

УДК 004.77

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.260084

## Розробка методу управління трафіком безпілотних літальних апаратів за допомогою використання gNB-IoT в 5G

Н. Х. Касім, А. М. Джавад, Х. М. Джавад, Ю. І. Хлапонін, О. М. Нікітчин

*БПЛА або дрони, як альтернативне рішення щодо забезпечення високоякісного Інтернет-сервісу в складно доступних місцевостях, екологічно чисті і не споживають електроенергію протягом дня, як у випадку з вежами зв'язку. Але розробники мережі стикаються з труднощами в системі зв'язку дрона, пов'язаними з необхідністю врахування непередбачуваних погодних умов та рельєфу місцевості, а також коротким є термін служби акумуляторів дрона. Тому об'єктом дослідження є процес управління трафіком БПЛА за допомогою використання gNB-IoT в 5G.*

*Показана можливість застосування мобільного ретранслятора БПЛА під час управління трафіком за допомогою використання радіоресурсів (RR), інфраструктури мережі радіо-доступу (RAN) із засобами трансляції та динамічного підключення за допомогою модуляції MU-MIMO. Використання цих інструментів дозволяє підключати дрон до провідної базової мережі від провайдера та потім відновлювати радіочастотний сигнал і транслювати в іншу зону покриття, де цей абонент не має покриття мережі, використовувати відображення індикатора якості каналу (CQI) як функції QoS.*

*Безсумнівно, що керування трафіком – це процес отримання інформації про керування трафіком від однієї кінцевої точки до іншої, що підтверджує надійність і керування передачею даних. Тим часом, управління трафіком безпілотного літального апарату може використовуватися для зменшення затримки в часі та усунення перешкод через мережу, покладаючись на програми Інтернету речей, які використовують технологію NB-5G. Процес покращення управління трафіком БПЛА використовує запропонований алгоритм для генерування динамічного управління даними потоку для посилення обробки трафіку керування потоком в IoT.*

*Ключові слова: управління трафіком, безпілотний літальний апарат, інтернет речей, мережа 5G, gNB-IoT.*

### 1. Вступ

Важливою задачею є надання високоякісного Інтернет-сервісу у віддалених районах, які не мають веж покриття, таких як гори, ліси та пустелі але в яких існує така необхідність (гасіння пожеж, рятувальні операції, руйнування традиційних мереж зв'язку тощо). Одним зі способів вирішення цієї проблеми є застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА або дронів), ефективність яких знаходиться на рівні веж зв'язку і охоплює більші площі. Розробники стикаються з труднощами в системі зв'язку дрона, пов'язаними з необхідністю

врахування непередбачуваних погодних умов та рельєфу місцевості, а також коротким є термін служби акумуляторів дрона.

Стратегія IoT буде залежати від різних сценаріїв управління трафіком для відповідної мобільності БПЛА. БПЛА забезпечують додатки NB-IoT низькою швидкістю передачі інформації, великою кількістю з'єднаних пристроїв та великим діапазоном покриття.

Недоліком застосувань БПЛА є недосконалість управління трафіком БПЛА в умовах необхідності отримання послуги Інтернету та покриття мережі 5G або 4G.

Еволюція телекомунікаційних мереж, яка приведе світ до п'ятого покоління мобільного зв'язку (5G), характеризується глибокими змінами в інфраструктурі телекомунікаційної мережі та використовуваних технологіях. 5G має підтримувати більшу кількість користувачів/пристроїв, які потребують підключення до Інтернету, з різними вимогами до продуктивності та більшою кількістю додатків і варіантів використання. Інтернет речей (IoT) охоплюватиме ще більшу кількість підключених пристроїв, спрямованих на збір і надсилання даних з різними цілями та за різними сценаріями додатків, таких як розумне місто, розумна фабрика та розумне сільське господарство.

Тому наукові дослідження з цієї теми є важливими та актуальними.

## **2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми**

Відповідно до [1] можливо покращити ефективність шляху передачі даних приймача на магістралях, що може підвищити якість зв'язку між літаком, користувальницьким обладнанням і базовою станцією. Вказаний в [1] підхід може бути застосований для підвищення точності та ефективності переданих даних, що використовуються в Інтернеті речей. Хоча стаття спрямована на покращення радіосигналів 5g, однак в ній недостатньо даних щодо пропускну здатності при зміні траєкторії приймача/передавача БПЛА. У [2, 3] модель реалізувала та обробила самостійний трафік за допомогою функції розподілу Парето та врахувала час, що використовується в управлінні трафіком за допомогою M/M/1 та розподілу Вейбулла. Недоліком у [2, 3] є відсутність інформації про відповідь індикатора якості каналу (CQI) в діапазоні частот, що перевищує пропускну здатність, призначену для обладнання каналу передавача-приймача. Промисловий трафік потребує мікросекундної затримки для зв'язку IoT [4]. Такий трафік складається з інформації про екстрені ситуації, керування даними трафіку та трафіку віддаленого керування, яку можна використовувати в областях застосування для управління БПЛА з високою надійністю [5]. Хоча інформації щодо розрахунку ймовірності перекриття в [4, 5] як інтелектуальної динамічної структури управління ресурсами спектру недостатньо.

Будуть використовуватися додатки IoT для управління потоком даних за допомогою керування трафіком 5G/LTE мережах для інтелектуальних з'єднань між базовими станціями та новим обладнанням (gNB, UAV, прикладна програма IoT). Стратегія IoT буде залежати від різних сценаріїв управління трафіком для відповідної мобільності БПЛА. Беручи до уваги [6], БПЛА забезпечують додатки NB-IoT низькою швидкістю передачі інформації, великою кількістю з'єднаних пристроїв та великим діапазоном покриття. У статті досліджують-

ся показники якості обслуговування, затримки, пропускної спроможності та енергоспоживання та не враховуються тіньові зони зі слабкими мережами для визначення швидкості та висоти БПЛА на різних метриках і шляхах. У [7] унікальне рішення для управління мережею (PNMS) керувало одним сервером для мереж 5G для керування дронами відповідно до послуг підприємства. [7] містить загальні проекти без представлення рішень, які включають управління, впровадження, базову мережу та мережу бездротового доступу п'ятого покоління, які допомагають покращувати та розвивати інфраструктуру.

Недоліком застосувань БПЛА є недосконалість управління трафіком БПЛА в умовах необхідності отримання послуги Інтернету та покриття мережі 5G або 4G.

NB-IoT – це специфікація стандарту стільникового зв'язку, яка розроблена для обслуговування пристроїв, що генерують невеликий обсяг даних. Технологія відмінно підходить для різних лічильників, датчиків, систем сигналізації та т. д.

Нова технологія радіодоступу називається «NR» і замінює «LTE», а нова базова станція називається gNB (або gNodeB) і замінює eNB (або eNodeB або розвинутий вузол B).

Зрештою, вирішення проблеми визначення зон покриття мережі та покращення приймача даних, а також відповідного шляху за допомогою ресурсу інтелектуального динамічного спектру, для покращення та розвитку інфраструктурної мережі, може бути досягнуто використанням БПЛА.

### **3. Мета і задачі дослідження**

Метою дослідження є розробка методу управління трафіком БПЛА за допомогою використання gNB-IoT в 5G. Це дасть можливість надання високоякісного Інтернет-сервісу у віддалених районах, які не мають веж покриття мобільного зв'язку.

Для досягнення мети були поставлені наступні задачі:

- показати можливість застосування мобільного ретранслятора БПЛА під час управління трафіком за допомогою gNB-IoT в 5G;
- показати можливість підключати дрон до провідної базової мережі від провайдера та відновлювати радіочастотний сигнал і транслювати в іншу зону покриття, де цей абонент не має покриття мережі;
- запропонувати використовувати розширення спектру в режимі реального часу для забезпечення високої пропускної здатності всіх користувачів БПЛА;
- запропонувати спосіб управління рухом БПЛА за допомогою алгоритму розподілу, щоб постійно передавати напрям антени в найкращому положенні основного променю gNB в бік БПЛА.

### **4. Матеріали та методи дослідження**

Об'єктом дослідження є процес управління трафіком БПЛА за допомогою використання gNB-IoT в 5G.

Основними методами дослідження є методи математичного аналізу із застосуванням теорії графів, метод аналізу структурної надійності та математичне моделювання. Щоб покращити алгоритми трафіку, пропонується інший тип Simulink і побудова алгоритму підтримки передачі даних між V2X, який ство-

рив шлях для обробки даних завдяки gNB-IoT для стратегії розподілу, яка інтегрує надширококутні мережі. Алгоритм буде побудований для трансляції необхідних даних разом зі службовими даними через роздавачі/передавачі даних. Таким чином, можна збільшити зону покриття для кожного gNB і платформи (IoT). Зрештою, IoT UAV Simulink може оптимізувати затримку часу, передачу та енергію. Це потрібно для покращення покриття мережі та підтримки розвитку Інтернету речей у найближчій перспективі. Це майбутнє, в якому користувачьке обладнання (UE) та засновники телекомунікаційних компаній отримають підвищену пропускну здатність трафіку даних і підключені до Інтернету речей через gNB [8-11].

## **5. Результати дослідження процесу управління трафіком безпілотних літальних апаратів за допомогою використання gNB-IoT в 5G**

### **5.1. Ретрансляція та оптимізація радіопланування для безпілотних літальних апаратів**

Запропоновано використання ретранслятора БПЛА під час управління трафіком за допомогою використання радіоресурсів (RR), інфраструктури мережі радіо-доступу (RAN) із засобами трансляції та динамічного підключення за допомогою модуляції MU-MIMO. У ретрансляції БПЛА пропонуємо розрахувати відстань (радіо) між вузлом дрона B і мобільною станцією (MS) як контролером застосування IoT. Після чого необхідно вказати основну специфікацію для інсталяції, наприклад таку як 3D-позиція, швидкість, радіус, зона покриття та напрямок променю, оптимізуючи радіопланування з антенними фазованими решітками [12].

Крім того, потрібно збільшити пропускну здатність каналу за допомогою пропускну здатності, гарантованої застосуванням БПЛА. Це дозволить дізнатися часово-частотний інтервал і баланс затримки, а потім використовувати QoS і QoE між UAV і gNB, щоб покращити високу швидкість передачі даних (рис. 1).

Ретрансляція методу БПЛА буде залежати від тракту приймача-передавача, якому необхідно збільшити спектр сигналу та переслати радіокадр за допомогою MU-MIMO, спираючись на блоки ресурсів, які відображаються в сітці часу та частоти в 5G NR [13].

Це покращить передачу кадрів за рахунок використання дронів як приймачів для критичних зон покриття краю. З іншого боку, QoE 5G надасть більше гнучкості для більш високого ступеня 3D-формування променю для оцінки контролю управління трафіком [14] і даних про трафік, що передаються БПЛА. Повний LoS, що використовується для адаптації користувачького обладнання за допомогою БПЛА до найближчої RAN і легкого керування для оптимізації більшого трафіку передачі даних, показані на рис. 2.

Показано найкоротший шлях до приймача в зоні покриття до RAN через БПЛА з більш високою ймовірністю підключення всіх MS та з більшою мобільністю БПЛА.

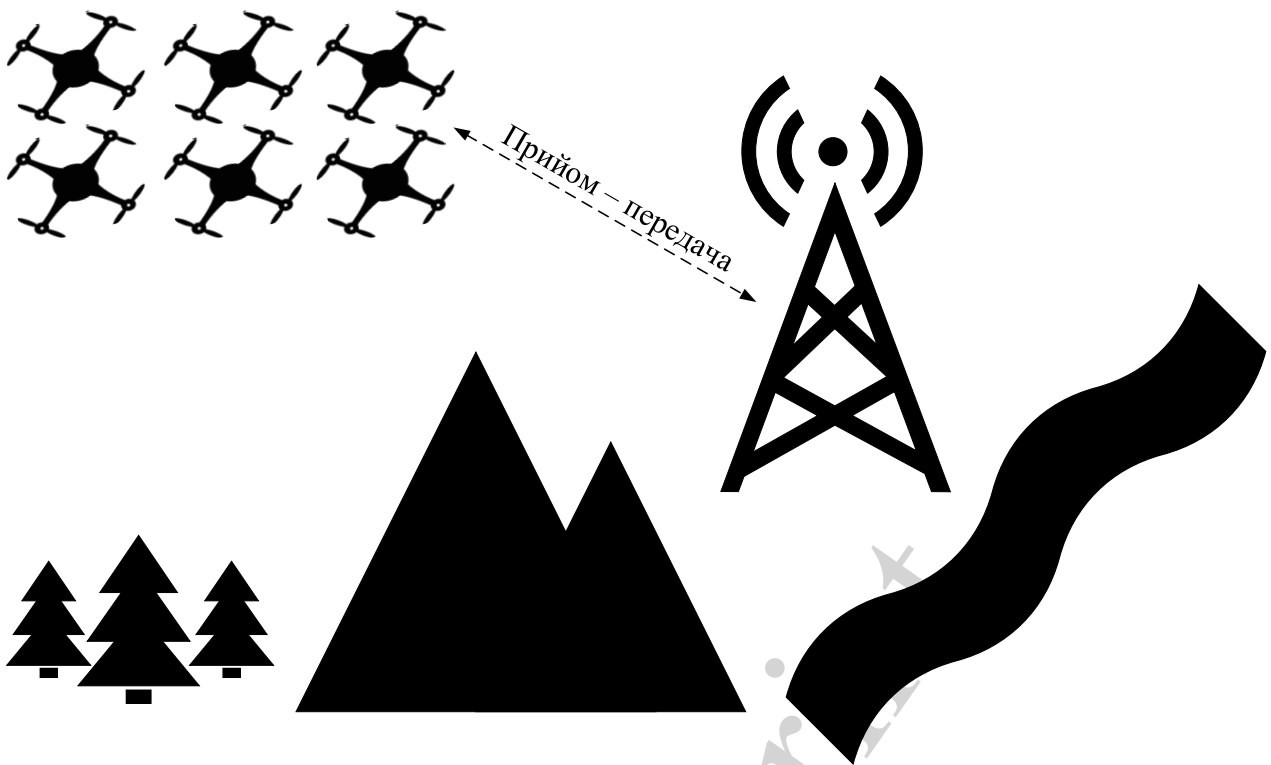


Рис. 1. Покриття за допомогою безпілотного літального апарату

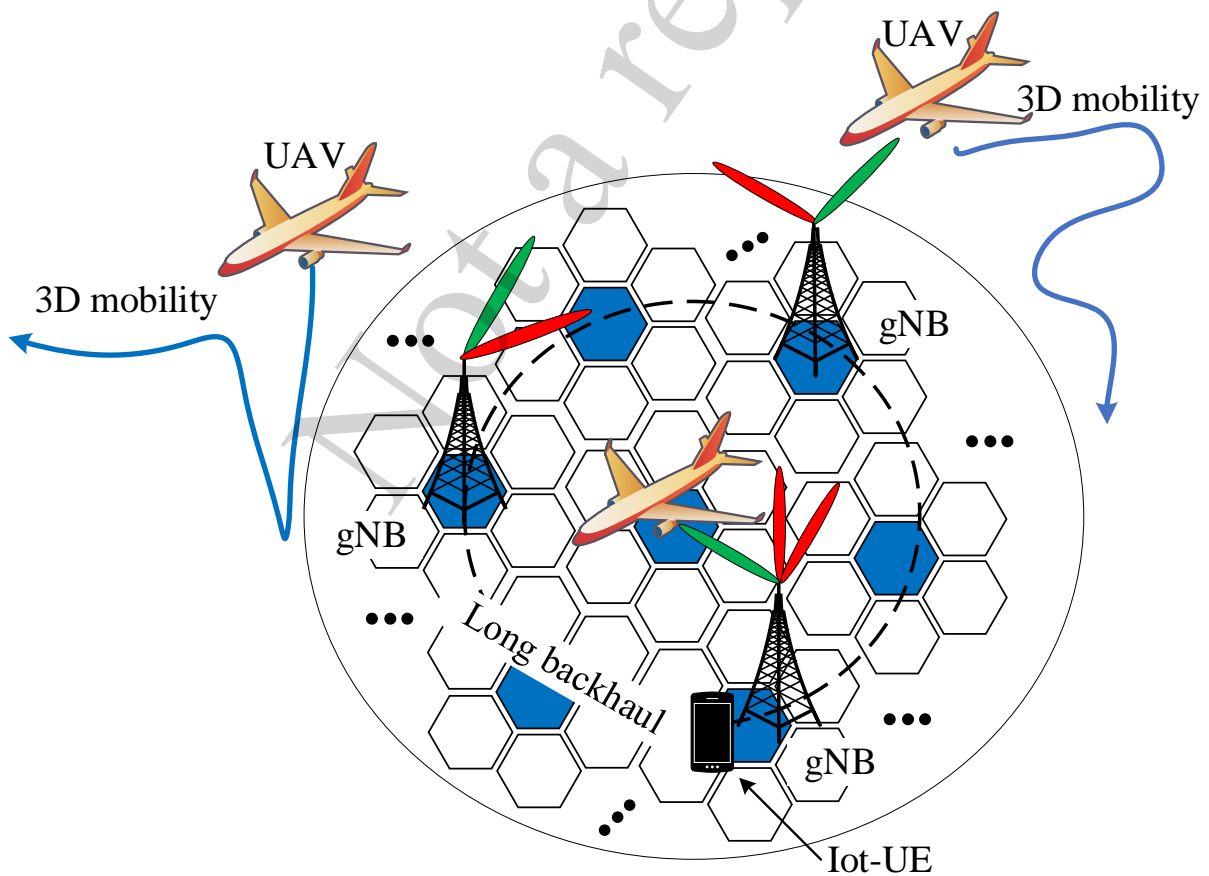


Рис. 2. 3D мобільність безпілотного літального апарату з NB-IoT

## **5. 2. 3D-променеий напрямок зв'язку транспортних засобів V2X**

Починаючи з версії 16 [15], зв'язок між транспортними засобами (V2X) за допомогою цих інструментів дозволяє підключати дрон до провідної базової мережі від провайдера. Потім відновлювати радіочастотний сигнал і транслювати в іншу зону покриття, де цей абонент не має покриття мережі, використовувати відображення індикатора якості каналу (CQI) як функції QoS.

Крім того, це може збільшити тимчасову зону покриття, тому БПЛА працюватиме як ретранслятор gNB, щоб покращити низьку затримку за допомогою 3D-формування променя та MU-MIMO з LoS серед V2X. Далі виконується синхронізація [16] і конфігурація протоколу для встановлення з'єднання, потім обмін даними кадром і повторна передача всіх пакетів.

## **5. 3. Спектр і радіо кадр як спосіб управління трафіком**

Щоб покращити управління трафіком БПЛА, було використано розширення спектру в режимі реального часу та зосередимося на якості передачі даних. Для забезпечення високої пропускної здатності всіх користувачів БПЛА, будемо використовувати діапазон більш високих частот (FR) з максимальною пропускною здатністю для тракту приймача. Тому розповсюдження потоку даних охопить навіть зону, яку неможливо було досягти частотними сигналами від gNB. Крім того, БПЛА з антеною 5G будуть транслювати мм-хвилі в усіх напрямках одночасно, використовувати 3D-формування променя, що запобігає перешкодам.

Формування 3D-променя з масивним MIMO, що має збільшити пропускну здатність, залежить від ефективності використання спектру. Безпілотники забезпечуватимуть зону покриття як основні технології для контролю трафіку, мобільності та управління даними, відповідно до [17].

На рис. 3 зображено діапазон частот, які можна використовувати для БПЛА:

- діапазон 1: 410 МГц–7,125 ГГц;
- діапазон 2: 24,25 ГГц–52,6 ГГц;
- поляризація  $+90^\circ$ ,  $-90^\circ$ ;
- діапазон горизонтального сканування формування променя  $-60^\circ$  до  $60^\circ$ ;
- вертикальний діапазон сканування променів  $-15^\circ$  до  $15^\circ$ ;
- антенна решітка 12 (горизонтальна) і 8 (вертикальна).

У цьому проекті радіокадр використовує високочастотний діапазон з мм-хвилями, що збільшує пропускну здатність і розподіл радіоресурсів для кожної перенесеної інформації в сигналі. Радіокадр буде передаватися в відображенні CQI за допомогою OFDMA+CP [18] багатокористувацькою антеною MIMO, весь діапазон частот заснований специфікацією 3Gpp [19].

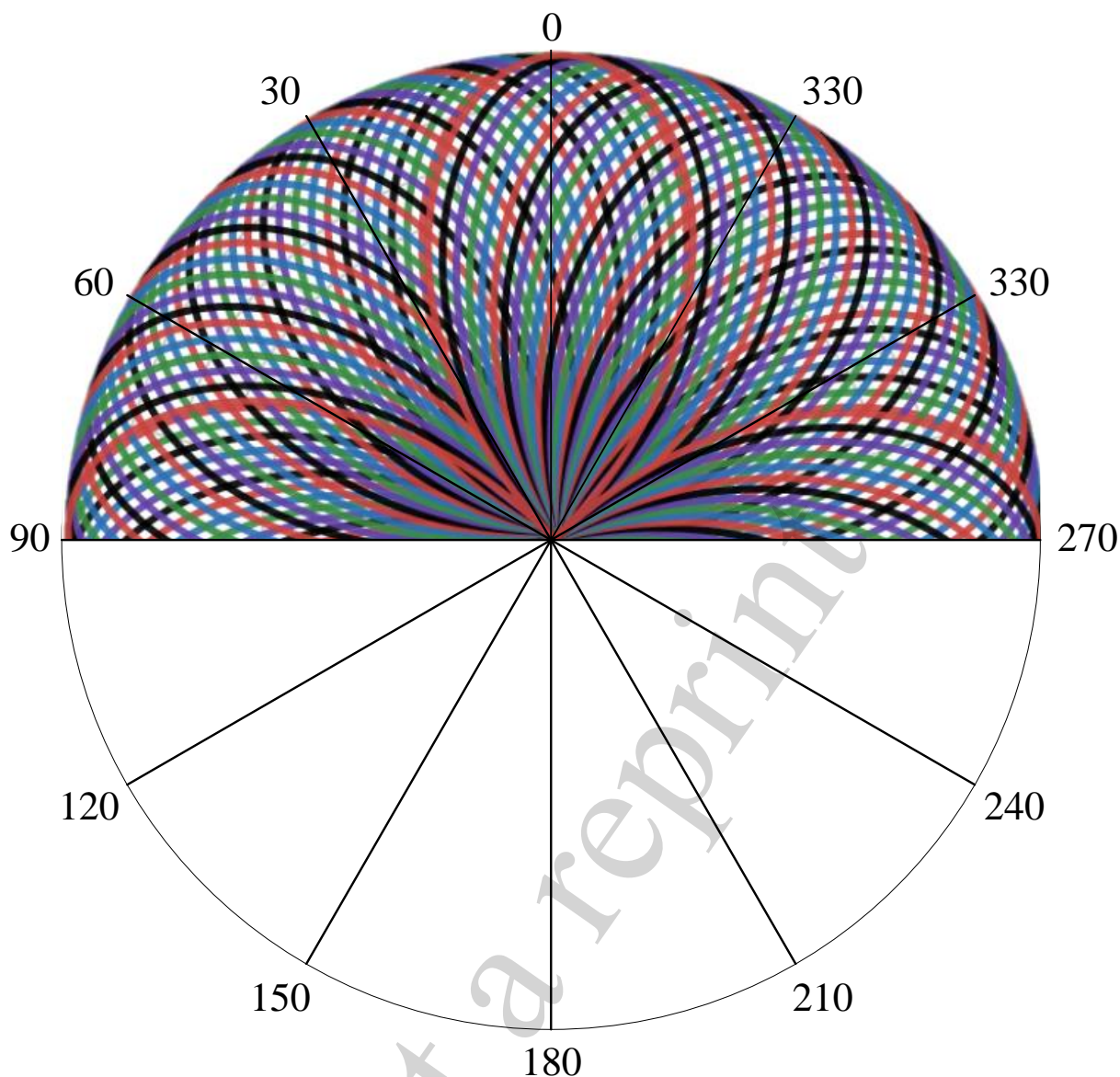


Рис. 3. Діапазон частот з поляризацією  $+90^\circ$ ,  $-90^\circ$ . для антенної фазованої решітки безпілотного літального апарату

#### 5. 4. Розширення зони покриття за допомогою безпілотних літальних апаратів

Здатність енергії виконувати повторну передачу даних на великих площах за межами покриття мережі є важливою для аналізу характеристик мобільних стільникових мереж і провайдерів. Потрібні моделі 3D-каналів, масивні діаграми антени МІМО та 3D-формування променя в 5G. При цьому використання вимірювань БПЛА відкриває нові можливості для більш ефективних мереж, особливо зараз, коли БПЛА стають все більш доступними та комерціалізованими. Наразі дослідники, які використовують БПЛА для збільшення покриття мобільної мережі, покладаються на ручне керування безпілотниками та потоком даних. Безпілотники допоможуть підвищити пропускну здатність, збільшити кутовий діапазон і фазу сигналізації за допомогою фазованої решітки.

На рис. 4 представлено алгоритм способу управління рухом БПЛА.

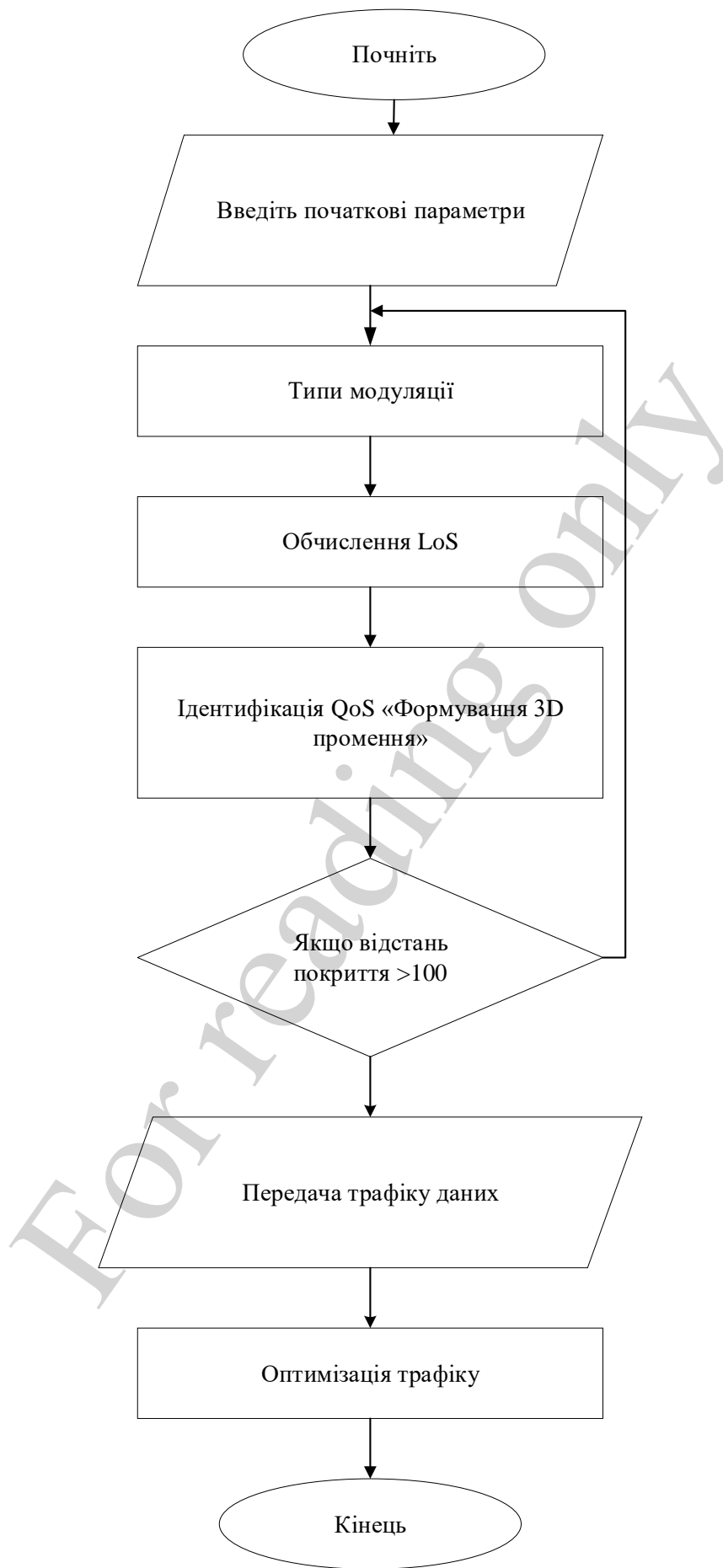


Рис. 4. Алгоритм способу управління рухом БПЛА



Представлений на рис. 4 алгоритм покладено в основу методу управління рухом БПЛА:

1) ввести початковий параметр – загальна кількість UE в мережах БПЛА;

2) обрати тип модуляції:

– обчислити номери субкадрів під час передачі даних про трафік одного субкадра. У технології NR-5G кількість субкадрів залежить від блоків ресурсів у часових/частотних слотах: 69, 138, 275 тощо;

– вибрати тип масивного MIMO для підвищення енергоефективності та спектральної ефективності, який може забезпечити пропускну здатність мереж БПЛА;

3) обчислення LoS: поширення LoS використовується для визначення кореляції каналів між мережами БПЛА та обладнанням користувача для отримання високого трафіку, що покращує продуктивність QoS;

4) QoS ідентифікації «3D Beamforming»: 3D Beamforming: Використання 3D beamforming з масивним MIMO та mm Wave-UAV. Використовуючи решітки антен у вищій FR 5G, трансивери можуть виконувати гнучкий напрямок променя, щоб компенсувати сигнали LoS для більшого поширення та компенсувати перешкоди, поширені в мережах БПЛА;

5) якщо відстань покриття перевищує 100 м, модуляція буде змінена на інший тип модуляції, наприклад, з 4×4 MIMO на 2×2 MIMO, і/або блоки ресурсів для символів OFDM будуть зменшені для покращення контролера трафіку даних. Інше буде продовжено до наступного кроку;

6) трафік даних передачі: залежить від необхідної пропускну здатності між БПЛА та UE;

7) контролер трафіку оптимізації: покращує швидкість кодування при використанні кодування для кожного сигналу UE та бітового навантаження від символів БПЛА. Тоді кількість UE від трафіку даних БПЛА може покращитися для кожного субкадра з відокремленим частотним спектром.

Визначення положення БПЛА за допомогою алгоритму розподілу дозволяє постійно передавати напрям антени в бік БПЛА та утримувати її в найкращому положенні основного променя gNB і таким чином підтримувати зв'язок із високим посиленням.

Можна сказати, що якість трансивера забезпечує найкращі шанси БПЛА надсилати/приймати сигнали постійно. Оскільки управління трафіком даних і потужність у системах сумісності зростає разом із збільшенням даних, то потужність трафіку можна знайти з рівняння Фріса (1)

$$P_R = \frac{P_T G_T G_R \lambda^2}{(4\pi R)^2}, \quad (1)$$

де  $P_R$  – отримана потужність,  $P_T$  – потужність передавача на БПЛА,  $G_T$  і  $G_R$  – посилення передавальної антени на БПЛА та приймальної антени на gNB,

$\lambda$  – довжина хвилі,  $R$  – відстань між БПЛА та gNB в метрах.

Для розрахунку вільного простору використовується (2).

$$PL_{free\ space}=(4\pi Rf)^2/c, \quad (2)$$

$PL_{free\ space}$  – лінія електропередачі для вільного простору втрат,  $f$  – несуча частота в ГГц,  $c=299792458$  м/с – швидкість світла. У децибелах (3):

$$PL_{free\ space, dB}=32.45+20\log_{10}(f)+20\log_{10}(R). \quad (3)$$

Розрахувати максимальну дальність між БПЛА та gNB за рівнянням:

$$R_{max} = \sqrt{\frac{P_T G_T G_R \lambda^2}{(4\pi)^2 K_B T_s B_W}}, \quad (4)$$

$K_B$  – постійна Больцмана,  $T_s$  – температура системи та  $B$  – пропускна здатність приймача.

Видно, що розташування БПЛА необмежене за діапазоном частот, який пов'язаний зі швидкістю з'єднання БПЛА через швидкість повернення БПЛА в найкраще положення після перерви бездротового зв'язку з gNB.

Сигнал, надісланий на опорний канал, можна записати так:

$$S_{ref}=|S|e^{j\phi_{ref}}, \quad (5)$$

де  $|S|$  – амплітуда прийнятого сигналу, і  $\phi_{ref}$  – фаза прийнятого сигналу по опорному каналу.

Щоб розрахувати відстань між БПЛА та UE для NB-IoT, потрібно знати терміни Advance ( $T_A$ ), де індексується  $T_A$  (0, 1, 2 ... 1282) сек., які є зміщенням часу для тракту приймача радіокadrів  $N_{TA} \times 0001$  і для кожного інтервалу часу використана (6):

$$N_{TA}=16 T_A T_{slot}, \quad (6)$$

де  $T_{slot}=1/(2048 \cdot 15000)=1/30720000$  сек.

Тоді максимальна відстань розповсюдження в метрах тривимірного променю ( $d$ ) буде:

$$d=(3 \cdot 10^8 N_{TA})/2, \quad (7)$$

Розрахувати максимальну пропускну здатність мережі 5G у V2X [20]. Приблизну швидкість передачі даних БПЛА в 5G можна розрахувати за формулою:

$$Throughput(Mbps)_{UAV} = 10^{-6} \sum_{j=1}^J \left[ v_{layers}^j Q_m^j f^j R_{max} \frac{12 N_{PRX}^{BW(j),\mu}}{T_s^\mu} (1 - OH^j) \right], \quad (8)$$

Приклад для проекту:

–  $J$  – кількість агрегованих компонентних носіїв,  $J=1$ ;

–  $\times 0001_{-v_{layers}^j}$  – максимальна кількість шарів MIMO,  $\times 0001_{-v_{layers}^j} = 8$ ;

–  $Q_m^j$  – порядок модуляції,  $Q_m^j = 8$ , тип модуляції буде 256 QAM для тракту

приймача;

$f^j$  – коефіцієнт масштабування=1;

$R_{max}$  – для коду LDPC максимальна кількість становить 948/1024=0,92578125;

$BW(j)$  – смуга пропускання в МГц,  $BW$ : 50 MHz для FR1;

$\mu$  – відстань між несучими,  $\mu$ : 30 kHz;

$T_s^\mu = (10^{-3}) / (14 * 2^\mu)$  – середня тривалість символу OFDM в субкадрі для значення  $\mu(j)$ ;

$OH^j$  – накладні витрати для каналів управління,  $OH^j=0,14$ .

В результаті, зверху, максимальний результат пропускної здатності V2X буде для низхідного каналу 15614 Мбіт/с і висхідного каналу 4176 Мбіт/с, якщо використовується TDD, а для FDD буде низхідний канал 18216 Мбіт/с, а для висхідного каналу – 19488 Мбіт/с.

Інший приклад: якщо використовується  $BW$ : 400 МГц FR2,  $\mu$ : 120 кГц, то для низхідної лінії 118208 Мбіт/с і висхідної 32436 Мбіт/с, якщо використовується TDD, а для FDD буде низхідна лінія 137910 Мбіт/с, а для висхідної 151364 Мбіт/с.

Також можна розрахувати спектральну ефективність для БПЛА з прикладів результатів за (9):

$$\text{spectral efficiency}_{UAV} = \frac{\text{Throughput (Mbps)}}{Bw} \quad (9)$$

Спектральна ефективність є важливим фактором для радіостанцій 5G-NR, яка використовується для визначення того, скільки інформації вписується в заданий канал полоси пропускання для БПЛА. Це показує, наскільки ефективно спектр використовується для передачі інформації та забезпечує корисну пропускну здатність у діапазоні частот.

## 6. Обговорення результатів дослідження

Переваги запропонованих рішень забезпечуються завдяки ретрансляції та оптимізації радіопланування для безпілотних літальних апаратів. На відміну від існуючих рішень це досягається за рахунок динамічного підключення за допомогою модуляції MU-MIMO (рис. 2). БПЛА працюватиме як ретранслятор gNB, щоб покращити низьку затримку за допомогою 3D-формування променя та MU-MIMO з LoS серед V2X.

Для забезпечення високої пропускної здатності всіх користувачів БПЛА, використовується діапазон більш високих частот (FR) з максимальною пропускну здатністю для тракту приймача (рис. 3). Тому, на відміну від існуючих

методів, розповсюдження потоку даних охопить навіть зону, яку неможливо було досягти частотними сигналами від gNB. Розрахунки максимальної дальності між БПЛА та gNB та максимальної пропускної здатності мережі 5G у V2X проводяться за формулами (4) та (8) відповідно.

Проведене математичне моделювання дозволяє стверджувати, що експертні очікування від впровадження запропонованого методу управління рухом БПЛА дозволить покращити пропускну здатність на 15 %. Але запропоновані рішення необхідно буде перевірити експериментально, тому обмеження цього дослідження полягають в необхідності мати БПЛА та необхідне обладнання для проведення такого експерименту.

Загалом кінцевим рішенням було надійне поєднання технологій 5G та IoT для управління трафіком БПЛА за допомогою використання gNB-IoT в 5G, яке повністю задовольняє потреби важкодоступних зон у покритті та виступає як життєво важлива ланка в ефективному управлінні даними потоків трафіку.

БПЛА на основі технології 5G та широкосмугової стільникової мережі є сучасними рішеннями для покращення управління трафіком даних покриття в поєднанні з додатками IoT. Такі додатки використовуються для багатьох типів датчиків IoT та зони покриття UE і можуть значно знизити витрати gNB, підвищуючи ефективність управління трафіком на пересіченій місцевості. Безпілотники з підтримкою IoT знаходяться в авангарді цієї захоплюючої нової технологічної ери.

## 7. Висновок

1. Запропоновано застосування мобільного ретранслятора БПЛА під час управління трафіком за допомогою використання радіоресурсів (RR), інфраструктури мережі радіо-доступу (RAN) із засобами трансляції та динамічного підключення за допомогою модуляції MU-MIMO.

2. Після реалізації процедури підключення дрону до провідної базової мережі від провайдера стає можливим відновлювання радіочастотного сигналу і транслявання його в іншу зону покриття, де цей абонент не має покриття мережі, аналізуючи відображення індикатора якості каналу (CQI) як функції QoS.

3. Для покращення управління трафіком БПЛА запропоновано використовувати розширення спектру в режимі реального часу для забезпечення високої пропускної здатності всіх користувачів БПЛА. Експертні очікування відносно покращення пропускної здатності – на рівні на 15 %.

4. Запропоновано спосіб управління рухом БПЛА за допомогою алгоритму розподілу, щоб постійно передавати напрям антени в найкращому положенні основного променя gNB в бік БПЛА і таким чином підтримувати зв'язок із високим посиленням. Це продиктовано необхідністю забезпечення високої швидкості з'єднання БПЛА з базовою станцією та повернення БПЛА в найкраще положення після перерви бездротового зв'язку з gNB.

## Література

1. Al-Sharif, T., Alanssari, A. I., Al-Sharif, M. T., Raheem Ali, I. (2020). Theoretical physics to improve radio frequency in 5 generation. IOP Conference Se-

ries: Materials Science and Engineering, 870, 012021. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/870/1/012021>

2. Al-Zayadi, H., Lavriv, O., Klymash, M., Mushtaq, A.-S. (2014). Increase throughput by expectation channel quality indicator. 2014 First International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology. doi: <https://doi.org/10.1109/infocommst.2014.6992322>

3. Ageyev, D., Qasim, N. (2015). LTE EPS network with self-similar traffic modeling for performance analysis. 2015 Second International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology (PIC S&T). doi: <https://doi.org/10.1109/infocommst.2015.7357335>

4. Yun, D.-W., Lee, W.-C. (2021). Intelligent Dynamic Spectrum Resource Management Based on Sensing Data in Space-Time and Frequency Domain. *Sensors*, 21 (16), 5261. doi: <https://doi.org/10.3390/s21165261>

5. Dangana, M., Ansari, S., Abbasi, Q. H., Hussain, S., Imran, M. A. (2021). Suitability of NB-IoT for Indoor Industrial Environment: A Survey and Insights. *Sensors*, 21 (16), 5284. doi: <https://doi.org/10.3390/s21165284>

6. Mignardi, S., Marini, R., Verdone, R., Buratti, C. (2021). On the Performance of a UAV-Aided Wireless Network Based on NB-IoT. *Drones*, 5 (3), 94. doi: <https://doi.org/10.3390/drones5030094>

7. Technical White Paper. Private Networks Vol. 1. Transforming Private Networks with Samsung 5G. Samsung. URL: <https://images.samsung.com/is/content/samsung/assets/global/business/networks/insights/white-papers/1001-private-networks-vol-1-transforming-private-networks-with-samsung-5g/1001-private-networks-vol-1-transforming-private-networks-with-samsung-5g.pdf>

8. Shaleesh, I., Almohammed, A., Mohammad, N., Ahmad, A., Shepelev, V. (2021). Cooperation and radio silence strategy in Mix Zone to Protect Location Privacy of Vehicle in VANET. *Tikrit Journal of Engineering Sciences*, 28 (1), 31–39. doi: <https://doi.org/10.25130/tjes.28.1.04>

9. Lienkov, S., Zhyrov, G., Sieliukov, O., Tolok, I., Talib, A.-S. M., Pampukha, I. (2019). Calculation of Reliability Indicators of Unmanned Aerial Vehicle Class “ $\mu$ ” taking into account Operating Conditions at the Design Stage. 2019 IEEE 5th International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD). doi: <https://doi.org/10.1109/apuavd47061.2019.8943876>

10. Khlaponin, Y. I., Zhyrov, G. B. (2016). Analysis and monitoring of telecommunication networks based on intelligent technologies. *CEUR Workshop Proceedings*. Vol. 1813. 16th International Scientific and Practical Conference "Information Technologies and Security". Kyiv, 32–39. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-1813/paper5.pdf>

11. Using Mobile Networks to Coordinate Unmanned Aircraft Traffic (2018). GSMA. URL: <https://www.gsma.com/iot/wp-content/uploads/2018/11/Mobile-Networks-enabling-UTM-v5NG.pdf>

12. Bashar, B. S., Ismail, M. M., Talib, A.-S. M. (2020). Optimize Cellular Network Performance Using Phased Arrays. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 870 (1), 012128. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/870/1/012128>

13. 5G; NR; User Equipment (UE) radio transmission and reception; Part 1: Range 1 Standalone. (3GPP TS 38.101-1 version 15.2.0 Release 15). ETSI. URL: [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/138100\\_138199/13810101/15.02.00\\_60/ts\\_138101v150200p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/138100_138199/13810101/15.02.00_60/ts_138101v150200p.pdf)
14. Huang, Y., Wu, Q., Lu, R., Peng, X., Zhang, R. (2021). Massive MIMO for Cellular-Connected UAV: Challenges and Promising Solutions. *IEEE Communications Magazine*, 59 (2), 84–90. doi: <https://doi.org/10.1109/mcom.001.2000552>
15. 5G; Vehicle-to-Everything (V2X) services in 5G System (5GS); Stage 3 (3GPP TS 24.587 version 16.2.1 Release 16), V16.2.1 (2020-10). ETSI. URL: [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/124500\\_124599/124587/16.02.01\\_60/ts\\_124587v160201p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/124500_124599/124587/16.02.01_60/ts_124587v160201p.pdf)
16. Lien, S.-Y., Deng, D.-J., Lin, C.-C., Tsai, H.-L., Chen, T., Guo, C., Cheng, S.-M. (2020). 3GPP NR Sidelink Transmissions Toward 5G V2X. *IEEE Access*, 8, 35368–35382. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2020.2973706>
17. 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Uncrewed Aerial System (UAS) support in 3GPP; Stage 1; Release 17. 3GPP TS 22.125 V17.4.0 (2021-12).
18. Haider, A.-Z., Mushtaq, A.-S., Talib, A.-S. (2014). SNR effect on CQI applying multiple antennas in closed loop spatial multiplexing mode in LTE technologies. *Scientific Notes of the State University of Telecommunications*, 6, 92–97. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nzundiz\\_2014\\_6\\_16](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nzundiz_2014_6_16)
19. 5G; 5GS; User Equipment (UE) conformance specification; Part 1: Common test environment (3GPP TS 38.508-1 version 15.4.0 Release 15). V15.4.0 (2019-07). ETSI. URL: [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/138500\\_138599/13850801/15.04.00\\_60/ts\\_13850801v150400p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/138500_138599/13850801/15.04.00_60/ts_13850801v150400p.pdf)
20. 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; NR; User Equipment (UE) radio access capabilities (Release 16). 3GPP TS 38.306 V16.7.0 (2021-12).