

УДК 004.942

И. З. Климов, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет
А. Н. Тетерин, кандидат физико-математических наук, Удмуртский государственный университет, Ижевск
В. Е. Минин, аспирант, Удмуртский государственный университет, Ижевск

УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СЕТИ РАДИОСВЯЗИ ЗА СЧЕТ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО НАБОРА ПРАВИЛ ДОСТУПА К СРЕДЕ

Предложен метод увеличения производительности сети радиосвязи за счет применения правил доступа к среде, позволяющих увеличить эффективность использования канала связи. Произведено математическое моделирование предложенного метода.

Ключевые слова: производительность сети радиосвязи, правила доступа к среде, алгоритм адаптации, канальный уровень.

Предлагается методика выбора набора правил доступа к среде, обеспечивающих максимально эффективное использование канала за счет снижения количества коллизий и простоев станций при конкурировании за выход в эфир.

Данная методика позволяет выбрать правила доступа к среде передачи данных на основе обучающего множества примеров. Примеры представляют собой значения параметров (факторов, влияющих на скорость передачи канального уровня), представленных как точки в пространстве параметров, и набора правил, выбор которого при этих факторах обеспечит максимальную скорость передачи канального уровня. Применение этого алгоритма позволит увеличить общую производительность сети связи с общим каналом.

Цель работы – предложить метод увеличения производительности радиосети связи с общим каналом за счет выбора оптимального набора правил доступа к среде по критерию эффективности использования канала.

Рассмотрим пример многостанционной сети связи, осуществляющей передачу данных по общему каналу. Связь полудуплексная. Форматы кадров унифицированы. Передача кадров данных происходит в определенные временные слоты (станции синхронизированы). Получение кадра данных подтверждается ответным сообщением. Все станции равнозначны и в канале возможны коллизии. Станции в режиме ожидания прослушивают каналы, выделенные для установления связи. Переход между каналами осуществляется всеми станциями по одному алгоритму так, что все свободные от передачи станции в любой момент времени прослушивают один и тот же канал установления соединения. Имеется пуассоновский трафик, создаваемый бесконечным числом пользователей, каждый из которых порождает трафик канала с бесконечно малой скоростью. Суммирование его с трафиком других пользователей приводит к среднему трафику в канале, равному G

кадрам за T секунд. Обозначим через S среднюю скорость канала в кадрах за T секунд. Каждый кадр имеет постоянную длину, требующую T секунд для его передачи. Пусть $S = \lambda T$. S – это среднее число кадров переданных в период передачи, т. е. это интенсивность передачи в T секунд. Если бы можно было идеально планировать передачу кадров в канале без допущения их перекрытий и свободных мест между кадрами, то имели бы $S = 1$; поэтому S определяет меру использования канала, или его скорость передачи. Для анализа эффективности использования канала при значении задержки распространения сигнала (a) в интервале от 0,001 до 1 сек. и интенсивности попыток передач (G) в интервале от 0,01 до 100 кадров во временной слот предложены правила доступа следующих синхронных протоколов доступа к среде: ALOHA, nonpersistent CSMA, 1-persistent CSMA и p-persistent CSMA [1]. В данном случае под эффективностью использования канала связи подразумевается отношение фактической пропускной способности (измеряемой в среднем количестве кадров, передаваемом в один временной слот) к максимальной пропускной способности в случае идеального планирования передач. Идеальное планирование передач подразумевает отсутствие перекрытий кадров (коллизий) и свободных временных слотов между кадрами.

Под протоколами в данном случае понимаем правила доступа к среде, т. е. правила установления соединения и конкуренции за доступ к среде (табл. 1). Следует определить, что каждому протоколу соответствуют фиксированные значения следующих параметров:

- а) наличие проверки занятости канала перед осуществлением доступа к среде;
- б) действие станции после проверки канала (по отношению к передаче кадра данных);
- с) правила назначения повторной передачи в случае занятости канала (средняя задержка на повторную передачу и вероятность передачи в следующий слот).

Таблица 1. Правила доступа к среде в протоколах

Протокол	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
ALOHA	Нет	Передача	Согласно случайной задержке
nonpersistent CSMA	Есть	Передача	Согласно случайной задержке
1-persistent CSMA	Есть	Передача	Передача в следующий свободный слот с вероятностью 1
p-persistent CSMA	Есть	Передача с вероятностью <i>p</i>	Передача в следующий свободный слот с вероятностью <i>p</i>

Анализ эффективности использования канала для предложенных протоколов (правил) доступа к среде произведен при помощи математического аппарата теории массового обслуживания и предложенного Л. Клейнроком и А. Тобаги [1, 2] способа расчета характеристик сетей. В примененном математическом аппарате эффективность использования канала (*S*) зависит от задержки распространения сигнала (*a*) и интенсивности попыток передач (*G*). Эффективность использования канала рассчитывается исходя из утверждения, что появление новых кадров и повторно назначенных представляет собой независимый процесс с экспоненциальным распределением по формуле

$$S = \frac{\bar{U}}{\bar{B} + \bar{I}} = GP_S, \tag{1}$$

где *P_S* – вероятность того, что переданный кадр данных успешно принят; \bar{B} – ожидаемая длительность периода занятости; \bar{I} – ожидаемая длительность

разделительного интервала между периодами занятости; $\bar{B} + \bar{I}$ – ожидаемая длительность цикла; \bar{U} – среднее время работы канала без конфликта во время одного цикла.

Найдем эффективную пропускную способность канала для всех выбранных протоколов доступа при помощи формулы (1), для чего воспользуемся средой Matlab. Расчет произведен для синхронных протоколов 1-persistent CSMA, p-persistent CSMA (*p* = 0,01; 0,03; 0,1; 0,5), nonpersistent CSMA и ALOHA при значении задержки распространения сигнала (*a*) в интервале от 0,001 до 1 сек. и интенсивности попыток передач (*G*) в интервале от 0,01 до 100 кадров во временной слот.

Анализ графиков на рис. 1, полученных при помощи математического расчета, позволяет сделать вывод, что протоколы p-persistent CSMA, nonpersistent CSMA и ALOHA могут быть наиболее эффективными в зависимости от значений (*G*) и (*a*). Так, правила доступа к среде синхронного протокола ALOHA имеют приоритет в случае, если средняя задержка распространения *a* > 0,5, а интенсивность попыток передач *G* = 1. В этом случае средняя скорость передачи канального уровня не превышает 0,378 кадров/слот. В случае если рабочая задержка распространения не превышает 0,001, то в промежутке значений $0 > G > 10$ приоритет следует отдать протоколу p-persistent CSMA, который обеспечивает среднюю скорость передачи канального уровня до 0,92 кадров/слот. При временном увеличении интенсивности попыток передач *G* > 10, приоритет следует отдавать протоколу nonpersistent CSMA, который позволяет ожидать среднюю скорость передачи канального уровня равную 0,95 кадр/слот.

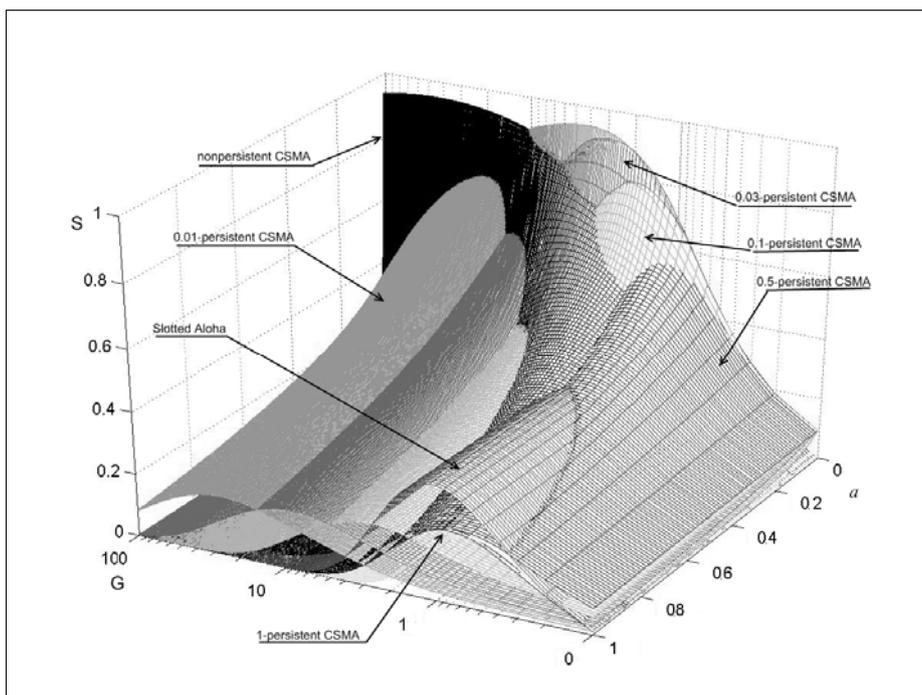


Рис. 1. Эффективность использования канала при наборах правил доступа к среде протоколов 1-persistent CSMA, p-persistent CSMA (*p* = 0,01; 0,03; 0,1; 0,5), nonpersistent CSMA и ALOHA в зависимости от задержки распространения сигнала (*a*) и интенсивности попыток передач (*G*)

Помимо (G) и (a) существуют другие факторы, влияющие на эффективность использования канала. Например, наличие скрытых станций в зоне молчания может привести к частым коллизиям. Эти коллизии вызваны невозможностью определить занятость канала скрытыми друг от друга станциями. При этом неверно подобранные правила доступа к среде могут парализовать работу всей сети даже при хорошем качестве связи.

На данный момент не существует аппроксимационных методик, позволяющих определить, какой из наборов правил будет наиболее эффективным при всем множестве факторов. Разработка алгоритма выбора станциями правил доступа к среде передачи данных позволит увеличить среднюю эффективность использования канала связи, а значит, и эффективность сети в целом.

Предлагаемое решение следует из теории [3], что каждый параметр, влияющий на эффективность использования канала при определенном наборе правил доступа к среде, представлен как координата в евклидовом пространстве. В итоге размерность пространства совпадает с количеством параметров. Наборы правил доступа, эффективность которых будет наибольшей при заданных значениях параметров, будут занимать определенные области в этом пространстве. Если отделить промежуток значений любого из параметров, то вместе с ним будет отделено множество наборов правил, соответствующих данному промежутку. При повторении этой процедуры с отделяемыми подобластями по каждому из параметров в итоге будут отделены подобласти значений параметров, которым соответствует лишь один набор правил. Совокупность таких подобластей дает полное описание значений параметров.

Алгоритм обучения строит двоичное дерево на основе обучающей последовательности, состоящей из примеров. Узлами дерева являются условия, а конечными потомками – указатели на набор правил доступа.

Для выбора правил доступа к среде станция формирует таблицу с данными о значениях параметров (G), (a) или других. Далее производится «проход» дерева выбора правил доступа к среде, в узлах которого сформированные значения параметров сравниваются с условиями. В итоге алгоритм остановится на конечном потомке дерева, в котором указан набор правил доступа, применение которого позволит наиболее эффективно использовать канал.

В результате применения дерева выбора правил доступа к среде станции будут осуществлять доступ к общему каналу применяя тот набор правил, который при данных параметрах сети способствует максимально эффективному использованию канала связи. С точки зрения появления коллизий или простоев станций самым уязвимым является этап установления соединения. Именно на этом этапе актуально изменять правила доступа к среде.

Применяя предложенный Л. Клейнроком и А. Тобаги [1, 2] способ расчета характеристик сетей произведено сравнение средней эффективности исполь-

зования канала протоколами 1-persistent CSMA, p -persistent CSMA ($p = 0,01; 0,03; 0,1; 0,5$), nonpersistent CSMA и ALOHA с алгоритмом выбора оптимального набора правил доступа при значении задержки распространения сигнала (a) в интервале от 0,001 до 1 сек. и интенсивности попыток передач (G) в интервале от 0,01 до 100 кадров в временной слот дает следующие результаты (табл. 2)

Таблица 2. Эффективность применения протоколов относительно случая с идеальным планированием передач, принятого за 100 %

1-persistent CSMA	nonpersistent CSMA	ALOHA	0,5-persistent CSMA
0,09 %	6,31 %	1 %	1,12 %
0,1-persistent CSMA	0,03-persistent CSMA	0,01-persistent CSMA	Optimal
4,47 %	13,58 %	26,34 %	28,63 %

Результаты расчета, приведенные в табл. 2, позволяют сделать вывод, что средняя эффективность использования канала в случае применения алгоритма выбора оптимального набора правил доступа к среде (рис. 2) выше, чем в случае применения статичного набора правил.

Выводы

1. Изменение правил доступа к среде (таких как наличие проверки занятости канала перед осуществлением доступа к среде; действие станции после проверки канала; правила назначения повторной передачи) оказывает влияние на среднее количество коллизий и простоев станции, а значит, и в целом на эффективность использования канала. Так, при значении задержки распространения сигнала (a) в интервале от 0,001 до 1 сек. и интенсивности попыток передач (G) в интервале от 0,01 до 100 кадров во временной слот правила доступа к среде протокола 1-persistent CSMA показывают эффективность использования канала 0,09 % относительно случая с идеальным планированием передач, а снижение значения p в протоколе 0,01-persistent CSMA дает увеличение эффективности до 26,34 %, что связано со снижением вероятности повторных коллизий после столкновения кадров данных. Правила доступа протокола ALOHA показывают низкую эффективность (1 %) в связи с отсутствием механизма проверки занятости канала, что увеличивает количество коллизий при условии высокой интенсивности трафика. Правила доступа протокола nonpersistent CSMA показывают эффективность 6,31 %, что вызвано высокими значениями временных задержек при попытках передачи.

2. Предложена методика, позволяющая осуществить выбор набора правил доступа к среде в зависимости от условий, в которых находится станция. Данная методика функционирует при условии постоянного контроля трафика и подразумевает режим предварительного обучения.

3. Применение методики выбора правил доступа к среде в зависимости от условий, в которых находится станция, позволяет снизить среднее количе-

ство коллизий и простоев станции, тем самым увеличивая эффективность использования канала. Так, при значении задержки распространения сигнала (a) в интервале от 0,001 до 1 сек. и интенсивности попыток передач (G) в интервале от 0,01 до 100 кадров во временной слот применение адаптивного

алгоритма изменения правил доступа к среде позволяет ожидать значение средней эффективности 28,63 %, что более чем на 2 % лучше, чем в случае применения правил доступа к среде наиболее предпочтительного протокола 0,01-persistent CSMA.

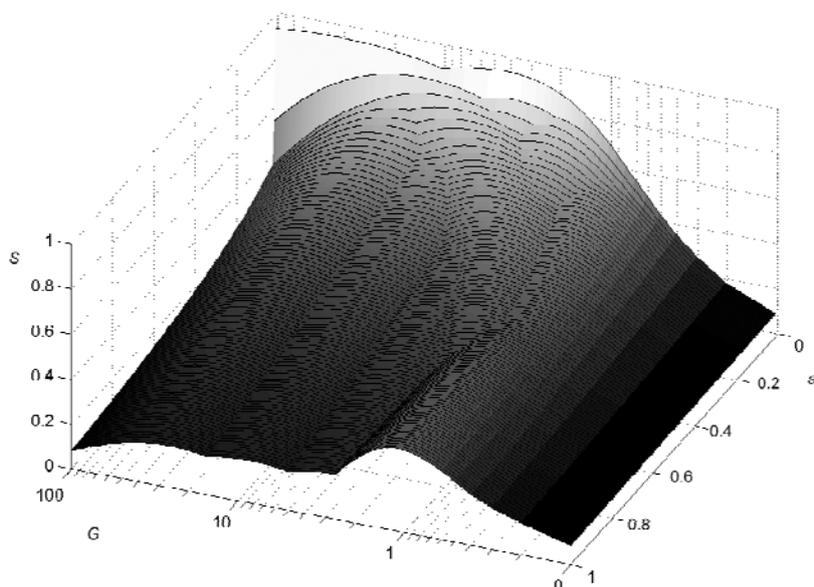


Рис. 2. Эффективность использования канала в случае применения алгоритма выбора оптимального набора правил доступа в зависимости от задержки распространения сигнала (a) и интенсивности попыток передач (G)

Библиографические ссылки

1. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями. – М.: Мир, 1979.
2. Kleinrock L., Tobagi F. A. Packet Switching in Radio Channels: Part I – Carrier Sense Multiple-Access Modes and Their Throughput-Delay Characteristics // IEEE Transactions

on Communications. – 1975. – Vol. COM-23. – No. 12. – P. 1400–1416.

3. Тетерин А. Н. Геометрический подход к классификации – новая модель работы нейрона // Вычислительная математика и математическая физика. – 1992. – № 32.

I. Z. Klimov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Izhevsk State Technical University
A. N. Teterin, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Udmurt State University
V. E. Minin, Postgraduate Student, Udmurt State University, Izhevsk.

Productivity Increase of a Radio Network by the Optimal Set Selection of Medium Access Rules

A method of the radio network productivity increase by applying medium access rules adaptation, which enhances the communication channel efficiency, is proposed. The mathematical modeling of the method is performed.

Key words: radio network performance, medium access rules, adaptation algorithm, data link layer.