



ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

## Бакалаврська робота на тему «Підвищення показників якості мереж мобільного зв'язку четвертого покоління»

Виконав: студент групи ТСЗ-52

Гудима Д.О.

Керівник: д.т.н., професор,

Завідувач кафедри

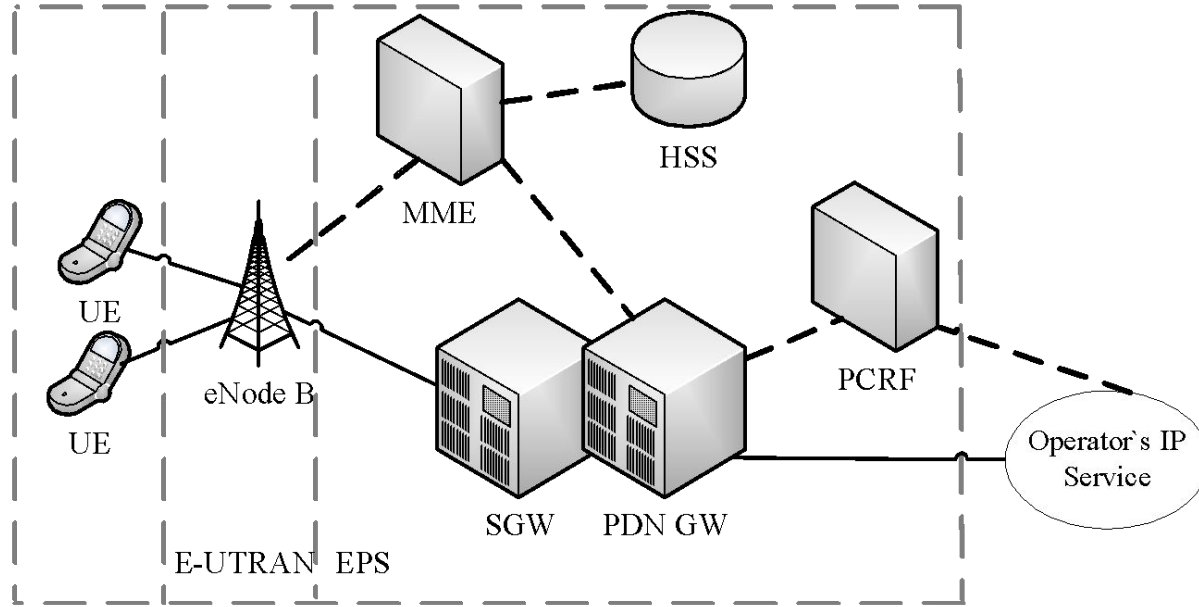
телекомунікаційних систем та мереж

Заїка В.Ф.

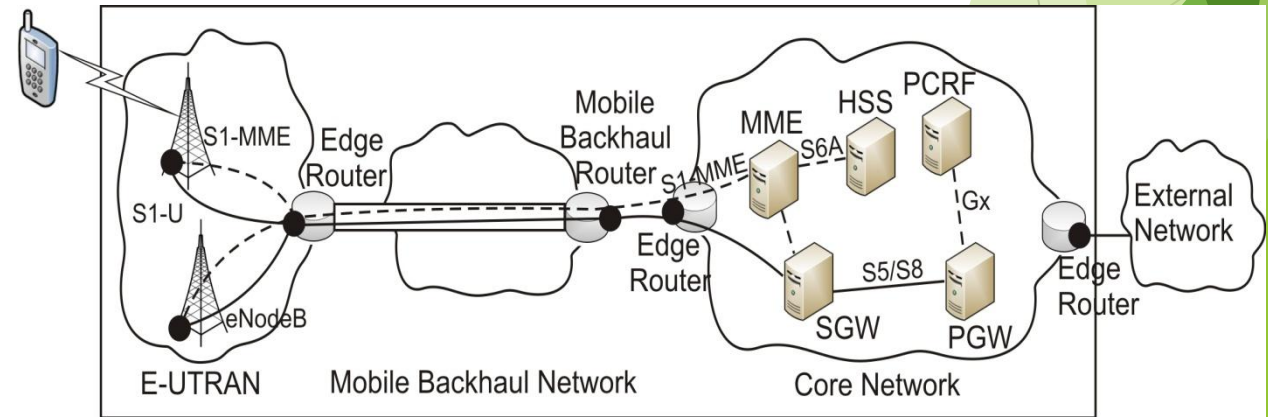
# Мета роботи

- ▶ *Об'єкт дослідження* - процес функціонування мережі LTE.
- ▶ *Предмет дослідження* - мережа безпроводового зв'язку, побудована за технологією LTE.
- ▶ *Мета роботи* - дослідження методів скорочення часу обробки пакетів при диспетчеризації ресурсів планувальника кадрів мережі LTE.
- ▶ *Методи дослідження* - теорія електрозв'язку, теорія масового обслуговування, теорія імовірності і математична статистики, комп'ютерне імітаційне моделювання.

# Архітектура мережі LTE



В архітектурі SAE передбачені механізми вибору найбільш зручної мережі передачі даних для надання абоненту необхідних послуг. При цьому мобільні термінали вибирають, за наявності декількох мереж, передачу трафіку по дозволеній користувачем мережі Wi-Fi, що зазвичай супроводжується перемиканням з однієї технології на іншу і відповідно передачею даних про користувача між мережами.



# Способи підвищення середньодобової пропускної здатності



Третій спосіб - диференційоване обслуговування абонентів, тобто поділ абонентів на категорії, при якому деякі обслуговуються з підвищеною якістю.

Четвертий спосіб, а саме, зниження непродуктивних витрат за рахунок відмови від попереднього резервування каналів, полягає в тому, що можна знизити непродуктивні витрати мережі за рахунок відмови від попереднього резервування ресурсів.

Перший спосіб заснований на тому факті, що в стаціонарних телефонних мережах ГНН для різних категорій користувачів не збігається. Тому в цих мережах часто застосовують включення в одну АТС користувачів різних категорій. При проектуванні мобільних мереж розподіл користувачів на категорії не проводиться.

Другий спосіб застосовується в мережах з погодинною оплатою, для вирівнювання коефіцієнта концентрації застосовується другий спосіб - пільгові тарифи.

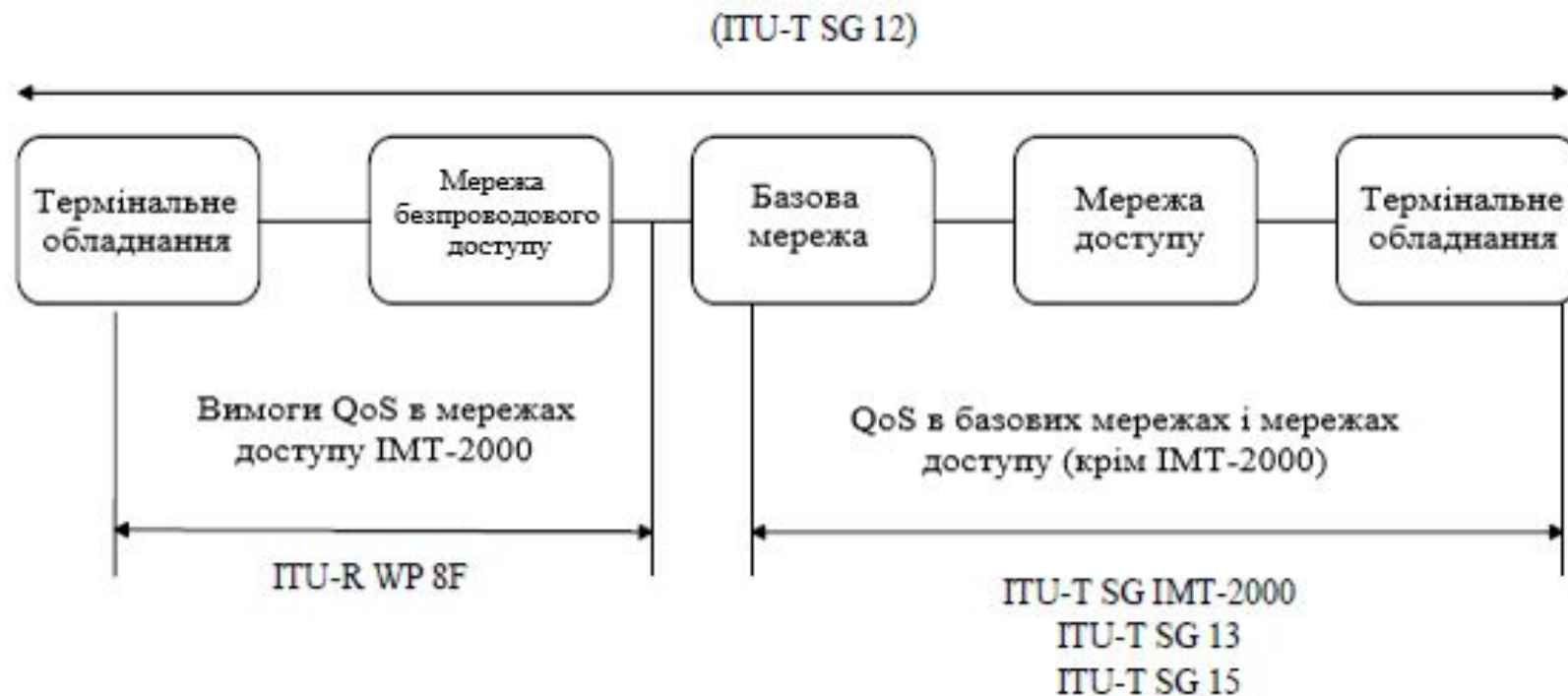
П'ятий спосіб оперативного управління мережею застосовується для боротьби з перевантаженнями, які різко знижують пропускну здатність мережі. При цьому застосовуються методи оперативного управління мережею.

# Діяльність Міжнародного союзу електрозв'язку (ITU) в області стандартизації вимог до якості

## обслуговування

- ▶ **G1000** - «Якість обслуговування для зв'язку: структура та визначення термінів».
- ▶ **G1010** - «Категорії якості послуг мультимедіа для кінцевого користувача».
- ▶ **E.800** - «Умови та визначення, що стосуються якості послуг і роботи мереж, включаючи їх надійність».
- ▶ **E.801** - «Структура угоди про якість обслуговування».
- ▶ **E.860** - «Структура угоди про рівень обслуговування».
- ▶ **E.430** - «Аспекти оцінки якості обслуговування».
- ▶ **I.350** - «Загальні аспекти якості послуг і робочих характеристик цифрових мереж».
- ▶ **J.163** - «Динамічний QoS для послуг, що надаються в режимі реального часу в кабельних телевізійних мережах з використанням кабельних модемів».
- ▶ **X.140** - «Загальні параметри якості послуг зв'язку стосовно до мереж передачі даних загального користування».
- ▶ **X.146** - «Норми на робочі характеристики і класи якості послуг для служб з ретрансляцією кадрів».
- ▶ **Y.1514** - «Параметри роботи мереж для надання послуг зв'язку».
- ▶ **Y.1540** - «Параметри якості перенесення IP-пакетів і надійності».
- ▶ **Y.1541** - «Норми на мережеві робочі характеристики для служб на основі протоколу IP».

# Вимоги до QoS в ланцюжку «кінцевий користувач - мережа - кінцевий користувач»



# Якісні показники і їх забезпечення в мережах LTE

Як і в UMTS, в мережах LTE доставку послуг здійснюють за наскрізними каналами (bearer) з необхідними якісними характеристиками (QoS - Quality of Service). Найважливішими з них є:

- ▶ класи трафіку,
- ▶ пріоритети,
- ▶ надійність,
- ▶ затримки,
- ▶ швидкості передачі.

Залежно від вимог QoS всі види послуг, що надаються, поділені на 9 класів і кожному класу присвоєно ідентифікатор QCI (QoS Class Identifier). У свою чергу наскрізні канали, що організовуються для передачі трафіку, поділені на 2 групи в залежності від типу ресурсу, що виділяється:

- з гарантованою швидкістю передачі GBR (Guaranteed Bit Rate),
- з негарантованою швидкістю передачі Non-GBR.

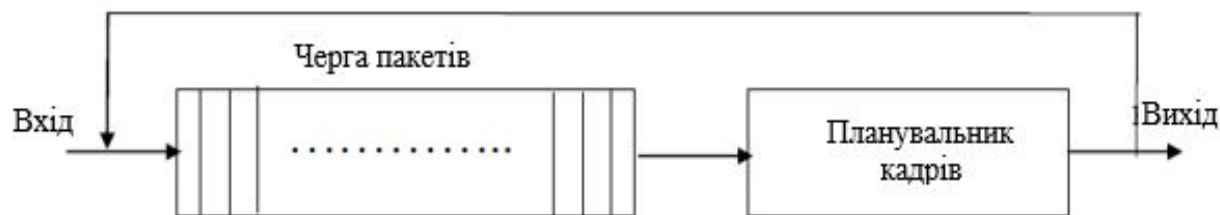


# Вимоги до якісних показників передачі

QCI	Тип ресурсу	Приоритет	Затримка, мс	PERL	Приклади послуг
1		2	100	$10^{-2}$	Телефонія в реальному часі
2	GBR	4	150	$10^{-2}$	Відеотелефонія, відео в реальному часі
3		6	50	$10^{-3}$	Ігри відео в реальному часі
4		5	300	$10^{-6}$	Відео з буферизацією
5		1	100	$10^{-6}$	Сигналізація (IMS)
6		6	300	$10^{-6}$	Відео з буферизацією, TCP/IP
7	Non-GBR	7	100	$10^{-3}$	Аудіо, відео в реальному часі, інтерактивні ігри
8		8	300	$10^{-6}$	Відео з буферизацією, TCP/IP



# Модель планування кадрів у вигляді системи масового обслуговування



Основні імовірнісні характеристики для СМО з пуассонівським потоком:

- функція розподілу:  $F(t) = P(T \leq t) = 1 - e^{-\lambda t}$ ;
- щільність розподілу:  $p(t) = \lambda e^{-\lambda t}$ ;
- математичне сподівання часу між заявками:  $m = \frac{1}{\lambda} = t_{\text{пост}}$ ;
- дисперсія (СКВ):  $\sigma^2 = 1/\lambda^2$ ; СКВ =  $\sqrt{\sigma^2} = 1/\lambda$
- імовірність того, що в СМО обслуговується  $k$  заявок:

$$P_k = \frac{P_0}{k!} \rho^k, \text{ де } P_0 = \left( \sum_{k=0}^n \frac{\rho^k}{k!} \right)^{-1}, \rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{t_{\text{об}}}{t_{\text{пост}}}.$$

Імовірність відмови в обслуговуванні заявок:

$$P_{\text{відм}} = P_n = \frac{\rho^n}{n!} P_0 = \frac{\rho^n}{n!} \left( \sum_{k=0}^n \frac{\rho^k}{k!} \right)^{-1}.$$

Середня кількість зайнятих каналів

обслуговування:

$$m_k = M[k] = \sum_{k=1}^n \frac{\rho^k}{(k-1)!} P_0.$$

Імовірність заняття всіх  $k$  каналів:

$$P_k = \frac{\rho^k}{k!} P_0, 0 < k \leq n.$$

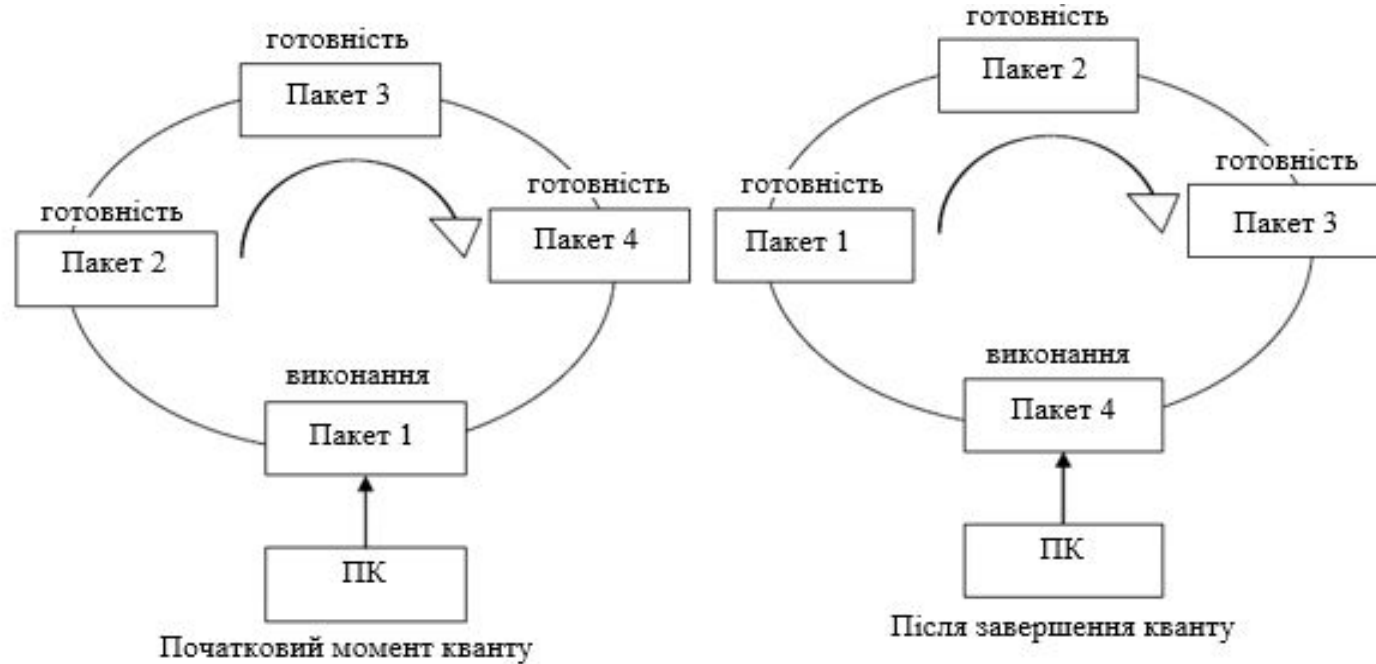
Імовірність заняття всіх  $k$  каналів і  $s$  заявок в черзі:

$$P_{n+s} = \frac{\rho^{n+s}}{n!} P_0 \left[ \prod_{m=1}^s (n + m\beta) \right]^{-1}, s \geq 1, \beta = t_{\text{об}}/t_{\text{оч}}$$

Імовірність того, що планувальник вільний:

$$P_0 = \left[ \sum_{k=0}^n \frac{\rho^k}{k!} + \frac{\rho^n}{n!} \sum_{s=1}^{\infty} \frac{\rho^s}{\prod_{m=1}^s (n+m\beta)} \right]^{-1}.$$

# Процес планування кадру алгоритмом RR

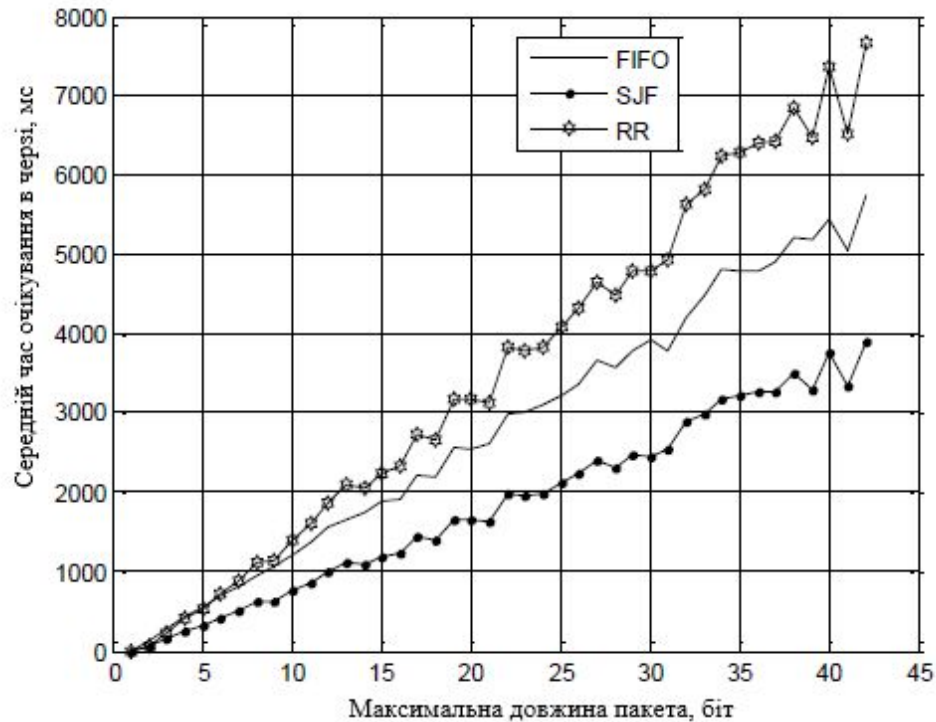


Планувальник вибирає для чергового виконання пакет, розташований на початку черги, і встановлює таймер для генерації переривання після закінчення певного кванта часу.

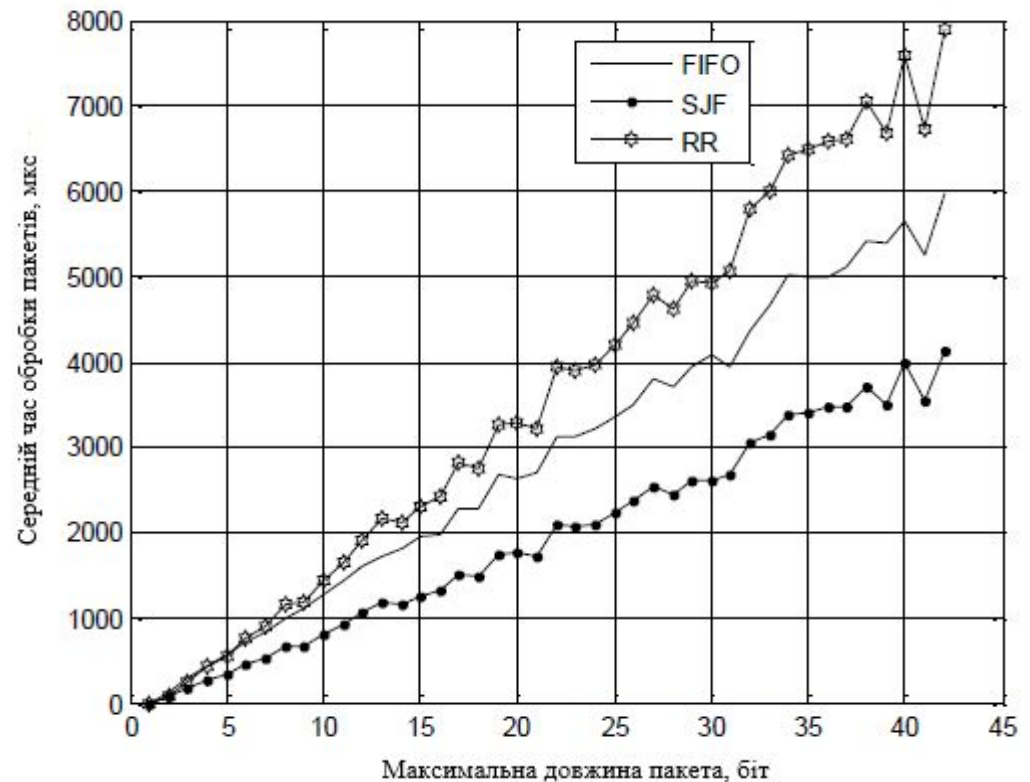
При виконанні процесу обробки пакета можливі два варіанти:

- 1) час, необхідний процесу обробки пакета (залишок тривалості пакета), менше або дорівнює тривалості кванта часу. Тоді пакет поміщається в кадр до закінчення кванта часу, на обслуговування надходить новий пакет з початку черги;
- 2) тривалість залишку тривалості пакета більше, ніж квант часу. Тоді після закінчення цього кванта процес обробки пакета переривається і поміщається в кінець черги пакетів, готових до обробки, а ПК виділяє час для обробки пакета, що перебуває в її початку.

# Дослідження ефективності функціонування планувальника кадру для з'єднань

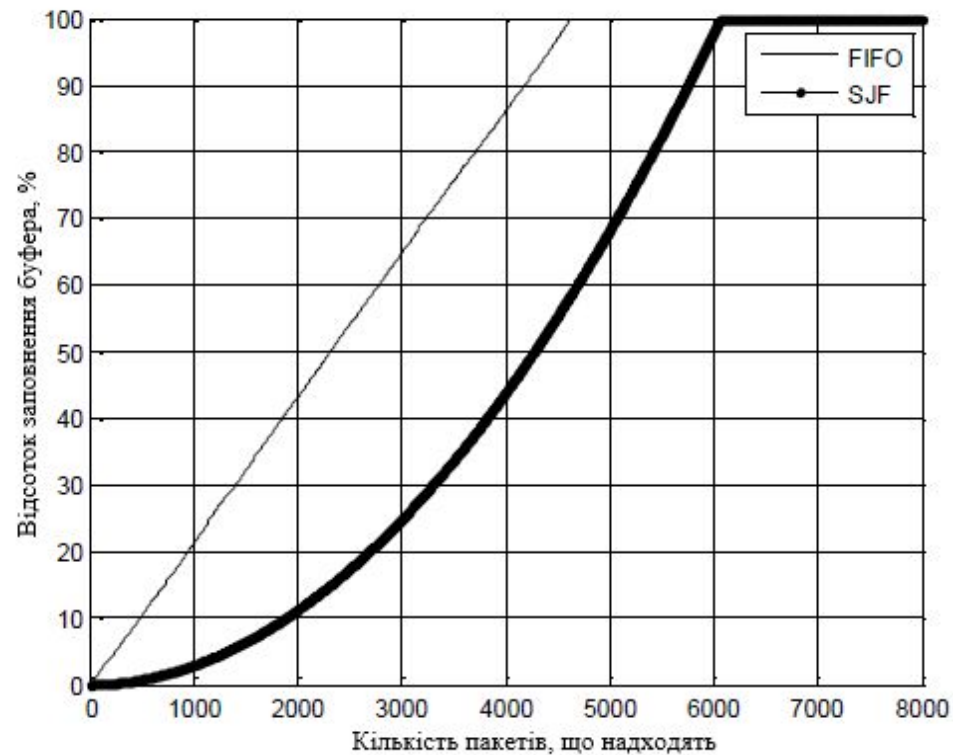


Залежність середнього часу очікування в черзі від максимальної довжини пакетів

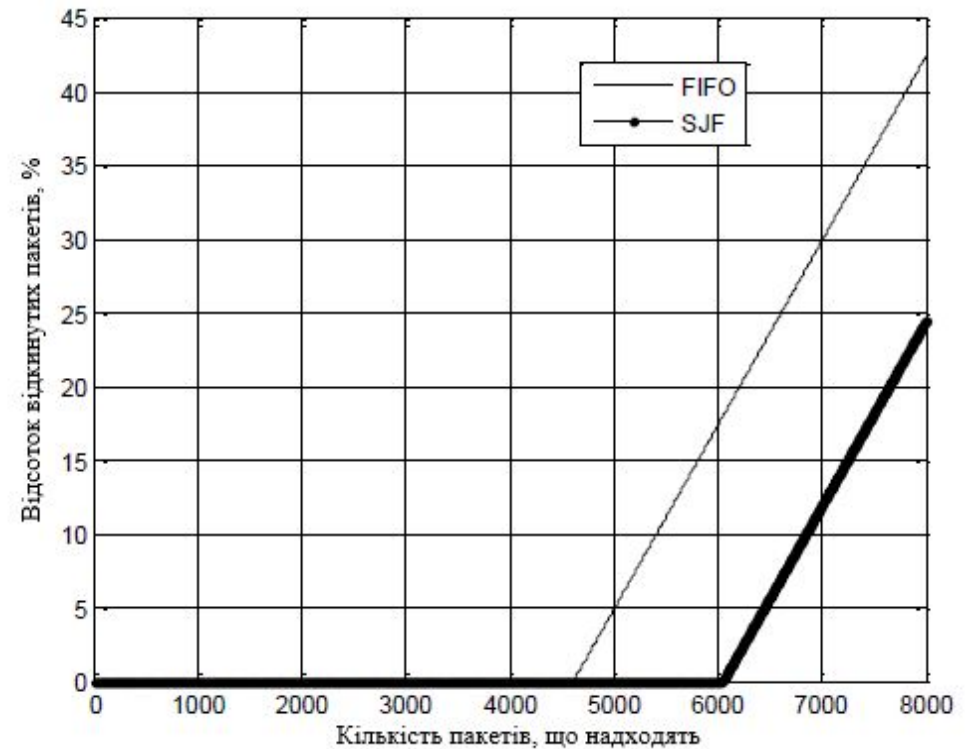


Залежність середнього часу обробки пакетів від максимальної довжини пакетів

# Дослідження ефективності функціонування планувальника кадру для з'єднань



Залежність заповнення буфера даними від кількості вступників пакетів



Залежність відсотка відкинутих пакетів від кількості пакетів, що надходять в чергу

# Висновки

- ▶ В роботі досліджено архітектуру мережі LTE з інфраструктурою SAE та структуру цієї мережі на рівні користувача. Досліджено способи підвищення середньодобової пропускної здатності. Розглянуто якісні показники і їх забезпечення в мережах LTE. Досліджено модель планування кадрів у вигляді системи масового обслуговування та процес планування кадрів різними алгоритмами.
- ▶ Проаналізовані різні типи стандартизації для забезпечення QoS в бездротових мережах, висунуті органами по стандартизації (наприклад, MCE, ETSI і IEEE). Розглянуто підтримку QoS в мережах UMTS і LTE.
- ▶ Досліджено алгоритми планування, які входять до складу підсистеми забезпечення якості обслуговування в мережах LTE. Проведено дослідження ефективності алгоритмів планування кадру за методом FIFO, SJF і RR.
- ▶ Аналіз показав, що при невеликих довжинах пакетів від 1 до 10 біт середній час очікування в черзі для алгоритмів RR і FIFO приблизно однаковий. У цьому діапазоні зміни довжин пакетів алгоритм SJF по ефективності на третину перевищує алгоритми RR і FIFO. Зі збільшенням довжин пакетів середній час очікування в черзі зростає швидше для алгоритму RR, для алгоритму FIFO зростання часу очікування в черзі трохи нижче. Самий мінімальний ріст часу очікування в черзі має алгоритм SJF. Так при довжині пакетів 30 біт виграш алгоритму FIFO щодо RR становить 18%, а алгоритму SJF щодо RR становить 45%. При довжині пакетів 40 біт виграш алгоритму FIFO щодо RR становить 27%, а алгоритму SJF щодо RR становить 50%.
- ▶ Отримані залежності середнього часу обробки пакетів від максимальної довжини пакетів. Аналіз показав, що і за цим показником помітний виграш дає алгоритм SJF. Щодо RR цей виграш становить 48%. Щодо FIFO - 32%.
- ▶ Проведено експеримент з обмеженим обсягом буфера черги  $M=150000$  біт. Заповнення буфера даними для алгоритму FIFO відбувається інтенсивніше, ніж для алгоритму SJF. Так для алгоритму FIFO буфер повністю заповнений при кількості пакетів, що надходять, рівній 4600 а для алгоритму SJF при кількості пакетів, що надходять, рівній 6000. Таким чином, при використанні алгоритму SJF з'являється можливість обробити на 1400 пакетів більше. Кількість відкинутих пакетів алгоритмом SJF на 17,5% менше, ніж алгоритмом FIFO.
- ▶ Отримано залежність відсотка відкинутих пакетів від кількості пакетів, що надходять в чергу  $N$  для алгоритму FIFO і алгоритму SJF. Аналіз показав, що за процентним відношенню відкинутих пакетів кращі показники має алгоритм SJF. Таким чином, для подальшого поліпшення якості та ефективності передачі даних в мережах LTE рекомендується алгоритм SJF.

**ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!**