

более динамичных объектов следует использовать параллельные потоковые ЛИМКС, обеспечивающие высокую производительность и точность решения задач СОИД. Высокопроизводительные потоковые ЛИМКС СОИД могут быть построены на основе параллельно-последовательных схем процессов с групповыми сбором и обработкой сигналов датчиков при введении сетевых коммуникаторов, обеспечивающих компоновку данных для решения задачи четвертого яруса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Пьявченко О.Н.* Распределенные системы сбора и обработки информации датчиков динамических объектов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 5 (118). – С. 9-15.
2. *Vilas S. Bagad.* Computer Networks. Technical Publications. – 2010. – 516 p.
3. *Пьявченко О.Н.* Коммуникационные модули высокопроизводительных распределенных информационных микрокомпьютерных систем // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 5 (142). – С. 9-14.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор А.Е. Панич.

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

Pyavchenko Oleg Nikolaevich – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education «Southern Federal University»; e-mail: kafmps@tpark.ru; 81, Petrovskay street, Taganrog, 347900, Russia; phone: +78634328052; the department of microprocessor systems; head of department; dr. of eng. sc.; professor.

УДК 621.05.1

Н.С. Петров

АРХИТЕКТУРА КЛАСТЕРНОЙ СИСТЕМЫ СБОРА И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ДАТЧИКОВ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Описывается архитектура распределённой информационной микрокомпьютерной системы, выполняющей задачи сбора и обработки сигналов датчиков динамических объектов. Для повышения производительности таких систем предлагается разделять их на кластеры, которые в зависимости от локального объекта могут иметь различные структуры, аппаратно-программное обеспечение и пр., но выполняющие универсальный набор задач. Приведены и описаны структуры кластерной распределённой информационной микрокомпьютерной системы, сформированы системные требования к кластеру в целом. Важное положение в кластере отводится особому классу устройств – интеллектуальным микроконтроллерным коммуникационным модулям, которые являются связующими узлами между внутрикластерными элементами и верхними уровнями распределённой системы. Сформированы общие принципы функционирования и построения таких модулей, приведена базовая блочная структура разрабатываемого коммуникационного модуля, в котором заложены принципы параллельного приёма и передачи потоковой информации по беспроводным каналам. Применение более гибких архитектур, основанных на декомпозиции целевых задач, новых коммуникационных устройств и современных технологий связи позволяют повысить эффективность мониторинга и управления различных процессов и объектов.

Архитектура; распределённая система; мониторинг; кластер; коммуникационный модуль.

N.S. Petrov

THE ARCHITECTURE OF THE CLUSTER SYSTEM OF INFORMATION COLLECTION AND PROCESSING OF SENSORS DYNAMIC OBJECTS

The architecture of the distributed information microcomputer system which is carrying out tasks of collection and signal processing of sensors of dynamic technical objects is described. For increase of productivity of such systems it is offered to separate them on clusters which depending on local object can have different structures, firmware and so forth, but executing the generic collection of tasks. Structures of the cluster distributed information microcomputer system are provided and described, system requirements to a cluster as a whole are created. Important situation in a cluster is led out to a special class of devices – to intelligent microcontroller communication modules which are binding nodes between intra cluster elements and top levels of distributed system. The general principles of functioning and creation of such modules are created, the basic block structure of the developed communication module in which the principles of parallel reception and transmission of stream information on wireless links are put is given. Application of more flexible architecture based on decomposition of target tasks, new communication devices and the modern technologies of communication allow to increase efficiency of monitoring and control of different processes and objects.

Architecture; distributed system; monitoring; cluster; communication module.

В настоящее время современные системы автоматизации сложных технических объектов (ТО) трудно представить без распределённых и локальных информационных микрокомпьютерных систем (ИМКС), находящихся на нижних уровнях и выполняющих непосредственно задачи наблюдения и управления. Постоянное улучшение технико-экономических показателей функционирования ИМКС позволяет повысить эффективность и безопасность различных технологических процессов, телеметрических исследований и экспериментов. Причём этого улучшения можно добиваться не только применением более мощных вычислительных устройств, но и модификацией архитектур ИМКС, в том числе оптимизацией структур на основе современных телекоммуникационных средств.

Архитектуры ИМКС, предназначенных для решения задач сбора и обработки сигналов датчиков, характеризуются не только их целевыми функциями (мониторинг, управление и т.п.), но и функциональными возможностями, обеспечивающими реализацию целевых функций, иерархией и степенью параллелизма решения задач, однородностью либо разнородностью модульной структуры, организацией в темпе реального времени сбора, обработки данных и сетевого обмена информацией с абонентами [1].

Распределённая информационная микрокомпьютерная система (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].

Модель ИМКС можно представить в виде четырёхъярусной процессной схемы с декомпозицией целевой задачи сбора и обработки сигналов датчиков (СОИД) на подзадачи. Эти подзадачи представляются в виде набора $\langle Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 \rangle$, каждая из которого решается на своём ярусе. На 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 пер-

вом 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 на верхний уровень системы автоматизации [3].

В случае сложного, распределённого на большой территории объекта, представляющего из себя объединение разнородных технологических процессов (например, цех предприятия), последовательная схема [3], может быть частично или полностью распараллелена на первых трёх ярусах на G ветвей, обрабатывающих по $n=D/G$ групп датчиков каждая. В этом случае для повышения эффективности функционирования ИМКС разделяется на локальные подсистемы или кластеры.

Кластер – локализованная в пространстве совокупность взаимосвязанных и одновременно функционирующих аппаратно-программных вычислительных устройств, которая способна не только реализовать процесс (в том числе параллельный) решения сложной задачи в режиме реального времени, но и в процессе работы автоматически настраиваться и перестраиваться с целью достижения адекватности между своей структурно-функциональной организацией (структурой) и характеристиками решаемой задачи [4]. То есть кластер представляет собой типизированную на уровне процессов структуру РИМКС мониторинга (управления) динамических объектов, которая решает более простую декомпозированную задачу в определённом ограниченном пространстве.

Основные системные требования, предъявляемые к кластеру РИМКС, следующие:

- ◆ сопряжение на физическом и информационном уровне с датчиками;
- ◆ прецизионные измерения и интеллектуальные оценки физических переменных;
- ◆ работа в темпе жёсткого реального времени;
- ◆ низкая динамическая погрешность.

Аппаратную структуру кластера можно представить в виде совокупности объединённых сетевыми связями специализированных многофункциональных интеллектуальных микроконтроллерных модулей (ИММ), обеспечивающих решение описанных выше задач (Z_1 - Z_3). Различные версии ИММ описаны в [5].

При аппаратной реализации 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 решения 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. В случае, когда РИМКС состоит из большого числа датчиков, которые в совокупности с модулями обработки информации составляют сложную и разветвлённую 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 (ИМКМ) [6].

При разделении РИМКС на кластеры ИМКМ служит связующим звеном между собственно самим кластером и верхним уровнем системы, решающим задачу Z_4 . Пример структуры такой РИМКС приведен на рис. 1.

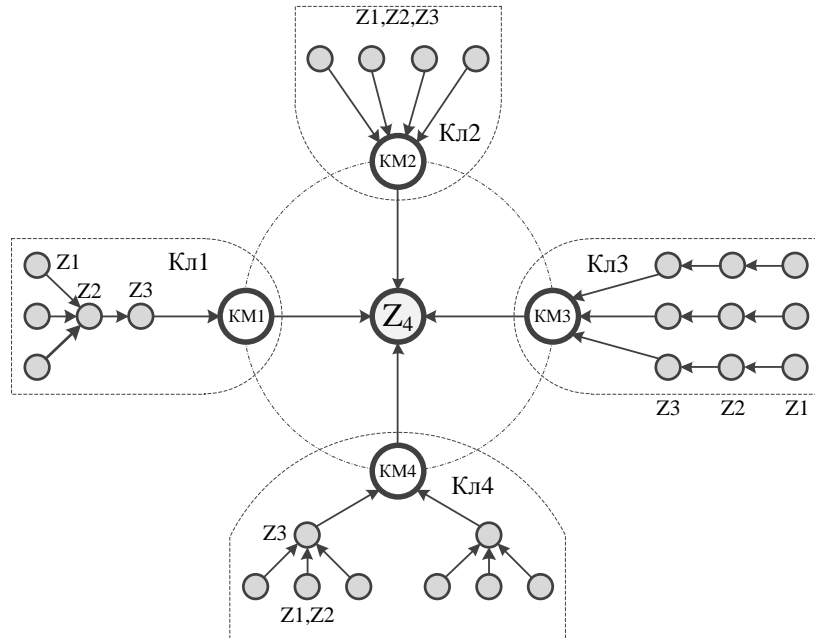


Рис. 1. Структура кластерной распределённой информационной микрокомпьютерной системы с централизованным верхним уровнем Z_4

На рис. 1 обозначены: Z_j ($j=1..4$) – задачи, решаемые ИММ, $Кл_j$ ($j=1..4$) – кластер, $КМ_j$ ($j=1..4$) – коммуникационный модуль.

При этом структура (топология) каждого отдельного кластера может отличаться от другого. Наиболее распространённые используемые топологии – звезда, дерево, ячеистая и различные их гибридные сочетания.

Практической реализацией такой системы с топологией кластеров Кл1 может служить автоматизированная система контроля сейсмичности массива, в которой данные собираются с сейсмометров и обрабатываются в контроллерах телеметрии с шагом дискретизации в 1 мс, далее передаются на центральный управляющий компьютер, который обеспечивает конфигурирование и управление контроллерами телеметрии (до 8-и контроллеров), синхронизацию и привязку к всемирному времени на базе GPS, анализ запросов от контроллеров телеметрии с целью выявления информативных фрагментов волновых форм сейсмических событий, иницирование процедуры записи фрагментов волновых форм сейсмических событий на сетевой диск, управление записью содержимого буферов контроллеров на сетевой диск [7].

В случае, когда задача Z_4 распределена на несколько микрокомпьютеров или разделена на несколько независимых подзадач, т.е. когда разным задачам верхнего уровня требуются одни и те же данные в реальном времени, структура кластерной РИМКС может принять вид, изображённый на рис. 2.

Примером такой структуры могут служить различные бортовые и робототехнические системы, в которых шаг дискретизации сигналов порядка 1 мс и менее. Так перспективным является направление fly-by-wireless («полёт с беспроводной

связью») в авиации, где все электронные подсистемы летательного аппарата, представляющие собой отдельные кластеры, объединяются беспроводными связями с бортовыми вычислителями, которые имеют в реальном времени доступ к данным со всего массива датчиков [8].

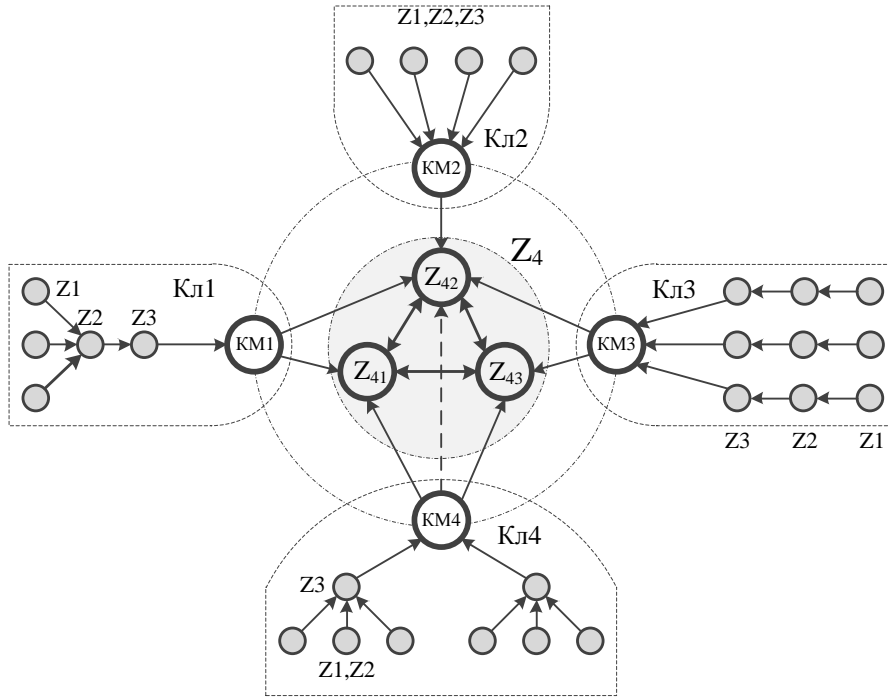


Рис. 2. Структура кластерной распределённой информационной микрокомпьютерной системы с децентрализованным верхним уровнем Z_4

Блочная структура отдельно взятого кластера РИМКС с децентрализованным верхним уровнем Z_4 (уровень потребителей информации) представлена на рис. 3.

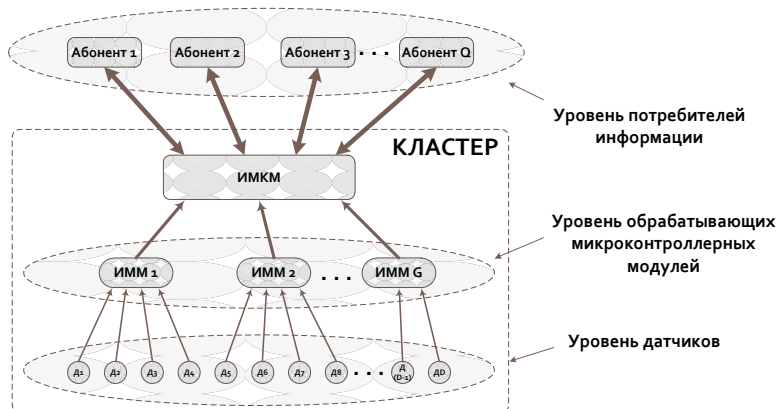


Рис. 3. Блочная структура кластера РИМКС с децентрализованным верхним уровнем Z_4

На рис. 3 обозначены: D_d ($d=1..D$) – датчики физических величин, ИМКМ $_g$ ($g=1..G$) – интеллектуальные микропроцессорные модули, решающие задачи Z_1-Z_3 , ИМКМ – интеллектуальный микроконтроллерный коммуникационный модуль, Абонент q ($q=1..Q$) – приёмники информации (микрокомпьютеры) верхнего уровня.

Теперь рассмотрим подробнее положение ИМКМ в системе. В данной конфигурации (рис. 3) ИМКМ ориентируется на реализацию следующих функций:

- 1) коммутация одиночных сообщений с G входов на Q выходов;
- 2) сортировка и компоновка по некоторому принципу из G входных сообщений Q выходных интегральных сообщений.

При построении ИМКМ могут использоваться принципиально различные решения, в результате чего ИМКМ могут иметь разные технические характеристики. Но, несмотря на это, можно определить базовые принципы построения интеллектуальных микроконтроллерных коммуникационных модулей [9].

1. Возможность программного изменения состава сообщений абонентам.

Реализация изменений алгоритмов компоновки сообщений позволяет конфигурировать архитектуру кластера и РИМКС в целом.

2. Параллельный независимый прием информации с выходов каналов ИММ и параллельная выдача информации абонентам.

Принцип соответствует особенностям потоковой организации сформированной в каналах информации и позволяет значительно повысить производительность системы и уменьшить фазовые задержки сигналов и динамические погрешности.

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. Сортировка, компоновка и коммутация сообщений и формирование композиций выходных информационных объектов.

Процедура сортировки сообщений относится к основным процедурам ИМКМ, а ее реализация оказывает непосредственное влияние на архитектуру ИМКМ.

5. Беспроводная реализация входных и выходных каналов.

Беспроводная реализация коммуникационных связей между элементами кластера позволяет объединить в нём достоинства распределённых систем (модульность, масштабируемость, распределённость ресурсов) и ячеистой (mesh) топологии (надёжность, адаптивность и пр.).

6. 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, но при этом можно выделить следующие общесистемные требования к ИМКМ:

- ◆ приём и выдача информации по параллельным каналам ($G \geq 2$, $Q \geq 1$);
- ◆ высокая производительность микроконтроллера (>100 MIPS);
- ◆ возможность программной перенастройки алгоритмов компоновки и распределения сообщений абонентам;
- ◆ возможность изменения организации приёма и выдачи информации при увеличении/уменьшении числа ИММ и абонентов.

При параллельной структуре входных и выходных каналов ИМКМ минимизируется влияние сетевых каналов на производительность системы, уменьшаются динамические погрешности и фазовые задержки приёма информации [6, 9]. Следующим этапом в оптимизации работы ИМКМ является разработка и реализация различных архитектурных решений компоновщика сообщений, в том числе и с перепрограммируемой структурой.

Таким образом, для построения современных высокоточных систем мониторинга и управления сложными распределёнными динамическими объектами, где время реакции составляет десятки доли секунды и менее, необходимо использовать параллельные (или параллельно-последовательные) структуры РИМКС с разделением их на кластеры. Но в связи с этим возникает потребность в разработке специализированных высокопроизводительных коммуникационных устройств, связывающих различные уровни иерархии ИМКС и поддерживающих гибридные и адаптируемые кластерные структуры.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Пьявченко О.Н.* Модульные структуры сосредоточенных и распределённых локальных информационных микрокомпьютерных систем мониторинга: Учеб. пособие. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010. – 64 с.
2. *Пьявченко О.Н.* Модели интеллектуальных микропроцессорных модулей систем сбора и обработки информации датчиков // Материалы третьей Международной конференции «Моделирование в электротехнике, электронике и светотехнике МЭЭС», 2010. 15-17 сентября 2010. – Киев, Украина. – С. 11-12.
3. *Пьявченко О.Н.* Высокопроизводительные распределённые интеллектуальные микрокомпьютерные системы мониторинга сложных динамических объектов // Материалы 2-й Международной научно-технической конференции "Моделирование и компьютерная графика - 2007". – Донецк, 10–12 октября 2007 г. – С. 127-135.
4. *Хорошевский В.Г.* Архитектура вычислительных систем: Учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 520 с. – (Информатика в техническом университете).
5. *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.
6. *Петров Н.С.* Особенности организации беспроводной связи в коммуникационном модуле распределённой информационной микрокомпьютерной системы // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 5 (142). – С. 14-19.
7. Автоматизированная система контроля сейсмичности массива. URL: http://www.syst.ru/vnedren/tel_syst.htm. Дата обращения: 1.10.2013 г.
8. *Dang D-K., Mifdaoui A., Gayraud T.* Fly-By-Wireless for Next Generation Aircraft: Challenges and Potential solutions. (In Press: 2012) In: Wireless days Conference, 21-23 Nov 2012, Dublin, Ireland.
9. *Пьявченко О.Н.* Коммуникационные модули высокопроизводительных распределённых информационных микрокомпьютерных систем // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 5 (142). – С. 9-14.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.А. Петраков.

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

Petrov Nazar Sergeevich – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education «Southern Federal University»; e-mail: kafmps@ttpark.ru; 81, Petrovskaya street, Taganrog, 347900, Russia; the department of microprocessor system; post-graduate student.