третяк
 Національний авіаційний університет
 orcid.org/0000-0002-5056-5312
 e-mail: irina-tretiak1408@yandex.com

ОСНОВНІ ЗАСАДИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ Li-Wi В КОНЦЕПЦІЇ ІоТ

Вступ

Інтернет речей (ІоТ) — концепція обчислювальної мережі фізичних об'єктів, оснащених вбудованими технологіями для взаємодії один з одним або з зовнішнім середовищем, яка розглядає організацію таких мереж як явище, здатне перебудувати економічні та суспільні процеси, що виключає з частини дій і операцій необхідність участі людини [1].

Інтернет речей давно перестав бути концепцією. Тепер цей цікавий і перспективний технологічний тренд активно втілюється в життя.

В якості «речей» в такій мережі можуть виступати будь-які об'єкти фізичного світу, яким можна присвоїти ІР-адреси і які здатні передавати дані. Багато компаній уже випускають «розумні» пристрої з можливістю підключення до Інтернету речей. Можна згадати і про розумні будинки [2], які за своєю сутністю є однією з найменших підсистем єдиної мережі ІоТ. І щоб трохи краще уявити собі «ієрархію» у рамках Інтернету речей [3], а також проблеми масової реалізації концепції, розглянемо приклад того, як може виглядати архітектура ІоТ (рис. 1) [4].

IoT Architecture

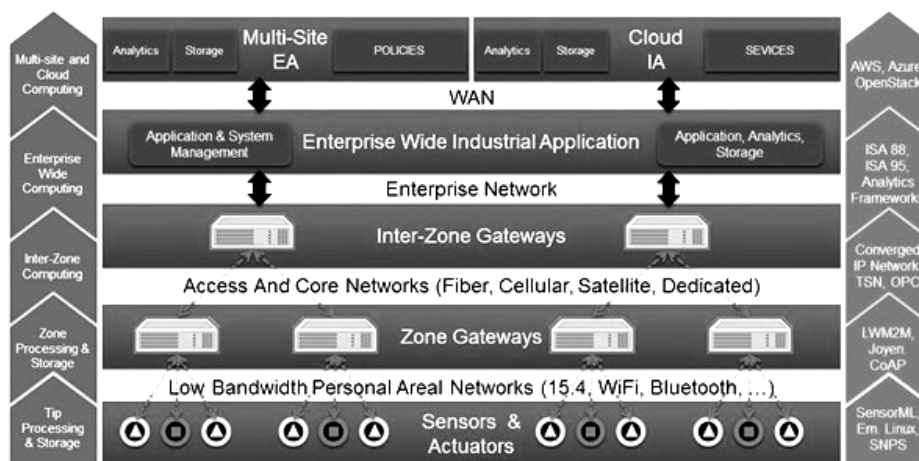


Рис. 1. Орієнтовна архітектура ІоТ

Інтернет речей, архітектура якого зображена на рис. 1, вже допомагає мільярдам людей. Тисячі розумних, підключених пристроїв надають нові можливості для людей в усьому світі та значне зниження витрат. При цьому одним із ключових є питання оптимального підбору способу передачі інформації між вузлами в концепції ІоТ. Провівши аналіз відкритих джерел, можна зробити висновок про перспективність вико-

ристання для даних цілей наступних технологій: Wi-Fi [5], Bluetooth[6], ZigBee [7] (див. таблицю).

Провівши аналіз перерахованих вище технологій було виявлено ряд недоліків, таких, як використання одного і того самого частотного діапазону, тому попри велику кількість способів передачі інформації, розвиток технологій зумовлює науковців шукати та видозмінювати існуючі технології, однією з таких є LightFidelity (Li-Fi).

Дальність розповсюдження радіохвиль

Характеристика	ZigBee	Wi-Fi	Bluetooth
Діапазон	10-100 м	50-100 м	10 - 100 м
Топологія	Ad-Hoc, peer to peer, зірка, сітка	Точка-доступу	Ad-Hoc, дуже малі мережі
Робоча частота	868 МГц (Європа) 900-928 МГц (NA), 2,4 ГГц	2,4 і 5 ГГц	2,4 ГГц
Складність (пристроїв і додатків впливу)	Низький	Високий	Високий
Споживана потужність	Низький	Високий	Середня
Типові області застосування	Промислового контролю і моніторингу, сенсорних мереж, автоматизації будівель, управління і автоматизації будинку	Дозволяє розповсюджувати інформацію локальних мереж (LAN) до клієнтських пристроїв без проводів	Бездротове з'єднання між пристроями, такими як телефони, КПК, ноутбуки, навушники

Аналіз досліджень та публікацій

Питання функціонування існуючих протоколів в безпроводових мережах розглядаються багатьма вченими, наприклад, у працях [13–15]. Проблеми забезпечення енергоефективності сенсорних мереж та їхній вплив на безпеку вирішувалися в праці [16].

Дослідженням безпроводових сенсорних мереж у системах охоронної сигналізації займалися в працях [17–19]. Типи та вплив різних типів атак на сенсорні мережі досліджували в працях [20–23]. Стандартні методи захисту у мережах ZigBee наведено в працях [24–25]. У працях [26–27] розглядається новий напрямок дослідних робіт в області безпроводових сенсорних мереж WSN (wire less sensor net work) — літаючі сенсорні мережі (ЛСМ). У праці [28] досліджувався один з напрямків забезпечення інформаційної безпеки ЛСМ від впливу DoS атак з потенційно високими збитками при їх реалізації.

Постановка мети дослідження

Зараз постало завдання розроблення уніфікованої гнучкої технології, яка би поєднала всі переваги різномірних бездротових технологій, забезпечивши над високошвидкісну захищену дуплексну передачу даних там, де це необхідно кінцевим користувачам. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні наукові завдання:

- 1) провести змістовний аналіз технології Li-Fi, виявивши основні недоліки та обмеження;
- 2) проаналізувати найперспективніші бездротові технології, які здатні забезпечувати зв'язок в концепції IoT;
- 3) розробити технологічне рішення для спільного використання бездротових технологій та технології Li-Fi;

Аналіз технології Li-Fi

Li-Fi (Light Fidelity) — це технологія бездротової передачі даних, за рахунок світла, принци-

пи функціонування якої зображено на рис. 2, а також у відкритих літературних джерелах [8] зустрічається термін «зв'язок за допомогою видимого світла» (VLC — Visible Light Communication). VLC — комунікаційна технологія, яка використовує видиме світло як оптичний носій для передачі даних і освітлення. Світлодіоди (LED) працюють у видимому діапазоні довжин хвиль (380 нм ~ 780 нм) і можуть бути використані як джерела комунікації, а кремнієвий фотодіод демонструє хорошу чутливість у видимому діапазоні довжин хвиль і використовується в як приймальний елемент.

При цьому як канал передачі використовується повітря, не залежно від того, де відбувається передача, в приміщенні або поза його межами. Слід відмітити, що на даному етапі розвитку технології дослідження VLC орієнтовані на передачу даних у межах приміщення. Класифікація каналів VLC у приміщенні успадкована від ПЧ-зв'язку (інфрачервоного зв'язку). Різні властивості виникають унаслідок довжин хвиль, оскільки, довжина хвилі залежить від пристрою (світлодіод, кремнієвий фотоприймач та ін.), і те, що VLC має двійкову природу комунікації та освітлення.

Інші фізичні закони, пов'язані з оптикою, можуть бути застосовані аналогічним чином, включаючи передачу світла і його віддзеркалень. Конфігурації каналів поділяються на чотири основні типи, згідно з наявністю перешкод і спрямованості передавача до приймача. Основні типи зв'язків включають лінії передачі (ЛП) у прямій видимості, не спрямовані ЛП та неорієнтовані ЛП.

Рішення про те, що передача спрямована або неорієнтована залежить від наявності передавача у прямій зоні видимості на приймач, чи існує бар'єр, що може заблокувати передачу світла між передавачем і приймачем.

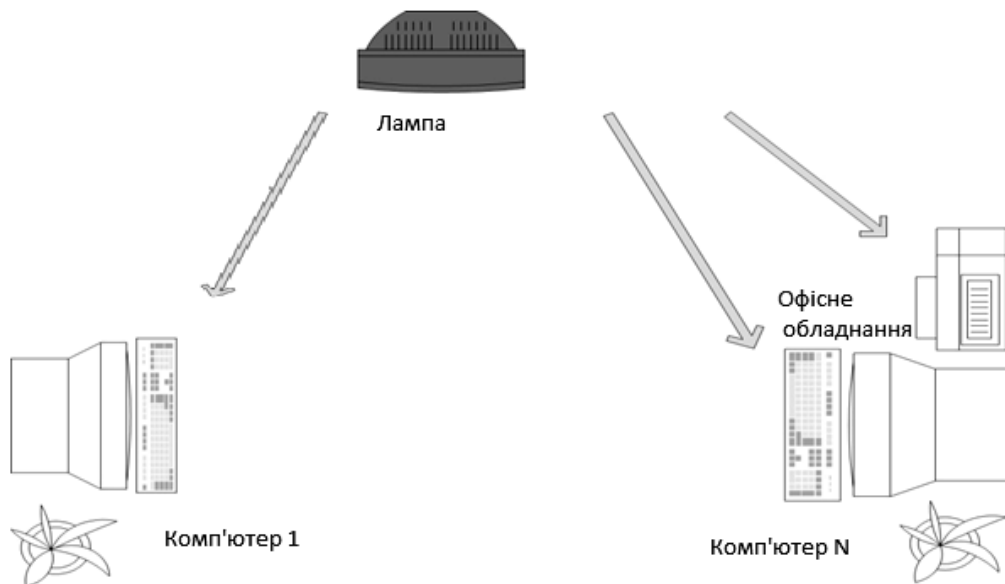


Рис. 2. Принципи функціонування Light Fidelity

У системі ВСЗ неорієнтовані ЛП мають важливе значення, оскільки загальне освітлення працює в середовищі передачі інформації і не є орієнтованим або спрямованим. Як видно на рис. 3, принцип роботи VLC такий: спеціальний чип отримує сигнал з маршрутизатора і транслює через мерехтіння світлодіодів на приймач.

На рис. 4 показано спрощену схему передачі у приміщенні для неорієнтованої ЛП, з передавачем на стелі і приймачем на нижній поверхні.

У схемі передачі даних у приміщенні для неорієнтованої ЛП отримана оптична потужність, яка визначається виразом:

$$P = P_t \frac{(m+1)}{2\pi d^2} \cos^m(\varphi) T(\psi) g(\psi) \cos(\psi),$$

$$0 \leq \psi \leq \psi_c,$$

де P_t — потужність, що передається від світлодіода; φ — кут випромінювання відносно до осі по нормалі до поверхні передавача; ψ — кут падіння відносно до осі по нормалі до поверхні приймача; d — відстань між світлодіодом і поверхнею передавача; $T(\psi)$ — фільтр передавача; $g(\psi)$ — коефіцієнт посилення концентратора; ψ_c — це концентратор поля зору, тобто, половина потужності; m — закон Ламберта.

Разом з розрахунком зони видимості передавача $\varphi_{1/2}$:

$$m = -\ln 2 / \ln(\varphi_{1/2}),$$

де $m = 1$ при $\varphi_{1/2} = 60^\circ$, виходячи з рис. 1 $\varphi = \psi$.

Концентратор і оптичний фільтр може бути використаний в передній частині фотоприймача. Під час експерименту, він не був оптимізований для пучка від світлодіода.

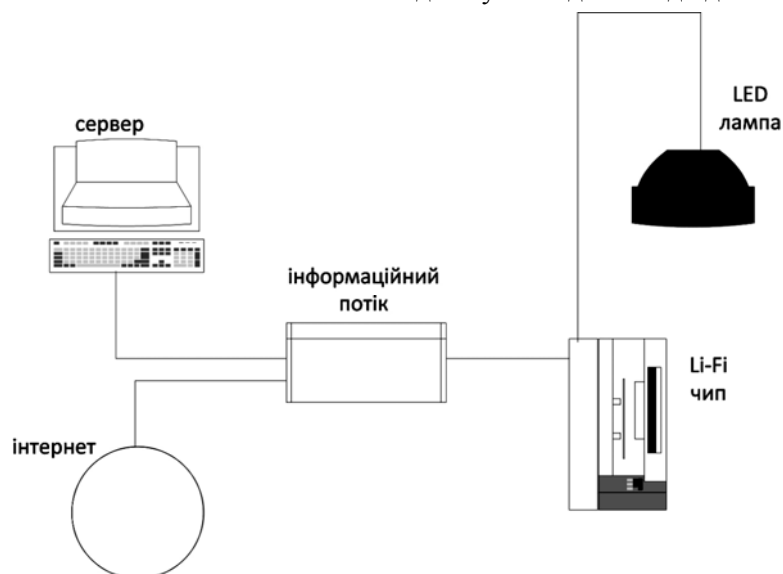


Рис. 3. Принцип роботи VLC

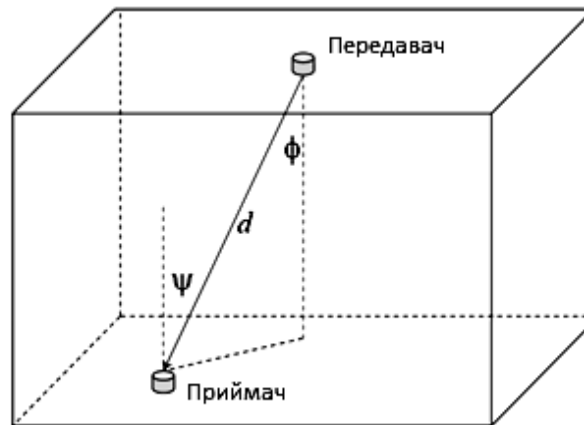


Рис. 4. Схема передачі даних у приміщенні для неорієнтованої ЛП

При $\psi_c \approx 90^\circ$, $g(\psi) \approx n^2$, де n — показник заломлення [9].

У результаті подальшого аналізу технології Li-Fi, були виявлені такі її недоліки:

- незахищеність передачі інформації, адже її легко може перехопити кожен охочий, що знаходиться у кімнаті;
- передача даних ставатиме неможливою, якщо порушуватиметься пряма видимість між передавачем і приймачем;
- неможливість користуватися такою мережею під час руху;
- технологію неможливо використовувати у кімнаті, де неможливе увімкнення світла за потребою.

- недосконалість кодування.

При цьому Li-Fi дозволяє:

- мінімізувати кількість радіохвиль, що опромінують організм людини на території приміщення;
- отримувати високошвидкісну передачу даних;
- зменшити енерговитрати;
- зменшити рівень завад, викликаний пристроями, що працюють в одному діапазоні;
- висока швидкість передачі інформації за відсутності необхідних особливих дозволів та ліцензій.

Використання такої технології несе більше переваг, ніж недоліків, але слід звернути увагу на те, що розроблені пристрої з використанням Li-Fi технології не надають змоги передавати інформацію у зворотному напрямку, що не дозволяє використовувати нову технологію у повному обсязі, адже передача світлом від абонентського терміналу до пристрою, що розповсюджує Li-Fi сигнал не є доцільною, унаслідок незручності та неефективності. Тому абоненту доведеться розмішувати термінал у зоні прямої

видимості відносно пристрою, що розповсюджує Li-Fi сигнал, причому передача пучка світла буде заважати роботі інших користувачів.

Усунення проблеми відбудеться за допомогою поєднання кількох технологій передачі даних в одному пристрої. Слід розглянути технології, що можуть доцільно використовуватись у новому пристрої, особливо для концепції IoE.

Аналіз сучасних бездротових технологій передачі даних

Серед сучасних перспективних бездротових технологій, які можуть бути використані в концепції IoT зокрема, та IoE взагалі, можна виділити такі: Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth, LTE [10], 5G [11], Li-Fi.

Комбінація Wireless&LightFidelity буде доцільною для передачі великих об'ємів даних з максимальною швидкістю, тобто для масової роботи в мережі фізичних осіб у власних та робочих цілях. Комбінація Zigbee&LightFidelity буде доцільною для періодичної передачі невеликих об'ємів даних з максимальною швидкістю, тобто бездоганно підходить для концепцій розумних лікарень, будинків, міст, аеропортів та навчальних закладів, де має працювати велика кількість датчиків для моніторингу стану навколишнього середовища. Додатковою технологією, яку можна приєднати до Li-Fi, є PLC (Power Line Communication) [12].

Тому було прийнято рішення про розробку пристрою під назвою Li-Wi, програмно-апаратний пристрій, який складається з мережевого адаптера Powerline Communications (інтерфейсу провідної електричної мережі), модуля Li-Fi у ролі передавача (інтерфейсу для клієнтів бездротової мережі WLAN), приймача, що виконує роль бездротового мережевого концентратора (інтерфейсу для клієнтів бездротової мережі), мережевого адаптера (інтерфейсу провідної ме-

режі), для підключення до кабельної мережі LAN або WAN і мікроконтролера для обробки даних та прийомопередавача, пристрій дозволяє використовувати безпроводну передачу даних за допомогою використання світлового спектру у поєднанні з радіохвилею, що дозволить доцільно розподіляти навантаження мережі, отримувати високошвидкісну передачу даних, зменшити шкідливий вплив та енергозатрати, зменшити рівень завад, викликаний пристроями, що працюють в одному діапазоні.

Розглянемо пристрій на прикладі комбінування Wireless&LightFidelity.

Пристрій для двосторонньої передачі даних, зображений на рис. 5, працює так: Ethernet або PLC модуль керований контролером, відправляє сигнал до модуля Li-Fi і через оптичний канал світлодіодом передається на приймач Li-Fi, прямує до модуля Li-Fi, контролер скеровує сигнал на абонентський термінал, сигнал-відповідь контролер скеровує до Wi-Fi модуля і радіоканалом за допомогою антен передачі і прийому сигнал надходить до Wi-Fi модуля, після чого контролер скеровує його через Ethernet або PLC модуль в мережу.

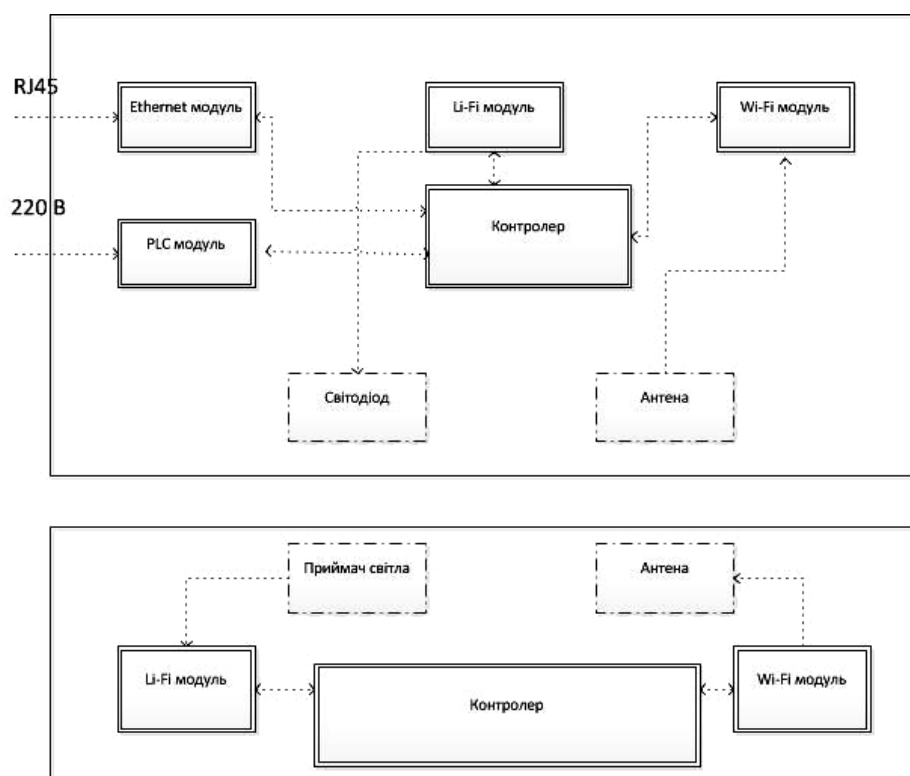


Рис. 5. Принципова схема Li-Wi

Пристрій може виконуватись, як у варіантів з використанням двох так і трьох безпроводних технологій.

Поєднання Zigbee, LightFidelity і Wireless Fidelity дають ряд переваг:

- Light Fidelity дає змогу виконувати якісну передачу навіть при інтеграції двох технологій;
- єдина система передачі даних, працююча для використання людиною та датчиками зменшуватиме енерговитрати, буде зручною у використанні та матиме можливість масштабування;
- розвантаження електромагнітного фону та відповідно зменшення шкідливого впливу;
- економія електроенергії.

Доцільне використання такого пристрою у спорудах, які вимагають цілодобового освітлення, або функціонують лише в робочий час.

Висновки

Уже на сучасному етапі розвитку світ потребує виникнення концепції обчислювальної мережі фізичних об'єктів, оснащених вбудованими технологіями для взаємодії один з одним або з зовнішнім середовищем, для її реалізації необхідно залучати і поєднувати різні види передачі даних, залежно від виникаючих потреб.

Істрія розвитку останніх поділила їх на декілька типів: проводові; кабельні; бездротові. Не зважаючи на розвиток бездротових систем передачі інформації їх необхідно комбінувати, як з іншими типами так і між собою для підвищення ефективності.

Тому було запропоновано технологію і розроблено новий пристрій Li-Wi, що базується на поєднанні уже відомих PLC, Ethernet, Wi-Fi,

ZigBee та абсолютно нової, яка передбачає можливість передачі інформації спектром видимого світла

ЛІТЕРАТУРА

1. «Интернет вещей» — реальность или перспектива? [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.mate-expo.ru/ru/article/inter-net-veshchey-reality-ili-perspektiva>.
2. «Умный дом»: 5 технологий будущего. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.lookatme.ru/mag/live/future-research/194385-smart-home>.
3. Интернет верей. Как изменится вся наша жизнь на очередном витке развития Всемирной сети Cisco IBSG © Корпорация Cisco и/или ее дочерние компании, 2011.
4. Jack Tison, SVP Emerging Business, Panduit October 2015 3 Steps for Evolving IoT Architectures. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.industrial-ip.org/en/industrial-ip/internet-of-things/3-steps-for-evolving-iot-architectures>.
5. «Технология Wi-Fi. Что это? Для чего нужно и как пользоваться?» [Электронный ресурс] / CompConfig — Режим доступа: <http://compconfig.ru/net/wi-fi-cto-eto.html>.
6. «Блютуз — что это такое? Зачем нужен Bluetooth?» [Электронный ресурс] / FB — Режим доступа: <http://fb.ru/article/184113/blyutuz---cto-eto-takoe-zachem-nujen-bluetooth>.
7. «Технология Zig Bee». [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/612227>.
8. «Light Fidelity — современная технология беспроводной связи?» [Электронный ресурс] / audio andvideo. — Режим доступа: <http://www.audioandvideo.ru/hard/2048>
9. Visible Light Communication Chung Ghiu Lee Chosun University South Korea.
10. «Сети LTE — что это? Режим, структура и принцип работы сети LTE». [Электронный ресурс] / FB — Режим доступа: <http://fb.ru/article/133253/seti-lte---cto-eto-rejim-struktura-i-printsip-raboty-seti-lte>.
11. «Что такое 5G»? [Электронный ресурс] / Портал о современных технологиях мобильной и беспроводной связи. — Режим доступа: <http://1234g.ru/5g/cto-takoe-5g>.
12. «PLC-технологии». [Электронный ресурс] / Время электроники. — Режим доступа : <http://www.russianelectronics.ru/leader-r/review/2191/doc/47175/>.
13. Protocol for Wireless Microsensor Networks / W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan and H. Balakrishnan // IEEE Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences. — 2000. — P. 1–10.
14. Akl A. An investigation of self-organization in wireless sensor networks / A. Akl, T. Gayraud and P. Berthou // IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC). — 2001. — P. 1–6.
15. Sohrabi K. Protocols for Self-Organization of a Wireless Sensor Network / K. Sohrabi, J. Gao, V. Ailawadhi and G.J. Pottie // Personal Communications, IEEE. — October 2000. — V. 7. — N 5. — P. 16–27.
16. Баскаков С. С. Исследование способов повышения эффективности маршрутизации по виртуальным координатам в беспроводных сенсорных сетях // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Приборостроение. — 2009. — № 2. — С. 112–124.
17. Pathan A.S.K.; Hyung-Woo Lee; ChoongSeon Hong, Security in wireless sensor networks: issues and challenges Advanced Communication echnology (ICACT). — 2006. — P. 6.
18. Zia T., Zomaya A. Security Issues in Wireless Sensor Networks, Systems and Networks Communications (ICSNC). — 2006. — P. 40.
19. Adrian Perrig, John Stankovic, David Wagner, Security in Wireless Sensor Networks Communications of the ACM. — 2004. — P. 53–57.
20. Chris Karlof, David Wagner, Secure Routing in Wireless Sensor Networks: Attacks and Countermeasures, AdHoc Networks (elsevier). — 2003. — P. 299–302.
21. Hu Y., C. Perrig, Johnson D.B. Packet leashes: a defense against wormhole attacks in wireless networks // Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. — Vol. 3. — 3 April 2003. — P. 1976–1986.
22. Blackert W. J., Gregg D. M., Castner A. K., Kyle E. M., Hom R. L. and Jokerst R. M. Analyzing interaction between distributed denial of service attacks and mitigation technologies // Proc. DARPA Information Survivability Conference and Exposition. — Vol. 1. — 24 April, 2003. — P. 26–36.
23. Постольский С. П. Обзор проблемных областей в безопасности беспроводных сенсорных сетей, атак и механизмов их защиты // Научное сообщество студентов XXI ст. техн. науки: сб. ст. по мат. XXXII междунар. студ. науч.-практ. конф. № 5 (31). [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://sibac.info/archive/technic/5\(31\).pdf](http://sibac.info/archive/technic/5(31).pdf).
24. Akl A. An investigation of self-organization in wireless sensor networks / A. Akl, T. Gayraud and P. Berthou // IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control. — 2001. — P. 1–6.
25. Sohrabi K. Protocols for Self-Organization of a Wireless Sensor Network / K. Sohrabi, J. Gao, V. Ailawadhi, G.J. Pottie // Personal Communications, IEEE. — October 2000. — Vol. 7. — N 5. — P. 16–27.
26. Yao Jiang, Kang Feng Zheng. Evaluation Model for DoS Attack Effect in Softswitch Network // International Conference on Communications and Intelligence Information Security (ICCIIS). — 2010. — P. 88–91.
27. Матвеев В.А., Морозов А.М., Бельфер Р.А. Оценка уровня риска угрозы безопасности фрода в сети VoIP по протоколу SIP // Электросвязь. — 2014. — № 6 — С. 35–38

28. Матвеев В. А., Бельфер Р. А., Глинская Е.В. Угрозы и методы защиты в сборных сенсорных узлах летающих сенсорных сетей. Вопросы кибербезопасности. — 2015. — №5 (13).

Одарченко Р. С., Третяк І. В., Проби́та Д. М.

ОСНОВНІ ЗАСАДИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ LI-WI В КОНЦЕПЦІЇ ІоТ

Розглянуто проблему перенавантаження частотного діапазону у функціонуванні бездротових технологій у концепції Інтернету речей. Проведено аналіз головних характеристик технологій PLC, Ethernet, Wi-Fi, ZigBee. Виявлено недоліки у використанні спільного частотного діапазону, позбутись цього можливо шляхом застосування абсолютно нової концепції передачі інформації спектром видимого світла. Низкою основних переваг нової концепції є: зменшення енерговитрат, збільшення швидкості передачі даних без спеціальних дозволів та ліцензій, мінімізація шкідливого впливу на організм людини, а також легкість реалізації. Ці та інші переваги описані в роботі «Основні засади функціонування технології Li-Wi в концепції ІоТ». Також проведено аналіз недоліків, що дозволило провести повну оцінку можливості та доцільності розвитку даної технології у майбутньому.

Ключові слова: Internet of Things(IoT); ZigBee; Light Fidelity; Wireless Fidelity; VLC.

Одарченко Р. С., Третяк И. В., Проби́тая Д. М.

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ LI-WI В КОНЦЕПЦИИ ІоТ

Рассмотрена проблема загруженности частотного диапазона в функционировании беспроводных технологий в концепции Интернета вещей. Проанализированы основные характеристики технологий PLC, Ethernet, Wi-Fi, ZigBee. Выявлены недостатки в виде использования одного и того же частотного диапазона, избавиться от которых возможно с помощью объединения наилучших характеристик каждой технологии, а также добавление абсолютно новой концепции передачи информации спектром видимого света. Линейкой основных достоинств новой концепции является: уменьшение энергозатрат, большая скорость передачи данных без специальных разрешений и лицензий, минимизация вредного влияния на организм человека, а также простота реализации. Эти и другие достоинства описаны в работе «Основные принципы функционирования технологии Li-Wi в концепции ІоТ». Также проанализированы недостатки, что позволяет полностью оценить возможность и уместность развития и использования данной технологии в будущем.

Ключевые слова: Internet of Things(IoT); ZigBee; Light Fidelity; Wireless Fidelity; VLC.

Odarchenko R. S., Tretiak I. V., Probyta D. M.

THE BASIC PRINCIPLES OF LI-WI TECHNOLOGY AT THE ІоТ CONCEPT

This article deals with the problem of congestion in the frequency range in operation of wireless technologies in the concept of the Internet of things. Here is analyzed the main characteristics of PLC technology, Ethernet, Wi-Fi, ZigBee. There are some disadvantages of using the same frequency. This problem could be overcome by combining the best characteristics of each technology, as well as the addition of a completely new range of information transfer concept of visible light. The advantages of the new concept are reducing energy consumption, higher data rates without special permits and licenses, minimization of the harmful effects, simplicity of implementation. The elaborate list of pros and cons presented in the "Basic principles of Li-Wi technology at the IoT concept". Researches let us to evaluate the possibility of the development and using this technology in our future.

Keywords: Internet of Things (IoT); ZigBee; Light Fidelity; Wireless Fidelity; VLC.

Стаття надійшла до редакції 18.05.2017 р.

Прийнято до друку 22.05.2017 р.

Рецензент – д-р техн. наук, проф. Конахович Г. Ф.