

УДК 65.011.56:004.75

**С.А. Даденков, Е.Л. Кон, Д.А. Романов**Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
Пермь, Россия**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ШИРИНЫ СОРЕВНОВАТЕЛЬНОГО  
ОКНА ПРОТОКОЛА *p*-PERSISTENT CSMA  
НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ LONWORKS-СЕТИ**

Представлен краткий обзор существующих работ и сформулирована задача исследования влияния ширины соревновательного окна протокола множественного доступа узлов к каналу (CSMA) на производительность LonWorks-сети, ранее не анализируемая в известной литературе. В рамках работы сформулирована система ограничений и построена имитационная модель LonWorks-сети на основе протокола множественного доступа *p*-Persistent CSMA. Исследовано влияние ширины соревновательного окна как основного параметра, влияющего на производительность сети для базового и прогнозирующего (predictive) протоколов *p*-Persistent CSMA. Предложены рекомендации к выбору ширины соревновательного окна в зависимости от нагрузки на сетевой канал. Сформулированные рекомендации направлены на повышение производительности LonWorks-сети и могут быть использованы на этапах планирования и модернизации сети.

**Ключевые слова:** имитационная модель, производительность, ширина соревновательного окна, *FieldBus*, *LonWorks*, *p*-Persistent CSMA.

**S.A. Dadenkov, E.L. Kon, D.A. Romanov**

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

**INVESTIGATION OF TIME SLOT LENGTH  
OF P-PERSISTENT CSMA PROTOCOL INFLUENCE  
ON THE LONWORKS NETWORK PERFORMANCE**

Some of the known works on the problem have been reviewed in the article. The task of investigation of time slot length in CSMA protocol influence on the LonWorks network performance, has been defined in the article. The mentioned problem hasn't been widely analyzed in modern literature. In this work a set of bounds has been defined. The simulating model of LonWorks network based on *p*-Persistent CSMA protocol has been developed. As the time slot length is the main parameter influencing on network performance, it has been selected for the analysis. The dependence of basic and predictive *p*-Persistent CSMA protocols performance on the time slot length has been investigated. Some recommendations for time slot length selection depending on network load, have been given. The recommendations mentioned are aimed at the increase in performance of LonWorks network and can be used at the stages of planning and modernization of the networks.

**Keywords:** simulating model, performance, time slot length, *FieldBus*, *LonWorks*, *p*-Persistent CSMA.

Сегодня большинство создаваемых автоматизированных систем и сетей управления технологическими процессами и объектами критической инфраструктуры (АСУ ТП или РИУС (ИУС)) строятся на основе FieldBus-технологий. Это обусловлено множеством факторов, основными из которых являются низкая стоимость, уменьшение количества проводных соединений, в частности, за счёт объединения линий передачи данных и электропитания. Основным принципом FieldBus-технологии заключается в построении цифровых сетей нижнего (полевого) уровня РИУС. Сеть *Fieldbus* представляет собой объединение большого числа распределённых интеллектуальных устройств, обладающих коммуникационными и вычислительными ресурсами. На рынке представлен большой выбор fieldbus-систем: *ProfiBus*, *ModBus*, *P-Net*, *LonWorks*, *EIB* и других. Такое многообразие во многом обусловливается различием требований, характерных для конкретных областей применения РИУС. Для каждой области народнохозяйственной деятельности существует несколько зарекомендовавших себя технологий. Системы *ProfiBus*, *ModBus*, *P-Net* чаще всего используются для создания автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) и производствами в промышленности. Типичными областями применения систем *LonWorks*, *EIB* являются системы автоматизации и управления зданиями (САиУЗ) и автоматизации на транспорте. Одной из наиболее распространённых fieldbus-систем является *LonWorks*. Распространённость этой системы во много обусловлена универсальностью: объединением Lon-сети с другими fieldbus-системами, использованием Lon-сети в качестве транзитной сети для передачи стороннего трафика, большим количеством поддерживаемых сред передачи.

Сегодня выбор той или иной fieldbus-системы при построении РИУС обусловлен выбранной системой критериев, характерной для целевой области автоматизации. Однако одним из наиболее распространённых критериев выбора современной fieldbus-системы является производительность. Поэтому важной задачей является разработка моделей и методов количественной оценки производительности fieldbus систем.

Данная работа посвящена разработке имитационной модели Lon-сети и анализу производительности протоколов доступа *p-Persistent CSMA*. Одной из важных задач, решаемых в работе,

является определение оптимальной, по критерию времени доступа узлов к каналу, величины параметра протокола – ширины соревновательного окна.

### **Анализ существующих работ и постановка задачи**

Проблема количественной оценки производительности Lon-Works-сетей пробудила широкий интерес мирового сообщества учёных. Наиболее актуальными являются работы авторов Marek Miśkiewicz [1], Moshe Kam [2], Даденкова и Кона [3, 4]. Особенностью представленных работ является тот факт, что Lon-сеть исследовалась в режиме насыщенности (в режиме постоянной загрузки канала сети), создаваемом постоянным количеством источников информации  $N$  (нагрузка на канал). Необходимость такого исследования определена важностью оценки предельных характеристик сети при различных нагрузках на канал. Результаты таких исследований могут быть использованы для проектирования сетей, конфигурируемых по принципу объединения большого числа датчиков и исполнительных механизмов в единые интеллектуальные узлы сети. Такая конфигурация оборудования сети позволяет считать с большой долей вероятности, что в сети присутствует определённое псевдопостоянное количество активных узлов. Необходимость представленной стратегии конфигурации узлов сети (приводящей к сокращению общего числа узлов в сети) определена высокой ценовой политикой организации интеллектуальных узлов Lon-сети.

В работах Marek Miśkiewicz показано, что одним из наиболее значимых факторов, влияющих на производительность Lon-сети, является алгоритм доступа к каналу связи на основе протокола *predictive p-Persistent CSMA* (прогнозирующий псевдопостоянный протокол множественного доступа с контролем несущей). В своих работах Marek подробно описал алгоритм доступа узлов к каналу связи и на его основе построил модель сети и разработал аналитические соотношения по оценке основных показателей производительности сети. С помощью предложенной модели автор исследовал и сравнил производительность прогнозирующего и базового *p-Persistent CSMA*-протоколов доступа. Основным отличием исследуемых протоколов явился параметр ширины соревновательного окна, служащий для разделения времени начала передачи узлами сети с целью избегания коллизий. В базовом прото-

коле используется постоянная ширина соревновательного окна, что делает протокол эффективным для обслуживания определённой псевдопостоянной нагрузки в канале. В прогнозирующем протоколе производится корректировка ширины соревновательного окна в зависимости от нагрузки на канал. Это позволяет протоколу более эффективно, в сравнении с базовым, справляться с переменной нагрузкой в канале, изменяемой в широком диапазоне. На основе проведённых исследований Marek отметил высокий уровень производительности predictive *p*-persistent-протокола и целесообразность его использования в событийно-ориентированной Lon-сети.

В отличие от работ M. Miśkowicz, где параметр количества слотов доступа рассчитывается аналитически, Moshe Kam [2] вводит этот параметр в граф модели, тем самым представляя более детализированную модель сети на основе алгоритма доступа. Целью детализации модели представляется получение более точных результатов моделирования. При этом результаты имитационного моделирования Moshe Kam подтвердили с высокой точностью корректность моделей и правильность аналитических выкладок, полученных в работах M. Miśkowicz.

В работах авторов Даденкова и Кона [3, 4] по сравнению с более ранними работами в модель алгоритма доступа введён параметр, учитывающий приоритеты узлов сети, что позволило повысить точность количественной оценки производительности исследуемой сети.

В отличие от проанализированных работ целью настоящей работы является определение оптимальной, по критерию времени доступа узлов к каналу, ширины соревновательного окна для базового и прогнозирующего *p*-persistent CSMA-протоколов. Достижение поставленной цели позволит путём переопределения параметра ширины соревновательного окна алгоритма доступа повысить производительность Lon-сети.

### **Модель Lon-сети на основе алгоритма доступа *p*-Persistent CSMA**

Для разработки имитационной модели Lon-сети выполнен подробный анализ алгоритма доступа на основе базового и прогнозирующего протоколов *p*-Persistent CSMA. Подробное описание алгоритмов представлено в работах [3–5].

Основу разрабатываемой модели составляет система ограничений, подробное описание которой предложено в работах [3, 4].

К основным предположениям, сделанным в работе, относятся: постоянное количество конкурирующих за канал узлов в рамках сегмента сети, тип передаваемых сообщений – одноадресный (unicast), требующий подтверждения, постоянный размер передаваемых пакетов с сетевыми переменными, отсутствие помех в канале связи (все узлы сети распознают коллизию, узлы сети ведут согласованный подсчёт прогнозируемой на канал нагрузки  $BL$ ).

Для разработки имитационной модели выбрана одна из наиболее доступных и распространённых сред моделирования – система моделирования общего назначения (General Purpose Simulation System, GPSS).

В качестве исходных данных для моделирования использованы:

- данные протокола доступа:  $\beta_1, \beta_2$  – временные интервалы,  $W_{base}$  – ширина базового соревновательного окна;
- данные сегмента сети:  $N$  – количество активных узлов в сети,  $PktLength$  – длина пакета в битах,  $BitTime$  – время передачи 1 бита информации.

Интеллектуальные узлы сети в системе моделирования представлены в виде транзактов, которые в каждый момент времени находятся в одном из состояний модели и характеризуются различными значениями управляющих параметров. Имитационная модель сети представлена на рисунке.

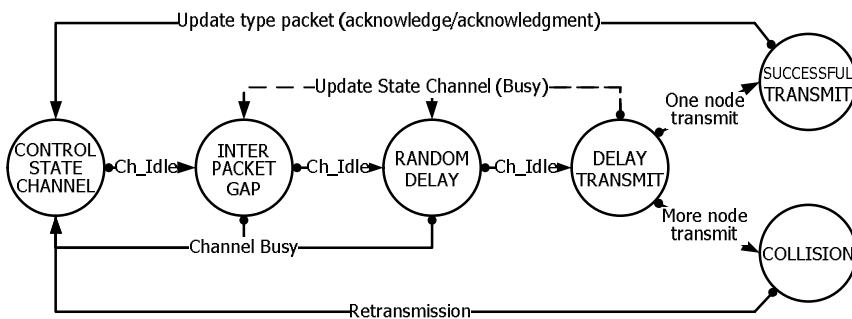


Рис. Имитационная модель Lon-сети

Транзакты в модели могут находиться в одном из следующих состояний:

- CONTROL STATE CHANNEL – контроль за состоянием канала (свободен/занят). Сбор статистики: времени доступа узлов к каналу, времени успешного обслуживания каналом сообщения/подтверждения,

распределения моментов времени между формирования узлами «новых» сообщений, распределения прогнозируемой нагрузки  $BL$  и ширины соревновательного окна  $W$ ;

– INTER PACKET GAP – моделирование задержки минимального межпакетного интервала для доступа к каналу  $\beta_1$ ;

– RANDOM DELAY – моделирование случайной задержки на доступ к каналу;

– DELAY TRANSMIT – моделирование задержки передачи пакета по сети;

– SUCCESSFUL TRANSMIT, COLLISION – блок сбора статистики об успешной/неудачной передаче, блок сигнализации о изменении прогнозируемой на канал нагрузки  $BL$ .

К глобальным параметрам модели относятся параметры, представленные в исходных данных, а также мгновенные значения прогнозируемой на канал нагрузки  $BL$  и ширины соревновательного окна  $W$ . К индивидуальным параметрам транзактов относятся: тип передаваемого пакета (сообщение/подтверждение), количество слотов доступа к каналу, количество попыток передачи, время генерации пакета и другие.

С помощью разработанной модели выполнена оценка производительности LonWorks-сети. В качестве одного из основных показателей производительности в работе выбрано среднее время доступа узлов к каналу сети для успешной передачи. Методом перебора различных значений ширины соревновательного окна  $W$  базового протокола, при различной нагрузке на канал, установлено, что оптимальным по времени доступа узлов к каналу сети значением ширины окна является значение, равное  $3N$ , где  $N$  – количество активных узлов в сети. При этом средняя вероятность коллизии в сети установилась на уровне 15 %. Для варианта с прогнозирующим протоколом выбор ширины соревновательного окна – не столь тривиальная задача. Ввиду того, что  $W_{\text{base}}$  является одновременно начальным значением и шагом изменения ширины соревновательного окна, выбор значения  $W_{\text{base}}$  прогнозирующего протокола не может производиться аналогично базовому протоколу. Это обусловлено тем, что при использовании алгоритма выбора ширины как для базового протокола наилучшее время доступа узлов к каналу будет наблюдаться только в случае

с  $BL$ , равным 1, а при значениях  $BL$ , отличных от единицы, будет наблюдаться не лучшее время доступа узлов к каналу сети. Таким образом, с помощью имитационного моделирования установлено, что базовая ширина соревновательного окна прогнозирующего протокола должна быть меньше, чем для базового протокола. Более подробные исследования позволили выявить оптимальное значение для прогнозирующего протокола  $W_{\text{base}}$ , равное  $3N(1 - N/100)$ , с установлением вероятности коллизий в канале сети на уровень 18 %. Установлено, что с ростом нагрузки на канал время доступа к каналу становится менее чувствительным к базовой ширине, в таком случае допускается принятие небольшого отклонения от оптимальной ширины как в меньшую, так и в большую сторону.

Сравнивая производительность базового и прогнозирующего *p-Persistent CSMA*-протоколов с оптимальной шириной соревновательного окна, для исследуемого случая с постоянным уровнем соперничества в канале стоит отметить практически одинаковое время задержки на доступ к каналу. Использование прогнозирующего протокола с оптимальной шириной соревновательного окна в сравнении с шириной окна, установленной для *LonWorks* де-факто  $W_{\text{base}} = 16$  [5], позволило уменьшить время доступа узлов к каналу сети при низкой и высокой нагрузках на канал на 5–15 %. Для случая со средними нагрузками на канал сегмента (от 5 до 10 активных узлов) базовая ширина в 16 временных слотах является близкой к оптимальной, и поэтому время доступа практически не отличается от времени с оптимальной шириной окна.

### Библиографический список

1. Miśkiewicz Marek. Analysis of Mean Access Delay in Variable-Window CSMA // Sensors. – Kraków, Poland: MDPI, 2007.
2. Kam Moshe. Collision Resolution Simulation for Distributed Control Architectures using LonWorks // IEEE International Conference on Automation Science and Engineering. – Edmonton, Canada: IEEE, 2005.
3. Даденков С.А., Кон Е.Л. Исследование производительности алгоритма доступа к среде predictive *p-Persistent CSMA* протокола // Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012.
4. Даденков С.А., Кон Е.Л. Оценка и анализ производительности *LonWorks*-сети на основе predictive *p-Persistent CSMA* протокола // Вест-

ник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012.

5. LonTalk-protocol specification, ANSI/CEA-709.1-B. United States: ISO/IEC JTC 1 SC 25, 2006.

### **Сведения об авторах**

**Даденков Сергей Александрович** (Пермь, Россия) – ассистент кафедры автоматике и телемеханики Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: dadenkov@rambler.ru).

**Кон Ефим Львович** (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, профессор кафедры автоматике и телемеханики Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: kel-40@yandex.ru).

**Романов Даниил Андреевич** (Пермь, Россия) – студент кафедры автоматике и телемеханики Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: kel-40@yandex.ru).

### **About the authors**

**Dadenkov Sergey Alexandrovich** (Perm, Russian Federation) is an Assistant at the Department of Automation and Telemechanics, Perm National Research Polytechnic University (614990, 29, Komsomolsky prospect, Perm, e-mail: dadenkov@rambler.ru).

**Kon Efim Lvovich** (Perm, Russian Federation) is PhD of Technical Sciences, Professor at the Department of Automation and Telemechanics, Perm National Research Polytechnic University (614990, 29, Komsomolsky prospect, Perm, e-mail: kel-40@yandex.ru).

**Romanov Daniil Andriyovych** (Perm, Russian Federation) is a student of the Department of Automation and Telemechanics, Perm National Research Polytechnic University (614990, 29, Komsomolsky prospect, Perm, e-mail: kel-40@yandex.ru).

Получено 05.09.2013