

### АНАЛІЗ ТА ОЦІНКА СУЧАСНОГО СТАНУ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ

*У статті розглядаються сенсорні мережі, як нова та перспективна технологія, на основі якої інтенсивно ведуться прикладні розробки та виконуються масштабні проекти для різних галузей промисловості, життєдіяльності людини і систем військового призначення.*

*Приведено короткий опис областей застосування сенсорних датчиків, особливості впровадження, здійснення моніторингу та управління вузлами, відстеження різних екологічних чи фізичних умов, таких як температура, тиск, вітер та вологість.*

*Тому, цілковито виправданим є мета даної статті, а саме оцінка сучасного стану сенсорної мережі з урахуванням використання в багатьох програмах, таких як моніторинг дикої природи, відстеження та спостереження за військовими цілями, розвідка небезпечних умов та полегшення стихійних лих. Враховуючи величезну кількість даних, автоматична їх класифікація стає критичним завданням у багатьох додатках.*

*Ключові слова: сенсорна мережа, датчики, інтелектуальні вузли, моніторинг, дані.*

**Вступ та постановка задачі.** Аналізуючи стан розвитку сучасних сенсорних мереж та саме ту низку послуг, які надаються, необхідно визначити головні характеристики та вимоги до сенсорної мережі швидкого впровадження [1]:

1. Реальна мережа повинна розглядатися як сукупність мереж, що побудовані та структурно складаються як із сучасних цифрових систем, так і з аналогових комутаційних станцій, та з абсолютно нових сенсорних платформ. З урахування цього, процес управління кожним окремим сегментом мережі відрізняються типовим алгоритмом.

2. Задовольняти потреби на надання якомога більшої кількості послуг призводить до необхідності найбільш повно використовувати ресурси мережі та впроваджувати обладнання нового покоління;

3. Відмови в роботі сенсорних систем призводять до величезних втрат масивів даних. Щоб їх уникнути, необхідно підвищити надійність мережі та її складових за рахунок ефективного використання нових типів кодування інформації в сенсорних датчиках;

4. Необхідно відслідковувати та контролювати суперечності та конфлікти між складовими цифрових та сенсорних мереж, таких як зміна пропускну здатності, дальність передавання, і управління цими процесами.

**Основний зміст.** Для якісної класифікації сенсорних мереж, необхідно виокремити кілька ключових ознак. Такі, як: середовище передачі даних, мобільність, організація передачі даних, середовище моніторингу, параметри моніторингу, сфера застосування та білінг (рис. 1).

За принципом мобільності розрізняють: стаціонарні, рухомі (мобільні) сенсорні мережі. Ключовий вибір такої мережі залежить напряду від сфери використання.

Як приклад, можна навести стаціонарну сенсорну мережу - «Розумний будинок». Передачі даних в такій мережі здійснюється через окрему, виділену мережу до центру обробки даних (ЦОД). За основу може братися і вже наявна телекомунікаційна мережа, або ж ТмЗК, або мережа електроживлення чи безпроводова мережа. (рис. 2).

Остання отримала ряд переваг через концепцію фіксованого мобільного зв'язку (FMS), що одразу здатна забезпечувати пріоритетність безпроводових технологій в сенсорних мережах.



Рис. 1. Класифікація сенсорних мереж [2]

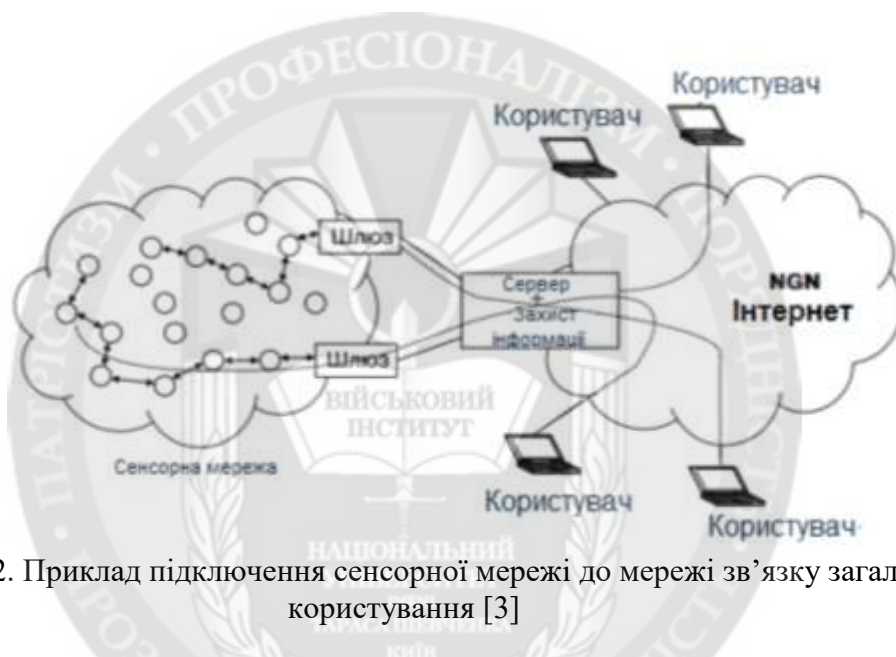


Рис. 2. Приклад підключення сенсорної мережі до мережі зв'язку загального користування [3]

Вперше використання сенсорних мереж почалося у військовій сфері. Процес вистежування бойових цілей, їх фіксування у просторі та передача розвідувальних даних стали основою для стратегічної поведінки під час бойових дій.

Розглянемо наступний приклад: маємо сенсорні інтелектуальні датчики, які розміщені на полі бойових дій. Вони з легкістю будуть отримувати дані про ситуацію на полі, зондуючи її. Наступним кроком – стане передача отриманих даних. І як вже зрозуміло, необхідно враховувати аспект, що інформація про техніку, живу силу, обставини бою безпосередньо з місця подій повинна надходити швидко та без втрат.

На даний момент, сенсорні мережі поки починають отримувати свою сферу використання в цивільній життєдіяльності. Включають моніторинг навколишнього середовища, охорону здоров'я, контроль руху об'єктів у просторі та багато ін..

Можливість розгортання мережі в складних умовах, відсутність провідних комунікацій і мінімальні розміри сенсорних пристроїв роблять технологію сенсорних мереж надзвичайно гнучкою і практичною. Звичайно – привабливою для більш глобального впровадження.

Ці фактори є визначальними при виборі способу побудови нової мережі, або розгортання конвергенції мереж з урахуванням сенсорних технологій над реальною. Маючи велику кількість з'єднаних між собою інтелектуальних датчиків і інтерфейсів передачі даних, дана технологія стійка у налагодженні і має підвищені експлуатаційні параметри, що дозволяють

виокремити сенсорні мережі в якості високоефективних і перспективних рішень для систем збору телеметричних даних, засобів дистанційної діагностики та обміну інформації.

Управління сенсорною мережею здійснюється за допомогою шлюзу, що може бути встановлений між ключовими компонентами мережі. Модулі системи управління, отримують, обробляють і зберігають інформацію в базі даних, а в разі необхідності реагують на події у відповідності із параметрами алгоритму дій, що записується в бази даних систем управління сенсорними мережами. Наприклад, при загорянні контрольованих об'єктів від сенсорів надходить сигнал тривоги, за яким відповідний модуль управління включає місцеву систему оповіщення і посилає спеціальний сигнал тривоги в пожежну частину [4].

Важливо зазначити, що всі дані передаються порівняно невеликими пакетами. Це характеризує саме для трафіку сигналів управління і моніторингу в сенсорних мережах. Ще однією важливою особливістю стандарту є обов'язкове отримання підтвердження про успішну доставку повідомлень.

Згідно із розробленими до даного стандарту офіційними документами, стандарт IEEE 802.15.4 повинен забезпечити узгоджену дальність з'єднання, більшу у порівнянні із стандартом Wi-Fi. При цьому енергоспоживання повинне бути значно менше за рахунок низької швидкості передачі даних. Також повинна бути забезпечена робота усіх основних компонентів мережі в режимі реального часу і з використанням тимчасових слотів.

В стандарті окремими пунктами був прописаний захист від колізій в мережі доступу, а ще - комплексна підтримка захисту мереж. Будь-яке термінальне устаткування чи мережеве обладнання, що є сумісним із даним стандартом IEEE 802.15.4, отримали можливість здійснювати управління витратами електроенергії та забезпечувати постійний контроль якості з'єднань з урахуванням вимог QoS [5].

Особливістю даного стандарту 802.15.4 є ще те, що була прописана особлива робота двох рівнів моделі OSI (фізичний і каналний). Із цілого сонму усіх можливих функцій та алгоритмів, які виконує кожен рівень моделі, фізичний рівень відповідає за спосіб передачі даних в сенсорній мережі, також за організацію зв'язку і підбір необхідних для підтримки з'єднання апаратних параметрів. Додатково, фізичний рівень виконує функції управління та функції роботи трансивера, обирає канали, сигнали управління та слідкує за рівнем потужності в момент передачі.

На фізичному рівні зарезервовані 27 каналів у трьох частотних діапазонах: 868 МГц, 910 МГц та 2.4 ГГц для обміну даними. (рис.1.3). Перша версія стандарту IEEE 802.15.4 визначила використання широкосмужової модуляції з прямим розширенням спектру (DSSS):

- перший - смуга 868 або 915 МГц. Швидкість передачі - 20 і 40 кбіт/с.
- другий – смуга 2450 МГц зі швидкістю 250 кбіт/с. [6]

Починаючи з 2006 року швидкості передачі даних на частотах 868 та 915 МГц були збільшені до 100 і 250 кбіт/с відповідно. Окреме визначення специфікацій для фізичного рівня полягало у тому, що змінився вибір методу модуляції. З'явилася квадратурно-фазова модуляція [7].

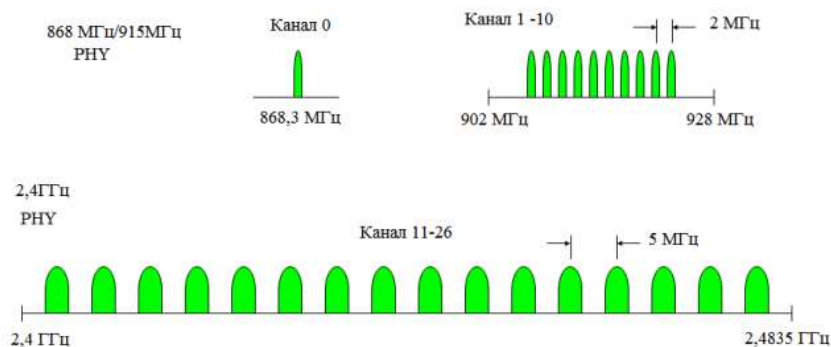


Рис. 3. Діапазоний розподіл частотних каналів

З 2007 року, подальші удосконалення стандарту привели до нових їх варіацій, таких як IEEE 802.15.4c, IEEE 802.15.4d. В свою чергу, збільшення частотних діапазонів вплинуло на можливість функціонального використання приймально-передавального пристрою з квадратурно-фазовою модуляцією і з фазовою модуляцією більш високих порядків, що здатна працювати на частоті 780 МГц. Для частоти 950 МГц запрацювала Гаусова частотна модуляція.

Відносно каналного рівня, стандарт IEEE 802.15.4 визначив механізми логічної, структурної взаємодії елементів мережі на фізичному рівні для забезпечення формування фрагментів даних, відомих під назвою кадри, перевірки та виправлення ймовірних помилок, і можливість відправки створюваних кадрів на мережевий рівень. При цьому протокол MAC (media access control) каналного рівня здійснює урегулювання множинного доступу до фізичного середовища з поділом за часом, керує зв'язками трасиверів і забезпечує здійснення контролю за безпекою сенсорної мережі.

IEEE 802.15.4 забезпечив спочатку двосторонню напівдуплексну передачу даних (при підтримці шифрування AES 128), а згодом – і повний дуплекс. Доступ до каналу заснований на принципі множинного доступу з контролем несучої сигналу. Також, як ключовий компонент даного протоколу, започаткувалося і запобіганням конфліктів та колізій.

Колізія – це системний конфлікт, що виникає у зв'язку з появою в сенсорній мережі між сенсорними вузлами, процесу передачі даних в один і той же проміжок часу. Цей ефект необхідно якомога швидко локалізувати, виправляти, мінімізувавши час, який система втрачає в процесі застою фреймів в каналі. На цей час кожен вузол втрачає доступ до каналу зв'язку. Як результат – збільшується інтервал між процесом пересилання інформації.

CSMA/CA – це мережевий протокол, в якому використовується принцип прослуховування несучої частоти. Пристрій, який готовий до передачі даних посилає jam signal (сигнал затору). Далі здійснює дію алгоритму, що відповідає принципу звичайного прослуховування ефіру. Якщо виявляється «чужий» сигнал, то передавач «засинає» на випадковий проміжок часу, а потім знову робить спробу передати кадр. За рахунок цього, передача такого кадру виходить лише від одного пристрою. Результат – підвищується продуктивність мережі в цілому [8].

Протокол управління мережею відрізняється від існуючих тим, що:

- використовується алгоритмічна схема-процедура для швидкого розпізнавання джерела інформації;
- устаткування, що представляється в архітектурі мережі як діюча станція і починає транслювати пакети, спочатку висилає сигнал глушіння;
- на наступному кроці надається узгоджений час на вичікування (поки всі пристрої в мережі прийняли сигнал глушіння), обладнання висилає бажані дані.
- якщо станція виявляє сигнал глушіння від інших станцій під час пересилання, то вона зупиняє процес пересилання кадрів на довільний інтервал часу. Після його закінчення – знову здійснює спробу пересилки пакетів.

Важливо відмітити, що всі дані передаються порівняно невеликими пакетами. Це характеризує саме для трафіку сигналів управління і моніторингу в сенсорних мережах. Ще однією важливою особливістю стандарту є обов'язкове отримання підтвердження про успішну доставку повідомлень.

При розробці стандарту для сенсорних мереж (IEEE 802.15.4), головна увага приділялася на:

- швидкість процесів конфігурації,
- реконфігурування.

Перехід приймача сенсорної мережі в активний стан триває близько 10-15 мс, а підключення до самої мережі - від 30 мс. При цьому тривалість реконфігурації і підключення пристроїв залежить від нормальності процесу «слухання» маршрутизаторами всієї мережі.

Є два принципово різних типи мереж зв'язку. Перший будується на підтримуючій фізичній інфраструктурі, яка надає необхідні послуги для спілкування клієнтів, наприклад, маршрутизація. Цей клас включає такі мережі, як традиційна телефонна система (ТМЗК), мережа мобільного зв'язку, Інтернет, поштова система та телевізійна система (яка є односторонньою) [9]. Тут операція мережі бере на себе цільові організації, які чітко відділені від клієнтів мережі, які використовують термінальні пристрої для використання послуг мережі. В основі сенсорної мережі, що базується на цій парадигмі, використовуються базові станції, які пропонують інфраструктуру для вузлів сенсорів для використання.

Базова станція - це пристрій, обладнаний більшою кількістю ресурсів та більшим радіодіапазоном, ніж звичайний вузол датчиків. Кожний вузол зазвичай має прямий зв'язок з базовою станцією і виключно спілкується з цією базовою станцією [10]. Пряме спілкування між вузлами не відбувається. Можливим винятком є ретрансляція повідомлень від імені вузлів, які, за винятком діапазону базової станції. Для мінімізації кількості базових станцій при досягненні повного охоплення потрібне ретельне планування всієї сенсорної мережі.

Необхідна кількість вузлів на одиницю площі розраховується наступним чином:

$$\rho = N/A, \quad (1)$$

де  $A$  – площа області розгортання, а  $N$  – кількість сенсорних вузлів.

Якщо вузли достатньо щільно розподілені, то необхідно визначити весь шлях, що проходить сигнал від одного вузла до іншого [11].

Найдовший шлях буде розрахований наступним чином:

$$L_{max} = \frac{2\sqrt{A/(2\pi)}}{R}. \quad (2)$$

Другий тип мережі працює повністю без підтримки інфраструктури. Немає виділених пристроїв або установок, які підтримують клієнтів мережі. Натомість всі послуги надаються самим клієнтом за рівним рівнем доступу. Співпраця між клієнтами необхідна для забезпечення справедливого використання ресурсів один одного [12]. Приклади таких мереж - накладені однорангові мережі, бездротові спеціальні мережі та радіолюбительські радіостанції. Сенсорні мережі, засновані на цій парадигмі, простіші для налаштування, ніж для попереднього типу.

**Висновки.** У даній статті розглянуто основні відомості про сенсорні мережі, та головні складові – сенсорні датчики. Приведений аналіз основних сфер використання сенсорних датчиків, а також – їх класифікація.

Також здійснено аналіз сучасного стану даного класу мереж, мета яких організація зв'язку та передача (ретрансляція) повідомлень в середовищах несприйнятливих для перебування людини, при умовах загрози життя.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Recommendation ITU-T Y.3001(2011), Global infrastructure, Internet protocol aspects and Next Networks - future networks, Future Networks: Objectives and Design soap.
2. IEEE standard for information technology – telecommunications and information exchange between systems –local and metropolitan area networks – specific requirement part 15.4: wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for low-rate wireless personal area networks (WPANS). IEEE Std. 802.15.4a-2007, 2007. – 203 p.
3. Akyildiz I. F., Melodia T., Chowdury K. R. Wireless multimedia sensor networks: applications and testbeds // Proceedings of the IEEE (invited paper), 2008. – Vol. 96. – № 10, pp. 1588-1605.
4. Kasirajan, Priya, Carl Larsen, and Sarangapani Jagannathan. A new data aggregation scheme via adaptive compression for wireless sensor networks. ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN), 2012. – Vol. 9, No. 1, pp. 5.1-5:26.

5. Довженко Н.М. Особливості побудови сенсорних мереж / Н.М. Довженко // Науково-виробничий збірник «Наукові записки українського науково-дослідного інституту зв'язку». – К.: УНДІЗ, 2017. – Вип 2 (46). – С. 61 – 64.
6. Лисенко О.І. Функціональна модель системи управління безпроводовою сенсорною мережею із самоорганізацією для моніторингу параметрів навколишнього середовища / О.І. Лисенко, К.С. Козелкова, В.І. Новіков, Т.О. Прищеп, А.В. Романюк // Системи обробки інформації. – 2015. – Вип. 10. – С. 222 – 225.
7. Lysenko O.I. A Method of Control of Telecommunication Airsystems for the Wireless AD HOC Networks Optimization / O.I. Lysenko, S.V. Valuiskyi, O.M. Tachinina, S.L. Danylyuk // 2015 IEEE 3rd International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD): Proceedings. – 2015, – pp. 182 – 185.
8. Новіков В.І. Доставка повільного трафіку в сенсорній мережі з самоорганізацією / В.І. Новіков, В.А. Воловик // Науковий вісник Академії муніципального управління. Збірник наукових праць. Серія «Техніка». – 2015. – Вип.9. – С. 136 – 141.
9. Галелюка І.Б. Моделювання бездротових сенсорних мереж / І.Б. Галелюка // Комп'ютерні засоби, мережі та системи. – 2015. – № 14. – С. 141 – 150.
10. Kasirajan, Priya, Carl Larsen, and Sarangapani Jagannathan. A new data aggregation scheme via adaptive compression for wireless sensor networks. ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN), 2012. – Vol. 9, No. 1. – Pp. 5.1-5:26.
11. Тужилкин О.В. Методы оценки эффективности работы беспроводной сенсорной сети / О.В. Тужилкин, Н.С. Ульянов // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2012. – № 130.5. – С.28 – 32.
12. Mobile Wireless Sensor Networks Overview / J. Rezazaden, M. Moradi, A. Samad Ismail // International Journal of Computer Communications and Networks, 2012.

#### REFERENCES:

1. Recommendation ITU-T Y.3001(2011), Global infrastructure, Internet protocol aspects and Next Networks - future networks, Future Networks: Objectives and Design soap.
2. IEEE standard for information technology – telecommunications and information exchange between systems –local and metropolitan area networks – specific requirement part 15.4: wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for low-rate wireless personal area networks (WPANS). IEEE Std. 802.15.4a-2007, 2007. – 203 p.
3. Akyildiz I. F., Melodia T., Chowdury K. R. Wireless multimedia sensor networks: applications and testbeds // Proceedings of the IEEE (invited paper), 2008. – Vol. 96. – № 10 – Pp. 1588-1605.
4. Kasirajan, Priya, Carl Larsen, and Sarangapani Jagannathan. A new data aggregation scheme via adaptive compression for wireless sensor networks. ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN), 2012. – Vol. 9, No. 1. – Pp. 5.1-5:26.
5. Dovzhenko N.M. Osoblivosti pobudovy sensornih merezh / N.M.Dovzhenko // Naykovo-virobnichiy zbirnik «Naykovi zapysku ukrains'kogo naykovo-doslidnogo instutyty zvi'zky». – K.: YNDIZ, 2017. – Vip 2 (46). – s. 61 – 64.
6. Lysenko O.I. Funkcional'na model system upravlinnia bezprovodovoy sensornoy merezhey iz samoorganizaciyey dlia monitoring parametriv navkolishn'ogo seredovizha / O.I.Lysenko, K.S. Kozelkova, V.I.Novikov, T.O. Prizhepa, A.V. Romanyk // Systemu obrobku informacii. – 2015. – Vip. 10. – s. 222 – 225.
7. Lysenko O.I. A Method of Control of Telecommunication Airsystems for the Wireless AD HOC Networks Optimization / O.I. Lysenko, S.V. Valuiskyi, O.M. Tachinina, S.L. Danylyuk // 2015 IEEE 3rd International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD): Proceedings. – 2015. – Pp. 182 – 185.
8. Novikov V.I. Dostavka povil'nogo trafiky v sensorniy merezhi z samoorganizaciyey / V.I. Novikov, V.A. Volovik // Naykoviy visnik Akademii mynicipal'nogo upravlinnia. Zbirnik naykovich prac'. Seria «Technika». – 2015. – Вип.9. – С. 136 – 141.
9. Gadelyka I.B. Modelyvannia bezdrotovih sensornih merezh / I.B. Gadelyka // Comp'yterni zasobi, merezhi ta system. – 2015. – № 14. – s. 141 – 150.
10. Kasirajan, Priya, Carl Larsen, and Sarangapani Jagannathan. A new data aggregation scheme via adaptive compression for wireless sensor networks. ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN), 2012. – Vol. 9, No. 1. – Pp. 5.1-5:26.

11. Tyzhilkin O.V. Metodi ocenki effektivnosti rabotu besprovodnoy sensornoy seti / O.V. Tyzhilkin, N.S. Ylyanin // Izvestia Yzhnogo federalnogo universiteta. Tekhnicheskie nauku. – 2012. – № 130.5. – s.28 – 32.

12. Mobile Wireless Sensor Networks Overview / J. Rezazaden, M. Moradi, A. Samad Ismail // International Journal of Coputer Communications and Networks, 2012.

**Рецензент:** д.т.н, проф. Кравченко Ю.В., завідувач кафедри мережевих та інтернет технологій факультету інформаційних технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка

д.т.н, проф. Барабаш О.В., Довженко Н.М., Коваль М.О.

## АНАЛИЗ И ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ

*В статье рассматриваются сенсорные сети, как новая и перспективная технология, на основе которой интенсивно ведутся прикладные разработки и выполняются масштабные проекты для различных отраслей промышленности, жизнедеятельности человека и систем военного назначения.*

*Приведены краткое описание областей применения сенсорных датчиков, особенности внедрения, осуществление мониторинга и управления узлами, отслеживание различных экологических или физических условий, таких как температура, давление, ветер и влажность.*

*Поэтому, полностью оправдано цель данной статьи, а именно оценка современного состояния сенсорной сети с учетом использования во многих программах, таких как мониторинг дикой природы, отслеживания и наблюдения за военными целями, разведка опасных условий и облегчения стихийных бедствий. Учитывая огромное количество данных, автоматическая их классификация становится критической задачей во многих приложениях.*

*Ключевые слова:* сенсорная сеть, датчики, интеллектуальные узлы, мониторинг, данные.

Prof. Barabash O.V, Dovzhenko N.M, Koval M.O.

## ANALYSIS AND EVALUATION OF MODERN STATUS OF SENSE NETWORKS

*This article is about sensor networks as a new and promising technology, on the basis of which applied development is intensively conducted and large-scale projects are implemented in various industries, human life and military systems.*

*A brief description of the application areas of sensors, features of implementation, monitoring and node management, and the monitoring of various environmental or physical conditions such as temperature, pressure, wind and humidity are given.*

*Therefore, the purpose of this article is entirely justified, namely the assessment of the current state of the sensor network, taking into account the use in many programs, such as wildlife monitoring, tracking and monitoring of military purposes, intelligence of hazardous conditions and disaster relief.*

*Keywords:* sensor network, sensors, intelligent knots, monitoring, data.