

РАДИОЕЛЕКТРОНИКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

РАДИОЕЛЕКТРОНИКА ТА ТЕЛЕКОММУНІКАЦІЇ

RADIO ELECTRONICS AND TELECOMMUNICATIONS

УДК 621.396.677.49

Коляденко Ю. Ю.¹, Алали А. М.²

¹Д-р техн. наук, професор, професор кафедри телекомунікаційних систем, Харківський національний
університет радіоелектроніки, Харків, Україна

²Аспірант кафедри телекомунікаційних систем, Харківський національний університет радіоелектроніки,
Харків, Україна

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМОВ ПЛАНИРОВАНИЯ ПЕРЕДАЧИ КАДРА В СЕТЯХ LTE

В статье исследованы алгоритмы планирования, которые входят в состав подсистемы обеспечения качества обслуживания в сетях LTE. Проведены исследования эффективности алгоритмов планирования кадра по методам FIFO, SJF и RR. Сравнение проводилось по таким параметрам, как среднее время ожидания в очереди, среднее время обработки пакета, заполнение буфера данными и количество отброшенных пакетов.

Анализ показал, что при небольших длинах пакетов среднее время ожидания в очереди для алгоритмов RR и FIFO приблизительно одинаково, а алгоритм SJF по эффективности на треть превосходит алгоритмы RR и FIFO. С увеличением длин пакетов среднее время ожидания в очереди растет быстрее для алгоритма RR, для алгоритма FIFO рост времени ожидания в очереди несколько ниже. Самый минимальный рост времени ожидания в очереди имеет алгоритм SJF.

Получены зависимости среднего времени обработки пакетов от максимальной длины пакетов. Анализ показал, что и по этому показателю заметный выигрыш дает алгоритм SJF.

Проведен эксперимент с ограниченным объемом буфера очереди. Анализ показал, что заполнение буфера данными для алгоритма FIFO происходит интенсивнее, чем для алгоритма SJF. По процентному отношению отброшенных пакетов лучшие показатели имеет алгоритм SJF. Таким образом, для дальнейшего улучшения качества и эффективности передачи данных в сетях LTE рекомендуется алгоритм SJF, который дает выигрыш от 18% до 50%.

Ключевые слова: алгоритмы планирования кадра, сеть LTE.

НОМЕНКЛАТУРА

BE – Best Effort;
DL – нисходящее направление;
FIFO – первым пришел, первым вышел;
FDD – дуплексный разнос в частотной области;
MAC – Media Access Control;
nrtPS – Non-real-time Polling Service;
OFDM – мультиплексирование с ортогональным частотным разделением;
QoS – качество обслуживания;
RR – Round Robin;
rtPS – Real-time Polling Service;
SJF – Shortest-Job-First;
TDD – дуплексный разнос во временной области;
UGS – Unsolicited Grant Service;
UL – восходящее направление;
AC – абонентская станция;
BS – базовая станция;

ПК – планировщик кадров;
СКО – среднеквадратическое отклонение;
СМО – система массового обслуживания;
 τ – промежуток времени, в котором генерируется k заявок;
 k – число заявок;
 $p(k, \tau)$ – вероятность генерирования k заявок в промежутке времени τ ;
 λ – интенсивность потока в единицу времени;
 μ – интенсивность обслуживания;
 $F(t)$ – функция распределения;
 $p(t)$ – плотность распределения;
 m – математическое ожидание времени между заявками;
 σ^2 – дисперсия;
 P_k – вероятность того, что в СМО обслуживается k заявок;

$m_{оч}$ – средний размер очереди;
 $P_{отк}$ – вероятность отказа в обслуживании заявок;
 m_k – среднее число занятых каналов обслуживания;
 $P_{зк}$ – вероятность занятия всех k каналов;
 P_{n+s} – вероятность занятия всех k каналов и s заявок в очереди;
 $t_{ож}$ – среднее время ожидания в очереди;
 t_{oi} – время ожидания i -го пакета в очереди;
 P_0 – вероятность того, что планировщик свободен;
 P_n – вероятность того, что пакет-заявка покинет систему не обслуженной;
 N – число пакетов в очереди;
 $t_{об}$ – среднее время обработки пакета;
 t_{obi} – время обработки i -го пакета;
 m_s – средняя длина очереди;
 M – размер буфера;
 n – количество каналов обслуживания.

ВВЕДЕНИЕ

При интенсивном развитии беспроводных сетей возникают проблемы увеличения их производительности, необходимость разработки алгоритмов, обеспечивающих своевременную и надежную передачу информации, которые повысят коэффициент использования полосы пропускания, сократят время реагирования базовой станции на запросы абонентских станций, обеспечат QoS для различных видов трафика [1, 2].

Теоретическим исследованиям и разработке фундаментальных основ передачи информации в телекоммуникационных сетях, созданию моделей и методов управления качеством обслуживания посвящены труды видных ученых J. Chen, W. Jiao, H. Wang, Dusit Niyato, Ekram Hossain и многих других.

Важными проблемами в области обеспечения качества обслуживания являются проблемы планирования. В процессе обеспечения QoS необходимо планирование кадра для того, чтобы определить какой пакет будет обслуживаться первым в конкретной очереди. На данный момент в системах связи используется алгоритм планирования FIFO. Для дальнейшего улучшения качества и эффективности передачи данных в сетях LTE [3] требуется исследование и выбор алгоритма планирования, который позволит сократить среднее время ожидания в очереди, среднее время обработки пакета, а также количество отброшенных пакетов, что в свою очередь повысит пропускную способность. Таким образом, актуальной является задача анализа и выбора более эффективного алгоритма планирования кадра.

Объектом исследования является процесс планирования кадра в сетях LTE.

Предмет исследования составляют модели и методы планирования кадра в сетях LTE при распределении частотно-временного ресурса между абонентскими станциями.

Целью данной работы является проведение анализа и выбор более эффективного алгоритма планирования кадра в сетях LTE.

1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В общем случае планирование кадров может быть представлено, как СМО [4] (рис. 1).

Применительно к планированию частотно-временного ресурса, компоненты этой системы могут быть интерпретированы следующим образом: заявкой является пакет, обслуживающим ПК. Пакеты-заявки поступают в очередь, при освобождении ПК один пакет выбирается из очереди и обслуживается в ПК [3, 4]. Под обслуживанием в данном случае понимается помещение пакета в очередной кадр.

Обслуживание может быть прервано по следующим причинам:

- обработка пакета завершена;
- пакет запросил выполнение операции, требующей ожидания какого-либо другого ресурса;
- выполнение прервано ПК.

Первые два случая с точки зрения СМО одинаковы: в любом случае пакет обработан, помещен в кадр и передан. Если пакет не обработан, то после получения запрошенного ресурса пакет вновь поступит во входную очередь. В случае прерывания пакета по инициативе ПК прерванный (вытесненный) пакет поступает во входную очередь сразу же. Порядок обслуживания входной очереди, очередность выбора из нее пакетов на обслуживание и составляет дисциплину или стратегию планирования. Методы теории массового обслуживания применяются для аналитического моделирования процесса планирования.

СМО делятся на системы с отказами, системы с очередями (ожиданиями) и смешанного типа. Входной поток (поток пакетов-заявок) – основной элемент СМО, определяющий процессы в СМО. Наиболее общим является простейший поток (Пуассона), обладающий стационарностью, ординарностью и отсутствием последовательности.

Простейший поток в промежутке времени τ генерирует ровно k заявок с вероятностью [4]:

$$p(k, \tau) = \frac{(\lambda\tau)^k}{k!} e^{-\lambda\tau}, \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

Основные вероятностные характеристики для СМО с пуассоновским потоком [4]:

- функция распределения: $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$;

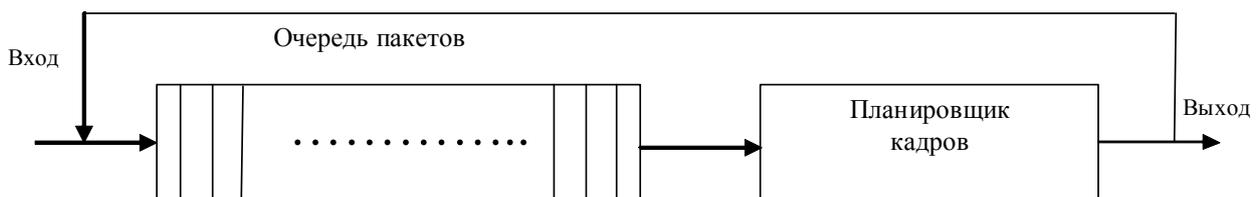


Рисунок 1 – Представление планирования кадров в виде системы массового обслуживания

- плотность распределения: $p(t) = \lambda e^{-\lambda t}$;
- математическое ожидание времени между заявками $m = 1/\lambda$;
- дисперсия $\sigma^2 = 1/\lambda^2$;
- среднеквадратическое отклонение $CKO = \sqrt{\sigma^2} = 1/\lambda$;
- вероятность того, что в СМО обслуживается k заявок:

$$P_k = \frac{P_0}{k!} \rho^k, \text{ где } P_0 = \left(\sum_{k=0}^n \frac{\rho^k}{k!} \right)^{-1}, \rho = \lambda/\mu. \quad (2)$$

Основные вероятностные характеристики для СМО с экспоненциальным потоком [4]:

- плотность распределения длительностей обслуживания:

$$p(t) = \mu e^{-\mu t}; \quad (3)$$

- математическое ожидание времени обслуживания:

$$m_{об} = 1/\mu; \quad (4)$$

- средний размер очереди:

$$m_{оч} = \lambda t_{ож}. \quad (5)$$

При $\rho \geq n$ число заявок в очереди с течением времени неограниченно возрастает. Обычно $\rho < n$.

Вероятность отказа в обслуживании заявок [4]:

$$P_{отк} = P_n = \frac{\rho^n}{n!} P_0 = \frac{\rho^n}{n!} \left(\sum_{k=0}^n \frac{\rho^k}{k!} \right)^{-1}. \quad (6)$$

Среднее число занятых каналов обслуживания:

$$m_k = M[k] = \sum_{k=1}^n \frac{\rho^k}{(k-1)!} P_0. \quad (7)$$

Вероятность занятия всех k каналов [4]:

$$P_{zk} = \frac{\rho^k}{k!} P_0, 0 < k \leq n. \quad (8)$$

Вероятность занятия всех k каналов и s заявок в очереди:

$$P_{n+s} = \frac{\rho^{n+s}}{n!} P_0 \left[\prod_{m=1}^s (n+m\beta) \right]^{-1}, s \geq 1, \beta = \frac{m_{об}}{t_{ож}}, \quad (9)$$

при $\beta \rightarrow \infty$ система переходит в СМО с отказами, при $\beta \rightarrow 0$ – в СМО с ожиданиями.

Вероятность того, что планировщик свободен [4]:

$$P_0 = \left(\sum_{k=0}^n \frac{\rho^k}{k!} + \frac{\rho^n}{n!} \sum_{s=1}^{\infty} \frac{\rho^s}{\prod_{m=1}^s (n+m\beta)} \right)^{-1}. \quad (10)$$

Средняя длина очереди:

$$m_s = \sum_{s=1}^{\infty} s P_{n+s} = \left(\frac{\rho^n}{n!} \sum_{s=1}^{\infty} \frac{s \rho^s}{\prod_{m=1}^s (n+m\beta)} \right) \times \left(\sum_{k=0}^n \frac{\rho^k}{k!} + \frac{\rho^n}{n!} \sum_{s=1}^{\infty} \frac{\rho^s}{\prod_{m=1}^s (n+m\beta)} \right)^{-1}. \quad (11)$$

Вероятность того, что пакет-заявка покинет систему не обслуженной [4]:

$$P_n = \frac{\beta}{\rho} \left(\frac{\rho^n}{n!} \sum_{s=1}^{\infty} \frac{s \rho^s}{\prod_{m=1}^s (n+m\beta)} \right) \times \left(\sum_{k=0}^n \frac{\rho^k}{k!} + \frac{\rho^n}{n!} \sum_{s=1}^{\infty} \frac{\rho^s}{\prod_{m=1}^s (n+m\beta)} \right)^{-1}. \quad (12)$$

Для определения основных вероятностных характеристик для сети LTE как СМО необходимо проведение имитационного моделирования при известных интенсивностях поступления пакетов и их обработки и определение среднего времени ожидания в очереди и среднего времени обработки для алгоритмов планирования, которые применяются в технологии LTE. Также целью статьи является предоставление рекомендаций по выбору алгоритма планирования. Критерием выбора является минимальное время ожидания в очереди и минимальное время обработки.

2 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

Механизмы планирования MAC определяют порядок передачи пакетов. Каждое соединение ассоциировано с одним механизмом планирования, который определяется набором параметров QoS. Определены следующие механизмы опроса для планирования передачи пакетов:

- предоставленный грант (UGS, Unsolicited Grant Service) предназначен для поддержки потоков реального времени, генерирующих пакеты данных фиксированного размера, таких как передача по каналу потока E1 и голоса поверх IP (VoIP) без подавления пауз;
- опрос в реальном времени (rtPS, Real-time Polling Service) предназначен для поддержки потоков реального времени, формирующих пакеты данных переменной длины, для которых критична задержка времени доставки, таких как MPEG-видео;
- опрос не в реальном времени (nrtPS, Non-real-time Polling Service) предназначен для поддержки потоков, требующих пакетов переменной длины, для которых не критична задержка времени доставки, таких как широкополосная служба FTP;

– опрос наилучший из возможных уровней сервиса, или потоки негарантированной доставки (BE) предназначен для эффективного обслуживания трафика *best effort*, например, трафик HTTP.

В многопользовательской беспроводной системе необходимо, чтобы планирование кадров распределяло имеющиеся ресурсы передачи между пользователями эффективно и справедливо. Были предложены разные методы планирования кадров. Наиболее распространенный способ планирования – это справедливое планирование, при котором пользователи получают сервисы в соответствии с весами, назначенными им заранее. В [5] представлена модель СМО алгоритма планирования для беспроводной среды передачи. С другой стороны, специально для беспроводных систем передачи было разработано гибкое планирование. В этом способе планирования для улучшения пропускной способности всей системы используются особенности многопользовательского режима. В частности, в текущем временном слоте право для передачи будет предоставлено пользователю, имеющему наилучшее качество канала. В [6, 7] предложена модель СМО для такого типа планирования. В [8] проведен анализ СМО для различных схем разделения ресурсов (минимаксная справедливость, пропорциональная справедливость, балансная справедливость). Для каждой из этих схем исследованы условия стабильности.

В то время как в большинстве работ рассмотрено только влияние беспроводного канала на производительность системы, в нескольких работах изучено влияние распределения ресурсов на производительность очередей. Например, в работе [9] влияние распределения ресурсов рассмотрено в модели СМО системы когнитивного радио с использованием адаптивной модуляции и кодирования; в работе [10] проанализирована система CDMA с адаптивной скоростью передачи. Данные исследования показали, что резервирование ресурсов транзитных соединений, также как и адаптация скорости передачи могут существенно влиять на производительность очередей для мобильных пользователей.

Анализ СМО используется также для улучшения контроля доступом соединений [11, 12]. В частности, для данных параметров трафика и качества беспроводного канала при данном способе доступа к среде передачи, может быть получена информация о задержках в очередях и потерях пакетов. Эта информация затем может быть использована при принятии решения о приеме нового соединения. Прием или отклонение нового соединения зависят от того, смогут ли поддерживаться требования QoS как для существующих соединений, так и для нового соединения. В [13] предложена модель СМО для контроля доступом соединений для беспроводных сетей Bluetooth, в [14] – для сетей IEEE 802.11. В [2] рассмотрена модель СМО для многоантенных систем.

Следует отметить, что в известных работах отсутствует анализ эффективности алгоритмов планирования и разработка модели СМО с учетом алгоритма планирования для сети LTE.

3 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Существует достаточно большой набор разнообразных алгоритмов планирования, которые предназначены

для достижения различных целей и эффективны для разных классов задач. Рассмотрим некоторые наиболее употребительные алгоритмы применительно к процессу кратковременного планирования.

Простейшим алгоритмом планирования является алгоритм, который принято обозначать аббревиатурой FIFO по первым буквам его английского названия – First In, First Out. В таком режиме пакеты, находящиеся в состоянии готовности, выстроены в очередь. Когда пакет переходит в состояние готовности, он помещается в конец этой очереди. Выбор нового пакета для исполнения осуществляется из начала очереди.

Такой алгоритм выбора пакетов осуществляет невытесняющее планирование. Пакет, получивший в свое распоряжение процессор, занимает его до завершения процесса обработки. После этого для обработки выбирается новый пакет из начала очереди. Преимуществом алгоритма FIFO является легкость его реализации, но в то же время он имеет и много недостатков.

Для алгоритма FIFO среднее время ожидания в очереди определяется из выражения

$$t_o = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_{oi}. \quad (13)$$

Среднее время обработки пакета

$$t_{ob} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_{obi}. \quad (14)$$

Модификацией алгоритма FIFO является алгоритм, получивший название Round Robin (RR). По сути дела, это тот же самый алгоритм, только реализованный в режиме вытесняющего планирования. Можно представить себе все множество готовых пакетов организованным циклически – пакеты сидят на карусели. Карусель вращается так, что каждый пакет находится около процессора небольшой фиксированный квант времени. Пока пакет находится рядом с процессором, он получает процессор в свое распоряжение и может исполняться.

Реализуется такой алгоритм так же, как и предыдущий, с помощью организации пакетов, находящихся в состоянии готовности, в очередь FIFO. Планировщик выбирает для очередного исполнения пакет, расположенный в начале очереди, и устанавливает таймер для генерации прерывания по истечении определенного кванта времени. При выполнении процесса обработки пакета возможны два варианта:

1) время непрерывного использования процессора, необходимое процессу обработки пакета (остаток текущего CPU burst), меньше или равно продолжительности кванта времени. Тогда пакет по своей воле освобождает процессор до истечения кванта времени, на исполнение поступает новый пакет из начала очереди и таймер начинает отсчет кванта заново;

2) продолжительность остатка текущего CPU burst пакета больше, чем квант времени. Тогда по истечении этого кванта процесс обработки пакета прерывается таймером и помещается в конец очереди пакетов, готовых к исполнению, а процессор выделяется для использования пакету, находящемуся в ее начале.

Алгоритм «кратчайшая работа первой» или SJF. Алгоритм краткосрочного планирования может быть как вытесняющим, так и невытесняющим. При невытесняющем SJF – планировании процессор предоставляется избранному пакету на все необходимое ему время. При вытесняющем SJF – планировании учитывается появление новых пакетов в очереди готовых к исполнению во время работы выбранного пакета. Если CPU burst нового пакета меньше, чем остаток CPU burst у исполняющегося, то обрабатываемый пакет вытесняется новым.

4 ЭКСПЕРИМЕНТЫ

С помощью имитационного моделирования проведен машинный эксперимент, который состоял в следующем. На вход буфера очереди подавались пакеты. Число пакетов в очереди $N = 15000$. Длины пакетов генерировались случайным образом от 1 до 40 бит. Используемый вид модуляции 64QAM. В связи с тем, что слот длительностью 0,5 мс состоит из 7 символов, а каждый символ состоит из 6 бит, время обработки 1 бита составляет $t = 1,19 \cdot 10^{-2}$ с. Размер буфера M очереди в данном случае был неограничен.

Также был проведен эксперимент с ограниченным объемом буфера очереди $M = 700000$ байт. Эксперимент состоял в следующем. На вход буфера очереди подавались пакеты. Длины пакетов генерировались случайным образом от 16 до 64 бит. Количество пакетов в очереди изменялась от $N = 1$ до $N = 15000$.

5 РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате эксперимента получены зависимости среднего времени ожидания в очереди (13) от максимальной длины пакетов (рис. 2) для алгоритма планирования RR – верхняя кривая, для алгоритма FIFO – средняя кривая, и для алгоритма SJF – нижняя кривая.

Также получены зависимости среднего времени обработки пакетов (14) от максимальной длины пакетов (рис. 3) для алгоритма планирования RR – верхняя кривая, для алгоритма FIFO – средняя кривая, и для алгоритма SJF – нижняя кривая.

Получена зависимость заполнения буфера данными от размера очереди (рис. 4) для алгоритма FIFO и для алгоритма SJF.

Так же получена зависимость процента отброшенных пакетов от количества поступивших пакетов в очередь N для алгоритма FIFO – верхняя кривая и алгоритма SJF – нижняя кривая (рис. 5).

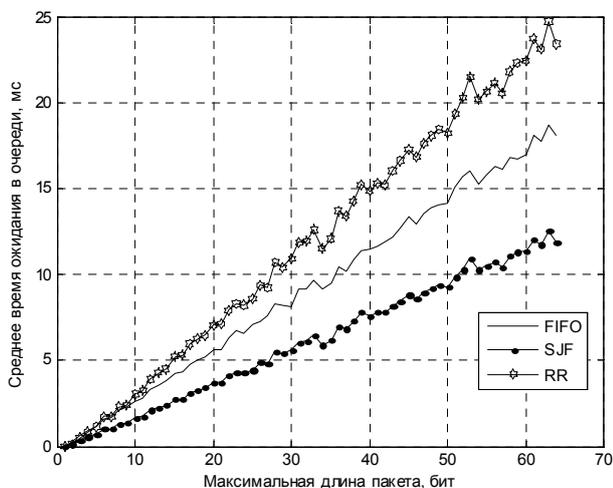


Рисунок 2 – Зависимость среднего времени ожидания в очереди от максимальной длины пакетов

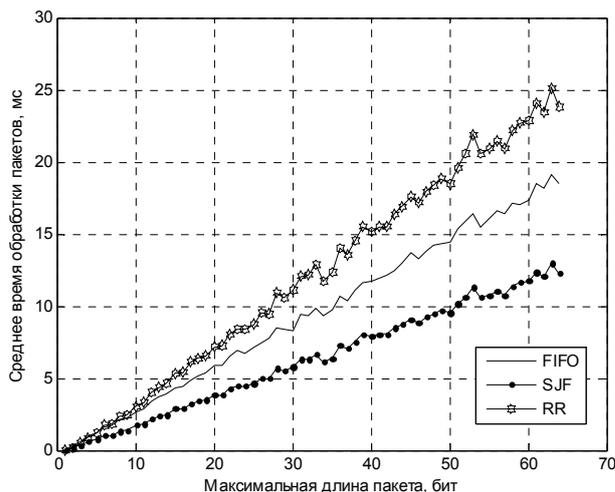


Рисунок 3 – Зависимость среднего времени обработки пакетов от максимальной длины пакетов

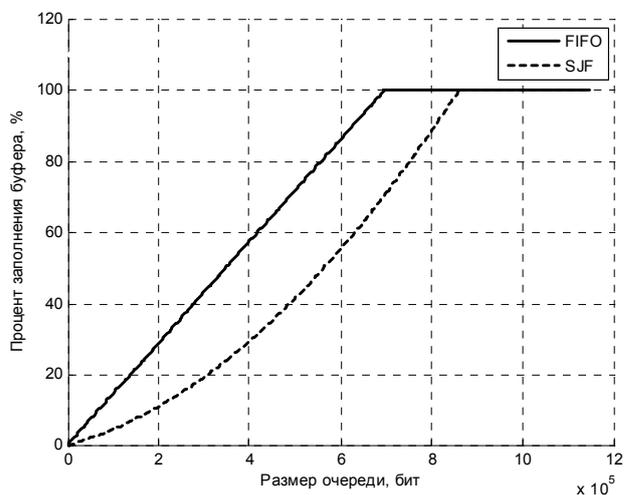


Рисунок 4 – Зависимость заполнения буфера данными от размера очереди

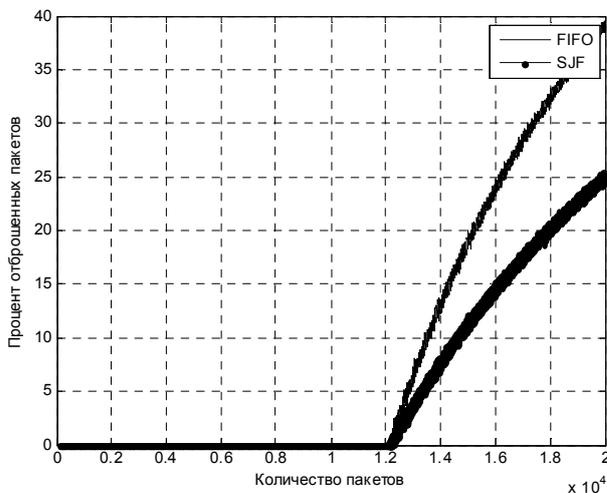


Рисунок 5 – Зависимость отброшенных пакетов от количества поступивших пакетов в очередь

6 ОБСУЖДЕНИЕ

Из графиков (рис. 2) видно, что при небольших длинах пакетов от 1 до 10 бит среднее время ожидания в очереди для алгоритмов RR и FIFO приблизительно одинаково. В этом диапазоне изменения длин пакетов алгоритм SJF по эффективности на треть превосходит алгоритмы RR и FIFO. С увеличением длин пакетов среднее время ожидания в очереди растет быстрее для алгоритма RR, для алгоритма FIFO рост времени ожидания в очереди несколько ниже. Самый минимальный рост времени ожидания в очереди имеет алгоритм SJF. Так при длине пакетов 30 бит выигрыш алгоритма FIFO относительно RR составляет 18%, а алгоритма SJF относительно RR составляет 45%. При длине пакетов 60 бит выигрыш алгоритма FIFO относительно RR составляет 27%, а алгоритма SJF относительно RR составляет 50%.

Судя по полученным зависимостям (рис. 3), можно сделать вывод о том, что и по этому показателю заметный выигрыш дает алгоритм SJF. Относительно RR этот выигрыш составляет 48%. Относительно FIFO – 32%.

Из графиков (рис. 4) видно, что заполнение буфера данными для алгоритма FIFO происходит интенсивнее, чем для алгоритма SJF. Так, для алгоритма FIFO буфер полностью заполнен при размере очереди, равной $6,9 \cdot 10^5$, а для алгоритма SJF при размере очереди равной, $8,5 \cdot 10^5$ бит. Остальные пакеты в данном случае были отброшены. Таким образом, при использовании алгоритма SJF появляется возможность обработать на $1,6 \cdot 10^5$ бит больше. Из полученных зависимостей можно сделать вывод о том, что при интенсивном поступлении пакетов в очередь, и, следовательно, при увеличении размера очереди оба алгоритма отбрасывают пакеты, но количество отброшенных бит алгоритмом SJF на 18,8% меньше, чем алгоритмом FIFO.

Из полученных зависимостей (рис. 5) можно сделать вывод о том, что по процентному отношению отброшенных пакетов лучшие показатели имеет алгоритм SJF.

Таким образом, для дальнейшего улучшения качества и эффективности передачи данных в сетях LTE рекомендуется алгоритм SJF.

ВЫВОДЫ

1. Исследованы алгоритмы планирования, которые входят в состав подсистемы обеспечения качества обслуживания в сетях LTE. Проведены исследования эффективности алгоритмов планирования кадра по методу FIFO, SJF и RR.

2. Анализ показал, что при небольших длинах пакетов от 1 до 10 бит среднее время ожидания в очереди для алгоритмов RR и FIFO приблизительно одинаково. В этом диапазоне изменения длин пакетов алгоритм SJF по эффективности на треть превосходит алгоритмы RR и FIFO. С увеличением длин пакетов среднее время ожидания в очереди растет быстрее для алгоритма RR, для алгоритма FIFO рост времени ожидания в очереди несколько ниже. Самый минимальный рост времени ожидания в очереди имеет алгоритм SJF. Так, при длине пакетов 30 бит выигрыш алгоритма FIFO относительно RR составляет 18%, а алгоритма SJF относительно RR составляет 45%. При длине пакетов 60 бит выигрыш алгоритма FIFO относительно RR составляет 27%, а алгоритма SJF относительно RR составляет 50%.

3. Получены зависимости среднего времени обработки пакетов от максимальной длины пакетов. Анализ показал, что и по этому показателю заметный выигрыш дает алгоритм SJF. Относительно RR этот выигрыш составляет 48%. Относительно FIFO – 32%.

4. Проведен эксперимент с ограниченным объемом буфера очереди $M = 700000$ байт. Получена зависимость заполнения буфера данными от размера очереди для алгоритма FIFO и для алгоритма SJF. Анализ показал, что заполнение буфера данными для алгоритма FIFO происходит интенсивнее, чем для алгоритма SJF. Так для алгоритма FIFO буфер полностью заполнен при размере очереди равной $6,9 \cdot 10^5$, а для алгоритма SJF при размере очереди равной $8,5 \cdot 10^5$ бит. Остальные пакеты в данном случае были отброшены. Таким образом, при использовании алгоритма SJF появляется возможность обработать на $1,6 \cdot 10^5$ бит больше. Из проведенного анализа следует, что при интенсивном поступлении пакетов в очередь, и, следовательно, при увеличении размера очереди оба алгоритма отбрасывают пакеты, но количество отброшенных бит алгоритмом SJF на 18,8% меньше, чем алгоритмом FIFO.

5. Получена зависимость процента отброшенных пакетов от количества поступивших пакетов в очередь N для алгоритма FIFO и алгоритма SJF. Анализ показал, что по процентному отношению отброшенных пакетов лучшие показатели имеет алгоритм SJF. Таким образом, для дальнейшего улучшения качества и эффективности передачи данных в сетях LTE рекомендуется алгоритм SJF.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при содействии кафедры телекоммуникационных систем Харьковского национального университета радиоэлектроники и Харьковского регионального научно-технического центра по технической защите информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волков А. Н. UMTS. Стандарт сотовой связи третьего поколения / А. Н. Волков, А. Е. Рыжков, М. А. Сиверс. – СПб. : Издательство «Линк», 2008. – 224 с.
2. Гельгор А. Л. Технология LTE мобильной передачи данных : учеб. пособие / А. Л. Гельгор, Е. А. Попов. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – 204 с.
3. Тихвинский В. О. Сети мобильной связи LTE: технологии и архитектура / В. О. Тихвинский, С. В. Терентьев, А. Б. Юрчук. – М. : Эко-Трендз, 2010. – 284 с.
4. Поповський В. В. Математичні основи теорії телекомунікаційних систем : навчальний посібник [текст] / В. В. Поповський, С. О. Сабурова, Ю. Ю. Коляденко ; під заг. ред. проф. В. В. Поповського. – Харків : СМІТ, 2006. – 564 с.
5. Niyato D. Anlisis of fair scheduling and connection admission control in differentiated services wireless networks / D. Niyato, E. Hossain // IEEE International Conference on Communications (ICC'05), Seoul, Korea, 16–20 May 2005: proceedings. – Seoul : IEEE, 2005. – P. 3137–3141. DOI: 10.1109/ICC.2005.1495064.
6. Issariyakul T. Channel-quality-based opportunistic scheduling with ARQ in multi-rate wireless networks: modeling and analysis / T. Issariyakul, E. Hossain // IEEE Transactions on Wireless Communications. – 2006. – vol. 5, № 4. – P. 796–806.
7. Le L. B. Queuing analysis and admission control for multi-rate wireless networks with opportunistic scheduling and ARQ-based

- error control / L. B. Le, E. Hossain, A. S. Alfa // IEEE International Conference on Communications (ICC'05), Seoul, Korea, 16–20 May 2005: proceedings. – Seoul: IEEE, 2005. – P. 3329–3333. DOI: 10.1109/ICC.2005.1495038.
8. Bonald T. A queuing analysis of max-min fairness, proportional fairness and balanced fairness / T. Bonald, L. Massoulié, A. Proutiero, J. Virtamo // *Queueing Systems*. – 2006. – Vol. 53. – P. 65–84.
9. Sousa E. S. Cognitive radio: A path in the evolution of public wireless networks / E. S. Sousa, B. M. Sadler, E. Hossain, S. A. Jafar // *Journal of Communications and Networks*. – 2009. – Vol. 11, № 2. – P. 99–103.
10. Niyato D. Call-level and packet-level quality of service and user utility in rate-adaptive cellular CDMA networks: a queuing analysis / D. Niyato, E. Hossain // *IEEE Transactions on Mobile Computing*. – 2006. – Vol. 5, № 12. – P. 1749–1763.
11. Niyato D. Delay-based admission control using fuzzy logic for OFDMA broadband wireless networks / D. Niyato, E. Hossain // *IEEE International Conference on Communications (ICC'06)*. – Istanbul, Turkey, June 2006 : proceedings. – Istanbul : IEEE, 2006. – P. 1390–1405. DOI: 10.1109/ICC.2006.255539
12. Niyato D. A queuing-theoretic and optimization-based model for radio resource management in IEEE 802.16 broadband wireless networks / D. Niyato, E. Hossain // *3rd International Conference on Quality of Service in Heterogeneous Wired/wireless Networks*. – New York, NY, USA, August 2006: proceedings. – New York : IEEE. – 2006. – P. 1473–1488. DOI: 10.1145/1185373.1185439.
13. Misić J. Admission control in Bluetooth piconets / J. Misić, K. L. Chan, V. B. Misić // *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. – 2004. – Vol. 53, № 3. – P. 890–911. DOI: 10.1109/TVT.2004.827154.
14. Tickoo O. Queuing analysis and delay mitigation in IEEE 802.11 random access MAC based wireless networks / O. Tickoo, B. Sikdar // *Twenty-third annual joint conference of the IEEE computer and communications societies (INFOCOM 2004)*. – Troy, NY, USA, March 2004 : proceedings. – Troy : IEEE. – 2004. – P. 1404–1413. DOI: 10.1109/INFCOM.2004.1357025.

Статья поступила в редакцию 27.02.2015.

После доработки 08.04.2015.

Коляденко Ю. Ю.¹, Алалі А. М.²

¹Д-р техн. наук, професор, професор кафедри телекомунікаційних систем, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

²Аспірант кафедри телекомунікаційних систем, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ АЛГОРИТМІВ ПЛАНУВАННЯ ПЕРЕДАЧІ КАДРА У МЕРЕЖАХ LTE

У статті досліджено алгоритми планування, які входять до складу підсистеми забезпечення якості обслуговування в мережах LTE. Проведено дослідження ефективності алгоритмів планування кадра за методами FIFO, SJF і RR. Порівняння проводилося за такими параметрами, як середній час очікування в черзі, середній час обробки пакета, заповнення буфера даними і кількість відкиннутих пакетів.

Аналіз показав, що при невеликих довжинах пакетів середній час очікування в черзі для алгоритмів RR і FIFO приблизно однаковий, а алгоритм SJF по ефективності на третину перевершує 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 дещо нижче. Найменше зростання часу очікування в черзі має алгоритм SJF.

Отримано залежності середнього часу обробки пакетів від максимальної довжини пакетів. Аналіз показав, що і за цим показником помітний вигравш дає алгоритм SJF.

Проведено експеримент з обмеженим обсягом буфера черги. Аналіз показав, що заповнення буфера даними для алгоритму FIFO відбувається інтенсивніше, ніж для алгоритму SJF. По процентному відношенню відкиннутих пакетів кращі показники має алгоритм SJF. Таким чином, для подальшого поліпшення якості та ефективності передачі даних в мережах LTE рекомендується алгоритм SJF, який дає вигравш від 18% до 50%.

Ключові слова: алгоритми планування кадру, мережа LTE.

Kolyadenko Y. Y.¹, Alali A. M.²

¹Dr. Sc., Professor, Professor of the Department of Telecommunication Systems, Kharkov National University of Radio Electronics, Kharkov, Ukraine

²Post-Graduate student of the Department of Telecommunication Systems, Kharkov National University of Radio Electronics, Kharkov, Ukraine

THE EFFICIENCY ANALYSIS OF THE SCHEDULING ALGORITHMS OF FRAME TRANSMISSION OVER LTE NETWORK

The article investigates the scheduling algorithms, which are part of the subsystem to ensure quality of service in networks of LTE. The effectiveness of frame scheduling methods FIFO, SJF and RR is studied. The comparison was made by parameters such as the average waiting time, average time of packet processing, filling the buffer data and the number of dropped packets. The analysis showed that at small packet length is the average waiting time in the queue for algorithms RR and FIFO is approximately the same, and SJF algorithm efficiency by a third superior than algorithms RR and FIFO. With the increase in the average length of the packet the waiting time in the queue is growing faster for algorithm RR. The increase of waiting time in the queue for the algorithm FIFO is slightly less. The SJF algorithm has a most minimal growth of time waiting in queue. The dependences average processing time of the maximum length of packets from packets are founded. Analysis showed that algorithm SJF by this indicator gives a noticeable gain. An experiment with limited buffer queue is conducted. Analysis showed that the filling of the data buffer by FIFO algorithm is more intense than by the algorithm SJF. According to the percentage of dropped packets the SJF algorithm has the best performance. Thus, to further improve the quality and efficiency of data transmission in LTE we recommend the algorithm SJF, which gives a gain of 18% to 50%.

Keywords: scheduling algorithms frame, network LTE.

REFERENCES

1. Volkov A. N., Ryzhkov A. E., Sivers M. A. UMTS. Standart sotovoj svjazi tret'ego pokolenija. Sankt-Peterburg, Izdatel'stvo «Link», 2008, 224 p.
2. Gel'gor A. L., Popov E. A. Tehnologija LTE mobil'noj peredachi dannyh: ucheb. posobie. Sankt-Peterburg, Izd-vo Politehn. un-ta, 2011, 204 p.
3. Tihvinskij V. O., Terent'ev S. V., Jurchuk A. B. Seti mobil'noj svjazi LTE: tehnologii i arhitektura. Moscow, Jeko-Trendz, 2010, 284 p.
4. Popov'skij V. V., Saburova S. O., Koljadenko Ju. Ju.; pid zag. red. prof. V. V. Popov'skogo Matematichni osnovi teorii telekomunikacijnih sistem: navchal'nij posibnik. Harkiv, SMIT, 2006, 564 p.
5. Niyato D., Hossain E. Anlisis of fair scheduling and connection admission control in differentiated services wireless networks, In Proceedings of IEEE International Conference on Communications (ICC'05), Seoul, Korea, 16–20 May 2005, proceedings, Seoul, IEEE, 2005, pp. 3137–3141. DOI: 10.1109/ICC.2005.1495064.
6. Issariyakul T., Hossain E. Channel-quality-based opportunistic scheduling with ARQ in multi-rate wireless networks: modeling and analysis, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 2006, vol. 5, No. 4, pp. 796–806.
7. Le L. B., Hossain E., Alfa A. S. Queuing analysis and admission control for multi-rate wireless networks with opportunistic scheduling and ARQ-based error control, Proceedings of IEEE International Conference on Communications (ICC'05), Seoul, Korea, 16–20 May 2005: proceedings. Seoul, IEEE, 2005, pp. 3329–3333. DOI: 10.1109/ICC.2005.1495038.
8. Bonald T., Massoulié L., Proutiero A., Virtamo J. A queuing analysis of max-min fairness, proportional fairness and balanced fairness, *Queueing Systems*, 2006, Vol. 53, pp. 65–84.
9. Sousa E. S., Sadler B. M., Hossain E., Jafar S. A. Cognitive radio: A path in the evolution of public wireless networks, *Journal of Communications and Networks*, 2009, Vol. 11, No. 2, pp. 99–103.
10. Niyato D., Hossain E. Call-level and packet-level quality of service and user utility in rate-adaptive cellular CDMA networks: a queuing analysis, *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2006, Vol. 5, No. 12, pp. 1749–1763.
11. Niyato D., Hossain E. Delay-based admission control using fuzzy logic for OFDMA broadband wireless networks, *Proceedings of IEEE International Conference on Communications (ICC'06)*, Istanbul, Turkey, June 2006: proceedings. Istanbul, IEEE, 2006, pp. 1390–1405. DOI: 10.1109/ICC.2006.255539
12. Niyato D., Hossain E. A queuing-theoretic and optimization-based model for radio resource management in IEEE 802.16 broadband wireless networks, *Proceedings of the 3rd international conference on Quality of service in heterogeneous wired/wireless networks*. New York, NY, USA, August 2006, proceedings. New York, IEEE, 2006, pp. 1473–1488. DOI: 10.1145/1185373.1185439.
13. Mistic J. Chan K L., Mistic V. B. Admission control in Bluetooth piconets, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2004, vol. 53, No. 3, pp. 890–911. DOI: 10.1109/TVT.2004.827154.
14. Tickoo O., Sikdar B. Queuing analysis and delay mitigation in IEEE 802.11 random access MAC based wireless networks, *Twenty-third annual joint conference of the IEEE computer and communications societies, INFOCOM 2004*, Troy, NY, USA, March 2004, proceedings. Troy, IEEE, 2004, pp. 1404–1413. DOI: 10.1109/INFCOM.2004.1357025.