

ОБГРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПОЄДНАННЯ БСМ ТА БПЛА ДЛЯ ВЕДЕННЯ МОНІТОРИНГУ НА РУХОМІЙ ПЛАТФОРМІ В ЗОНІ БОЙОВИХ ДІЙ

Карпенко М. І., Чумаченко С.М., Мошенський А.О.
Національний університет харчових технологій, Україна
E-mail: sapta@ukr.net

JUSTIFICATION OF THE EFFECTIVENESS OF COMBINING WSN AND UAV FOR MONITORING IN THE COMBAT ZONE

The effectiveness of using WSN and UAVs for the purpose of monitoring CWA and radiation is substantiated. Solutions to the problems of monitoring the combat zone are proposed.

Враховуючи схильність російських військ порушувати домовленості та використовувати заборонені бойові отруйні речовини (БОР), а також обстрілювати цивільні об'єкти, постає актуальність проблеми виявлення небезпечних речовин. Враховуючи воєнний стан, більшість даних про стан РХБ (радіологічної, хімічної та біологічної) розвідки у ЗСУ лишається закритою. З доступної інформації відомо, що більшість зразків техніки представляють собою старі радянські пристрої індивідуальної та стаціонарної дозиметрії та детектування БОР [1]. Наразі відомо про досягнення вітчизняних виробників, що представляють не тільки нові моделі БПЛА, а й високоточну, надійну техніку детектування, наприклад, марки ЕКОТЕСТ. Про використання такої техніки наразі відомо мало. Однак, загалом такі пристрої детектування кріпляться зовні транспортних засобів та сповіщають виключно екіпаж про стан навколишнього середовища. Щодо ДСНС, то служби реагування використовують весь арсенал наявних засобів [2], що може різнитися від підрозділу. Основну частку спорядження детектування ДСНС складають ручні та стаціонарні пристрої, а також сенсори на постах спостереження і об'єктах критичної інфраструктури.

Переважає більшість описаної вище техніки не передбачає надсилання даних, а та, що передбачає, робить це через Bluetooth або Wi-Fi мережу. З огляду на досвід блекаутів, марно покладатися на стабільну роботу стільникової мережі або мережі Internet в зоні повного відключення електроенергії (окрім деяких об'єктів критичної інфраструктури). Черговим обмеженням буде відсутність постійного джерела живлення, що впливатиме на час роботи пристроїв.

Проблеми живлення та відсутності покриття вирішує радіозв'язок. Безпроводні сенсорні мережі (БСМ) на діапазоні ультракоротких хвиль (УКХ) забезпечують комутацію пристроїв на великих дистанціях. Технологія LoRa для БСМ забезпечує низьке енергоживлення для сенсорів та радіомодулів. Протокол LoRaWAN дозволяє створити незалежну архітектуру БСМ, що

передаватиме дані через різні рівні пристроїв до бази даних (БД) на віддаленому або хмарному сервері, де буде проводитись аналітична обробка.

Ефективність такого способу доводить компанії на кшталт Actility чи AbeeWay, DXC Technology, Elbit Systems, Hanwha Group, L3Harris і Leonardo [3], тощо, що представили ідею LoRaWAN трекерів для військових потреб, а саме забезпечення додаткового каналу зв'язку (персональних та групових SMS), відстеження координат військовослужбовця, тощо. IoT (Internet of things) мережі активно застосовуються в інших країнах, наприклад, у Франції та США [4].

Впровадження системи моніторингу на основі БСМ IoT вирішить проблему енергоефективності та відсутності покриття стільникових мереж. Однак БСМ зазвичай є заздалегідь розміщеними стаціонарними об'єктами. Використання різного роду БПЛА (в основному коптерного типу) забезпечить рухомість блоку детектування та, водночас, безпеку для оператора, адже до цього небезпечні дози речовин чи випромінювання виявляють ручними детекторами або зафіксованими на наземному транспорті приладами індикації. Топологія LoRaWAN сприяє створенню стійкої мережі, в якій БПЛА з блоками виявлення БОР та дозиметрами будуть водночас ретрансляторами і покриватимуть широкі території. БПЛА типу гібридний дрон (літак-мультикоптер) здатні розвідувати важкодоступні для людини та наземного транспорту місця, а також оперативно повертатися в разі потреби за рахунок високої швидкості, малої ваги та невеликих габаритів.

При всіх перевагах використання БПЛА та БСМ виникає проблема мобільності та передачі даних в хмарне середовище. Існує можливість збирати дані локально і обробляти їх на місці, однак для надсилання даних до оперативного штабу потрібна оперативна закрита мережа типу military Internet.

Для вирішення цієї проблеми пропонується ідея мобільної платформи, що використовуватиме переваги БПЛА та БСМ і буде ефективною у використанні як цивільними службами (ДСНС), так і військовими ЗСУ. Ідея полягає у встановленні на транспортний засіб супутникової інтернет-системи. Starlink не є єдиним представником такої системи, але він найбільш відомий, широко розповсюджений і легкий для налаштування серед аналогів. Супутникова мережа буде розгорнута всередині фургону з відкидним дахом. Супутниковий маршрутизатор автоматично налаштується на найближчі супутники що є на орбіті і через точку доступу будуть надсилатися дані з БПЛА, що надійшли через радіоканал ретрансляторе.

Постає нова проблема у вигляді ворожої розвідки, яка легко фіксує мережу Starlink і наводить артилерію чи ударні дрони в її сектор. Для вирішення цієї проблеми варто звернутися до радіотехніки. Wi-Fi працює на частотах 2,4 ГГц та 5 ГГц, що відповідає довжинам хвиль приблизно 12,5 см та 6 см відповідно. Для обмеження поширення Wi-Fi сигналу в межах конкретного простору, наприклад, фургона, можна застосувати методи екранування. Екранування передбачає використання матеріалів, які блокують або поглинають радіохвилі, запобігаючи їх виходу за межі бажаної зони. Для блокування поширення хвиль Wi-Fi умовною кліткою Фарадея, нам знадобиться формула глибини

проникнення skin-depth: $\delta = \frac{\sqrt{2}}{\omega\mu\sigma}$, де $\omega=2\pi f$ – кутова частота, μ – магнітна проникність матеріалу (для немагнітних матеріалів близько $\mu_0=4\pi\times10^{-7}$ Гн/м), σ –електропровідність. Для екранування підійдуть матеріали: мідь, алюміній, фольга, тощо. У випадку міді лист товщиною 4–7 мікрон забезпечить повне екранування сигналу Wi-Fi. Для забезпечення високої ступені заглушення сигналу зазвичай застосовують матеріал із товщиною приблизно у 3–5 разів більшу за δ . Оскільки частота $f_1 = 2.4$ ГГц та $f_2 = 5$ ГГц відповідно, то для f_1 $\omega \approx 2\pi * 2.4 * 10^9 \approx 15,08 * 10^9$ рад/с, $\delta \approx 1,35$ мікрон; для f_2 $\omega \approx 2\pi * 5 * 10^9 \approx 31,42 * 10^9$ рад/с, $\delta \approx 0,93$ мікрон.

Оскільки радіо модулі працюють на УКХ діапазоні, то їхня довжина хвилі більша порівняно з Wi-Fi, через що вони здатні краще проникати через перешкоди (в т.ч. металеві) і зазнавати меншого послаблення сигналу. Саме тому ретранслятор IoT може спокійно знаходитись як зовні, так і всередині транспортного засобу.

Висновки: Було обґрунтовано використання БСМ та БПЛА з метою моніторингу БОР та радіації. Розглянуто проблеми зони бойових дій, а саме відсутність стабільного електроживлення, відсутності покриття стільникових мереж та інтернету, небезпеку виявлення сигналу точки доступу ворожою радіорозвідкою. Запропоновано рішення у вигляді екранованого транспортного засобу, який перебуватиме на місці проведення моніторингу, розгортатиме мережу супутникового інтернету і збиратиме дані за допомогою БПЛА гібридного типу з блоками детектування через УКХ радіоканал. Потребує подальшого дослідження проблема втрати радіосигналу через гіпотетичне потрапляння в зону дії станції активних перешкод (постановника завад «глушилки»).

Література

1. Чернявський І. Ю., Марущенко В. В., Мартинюк І. М. (2022). Військова дозиметрія: підручник. К. : Вид. «КНТ», 530 с. ISBN 978-966-570-818-6.
2. Коваль М. С. Дії підрозділів ДСНС України в умовах воєнного стану. Львів : ЛДУ БЖД, 2023. 306 с. URL: <https://dsns.gov.ua/upload/1/9/2/4/3/5/9/diyi-dsns-objednana-kniga-compressed.pdf>.
3. IoT Army Companies, Service Providers & Solutions | IoT Military. Army Technology. URL: <https://www.army-technology.com/buyers-guide/leading-iot-companies-military/> (date of access: 20.03.2025).
4. IoT Transforming Defence Systems and Military Operations. Product Engineering Company | IoT App Development Company | HashStudioz Technologies. URL: <https://www.hashstudioz.com/blog/iot-defence/> (date of access: 20.03.2025).