Вінницький національний технічний університет
Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем
Кафедра телекомунікаційних систем та телебачення

Магістерська кваліфікаційна робота

на тему: «ОЦІНЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИНХРОНІЗАЦІЇ НИЗХІДНОГО ПОТОКУ В МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ LTE»

Виконав: студент 2-го курсу, групи ТТК-17м
Арсенюк Д.І.
Керівник: к.т.н., доцент каф. ТКСТБ
Воловик А.Ю.

Вінниця ВНТУ - 2019 рік

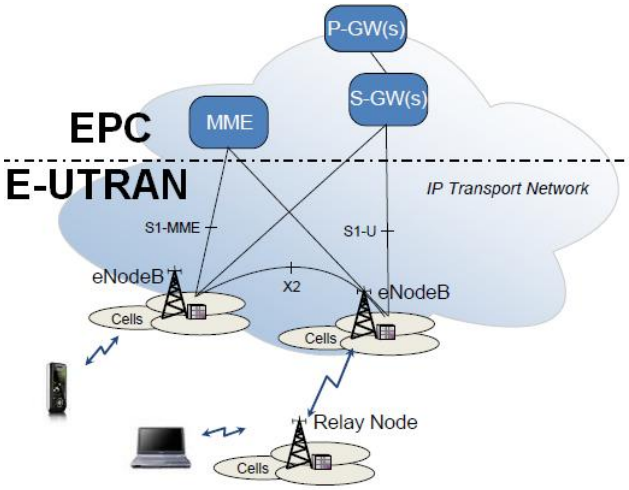
Мета роботи: оцінювання параметрів синхронізації низхідного потоку в мобільних мережах LTE шляхом використання алгоритмів оцінки неузгодженості частоти гетеродинів і оцінки зсуву за часом сигналів синхронізації та дослідження математичних моделей і параметрів сигналу стандарту LTE.

Об’єкт дослідження: процеси перетворення інформаційних сигналів в мобільних мережах радіозв'язку стандарту LTE на базі технології ортогонального частотного поділу каналів.

Предмет дослідження: методи цифрової обробки сигналів частотної та символьної синхронізації в OFDM системах радіозв'язку з заданими параметрами.

Структура базової мережі LTE

а)



б)

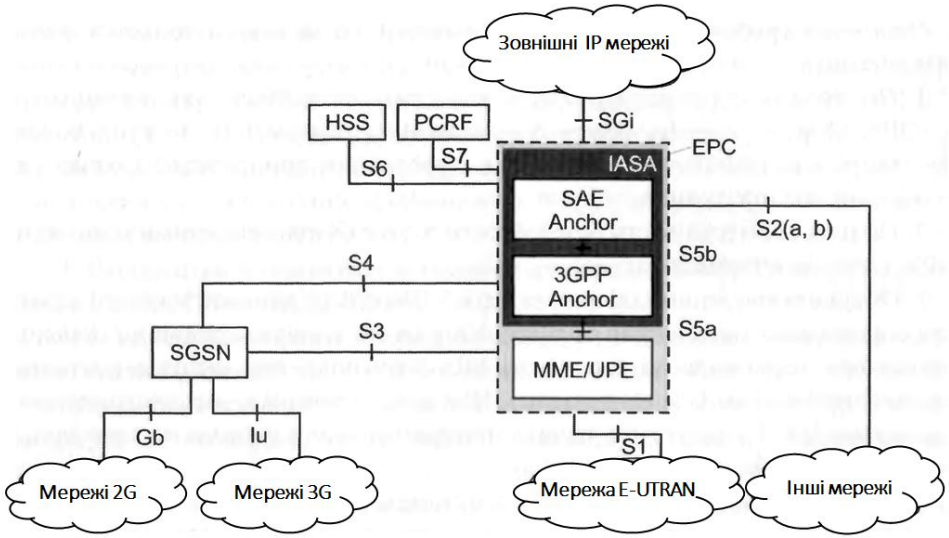
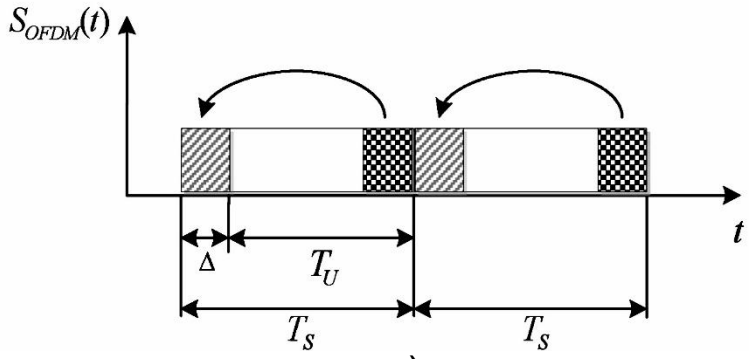


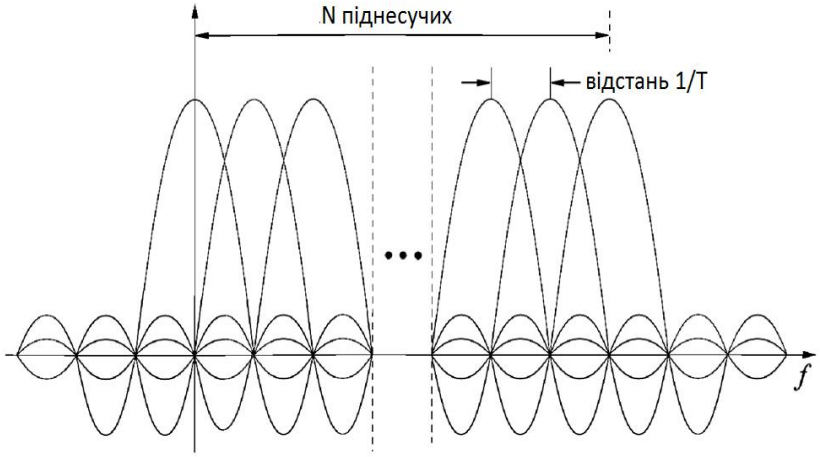
Рисунок 1. Взаємодія мережі радіодоступу E-UTRAN і базової мережі SAE (EPC) (а), еталонна структура базової мережі LTE (б).

Визначення та аналітичне представлення OFDM сигналів

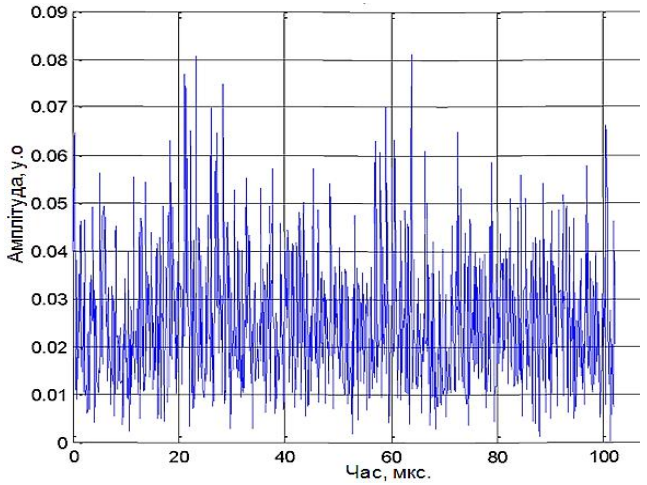
$$s(t) = \sum_{l=-\infty}^{\infty} \sum_{k=-k_1}^{N+k_2} \sum_{n=0}^{N-1} \left\{ C_{nl} e^{j2\pi n \frac{k}{N}} \right\} w\left(t - \frac{k}{f_s} - lT \right) \quad (1)$$



а)



б)

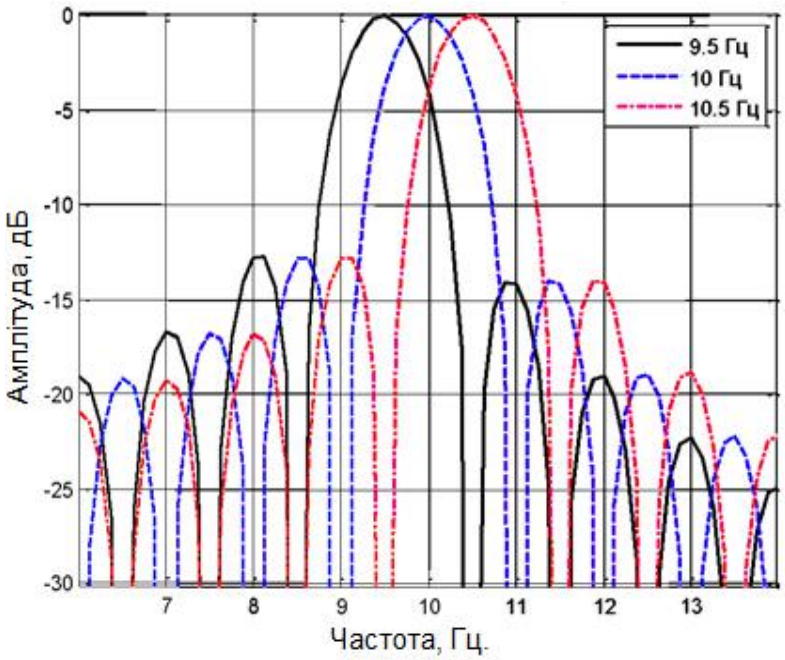


в)

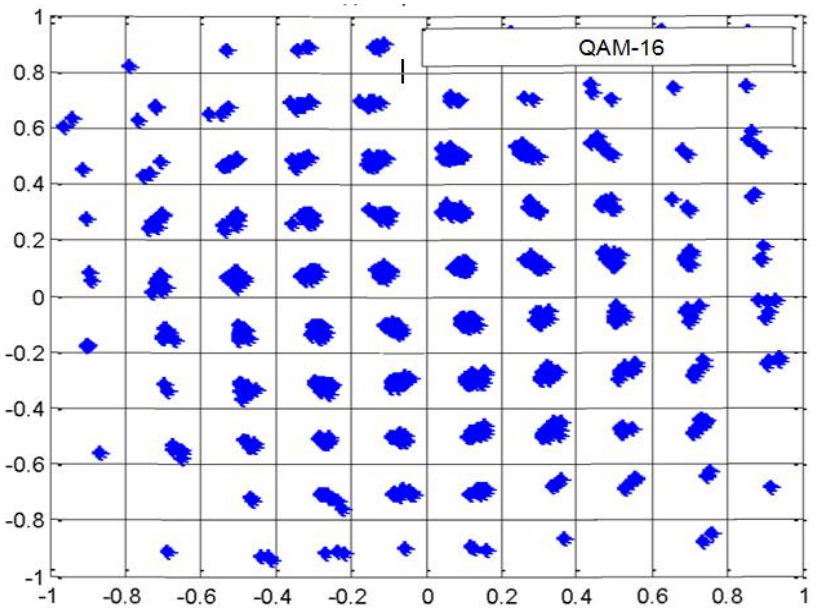
Рисунок 2 - Представлення OFDM сигналів: а) Принцип формування циклічного префіксу; б) Розташування піднесних OFDM сигналу; в) OFDM сигнал в області часу.

Вплив ефекту Допплера на характеристики OFDM сигналу

$$\dot{S}_d(e) = \sum_{k=-N/2}^{N/2-1} \left\{ \dot{C}_k e^{j2\pi\left(\frac{k\Delta f}{\xi_{scale}} + f_c + f_d\right)t} \right\}, \quad (2)$$



а)



б)

Рисунок 3 - Вплив Допплерівського розсіювання на характеристики OFDM сигналу: а) форма спектру прийнятого сигналу; б) викривлення модуляційного сузір'я QAM-16.

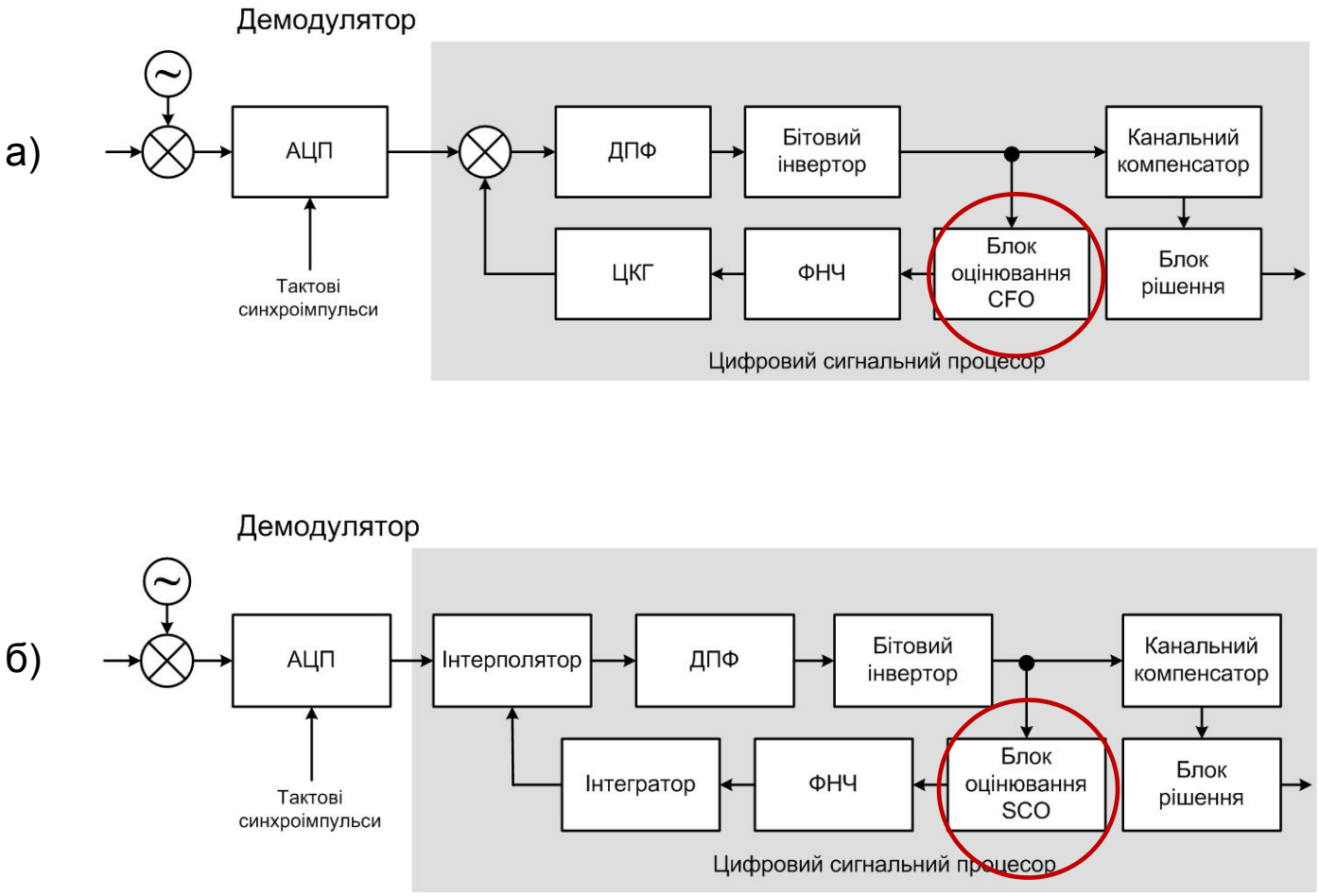


Рисунок 4. Архітектура OFDM демодулятора :
а) з колом фазової синхронізації на основі часового коректору;
б) з інтерполятором для компенсації зсуву тактового інтервалу.

Алгоритми оцінки похибок синхронізації

Алгоритм SCA (SCA - Schmidl and Cox Algorithm)

3)
$$M(d)=\frac{|P(d)|^2}{(R(d))^2},$$

$$P(d)=\sum_{m=0}^{L-1} r_{d+m}r_{d+m+L},\quad R(d)=\sum_{m=0}^{L-1}|r_{d+m+L}|^2$$

Алгоритм Minn

4)
$$\Lambda_{\varepsilon}(d)=\left(\frac{L\cdot|P(d)|^2}{L-1E(d)}\right)^2,$$

$$P(d)=\sum_{k=0}^{L-2} b(k)\cdot\sum_{m=0}^{M-1} r^*(d+kM+m)\cdot r\left(d+(k+1)M+m\right),$$

$$E(d)=\sum_{i=0}^{M-1}|r(d+kM+i)|^2,\quad b(k)=p(k)\,p(k+1),k=0,1\ldots,L-2$$

Алгоритм Choi

5)
$$M_{Pr}(d)=\frac{|P(d)|^2}{(R_2(d))^2},$$

$$P_2(d)=\sum_{k=0}^{N/2-1} r(d-k)\cdot r(d+k+1),\quad R_2(d)=\sum_{k=0}^{N-1}|r(d+k-N/2)|^2;$$

Послідовний алгоритм

6)

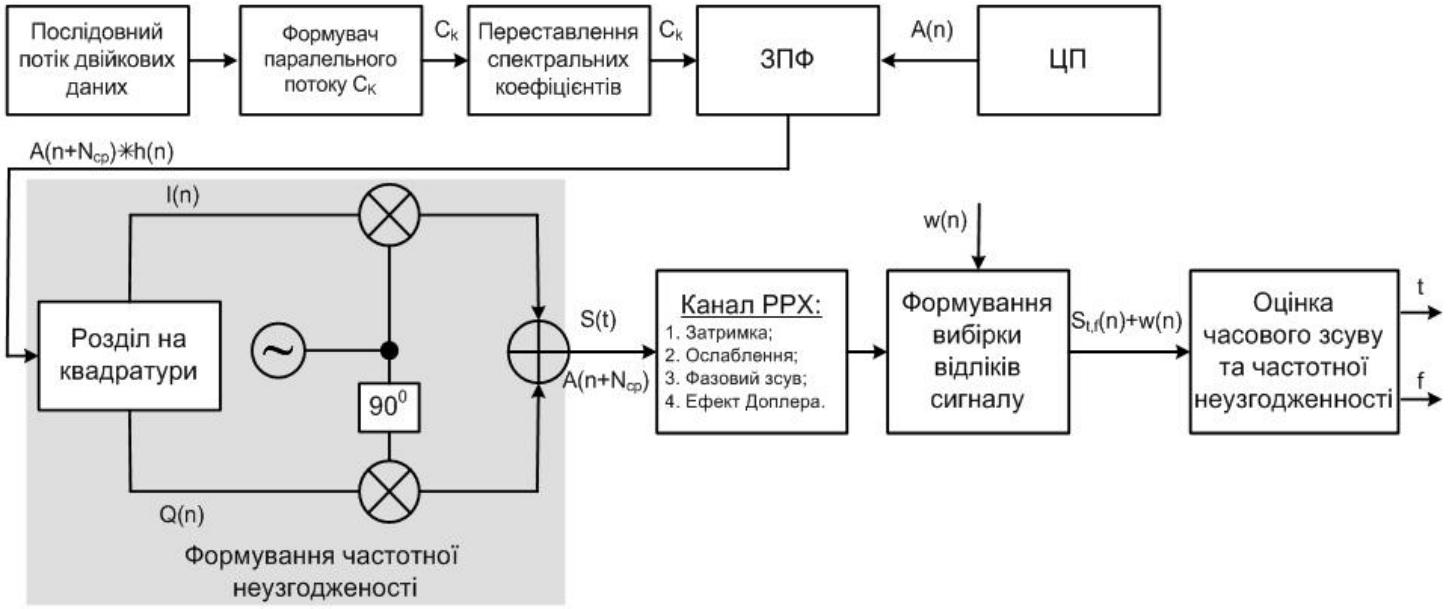
$$\dot{R}_{S1,S2}(n) = ЗШПФ\left(\dot{S}_{1w}(k)\cdot\dot{S}_{2w}(k)\right) \quad k = 0,\ldots,N,$$

$$\tilde{\tau}_1 = \frac{\max\left(P(m)\right) - \frac{M}{2}}{M} \quad m = 0,\ldots,M-1,$$

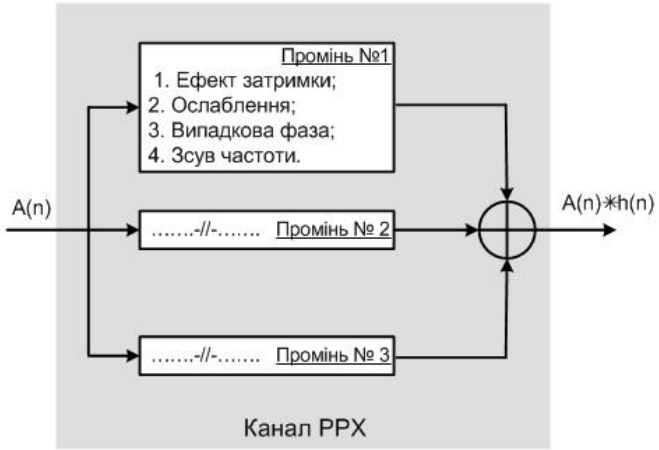
Алгоритм Wei Xu

7) $$R_r(\varepsilon, r) = \frac{1}{N - N/r}\sum_{m=0}^{N-1-N/r} y(n+N/r)\,y^*(n) = \sum_{m=0}^{L-1}\left|h(m)\right|^2 \exp\left(\frac{j\pi\varepsilon}{r}\right),$$

а)



б)

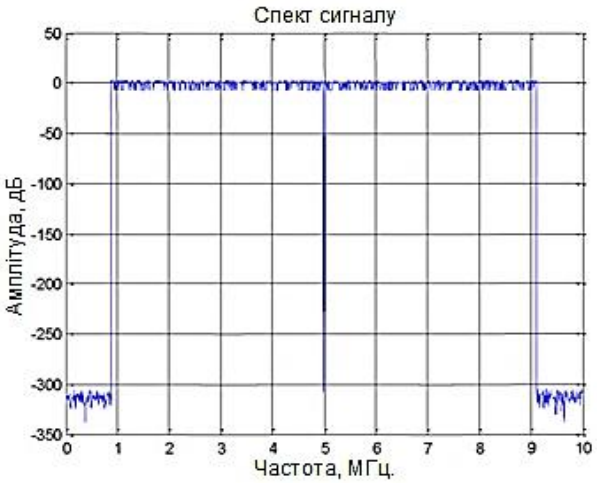


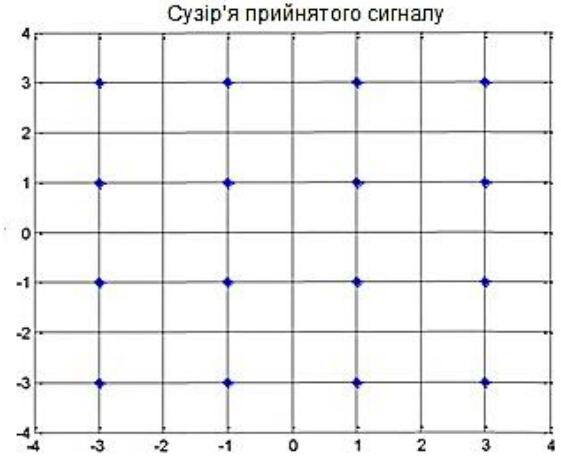
$$\dot{S}(n)=\sum_{i=1}^{N_r}\sum_{k=1}^{N}\left[A_i\cdot\dot{C}_k\exp\left(\frac{j\pi k\Delta f\left(n+n_{ri}\right)}{N-1}\right)\right]+\dot{w}(n), \qquad (8)$$

Рисунок 5. Структурна схема цифрової моделі (а); блок реалізації каналу РРХ (б)

Оцінка часового зсуву сигналу синхронізації *(sampling clock offset)*

(а)





(б)

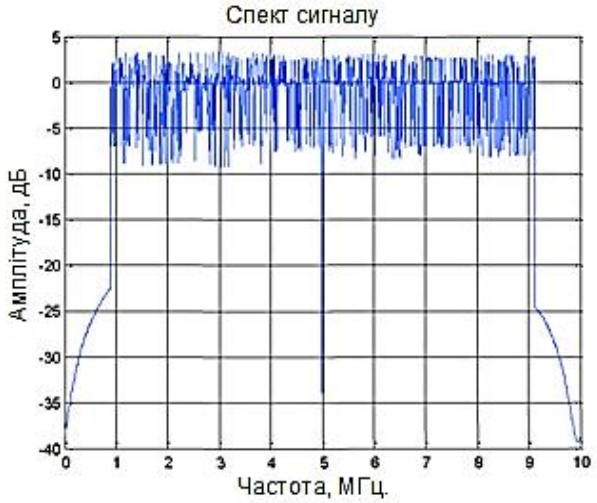
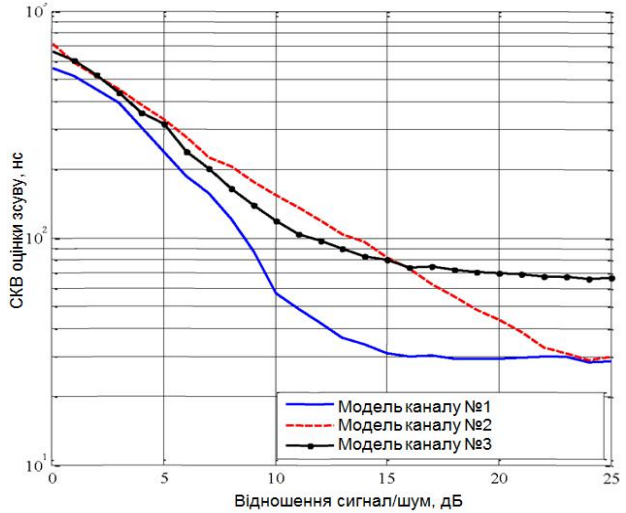


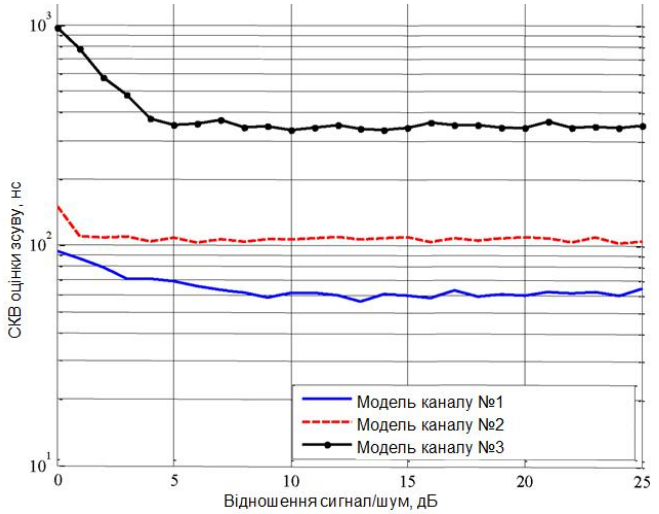
Рисунок 6. Вплив часового зсуву на спектр та сигнальне сузір'я OFDM сигналу:
а) без зсуву по часу; б) зміщеного на п'ять відліків дискретизації.

Оцінка часового зсуву сигналу синхронізації *(sampling clock offset)*

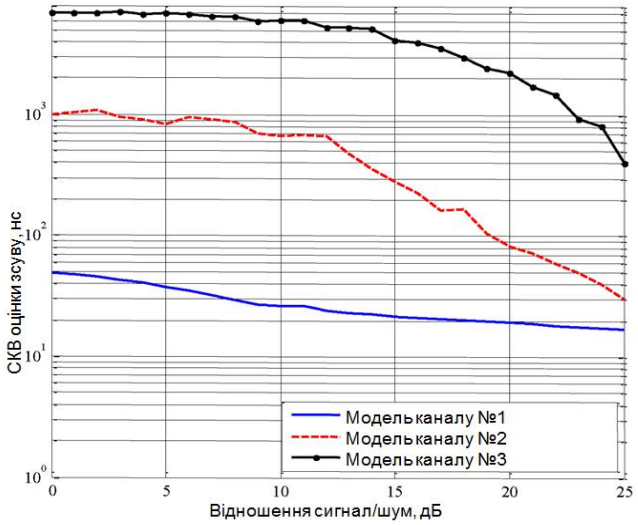
(а)



(в)



(б)



(г)

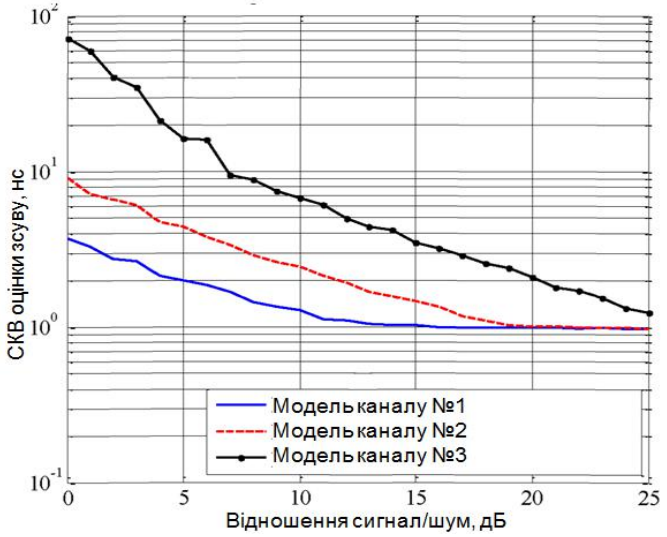
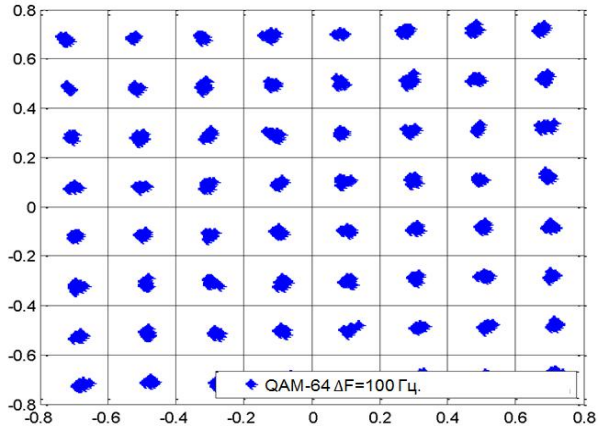


Рисунок 7. Зіставлення залежностей СКВ помилки оцінки зсуву за часом від ВСШ:
а) алгоритм SCA ; б) алгоритм Minn ;
в) алгоритм Choi; г) послідовний алгоритм.

Оцінка неузгодженості несучої частоти *(carrier frequency offset)*

(а)



(б)

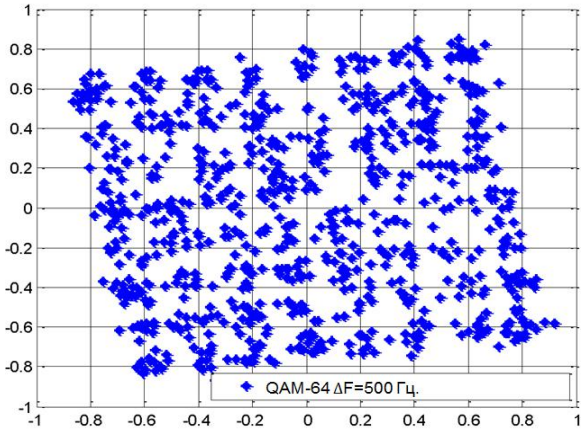
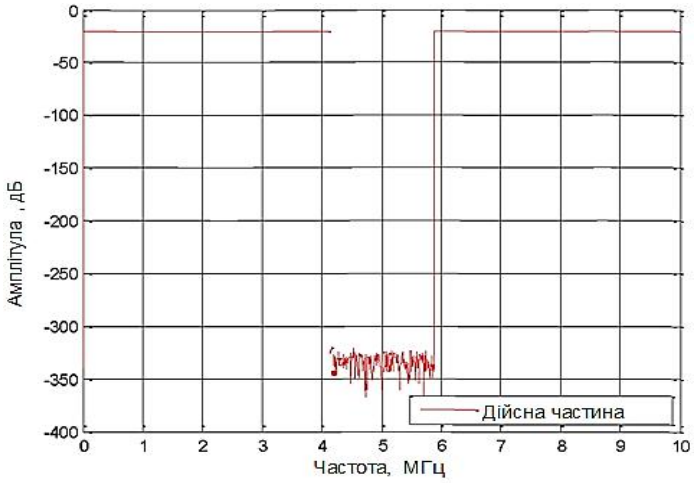


Рисунок 8. Вплив частотної неузгодженості на сигнальне сузір'я OFDM сигналу:
а) $\Delta F=100$ Гц ; б) $\Delta F=500$ Гц.

(а)



(б)

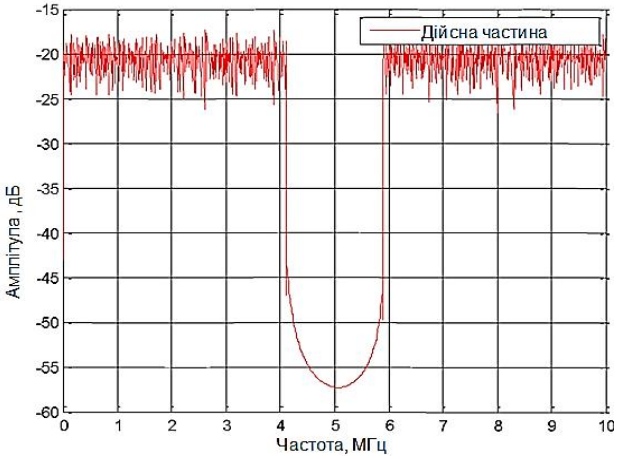
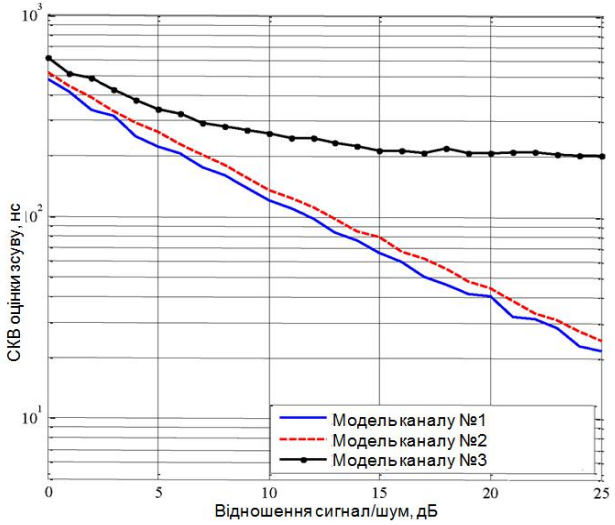


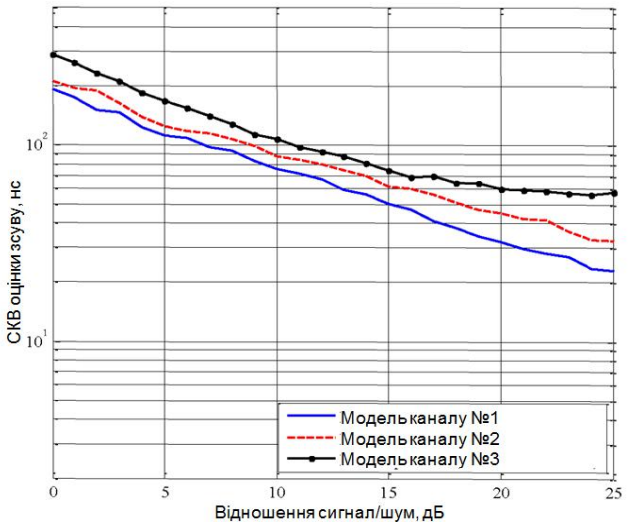
Рисунок 9. Вплив частотної неузгодженості на спектр OFDM сигналу:
а) ідеальний сигнал; б) при $\Delta F=1000$ Гц.

Оцінка неузгодженості частоти несучої *(carrier frequency offset)*

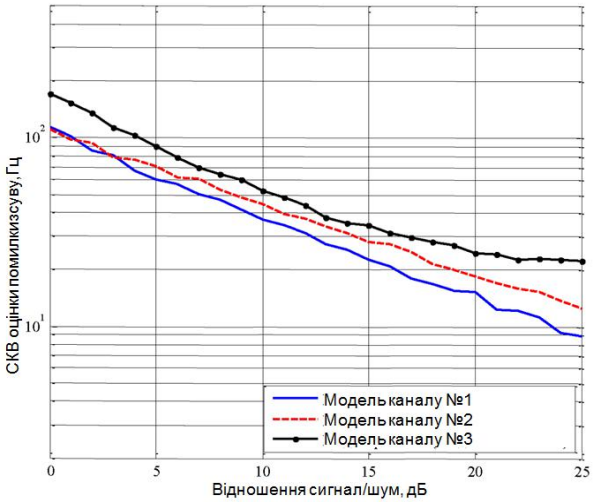
(а)



(в)



(б)



(г)

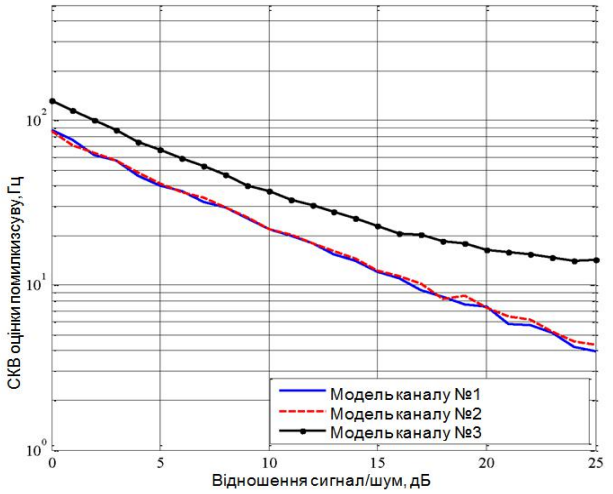


Рисунок 10. Зіставлення залежностей СКВ помилки оцінки зсуву за часом від ВСШ:
а) алгоритм SCA ; б) алгоритм Minn ;
в) алгоритм WeiXu ; г) послідовний алгоритм.

Порівняльний аналіз результатів моделювання

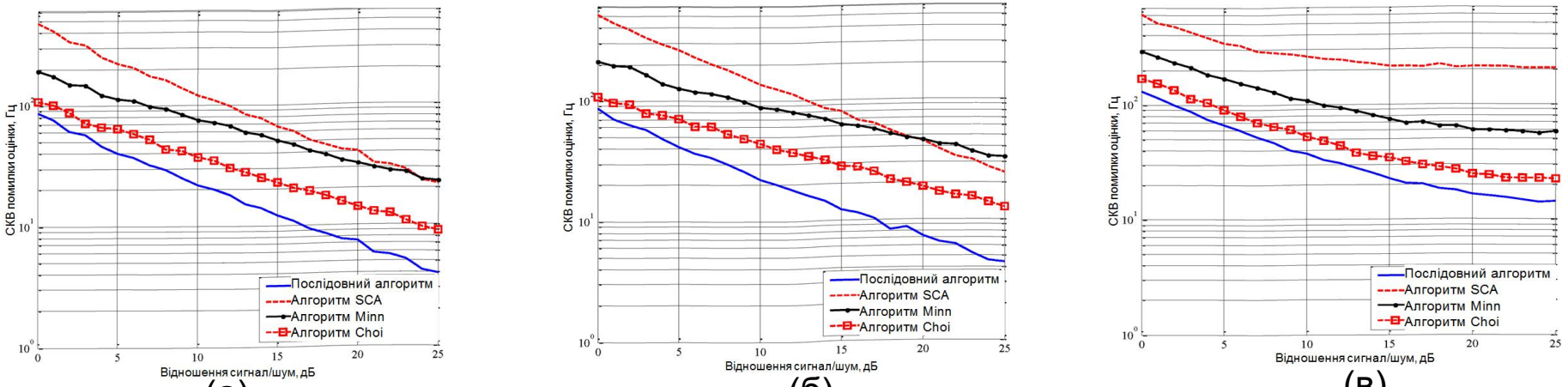


Рисунок 11. Зіставлені залежності СКВ помилки оцінки неузгодженості частоти від ВСШ для розглянутих алгоритмів: а) модель каналу РРХ №1); б) модель каналу РРХ №2; в) модель каналу РРХ №3.

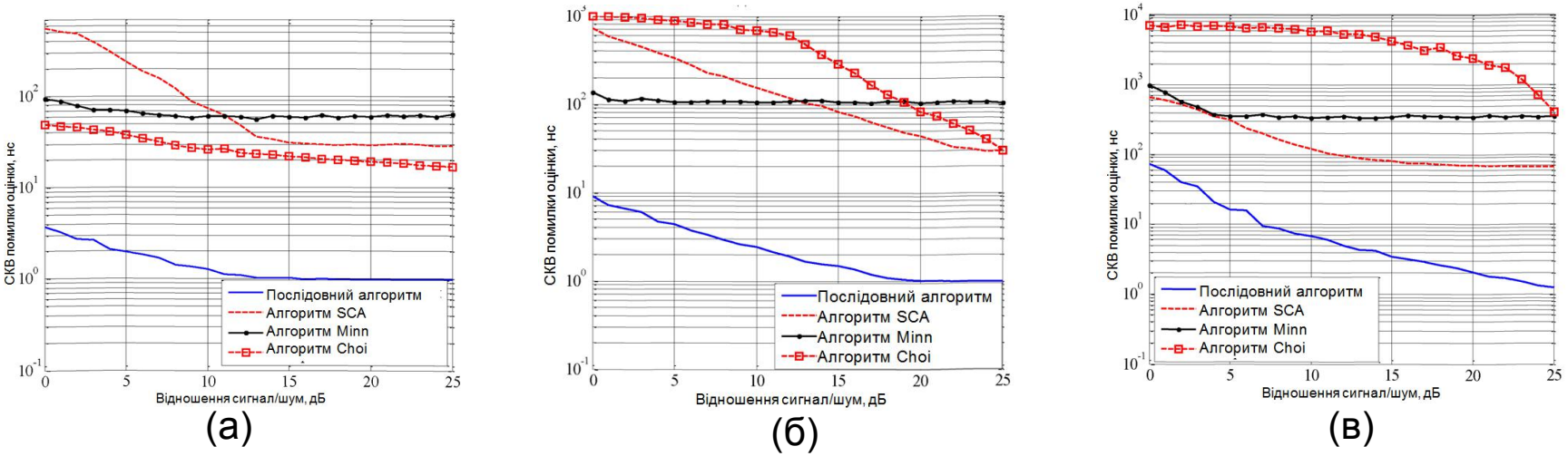


Рисунок 12. Зіставлені залежності СКВ помилки оцінки зсуву за часом від ВСШ для розглянутих алгоритмів: а) модель каналу РРХ №1); б) модель каналу РРХ №2; в) модель каналу РРХ №3.

Результати роботи

1. Досліджені основні алгоритми оцінки часового зсуву прийнятого сигналу низхідного потоку мобільної мережі LTE. Алгоритми, що використовують односигнальну конструкцію СС, не дозволяють отримати помилку оцінки менш тривалості відліку дискретизації в діапазоні ВСШ від 0 дБ до 10 дБ. Розглянутий послідовний алгоритм дозволяє зменшити СКВ помилки оцінки більш ніж у два рази;
2. При досліджені алгоритмів оцінки частотної неузгодженості виявлено, що односигнальні алгоритми застосовують додаткову обробку отриманого значення оцінки для уточнення результату, а це у свою чергу ускладнює їхню реалізацію і приводить до додаткових затримок у системі. Послідовний алгоритм звільнений від цього і дозволяє зменшити СКВ помилки оцінки не менш, чим на 30% стосовно найбільш точних з розглянутих аналогічних алгоритмів;
3. Порівняльний аналіз значень СКВ помилок оцінки часового зсуву та неузгодженості частоти показує, що двохсигнальна конструкція СС дозволяє отримати прийнятне значення оцінок у діапазоні ВСШ від 0 дБ до 25 дБ, у випадку, якщо час когерентності такого каналу перевищує тривалість сигналу синхронізації;
4. Розроблена імітаційна модель фізичного рівня стандарту LTE у середовищі MATLAB/Simulink, наведені структурні схеми з описом призначення блоків і можливостей моделі;

ДОПОВІДЬ ЗАВЕРШЕНО,

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ