

условно показано использование мультиплексоров, позволяющих под программным управлением одновременно сформировать  $Q$  пакетов сообщений. В результате этого для приёма, компоновки и передачи сообщений достаточно  $T = T_{сн} + T_{ср}$   $R$  времени, где  $T_{сн}$  – время ввода/вывода сообщения в секцию памяти, а  $R$  – количество сообщений в формируемом пакете.

Высокое быстродействие и прозрачная структура позволяют рассчитывать на создание при использовании современных конструктивно-технологических решений ИМКМ, имеющих приемлемые технико-экономические характеристики. В свою очередь такие модули составят основу для появления модификаций, ориентированных на применение в отказоустойчивых программируемых распределённых микрокомпьютерных системах СОИД, а также в сетевых структурах с гибридной топологией.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пьявченко О.Н. Интеллектуальные микропроцессорные модули сбора и обработки информации датчиков // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 5 (106). – С. 141-150.
2. Пьявченко О.Н. Структурные особенности организации сбора и обработки информации датчиков в распределённых информационных микрокомпьютерных системах реального времени // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 5 (130). – С. 12-20.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор А.М. Белевцев.

**Пьявченко Олег Николаевич** – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: kafmps@ttpark.ru; 347900, г. Таганрог, ул. Петровская, 81; тел.: 88634328052; кафедра микропроцессорных систем; зав. кафедрой; д.т.н.; профессор.

**Ryavchenko Oleg Nikolaevich** – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: kafmps@ttpark.ru; 81, Petrovskaya street, Taganrog, 347900, Russia; phone: +78634328052; the department of microprocessor systems; head of department; dr. of eng. sc.; professor.

УДК 621.05.3

**Н.С. Петров**

#### **ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ В КОММУНИКАЦИОННОМ МОДУЛЕ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ МИКРОКОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ**

*Показана актуальность разработки и применения в высокопроизводительных распределённых информационных микрокомпьютерных системах (РИМКС) мониторинга динамических объектов особого класса устройств – интеллектуальных микроконтроллерных коммуникационных модулей. При проектировании таких модулей следует делать акцент на использование современных беспроводных технологий, повышающих эффективность работы как самих устройств, так и систем в целом. Рассматриваются особенности организации функционирования коммуникационных модулей с использованием беспроводных каналов связи для распределения и передачи высокодинамичных потоков информации между двумя уровнями иерархии РИМКС. Приведены достоинства и недостатки последовательного и параллельного приёма информации коммуникационным модулем. Выданы некоторые рекомендации по использованию того или иного способа организации беспроводной связи.*

*Распределённая система; коммуникационный модуль; беспроводная связь.*

N.S. Petrov

**FEATURES OF THE ORGANIZATION OF THE WIRELESS  
COMMUNICATION IN THE COMMUNICATION MODULE  
OF THE DISTRIBUTED INFORMATION MICROCOMPUTER SYSTEM**

*In article relevance of development and application in the high-performance distributed information microcomputer systems (DIMCS) of monitoring of dynamic objects of a special class of devices – intelligent microcontroller communication modules is shown. At design of such modules it is necessary to place emphasis on use of the modern wireless technologies increasing overall performance both of devices, and systems as a whole. Features of the organization of functioning of communication modules with use of wireless communication channels for distribution and transfer of high-dynamic flows of information between two levels of hierarchy of DIMCS are considered. Merits and demerits of consecutive and parallel reception of information are given by the communication module. Some recommendations about use of this or that way of the organization of a wireless communication are issued.*

*The distributed system; the communication module; wireless communication.*

Одним из условий реализации наблюдения и управления сложными высокодинамичными процессами и техническими объектами, является создание высокопроизводительных и высокоточных распределённых информационных микрокомпьютерных систем (РИМКС), функционирующих в режиме «жесткого» реального времени [1].

РИМКС мониторинга представляет собой построенную на основе микропроцессоров и микроконтроллеров совокупность программно-аппаратных компьютерных средств, целевой функцией которой является представление пользователю и/или в информационную систему более высокого уровня информации о состоянии наблюдаемого (контролируемого) объекта, полученной в результате сбора и интеллектуальной обработки сигналов датчиков [2].

Структуру РИМКС мониторинга динамических объектов в обобщённом виде можно представить в виде параллельно-последовательной иерархической четырёхъярусной схемы решения задач сбора и обработки информации датчиков (СОИД), представленной на рис. 1. Эти задачи представляются в виде набора  $\langle Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 \rangle$ , каждая из которой решается на своём ярусе. На нижнем, первом ярусе, решаются задачи  $Z_1 = \{Z_{1d} \ (d = \overline{1, D})\}$  аналоговой обработки сигналов датчиков физических величин и аналого-цифровых преобразований. К более высокому второму ярусу отнесены задачи  $Z_2 = \{Z_{2d} \ (d = \overline{1, D})\}$  первичной цифровой обработки сформированных на первом ярусе числовых значений сигналов датчиков. На третьем ярусе расположены задачи первого уровня вторичной цифровой обработки  $Z_3 = \{Z_{3d} \ (d = \overline{1, D})\}$ , которые объединяют задачи измерений значений сигналов в физических единицах, определений состояний физических величин и их оценок и т.д. На четвертом ярусе  $Z_4$ , в простейшем случае, решаются задачи сортировки и концентрации результатов обработки на третьем ярусе, формирования информационного объекта и организации его отправки внешним абонентам [3].

При аппаратной реализации такой схемы решения задач  $\langle Z_1, Z_2, Z_3 \rangle$  для каждой ветви может использоваться либо набор микроконтроллерных модулей, решающих каждую задачу отдельно (или в определённой комбинации), либо один модуль, решающий совокупность задач. То есть между первыми тремя ярусами для передачи обработанных данных должны использоваться каналы связи в первом случае (один или два), либо отсутствовать вовсе во втором. Очевидно, что для ре-

шения задачи  $Z_4$  необходим другой класс устройств, так как она является целевой для всей системы и не может решаться в той или иной степени модулями нижнего уровня. Таким образом, вне зависимости от аппаратной реализации решения задач  $\langle Z_1, Z_2, Z_3 \rangle$ , между 3-м и 4-м ярусом без каналов связи обойтись нельзя.

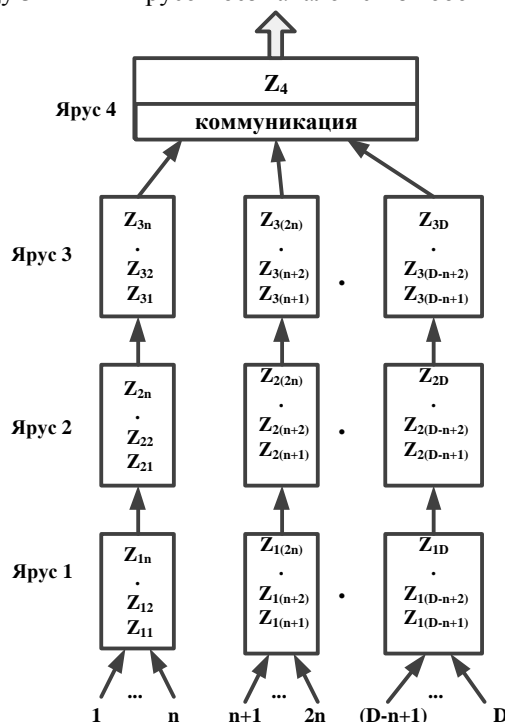


Рис. 1. Параллельно-последовательная схема решения задач СОИД

В случае, когда РИМКС состоит из большого числа датчиков, которые в совокупности с модулями обработки информации составляют сложную и разветвленную сеть, а решение сложной задачи  $Z_4$  разделяется между несколькими вычислителями (микрокомпьютерами), необходимо распределять потоки информации между 3-м и 4-м ярусами. Для решения этой дополнительной задачи вводится интеллектуальный микроконтроллерный коммуникационный модуль (КМ).

Основная тенденция развития средств связи в промышленности – это переход на беспроводные технологии, которые позволяют снизить затраты, связанные с проектированием, монтажом и обслуживанием кабельных коммуникаций при сохранении надёжности и скорости передаваемых данных. Кроме того, беспроводные сети могут обеспечивать ситуационное программное управление топологией, что является их основным преимуществом. Таким образом, актуальным является построение коммуникационных модулей на основе беспроводных технологий передачи данных.

При использовании беспроводной технологии можно выделить две основные схемы организации приёма информации коммуникационным модулем – последовательная и параллельная.

В случае последовательной организации КМ содержит со стороны приёма один приёмопередатчик, который последовательно во времени собирает информацию с  $G=D/n$  параллельных ветвей и сохраняет её в секционированной памяти (СП) для дальнейшей сортировки и передачи. То есть применяется топология «звезда» и

используется всего один беспроводной канал связи, настроенный на некоторую частоту  $f$  и данные, по которому передаются со скоростью  $V_k$ . К достоинству такой организации следует отнести минимальные аппаратные затраты на её реализацию. При использовании КМ с такой организацией в составе сложной многоуровневой РИМКС проявляются следующие недостатки: возникновение фазовых задержек из-за последовательного сбора информации с  $G$  ветвей, необходимость согласования скорости передачи данных с временем формирования результатов на нижнем уровне ( $Z_3$ ), при большом количестве ветвей и высоком темпе поступления данных скорости канала может не хватить для успешного функционирования сбора.

При параллельной организации сбора каждому приёмопередатчику  $g$ -й ( $g=1..G$ ) ветви соответствует настроенный на одну с ним частоту  $f_g$  приёмопередатчик коммуникационного модуля. При такой организации используется разделение каналов по частоте. Количество непересекающихся каналов, т.е. работающих параллельно и не мешающих друг другу, определяется некоторой величиной  $N_k$  и зависит от применяемого стандарта беспроводной технологии, несущей частоты, используемой частотной ширины канала и пр. Например, для технологии Wi-Fi при работе на частоте 2,4 ГГц можно организовать  $N_k=3$  непересекающихся канала передачи данных с шириной канала 20 МГц (при ширине 40 МГц только один канал). То есть всего три различных Wi-Fi сети могут работать в одном эфирном пространстве, не создавая друг другу помех. В настоящее время практически в любых местах наблюдается наличие более трех сетей, что означает невозможность создания своей дополнительной сети, не взаимодействующей с уже существующими. Это может сильно увеличить количество потерь пакетов, что уменьшит общую пропускную способность системы. При работе же в диапазоне 5–6 ГГц количество непересекающихся каналов передачи данных равно  $N_k=19$ , для каждого из которых можно использовать ширину 40 МГц.

Достоинства такой организации приёма информации: по сравнению с последовательной организацией отсутствуют фазовые задержки, данные могут передаваться на максимальной скорости по каждому независимому параллельному каналу, т.е. минимизируется время доставки пакетов, отсутствие синхронизации последовательного сбора. Недостатками реализации параллельной схемы являются высокие аппаратные затраты и ограниченное количество независимых каналов.

Если же в системе число ветвей  $G$  превышает величину  $N_k$ , тогда необходимо реализовывать смешанную параллельно-последовательную конфигурацию.

В КМ, помимо процесса приёма, необходимо реализовать и выдачу информации. В зависимости от структуры 4-го уровня иерархии можно реализовать  $q=1..Q$  выходных беспроводных каналов. С учётом выходных каналов имеет место ограничение:

$$G + Q \leq N_k. \quad (1)$$

С точки зрения организации выдачи информации множеству абонентов, возможны две схемы реализации интеллектуального микроконтроллерного коммуникационного модуля: с общим выходом и с параллельными (распределёнными) выходами.

На рис. 2 показана схема организации коммуникационного модуля с параллельными входами и общим выходом. Пунктиром выделены области, соответствующие неперекрывающимся частотным каналам. Выдача осуществляется в общее эфирное пространство (без конкретного адреса, «точка-многоточка») и каждый абонент от первого до  $Q$ -го принимает все сообщения от первого до  $G$ -го. Особенностью применения КМ в этом случае является то, что он упорядочивает передачу сообщений от  $G$  источников (ветвей) к  $Q$  абонентам, не внося при этом существенных временных задержек. Компонент сообщений осуществляет реализацию целевой функции КМ и описан в [4].

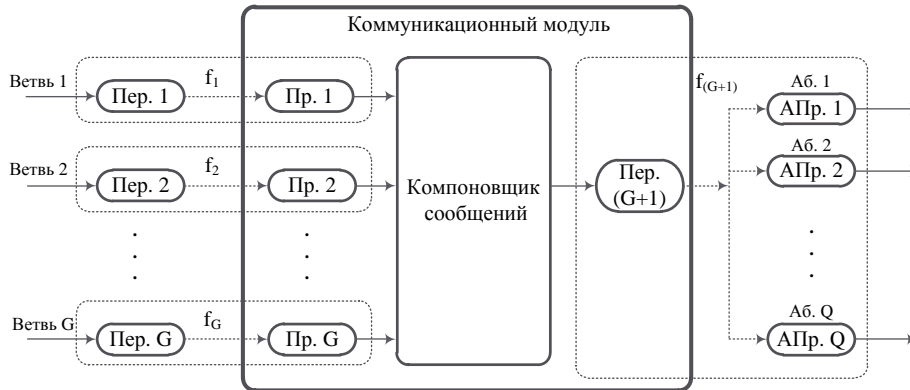


Рис. 2. Схема КМ с параллельными входами и общим выходом

На рисунке приведены:

$Пер.g$  ( $g = 1, 2, \dots, G$ ) – передатчик  $g$ -й ветви;

$Пр.g$  ( $g = 1, 2, \dots, G$ ) –  $g$ -й приёмник коммуникационного модуля, имеющий свою секцию памяти (СП);

$Пер.(G+1)$  – передатчик коммуникационного модуля, являющийся  $(G+1)$ -м по счёту;

$АПр.q$  ( $q=1, 2, \dots, Q$ ) – приёмник  $q$ -го абонента.

На рис. 3 показана схема организации коммуникационного модуля с параллельными (распределёнными) выходами.

В этом варианте блок компоновки по определённому алгоритму формирует  $Q$  интегральных сообщений (композиций), каждое такое сообщение из набора  $Q$  содержит в себе  $M < G$  входных сообщений и соответственно каждому абоненту передаётся своё уникальное ИС.

Эта схема отличается от первой большим быстродействием, так как каждый абонент получает только те сообщения, которые ему нужны и по выделенным параллельным каналам. Но при этом суммарное количество входных и выходных беспроводных каналов ограничено (1).

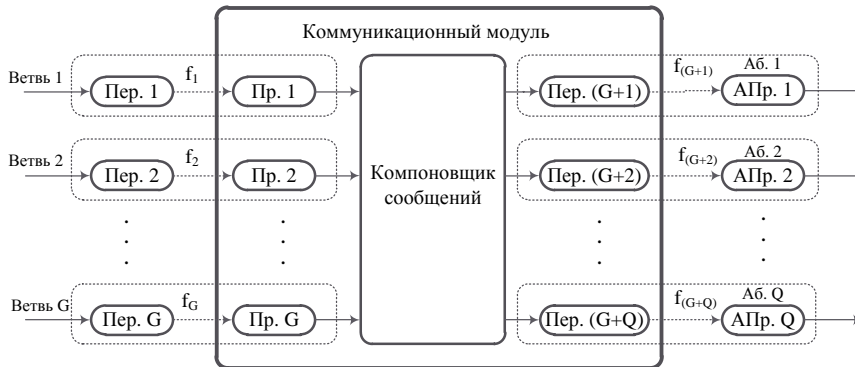


Рис. 3. Схема КМ с параллельными входами и параллельными выходами

Именно это ограничение влияет на выбор той или иной схемы, так как в схеме КМ с общим выходом используется на  $(Q-1)$  меньше передатчиков. Стоит отметить, что при условии  $G=Q$  и жёстко заданной адресации, применение модуля

не оправдывает себя и эффективнее использовать  $G$  прямых параллельных соединений «точка-точка» между источниками сообщений и абонентами. При произвольной адресации и условии  $G=Q$  КМ будет являться простым коммутатором одиночных сообщений.

Также, с учётом того, что компоновщик сообщений производит операции последовательно, организация параллельных входных и выходных каналов особенно оправданна, так как позволяет сократить время, затрачиваемое на обмен сообщениями, которое более существенно, чем время компоновки и коммутации.

Кроме того, следует отметить, что использование беспроводных каналов связи не приводит к принципиальным изменениям в архитектуре и организации функционирования коммуникационных модулей с точки зрения реализации их целевой функции, а лишь влияет на общую производительность.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Пьявченко О.Н.* Структурные особенности организации сбора и обработки информации датчиков в распределенных информационных микрокомпьютерных системах реального времени // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 5 (130). – С. 12-20 с.
2. *Пьявченко О.Н.* Высокопроизводительные распределенные интеллектуальные микрокомпьютерные системы мониторинга сложных динамических объектов // Материалы 2-й Международной науч.-техн. конф. "Моделирование и компьютерная графика – 2007". Донецк, 10–12 октября 2007 г. – С. 127-135.
3. *Пьявченко О.Н.* Организация синхронно-асинхронного решения задач сбора и обработки информации датчиков в интеллектуальных микропроцессорных модулях // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем – 2012. Сборник трудов / Под общ. редакцией академика РАН А.Л. Стемпковского. – М.: ИПИМ РАН, 2012. – С. 680-683.
4. *Пьявченко О.Н.* Коммуникационные модули высокопроизводительных распределенных информационных микрокомпьютерных систем // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 5 (142). – С. 8-13.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор А.М. Белевцев.

**Петров Назар Сергеевич** – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: kafmps@tpark.ru; 347900, г. Таганрог, ул. Петровская, 81; тел.: 88634328058; кафедра микропроцессорных систем; аспирант.

**Petrov Nazar Sergeevich** – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: kafmps@tpark.ru; 81, Petrovskaya street, Taganrog, 347900, Russia; phone: +78634328058; the department of microprocessor system; postgraduate student.

УДК 621.05.1

**О.Н. Пьявченко, Д.Е. Трегубов**

#### **МИКРОКОНТРОЛЛЕРНЫЙ КОММУНИКАЦИОННЫЙ МОДУЛЬ В РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЕ СБОРА И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ДАТЧИКОВ НА ОСНОВЕ ГИБРИДНЫХ ТОПОЛОГИЙ**

*Рассматриваются особенности построения и функционирования версий микроконтроллерного коммуникационного модуля, обеспечивающего прием сообщений по параллельным каналам сбора и предварительной обработки информации датчиков, формирования интегрального сообщения и передачи абонентам для последующей обработки. Перспективные конкурентоспособные микрокомпьютерные распределенные сети сбора и обра-*