

## Раздел I. Системы и сети

УДК 621.05.1

**О.Н. Пьявченко**

### **КОММУНИКАЦИОННЫЕ МОДУЛИ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ МИКРОКОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ**

*В статье показана целесообразность введения в полимодульные распределенные микрокомпьютерные системы сбора и обработки информации датчиков интеллектуальных микроконтроллерных коммуникационных модулей сбора сообщений с параллельных каналов, их компоновки в  $Q$  пакетов и выдачи этих пакетов абонентам. Определяются основные принципы построения коммуникационных модулей. На практике выбор для реализации того или иного принципа зависит от условий функционирования модуля в составе распределенной системы сбора и обработки информации датчиков.*

*Предлагается базовая структура высокопроизводительных программируемых коммуникационных модулей, в которых используется секционированная память различного назначения. Высокое быстродействие и прозрачная структура позволяют рассчитывать на создание при использовании современных конструктивно-технологических решений ИМКМ, имеющих приемлемые технико-экономические характеристики.*

*Полимодульные распределенные микрокомпьютерные системы; датчики; модули сбора сообщений.*

**O.N. Pyavchenko**

### **COMMUNICATION MODULES OF THE HIGH-PERFORMANCE DISTRIBUTED INFORMATION MICROCOMPUTER SYSTEMS**

*In article is shown expediency of introduction in the polybuilding block distributed microcomputer systems of collection and information processing of sensors of intelligent microcontroller communication modules of collection of messages from parallel channels, their configurations in  $Q$  packets and output of these packets to subscribers. The basic principles of creation of communication modules are defined. In practice the choice for implementation of this or that principle depends on module operating conditions as a part of distributed system of collection and information processing of sensors.*

*The basic structure of high-performance programmable communication modules in which segmented memory of different function is used is offered. High-speed performance and the transparent structure allow to expect creation when using the modern constructive and technological solutions of IMCM having acceptable technical and economic characteristics.*

*Polybuilding block distributed microcomputer systems; sensors; modules of collection of messages.*

К распределенным информационным микрокомпьютерным системам сбора и обработки информации датчиков (РИМКС СОИД) относятся различные системы наблюдения, в том числе мониторинга, контроля и диагностики сложных динамических технических объектов и процессов, в которых решения задач разнесены не только во времени, но и в пространстве. В название систем включены задачи сбора и обработки информации датчиков. Таким образом, отражен взгляд на такие системы через призму организации процессов решения этих задач, их роли в реализации целевых функций и обеспечении требуемых технико-экономических характеристик систем.

Для достижения высокой производительности в архитектурах РИМКС СОИД реализуются принципы распараллеливания решений задач.

Например, в многодатчиковых системах [1] параллельно могут решаться задачи  $Z_{1d}$  ( $d = \overline{1, D}$ ), каждая из которых включает задачу аналоговой обработки сигнала датчика  $d$ , задачу аналого-цифрового преобразования сигнала датчика и задачу сохранения числового результата преобразования. Сохраненные числовые результаты проходят первичную цифровую обработку (задачи  $Z_{2d}$  ( $d = \overline{1, D}$ )), пересчитываются в единицы измерений физических величин и затем используются для определения состояний физических величин и их оценок (задачи  $Z_{3d}$  ( $d = \overline{1, D}$ )).

Очевидно, что решения задач триад  $\langle Z_{1d}, Z_{2d}, Z_{3d} \rangle$  не распараллеливаются, так как они представляют собой «жесткие» последовательности. В то же время, когда между задачами различных триад отсутствуют информационные связи, возможны реализации разнообразных схем распараллеливания решений задач СОИД [2]. В частности, в РИМКС могут быть реализованы различные параллельно-последовательные схемы вычислений, в которых распараллеливаются решения групп триад, имеющих одинаковую размерность  $n \geq 1$ .

Размерность  $n$  вносит различия в схемы вычислений. Основными являются количество каналов (ветвей) сбора и предварительной обработки сигналов  $D$  датчиков и типы коммуникационных модулей.

Число ветвей зависит от числа датчиков  $D$  и количества триад, реализуемых в группе, и составляет четные числа

$$G = \frac{D}{n}.$$

Минимальное число ветвей  $G_{\min} = 2$  реализуется в схеме, когда  $G = 0,5 D$ . Соответственно параллельно-последовательная схема вычислений имеет максимальное количество ветвей, когда в каждой ветви решается одна триада, т.е.

$$G_{\max} = D.$$

Обобщенная полимодульная параллельно-последовательная система решения задач СОИД приведена на рис. 1.

Система построена на основе базовых модулей:

ИММ1 $g$  ( $g = \overline{1, G}$ ) – интеллектуальные микропроцессорные модули первого уровня (яруса), в каждом из которых решаются задачи  $Z_1$  аналоговой обработки сигналов датчиков оцифровки и сохранения считанных значений группы  $n$  переменных;

ИММ2 $g$  ( $g = \overline{1, G}$ ) – интеллектуальные микропроцессорные модули второго уровня (яруса), в каждом из которых решается группа задач первичной цифровой обработки  $Z_{2g}$  ( $g = \overline{1, G}$ ), в том числе задачи обнаружения и подавления импульсных помех, задачи цифровой фильтрации, сглаживания и др.;

ИММ3 $g$  ( $g = \overline{1, G}$ ) – интеллектуальные микропроцессорные модули третьего уровня (яруса), в каждом из которых решается группа задач  $Z_{3g}$  ( $g = \overline{1, G}$ ), пересчета значений переменных в единицы измерений физических величин и оценок состояний этих переменных;

ИММ4 $q$  – интеллектуальные микропроцессорные модули четвертого уровня (яруса), в совокупности которых рассчитываются значения траектории изменения состояния объекта наблюдения, оцениваются состояния объекта, формируется информационный объект, включающий результаты обработки в РИМКС.

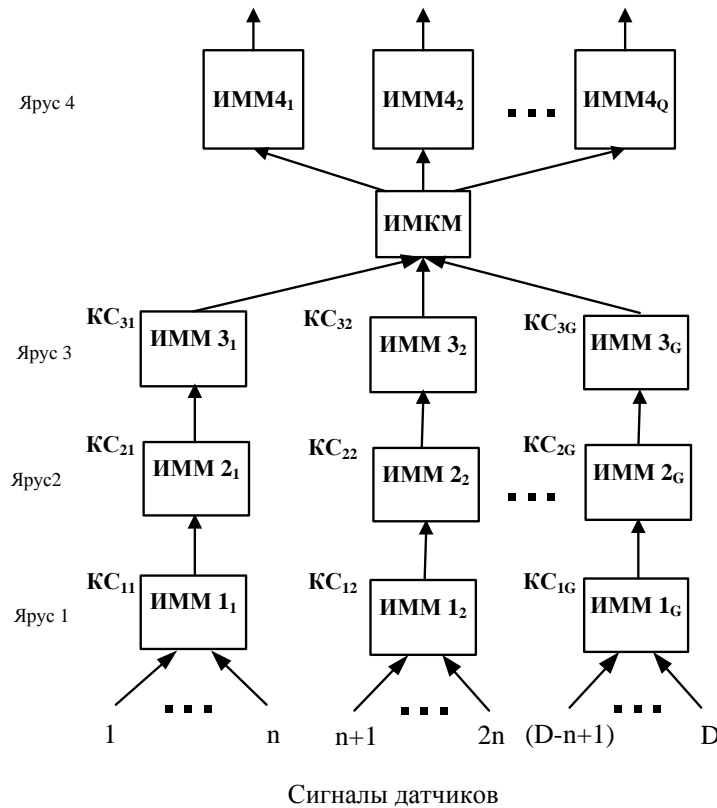


Рис. 1. Распределенная информационная микрокомпьютерная система

Для организации между ярусных соединений используются каналы связи  $KC_{1g}, KC_{2g}, KC_{3g}$  ( $g = \overline{1, G}$ ). В системе в каждом из  $G$  каналов обрабатывается информация  $n$  датчиков. На каждом ярусе  $j$  вошедшие в  $g$  группу ( $g = 1, 2, \dots, G$ ) задачи  $Z_{jd}$  ( $d = [(g-1)n+1, (g-1)n+2, gn]$ ) решаются последовательно.

Результаты решений передаются с яруса  $j$  на ярус  $(j+1)$   $G$  пакетами. Каждый пакет ярусов 1, 2 содержит минимум  $N_j = n$  ( $j = 1, 2$ ) данных. Формируемые на ярусе 3 пакеты включают  $N_3 \geq n$  данных.

Для передачи информационных объектов между ярусами используются односторонние сетевые каналы  $KC_j$  ( $j=1, 2, 3$ ). В общем случае для разных ветвей это время разное, т.е.  $T_g \neq const$  ( $g = var$ ), так как могут использоваться различные алгоритмы решаемых на ярусе задач.

Когда задачи  $Z_{jd}$  решаются за одинаковое время  $T_{Zjd} = const$ , затраты времени на решение задач в канале описываются простым выражением

$$T_g^{(1)} = n(T_{Z1d} + T_{Z2d} + T_{Z3d}) + 2T_K, \quad (1)$$

где  $T_K = T_{K1} = T_{K2}$ .

Время решения в схеме (рис. 1) задач  $T_s$  определяется при суммировании  $T_g$  (1) со временем передачи  $T_{K3}$  результатов обработки в  $g$  канале на четвертый ярус, временем упаковки данных  $T_G$ , поступающих с  $G$  каналов в  $Q$  сообщений и временем решения задачи четвертого яруса  $T_{Z4}$ .

Если на четвертом ярусе решение сложной задачи  $Z_4$  поддерживается  $Q$  микрокомпьютерами, объединенными, например, в многомашинный комплекс, то могут формироваться  $Q$  сообщений.

Организация сетевого обмена между ярусом 3 и ярусом 4 отличается тем, что на ярус 4 одновременно поступают  $G$  пакетов. Для приема, обработки и дальнейшей передачи этих сообщений в состав РИМКС вводится интеллектуальный микроконтроллерный коммуникационный модуль (ИМКМ). В данной конфигурации ИМКМ ориентируется на реализацию функций:

F1: Сбор  $G$  сообщений, формирование интегрального сообщения, содержащего с первого по  $G$  сообщение, передача интегрального сообщения абоненту.

При использовании на 4-м ярусе нескольких модулей ИММ4<sub>1</sub>, ИММ4<sub>2</sub>, ..., ИММ4 <sub>$Q$</sub>  ( $Q > 1$ ), решающих в совокупности задачу  $Z_4$ , ИМКМ формирует соответственно  $Q$  сообщений. При этом реализуется одна из функций:

F2: Сбор  $G$  сообщений, формирование из  $G$  сообщений  $Q$  сообщений абонентам, передача сообщений  $Q$  абонентам;

При построении ИМКМ могут использоваться принципиально разные решения, в результате чего ИМКМ могут иметь разные технические характеристики. Однако остаются неизменными базовые принципы построения секционных интеллектуальных микроконтроллерных коммуникационных модулей.

1. Возможность программного изменения состава сообщений абонентам.

Реализация изменений алгоритмов компоновки сообщений позволяет конфигурировать архитектуру РИМКС.

2. Параллельный независимый прием цифровой информации с выходов каналов сбора и цифровой обработки сигналов аналоговых датчиков.

Принцип соответствует особенностям потоковой организации сформированной в каналах информации.

3. Сохранение принятой информации в секционированной буферной памяти.

Реализация этого принципа позволяет упростить и ускорить реализацию процедур сортировки сообщений и содержащейся в них информации.

4. Идентификация завершения приема сообщения.

Регистрация окончания приема сообщения означает его готовность к использованию в сортировке.

5. Сортировка секционированной информации и формирование композиций выходных информационных объектов.

Процедура сортировки сообщений относится к основным процедурам ИМКМ. Она предусмотрена в составе функций F1-F3, а ее реализация оказывает непосредственное влияние на архитектуру ИМКМ.

6. Возможность введения при проектировании блоков сопряжения как с проводными, так и с беспроводными, а также с теми и другими одновременно входными и выходными линиями связи.

Соблюдение этого принципа упрощает разработки, производство и применение различных модификаций ИМКМ.

7. Общий выход, либо распределенные (секционированные) выходы.

ИМКМ с общим выходом позволяют формировать интегрированное сообщение и посылать его на вход ИММ4, выполненного, например на основе ПК настенного типа. В свою очередь, когда вычислительный комплекс 4-го яруса на  $Q$  модулях ИММ4, например ПК, ИМКМ имеет  $Q$  выходов, каждый из которых посылает на 4-й уровень специально сформированное сообщение.

8. Привязка начала передачи сообщения к моменту либо его готовности, либо готовности абонента принять сообщение, либо готовности абонента и сообщения.

На практике выбор принципа зависит от условий функционирования ИМКМ в составе РИМКС.

Рассмотрим особенности организации процессов сбора  $G$  сообщений и компоновки выходных сообщений. При этом будем различать процедуры формирования интегрального сообщения и процедуры формирования  $Q$  сообщений соответственно для  $Q$  абонентов.

Когда формируется интегральное сообщение,  $G$  поступивших параллельно сообщений компонуются в заданную последовательность, например в простейшем случае по порядку их нумерации.

После завершения компоновки интегральное сообщение посылается либо одному абоненту, либо нескольким абонентам.

С выходов каналов  $K1, K2, \dots, KG$  сообщения  $C1, C2, \dots, CG$  независимо друг от друга поступают на входы ИМКМ, где сохраняются в памяти, разделенной на  $G$  секций.

После окончания приема сообщений начинается формирование интегрального сообщения ИС. При этом из первой секции входной памяти выбирается сообщение  $C1$  и размещается в начале интегрального сообщения. Затем выбирается сообщение  $C2$  и присоединяется к сообщению  $C1$  в составе компонуемого интегрального сообщения. Действия продолжают до тех пор, пока не будет выбрано и размещено последнее сообщение  $CG$ . После этого по реализованному ИМКМ правилу интегральное сообщение выдается абонентам для дальнейшей обработки.

Упрощенная архитектура интеллектуального микроконтроллерного коммуникационного модуля компоновки  $Q$  сообщений приведена на рис. 2.

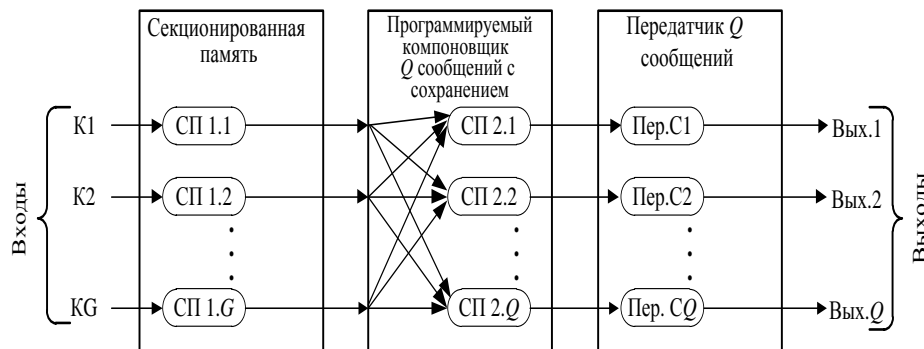


Рис. 2. Интеллектуальный микроконтроллерный коммуникационный модуль компоновки  $Q$  сообщений

ИМКМ 2.0 состоит из 3-х устройств:

- ◆ устройства секционированной памяти;
- ◆ устройства компоновки  $Q$  сообщений;
- ◆ устройства передачи  $Q$  сообщений, в котором имеются  $Q$  передатчиков.

В составе устройств ИМКМ2.0 выделены:

СПС1. $g$  ( $g = 1, 2, \dots, G$ ) – секции памяти для сохранения сообщений, поступающих с модулей 3-го яруса;

СПС2. $q$  ( $q = 1, 2, \dots, Q$ ) – секции памяти для сохранения скомпонованных сообщений;

Пер.С $q$  ( $q = 1, 2, \dots, Q$ ) – передатчики сообщений в каналы связи  $Q$  абонентам.

Устройство компоновки  $Q$  сообщений является интеллектуальным ядром модуля. Уровень распараллеливания процесса компоновки сообщений во многом определяет производительность и аппаратную сложность ИМКМ2.0. На схеме

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.*