

УЧРЕДИТЕЛИ

ФГБУ науки
Институт проблем управления
им. В. А. Трапезникова РАН,
НП "Национальная технологическая
палата",
ООО "Сенсидат-Плюс" (редакция)

Гл. редактор	Ф.Ф. Пашенко
Зам. гл. редактора	Н.Н. Кузнецова
Зам. гл. редактора	А.Ф. Каперко
Гл. редактор ИКА	В.Ю. Кнеллер
Отв. секретарь	Г.М. Баранова
Выпускающий редактор	С.В. Суханова

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Р.Р. Бабаян, д.т.н., Г.М. Баранова, Г.И. Джанджава, д.т.н., А.Н. Житков, к.т.н., Э.Л. Ицкович, д.т.н., проф., А.Ф. Каперко, д.т.н., проф., В.Ю. Кнеллер, д.т.н., проф., Л.Н. Коломиец, к.т.н., Н.Н. Кузнецова, В.П. Морозов, д.т.н., Ф.Ф. Пашенко, д.т.н., проф., Г.А. Пикина, д.т.н., проф., Б.И. Подлепечкий, к.т.н., В.В. Поляков, Н.Л. Прохоров, д.т.н., проф., И.Б. Ядыкин, д.т.н.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ РЕДЦОВЕТЫ

(руководители)

Санкт-Петербург В.Г. Кнорринг — (812) 297-60-01	Ижевск В.А. Алексеев — (341-2) 21-29-33
Нижний Новгород С.М. Никулин — (831) 436-78-40	Оренбург М.Г. Кучеренко — (353-2) 77-34-19
Екатеринбург С.В. Поршнев — (343) 375-97-79	Владимир В.Н. Устюжанинов — (492-2) 33-59-67
Новосибирск Ю.В. Чугуй — (383-3) 33-73-60	Тула В.Я. Распопов — (487-2) 35-19-59
Красноярск В.Г. Паюков — (391-2) 912-279	Воронеж В.К. Битюков — (473-2) 55-36-94
Бийск Ю.А. Галенко — (3854) 43-25-69	Курск В.С. Титов — (471-2) 58-71-12
Л.С. Звольский (3854) 30-59-44	Тамбов С.В. Мищенко — (475-2) 72-10-19
Пенза Е.А. Мокров — (841-2) 56-55-63	Астрахань И.Ю. Петрова — (851-2) 25-73-11
М.А. Шербаков (841-2) 56-37-08	Минск И.С. Манак — (417) 278-13-13
Рязань С.Н. Кириллов — (491-2) 92-04-55	Львов И.И. Марьямова — (10-380-322) 72-16-32
Ульяновск Н.Г. Ярушкина — (842-2) 43-03-22	
Уфа В.Г. Гусев — (347-2) 23-77-89	

Журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых изданий ВАК, публикующих основные результаты докторских и кандидатских диссертаций (октябрь 2010 г.)

Подписные индексы:

79363 в каталоге Роспечати; 40874 в каталоге "Пресса России"

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

117997, ГСП-7, Москва, ул. Профсоюзная, 65, к. 383
Тел./факс: (495) 330-42-66

www.datsys.ru

E-mail: datchik@ipu.ru, datsys@mail.ru

Оригинал-макет и электронная версия подготовлены ИП Прохоров О. В.

Отпечатано в типографии "ЭЛИТ-ЮТЕРНА"

Заказ 27/02

Подписано в печать 10.02.2014.

Журнал зарегистрирован в Комитете РФ по печати.

Свидетельство о регистрации

ПИ № ФС 77-56548 от 26 декабря 2013 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРИЯ И ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ДАТЧИКОВ, ПРИБОРОВ И СИСТЕМ

Гучук В. В., Десова А. А., Дорофеев А. А., Анохин А. М. Процедура объективизации экспертной классификации характеристик биосигналов для медико-диагностических комплексов	2
Гусев В. Г., Демин А. Ю. Оценка состояния нелинейных тепловых объектов (на примере биообъектов)	8
Федотов А. А. Структура и погрешности фотометрического преобразователя артериальной пульсации крови	12
Макаров В. В., Володин С. М. Алгоритм конвейерного циклического опроса беспроводной сенсорной связи	16
Скворцов Б. В., Зарецкая М. И., Зарецкий И. С. Моделирование системы управления устройством нанесения покрытия	21

КОНСТРУИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО ДАТЧИКОВ, ПРИБОРОВ И СИСТЕМ

Макеев Ю. В., Лифанов А. П., Совлуков А. С. Повышение точности микроволновых измерений влагосодержания сырой нефти в потоке	24
Кириллов А. Г., Рейман А. М. Ультразвуковые сигнализаторы уровня горючих и токсичных жидкостей в закрытых емкостях	32
Масальский Н. В. Компактное устройство для контроля концентрации газообразного аммиака	37
Бондарь О. Г., Брежнева Е. О., Полякова А. В. Применение микроконтроллера для температурной стабилизации полупроводниковых газочувствительных датчиков	41

Новые приборы

Электрометрический вариометр	47
---	----

ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЬ, АВТОМАТИЗАЦИЯ (журнал в журнале)

Баринов И. Н., Волков В. С., Цыпин Б. В., Евдокимов С. П. Разработка и изготовление микроэлектронных датчиков давления для особо жестких условий эксплуатации.	49
Приглашение к представлению докладов на конференции и симпозиумы. . .	62

* * *

Contents and abstracts	64
---	----

биосигнала, N — общее количество измеренных параметров.

В результате проведенных исследований метрологических характеристик разработанного ФИП артериальной пульсации крови были получены следующие значения инструментальной погрешности измерения параметров биосигнала: относительная погрешность измерения длительности межпульсовых интервалов не более 1,5 %; относительная погрешность измерения амплитуды сигнала артериальной пульсации крови не более 2,3 %.

Таким образом, схмотехнические решения разработанного фотометрического ИП артериальной пульсации крови обеспечивают высокую эффективность регистрирования биосигнала и низкие значения инструментальной погрешности измерения амплитудно-временных характеристик регистрируемого биосигнала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Allen J. Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement // *Physiological Measurement*. — 2007. — Vol. 28. — P. 1–39.
2. Expert Consensus Document on arterial stiffness: methodological issues and clinical applications // *European Heart Journal*. — 2006. — Vol. 27 (21). — P. 2588–2605.
3. Webster J. G. Design of Pulse Oximeters. — The Medical Science Series, Taylor & Francis, 1997. — 260 p.
4. Cui W. In vivo reflectance of blood and tissue as a function of light wavelength // *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. — 1990. — Vol. 37 (6). — P. 632–639.
5. Jones D. P. Medical electro-optics: measurements in the human microcirculation // *Physics in Technology*. — 1987. — Vol. 18. — P. 79–85.
6. Webster J. G. Medical instrumentation. Application and design / Edited by J. G. Webster. — John Wiley & Sons, 2009. — 675 p.
7. Аш Ж. Датчики измерительных систем: В 2-х кн. Пер. с франц. — М.: Мир, 1992. — 480 с.
8. Allen J., Murray A. Effects of filtering on multi-site photoplethysmography pulse waveform characteristics // *Computers in Cardiology Proceedings*. — 2004. — P. 485–488.
9. Калакутский Л. И., Федотов А. А. Диагностика дисфункции сосудистого эндотелия методом контурного анализа пульсовой волны // *Известия ЮФУ. Технические науки*. — Таганрог, 2009. — № 9. — С. 93–98.
10. Федотов А. А. Амплитудно-временной метод детектирования характерных точек сигнала пульсовой волны // *Медицинская техника*. — 2012. — № 6. — С. 22–28.
11. Новицкий П. В., Зограф И. А. Оценка погрешностей результатов измерений. — Л.: Энергоатомиздат, 1991. — 304 с.

Александр Александрович Федотов — канд. техн. наук, доцент кафедры радиотехники и медицинских диагностических систем Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С. П. Королева (национальный исследовательский университет).

☎ 8 (846) 927-76-68

E-mail: fedoaleks@yandex.ru

□

УДК 621.317.72

АЛГОРИТМ КОНВЕЙЕРНОГО ЦИКЛИЧЕСКОГО ОПРОСА БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СВЯЗИ

В. В. Макаров, С. М. Володин

Рассмотрена беспроводная сенсорная сеть с мозаичной структурой. Предложен конвейерный алгоритм циклического опроса сети. Получены оценки надежности, длительностей циклического опроса и активного состояния произвольного узла сети.

Ключевые слова: интеллектуальный датчик, беспроводная сенсорная сеть.

ВВЕДЕНИЕ

Беспроводные сенсорные сети (БСС) в информационно-измерительных системах (ИИС) позволяют снизить стоимость прокладки и обслуживания линий связи, повысить достоверность передаваемых данных, улучшить надежность ИИС бла-

годаря возможностям самоорганизации и самовосстановления сетей [1, 2].

В состав БСС входят устройства трех видов: интеллектуальные датчики (ИД) и их кластеры, ретрансляторы сообщений и центральный контроллер (ЦК), координирующий работу

сети. ИД выполняют сбор, первичную цифровую обработку и передачу измерительной информации в ЦК с помощью ретрансляторов сообщений.

Ретрансляторы сообщений хранят в памяти всевозможные маршруты и выбирают оптимальный в данный момент вре-

мени маршрут передачи сообщений в ЦК, который организует и настраивает сеть, координирует работы входящих в нее блоков, выполняет сбор и конечную обработку измерительной информации, поступающей от ИД [3]. Беспроводная передача данных с помощью радиолиний связи использует известные технологии Bluetooth, Zigbee, Wi-Fi и др. [4].

Одной из задач проектирования БСС является построение расписания работы сети [5, 6]. Сформулируем ее как разработку алгоритма опроса всех ИД сети без потери измерительной информации за наименьшее время и при минимальных энергетических затратах на работу сети, что обеспечивает оперативность измерений, надежность передачи данных, увеличение срока службы сети без ее обслуживания.

Ниже решение этой задачи рассматривается для БСС с мозаичной структурой: оценивается надежность ее работы, предлагается "конвейерный" алгоритм и исследуется время равномерного циклического опроса сети. Алгоритм обеспечивает поочередную инициализацию измерений ИД, формирование пакетов результатов текущих преобразований, бесконфликтную передачу пакетов в ЦК, использование запасных маршрутов для успешного опроса всех узлов сети.

СТРУКТУРА СЕТИ

Для снижения энергетических затрат передача сообщений выполняется на короткие расстояния. ИД находятся в активном рабочем состоянии лишь во время сбора результатов измерений и переходят в состояние с пониженным энергопотребле-

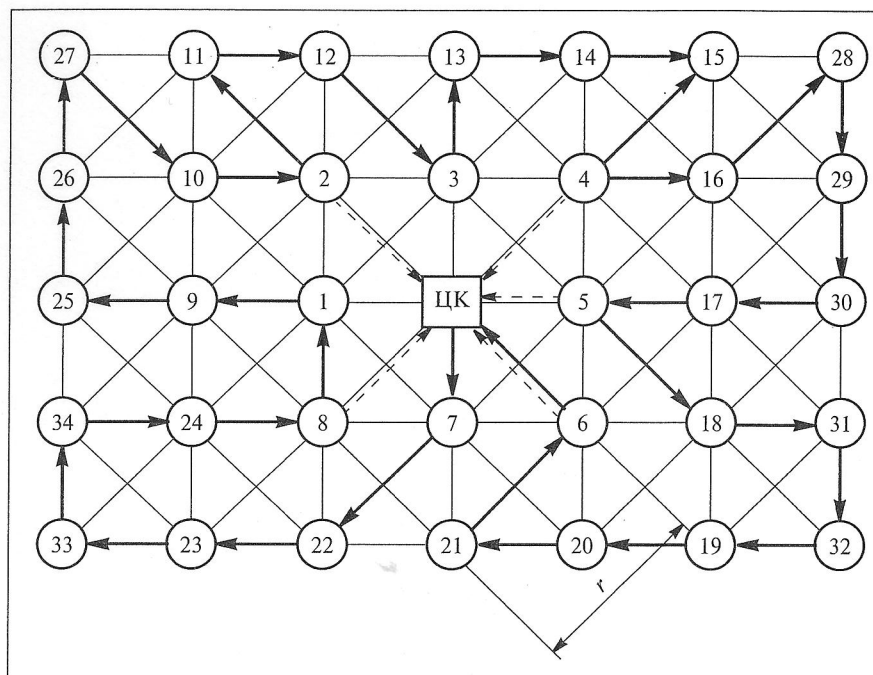


Рис. 1. Граф беспроводной сенсорной сети:

ЦК — центральный контроллер; 1—34 — ретрансляторы; r — расстояние доступа

нием после передачи данных в сеть на время оставшейся части цикла опроса. С целью сокращения длительности цикла выбрана бесконфликтная стратегия передачи данных. Для повышения надежности работы сети маршруты передачи данных многократно резервированы.

Структуры действующих сетей весьма разнообразны: звезды, кластерные деревья, сетки, позвоночники, мозаики и др. [7, 8]. В статье рассматривается сеть, имеющая мозаичную структуру квадратных полей. Граф БСС, включающей ЦК и 34 узла сети, представлен на рис. 1. Рассматриваемая структура часто встречается в ИИС мониторинга состояний зданий, промышленных сооружений и конструкций, складов, технологических линий.

Корнем графа является ЦК, вокруг которого на трех стратах расположены узлы сети с номерами 1—34. Каждый узел содер-

жит ретранслятор сообщений и кластер ИД, соединенный с ретранслятором беспроводной или проводной линией связи. Тонкими линиями помечены ребра графа, являющиеся радиолиниями передачи сообщений.

Расстояние доступа r между соседними по диагоналям ретрансляторами сообщений обеспечивает надежную радиосвязь. При передаче на расстоянии, большие $\sqrt{2}r$, мощность сообщений не достигает порога восприятия приемников ретрансляторов и такие сообщения не принимаются. Выбор r обеспечивает надежную и экономичную передачу данных, определяется также плотностью размещения на объекте кластеров ИД и требуемым сроком службы узлов сети без их дополнительного обслуживания.

Узлы 1—8 отстоят на один шаг передачи сообщений от ЦК (узла 0) и относятся к первой

страте сети. Узлы 9—24 принадлежат ко второй страте; узлы 25—34 принадлежат к третьей страте, отстоящей на три шага передачи сообщений от центрального контроллера сети.

В предлагаемом конвейерном алгоритме выполняется последовательный циклический опрос узлов сети, расположенных вдоль начинающегося и заканчивающегося в ЦК [8] гамильтонова цикла. Из рассмотрения рис. 1 видно, что такой цикл всегда существует. Жирной ломаной линией со стрелками на рис. 1 показан один из возможных маршрутов опроса сети:

$$(0; 7; 22; 23; 33; 34; \dots; 32; 19; 20; 21; 6; 0). \quad (1)$$

НАДЕЖНОСТЬ РАБОТЫ СЕТИ

В процессе работы возможны отказы четырех компонентов сети: центрального контроллера; радиолиний связи из-за препятствий на пути прохождения радиоволн; приемопередатчиков ретрансляторов сообщений; кластеров ИД.

Отказ ЦК наиболее критичен и приводит к выходу из строя сети, что может быть предотвращено горячим резервированием. Отказы линий связи не столь критичны, если для каждого участка маршрута имеются запасные обходные пути. Например, для показанного на рис. 1 участка маршрута (26, 27) имеются три запасных пути: (26, 10, 27), (26, 11, 27) и (26, 10, 11, 27).

В мозаичной структуре сети на рис. 1 для каждого участка маршрута (1) имеется не менее трех запасных путей. При отказе одного из путей доставки сообщений передающий ретранслятор заменяет отказавший путь доставки запасным и изменяет список приоритетов путей доставки сообщений, помещая от-

казавший путь в конец списка. При отсутствии возможных путей передачи сообщений на произвольном участке маршрута передающий ретранслятор исключает этот участок из маршрута опроса сети и посылает сообщение об этом центральному контроллеру сети.

При отказе приемопередатчиков ретранслятора или кластера ИД отказавший узел исключается из маршрута опроса сети и сообщение об этом передается в ЦК сети, где принимается решение о дальнейшей организации работы сети.

Если произошедший отказ участка маршрута опроса не является критическим, ЦК разрабатывает новый маршрут опроса сети. Производится перенастройка сети, и новый маршрут опроса сообщается всем РД, каждый из которых составляет список приоритетов путей передачи сообщений последующим ретрансляторам и инициируется новый цикл опроса сети.

Оценим надежность работы сети, содержащей N узлов. Каждый из узлов обслуживает свой кластер ИД. Для простоты рассуждений полагаем, что все ретрансляторы сообщений и кластеры ИД имеют одинаковые технические характеристики. Введем показатели вероятности безотказной работы устройств сети за время работы T_p : $P_{ЦК}$ — центрального контроллера сети; $P_{ЛС}$ — линии связи; $P_{РС}$ — ретранслятора сообщений; $P_{КЛ}$ — кластера ИД.

Число запасных путей обхода отказавшего участка маршрута составляет не менее трех. Полагаем отказавшие устройства сети (исключая радиолинии) невосстанавливаемыми, а отказы устройств — независимыми. Запишем оценку снизу вероят-

ности безотказной работы сети $P_C(N)$ за время ее работы T_p в случае отсутствия отказов центрального контроллера, N линий связи и N узлов сети:

$$P_C(N) \geq P_{ЦК} \{ P_{РС} P_{КЛ} [3P_{ЛС} - 3(P_{ЛС})^2 + (P_{ЛС})^3] \}^N. \quad (2)$$

В качестве примера рассмотрим сеть, изображенную на рис. 1 при следующих исходных данных: $N = 34$, $T_p = 2$ года, $P_{ЦК} = 0,99$; $P_{ЛС} = 0,95$; $P_{РС} = P_{КЛ} = 0,999$, для которой из (2) получим: $P_C(N) \geq 0,92$. Таким образом, надежность сети существенно зависит от числа узлов N и от показателей надежности входящих в состав сети устройств.

Если отказ некоторого числа устройств сети не приводит к потере ее работоспособности, можно достичь более высоких показателей надежности сети. Пусть, например, при отказе K узлов сеть остается работоспособной. Доля оставшихся работоспособными узлов сети при этом составляет $\alpha = 1 - K/N$.

Оценка снизу вероятности безотказной работы сети $P_C(\alpha N)$ с числом работоспособных узлов не менее αN находится с помощью выражения (2):

$$P_C(\alpha N) \geq P_{ЦК} A^N \times \left[1 + \sum_{l=1}^K C_N^l \left(\frac{1-A}{A} \right)^l \right], \quad (3)$$

где $A = P_{РС} P_{КЛ} [3P_{ЛС} - 3(P_{ЛС})^2 + (P_{ЛС})^3]$, C_N^l — число сочетаний из N по l .

Пусть сеть сохраняет работоспособность при выходе из строя не более 10 % ее узлов. При тех же исходных данных из выражения (3) оценка снизу вероятности безотказной работы сети: $P_C(0,9N) \geq 0,988$. Таким

II — подтверждение успешной передачи сообщения; Д — посылка (прием) текущего пакета; Ф — формирование текущего пакета; В — прием пакета данных; А — добавление в него новых результатов измерений; К — подтверждение успешной передачи пакета данных; И — длительность измерений; Н — длительность измерений; О — длительность операций (кроме операций Ф).

Команда К приходит на узел Y_I . Узел Y_I переходит в активное состояние (ПС) и посылает подтверждение II приема команды на предыдущий узел Y_{I-1} . Далее в узле Y_I одновременно выполняются измерения и прием текущего пакета данных из узла Y_{I-1} . После окончания приема данных узел Y_I посылает подтверждение об этом (П) в узел Y_{I-1} . В узле Y_I формируется новый текущий пакет данных добавлением полученных измерений. Узел Y_I посылает команду К узлу Y_{I+1} , получает подтверждение об успешной ее передаче и посылает текущий пакет данных в следующий 22-й узел сети.

Цикл опроса сети заканчивается после того, как результаты измерений во всех узлах сети будут переданы в центральный контроллер сети. Таким образом, команды выполнения измерений и пополняемый пакет данных передаются последовательно по маршруту (1). Целью снижения времени передачи пакета данных, активной длительности измерений и цикла опроса сети размер поля данных текущего пакета ограничен результатами измерений в семи узлах. В связи с этим текущий пакет данных периодически передается из узлов первой страты 2, 4, 5 и 6 в ПК (штриховые линии на рис. 1) и очисляется. На рис. 2 показаны временные диаграммы работы трех соседних узлов сети Y_I, Y_{I+1}, Y_{I+2} и выполняемые в них операции, обозначенные: И — последовательные измерения физических величин, воспринимаемых датчиками кластера; К — посылка (прием) команды выполнения измерения; ПС — переход узла сети в активное рабочее состояние; ВС — переход узла сети в пассивное состояние с понижением энергопотреблением;

Рассмотрим временные диаграммы на рис. 2. Полагаем, что длительность измерений И не превышает длительностей остальных операций (кроме операции Ф).

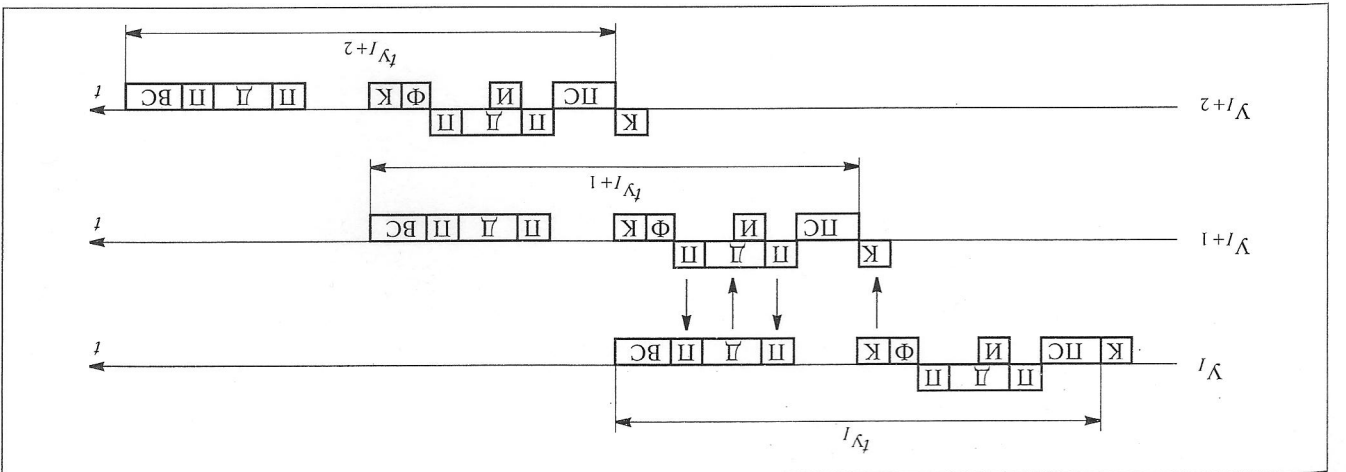
Команда К приходит на узел Y_I . Узел Y_I переходит в активное состояние (ПС) и посылает подтверждение II приема команды на предыдущий узел Y_{I-1} . Далее в узле Y_I одновременно выполняются измерения и прием текущего пакета данных из узла Y_{I-1} . После окончания приема данных узел Y_I посылает подтверждение об этом (П) в узел Y_{I-1} . В узле Y_I формируется новый текущий пакет данных добавлением полученных измерений. Узел Y_I посылает команду К узлу Y_{I+1} , получает подтверждение об успешной ее передаче и посылает текущий пакет данных в следующий 22-й узел сети.

Цикл опроса начинается с командой К равна n битов. Поддержка в этом узле результатов измерений в соответствии с (1). Поддержка в этом узле результатов измерений заносится в подготавливаемый текущий пакет данных, в соответствии с (1), команда выполнения измерения с (1), которая передается в следующий 22-й узел сети.

Рассмотрим алгоритм контроля отказов отдельных элементов алгоритма опроса учитывает возможность отказа отдельных элементов алгоритма опроса. Рассмотрим ниже цикл опроса сети. Надежность сети повышается, надежность сети повышается. Рассмотрим алгоритм контроля отказов отдельных элементов алгоритма опроса учитывает возможность отказа отдельных элементов алгоритма опроса.

АЛГОРИТМ ОПРОСА СЕТИ

Рис. 2. Временные диаграммы работы соседних узлов сети: Y_I, Y_{I+1}, Y_{I+2} — соседние узлы связи; $t_{Y_I}, t_{Y_{I+1}}, t_{Y_{I+2}}$ — длительности активного состояния узлов сети



ных D в узел U_{I+1} . После того, как узел U_I получит подтверждение об успешной передаче данных, он переходит в состояние ВС. На этом работа узла U_I заканчивается. Длительность активной работы узла U_I обозначена через t_{U_I} . Аналогичным образом работают следующие узлы U_{I+1} и U_{I+2} .

Обозначим времена выполнения операций: перехода в пассивный режим $t_{ПС}$; переход в активный режим $t_{ВС}$; приема (передачи) команды начала измерений $t_{К}$; приема (передачи) подтверждения прихода сообщения $t_{П}$; приема (передачи) пакета данных $t_{Д}$; выполнения измерений $t_{И}$; формирования текущего пакета данных $t_{Ф}$.

Из рассмотрения временных диаграмм с учетом особенностей работы конвейерного алгоритма опроса получены следующие выражения временных характеристик алгоритма:

длительность цикла опроса сети

$$T_{ЦО, К} = N(t_{К} + 2t_{П} + t_{Д} + t_{ПС} + t_{Ф}) + t_{ВС} + t_{И}; \quad (4)$$

длительность активного состояния произвольного узла сети

$$T_{АС, К} = 2(2t_{П} + t_{Д}) + t_{ПС} + t_{К} + t_{Ф}, \quad (5)$$

где $t_{Д} = (144 + 7mn)/v_{П}$, $v_{П}$ — скорость передачи сообщений в бит/с.

Для сравнения рассматривался алгоритм “бесконфликтного опроса” [5], в соответствии с которым в начале цикла опроса ЦК передает в сеть широковещательную команду K ; затем выполняется последовательный во времени сбор измерительных данных со всех узлов сети. Для сети с M_C стратами, представ-

ленной на рис. 1, получены следующие выражения временных характеристик этого алгоритма:

длительность цикла опроса сети

$$T_{ЦО, Б} = 0,5M_C(M_C + 1) \times (t_{К} + 2t_{П} + t_{Д} + t_{ПС}) + t_{К} + t_{ПС} + 2t_{ВС} + t_{Ф} + t_{И}; \quad (6)$$

длительности $T_{АС, Б}(k)$ активного состояния любых принадлежащих k -й страте узлов сети

$$T_{АС, Б}(1) = 16t_{П} + 8t_{Д} + 4t_{К} + 4t_{ПС} + t_{Ф} + t_{И};$$

$$T_{АС, Б}(2) = 6t_{П} + 3t_{Д} + t_{К} + t_{ПС} + t_{Ф} + t_{И}; \quad (7)$$

$$T_{АС, Б}(3) = 2t_{П} + t_{Д} + t_{Ф} + t_{И},$$

где $t_{Д} = (96 + mn)/v_{П}$.

В качестве численного примера рассмотрим сеть на рис. 1 с параметрами: $N = 34$; $M_C = 3$; $m = 3$; $n = 12$; $t_{И} = 0,03$ мс; $t_{ПС} = t_{ВС} = 1$ мс; $t_{Ф} = 0,1$ мс; $v_{П} = 250$ кбит/с; $t_{К} = 0,42$ мс; $t_{П} = 0,35$ мс. С помощью выражений (4)–(7) получены численные значения временных характеристик обоих алгоритмов циклического опроса сети: $T_{ЦО, К} = 130$ мс; $T_{АС, К} = 6,12$ мс; $T_{ЦО, Б} = 222,8$ мс; $T_{АС, Б}(1) = 15,7$ мс; $T_{АС, Б}(2) = 5,3$ мс; $T_{АС, Б}(3) = 1,4$ мс.

Таким образом, предлагаемый конвейерный алгоритм на 42 % уменьшает длительность циклического опроса сети в сравнении с алгоритмом [5] и обеспечивает одинаковую длительность активного состояния всех узлов сети, что увеличивает срок службы сети. Для узлов 1-й страты эта длительность в 2,5 раза меньше длительности активного состояния узлов сети в случае применения алгоритма [5].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Конвейерный алгоритм циклического опроса, разработанный для применения в беспроводных сенсорных сетях информационно-измерительных систем и систем автоматического управления, позволяет уменьшить длительность циклического опроса сети, повысить надежность работы и срок службы узлов беспроводной сенсорной сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Нейджел Д. Дж.* Беспроводные сети интеллектуальных датчиков // Датчики и системы. — № 6. — С. 51–58.
2. *Зайцев А. А., Устинова Е. А.* Беспроводные сенсорные сети — перспективы и задачи // Электросвязь. — 2009. — № 8. — С. 26–31.
3. <http://book.itep.ru/4/41/Zigbee.htm>.
4. *Аникин А.* Обзор современных технологий беспроводной передачи данных // Беспроводные технологии. — 2011. — № 4. — С. 6–12.
5. *Шенета А. П., Евсеев Г. С., Бакин Е. А.* Нижняя граница длительности периода сбора информации в сенсорной сети // Информационно-управляющие системы. — 2011. — № 6. — С. 64–67.
6. *Мочалов В. А.* Построение расписания доступа в беспроводную сенсорную сеть // Электросвязь. — 2009. — № 10. — С. 36–40.
7. *Скиба К.* Создание телеметрических распределенных систем на базе модулей Telit RK с использованием технологии Mesh Lite // Беспроводные технологии. — 2011. — № 1. — С. 16–20.
8. *Оре О.* Теория графов. — М.: Наука, 1980. — 336 с.

Работа выполнена в Московском институте электроники и математики Национального исследовательского университета “Высшая школа экономики”.

Владимир Васильевич Макаров — д-р техн. наук, профессор;

☎ 8 (495) 699-77-47

E-mail: Makarov.VW@yandex.ru

Сергей Михайлович Володин — канд. техн. наук, вед. электроник.

☎ 8 (495) 778-06-48

□