

## Конвергенція систем LMR і LTE

Системи мобільного радіозв'язку (сухопутного рухомого радіозв'язку, Land Mobile Radio – LMR, іноді використовують термін PMR) протягом багатьох десятиліть використовуються силами громадської безпеки. Технічні досягнення перетворили звичайні конвенційні аналогові системи радіозв'язку у сучасні цифрові захищені транкінгові багатосайтові системи радіозв'язку. Необхідність доступу до баз даних, передачі мультимедійної інформації (фото, відео та ін.) потребує високошвидкісних каналів радіозв'язку.

Однак до цього часу ні одна з існуючих систем LMR не в змозі забезпечити достатню швидкість передачі даних. З появою високошвидкісних систем передачі даних по радіо, таких як, у першу чергу, 4G – LTE\* (а у ряді випадків достатньо можливостей 3G та Wi-Fi) виникло бажання об'єднати можливості систем LMR та LTE.

\* [LTE = Long-Term Evolution, стандарт для бездротового зв'язку високошвидкісної передачі даних для мобільних телефонів і терміналів передачі даних.]

На даний час існують спроби вирішити питання об'єднання цих систем, створивши:

1. **Гібридні LMR та LTE системи.** У даному випадку функціонують дві незалежні системи безпроводового зв'язку, які мають різні центри управління, різні системи захисту інформації, різні зони обслуговування.
2. **Інтегровані LMR та LTE системи.** У таких інтегрованих системах підсистема радіозв'язку та підсистема LTE мають єдиний центр управління, базу даних абонентів. Взаємодія абонентів двох систем (радіостанцій та смартфонів зі встановленим програмним забезпеченням радіозв'язку) здійснюється як у єдиній системі. У такій «інтегрованій системі» забезпечується радіозв'язок між абонентами обох підсистем у режимі «Push-to-Talk» (PTT), груповий виклик між абонентами різних підсистем, а у разі застосування шифрування у *найбільш досконалих системах і скрізне шифрування «end-to-end», дистанційна заміна ключів шифрування та дистанційне перепрограмування (функції OTAR та OTAP) у абонентів обох підсистем.*
3. Повнофункціональні **професійні LTE** системи. У такій системі усі функції, що притаманні системам LMR, реалізовані у системі LTE.

Слід зазначити, що системи LMR створюються, як правило, відомчими (або міжвідомчими), системи ж LTE будуються як загального користування, так і як відомчі (міжвідомчі, державні, федеральні та ін.).

Про актуальність проблеми конвергенції систем LMR та LTE свідчать матеріали та зразки техніки, що були продемонстровані на останніх виставках, які присвячені, у тому числі, безпроводним комунікаціям (щорічна виставка The International Wireless Communications Expo - IWCE у Лас-Вегасі з 21 по 25 березня 2016 року) [1] та виставка Critical

Communications World (CCW) 2016, яка проходила в Амстердамі з 31 травня по 2 червня 2016 року [2]).

На даний час найбільший прогрес у питанні конвергенції систем LMR та LTE досягнуто у США. У зв'язку з використанням у США на федеральному рівні цифрової захищеної системи радіозв'язку стандарту APCO P25, практично усі відомі на даний час конвергентні системи створені на базі систем P25 та LTE.

### **Гібридні системи**

У 2011 році у в штат Техас (США) була введена в експлуатацію перша 4G LTE мережа зв'язку сил громадської безпеки [3]. Цей штат був єдиним у США, в якому мережа LTE функціонувала спільно з великою мережею сухопутного рухомого радіозв'язку (LMR) стандарту APCO P25 (P25), яка обслуговувала більше 230 агентств та близько 80 000 портативних радіостанцій.

Керівництво штату прийняло рішення про створення мережі LTE, тому що посадові особи були впевнені, що об'єднання LMR та LTE буде сприяти суттєвому покращенню ситуаційної інформованості для своїх груп швидкого реагування. Вони вважали, що у результаті підвищиться безпека для тих, котрі проживають у громадах, які вони обслуговують.

У березні 2014 року регіональна системи зв'язку інтероперабельності Лос-Анджелесу (LA-RICS) оголосила, що вона буде розробляти нову власну бездротову мережу безпеки широкосмугового зв'язку на основі системи загального користування (PSBN) стандарту LTE компанії Harris. Система LTE забезпечить критично важливі передачі даних більш ніж 34 000 співробітників правоохоронних органів, пожежної служби та працівників охорони здоров'я, які працюють в 80 регіональних державних органах безпеки. Первинне фінансування створення системи забезпечиться за рахунок можливостей програми розвитку широкосмугових технологій ВТОР (The Broadband Technology Opportunities Program), за яку відповідає Національна адміністрація телекомунікацій і інформації (NTIA). Система, згідно з прогнозами, в кінцевому рахунку, включатиме близько 231 сайтів і охоплюватиме понад 4000 квадратних миль з населенням близько 10 мільйонів чоловік. Ця система, як очікується, буде розгорнута протягом найближчих п'яти років.

Для доступу до гібридних систем використовуються, як правило, різні абонентські пристрої для різних систем – LMR та LTE, хоча існують і приклади двостандартних багатодіапазонних пристроїв. Приклади таких гібридних **P25-LTE** пристроїв наведені на фото:



Motorola APX 7000L



Harris XL-200P

У березні 2014 року компанія Motorola анонсувала власну першу портативну радіостанцію, у якій об'єднані функції LMR з можливостями LTE. APX 7000L є багатосмуговою P25 портативною радіостанцією з модулем LTE, який дозволяє здійснювати передачу і прийом широкосмугових даних - перший портативний пристрій для сил громадської безпеки, що забезпечує приєднання до мережі LTE та мережі LMR. Але для роботи з фото та відео інформацією потрібний додатковий монітор.

Інший приклад комбінованого пристрою - радіостанція фірми Harris XL-200P [10]. Крім багатосмугової роботи у цифровому стандарті APCO P25 забезпечує й широкосмуговий доступ з допомогою стандартного Wi-Fi та опціонально з додатковим модемом доступу до мережі LTE. При цьому системи радіозв'язку та широкосмугового доступу незалежні, а для використання фото та відеофайлів також потрібний додатковий монітор.

Компанія Hytera на виставці у Амстердамі [2] продемонструвала гібридну **DMR-LTE** радіостанцію, яку планує пропонувати користувачам вже наступного року.



Від комбінованих абонентських пристроїв вимагають наступне [ 4 ]:

- Багатосмуговість і багатоканальність для підвищення рівня оперативної сумісності.
- Забезпечення оперативного радіозв'язку і передачі даних в одному пристрої.
- Наявність кнопки РТТ, яка дозволяє користувачам LMR груповий радіозв'язок із включенням у групу абонентів, які можуть перебувати за межами зони покриття LMR, які використовують смартфони та інші пристрої широкосмугового доступу та LTE.
- Технологія Bluetooth®, що дозволяє підключення до радіостанцій LMR широкого спектру бездротових пристроїв, в тому числі LTE пристроїв.
- Підключення Wi-Fi для доступу до 3G, 4G і широкосмугових мереж.
- Можливості моніторингу фізіологічного стану абонента для випадків, починаючи від підготовки спецпідрозділів, застосування зброї та екстрених ситуацій.

## Інтегровані системи

Одним із прикладів створення інтегрованої системи **P25 – LTE** є розробка фірми Tait по технології Secure Chat Enterprise по угоді SLA (ESChat) [ 5 ].

Рішення Tait UnifyVoice забезпечує плавний перехід між стільниковою мережею і LMR мережею радіозв'язку. Також забезпечується відстеження місця розташування абонента, груповий виклик і обмін повідомленнями і зображеннями для зв'язку в реальному часі.

ESChat SDK має компоненти, які дозволяють клієнтам встановлювати додатки для використання РТТ мережі для Android і ОС IOS смартфонів і планшетів, а також консолей та інших мережевих компонентів.

UnifyVoice забезпечують службам надзвичайних ситуацій та екстреним службам елегантне рішення, яке здійснює взаємодію з найкращою наявною мережею для забезпечення критично важливих комунікацій. Software Development Kit ESChat (SDK) дозволяє розробникам інтегрувати надійний зв'язок стільникового зв'язку РТТ в нових та існуючих продуктах. Служба ESChat в даний час використовується у сфері освіти, будівництва, комунальних послуг, готельних послуг, а також американськими військовими і службою 911 по всій Північній Америці, в тому числі федеральними, державними та місцевими правоохоронними органами.

На фото зображені радіостанція та смартфон зі встановленим програмним забезпеченням РТТ компанії Tait.



Tait пропонує перший комерційний випуск UnifyVoice, який орієнтований на користувачів смарт-пристроїв, з другої половини 2015 року. Абоненти матимуть можливість придбати власного клієнта (програмне забезпечення для встановлення на власному портативному пристрої та сервері, підключеному до мережі LTE), або оформити підписку на користування хмарної служби. Tait продемонстрував повністю інтегровану версію UnifyVoice для випробовування на виставці IWCE в 2016 році [1].

Використання смартфонів дозволяє, крім розмов, дуже високошвидкісну передачу даних та використання відповідних додатків, що ще кілька років тому було неможливо [7]. Удосконалена технологія передачі даних є однією з основних рушійних сил, які роблять LTE привабливим для громадської безпеки.

У той час як LMR традиційно вимагає використання конкретного обладнання користувача (радіостанції визначеного типу), LTE дозволяє використовувати смартфон, який має розмір портативного пристрою, в якості заміни звичайно більшого і набагато важчого LMR абонентського обладнання. Заради справедливості слід зазначити, що більшість виробників LMR-P25 старанно працювали, намагаючись зменшити розмір свого призначеного для користувача устаткування, а також додавали нові функції, такі як GPS і передачі даних у деяких порівняно невеликих форм-факторах. Проте, технологія обмежує ці зміни.

Хоча існує й інша сторона. Причиною більших масогабаритних показників пристроїв LMR є більша потужність передавача 3-5 Вт в порівнянні з потужністю LTE пристроїв приблизно 1 ват. Нижча потужність передавачів пристроїв LTR призводить до набагато вищої щільності радіосайтів і потенційно більш високих витрат на інфраструктуру.

Перевагою портативного обладнання меншого розміру є можливість маскування, збільшений термін служби батареї, а також численні можливості використання широкосмугових сигналів.

Крім компанії Tait інтегровані системи P25-LTE пропонують такі компанії, як Motorola, Harris та ін. Однак у більшості випадків **інтеграція** систем P25 і LTE здійснюється **з допомогою шлюзів**, що значно обмежує функціональні можливості таких систем (наприклад, не забезпечується скрізьне шифрування «end-to-end» та дистанційна заміна ключів шифрування (функція OTAR) у абонентів обох підсистем).

Існують інтегровані системи P25-LTE, у яких міжсистемні шлюзи не застосовуються та зберігається повна функціональність систем. Прикладом такої інтегрованої системи є **інтегрована система компанії Etherstack** [11], яка забезпечує взаємодію абонентів вузькосмугових систем радіозв'язку різних виробників з абонентами мережі 4G також різних виробників, та складається з кількох елементів, розміщених (переважно) в межах LTE Evolved Packet Core.

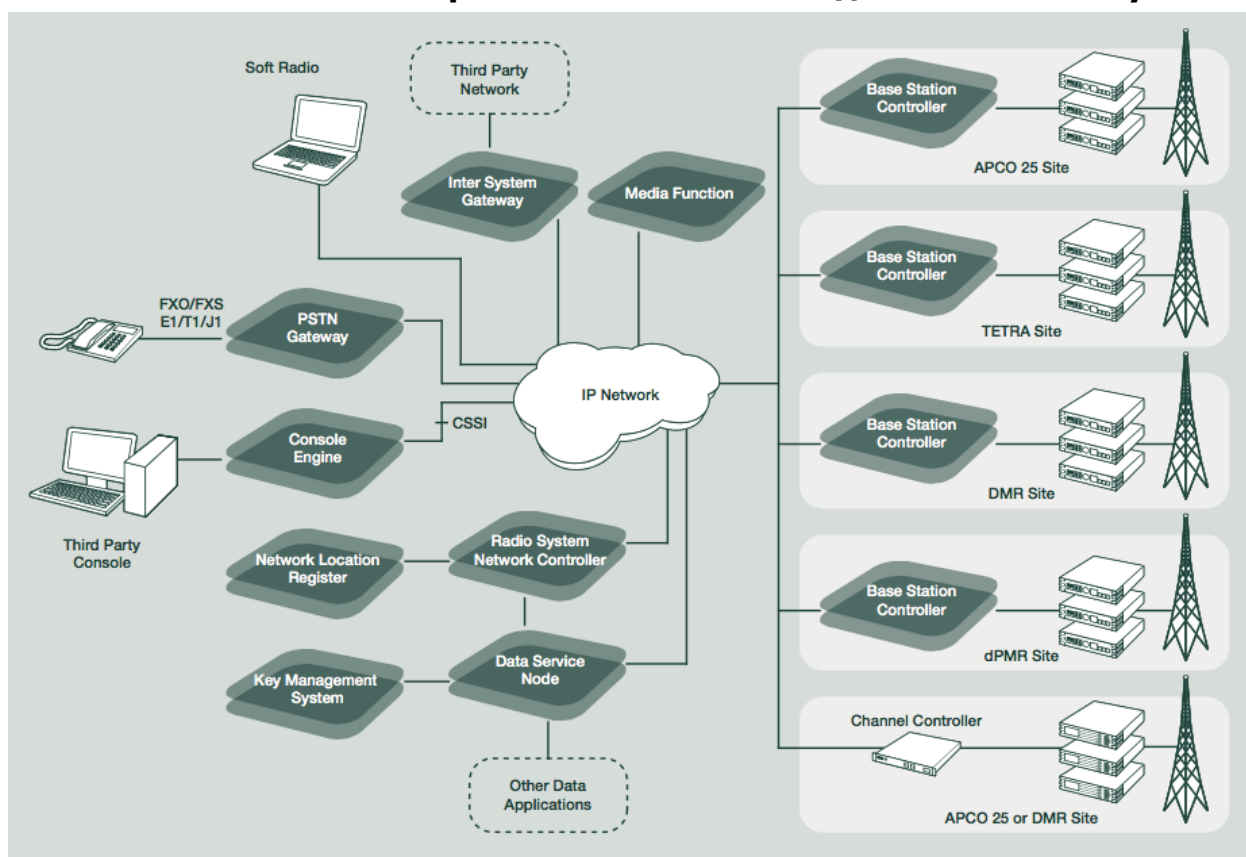
Рішення Etherstack PMR-LTE складається з ряду елементів мережі, які розміщуються (переважно) в межах активної зони LTE Evolved Packet Core (EPC). Центральним елементом мережі PMR-LTE Etherstack є Softswitch високої доступності, який відповідає за управління викликами і послугами в рамках загального рішення PTT-over-Cellular в мережі LTE, а також управляє інтерфейсами для мережевих рішень сторонніх виробників, таких як мережі P25, TETRA, DMR і MPT1327.

Спеціально розроблений для критично важливих мереж радіозв'язку Softswitch мережі PMR-LTE має високу доступність, усі елементи мережі підключені по IP SIP і RTP. Softswitch підтримує багатий набір функціональних можливостей і додаткових послуг, забезпечує безпеку мережі PMR, підтримує усі типи викликів, включаючи групові

виклики, швидке з'єднання, екстрені виклики та зашифровані послуги голосового зв'язку. Рішення підтримує резервування з допомогою географічно віддалених серверів (режим аварійного відновлення) і підтримку підключення багатьох PMR-LTE комутаторів, які можуть бути розгорнуті в рамках EPS для забезпечення регіональної маршрутизації голосового трафіку (зниження транзитного трафіку) або більше розділення послуг трафіку.

Крім Softswitch PMR-LTE, за бажанням можуть використовуватися ще п'ять інших елементів на основі IP-мережі: сервіс передачі даних DSN (Service Data Node SGSN / GGSN); локальний сервіс центр LSC (Location Services Centre); шлюз до телефонних мереж PSTNG (PSTN Шлюз); система управління ключами шифрування - the KMF (Key Management Facility); і локальна консоль оператора LOC (Local Operations Console).

### Елементи мережі Etherstack наведено на малюнку



KMF управляє дистанційною зміною ключів - OTAR (Over-The-Air-Rekeying) у сеансах між радіостанціями PMR та клієнтськими телефонами LTE, і виконує функції диспетчера ключів у мережі. KMF Etherstack може бути використаний для одночасної зміни ключів як у радіостанціях PMR, так і телефонах з встановленим клієнтом LTE. У мережі можуть бути розгорнуті один або кілька KMF.

PSTN і ATC Шлюз Etherstack забезпечує підтримку кількох варіантів PSTN інтерфейсів, включаючи 2W DTMF, ISDN і інтерфейси на основі IP-телефонії. В мережі можуть бути розгорнуті кілька шлюзів PSTNG. Може підтримуватися скрізьне шифрування між клієнтами PSTNG і Android, або



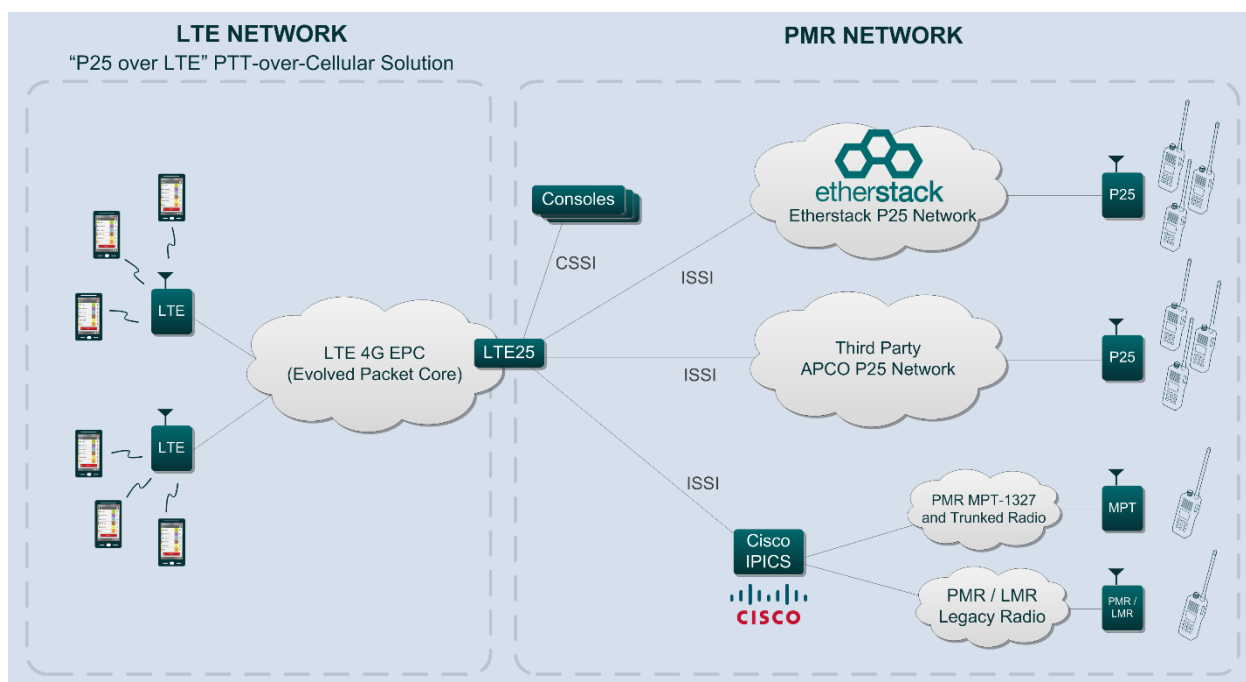
може використовуватися і відкритий аудіозв'язок для підключення до АТС (PSTN / PABX).

Локальна консоль (LOC) Etherstack забезпечує керівництву функції управління командою в рамках корпоративної мережі клієнта. На відміну від більш великого центру управління мережею (NOC) на основі консолі від таких виробників, як Zetron і Intergraph, забезпечує рішення, засноване на комплексному відображенні інформації на робочому столі - AVL/GPS і відправки виклику за назвою абонента або його місцезнаходженням на карті. LOC для відображення місцезнаходження членів команди всередині мережі LOC може бачити як користувачів LTE, так і користувачів PMR одночасно і встановлювати виклики до окремих осіб або груп користувачів одним натисканням.

Кожен з цих елементів мережі має високий рівень доступності, що забезпечується активним резервуванням серверів (локальний гарячий резерв та територіально віддалений резерв). Завдяки архітектурі Etherstack ці елементи мережі можуть розміщуватися у різних місцях та у різних установах споживачів (наприклад, міська поліція Лондона, служба пожежної безпеки Лондона) в "міжвідомчому" ("multi-agency") виконанні.

Існує безліч рішень щодо розміщення елементів мережі PMR-LTE на надання різних функцій (повноважень) конкретним відомствам. Наприклад, відділ поліції або відділ пожежної охорони можуть мати свій власний виділений PMR-LTE Softswitch.

## PMR-LTE Схема мережі



### Особливості рішення Etherstack

- забезпечення надійності зв'язку за рахунок багатократного резервування, у тому числі територіально рознесених резервних комплектів
- можливість участі абонента в кількох розмовних групах (talkgroups) та одночасний прийом виклику від цих груп



- групові РТТ виклики в середині мережі LTE
- безпосередній зв'язок з диспетчерським центром
- підтримка пріоритету екстрених викликів
- скрізьне шифрування між терміналами LTE і PMR мережами
- швидке встановлення з'єднання між пристроями LTE і PMR
- сервіс визначення місцезнаходження абонентів через відстеження пристроїв в мережах LTE та PMR як у реальному часі, так і огляд історії місцезнаходження
  - підтримка дистанційної заміни ключів шифрування та дистанційного перепрограмування (функції OTAR та OTAP)
  - підтримка кількох профілів і логінів користувача
  - використання рідних вокодерів LMR (TETRA / P25 / DMR)
  - працює на платформах COTS LTE Android
  - зниження вартості експлуатаційних витрат
  - зашифровані дзвінки на відомчі АТС

У 2015 в Україні проводилось випробування фрагменту інтегрованої мережі P25-3G з використанням обладнання компанії Etherstack. У якості мережі високошвидкісного безпроводового доступу використовувалась єдина діюча на той час в Україні (квітень-травень 2015 року) 3G мережа компанії Intertelecom та мережі Wi-Fi. Натурні випробування повністю підтвердили заявлені можливості системи. Більш детально про натурні випробування можна ознайомитися у компанії «Персональні комунікації» (Гратіс ЛТД), яка їх проводила та опублікувала результати в окремій статті цього номеру журналу.

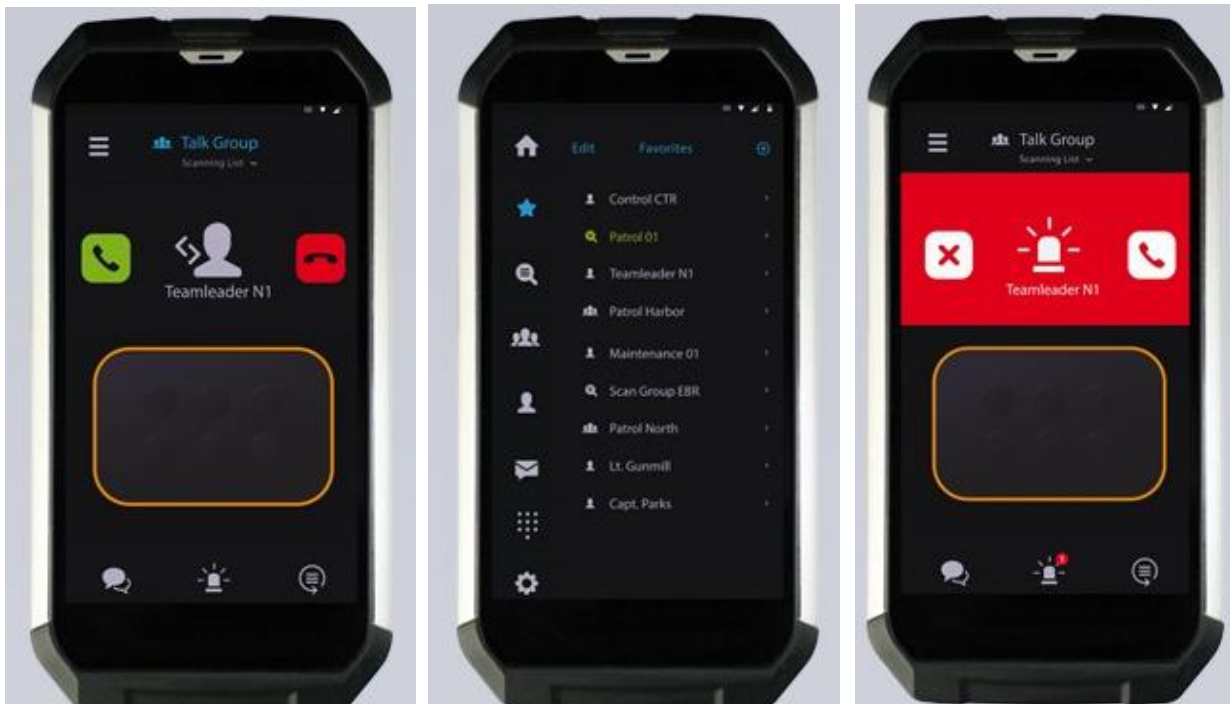
Крім використання інтегрованих **P25-LTE** систем існують розробки інтегрованих **Tetra-LTE** систем. Найбільш відомі роботи у цьому напрямку таких компаній, як Motorola і Hytera.

Наприклад, компанія Motorola розробляє подібну систему на базі обладнання стандарту Tetra [3]. За інформацією, яка опублікована Critical Communications Broadband Group (CCBG), робочій групі Асоціації TETRA + Critical Communications (ТССА) критичні важливі комунікації (оперативний РТТ радіозв'язок) не будуть доступні до 2018 року, а прийнятна якість голосових послуг для критичних комунікацій по технології LTE не очікується принаймні до 2020 року [3].

Компанія Hytera (КНР) пропонує рішення інтегрованої Tetra-LTE системи, у якому об'єднання підсистем здійснюється **з допомогою шлюзів** [6]. На смартфонах Android™ встановлюється додаток – програмне забезпечення РТТconnect.

Додаток РТТconnect підтримує такі сервіси мережі Tetra, як наприклад:

- дзвінки
- групові виклики
- пріоритети
- екстрені виклики.



Це рішення компанії Hytera дозволяє спілкуватися з абонентами далеко за межами дії радіомережі ACCESSNET-T IP TETRA за допомогою відкритих UMTS і LTE™ мереж або навіть Wi-Fi.

### **Професійні системи LTE**

Існують приклади створення єдиних систем «радіозв'язку» та високошвидкісної передачі даних, у яких радіозв'язок забезпечується у високошвидкісних мобільних системах (CDMA, 3G, LTE), наприклад, система широкосмугового мобільного зв'язку по технології McWiLL® (Multi-Carrier Wireless Information Local Loop) компанії Xinwey [8]. У цій системі крім планшетних комп'ютерів та смартфонів у якості радіостанцій використовуються смартфони, які стилізовані під радіостанції (мають зовнішній вигляд радіостанцій) [9].



Транкінговий термінал МТ 158А

Термінал працює у смузі частот 1785-1805 МГц з половою пропускання 1 МГц; має максимальну потужність передавача  $24 \pm 2\text{dBm}$ ; чутливість приймача 105dBm; максимальна швидкість передачі даних 1.6Mbps (двостороння) та екран 1.5 дюйма; розміри: 125.8mm x 50 mm x 34,3 mm (без антени); вага: 276g (включаючи батарею).

Ця система має достатню ємність та забезпечує передачу даних із середньою швидкістю. Але зона обслуговування таких систем обмежена. Крім того, немає інших виробників обладнання такої системи. Та й діапазон робочих частот викликає багато запитань.

Найбільш цікаві рішення **PTT-over-LTE** у діапазонах частот, які передбачені для розгортання систем LTE і мають різноманітність абонентських пристроїв, у тому числі із захистом від фізичного впливу.

### **Розвиток технології LTE для потреб радіозв'язку**

Сервіси та технічні характеристики LTE розробляє асоціація партнерства проекту мереж 3-го покоління (3GPP) [12], яка створена у 1998 році та об'єднує сім організації з питань розвитку телекомунікаційних стандартів (ARIB, ATIS, ККСД, ETSI, TSDSI, TTA, TTC), відомі як «Організаційні партнери» і надає своїм членам можливість швидкого отримання звітів і технічних характеристик, які визначають технології 3GPP.

Проект охоплює технології стільникової телекомунікаційної мережі, в тому числі радіоінтерфейси, транспортні мережі, основні і сервісні

можливості - в тому числі роботи по кодекам, безпеці, якості обслуговування - і, таким чином, забезпечує повні специфікації системи. Специфікації також забезпечують інструменти для доступу без радіозв'язку до базової мережі, а також для взаємодії з мережами Wi-Fi.

Після завершення першої специфікації LTE Evolved Packet Core, 3GPP став координаційним центром для мобільних систем за межами 3G.

Реальний прогрес в розробці стандартів 3GPP вимірюється за розробленими релізами.

Від 3GPP Release 10 і далі - 3GPP LTE-Advanced був схвалений Сектором радіозв'язку МСЕ в якості радіоінтерфейсу МСЕ-R IMT-Advanced Technology. Стандарт LTE на даний час забезпечує пікову швидкість 100 Мбіт/с для високої мобільності і 1 Гбіт/с для низької мобільності зв'язку.

Додаток LTE для телефону буде пропонуватися в трьох конфігураціях наступним чином:

| Тип ліцензії                                     | Базова | Розширена   | Професійна |
|--|--------|-------------|------------|
| Управління та імпорту абонентів                  | ✓      | ✓□          | ✓□         |
| Груповий виклик                                  | ✓□     | ✓□          | ✓□         |
| Індивідуальний виклик                            | ✓□     | ✓□          | ✓□         |
| Текстові повідомлення                            | ✓□     | ✓□          | ✓□         |
| Присутність в мережі                             | ✓□     | ✓□          | ✓□         |
| Карти  |        | ✓□          | ✓□         |
| Інтеграція LDAP*                                 |        | ✓□          | ✓□         |
| Віддалене стирання                               |        | ✓□          | ✓□         |
| Віддалене прослуховування                        |        | ✓□          | ✓□         |
| Шифрування і управління ключами                  |        | Опціонально | ✓□         |
| Інтеграція LTE PCRF **                           |        |             | ✓□         |
| Пріоритет РТТ і pre-emption                      |        |             | ✓□         |
| Затримка входу Late Entry                        |        |             | ✓□         |
| «Знищення» абонентського пристрою                |        |             | ✓□         |
| Динамічне групоутворення                         |        |             | ✓□         |
| Повтор виклику (дистанційне прослуховування)     |        |             | ✓□         |
| Геозонування                                     |        |             | ✓□         |
| Близькість груп (безпосередньо) Proximity groups |        |             | ✓□         |

\*LDAP (Lightweight Directory Access Protocol) - легкий протокол для доступу до служби каталогу, тобто, до ієрархічної системи управління базами даних (СКБД). Полегшений, із незначними вдосконаленнями, нащадок мертвонародженого протоколу DAP.

\*\*PCRF (Policy and Charging Rules Function) - елемент мережі стільникового зв'язку стандарту LTE, який відповідає за управління нарахуванням плати за надані послуги зв'язку, а також за якість з'єднань відповідно до заданих конкретним абонентом характеристик.

В національній раді з телекомунікації та зв'язку (National Public Safety Telecommunications Council) США створена робоча група стосовно міграції систем радіозв'язку LMR до LTE [14]. Метою створення даної робочої групи є:

- a. Вивчення шляхів, в яких голосові послуги LTE можуть бути використані силами громадської безпеки для доповнення або заміни системи LMR.
- b. Вивчення існуючих систем взаємодії та технології, які сьогодні використовуються, щоб визначити, чи можуть вони бути використані для підтримки сумісності LMR для LTE.
- c. Перевірка мінімальних вимог, необхідних для підтримки критично важливої голосової сумісності між мережами LMR і LTE.

Стандарт оперативного радіозв'язку **MCPTT (mission-critical push-to-talk)** по технології **LTE (MCPTT-over-LTE)** знаходиться у розробці та згідно інформації посадової особи з 3GPP повинний бути завершений в березні 2016 року [13]. Якщо стандарт буде завершено відповідно до графіка, MCPTT-сумісні пристрої LTE, ймовірно, на думку більшості галузевих джерел, будуть комерційно доступні протягом двох років [13].

На сьогоднішній день веб-сайт 3GPP вказує на те, що роботи по стандарту MCPTT виконані на 66%. За даними галузевих джерел, устаткування від стандарту 3GPP, як правило, стає доступним на ринку через 18-24 місяців після того, як стандарт буде завершено.

Створення стандарту MCPTT буде являти собою важливий крок у розвитку LTE в якості глобальної технології зв'язку для сил громадської безпеки. LTE вже був обраний в якості консенсусу технології обробки даних наступного покоління для груп швидкого реагування по всьому світу, але дехто ставить під сумнів готовність служб громадської безпеки прийняти LTE, якщо він також не може забезпечити можливості оперативного радіозв'язку, які використовувались силами громадської безпеки протягом багатьох десятиліть.

Рішення мереж PTT-over-LTE використовуються на ринку протягом багатьох років, але ці послуги є власністю компанії і вимагають для функціонування пристрою LTE підключення до мережі LTE. Різні компанії використовують різні програмно-апаратні рішення. 3GPP розробляє стандартизований MCPTT, який і дозволяє однорангова мережа зв'язку в межах обмеженого діапазону в ситуаціях, коли покриття LTE мережі недоступно - аналогічно режиму симплекс в системі LMR.

Минулого року посадові особи 3GPP зробили розробку стандарту MCPTT одним із пріоритетних завдань. Ці зусилля були ініційовані такими впливовими країнами, як Сполучені Штати, Південна Корея і Сполучене Королівство, які планують розгорнути загальнонаціональні системи громадської безпеки LTE в найближчому майбутньому.

Уряд США спирається на технології Land Mobile Radio (LMR) для життєво важливих завдань протягом багатьох років, а також має значні інвестиції у LMR. Для досягнення справжньої сумісності технологія 4G - LTE має бути єдиним стандартом технології бездротового зв'язку для 700 МГц мереж громадської безпеки в США [15]. Єдиному оператору (**FirstNet**) ліцензована одна смуга частот (700 МГц Смуга 14), у якій по загальній технології LTE повинна працювати загальнонаціональна широкопasmова приватна мережа сил безпеки (Public NPSBN) – єдина для

усіх відомств. Неминуче, що LMR і LTE-технології будуть співіснувати протягом деякого часу в майбутньому через великі інвестиції на LMR і через те, що в той час як на розгортання національної мережі LTE FirstNet потрібно багато років, LMR має національне покриття.

Посадові особи проекту FirstNet у США повідомили, що їх система LTE буде підтримувати комерційні голосові послуги LTE з першого дня роботи в мережі на 700 МГц 14 спектра [13]. У своєму нещодавно опублікованому запиті пропозицій (RFP), вказується, що функціональність MCPTT FirstNet повинна бути інтегрована в рамках всієї системи через два роки після того, як в другій половині 2018 року буде обраний його підрядник.

Посадові особи FirstNet заявляють, що організація планує запропонувати MCPTT, коли він стане доступний і сили громадської безпеки будуть самі вирішувати, чи довіряють вони цій технології, щоб використовувати її під час критичних операцій.

Існують різні думки про те, коли MCPTT-over-LTE буде прийнятий силами громадської безпеки. Це може відбутися протягом п'яти років, за умови створення мережі LTE FirstNet для сил громадської безпеки, інші вважають, що це займе десятиліття, якщо це взагалі коли-небудь трапиться. Незалежно від часу реалізації, поліцейський персонал, ймовірно, першими перейде до використання системи MCPTT-over-LTE. Пожежні служби продовжуватимуть використовувати існуючі засоби радіостанції.

## **Чи замінить LTE системи LMR?**

Чи може мережа LTE повністю замінити мережу оперативного радіозв'язку LMR? У США з цього питання йде дискусія [16], деякі фрагменти якої будуть цікаві читачам.

Посадові особи, які приймають рішення, повинні враховувати багато факторів при визначенні майбутньої ролі критично важливого голосу по LTE. Важливо, щоб рішення приймалося на основі точної інформації, а не застарілих заяв, які не відображають останні технологічні розробки.

Цікава точка зору Денніса Мартінеса - технічного директора компанії Harris. Він говорить про те, оперативний радіозв'язок у мережі LTE (MCPTT-over-LTE) є гарячою темою. Деякі розглядають його як примху, яка приречена на провал. Інші вважають, що це може збільшити критично важливі голосові послуги у LMR мережах. Проте хтось вважає, що MCPTT судилося повністю замінити приватні мережі LMR.

Деякі прихильники LTE, як правило, зосереджені на критично важливих обіцянках, які ще не відбулися, в той час як прихильники LMR часто відзначають, що двостороннє радіо врятувало життя незліченної кількості рятівників, таким чином, вони стверджують, що співробітники громадської безпеки ніколи не відмовляться від технології LMR.

Але це не те, як працює суспільство, як було неодноразово доведено протягом всієї історії. Люди хочуть і повинні переміщатися з одного місця на інше, але автомобілі замінили коней як прийнятний

транспортний засіб. Люди хочуть і повинні мати доступ до письмової інформації, але цифрові сайти в значній мірі замінили друковані газети та журнали. Люди хочуть і повинні мати міжміські розмови один з одним, але стільникові пристрої замінюють стаціонарні телефони.

Навіть в області бездротових пристроїв відбулися значні зрушення. Кілька років тому, кілька виступаючих на IWCE проголосили, що, незалежно від зміни технології, вони завжди будуть використовувати Blackberry. В цьому році виступаючий запитав у переповненій аудиторії, чи хтось досі використовує Blackberry, але ніхто не підняв руки.

Це не означає, що Blackberry перестали робити якісний продукт, або, що люди перестали читати свою електронну пошту, перебуваючи далеко від своїх комп'ютерів, але користувачі знайшли інші пристрої, як правило, смартфони або планшети, які забезпечили більш зручне користування.

І це повинно бути основою для важливих дискусій відносно тої ролі, яку MCPTT-over-LTE може відіграти в критично важливих ситуаціях для груп швидкого реагування та інших користувачів оперативного радіозв'язку. Потреба в надійних голосових комунікацій ніколи не зникне, але немає нічого, що стверджує, що це має бути здійснено через LMR. Важливим є те, що користувачі встановлюють свої вимоги, а потім визначають, які технології краще всього відповідають вимогам тієї чи іншої ситуації.

Іншими словами, реальне питання досить просте: який сервіс працює краще для користувачів і організацій, які вони представляють?

Але, щоб зробити точну оцінку, всім учасникам дискусії потрібно виходити за її сьгоднішні межі. Існують не тільки технологічні аспекти, але й підводні течії, що не пов'язані з технологіями, як, наприклад, загроза втратити роботу.

А. За результатами дослідження, проведеними посадовими особами FirstNet рік тому, 94% персоналу сил громадської безпеки кажуть, що вони вже використовують комерційну бездротову технологію для виконання покладених на них завдань. Зі слів виконавчого директора LA-RICS (регіональної системи інтероперабельного зв'язку LTE сил громадської безпеки мережі Лос-Анджелесу) Пета Маллона, в перший день Нового року на Параді Троянд деякі офіцери вважали за краще використовувати тільки LTE-пристрої для користування груповим радіозв'язком при забезпеченні безпеки масових заходів.

Перефразовуючи вислів Президента FirstNet Т.Дж. Кеннеді, сили громадської безпеки будуть використовувати те, що працює. Якщо MCPTT-over-LTE працює, то він буде використовуватися.

Б. Оперативний РТТ радіозв'язок у мережі LTE ніколи не буде критично важливим. Насправді, багато хто стверджував, що деякі існуючі програми РТТ вже забезпечують критично важливі характеристики і надійність, з одним дуже суттєвим застереженням: він застосовується тільки тоді, коли знаходиться у зоні дії мережі і має доступ до послуг. Оскільки, мережа LTE сьогодні не вважається критично важливою, то й сервіс РТТ не є критично важливим.



Проте, зі створенням систем громадської безпеки LTE FirstNet по всьому світу і устаткуванням на основі стандартів, затверджених МСРТТ 3GPP, через кілька років це твердження може стати помилковим.

Сьогоднішні комерційні мережі не відповідають стандартам громадської безпеки потрібного класу (до речі, є багато LMR мереж громадської безпеки, які не відповідають стандарту). FirstNet і інші ініціативи LTE громадської безпеки планують змінити цю ситуацію, але ми не знатимемо, що ця мета досягнута, доки системи не будуть розгорнуті.

LTE не працюватиме, якщо базова станція мережі недоступна, пристрій LTE в той момент стає "цеглою" з точки зору спілкування з іншими людьми. Це маловірогідний випадок, але найостанніші версії LTE стандартних 12 і 13-релізів призначені для вирішення цієї проблеми, в першу чергу для задоволення потреб громадської безпеки. В результаті, протягом наступних кількох років, ми можемо бачити LTE пристрої, які можуть працювати за межами мережі у режимі прямого зв'язку.

LMR забезпечує "витончену деградацію", що означає, що кожна вежа може виступати в якості ретранслятора, якщо відрізана від решти мережі. LTE не робить цього. Це вірно і сьогодні, але, як очікується, зміниться найближчим часом. Останній реліз стандарту LTE включає в себе функцію E-UTRAN, з можливістю ізольованої роботи для сил громадської безпеки (IOPS), яка ефективно забезпечує таку ж функціональність, як "витончена деградація" в системі LMR.

За словами Ендрю Тіссена, директора відповідної програми, заступника із питань дослідження в області комунікації для сил громадської безпеки (PSCR), релізи 12 і 13 стандарту LTE були розроблені, щоб гарантувати, що МСРТТ принаймні, буде мати таку ж функціональність, яку вже сьогодні мають системи LMR. Насправді, вони включають в себе такі функції, як наприклад, наявність інформації про інші LTE-пристрої, що знаходяться в межах зони обслуговування, що не доступно для LMR.

Пожежники не збираються заходити в палаючу будівлю зі смартфоном споживчого рівня в своїх руках. Це правда.

По-перше, звичайний смартфон не є міцним пристроєм і не призначений для використання при гасінні пожеж – це просто неправильний інструмент для роботи. Якщо ви хочете, щоб хтось скопив газон, ви не дасте йому пару ножиць.

По-друге, використовувати обидві руки при користуванні смартфоном, безглуздо, руки потрібні для гасіння пожежі. Концепція виглядає ще більш смішно, якщо врахувати, що пожежник носить важкі рукавички, які роблять неможливими операції на маленькому сенсорному екрані портативного пристрою.

Але кілька версій захищених (від фізичного впливу) інтелектуальних пристроїв для забезпечення сил громадської безпеки існують сьогодні. За останні кілька років значно зросла кількість захищених пристроїв, які покращують міцність LTE пристроїв і в деяких випадках продовжують термін служби живлення. Тому мало сумнівів в тому, що цей ринок повинен дозріти до якості обладнання для сил

громадської безпеки і критичної інфраструктури, тоді впровадження LTE стане все більш поширеним явищем в усьому світі.

Часто відбувається, що люди класифікують технологію, враховуючи тільки свій досвід роботи з нею. Коли у 2003 році з'явилася залежність технологій від IP, обладнання, яке використовувалося силами громадської безпеки, потрібно було періодично перезавантажувати. У разі надзвичайної ситуації, у вас не буде часу, щоб "натиснути CTRL-ALT-DEL", посилаючись на часту періодичну необхідність перезавантаження комп'ютера.

Але добре продумані IP-мережі виявилися дуже надійними і стійкими з точки зору продуктивності (не враховуючи потенційних кібератак, які не турбували ще 10 років тому). Не всі системи LTE зв'язку розгортаються, як мережі споживчого класу, як це існує сьогодні.

І ми повинні мати чітке уявлення про такі речі: пожежники не працюють в палаючих будівлях з LMR радіостанцією в руках. Радіостанції утримуються всередині, а засоби управління доступні через аксесуари - всі вони можуть бути також адаптовані для роботи з LTE пристроями.

Стандартизована MCPTT теоретично може бути розгорнута в 2018 році, насправді, це може бути послуга, пропонована у системі FirstNet у кінці 2018 року, якщо прогнозований графік розгортання буде виконуватися ідеально. Він може бути використаний в Південній Кореї і Сполученому Королівстві навіть раніше.

Але зробити доступним сервіс MCPTT-over-LTE і насправді довіряти йому у питаннях життя і смерті, з якими щодня стикаються рятувальники - дві абсолютно різні речі.

По-перше, критично важливі мережі LTE повинні бути розгорнуті з потрібною зоною покриття. У США FirstNet може почати будуватися в деяких районах вже в кінці 2017 року, в той час як інші юрисдикції не зможуть отримати покриття до 2020 року. Якщо агентство громадської безпеки не має критично важливого покриття LTE, воно не буде поки що розглядати перехід від системи LMR.

По-друге, MCPTT-over-LTE буде нова технологія, тому, можливо, там можуть бути деякі помилки або інші проблеми з продуктивністю на початку. Проблеми, які рятувальники не можуть собі дозволити під час надзвичайної ситуації.

Маючи це на увазі, багато експертів галузі вважають, що MCPTT-over-LTE буде використовуватися, в першу чергу, на початковому етапі для некритично важливих голосових сервісів. Може пройде якийсь час, перш ніж користувачі сил громадської безпеки стануть довіряти MCPTT-over-LTE для критично важливих операцій, але ще занадто рано, щоб спрогнозувати, коли це відбудеться.

Коли робиться перехід до системи MCPTT-over-LTE, всі органи громадської безпеки в юрисдикції мігрують одночасно. Багато хто вважає, що прийняття MCPTT-over-LTE для критично важливих комунікацій може змінюватися в рядах громадської безпеки. Наприклад, поліцейські детективи в деяких містах вже перестали використовувати LMR, і портативні комп'ютери залежать виключно від стільникових пристроїв. І багато експертів галузі прогнозують, що поліція і персонал

інших екстрених служб будуть більш схильними до використання технології LTE на місці події, ніж пожежники.

Дехто стверджував, що пожежники будуть останніми, тому що вони традиційно були більш стійкі до технологічних змін, але існують також об'єктивні технічні причини цього. Багато пожежних надсилають свої критично важливі голосові повідомлення в прямому режимі, навіть якщо інцидент знаходиться в межах зони покриття мережі LMR.

У версії 12 і 13 MCPTT-over-LTE підтримує режим прямого зв'язку, але реалії фізики можуть перешкоджати його продуктивності в порівнянні з LMR. LMR пристрої зазвичай випромінюють сигнали на рівнях потужності, які, принаймні, в чотири рази більші, ніж більшість LTE пристроїв на сьогоднішній день. Крім того, деякі системи LMR мають перевагу в зоні обслуговування через високі показники поширення сигналу частот діапазонів VHF і UHF, в порівнянні з частотами 700 МГц системи LTE.

Звичайно, це може змінитися. LTE пристрої можуть бути розроблені для роботи на більш високих рівнях потужності, але на даний час перевага у прямому зв'язку за LMR.

Більша потужність та нижчі робочі частоти забезпечать переваги LMR, а також більш широку зону обслуговування для критично важливого голосового зв'язку. Як це часто буває в сфері бездротового зв'язку, все залежить від обставин. LTE мережі мають набагато більше сайтів, ніж системи LMR, так що вони можуть забезпечити аналогічне або більш широке охоплення, в залежності від розташування і кількості сайтів.

А сайти – це не тільки автономні вежі; місця розміщення майданчиків на дахах будинків, водонапірних баштах і в багатьох інших місцях. Цифри вражають. Представник Verizon зазначив, що оператори колись думали про мережу загальнонаціонального масштабу з використанням 30000 сайтів, але кількість сайтів підскочила до 300000, і ця заява була зроблена в 2014 році, так що ця цифра з того часу могла збільшитись.

Один аспект, який обіцяє бути особливо цікавим протягом наступних кількох років – це питання обслуговування всередині будівлі. З поширенням дрібних клітин і систем DAS, які призначені для забезпечення покриття LTE всередині будівель, багато експертів у галузі бездротового зв'язку вважають, що цілком ймовірно, що в будівлях покриття LTE буде краще, ніж LMR покриття, особливо для систем LMR, які залежать від зовнішніх сигналів, що проникають всередину структури.

Отже, чи повинні ми продовжувати вкладати більше грошей в нашу LMR мережу? Сьогодні на всіх рівнях, місцевому і державному, існує дискусія з питання, які комунікації розвивати для урядових органів та органів місцевого самоврядування. На сьогодні, це не так вже й важко, оскільки поки що стандартизований MCPTT-over-LTE не є життєздатним варіантом. Таким чином, якщо існуюча система LMR зараз потребує розвитку, це повинно бути зроблено, тому що немає ніякої альтернативи на даний момент.

Але ще складніше прийняти рішення, коли ми намагаємося проектувати на майбутнє. Якщо включити витрати на планування мереж та інженерне облаштування, потрібно кілька років, щоб закінчити багато процесів державних закупівель. Іншими словами, в деяких випадках рішення щодо проведення дорогого оновлення LMR не є простим питанням, оскільки може бути необхідно схвалення виборців для забезпечення фінансування.

Для запуску послуги в середині 2017 підрядник будівництва мережі FirstNet має бути визначений не пізніше кінця цього року. Проте правові або політичні баталії в США можуть призвести до затримок. Якщо все пройде добре, MCPTT-over-LTE можуть стати доступними в 2018 або 2019 році у більшості населених пунктів США, і система FirstNet може бути по суті завершена в 2021 році.

Коли (або якщо) MCPTT-over-LTE доведе свою життєздатність для оперативного радіозв'язку як альтернативи в реальних умовах, і коли користувачам сил громадської безпеки буде зручно використовувати технологію під час надзвичайних ситуацій, критичною і найбільш непередбачуваною може стати проблема синхронізації. І важливо, щоб ці оцінки були зроблені при розгляді продуктивності з урахуванням контрольних показників, а не тільки знайомство з технологією або бажання перейти на нову.

Одною ключовою перевагою в США є наявність PSCR, яке може забезпечити незалежне тестування функцій, функціональності і сумісності, які мають важливе значення для громадської безпеки, тому особи, які приймають рішення не повинні покладатися тільки на претензії постачальників.

Тим не менше, немає ніяких ясних відповідей, проте є фактори, що швидко змінюються. Саме тому важливо, щоб ключові адміністратори і виборні посадові особи стежили за мінливим ландшафтом громадської безпеки LTE-FirstNet в США і розвитком MCPTT-over-LTE в їх юрисдикції.

Недотримання цього правила може призвести до втрати можливостей і витрачених даремно доларів платників податків. Найбільш важливим є те, що неправильні рішення в цій сфері можуть поставити під загрозу безпеку реагування і громадян, яких вони поклялися захищати».

Під час дискусії фахівці звертають увагу на важливість правильного вибору системного інтегратора, який повинен зв'язати воєдино транспортну мережу передачі даних, ядро системи, бездротові мережі, налаштування пристроїв, успадкованих систем, навчання, тестування і інсталяцію програмного забезпечення.

Інший фахівець висловлює таку думку, що не все нове цілком заміняє старе.

«Минуло 10 років з тих пір як iPhone з'явився на ринку і були пророкування кінця настільних ПК, але настільні ПК продовжують обслуговувати безліч важливих функцій.

Насправді, впровадження нових технологій не може замінити старі, якими користувались протягом кількох століть, так як, наприклад, дрони не замінять в повній мірі коней, автомобілі, велосипеди, мотоцикли,

літаки, вертольоти. У деяких місцях поліцейські прибувають на виклик на конях, тому що це є найбільш зручним способом пересування.

Так, я бачу що LMR і MCPTT доповнюють одна іншу, а не є конкуруючими технологіями. Особливості та можливості в LMR розвивалися протягом останніх ста років. Пристрої стали меншими, більш ергономічними, міцнішими і мають кращий звук.

Особисто я передбачаю, що ці дві технології MCPTT/LTE і LMR, будуть співіснувати протягом багатьох років в майбутньому».

### **Нотатки щодо створення мережі LTE для обслуговування державних установ**

Для створення LTE систем використовуються різні по регіонам світу полоси радіочастот, починаючи з 450МГц [17].

У США для створення мережі LTE для обслуговування державних установ оператору FirstNet надана ліцензія на діапазон частот 700МГц (полоса №14 шириною 10 МГц, смуги частот 758-768/788-798 МГц).

У деяких регіонах для покриття великих територій використовується діапазон 450 МГц (полоса №31 шириною 5 МГц, смуги частот 462,5-467,5/452,5-457,5 МГц).

Наприклад, у РФ оператор мобільного зв'язку Tele2 вводить в комерційну експлуатацію першу в Росії LTE-мережу на частотах 450 МГц у Тверській і Новгородській областях [18].

Tele2 - єдиний стільниковий оператор в Росії, що володіє частотами 450 МГц. Даний частотний ресурс, який раніше належав оператору «Скай Лінк», став доступний компанії в рамках створення спільного підприємства Tele2 і "Ростелекома". У червні 2015 року в ході юридичної реорганізації «Скай Лінк» був приєднаний до «Т2 Мобайл». Послуги високошвидкісної передачі даних в частотному діапазоні 450 МГц Tele2 надаватиме під брендом Skylink.

Першими регіонами, де оператор запустив мережі LTE-450, стали Тверська і Новгородська області. До кінця червня компанія також введе в експлуатацію LTE-мережі на частотах 450 МГц в Санкт-Петербурзі і Ленінградській області, а в липні - в Московському регіоні.

Ключовою перевагою LTE-450 є якісне покриття і високі швидкості передачі даних навіть у віддалених населених пунктах і дачних селищах, де відсутня стійке покриття мереж GSM і швидкий мобільний інтернет. Так, базова станція, що працює в діапазоні 450 МГц, здатна покрити територію радіусом до 20 км, що в 5-6 разів перевищує можливості устаткування, що підтримує стандарт LTE на частотах 2600 МГц. Крім того, новітня технологія здатна забезпечити проникнення якісного сигналу в будівлі зі складними архітектурними особливостями і підвальні приміщення.

Для доступу до послуг високошвидкісного мобільного інтернету оператор пропонує абонентам спеціальне обладнання під брендом Skylink: два види 4G-роутерів для замиського будинку і мобільний 4G-роутер для подорожей. Універсальні пристрої працюють не тільки на частотах 450 МГц, але і підтримують стандартні діапазони LTE (800, 1800 і 2600 МГц). Таким чином, при наявності LTE-частот вищого діапазону обладнання буде автоматично перемикається на них.

Крім надання послуг швидкого мобільного інтернету приватним клієнтам, компанія планує вийти під брендом Skylink в сегмент B2B. Також оператор планує створити MVNO-проект, спрямований на розвиток **захищених мереж зв'язку спеціального призначення для державних і охоронних структур**. Широке покриття мережі відкриває нові можливості і в сегменті M2M - в транспортній, банківській та інших сферах.

Сучасні сайти LMR, як правило, це автономні стратегічно розташовані ділянки, які спроектовані в результаті значних радіочастотних (РЧ) інженерних випробувань [7]. Вартість типового радіосайту може складати мільйон доларів або більше в залежності від місця і складності. Незважаючи на те, що LTE-сайти вимагають більшої кількості фізичних місць розташування, зазвичай вимагають менше фізичного простору і потужності, тому визначення місця розташування є набагато більш гнучким.

Якщо будівництво відомчої урядової системи LTE обмежується тільки потребами громадської безпеки, то хто платить за це? Чи буде вона побудована за стандартами надзвичайних ситуацій? Як правило, це найдорожчий варіант, але якщо інфраструктура побудована не тільки для сил громадської безпеки, але й як система подвійного використання для комунальних та інших служб місцевих органів влади, які взмогі сплачувати послуги зв'язку? Якщо все зроблено правильно, то економічно доцільно мати партнерські відносини з поліцією / службою пожежної безпеки / швидкої допомогою та ін.

Альтернативою може бути використання комерційних мереж. Чи дозволяють комерційні оператори пріоритет громадської безпеки? Якщо так, то скільки і в який час? Як визначити стандарти продуктивності в години пікового навантаження? Є багато питань, які повинні бути вирішені технічним спеціалістами та оцінені співробітниками екстрених служб для підтримки цієї технології.

Досвід використання інтегрованих систем радіозв'язку (P25-3G, P25-4G) показав, що при реалізації деяких функцій, які властиві системам оперативного радіозв'язку (груповий виклик, велика кількість абонентів у групі, постійно підключений режим чергового прийому у абонентському терміналі та ін.), у системах стільникового зв'язку (3G, 4G) виникають такі проблеми, як:

- Відсутність на даний час підтримки стільниковою мережею такого методу передачі трафіка як **Multicast**, який дозволяє доставку контенту (у тому числі сигналу виклику абонента – РТТ) необмеженої кількості абонентів без перевантаження мережі (цей метод потребує: підтримки його сервером, клієнтом і всіма проміжними маршрутизаторами, а також відсутність міжмережевих екранів). Multicast періодично посилає у мережу запити для визначення поточного стану груп, клієнт також повинен повідомляти про свою доступність.

- Необхідність постійного підключення клієнта до сервера (чого вимагають критично-важливі комунікації – МСРТТ) призводить до **швидкого розряджання акумулятора**.

Таким чином, на даному етапі розвитку стільникових мереж в інтересах сил громадської безпеки **підтримує** радіозв'язок в мережах LTE (**РТТ-over-LTE**), але **не підтримує** критично важливий груповий радіозв'язок в мережах LTE (**МСРТТ-over- LTE**):

**Системи LMR** (групові виклики з великою кількістю абонентів у групі та низькошвидкісна передача даних) **та система LTE** (високошвидкісна передача даних) **повинні працювати паралельно та доповнювати одна одну**.

### **Підсумки та висновки**

1. Враховуючи непомірні (для даного стану економіки України) витрати на створення національних мереж LTE та LMR (особливо мереж LTE) зі 100-відсотковим покриттям території, доцільно створювати інтегровану систему (LMR, LTE з функцією РТТ-over-LTE) з максимально можливим використанням як існуючої у державних установах інфраструктури, так і мереж комерційних операторів.
2. Потрібно створювати власні (державні) стаціонарні фрагменти мереж LTE лише там, де немає інших мереж та де є гостра потреба. В інших випадках доцільно створювати тимчасові фрагменти мережі з допомогою мобільних базових станції LTE.
3. Стаціонарні та мобільні базові станції та елементи мережі LMR потрібно створювати у найбільш важливих місцях, де існують підвищені вимоги до надійності та якості радіозв'язку (критично важливий радіозв'язок МСРТТ).
4. Частотний діапазон для державної підсистеми LTE доцільно визначити таким чином, щоб забезпечити максимально можливу зону обслуговування базової станції та враховуючи наявність асортименту багатодіапазонних захищених абонентських пристроїв (смартфонів, планшетів та ін.), які здатні працювати як на частотах державної системи, так і на частотах операторських систем.
5. Враховуючи відсутність на даний час діючих ліцензій та комерційних систем LTE доцільно вивчити можливість розробки таких ліцензійних умов для майбутніх операторів, у яких передбачалося б пріоритетне обслуговування державних абонентів та підключення операторських систем (LTE і 3G та Wi-Fi) до центрів управління національної мережі мобільного зв'язку.
6. При виборі стандарту системи LMR повинні враховуватися такі фактори, як мінімізація вартості інфраструктури мережі, а також можливість повноцінної інтеграції мереж LTE (з підтримкою РТТ-over-LTE) та LMR (без застосування шлюзів і можливість забезпечення



скрізного «end-to-end» та дистанційної заміни ключів шифрування (функція OTAR) у абонентів обох підсистем.

1. <http://www.iwce-vision.com/>
2. <http://hi-tech.ua/article/critical-communications-world-2016-kakie-tehnologii-zashhityat-nas-zavtra/>
3. <http://www.tetratoday.com/news/critical-communications-over-lte-still-years-away-warns-tcca>
4. <http://www.9-1-1magazine.com/Peterson-Mostaert-Lampert-LTE-LMR-NG-Communications>
5. <http://www.lte-applications.com/27495/news/sla-s-enterprise-secure-chat-eschat-technology-selected-by-tait#sthash.6T2EIXQq.dpuf>
6. <http://www.hytera-mobilfunk.com/tetra/pttconnect-tetra-over-lte/>
7. [http://www.hendonpub.com/law\\_and\\_order/articles/2014/07/lte\\_vs\\_lmr\\_pros\\_cons\\_convergence](http://www.hendonpub.com/law_and_order/articles/2014/07/lte_vs_lmr_pros_cons_convergence)
8. <http://www.xinwei.com.ua/>
9. <http://www.xinweigroup.com.cn/common-en/index.aspx?nodeid=237&page=ContentPage&contentid=299>
10. <http://harrisradio.com/products/xl200p/>
11. <http://www.etherstack.com/eu/pmr-lte.php>
12. <http://www.3gpp.org/about-3gpp>
13. [http://urgentcomm.com/3gpp/lte-standards-body-set-complete-mission-critical-ptt-standard-march?utm\\_source=feedburner&utm\\_medium=feed&utm\\_campaign=Feed%3A+UrgentComm+MostRecent+%28Urgent+Communications%29](http://urgentcomm.com/3gpp/lte-standards-body-set-complete-mission-critical-ptt-standard-march?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed%3A+UrgentComm+MostRecent+%28Urgent+Communications%29)
14. <http://www.npstc.org/LmrLteMigration.jsp>
15. <http://www.afcea.org/events/CUMC.asp>
16. <http://urgentcomm.com/blog/decision-makers-need-consider-many-layers-when-determining-future-role-mission-critical-voice-o>
17. [http://niviuk.free.fr/lte\\_band.php](http://niviuk.free.fr/lte_band.php)
18. [http://www.cnews.ru/news/line/2016-05-27\\_tele2\\_zapuskaet\\_pervuyu\\_v\\_rossii\\_set\\_lte450](http://www.cnews.ru/news/line/2016-05-27_tele2_zapuskaet_pervuyu_v_rossii_set_lte450)