

Раздел I. Математические модели и методы

УДК 621.05.1

О.Н. Пьявченко

ПАРАЛЛЕЛЬНО-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЕ СХЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ СБОРА И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ДАТЧИКОВ

Рассматриваются конфигурации высокопроизводительных распределенных информационных микрокомпьютерных систем сбора и обработки информации датчиков. В основу организации сбора и обработки значений сигналов датчиков положен принцип потоковой четырехъярусной обработки. Для построения систем используются информационные микропроцессорные модули и информационные микроконтроллерные коммутаторы, позволяющие создавать различные высокопроизводительные конфигурации систем. Особенностью конфигураций является параллельная оцифровка собранных в группы сигналов и параллельно-последовательная обработка групп их числовых значений. Оцениваются и сравниваются затраты времени и оборудования этих конфигураций. Определяются модели информационных микроконтроллерных коммуникационных модулей, необходимые для построения высокопроизводительных распределенных информационных микрокомпьютерных систем сбора и обработки информации датчиков. Приводятся примеры построения на основе этих модулей звездообразных и древовидных конфигураций. Оцениваются затраты времени решения на них задач сбора и обработки информации датчиков. Кроме информационных микропроцессорных модулей для построения распределенных информационных микрокомпьютерных систем, используются различные информационные коммуникационные модули, обеспечивающие сбор, упаковку пакетов и их посылку в сетевые каналы. Определяются разновидности таких модулей.

Распределенные микрокомпьютерные системы; информационные микропроцессорные модули; коммутаторы.

O.N. Pyavchenko

PARALLEL-SERIAL SCHEMES OF THE DISTRIBUTED SYSTEMS OF COLLECTION AND PROCESSING INFORMATION OF SENSORS

In this article configurations of the high-performance distributed information microcomputer systems of collection and are considered. In a basis of the organization of collection and processing of values of signals of sensors the principle of stream four-tier processing is supposed. For creation of systems information microprocessor modules and the information microcontroller communicators, allowing to create different high-performance configurations of systems are used. Feature of configurations is parallel digitization of the signals collected in groups and parallel-serial processing of groups of their numerical values. Expenses of time and the equipment of these configurations are evaluated and compared. The models of the information microcontroller communication modules necessary for creation of high-performance distributed information microcomputer systems of collection and information processing of sensors are defined. Creation examples on the basis of these modules of star-shaped and treelike configurations are given. Costs of time of the solution of tasks of collection of them and information processing of sensors are evaluated. Except information microprocessor modules for creation of the distributed information microcomputer systems, are used the different information communication modules providing collection, package of packets and their sending to network canals. Varieties of such modules are defined.

The distributed microcomputer systems; information microprocessor modules; communicators.

Для мониторинга и управления сложных динамических объектов могут быть использованы распределенные информационные микрокомпьютерные системы (РИМКС) [1], архитектура которых отражает особенности потоковой организации процессов сбора и обработки информации датчиков (СОИД). При потоковой организации решения задач СОИД в начале каждого шага дискретизации формируются и сохраняются цифровые значения сигналов аналоговых датчиков, после чего подвергаются многократной цифровой обработке без участия программы диспетчера.

Особенности потоковой РИМКС:

- 1) потоковая организация процессов решения задач СОИД;
- 2) наличие модулей, решающих задачи сбора информации;
- 3) аппаратно-программная поддержка процессов решения задач СОИД на уровне модулей и сетевых конфигураций их соединений;
- 4) использование проводных и беспроводных соединений для передачи информации между модулями;
- 5) зависимость длительности шага дискретизации от максимальной частоты сигналов;
- 6) привязка формирования цифровых значений сигналов от всех датчиков к началу шага решения задач СОИД;
- 7) синхронизация параллельных процессов СОИД.

В обобщенном виде схема решения задач СОИД представляется в ярусной форме (рис. 1).

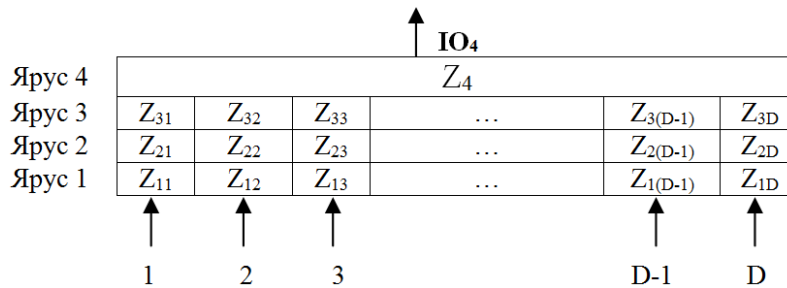


Рис. 1. Ярусная форма процесса СОИД

На рис. 1 обозначены Z_{jd} ($j=1,2,3; d = \overline{1, D}$) задачи, решаемые на каждом j ярусе.

На ярусе 1 решаются задачи Z_{1d} аналоговой обработки (АО) и аналого-цифровых преобразований (АЦП), на ярусе 2 – задачи Z_{2d} первичной цифровой обработки (ПЦО) сигналов датчиков физических величин. На ярусе 3 решаются задачи Z_{3d} первого уровня вторичной цифровой обработки (1ВЦО), к которым отнесены измерения значений физических величин в соответствующих единицах, определения состояний физических величин и их оценки и т.д. На четвертом ярусе решаются задачи Z_4 , условно обозначенные как задачи второго уровня вторичной цифровой обработки (2ВЦО). В группу 2ВЦО входят задачи, относящиеся к объекту наблюдения, содержание, вычислительная сложность и количество которых определяются методами и алгоритмами реализации целевой функции.

Принятая за основу ярусная схема решения задач отражает упорядоченную декомпозицию задач по уровням в зависимости от очередности из реализации. Задачи $Z_1 - Z_4$ характеризуют различные целевые функции, математические методы, возрастающую снизу вверх вычислительную сложность, завершенность, заключающуюся в полной реализации соответствующей целевой функции.

Характерными особенностями схемы (рис. 1) являются:

1) иерархическая структура:

- ♦ в соответствии с иерархией на нижнем ярусе Я1 решаются задачи Z_1 аналоговой обработки, оцифровки и сохранения информации датчиков физических величин;
- ♦ на более старших ярусах Я2, Я3 углубляется обработка сохраняемой информации (задачи Z_2, Z_3);
- ♦ на верхнем ярусе Я4 решаются, как правило, более сложные задачи Z_4 , в совокупности обеспечивающие реализацию целевой функции системы СОИД;

2) распределение задач между иерархическими ярусами может изменяться в различных системах СОИД;

3) при декомпозиции задач по ярусам, как правило, не допускается их разделение на части, относящиеся к различным ярусам;

4) на ярусах Я1, Я2, Я3 распараллеливаются вычисления независимых задач Z_{1d}, Z_{2d}, Z_{3d} ($d=\overline{1, D}$), а на верхнем ярусе связанных компонентов задачи верхнего уровня.

Для решения задач СОИД могут быть использованы наборы различных моделей информационных микропроцессорных модулей (ИММ) [2]. Основные модели ИММ определяются при их специализации на решение задач, отнесенных к различным ярусам, и на решение допустимых совокупностей задач, принадлежащих разным ярусам.

Базовыми моделями ИММ, специализированными на решения задач ярусов 1–4, являются:

1. ИММ 1.0 аналоговой обработки, аналого-цифровых преобразований и сохранения значений D сигналов ($D \geq 1$) датчиков физических величин (задачи Z_{1d} ($d = \overline{1, D}$) яруса 1);
2. ИММ 2.0 формирования достоверных значений сигналов датчиков (задачи Z_{2d} ($d = \overline{1, D}$) яруса 2);
3. ИММ 3.0 измерений физических величин, определений и оценок их состояний (задачи Z_{3d} ($d = \overline{1, D}$) яруса 3);
4. ИММ 4.0 определений и оценок состояний объекта наблюдения (задачи Z_4 яруса 4).

Потери времени на передачу данных между ярусами сокращаются при использовании ИММ, обеспечивающих решение задач, принадлежащих группам:

- 1) пар ярусов [Я1, Я2], [Я2, Я3], [Я3, Я4];
- 2) трех ярусов [Я1, Я2, Я3], [Я2, Я3, Я4].

Модели ИММ, предназначенных для решения групп 1), 2), продолжают список ИММ1.0 – ИММ4.0:

5. ИММ 5.0 аналоговой обработки, аналого-цифровых преобразований и формирования достоверных прецизионных значений сигналов (группа задач Z_1, Z_2 ярусов Я1, Я2);
6. ИММ 6.0 формирования достоверных значений сигналов датчиков, измерений и оценок состояний физических величин (группа задач Z_2, Z_3 ярусов Я2, Я3);
7. ИММ 7.0 измерений и оценок состояний физических величин, оценки состояний объекта наблюдения (группа задач Z_3, Z_4 ярусов Я3, Я4);

8. ИММ 8.0 аналоговой обработки, оцифровки, первичной цифровой обработки, измерений и оценки состояний физических величин (группа задач Z_1, Z_2, Z_3 ярусов Я1, Я2, Я3);
9. ИММ 9.0 первичной обработки цифровых сигналов, измерений, оценок состояний физических величин и состояния объекта (группа задач Z_2, Z_3, Z_4 ярусов Я2, Я3, Я4).

Повышение производительности РИМКС достигается при использовании параллельных каналов сбора и обработки сигналов датчиков [1]. Наиболее полное сокращение времени решения задач СОИД обеспечивается в звездообразных и древовидных конфигурациях. Примеры звездообразных конфигураций приведены на рис. 2.

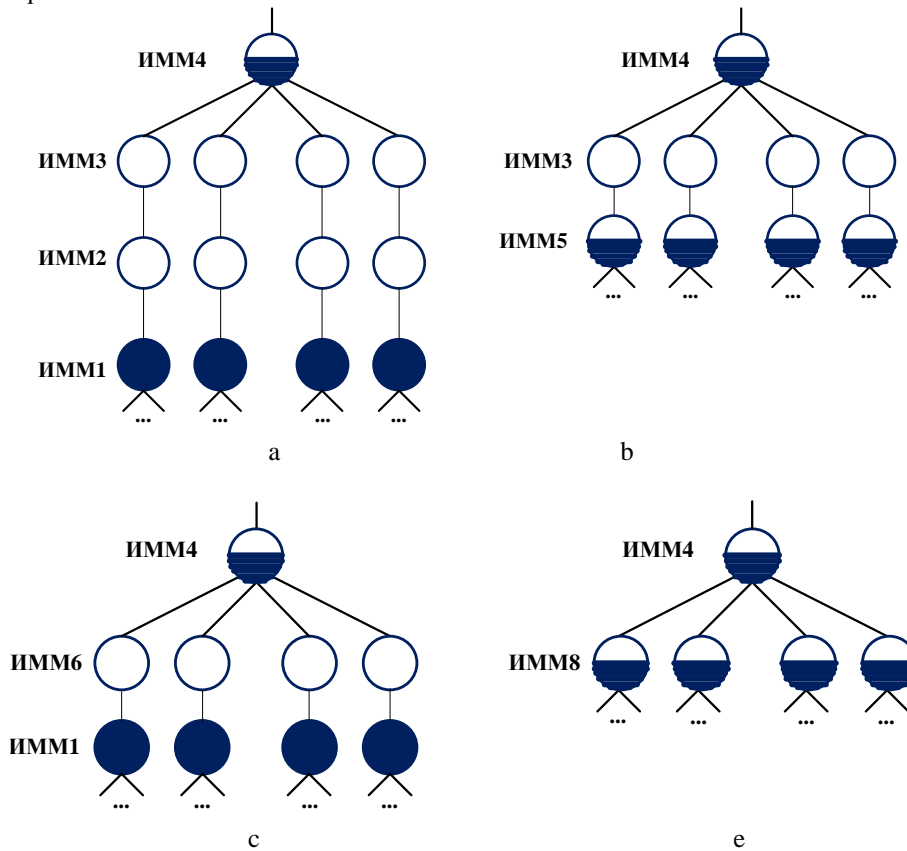


Рис. 2. Примеры звездообразных конфигураций

На рис. 2 введены затемнения на модулях. Полное затемнение указывает на то, что в модуле преобладает реализация функций сбора и сохранения цифровых данных. Частичное затемнение означает то, что к основным функциям модуля ИММ добавляются реализуемые на входе функции коммутатора. Затраты времени на решение задач в звездообразных конфигурациях оцениваются выражениями

$$\left. \begin{aligned}
 a) \quad T_{S_2}^{(a)} &= \sum_{j=1}^3 \sum_{d=1}^n T_{Z_{jd}} + T_{Z_4} + \sum_{j=2}^4 T_{K_j} + T_K(4); \\
 b) \quad T_{S_2}^{(b)} &= \sum_{j=1}^3 \sum_{d=1}^n T_{Z_{jd}} + T_{Z_4} + \sum_{j=3}^4 T_{K_j} + T_K(4); \\
 c) \quad T_{S_2}^{(c)} &= \sum_{j=1}^3 \sum_{d=1}^n T_{Z_{jd}} + T_{Z_4} + T_{K_2} + T_{K_4} + T_K(4); \\
 e) \quad T_{S_2}^{(e)} &= \sum_{j=1}^3 \sum_{d=1}^n T_{Z_{jd}} + T_{Z_4} + T_{K_4} + T_K(4),
 \end{aligned} \right\} (1)$$

в которых, кроме времени решения задач Z_{jd} ($j=\overline{1,3}$; $d=\overline{1,D}$) и Z_4 , учитывается время передачи информации по каналам между ярусами T_{K_j} ($j=2,3,4$) и время сбора информации $T_K(4)$, поступающей по каналам на входы ИММ4.

Между затратами времени (1) имеют место соотношения

$$T_{S_2}^{(a)} > T_{S_2}^{(b)}, T_{S_2}^{(a)} > T_{S_2}^{(c)}, T_{S_2}^{(a)} > T_{S_2}^{(e)}. \quad (2)$$

Действительно

$$\left. \begin{aligned}
 T_{S_2}^{(a)} - T_{S_2}^{(b)} &= T_{K_4} > 0, \\
 T_{S_2}^{(d)} - T_{S_2}^{(c)} &= T_{K_3} > 0, \\
 T_{S_2}^{(a)} - T_{S_2}^{(e)} &= T_{K_2} + T_{K_3} > 0.
 \end{aligned} \right\} (3)$$

Среди конфигураций (рис. 2) схема е) отличается не только максимальной производительностью, но и содержит минимальное количество модулей, так как

$$N_{S_2}^{(a)} > N_{S_2}^{(b)} = N_{S_2}^{(c)} > N_{S_2}^{(e)}.$$

Однако сокращение количества модулей не гарантирует создание схемы с минимальными аппаратными затратами, так как для сохранения быстродействия в модуле ИММ8 аппаратурно должны поддерживаться функции модулей ИММ1 – ИММ3. Благодаря сокращению количества каналов обмена между ярусами конфигурация $S_2^{(e)}$ превосходит по производительности не только звездообразные, но и древовидные конфигурации, представленные на рис. 3.

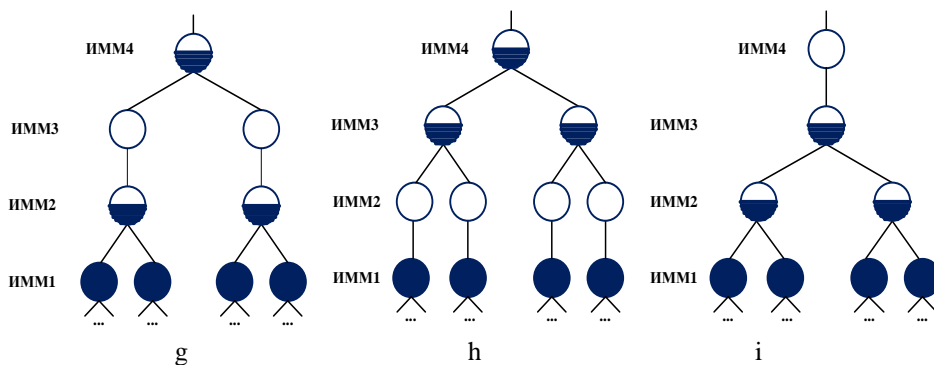


Рис. 3. Древовидные конфигурации

Затраты времени в этих конфигурациях составляют

$$\left. \begin{aligned}
 g) \quad T_{S3}^{(g)} &= \sum_{d=1}^n T_{Z1d} + \sum_{j=2}^3 \sum_{d=1}^{2n} T_{Zjd} + T_{Z4} + \sum_{j=2}^4 T_{Kj} + T_{K2}(2) + T_{K4}(2); \\
 h) \quad T_{S3}^{(h)} &= \sum_{j=1}^2 \sum_{d=1}^n T_{Zjd} + \sum_{d=1}^{2n} T_{Z3d} + T_{Z4} + \sum_{j=2}^4 T_{Kj} + T_{K3}(2) + T_{K4}(2); \\
 i) \quad T_{S3}^{(i)} &= \sum_{d=1}^n T_{Zjd} + \sum_{d=1}^{2n} T_{Z2d} + \sum_{d=1}^{4n} T_{Z3d} + T_{Z4} + \sum_{j=2}^4 T_{Kj} + T_{K2}(2) + T_{K3}(2),
 \end{aligned} \right\} (4)$$

где $T_{Kj}(2)$ ($j=2,3,4$) – время срабатывания коммутаторов информации j -х ярусов.

Древовидные конфигурации (рис. 3) являются 4-ярусными образованиями, что приводит к увеличению времени обмена информацией между ярусами по сравнению со звездообразными схемами, представленными на рис. 2, в, с, е.

Более производительные древовидные схемы строятся с использованием модулей ИММ5 – ИММ7, на входах которых размещаются информационные коммуникационные модули (рис. 4).

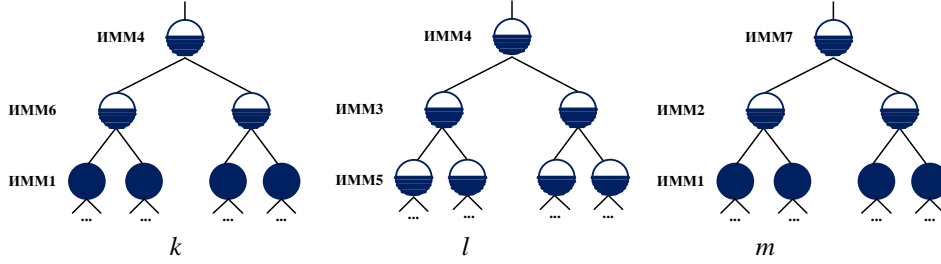


Рис.4. Модификации древовидных конфигураций

Затраты времени на решение задач СОИД в модифицированных древовидных конфигурациях оцениваются следующими выражениями:

$$\begin{aligned}
 k) \quad T_{S3}^{(k)} &= \sum_{d=1}^n T_{Z1d} + \sum_{j=2}^3 \sum_{d=1}^{4n} T_{Zjd} + T_{Z4} + T_{K2} + T_{K4} + T_{K2}(2) + T_{K4}(2); \\
 l) \quad T_{S3}^{(l)} &= \sum_{j=1}^2 \sum_{d=1}^n T_{Zjd} + \sum_{d=1}^{2n} T_{Z3d} + T_{Z4} + T_{K3} + T_{K4} + T_{K3}(2) + T_{K4}(2); \\
 m) \quad T_{S3}^{(m)} &= \sum_{d=1}^n T_{Z1d} + \sum_{d=1}^{2n} T_{Z2d} + \sum_{d=1}^{4n} T_{Z3d} + T_{Z4} + \sum_{j=2}^3 T_{Kj} + \sum_{j=2}^3 T_{Kj}(2).
 \end{aligned}$$

Сопоставляя эти выражения между собой, получим соотношения

$$\begin{aligned}
 1) \quad T_{S3}^{(k)} - T_{S3}^{(l)} &\approx \sum_{d=n+1}^{4n} T_{Z2d} + \sum_{d=2n+1}^{4n} T_{Z3d}, \text{ т.е. } T_{S3}^{(k)} > T_{S3}^{(l)}; \\
 2) \quad T_{S3}^{(k)} - T_{S3}^{(m)} &\approx \sum_{d=2n+1}^{4n} T_{Z2d}, \text{ т.е. } T_{S3}^{(k)} > T_{S3}^{(m)}; \\
 3) \quad T_{S3}^{(l)} - T_{S3}^{(m)} &\approx - \sum_{d=n+1}^{2n} T_{Z2d} + \sum_{d=1}^{4n} T_{Z3d}, \text{ т.е. } T_{S3}^{(l)} - T_{S3}^{(m)} < 0,
 \end{aligned}$$

из которых следует, что среди модификаций древовидных конфигураций конфигурация $S_3^{(m)}$ (рис. 4, m) является наиболее производительной.

В то же время по производительности она уступает звездообразной конфигурации $S_2^{(e)}$, так как $T_{S_3}^{(m)} - T_{S_2}^{(e)} \approx \sum_{d=n+1}^{2n} T_{Z3d}$.

Из этого казалось бы следует, что звездообразная конфигурация $S_2^{(e)}$ может быть рекомендована для построения любых распределенных систем СОИД. Однако имеются случаи, когда системы с такой конфигурацией не применимы, например, когда модули ИММ8 должны располагаться в зонах повышенной температуры [3]. В таких ситуациях целесообразнее использовать конфигурации, у которых на нижнем ярусе располагаются более простые модули, например, конфигурацию $S_2^{(c)}$.

Что же касается древовидных конфигураций, то их использование обосновано, когда для построения звездообразных конфигураций требуются соединительные кабели недопустимой длины. Кроме того, древовидные конфигурации более удобны для создания распределенных систем СОИД с программно изменяемой топологией, так как содержат развитую систему коммуникационных модулей [4], реализующих сбор данных, упаковку их в пакеты и передачу пакетов модулям-потребителям.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Пьявченко О.Н.* Структурные особенности организации сбора и обработки информации датчиков в определенных информационных микрокомпьютерных системах реального времени // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 5 (130). – С. 12-20.
2. *Пьявченко О.Н.* Интеллектуальные микропроцессорные модули сбора и обработки информации датчиков // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 5 (106). – С. 141-150.
3. Печи скоростного нагрева ТЕСКА. <http://www/npp-teska.ne/production.ktm>.
4. *Пьявченко О.Н.* Коммуникационные модули высокопроизводительных распределенных информационных систем // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 5 (142). – С. 9-14.

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

Пьявченко Олег Николаевич – Южный федеральный университет; e-mail: kafmps@tppark.ru; 347900, г. Таганрог, ул. Петровская, 81; тел.: 88634328052; кафедра микропроцессорных систем; д.т.н.; профессор.

Puavchenko Oleg Nikolaevich – Southern Federal University; e-mail: kafmps@tppark.ru; 81, Petrovskaya street, Taganrog, 347900, Russia; phone: +78634328052; the department of microprocessor systems; dr. of eng. sc.; professor.