

Раздел I. Системы и сети

УДК 621.05.1

О.Н. Пьявченко

РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ СИСТЕМЫ СБОРА И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ДАТЧИКОВ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Определяются базовые модели многофункциональных модулей распределенных систем мониторинга динамических объектов. Идентификация моделей отражает особенности четырехъярусной схемы процесса сбора и обработки информации датчиков. Приведенный набор базовых моделей многофункциональных модулей представляет набор модулей, имеющих практическое значение для создания распределенных систем мониторинга. Рассматриваются последовательные и параллельно-последовательные схемы соединений модулей. Оцениваются их временные характеристики. Приводятся условия выбора конкретных конфигураций.

Базовые модели модулей; датчики; конфигурации соединений.

O.N. Pyavchenko

THE DISTRIBUTED SYSTEMS OF COLLECTION AND INFORMATION PROCESSING OF SENSORS OF DYNAMIC OBJECTS

Base models of modules of the distributed systems of monitoring of dynamic objects are defined. Identification of models reflects features of the scheme of four levels of process of gathering and processing of the information of sensors. The resulted gang of base models of multifunction modules represents a gang of the modules, having practical value for making of the distributed systems of monitoring. Consecutive and parallel-serial schemes of connections of modules are considered. Their time characteristics are estimated. Conditions of a choice of concrete configurations are offered.

Base models of units; sensors; configurations of junctions.

В системе сбора информации датчиков физических величин реализуется процесс, во время которого физические явления трансформируются в электрические сигналы, преобразуемые в цифровые коды и представляемые в цифровых форматах, подходящих для обработки, анализа и сохранения [1].

При этом в большинстве случаев системы сбора предназначаются не только для сбора данных, но и для выполнения действий над ними. Такой подход является одним из базовых при построении современных систем автоматизации, на нижних уровнях которых наряду с задачами сбора, измерений и оценок состояний решаются задачи управления (регулирования) переменными. Поэтому, определяя систему сбора информации датчиков, следует расширить это определение и включить в него аспекты наблюдения и управления [2]. Разделяя эту позицию, отметим, что в современных системах сбора все шире применяются сложные вычислительная обработка и логический анализ. Благодаря этому они могут рассматриваться как интеллектуальные автоматизированные системы сбора и обработки информации датчиков (СОИД) физических величин. В зависимости от реализуемой целевой функции системы СОИД идентифицируются как системы сбора, системы контроля, системы мониторинга, системы управления и др.

В данной работе рассматриваются и сопоставляются схемы организации вычислений, которые реализуются в распределенных системах СОИД переменных физических величин. Базовыми компонентами систем СОИД являются функционально и конструктивно завершённые микропроцессорные модули, объединяемые информационными и управляющими связями и ОС РВ. Перспективным направлением развития функциональных возможностей модулей является увеличение количества и сложности решаемых ими задач, применение при этом более развитых вычислительных методов и методов искусственного интеллекта. Ниже версии таких модулей названы интеллектуальными микропроцессорными модулями (ИММ) СОИД. ИММ определяются как функционально и конструктивно завершённые микропроцессорные системы, аппаратные и программные средства которых обеспечивают ввод информации, в частности сбор информации датчиков физических величин, ее сохранение, развитую вычислительную и логическую обработку, выдачу результатов в сетевые каналы.

Для определения и сравнения основных версий организации вычислений строится обобщенная ярусная схема решения задач СОИД, которая отражает упорядоченную декомпозицию задач Z_1-Z_4 по 4-м уровням в зависимости от очередности их реализации [3]. Задачи Z_1-Z_4 характеризуют различные целевые функции, математические методы, возрастающая снизу вверх вычислительная сложность, завершённость, заключающаяся в полной реализации соответствующей целевой функции. На ярусе 1 (Я1) решаются задачи Z_{1d} аналоговой обработки (АО) и аналого-цифровых преобразований (АЦП), на ярусе 2 (Я2) – задачи Z_{2d} первичной цифровой обработки (ПЦО) сигналов датчиков физических величин. На ярусе 3 (Я3) решаются задачи Z_{3d} первого уровня вторичной цифровой обработки (ВЦО), к которым отнесены измерения значений физических величин в соответствующих единицах, определения состояний физических величин и их оценки и т.д. На четвертом ярусе (Я4) 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 в ИММ.

Для решения задач в системах СОИД могут быть использованы наборы различных моделей ИММ. Основные модели ИММ определяются при их специализации на решение задач, отнесенных к различным ярусам, и на решение допустимых совокупностей задач, принадлежащих разным ярусам. К базовым моделям относятся 10 моделей, прежде всего, четыре, обеспечивающие отдельно решение задач четырех ярусов, и 6, реализующие решение задач, принадлежащих группам:

- а) пар ярусов [Я1,Я2], [Я2,Я3], [Я3,Я4];
- б) трех ярусов [Я1,Я2,Я3] и [Я2,Я3,Я4];
- в) четырех ярусов [Я1,Я2,Я3,Я4].

В настоящее время на практике в той или иной степени распространены модели, в которых решаются задачи ярусов 1–4. Для решения задач четвертого уровня наряду с программируемыми логическими контроллерами (ПЛК), промышленными и офисными компьютерами применяются специальные модули, например концентраторы данных, накопители – сетевые интерфейсы и др.

При построении на базе ИММ распределенных информационных микрокомпьютерных систем (РИМКС) межмодульные информационные и управляющие связи осуществляются с помощью сетевых каналов, технические характеристики, организация функционирования и конфигурации соединений которых оказывают непосредственное влияние на производительность и другие технико-экономические характеристики систем. При разработках высокопроизводительных РИМКС успешные

архитектурные решения могут быть получены, когда конфигурации их сетевых соединений наиболее полно отражают особенности процесса решения задач СОИД.

В связи с этим практическое значение имеет определение основных типов организации схем сетевого межмодульного обмена и оценка влияния затрат времени внутрисистемного сетевого обмена на производительность систем. При этом на ярусах $j = 1, 2, 3$ допускаются реализации:

1) последовательной схемы, в которой на каждом ярусе j решаются последовательно задачи Z_{jd} ($d = \overline{1, D}$);

2) параллельной схемы вычислений на каждом ярусе $G = \frac{D}{n}$ групп, в каждую из которых входят n задач при последовательном решении задач внутри каждой группы.

Для упрощения оценок времени решения задач предположим, что в РИМКС реализуется обработка информации пакетами, содержащими по $n \geq 1$ задач.

Размер пакета в последовательных РИМКС составляет $n \geq D$, в параллельно-последовательных РИМКС – $n \geq \frac{D}{G}$ (G – количество параллельных групп обработки в параллельной схеме сбора и первичной обработки). Для определения затрат времени на решение задач СОИД в РИМКС рассмотрим соответствующие схемы процессов обработки.

4-ярусная схема S1 последовательного решения задач на ярусах 1–3 представлена на рис. 1. Из-за большого разнообразия задач четвертого яруса схемы их решения не рассматриваются. В схеме S1 все процессы СОИД развернуты во времени. Время решения задач Z_1-Z_4 по последовательной схеме составляет

$$T_{S1} = \sum_{j=1}^3 (T_{Zj}^{(S1)} + T_{Kj}^{(S1)}) + T_{Z4} = \sum_{j=1}^3 \left(\sum_{d=1}^D T_{Zjd} + T_{Kj}^{(S1)} \right) + T_{Z4}, \quad (1)$$

где T_{Zj} и T_{Z4} – время решения задач Z_{jd} ($d = \overline{1, D}$) на ярусах $j=1-3$ и задачи Z_4 на ярусе 4; T_{Kj} – время пересылки данных между ярусами j и $j+1$ ($j=1, 2, 3$).

В выражении (1) учтены затраты времени на передачу данных в сетевых каналах РИМКС

$$T_K^{S1} = \sum_{j=1}^3 T_{Kj}^{(S1)} = \sum_{j=1}^3 \frac{N_j B_j}{V_j q_j}, \quad (2)$$

где N_j – количество данных в передаваемом информационном объекте j -го яруса; B_j – количество бит, отведенное для представления одного данного с учетом служебных бит рассчитываемое как сумма результатов решения задач Z_{jd} ($d = \overline{1, D}$); V_j – скорость передачи бит между j и $(j+1)$ ярусами; q_j – число одновременно передаваемых бит.

Когда на ярусе j решаются задачи Z_{jd} , на которые затрачивается одинаковое время $T_{Zjd} = const$ ($d = \overline{1, D}$), выражение (1) преобразуется к виду

$$T_{S1} = D(T_{Z1d} + T_{Z2d} + T_{Z3d}) + \sum_{j=1}^3 T_{Kj}^{(S1)} + T_{Z4}. \quad (3)$$

В РИМКС затраты времени на решение задач СОИД существенно сокращаются при распараллеливании решений задач Z_{jd} ($d = \overline{1, D}$) на ярусах $j=1, 2, 3$.

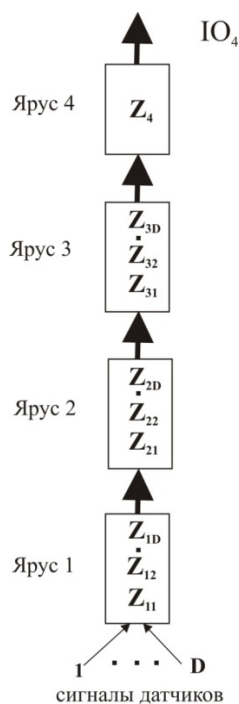


Рис. 1. Схема S1 последовательного решения задач на ярусах

Обобщенная параллельно-последовательная схема S2 решения задач СОИД приведена на рис. 2.

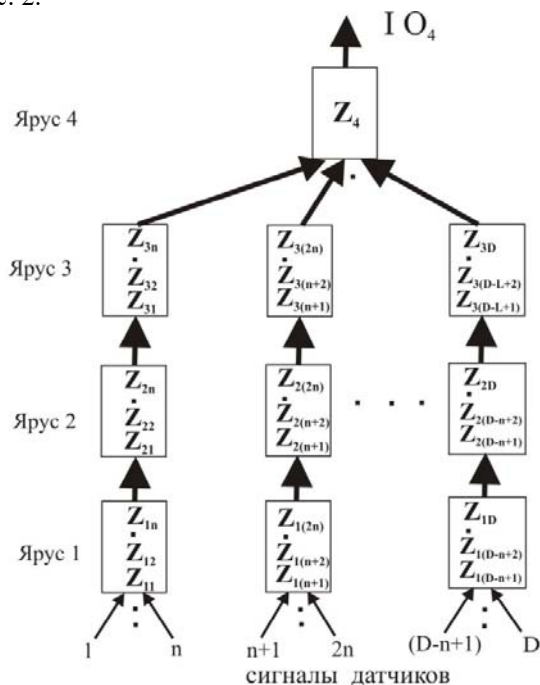


Рис. 2. Параллельно-последовательная схема S2 с параллельным решением групп задач на ярусах 1, 2, 3

В схеме S2 реализуются G ветвей, в каждой из которых 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 $(j+1)$ -ярус 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. Организация сетевого обмена между ярусом 3 и ярусом 4 отличается тем, что на ярус 4 одновременно поступают G пакетов. Поэтому для построения подсистемы сбора данных могут использоваться принципиально различные решения, имеющие разные технические характеристики.

Время решения задач Z_1-Z_4 по схеме S2 (рис. 2) составляет

$$T_{S2} = \max_g \left[\sum_{j=1}^3 \left(\sum_{d=(g-1)n+1}^{gn} T_{Zjd} + T_{Kj}^{(S2)} \right) \right] + T_{Z4}. \quad (4)$$

В формуле учтено, что на ярусе j в различных ветвях g могут решаться задачи Z_{jd} за разное время T_{Zjd} ($T_{Zjd} = var$). Однако, когда на ярусе j во всех $g = 1, 2, \dots, G$ ветвях решаются задачи Z_{jd} за одинаковое время, т.е. $T_{Zjd} = const$, а параметры в (2) $B_j = B$, $V_j = V$, $q_j = q$, время решения (3) описывается более простым выражением

$$T_{S2} = n(T_{Z1d} + T_{Z2d} + T_{Z3d}) + (2 + C_3^{(S2)})n \frac{B}{Vg} + T_4, \quad (5)$$

где $C_3^{(S2)}$ – коэффициент увеличения затрат времени при реализации схемы S2 на сбор результатов обработки на ярусе 3 в G -канальном сетевом коммутаторе по сравнению с реализацией одного канала схемы S2.

Организация решения задач СОИД по схеме S2 позволяет обеспечить соотношение $T_{S1} > T_{S2}$ в широком диапазоне изменения количества групп G при выполнении условия

$$(D - n)(T_{Z1d} + T_{Z2d} + T_{Z3d}) + \left[3D - (2 + C_3^{(S2)})n \right] \frac{B}{Vg} > 0, \quad (6)$$

которое истинно, если коэффициент

$$C_3^{(S2)} < (3G - 2).$$

В РИМКС с более совершенной архитектурой решение задач Z_{jd} ($d = \overline{1, D}$), разнесенных по ярусам 1–3, осуществляется на одном общем ярусе (*com*-ярусе). Следует заметить, что целесообразность такого объединения подтверждается многолетним положительным опытом создания и применения в системах СОИД интеллектуальных датчиков физических величин. Благодаря данному объединению отпадает необходимость в двух внутримодульных сетевых каналах K1, K2 и параллельно-последовательная схема S2 (см. рис. 2) преобразуется в схему S3 (рис. 3).

В РИМКС на решение задач СОИД по схеме S3 затрачивается время

$$T_{S2} = \max_d \sum_{j=1}^3 T_{Zjd} + T_{K3}^{(S3)} + T_{Z4}, \quad (7)$$

когда сбор данных в D -канальном сетевом коммутаторе происходит только после формирования в *com*-ярусе всех результатов. Если $T_{Z1d} = const$, $T_{Z2d} = const$, $T_{Z3d} = const$, то

$$T_{S3} = (T_{Z1d} + T_{Z2d} + T_{Z3d}) + T_{K3}^{(S3)} + T_4. \quad (8)$$

По аналогии с (2)

$$T_{K3}^{(S3)} = C_3^{(S3)} \frac{N_3 B}{Vg}, \quad (9)$$

где $C_3^{(S3)}$ – коэффициент, изменяющийся в пределах $1 \leq C_3^{(S3)} \leq D$, величина которого зависит от организации сбора данных в сетевом коммутаторе. При $D > 1$ реализация схемы S3 обеспечивает более высокую производительность РИМКС по сравнению с реализацией схемы S1, так как выполняется соотношение

$$(D-1) (T_{Z1d} + T_{Z2d} + T_{Z3d}) + \sum_{j=1}^3 T_{Kj}^{(S1)} - T_{K3}^{(S3)} > 0. \quad (10)$$

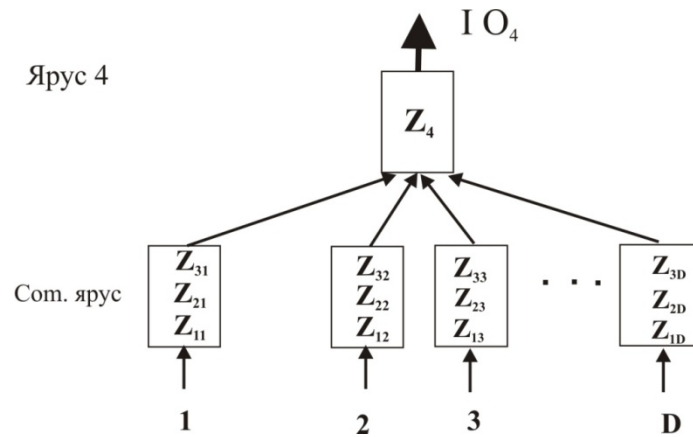


Рис. 3. Параллельная схема S3 с решением на общем ярусе D групп задач $Z_{jd} (j=1,2,3, d \in \{1,2,\dots,D\})$

Действительно, подставляя

$$\sum_{j=1}^3 T_{Kj}^{(S1)} = (2DN + DN_3) \frac{B}{Vg} \text{ и } T_{K3}^{(S3)} = C_3^{(S3)} N_3 \frac{B}{Vg} = DN_3 \frac{B}{Vg},$$

получим

$$(D-1) (T_{Z1d} + T_{Z2d} + T_{Z3d}) + 2DN > 0. \quad (11)$$

Чем больше число датчиков D , тем выше преимущество схемы S3 по сравнению со схемой S1.

В завершение подчеркнем, что представленные базовые схемы процессов решения задач СОИД могут быть модифицированы. Разновидности таких модификаций зависят от вариантов распараллеливания решений задач Z_{jd} на ярусах 1, 2, 3, что не повлияет на утверждение о целесообразности реализации в РИМКС версий схемы S2. При построении высокопроизводительных РИМКС мониторинга на основе интеллектуальных датчиков физических величин реализуется параллельная схема организации вычислений. Такое решение обеспечивает требуемые технико-экономические характеристики при снижении затрат на разработку.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Парк Дж., Маккей С. Сбор данных в системах контроля и управления. Практическое руководство. – М.: ООО «Группа ИДТ», 2006. – 504 с.

2. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. – М.: Горячая линия – Телеком, 2009. – 608 с.
3. Пьявченко О.Н. Модули интеллектуальных систем сбора и обработки информации датчиков // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 5 (106). – С. 141-150.

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

Пьявченко Олег Николаевич

Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: kafmps@tppark.ru.

347900, г. Таганрог, ул. Петровская, 81.

Тел.: 88634328052.

Кафедра микропроцессорных систем; заведующий кафедрой; д.т.н.; профессор.

Pyavchenko Oleg Nikolaevich

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: kafmps@tppark.ru.

81, Petrovskaya Street, Taganrog, 347900, Russia.

Phone: +78634328052.

The Department of Microprocessor Systems; Head the Department; Dr. of Eng. Sc., Professor.

УДК 681.51

А.А. Колесников, И.Е. Хариш

**СИНТЕЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ
РАСХОДОМ СМЕСИ ХИМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА**

Рассмотрена задача синтеза векторного управления расходом смеси в нелинейном химическом объекте, состоящим из трех конических резервуаров. Для синтеза управлений используется метод АКАР, приведена процедура синтеза. Желаемые свойства системы задаются путем выбора макропеременных метода АКАР. Приведены результаты моделирования замкнутой системы. Синтезированные методом АКАР управления в большей мере учитывают взаимное влияние каналов управления, чем управления, полученные на основе функций Ляпунова, что может оказаться важным, в частности, при действии неучтенных возмущений на объект.

Векторное управление; химический объект; синергетический подход.

A.A. Kolesnikov, I.E. Harish

**SYNTHESIS AND MODELING OF CHEMICAL OBJECT MIXTURE FLOW
VECTOR CONTROL SYSTEM**

We explore the problem of mixture flow vector control synthesis for nonlinear chemical object – three conical tanks. We use method of analytical design of aggregated regulators (ADAR) for control design. The design procedure is provided. The system desired properties are defined by selection of macro-variables under ADAR method procedure. Closed-loop system simulation is provided. Controls, obtained by ADAR method, account control loop mutual influence in a greater manner than ones obtained on the basis of Lyapunov function. This can be useful when object is influenced by unaccounted disturbances.

Vector control; chemical object; synergetics approach.