



УДК 681.05:004.75

О.Н. Пьявченко, д-р техн. наук

Технологический ин-т Южного федерального университета
(Россия, 347900, Таганрог, ул. Петровская, 81,
тел. +7 (8634) 328052, e-mail: kafmps@ttpark.ru; ilg_n@tti.sfedu.ru)

Конфигурации распределенных высокопроизводительных потоковых систем сбора и обработки информации датчиков

Рассмотрены версии конфигураций распределенных высокопроизводительных систем сбора и обработки информации датчиков, построенных на основе информационных микропроцессорных модулей, коммутаторов и коммутаторов пакетов данных. Получены оценки производительности этих конфигураций. Определена схема с максимальной производительностью, в которой реализована параллельная обработка сигналов при решении триад задач.

Розглянуто версії конфігурацій високопродуктивних розподілених систем збору і обробки інформації датчиків, побудованих на основі інформаційних мікропроцесорних модулів, комунікаторів і комутаторів пакетів даних. Наведено оцінки продуктивності цих конфігурацій. Визначено схему з максимальною продуктивністю, в якій реалізовано паралельну обробку сигналів при розв'язуванні триад завдань.

К л ю ч е в ы е с л о в а: распределенная система, сбор и обработка информации датчиков, конфигурация, информационные модули, коммутаторы.

Одним из перспективных направлений построения высокопроизводительных средств автоматизации является создание распределенных систем, в которых реализуется потоковая организация решения задач сбора и обработки информации датчиков (СОИД) [1]. Принцип потоковой организации заключается в независимом формировании в начале шага дискретизации цифровых значений сигналов аналоговых датчиков, их сохранении и дальнейшей обработке в установленном порядке без участия программы диспетчера.

Рассмотрим построение конфигураций высокопроизводительных потоковых распределенных информационных микрокомпьютерных систем (РИМКС), относящихся к классу распределенных систем, проблемно-ориентированных на решение задач наблюдения (мониторинга).

© О.Н. Пьявченко, 2015

Потоковая распределенная информационная микрокомпьютерная система мониторинга и(или) управления является разнесенной в пространстве локального объекта совокупностью сопряженных с датчиками микропроцессорных модулей ввода и(или) вывода, информационных модулей, регуляторов и других элементов, объединенных с системными микрокомпьютерами в сетевую конфигурацию, в которой в реальном масштабе времени реализуется потоковый процесс СОИД.

Особенности такой системы следующие:

1. Потоковая организация процессов решения задач СОИД.
2. Аппаратно-программная поддержка процессов решения задач СОИД на уровне модулей и сетевых конфигураций их соединений.
3. Наличие модулей, решающих задачи сбора информации в той или иной совокупности с задачами обработки.
4. Использование сетевых каналов для передачи информации между модулями.
5. Зависимость длительности интервала дискретизации (шага решения) от максимальной частоты сигналов.
6. Привязка оцифровки значений сигналов всех датчиков к началу интервала дискретизации.
7. Синхронизация параллельных процессов СОИД.

В СОИД процессы рассматриваются как некоторые последовательности действий, устанавливающие порядок решения задач СОИД с принятой степенью детализации. Состав и объем задач определяются целевой функцией системы и использованным методом ее реализации. Схема процесса решения задач СОИД имеет четырехярусную форму [2].

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 первом ярусе числовых значений сигналов D датчиков, в том числе цифровая фильтрация, проверка на достоверность, сглаживание и др. На третьем ярусе расположены задачи первого уровня вторичной цифровой обработки (1ВЦО) группы $Z_3 = \{Z_{3d} (d = \overline{1, D})\}$, состоящей из задач измерений значений сигналов в физических единицах, определений состояний физических величин и их оценок и др. На верхнем, четвертом ярусе (группа Z_4), решаются задачи второго уровня вторичной цифровой обработки (2ВЦО). К ним относятся следующие задачи:

определение концентрации входных данных, в том числе сортировка и сохранение результатов 1ВЦО и др.;

вычисление траекторий изменения состояния, оценка текущего и прогнозируемого состояний локального объекта, сигналы переменных которого обрабатываются в РИМКС СОИД;

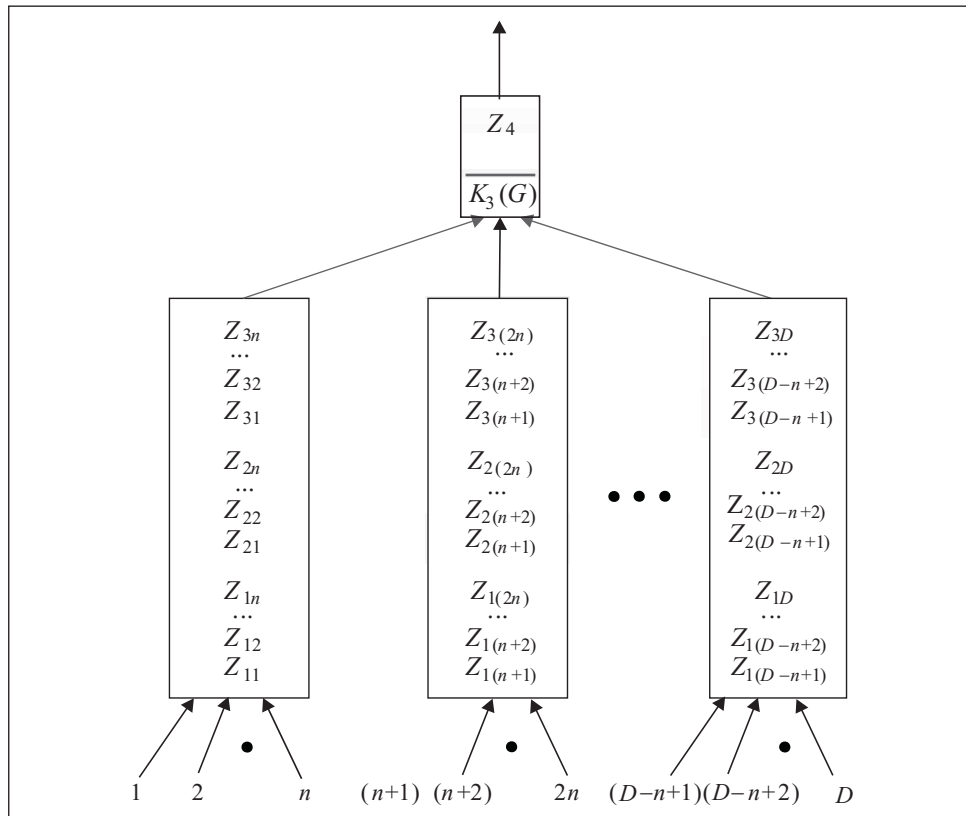


Рис. 1. Сгруппированная параллельно-последовательная схема $S_2^{(e)}$

формирование информационного объекта и отправление его на более высокий уровень информационной микрокомпьютерной системы.

Объем и вычислительная сложность задач Z_4 определяются целевой функцией, реализуемой РИМКС СОИД. В простейшем случае на четвертом ярусе решаются задачи сортировки и концентрации результатов обработки, выполненной на третьем ярусе, задачи формирования совокупного информационного объекта и организации его отправки внешним абонентам.

Принятая за основу ярусная схема является упорядоченной декомпозицией решения задач в соответствии с уровнями очередности их реализации: от задач Z_1 на нижнем (младшем) уровне до задач Z_4 на верхнем (старшем) уровне. Задачам Z_1 — Z_4 соответствуют математические методы, вычислительная сложность которых возрастает снизу вверх при полной реализации соответствующей целевой функции.

Основным способом повышения производительности РИМКС является распараллеливание на ярусах $j = \overline{1,3}$ решения задач Z_{jd} ($d = \overline{1, D}$) при разбиении их на группы:

$$G = D/n, \quad (1)$$

где n — число обрабатываемых в группе переменных.

Высокопроизводительные РИМКС СОИД построены по параллельно-последовательным схемам, в которых осуществляется различная степень распараллеливания решения задач первых трех ярусов. При этом в результате сокращения числа сетевых каналов между ярусами наиболее производительной является звездообразная конфигурация (рис. 1).

Особенностью схемы, представленной на рис. 1, является наличие на нижнем уровне информационных микропроцессорных модулей, в каждом из которых последовательно решаются группы по n задач трех уровней. Применение многофункциональных модулей [2] позволяет для ярусов 2 и 3 исключить соединения соответственно K_1, K_2 , но требует введения на ярусе 4 коммуникационного модуля $K_3(G)$ (см. рис. 1). Такие модули (далее коммутаторы) в отличие от коммутаторов каналов [3] не только соединяют входы с выходами, но и позволяют перекомпоновывать передаваемые пакеты данных, изменяя их содержание [4].

Производительность РИМКС СОИД увеличивается при распараллеливании решения задач, входящих в группу G . Время решения задач в РИМКС СОИД, в которой реализуется схема $S_2^{(e)}$, можно определить из выражения

$$T_{S_2^{(e)}} = \frac{1}{G} \sum_{i=1}^3 \sum_{d=1}^D T_{Z_{jd}} + T_{Z_4} + \sum_{i=3}^4 T_{K_j} + T_{K_3}(G),$$

в котором $T_{Z_{jd}}$ — время решения $d \in \overline{\{1, D\}}$ задачи j -го яруса; T_{Z_4} — время решения задач Z_4 ; T_{K_j} — время, затрачиваемое на передачу данных между ярусами; $T_{K_3}(G)$ — время работы коммутатора $K_3(G)$.

Дальнейшее увеличение производительности РИМКС СОИД $S_2^{(e)}$ достигается при распараллеливании решений задач, входящих в группы G . При распараллеливании на ярусах решения задач Z_{jd} ($j = \overline{1,3}$) осуществляется построение более производительных модификаций схемы $S_2^{(e)}$. При распараллеливании решений задач первого яруса образуется схема $S_{2M_1}^{(e)}$ (рис. 2, а). На рис. 2, б, кроме информационных микропроцессорных модулей, решающих задачи ярусов 1 и 2, показаны коммутаторы $K_1(n)$ результатов решений n задач Z_{1d} ($d = \overline{1, n}$) и коммутатор $K_3(G)$ резуль-

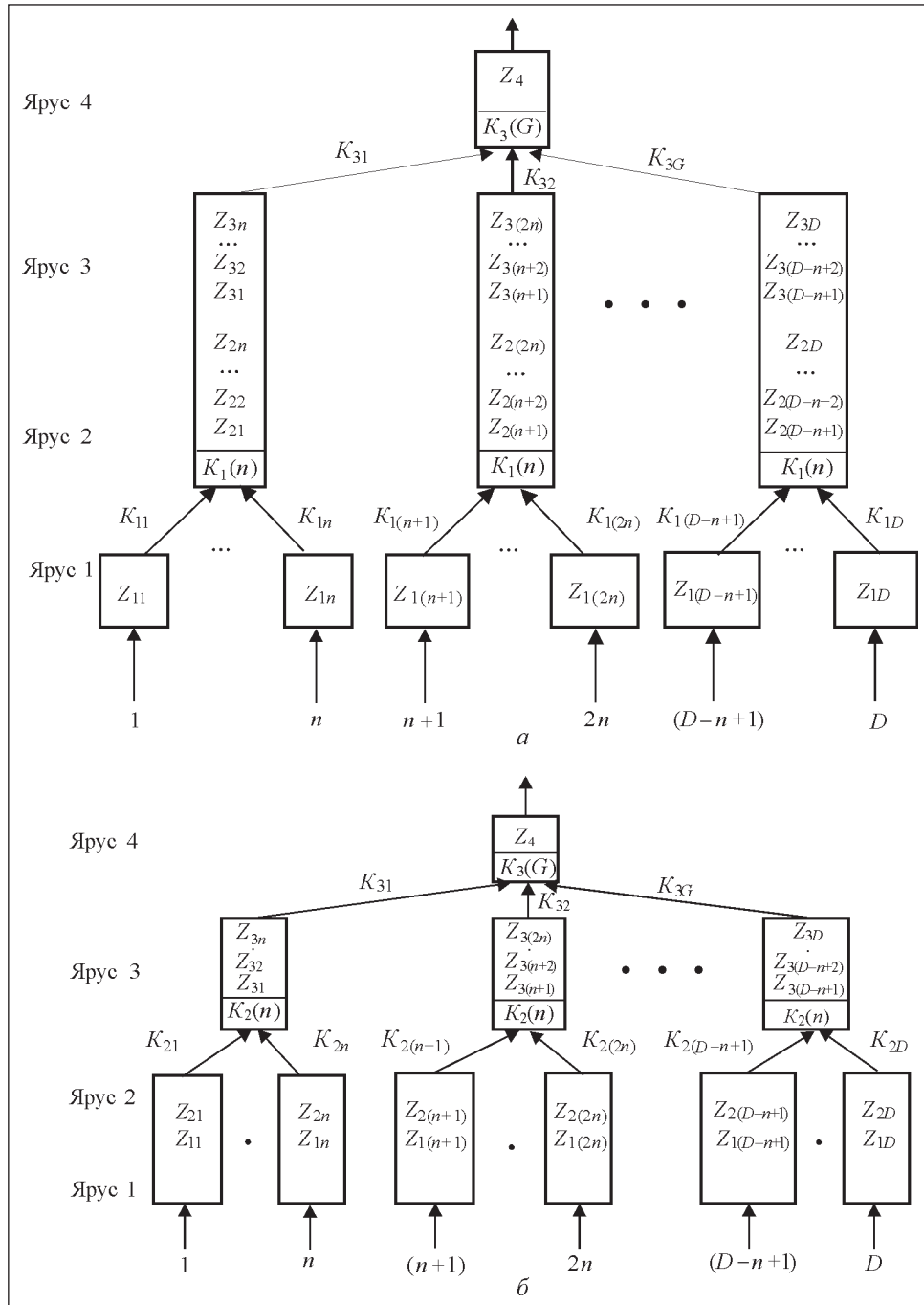


Рис. 2. Частично сгруппированные параллельно-последовательные схемы $S_{2M_1}^{(e)}$ (а) и $S_{2M_2}^{(e)}$ (б)

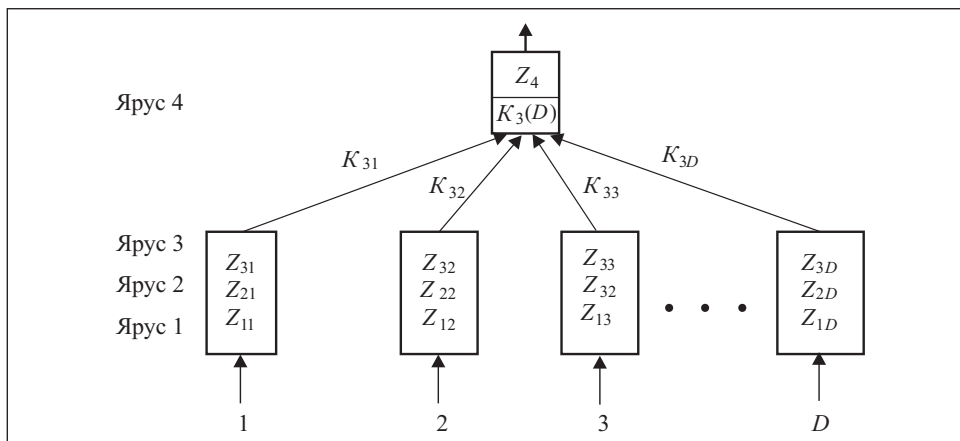


Рис. 3. Не сгруппированная параллельно-последовательная схема $S_{2M_3}^{(e)}$

татов решений \underline{G} групп задач. Схема $S_{2M_1}^{(e)}$ обеспечивает решение задач СОИД на шаге за время

$$T_{S_{2M_1}^{(e)}} = \frac{1}{D} \sum_{d=1}^D T_{Z_{1d}} + \frac{1}{G} \sum_{j=2}^3 \sum_{d=1}^D T_{Z_{jd}} + T_{Z_4} + T_{K_1} + T_{K_1}(n) + T_{K_3}(G),$$

которое меньше $T_{S_2}^{(e)}$ при условии, что время коммутации n значений переменных физических величин, поступающих от яруса 1, меньше времени последовательного решения $(n - 1)$ задач этого яруса.

Когда одновременно с решением задач первого яруса распараллеливается решение задач второго яруса, формируется параллельно-последовательная схема $S_{2M_2}^{(e)}$ (см. рис. 2, б), решающая задачи СОИД на шаге за время

$$T_{S_{2M_2}^{(e)}} = \frac{1}{D} \sum_{j=1}^2 \sum_{d=1}^D T_{Z_{jd}} + \frac{1}{G} \sum_{d=1}^D T_{Z_{3d}} + T_{Z_4} + T_{K_2} + T_{K_3} + T_{K_4} + T_{K_2}(n) + T_{K_3}(G),$$

которое может быть меньше времени $T_{S_2}^{(e)}$. Действительно,

$$T_{S_2}^{(e)} - T_{S_{2M_2}^{(e)}} = \left(\frac{1}{G} - \frac{1}{D}\right) \sum_{j=1}^2 \sum_{d=1}^D T_{Z_{jd}} + \frac{1}{G} \sum_{d=1}^D T_{Z_{3d}} - T_{K_2} - T_{K_2}(n) > 0,$$

когда

$$T_{K_2} + T_{K_2}(n) < \left(\frac{1}{G} - \frac{1}{D}\right) \sum_{j=1}^2 \sum_{d=1}^D T_{Z_{jd}} + \frac{1}{G} \sum_{d=1}^D T_{Z_{3d}}.$$

Построение РИМКС СОИД, обладающих максимальной производительностью, осуществляется при реализации схемы вычислительного процесса $S_2^{(e)}$ с параллельной обработкой сигналов на уровне триад $\langle Z_{1d}, Z_{2d}, Z_{3d} \rangle (d=1, D)$ (рис. 3). В схеме $S_{2M_3}^{(e)}$ сигнал каждого датчика поступает в отдельный канал информационного преобразования и обработки. Результаты обработки направляются через линию связи канала $K_{3d} (d \in \overline{1, D})$ на коммутатор $K_3(D)$, расположенный на входе четвертого яруса. После поступления всех данных завершается решение задачи Z_4 . При этом общее время на решение задач в схеме $S_{2M}^{(e)}$ определяется по формуле

$$T_{S_{2M_3}}^{(e)} = \sum_{j=1}^3 T_{Z_{j1}} + T_{Z_4} + T_{K_3} + T_{K_3}(D), \quad (2)$$

где $\sum_{j=1}^3 T_{Z_{j1}}$ — время решения задач триады $\langle Z_{11}, Z_{21}, Z_{31} \rangle$, принятое одинаковым для всех D триад; T_{K_3} — время передачи результатов обработки сигнала при решении задач триады $\langle Z_{1d}, Z_{2d}, Z_{3d} \rangle (d=1, D)$ с третьего на четвертый ярус; $T_{K_3}(D)$ — время формирования в коммутаторе $K_3(D)$ пакета данных для решения задач Z_4 .

Определим условие, при котором

$$T_{S_{2M_3}}^{(e)} < T_{S_2}^{(e)}. \quad (3)$$

Подставив (1) и (2) в (3), после несложных преобразований убедимся, что схема $S_{2M_3}^{(e)}$ (см. рис. 3) более производительна, чем схема $S_2^{(e)}$ (см. рис. 1), при

$$\frac{T_{K_3}(D) - T_{K_3}(G)}{\sum_{j=1}^3 \sum_{d=1}^D T_{Z_{jd}} - \sum_{j=1}^3 T_{Z_{j1}} + \sum_{j=1}^3 T_{K_j}} < 1. \quad (4)$$

Условие (4) выполняется, если в коммутаторах $K_3(D)$, $K_3(G)$ выходные пакеты данных komponуются по простым алгоритмам. Действительно, в таких случаях разность малых значений $T_{K_3}(D)$ и $T_{K_3}(G)$ составляет величину, значительно меньшую числового значения знаменателя в (4). Условие (4) также выполняется, когда в коммутаторах $K_3(D)$, $K_3(G)$ используются мало различимые сложные алгоритмы формирования пакетов, для которых величина разности $[T_{K_3}(D) - T_{K_3}(G)]$ находится в пределах допустимой погрешности.

Следует заметить, что в настоящее время для решения задач автоматизации широко используются распределенные системы управления и

наблюдения, в основе которых лежат принципы сетевых иерархических шинных конфигураций, организации функционирования по принципу master-slave и др. Для автоматизации более динамичных объектов могут быть применены параллельные потоковые РИМКС СОИД, обеспечивающие высокую производительность и точность решения задач СОИД. Высокопроизводительные потоковые РИМКС СОИД строятся на основе параллельно-последовательных схем процессов с групповыми сбором и обработкой сигналов датчиков при введении сетевых коммуникаторов, обеспечивающих компоновку данных для решения задач верхнего яруса.

Выводы

Максимальная производительность РИМКС СОИД достигается при конфигурации, в которой распараллеливается обработка сигналов на уровне триад задач первичной обработки. Для практической реализации таких схем необходимо создание информационных микропроцессорных модулей, решающих триады задач первичной обработки сигналов датчиков, а также модулей коммуникаторов пакетов выходных данных в итоговые пакеты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пьявченко О.Н. Распределенные системы сбора и обработки информации датчиков динамических объектов // Изв. ЮФУ. Технические науки. — 2011. — № 5 (118). — С. 8—14.
2. Пьявченко О.Н. Модели интеллектуальных микропроцессорных модулей систем сбора и обработки информации датчиков // Электрон. моделирование. — 2010. — 33, № 3. — С. 61—70.
3. Смирнова Е.В., Козик П.В. Технология современных сетей Ethernet. Методы коммуникации и управления потоками данных.: Учеб. Пособие. Под ред. П.В. Кострова. — СПб.: БХВ, 2012. — 272 с.
4. Пьявченко О.Н. Коммуникационные модули высокопроизводительных распределенных информационных систем // Изв. ЮФУ. Технические науки. — 2013. — № 5 (142). — С. 9—14.

О.Н. Pyavchenko

CONFIGURATION OF DISTRIBUTED HIGH-PERFORMANCE STREAMING SYSTEMS OF COLLECTING AND PROCESSING SENSOR INFORMATION

Versions of configurations of the distributed high-performance systems of data collection and processing of the sensors constructed on the basis of information micro-processor modules, communicators and switchboards of data packages are considered in the article. Estimates of productivity of these configurations are given. The scheme with the maximum productivity is allocated in which parallel processing of signals under the solution of triads of tasks is realized.

Key words: distributed system, collecting and processing sensor information, configuration, information modules, communicators.

REFERENCES

1. Pyavchenko, O.N. (2011), “The distributed systems of collection and processing of information from sensors of dynamic objects”, *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki*, no. 5(118), pp. 9-15.
2. Pyavchenko, O.N. (2011), “Models of intellectual microprocessor modules of the systems of collection and processing of information from sensors”, *Electronnoe modelirovanie*, Vol. 33, no. 3, pp. 61-70.
3. Smirnova, E.V. and Kozik, P.V. (2012), *Tekhnologiya sovremennykh setei Ethernet. Metody kommunikatsii i upravleniya potokami dannykh: Uchebnoe posobie* [The technology of today's networks Ethernet. Methods of communication and data flow management: Textbook], ВКhV, St-Petersburg, Russia.
4. Pyavchenko, O.N. (2013), “Communication modules of the high-performance distributed information microcomputer systems”, *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki*, no. 5(142), pp. 9-14.

Поступила 14.01.15

ПЬЯВЧЕНКО Олег Николаевич, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой микропроцессорных систем Технологического института Южного федерального университета в г. Таганроге. В 1960 г. окончил Таганрогский радиотехнический ин-т. Область научных исследований — локальные и распределенные микроконтроллерные системы сбора и обработки информации датчиков для решения задач контроля и мониторинга.

