

It shows examples of formation of dialog data (DD), which occur on different levels of distributive computer systems. The article phrases requirements for algorithms of monitoring data processing in structures of interactive data exchange, which consists of different dialog nodes, and it phrases structural order of interaction and subordination of the algorithms. It deals with an informational technology of creation of the system of logically-statistical informational states of management objects and building of image-cluster models.

Key words: *interactive computer system, image-cluster model, algorithm of monitoring data processing.*

Одержано 04.03.2019

УДК 551.568.85:621.391

DOI: 10.32626/2308-5916.2019-19.138-144

Б. М. Шевчук, д-р техн. наук

Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України, м. Київ

ПІДВИЩЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕРЕЖ ТА ЗАСОБІВ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Основою підвищення інформаційної ефективності мереж та засобів Інтернету речей є реалізація процесорними засобами об'єктних систем безпроводних мереж комплексу алгоритмів оброблення, компактного кодування та захисту вибірок сигналів, кадрів відеоданих і вимірювальних величин, криптостійкого та завадостійкого передавання пакетів моніторингової інформації безпосередньо в місцях виникнення мережеских потоків. Алгоритми стиску та захисту моніторингових даних повинні бути оптимізовані за швидкістю і точністю кодування даних з урахуванням мінімізації обчислювальних операцій мікропотужними процесорами та мікроконтролерами об'єктних систем мереж Інтернету речей. Зменшення інформаційних потоків у місцях встановлення об'єктних систем мереж Інтернету речей досягається на основі адаптації алгоритмів кодування даних в залежності від умов введення і точності представлення моніторингових даних та формуванням кодово-сигнальних послідовностей пакетів моніторингової інформації з підвищеною інформаційною ємністю. Параметри завадостійкого передавання криптозахисених пакетів інформації вибираються в залежності від поточного рівня шумів у радіоканалі. Ключова характеристика ефективності функціонування об'єктних систем мереж Інтернету речей — поточна швидкість передачі стислої та захищеної моніторингової інформації. При наявних обчислювальних і каналних ресурсах об'єктних систем з урахуванням поточних умов введення і передавання моніторин-

гових даних, які є змінними, реалізація надійної та захищеної передачі даних у мережах Інтернету речей здійснюється постійною підтримкою процесорними засобами об'єктних систем максимальної швидкості передачі пакетів стислих та зашифрованих моніторингових даних. На практиці передача таких пакетів — це передача по радіоканалу псевдохаотичної безбиткової інформації.

Ключові слова: *мережі Інтернету речей, об'єктні системи, алгоритми оброблення, стиску та захисту сигналів і кадрів відеоданих.*

Вступ. Мережі Інтернету речей (Internet of Things, скорочено IoT) — основа для прискореного впровадження новітніх інформаційно-комунікаційних технологій і засобів штучного інтелекту в різноманітні галузі людської діяльності. В результаті широкого проникнення та застосування засобів і мереж IoT у різноманітні галузі людської діяльності забезпечуються умови для ефективної перебудови економічних та суспільних процесів, звільнення працюючих людей від рутинних операцій, мінімізації впливу людського фактора в технологічних, економічних, політичних та суспільних процесах. Важливими пристроями безпроводних мереж IoT є об'єктні системи (ОС), які разом із сенсорами і відеосенсорами встановлюються на об'єктах моніторингу і керування (ОМіК) та перетворюють вихідні потоки даних від сенсорів на вихідні потоки пакетів даних. Невирішеними завданнями при побудові пристроїв і мереж IoT є мінімізація та формування захищених потоків пакетів моніторингових даних у місцях встановлення ОС мереж IoT.

Мета роботи — підвищення ефективності функціонування процесорів ОС мереж IoT на основі адаптації алгоритмів оброблення, кодування сигналів і відеоданих до рівня шумів введених моніторингових даних, стиску-захисту визначених достовірних масивів даних, формування та передавання захищених пакетів даних з підвищеною інформативністю.

Підвищення ефективності функціонування мереж IoT. Технологія IoT стартувала на початку 2000-х років як технологія міжмашинної взаємодії (machine-to-machine, M2M) для вирішення завдань дистанційного моніторингу об'єктів з використанням різноманітних радіотрактів сенсорних, локально-регіональних та мобільних мереж [1]. На даному етапі розвитку пристроїв і мереж IoT для обміну інформацією між абонентськими системами мереж IoT (ОС, центральною станцією (ЦС), роутерами (стаціонарними і мобільними ретрансляторами, безпілотними апаратами, високо піднятими платформами, дирижаблями, мікро- та нано-спутниками) широкого розповсюдження отримали різноманітні технології безпроводної передачі даних [2]. Враховуючи, що інтеграція різноманітних пристроїв, об'єктів та речей з Інтернетом

вимагає присвоєння їм IP-адрес (унікальних ідентифікаторів), найбільш ефективним є використання засобів мобільних мереж 3G, 4G, 5G, сенсорних мереж (ZigBee, 6LoWPAN, Bluetooth і ін.), локальних мереж Wi-Fi, а також діючих мереж передачі даних. Перспективним є застосування в пристроях IoT сучасних радіомодулів LTE NB-IoT, наприклад, SIM7020E компанії SIMCom Wireless Solutions, для побудови мереж IoT з використанням розповсюджені в Європі технології LoRaWAN [3]. Підвищення ефективності функціонування діючих та перспективних пристроїв та мереж IoT досягається за рахунок зменшення вихідних інформаційних потоків на об'єктах контролю і управління з використання енергоефективних мікроконтролерів широкого застосування без залучення спеціалізованих кодеків, відеокодеків та енерговитратних процесорів. В результаті при мінімальних енергетичних та апаратурних витратах в процесі виконання завдань тривалого моніторингу станів ОМіК кожною ОС мережі IoT зменшується кількість інформаційних пакетів (ІП), які передаються і ретранслюються в загальному радіоканалі. Ефективність передачі ІП досягається зменшенням інформаційних потоків у місцях встановлення ОС шляхом адаптації алгоритмів кодування даних у залежності від умов введення і точності представлення моніторингових даних засобами ОС та формуванням кодово-сигнальних послідовностей послідовностей (КСП) пакетів з підвищеною інформаційною ємністю, параметри завадостійкого передавання яких вибираються в залежності від поточного рівня шумів у радіоканалі [4, 5].

Первинними даними для ефективної реалізації передачі моніторингової інформації в мережах IoT є величина робочої смуги частот F радіоканалу, максимальна та мінімальна кількість біт АЦП q_{\max} і q_{\min} для точного та менш точного кодування амплітудних значень відліків сигналів та яскравості пікселів відеоданих, максимальне значення кількості елементів шумоподібних сигналів (ШПС) N_B , від яких залежить максимальна тривалість КСП-ШПС та значення бази ШПС B . ОС є перетворювачами вхідних моніторингових даних у вихідні дані ІП, при цьому процесор (процесори) ОС виконує узагальнений алгоритм оброблення, кодування та передавання моніторингових даних $P_{\text{pet}}(F, f_{\max}, q, \delta_d^N, P_p, \gamma_n)$, який суттєво залежить від параметрів введення, оброблення та передавання даних, де F — величина робочої смуги частот радіоканалу, Гц, f_{\max} — максимальна частота спектру вхідних даних, q — кількість біт для кодування даних, δ_d^N — оцінка величини рівня вхідних шумів в околиці найбільш інформативних (суттєвих) відліків об'єктної сигналів, $P_p \geq 2^{2048}$ — ве-

личина ступеня захисту даних засобами ОС радіомережі, $\gamma_n = (E_{is} / J_0)_n$ — необхідне енергетичне співвідношення сигнал/шум в радіоканалі, яке забезпечує умови для передачі пактів даних у радіоканалах з шумами з високою величиною безпомилкової передачі даних P_n , наприклад, $P_n \leq 10^{-6} - 10^{-12}$. В процесі виконання послідовності обчислювальних операцій зменшуються об'єми введених, відфільтрованих та стислих моніторингових даних, які, після криптозахисту та завадостійкого кодування, є основою для формування і передачі КСП пакетів відповідної тривалості, як правило, змінної.

Узагальнений алгоритм $P = P_{pct}(F, f_{\max}, q, \delta_d^N, P_p, \gamma_n)$ виконує послідовність взаємодоповнених операцій оброблення, кодування і формування даних, що підлягають передаванню з використанням радіоканалу з шумами, тобто

$$P_{pct}(F, f_{\max}, q, \delta_d^N, P_p, \gamma_n) = P(p_F, p_{c1}, p_{c2}, p_p, p_{ni}, p_{is}),$$

де p_F — алгоритм фільтрації даних, p_{c1} — алгоритм стиску даних з допустимими втратами інформації, p_{c2} — алгоритм стиску даних без втрат, p_p — алгоритм криптозахисту моніторингових даних з заданою величиною $P_p \geq 2^{2048}$ ступеня захисту даних засобами ОС радіомережі,

p_{ni} — алгоритм завадостійкого кодування даних з заданою величиною безпомилкової передачі даних P_n , p_{is} — алгоритм формування КСП ІІ з урахуванням оцінки енергетичного співвідношення сигнал/шум в радіоканалі. Відповідно КСП ІІ часто є збитковими і характеризуються характеризуються базою B поточних каналних сигналів, що передаються в радіоканалі. З практичних міркувань базу каналних сигналів доцільно вибрати в таких діапазонах [4]: $B \leq 1$, $B \geq 1$, $B > 10$.

Ключова характеристика ефективності функціонування ОС мереж IoT — поточна швидкість передачі стислої та захищеної інформації R_i . Для реалізації інформаційно-ефективної передачі моніторингових даних у радіомережах показник інформаційної ефективності системи передачі інформації $\eta = R_i / R_{\max}$ повинен максимально наближатися до одиниці ($\eta \rightarrow 1$, $\eta < 1$), де $R_{i, \max}$ — максимальна швидкість передачі даних. Відповідно, суть інформаційно-ефективної передачі даних у мережах IoT полягає у тому, що при наявних обчислювальних і каналних ресурсах ОС з урахуванням поточних умов введення і передавання моніторингових даних, які є змінними, досягнення надійної та захищеної передачі даних в мережах IoT здійснюється постійною підтримкою засобами ОС максимальної швидкості

передачі даних $R_{i_{\max}}$. З урахуванням досягнення заданої ймовірності помилкового прийому даних інформаційних кадрів пакетів P_n , що відповідає ймовірності помилкового відновлення кодових послідовностей ПП абонентськими приймачами, поточна швидкість передачі інформації R_i є змінною і залежить від вибору ключових параметрів процесів введення, кодування та передавання даних:

$$R_i = f(F, P_n, k_{1c}(\delta_d^N), k_2, k_3, B_{\min}(\gamma_n), L, t_{pc}(P_{CPU}, Ea_j), \log_2 M_{sc}),$$

де $k_{1c}(\delta_d^N)$ — коефіцієнт стиску сигналів і відеоданих з допустимими (контрольованими) втратами інформації, який суттєво залежить від оцінки допустимої величини рівня вхідних шумів δ_d^N в околиці найбільш інформативних (суттєвих) віддіків обвідної сигналів, k_2 — коефіцієнт стиску даних без втрат, $B_{\min}(\gamma_n)$ — мінімально необхідна база КСП ПП для реалізації успішної та завадостійкої передачі даних у радіоканалі з шумами, яка вибирається в залежності від необхідного енергетичного співвідношення у радіоканалі $\gamma_n = (E_{is} / J_0)_n$, L — кількість ортогональних моноканалів передачі інформації з кодовим розділенням каналів у робочій смузі частот F , t_{pc} — тривалість часу обробки і кодування даних, який залежить від продуктивності абонентського процесора P_{CPU} та ефективності j -х алгоритмів обробки і кодування даних Ea_j , $j = \overline{1, p}$, p — кількість взаємодоповнюючих алгоритмів кодування даних засобами АС, M_{sc} — кількість станів каналних сигналів (видів сигналів, рівнів та позицій маніпуляції або модуляції несучої).

При обмеженій величині робочої смуги частот F максимальна канална швидкість передачі інформації $v_{c_{\max}} \leq 2F / k_s = 1 / k_s \cdot T_b$, де $F = 1 / T$, $T = 2T_b$ — період повторення послідовностей бітових даних, T_b — тривалість бітової послідовності, $k_s > 1.4$ — коефіцієнт, що враховує якість відновлення фронтів цифрових (імпульсних) сигналів. Враховуючи обмеження на мінімальну тривалість кодової послідовності $T_{is_{\min}} = T_b$ суттєве підвищення інформаційної швидкості передачі даних $R_i \gg r_{c_{\max}}$ досягається за рахунок реалізації абонентськими процесорами стиску даних з втратами і без втрат, що враховується коефіцієнтом стиску даних K_{ci} на інформаційному рівні засобів АС. Також R_i збільшується шляхом використання радіотехнічних засобів багатоканальної передачі інформації з частотним, кодовим і просторо-

вим розділення каналів передачі, що для простоти аналізу можна враховувати коефіцієнтом стиску даних K_{crt} на радіотехнічному рівні засобів АС. В результаті $R_i = K_c / k_s \cdot T_b$, де $K_c = K_{ci} \cdot K_{crt}$ — сумарний коефіцієнт стиску даних. При використанні спрощених радіотехнічних засобів (радіомодулів ISM діапазону частот, наприклад, з частотною модуляцією або маніпуляцією несучою), що характерно для розповсюджених засобів сенсорних мереж, $K_{crt} = 1$.

Висновки. Для підвищення інформаційної ефективності мереж та засобів Інтернету речей у місцях встановлення об'єктних систем безпроводних мереж необхідна реалізація процесорними засобами комплексу алгоритмів оброблення, компактного кодування та захисту вибірок сигналів і кадрів відеоданих, криптостійкого та завадостійкого передавання пакетів моніторингової інформації. Такі алгоритми повинні бути оптимізовані за швидкодією і точністю кодування даних з урахуванням мінімізації обчислювальних операцій процесорами об'єктних систем мереж Інтернету речей. Основою для зменшення інформаційних потоків у місцях встановлення об'єктних систем мереж є адаптація алгоритмів кодування даних у залежності від умов введення і точності представлення моніторингових даних та формуванням кодово-сигнальних послідовностей пакетів моніторингової інформації з підвищеною інформаційною ємністю. Важлива умова ефективної передачі захищених пакетів моніторингової інформації — підтримка об'єктними системами мереж Інтернету речей поточної максимальної швидкості передачі пакетів.

Список використаних джерел:

1. URL: [http:// www. everest.ua/ai-platform/analytics](http://www.everest.ua/ai-platform/analytics).
2. Огірко І. В. Технології мереж для Інтернету речей. *Матеріали науково-практичної конференції «Інтернет речей: проблеми правового регулювання та впровадження»*, Україна, Київ, 24 жовтня 2017 року, Київ : Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», 2017. С. 44–52.
3. URL: [http:// www. biz. liga. net/all/telecom](http://www.biz.liga.net/all/telecom).
4. Shevchuk B. M., Zadiraka V. K., Fraier S. V. Data Transfer Optimization in the Information Efficient Sensory, Local-Regional and Microsatellite Wireless Networks. *Optimization Methods and Applications*. In Honor of Ivan V. Sergienko's 80th Birthday. Editor: Butenko S., Pardalos P. M., Shylo V., Springer, 2017. P. 465–480.
5. Shevchuk B. M. Speed-Efficient Algorithms for Transmitting and Receiving High-Informative Packets in Radio Networks. *Cybernetics and Systems Analysis*. 2016, March, Vol. 52, Issue 2. P. 330–337.

THE INFORMATION EFFICIENCY INCREASING OF THE MEANS AND NETWORKS

The basis of the information efficiency increasing of networks and means of Internet of Things is the implementation by processor means of object systems of wireless networks of complex algorithms of processing, compact coding and protection of signal samples, video data frames and measuring values, crypto- proof and noise-proof transmission of monitoring information packets directly in the places of origin of network streams. The algorithms of compression and monitoring data protection should be optimized for the speed and accuracy of data encoding, taking into account the minimization of computing operations by micro power microprocessors and microcontrollers of object systems of the Internet of Things. The reduction of information flows in places of installation of object systems of Internet networks of things is achieved on the basis of adaptation of data coding algorithms, depending on the conditions of input and the accuracy of the presentation of monitoring data and the formation of code-signal sequences of monitoring information packets with increased information capacity. Parameters of noise-proof transmission of crypto-proof information packets are selected depending on the current level of noise in the radio channel. The key characteristic of the operation efficiency of object systems of Internet of things networks is the current speed of the transmission of the compressed and protected monitoring information. With existing computing and channel resources of object systems taking into account the current conditions of input and transfer of monitoring data that are variables, the implementation of reliable and secure data transmission in networks of Internet of Things is carried out by constant support of processor means of object systems the maximum speed of packets of compressed and encrypted monitoring data. In practice, the transmission of such packets is the transmission of pseudo-chaotic break-even information.

Key words: *Internet things, object systems, algorithms for processing, compressing and protecting signals and video frames.*

Одержано 14.02.2019