

Раздел IV. Информационные технологии, прикладные информационные системы

УДК 621.05.1

О.Н. Пьявченко

ПОТОКОВЫЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ МИКРОКОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ СБОРА И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ДАТЧИКОВ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Рассматриваются вопросы построения высокопроизводительных потоковых локальных информационных микрокомпьютерных систем, предназначенных для решения задач наблюдения (определения траектории состояния, контроля и мониторинга) в реальном времени сложных динамических объектов. В основу реализации сбора и обработки значений сигналов датчиков положены схемы потоковой обработки сигналов датчиков. Рассматриваются и оцениваются по затратам времени последовательная и параллельно-последовательные схемы с групповой обработкой сигналов датчиков и схема параллельно-последовательных схем с групповой обработкой при использовании в них на входах четвертого уровня многоканальных коммуникационных устройств сбора пакетов данных. Параллельная схема решения триад задач трех младших уровней обеспечивает максимальную производительность, однако сложность ее коммуникационного устройства сильнее зависит от роста количества датчиков и является препятствием для монопольного применения этой схемы.

Высокопроизводительные потоковые локальные информационные микрокомпьютерные системы; задачи наблюдения; последовательная схема решения задач; параллельно-последовательная схема решения задач.

O.N. Pyavchenko

STREAMING DISTRIBUTED INFORMATION MICROCOMPUTER SYSTEMS OF GATHERING AND PROCESSING INFORMATION OF SENSORS OF DYNAMIC OBJECTS

Questions of construction high-powered streaming local information microcomputer systems intended for the decision of problems of supervision (definition of a trajectory of a state, the control and monitoring) in real time of difficult dynamic objects are considered, schemes are put In a basis of realisation of gathering and processing of values of signals of gauges streaming processing of signals of gauges. Are considered and estimated on time expenses consecutive and parallel-serial schemes with batch-processing of signals of gauges and the scheme of the parallel decision of triads of problems of three younger circles. Perspectivity of parallel-serial schemes with batch-processing is shown at use in them on input terminals of the fourth level of multichannel communication arrangements of gathering of packages of data. The parallel scheme of the decision of triads of problems of three younger levels provides the maximum productivity, however complexity of its communication arrangement depends on growth of quantity of gauges more strongly and is an obstacle for exclusive application of this scheme.

High-powered a stream local information microcomputer systems; supervision problems; the series circuit of the decision of problems; the parallel-serial scheme of the decision of problems.

Для автоматизации высокодинамичных объектов/процессов требуются высокопроизводительные информационные распределенные системы. Одним из перспективных направлений построения высокопроизводительных средств автоматизации является создание распределенных информационных систем, в которых реализуется потоковая организация решения задач сбора и обработки информации датчиков (СОИД).

Принцип потоковой организации заключается в независимом формировании в начале шага дискретизации цифровых значений сигналов аналоговых датчиков, их сохранении и дальнейшей обработке как минимум ещё на двух ярусах в установленном порядке без участия программы диспетчера.

Наиболее полно принцип потоковой организации решения задач СОИД реализуется в архитектуре локальных информационных микрокомпьютерных систем (ЛИМКС), предназначенных для наблюдения (определения траектории состояния, контроля и мониторинга и др.) локальных динамических объектов/процессов, являющихся системными компонентами сложных динамических объектов/процессов.

Особенности ЛИМКС:

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

Высокая точность ЛИМКС определяется выбором прецизионных датчиков физических величин, способа сбора значений сигналов датчиков, методов первичной обработки и измерений, численных методов вычислений функций, разрядности используемых в вычислениях чисел, незначительным запаздыванием вычислений результатов по отношению к началу шага решения. В данной работе обсуждаются вопросы организации быстродействующих схем вычислений, способных обеспечить минимальную фазовую погрешность.

В названии «Системы сбора и обработки информации датчиков» сделан акцент на содержание реализуемых процессов. Процессы рассматриваются как некоторые последовательности действий, устанавливающие порядок решения задач сбора и обработки с принятой степенью детализации.

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

На рис. 1 обозначены: Z_{jd} – задачи, решаемые независимо друг от друга на каждом j ярусе ($j=1,2,3$) (количество задач соответствует числу датчиков D); IO_j – формируемый на j ярусе информационный объект; T_j – время решения задач на j ярусе.

На нижнем первом ярусе решаются задачи $Z_1=\{Z_{1d} (d = \overline{1, D})\}$ аналоговой обработки сигналов датчиков физических величин и аналого-цифровых преобразований (АЦП). К более высокому второму ярусу отнесены задачи $Z_2=\{Z_{2d} (d = \overline{1, D})\}$ первичной цифровой обработки (ПЦО) сформированных на первом ярусе числовых значений сигналов D датчиков. На третьем ярусе расположены задачи первого уровня вторичной цифровой обработки (1ВЦО) группы $Z_3=\{Z_{3d} (d = \overline{1, D})\}$, которую составляют задачи измерений значений сигналов в физических единицах, определений состояний физических величин и их оценок и т.д. На верхнем, четвертом ярусе решаются задачи второго уровня вторичной цифровой обработки (2ВЦО) – Z_4 . К ним относятся задачи:

- ◆ концентрации входных данных, в том числе сортировки и сохранения результатов первого уровня вторичной цифровой обработки и др.;
- ◆ вычисления траекторий изменения состояния, оценок текущего и прогнозируемого состояний локального объекта, сигналы переменных которого обрабатываются в ЛИМКС;
- ◆ формирования информационного объекта и послышки его на более высокий уровень информационной микрокомпьютерной системы.



Рис. 1. Ярусная форма представления процесса СОИД

Принятая за основу ярусная схема является упорядоченной декомпозицией решения задач по уровням очередности их реализации, от задач Z_1 на нижнем (младшем) уровне до задач Z_4 на верхнем (старшем) уровне. Выделенные задачи (рис. 1) Z_1 – Z_4 характеризуют различные целевые функции, математические методы, вычислительная сложность, возрастающая снизу вверх, завершенность, заключающаяся в полной реализации соответствующей целевой функции.

Проблемная ориентация (целевая функция) отражается в архитектуре системы СОИД и в содержании задач обработки. Существенное влияние на характеристики ЛИМКС оказывает организация сбора информации аналоговых датчиков [1]. На практике широко используется циклическая организация, в соответствии с которой в каждом цикле по показанию счетчика адреса (номера) датчика $CTd=d$ аналоговый коммутатор (мультиплексор) выбирает сигнал датчика d за время T_{AK} . После аналоговой обработки сигнал оцифровывается в течение T_{AC} и полученное данное сохраняется. Затем изменяется адрес датчика $CTd = CTd + 1$ и формируется значение сигнала следующего $(d + 1)$ датчика.

Начало опроса и преобразования первого датчика $d = 1$ привязываются к моменту времени t_i , идентифицирующему начало шага времени решения задач СОИД. Процедура сбора завершается после $d = D$ цикла.

В точке t_i определяется значение только первого аналогового сигнала. Значения остальных сигналов формируются со сдвигами по времени в точках

$$t_{id} = t_i + (T_{AC} + T_{AK}) (d - 1) \quad (d = \overline{1, D}). \quad (1)$$

Только значение сигнала первого датчика формируется без погрешностей сдвига по времени. Значения сигналов остальных датчиков содержат погрешности сбора. Чем позже опрашивается датчик, тем больше погрешность.

В результате в ЛИМКС вместо числовых данных $\bar{u}_d(t_i)$ ($d = \overline{1, D}$) используются в вычислениях числовые данные $\bar{u}_d(t_{id})$, сформированные в точках t_{id} (1). По сравнению с данными в точке t_i они содержат погрешности сбора

$$\Delta u_{di} = |\bar{u}_d(t_i) - \bar{u}_d(t_{id})| \quad (d = \overline{1, D}).$$

Когда функция $u_d(t)$ не имеет точек разрыва, для оценки относительных погрешностей можно воспользоваться формулой

$$\delta u_d = 0,01(d-1)[T_{AK} + T_{AЦ}] Ju'_{max} \% \quad (2)$$

Например, при сборе значений одинаковых сигналов $u = \sin \omega t$, у которых $f_{dmax} = 100$ Гц, и затратах времени на одно преобразование ($T_{AK} + T_{AЦ} = 1,1 T_{AЦ} = 5,5$ мкс, рассчитанные по формуле

$$\delta u_d = 200 \pi f_{dmax}(d-1) T_{AЦ} \% \quad (d = 2, 4, 8, 16)$$

относительные погрешности составят $\delta u_2 = 0,345$ %, $\delta u_4 = 1,035$ %, $\delta u_8 = 2,4$ %, $\delta u_{16} = 5,2$ %.

При заданной предельно допустимой погрешности сбора количество датчиков, которое включается в схему циклической оцифровки, зависит от максимальной частоты f_{dmax} . Например, когда организуется циклический сбор значений до $D=4$ аналоговых сигналов переменного тока, максимальная частота f_{dmax} которых не превышает 1 Гц и погрешность сбора составляет 0,01 %. Однако уже с увеличением частоты f_{dmax} до и более 5 Гц организация циклического сбора таких сигналов не приемлема. В таких случаях погрешность сбора 0,01 % обеспечивается при параллельной оцифровке сигналов датчиков.

Однако этот способ организации оцифровки сигналов является затратным, так как требует реализации D АЦП и секций памяти. Интерес представляет применение группового способа циклической оцифровки сигналов датчиков. Суть этого способа заключается в следующем. D датчиков объекта наблюдения разделяются на G групп по n датчиков в каждой, $n = D/G$. Каждая группа сигналов циклически обрабатывается собственным АЦП. В начале каждого шага решения параллельно в каждой группе формируются и сохраняются значения n сигналов, которые отправляются на обработку в порядке очередности.

Время обработки информации датчиков во многом определяется реализуемой в распределенной ЛИМКС схемой процесса организации обработки. Организация группового сбора и последовательной обработки сигналов $D \gg 1$ реализуется в последовательной распределенной ЛИМКС [1] (рис. 2).

Подача сигналов на АЦ-преобразователи начинается одновременно с первых сигналов групп в начале шага дискретизации t_i . Остальные сигналы подаются по показаниям счетчика датчиков группы. С выхода каждого G АЦ-преобразователя цифровое значения сигнала отправляется на сохранение в соответствующую G секцию буферной памяти. После записи в секции буферной памяти D значений сигналов датчиков они подвергаются первичной цифровой обработке. В начале обрабатываются числа, хранящиеся в первой секции буферной памяти, затем во второй, третьей и т.д.

Результаты решений задач второго яруса используются задачами третьего яруса, на котором определяются значения сигналов в единицах физических величин и их состояния. С третьего яруса сформированные значения сигналов переменных и их состояния передаются на четвертый ярус. На входе этого яруса они сохраняются до появления последнего D данного. Затем решаются задачи Z_4 . Следует заметить, что описанная организация процесса СОИД распараллеливания обработки используется на нижнем ярусе, в то время как на остальных сохраняется низкопроизводительная последовательная обработка.

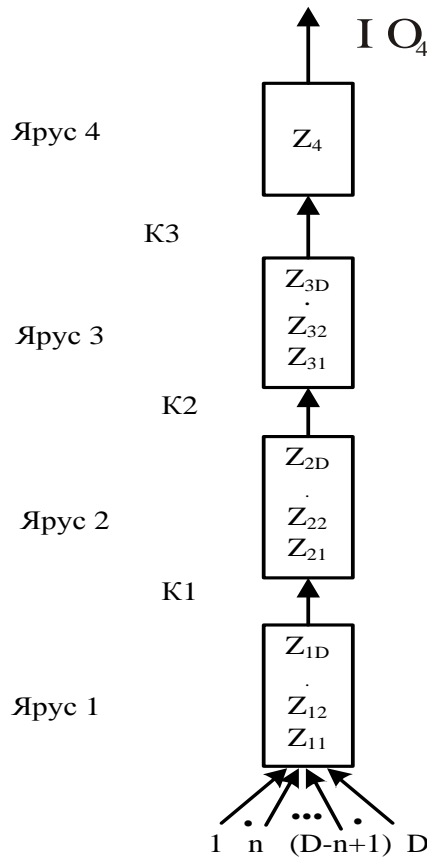


Рис. 2. Последовательная схема S1

В результате время вычислений по схеме S1 составляет

$$T_{S1} = \sum_{j=1}^3 \sum_{d=1}^D T_{Z_{jd}} + T_{Z_4} + \sum_{j=1}^3 T_{K_j}, \tag{3}$$

где T_{K_j} – время передачи информации с j -го на $(j+1)$ ярус. Основным недостатком последовательной схемы процесса СОИД является ее низкая производительность. Естественным шагом на пути повышения производительности процесса СОИД является организация распараллеливания групповой обработки сигналов датчиков не только на первом ярусе, но и на втором и третьем ярусах.

В параллельно-последовательной схеме S2 реализуются

$$G = \frac{D}{n} \tag{4}$$

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, 3 яруса $N_3 \geq 2n$.

Параллельно-последовательная схема со сбором и обработкой G групп датчиков приведена на рис.3.

Особенностью топологии схемы является наличие G каналов сбора и предварительной обработки групп сигналов датчиков и сетевого коммутатора $K(G)$, обеспечивающего сбор результатов решения задач третьего яруса на входе вычислительных средств, решающих задачи четвертого яруса Z_4 .

Время решения задач СОИД по параллельно-последовательной схеме приближенно оценивается выражением

$$T_{S2} = \sum_{j=1}^3 \sum_{d=1}^n T_{Zjd} + T_{Z4} + \sum_{j=1}^3 T_{Kj} + T_K(G), \quad (5)$$

где $T_K(G)$ – время формирования в коммутаторе $K(G)$ пакета данных для решения задач Z_4 .

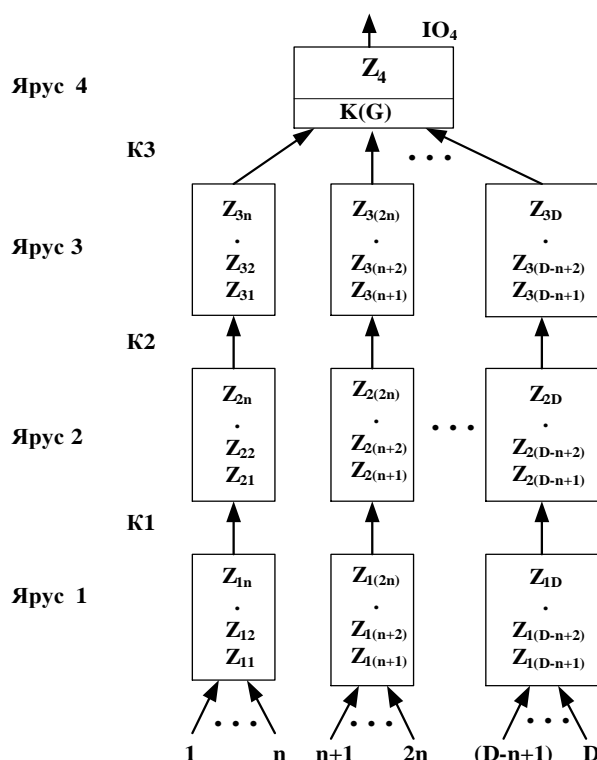


Рис. 3. Схема с групповым сбором и обработкой сигналов датчиков

Сравнивая (5) с (3), получим, что соотношение $T_{S2} < T_{S1}$ справедливо, если

$$\frac{T_K(G)}{\sum_{j=1}^3 \sum_{d=n+1}^D T_{Zjd}} < 1. \quad (6)$$

Неравенство (6) имеет место, когда в сетевом коммутаторе $K(G)$ для приема и сохранения информации с G каналов используется секционированная память и не нуждающаяся в значительных временных затратах простая схема компоновки интегрального сообщения. В то же время условие (6) может быть выполнено и тогда, когда за время $T_K(G) > 0$ из G пакетов формируются Q пакетов ($Q < G$) [3].

ЛИМКС, обладающие максимальной производительностью, строятся при реализации схемы вычислительного процесса $S3$ с параллельной обработкой сигналов на уровне триад $\langle Z_{1d}, Z_{2d}, Z_{3d} \rangle$ ($d = \overline{1, D}$) (рис. 4).

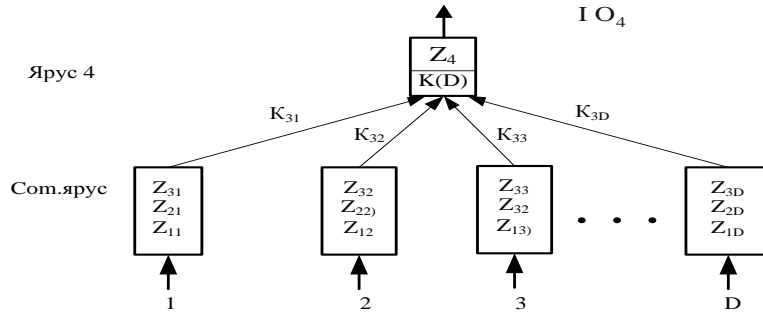


Рис. 4. Не сгруппированная параллельно-последовательная схема $S3$

В схеме сигнал каждого датчика преобразуется и обрабатывается в собственном канале. Результаты обработок посылаются через линию связи канала K_{3d} ($d \in \overline{1, D}$) на коммутатор $K(D)$, расположенный на входе четвертого яруса. После поступления всех данных решаются задачи Z_4 .

На решение задач СОИД в ЛИМКС, построенной по схеме $S3$, затрачивается время

$$T_{S3} = \sum_{j=1}^3 T_{Zj1} + T_{Z4} + T_{R3} + T_K(G), \tag{7}$$

где $\sum_{j=1}^3 T_{Zj1}$ – время решения задач триады $\langle Z_{11}, Z_{12}, Z_{13} \rangle$, принятое одинаковым

для всех D триад, T_{K3} – время пересылки результатов обработки сигнала при решении задач триады $\langle Z_{1d}, Z_{2d}, Z_{3d} \rangle$ ($d = \overline{1, D}$) с 3-го на 4-й ярус, $T_K(D)$ – время формирования в коммутаторе $K(D)$ пакета данных для решения задач Z_4 .

Определим условие, при котором

$$T_{S3} < T_{S2}.$$

После подстановки (5) и (7) в неравенство и не сложных преобразований получим, что схема $S3$ производительнее $S2$ (рис. 4), когда

$$\frac{T_K(D) - T_K(G)}{\sum_{j=1}^3 \sum_{d=1}^n T_{Zjd} - \sum_{j=1}^3 T_{Zj1} + \sum_{j=1}^2 T_{Kj}} < 1. \tag{8}$$

Условие (8) выполняется, если в коммутаторах $K(D)$, $K(G)$ интегральные сообщения компонуются по простым алгоритмам. Действительно, в таких случаях разность малых значений $T_K(D)$ и $T_K(G)$ составляет малую величину, которая делится на число больше единицы. Условие (8) также выполняется, когда в коммутаторах $K(D)$, $K(G)$ используются мало различимые сложные алгоритмы, величина разности $[T_K(D) - T_K(G)]$ которых находится в пределах допустимой погрешности.

В заключение заметим, 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 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.