

УДК 681.3.06

Дослідження та розрахунок основних параметрів та характеристик для побудови лінії мобільного зв'язку стандарту LTE

Коломієць Ю.А., д.т.н., проф. Денбновецький С.В.

Постановка проблеми. Сучасну людину складно уявити без використання послуг мобільного зв'язку, до основних переваг якого відносять: мобільність, простоту користування, швидкість зв'язку, відносну дешевизну, можливість передавання письмової (SMS) та графічної (MMS) інформації на велику відстань. Сучасний рівень розвитку ринку послуг мобільного зв'язку, якісні зміни в засобах і способах їх надання, підвищення обсягу інформації висунули проблему вдосконалення якості та універсальності цих послуг, так як темпи зростання послуг і абонентів, дозволили стерти кордони між телекомунікаційними та інформаційними каналами, тому відбувається їх конвергенція, збільшення кількості послуг, що надаються супроводжує розширення смуги пропускання в каналах передачі даних, використання ефективного кодування і правильний розподіл всього діапазону частот.

Виходячи з цього, **метою даної статті** є надання абонентам сучасних мультисервісних послуг за допомогою технології бездротового

широкосмугового доступу стандарту LTE з дослідженням основних параметрів та характеристик лінії мобільного зв'язку, які забезпечують якісний та стабільний сигнал.

Виклад основного матеріалу.

LTE (Long Term Evolution) - це глобальний стандарт для четвертого покоління мобільних мереж (4G). LTE є вдосконаленим продовженням технологій третього покоління CDMA і UMTS (3G). Швидкість передачі даних в мережах LTE досягає 173 Мбіт / с на прийом і 58 Мбіт / с на передачу. Архітектура мережі LTE розроблена таким чином, щоб забезпечити підтримку пакетного трафіку з так званою "гладкою" ("безшовною", seamless) мобільністю, мінімальними затримками доставки пакетів і високими показниками якості обслуговування.[3] Технологічно 4G дозволяє мережі пропускати набагато більше даних одночасно. Лінія зв'язку, яку раніше одночасно могли використовувати тільки два абонента, в четвертому поколінні стає доступною для багатьох учасників. Швидкість обміну даними в мережі поліпшена ще й "розумними" антенами, які можуть відправляти і

отримувати відразу кілька потоків інформації.

Обчислення числа сот в планованій мережі LTE. Для того щоб обчислити кількості сот в мережі слід розрахувати загальна кількість каналів, що виділяються для розгортання проектованої мережі LTE. **Загальна кількість каналів N_k** обчислюється відповідно до наступної формули:

$$N_k = \text{int} (\Delta f / f_k)$$

де, Δf – виділена смуга частот для роботи мережі, яка рівна 80 МГц; f_k – смуга частот одного каналу.[4]

У мережах LTE під радіоканалом мається на увазі такий термін, як ресурсний блок (РБ), який володіє шириною 180 кГц.

$$N_k = \text{int} (80 \cdot 10^6 / 180 \cdot 10^3) \\ = 444 \text{ каналів}$$

$$\beta_e = \left(\sum_{i=1}^M \beta_i \right) \exp \left[\frac{\gamma^2 (\alpha^2 - \alpha_e^2)}{2} \right]$$

$$\alpha_p^2 = \alpha^2 + \alpha_e^2$$

$$\alpha_e^2 = \frac{1}{\gamma^2} \ln \left\{ [1 + \exp(\gamma^2 \alpha^2) - 1] \frac{\sum_{i=1}^2 \beta_i^2}{(\sum_{i=1}^2 \beta_i)^2} \right\}$$

де, $\gamma = 0.02 \ln 10 = 0.046$

Розглянемо випадок для направленої антени, де $\varphi = 120^\circ$, $N_s=3$, $\beta_1 = (q + 0.7)^{-4}$, $\beta_2 = q^{-4}$. Виберемо $C=3$. $q = \sqrt{3 \cdot 3} = 3$

Визначення розмірності кластера.

Для визначення необхідної розмірності кластера використовують відношення

$$p(C) = \left[\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{x_1}^{\infty} \exp \left(-\frac{x^2}{2} \right) dx \right] \cdot 100$$

де, $p(C)$ - відсоток часу, за який відношення сигнал/шум на вході приймача знаходиться нижче захисного відношення P_0 . [4] Інтеграл представляє собою табульовану Q-функцію

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{x_1}^{\infty} \exp \left(-\frac{x^2}{2} \right) dx$$

Нижня границя цього інтегралу

$$X_1 = \frac{10 \lg \left(\frac{1}{\beta} \right) - \rho_0}{\alpha_\rho} \text{ виражені в дБ}$$

Знайдемо α_e^2

$$\alpha_e^2 = \frac{1}{0.046^2} \ln \left\{ [1 + \exp(0.046^2 5^2) - 1] \frac{\sum_{i=1}^2 \beta_i^2}{(\sum_{i=1}^2 \beta_i)^2} \right\} = 15.265 \text{ дБ}$$

$$\text{Звідси } \alpha_e = \sqrt{15.265} = 3.907 \text{ дБ,}$$

$$\alpha_p = \sqrt{5^2 - 3.907^2} = 3.12 \text{ дБ}$$

$$\beta_e = \left(\sum_{i=1}^2 \beta_i \right) \exp \left[\frac{0.046^2 (5^2 - 3.907^2)}{2} \right] = 0.0215 \text{ дБ}$$

Знайдемо **нижню границю Q-функції**

$$X_1 = \frac{10 \lg \left(\frac{1}{0.0215} \right) - 10}{3.12} = 2.11$$

Цьому значенню в таблиці відповідає величина, яка рівна 0.0178. Отримуємо $p(C) = 0.0178 \cdot 100 = 1.78$ Дане значення трішки менше $P_c/P_{ш}(\rho_0)$, значить даний тип антени є найбільш оптимальним.

Розрахунок пропускної здатності мережі

Пропускна здатність або ємність мережі ґрунтується на середніх значеннях спектральної ефективності стільники в конкретних обставинах.

Спектральна ефективність визначає швидкість передачі даних у встановленій смузі частот. Спектральна ефективність систем мобільного зв'язку представляє собою коефіцієнт, що розраховується як відношення швидкості передачі даних на 1 Гц смуги частот (біт / с / Гц), що споживається. Ширина смуги частот для частотного виду дуплексу FDD в основі 3GPP Release 9 для різноманітних конфігурацій MIMO

дорівнює 20 МГц.[4] Середня спектральна ефективність для мережі LTE, представлена в таблиці 1.

Таблиця 1 - Середня спектральна ефективність для мережі LTE

| Лінія | Схема MIMO | Середня спектральна ефективність (біт/с/Гц) |
|--------------|------------|---|
| UL(висхідна) | 1×2 | 1,254 |
| | 1×4 | 1,829 |
| DL(низхідна) | 2×2 | 2,93 |
| | 4×2 | 3,43 |
| | 4×4 | 4,48 |

Середню пропускну здатність одного сектора базової станції для системи FDD можна отримати шляхом множення ширини каналу на спектральну ефективність каналу: $R = S \times W$

де, S – середня спектральна ефективність (біт/с/Гц); W – ширина каналу (МГц); W = 10 МГц.

Для лінії DL:

$$R_{DL} = 3,43 \times 10 = 34,3 \text{ Мбіт/с.}$$

Для лінії UL:

$$R_{UL} = 1,829 \times 10 = 18,29 \text{ Мбіт/с.}$$

Для того щоб обчислити пропускну здатність базової станції R_{eNB} , помножимо кількість секторів базової станції на пропускну здатність одного сектора, в одній базової станції eNB число секторів дорівнює трьом, формула буде виглядати наступним чином:

$$R_{eNB} = R_{DL/UL} \times 3$$

Для лінії DL:

$$R_{eNB DL} = 34,3 \times 3 = 102,9 \text{ Мбіт/с.}$$

Для лінії UL:

$$R_{eNB UL} = 18,29 \times 3 = 54,87 \text{ Мбіт/с.}$$

Після встановимо кількість каналів $N_{k,сек}$, необхідних для обслуговування абонентів в 1-му секторі 1-го стільника:

$$N_{k,сек} = \left\lceil \frac{N_k}{(N_{кл} \times M_{сек})} \right\rceil,$$

де, N_k – загальна кількість каналів; $N_{кл}$ – розмірність кластера, встановлюється з урахуванням кількості секторів eNB, виберемо рівним 3; $M_{сек}$ – кількість секторів eNB, прийемо рівним 3.

$$N_{k,сек} = \left\lceil \frac{444}{(3 \times 3)} \right\rceil \approx 49 \text{ каналів}$$

Обчислимо кількість каналів трафіку в одному секторі однієї стільника $N_{кт,сек}$, яке розраховується за формулою

$$N_{кт,сек} = N_{кт1} \times N_{к,сек},$$

де, $N_{кт1}$ – кількість каналів трафіку в одному радіоканалі, яке встановлюється стандартом радіодоступу (для OFDMA $N_{кт1} = 1 \dots 3$), для LTE виберемо $N_{кт1}=2$.

$$N_{кт,сек} = 2 \times 49 = 98 \text{ каналів}$$

Відповідно до моделі Ерланга (Рис. 1), відображеної у вигляді графіка на малюнку, встановимо номінальне навантаження в секторі однієї стільника $A_{сек}$ при можливому значенні ймовірності блокування дорівнює 2% і обчисленим вище значенні $N_{(кт,сек)}$. Встановимо, то що $A_{сек} = 84$ Ерл

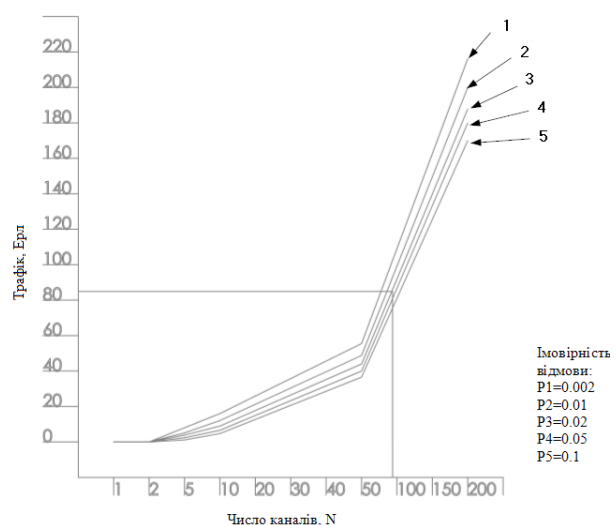


Рис.1. – Залежність допустимого навантаження в секторі від числа каналів трафіку і ймовірності блокування

Розрахунок кількості потенційних абонентів.

Кількість абонентів, яке буде обслуговуватися однією базовою

станцією, розраховується за такою формулою:

$$N_{аб.еNB} = M_{сек} \times \left[\frac{A_{сек}}{A_1} \right],$$

де, A_1 - середня за всіма видами трафіку абонентське навантаження від одного абонента, значення A_1 може становити (0,04 ... 0,2) Ерл. Так як проектувана мережа планується використовуватися для високошвидкісного обміну інформацією, то значення A_1 прийемо рівним 0,2 Ерл. Таким чином: $M_{сек}$ - кількість секторів на одній базовій станції; $A_{сек}$ - номінальне навантаження в секторі одного стільника. [2]

$$N_{аб.еNB} = 3 \times \left[\frac{84}{0.2} \right] = 1260 \text{ абонентів}$$

Таблиця 2. Основні параметри системи GSM типу LTE

| | |
|--|-------------------|
| Ширина каналу | 10 МГц |
| Тк | 10 мс |
| Максимальна потужність сигналу $P_{с.мах}$ | -30 dBm=1мкВт |
| Мінімальна потужність сигналу $P_{с.мін}$ (при якій забезпечується нормальна робота) | -85 dBm=3,16 пкВт |
| Середня потужність сигналу $P_{с.сер.}$ | -50 dBm=0,01 мкВт |
| Відношення максимальних значень | 30 dB |

| | |
|--|--------------|
| корисного сигналу до шуму $P_{с.мах}/P_{ш.мах}$ | |
| Відношення мінімальних значень корисного сигналу до шуму $P_{с.мін}/P_{ш.мін}$ | 10 dB |
| Відношення середніх значень корисного сигналу до шуму $P_{с.сер}/P_{ш.сер}$ | 20 dB |
| Максимальна кількість абонентів $n_{аб.мах}$ | 1260 |
| Частота викликів $F_{викл}$ | 2-20 |
| Середньої тривалості кожного повідомлення $\tau_{с.}$ | 100 мс |
| Швидкість передачі по нисхідних потоках | 102,9 Мбіт/с |
| Швидкість передачі по висхідних потоках | 54,87 Мбіт/с |

Канал зв'язку характеризується трьома параметрами:

1. **ефективно переданою смугою частот каналу Δf_k** , яку канал здатний пропустити з виконанням вимог до якості передачі сигналів;
2. **часом T_k** , протягом якого канал надано для передачі сигналів або повідомлень;
3. **динамічним діапазоном каналу**

$$D_k = 10 \lg \frac{P_{к.макс}}{P_{к.мін}}$$

де, $P_{к.макс}$ – максимальна мінімальна потужність сигналу, при неспотворена потужність, яка може бути передана по каналу; $P_{к.мін}$ - захищеність від перешкод.[1]

$$D_k = 10 \lg \frac{P_{к.макс}}{P_{к.мін}} = 10 \lg \frac{1 \times 10^{-6}}{3,16 \times 10^{-12}} = 55 \text{ dB}$$

Очевидно, що передача сигналу з ефективно переданою смугою частот P_c , тривалістю T_c і динамічним діапазоном D_c по каналу з параметрами P_k , T_k і D_k можлива за умови

$$P_k > P_c; T_k > T_c; D_k > D_c. [1]$$

Добуток трьох параметрів каналу $V_k = P_k T_k D_k$ називається **ємністю каналу**. [1]

$$V_k = P_k T_k D_k = 10 \times 10^{-3} \times 10^7 \times 55 = 5,5 \text{ МГц}$$

Канал характеризується захищеністю $A_k = 10 \lg \frac{P_{к.мін}}{P_{к.пер}}$, [1]

де, $P_{к.пер}$ - потужність перешкод в каналі. $A_k = 10 \lg \frac{P_{к.мін}}{P_{к.пер}} = 10 \lg 10 = 10$

Пропускна здатність каналу зв'язку, що представляє максимально можливу для даного каналу швидкість передачі інформації, описується наступним виразом:

$$I_k = 3,32 P_k \lg \left(1 + \frac{P_{к.сер}}{P_{к.пер}} \right)$$

де, $P_{к.сер}$ - середня потужність переданого по каналу сигналу. [1]

$$I_k = 3,32 P_k \lg \left(1 + \frac{P_{к.сер}}{P_{к.пер}} \right) = 3,32 \times 10^7 \times \lg 101 = 66,4 \text{ Мбіт/с}$$

Якість будь-якої мережі зв'язку з комутацією каналів визначається ймовірністю (успішністю) проведених з'єднань, що залежить від:

- **кількості абонентів** $n_{аб}$ (рухомих пристроїв в радіомережі);
- **частоти викликів** $F_{викл.}$, що представляє кількість дзвінків, що припадають на одного абонента в годину;

- **середньої тривалості кожного повідомлення** τ_c . [1]

Зайнятість будь-якої мережі змінюється в залежності від часу доби. Тому продуктивна мережа повинна пропускати потік даних під час найбільшої завантаженості. **Зайнятість каналу** оцінюють в «годину пік» в процентному відношенні по формулі

$$Y [\%] = \frac{n_{аб} F_{викл} [1/год] \tau [с]}{36} = \frac{1260 \times 20 \times 100 \times 10^{-3}}{36} = 70\%$$

Зайнятість може бути також виражена в Ерлантах (Ерл). В цьому випадку за 1 Ерл прийнята 100% зайнятість каналу безперервним потоком. Зайнятість менше, ніж 100%, виражається десятковим дробом, наприклад, 30% зайнятості становить 0,3 Ерл.

$$Y [\%] = \frac{n_{аб} F_{викл} \left[\frac{1}{ГОД} \right] \tau [с]}{36} =$$

$$Y[\text{Ерл}] = \frac{n_{викл} \tau_c}{T} = \frac{20 \times 100 \times 10^{-3}}{3600} = 0,000556 \text{Ерл} = 0,0556\%$$

Висновки.

Спроектовано стільникову систему радіозв'язку стандарту LTE-1800. Система має більш високу швидкість, чим попередники, а отже більш висока пропускна здатність з більшою кількістю каналів для однієї BTS і меншою можливістю переривання виклику. Стандарт LTE має велику ємність мережі з високою захищеністю каналу, що важливо для великих міст з високою скупченістю людей. Менша зайнятість каналу зв'язку в час пік в порівнянні з попередниками, наприклад зайнятість каналу для GSM-1800 становить 91%. Система параметрів більш надійна. Розрахована система має стійкі характеристики та забезпечує надійне покриття в швидку передачу даних.

Трафік, що створюється одним джерелом, дорівнює середньому числу одночасних занять протягом однієї години і може бути розрахований за формулою

$$Y[\text{Ерл}] = \frac{n_{викл} \tau_c}{T},$$

де, $n_{викл}$ - кількість викликів за час T .

Література

1. Попов В.И. Основы сотовой связи стандарта GSM / В.И. Попов.- М.: Эко-Трендз,2005 - 296 с.
2. Денбновецький С.В. Електронні системи [Текст] : навч. посіб. / С.В. Денбновецький, О.В. Лецишин.- К.: НТУУ «КПІ», 2011.- С.205-276.
3. LTE [Електронний ресурс].— Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/LTE> —Назва з екрана.
4. Сакалема Д.Ж. Подвижная радиосвязь / Под ред. профессора О.И. Шелухина.-М.: Горячая линия – Телеком, 2015. – 512 с.: ил.