

УДК 681.2.089

Модули интеллектуальных систем сбора и обработки информации датчиков

О.Н.Пьявченко

Технологический институт федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге
kafmps@tppark.ru

Abstract

Pyavchenko O.N. Units of intellectual systems of collection and handling Information of sensors. Directions of construction of architectures of high-powered intellectual microprocessor units of collection and information processing of sensors in monitoring and handle systems are considered.

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 [2]. Поэтому, определяя систему сбора информации датчиков, по мнению авторов [1,2], следует расширить это определение и включить в него аспекты наблюдения и управления. 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 физических величин. В зависимости от реализуемой целевой функции системы СОИД идентифицируются как системы сбора, системы контроля, системы мониторинга, системы управления и др.

Архитектуры систем СОИД характеризуют не только их целевые функции, но и функциональные возможности, обеспечивающие реализацию целевых функций, степень параллелизма решения задач, объектная и функциональная декомпозиция, однородная либо разнородная модульная структура, организация в темпе реального времени сбора, обработки данных и сетевого обмена информацией с абонентами и др.

С учетом основного назначения систем СОИД в них в темпе реального времени могут решаться следующие группы задач:

1) сбора значений сигналов датчиков физических величин (задач сбора 1). Результатом ре-

шения таких задач является формирование информационного объекта

$$IO_1 = [\bar{u}_{1i}, \bar{u}_{2i}, \dots, \bar{u}_{Di}], \quad (1)$$

состоящего из необработанных цифровых значений аналоговых сигналов \bar{u}_{di} ($d = \overline{1, D}$), считанных с датчиков во время t_i ;

2) сбора достоверных значений сигналов датчиков физических величин (задач сбора), результаты решения которых представляются в виде информационного объекта

$$IO_2 = [\bar{U}_{1i}, \bar{U}_{2i}, \dots, \bar{U}_{Di}]. \quad (2)$$

В отличие от IO_1 (1) информационный объект включает достоверные уточненные цифровые значения сигналов \bar{U}_{di} ($d = \overline{1, D}$), полученные в процессе первичной обработки чисел \bar{u}_{di} ($d = \overline{1, D}$);

3) сбора и измерений (преобразования в единицы физических величин значений) сигналов датчиков \bar{U}_{di} ($d = \overline{1, D}$), которые компонуются в информационный объект

$$IO_3 = [\bar{X}_{di}, \bar{X}_{d(i+k)}, d = \overline{1, D}]. \quad (3)$$

В IO_3 наряду с текущими значениями измеренных в физических единицах переменных \bar{X}_{di} ($d = \overline{1, D}$) входят экстраполированные на k ($k \geq 1$) шагов величины $\bar{X}_{d(i+k)}^*$ ($d = \overline{1, D}$), которые используются в процессе дальнейшей обработки. Если необходимость в таких данных отсутствует, то вычисление их не производится;

4) мониторинга состояний физических переменных, в том числе сбора, измерений, определения состояний s_{di} , $s_{d(i+k)}$ и оценок e_{di} , $e_{d(i+1)}$ состояний физических переменных, результаты которых сводятся в информационный объект

$$IO_4 = [\bar{X}_{di}, s_{di}, e_{di}, \bar{X}_{d(i+k)}^*, s_{d(i+k)}^*, e_{d(i+k)}^*]; \quad (4)$$

$(d = \overline{1, D})]$

5) мониторинга состояний физических переменных, формирования рекомендаций r_{di} , $r_{d(i+1)}$ 0

воздействиях на эти состояния и/или команд r_{di} , $r_{d(i+k)}$ воздействий (задачи мониторинга состояний физических переменных и управления этими состояниями)

$$IO_5 = [s_{di}, e_{di}, r_{di} / P_{di}; s_{d(i+k)}, e_{d(i+k)}^*, r_{d(i+k)}^* / P_{d(i+k)}^* \quad (d = \overline{1, D})]; \quad (5)$$

б) мониторинга и управления состояниями физических переменных, вычислений состояний S_{oi} , $S_{o(i+k)}$ и оценок E_{oi} , $E_{o(i+k)}$ интегральной траектории $S_{o(i+k)}$, $Y(t)$ изменения состояния технического объекта (задачи мониторинга технического объекта)

$$IO_6 = [\bar{Y}_i, S_{oi}, E_{oi}, \bar{Y}_{i+k}^*, S_{o(i+k)}, E_{o(i+k)}^*]; \quad (6)$$

7) мониторинга объекта и формирования по результатам мониторинга рекомендаций R_{oi} , $R_{o(i+k)}$ о воздействиях на состояния и/или команд управления p_{oi} , $p_{o(i+k)}^*$ (задачи управления состояниями технического объекта)

$$IO_7 = [S_{oi}, E_{oi}, R_{oi} / P_{oi}; S_{o(i+k)}^*, R_{o(i+k)}^* / P_{o(i+k)}^*]; \quad (7)$$

Начиная со второй, каждая группа задач включает в свой состав задачи предыдущей группы и задачи более высокого уровня обработки и анализа, характерные для данной группы. Такое объединение (группирование) задач во многом соответствует состоянию функционального развития систем сбора и обработки сигналов датчиков и позволяет прогнозировать этапы их дальнейшего совершенствования.

В зависимости от количества датчиков и их удаленности, сложности обработки данных и вычислительной мощности используемых микрокомпьютерных средств и т.д. На базе модулей строятся как сосредоточенные, так и распределенные в пространстве системы СОИД.

В модулях систем СОИД решаются не только задачи групп 1-3, но и упрощенные версии задач групп 4-7.

Наличие таких модулей на рынке аппаратных средств автоматики [2] является аргументом не только в пользу развития математического и программного обеспечения, но и поиска более совершенных архитектурных решений, пригодных для построения интеллектуальных микропроцессорных модулей сбора и обработки информации датчиков (ИММ СОИД).

В настоящее время в модулях СОИД реализуются схемы последовательного сбора и обработки информации датчиков, для которых требуется сравнительно невысокий уровень аппаратной поддержки [3]. Однако, благодаря развитию микроконтроллерных систем-на-кристалле большой вычислительной мощности [4] и распространению технологий построения устройств на микросхемах с программируемой структурой [5], сегодня возможно создание высокопроизводительных экономичных

малогабаритных ИММ СОИД, в которых на мультипроцессорных ядрах реализуются параллельные схемы вычислений [6].

По сравнению с одноядерными многоядерные ИММ СОИД будут отличать более высокие вычислительная мощность, развитые функциональные возможности и существенно меньшая задержка по времени формирования результатов.

Для обсуждения особенностей архитектурных решений, которые могут быть использованы в ИММ СОИД приведем детализированный список задач группы 7, отражающий списки задач всех предыдущих групп.

Количество датчиков – D ($D > 1$). Сигналы датчиков – аналоговые электрические.

В списке выделим задачи:

1) аналоговой обработки (АО) сигналов датчиков u_d (фильтрация, масштабирование, усиление, линеаризация и др.);

2) аналого-цифрового преобразования сигналов \tilde{u}_d в числовые значения \bar{u}_{di} ($d = \overline{1, D}$);

3) первичной цифровой обработки (ПЦО), к которой относятся обнаружение и подавление импульсных помех, сглаживание флуктуаций и др.;

4) первого уровня вторичной цифровой обработки (1ВЦО), включающей:

а) измерения (прецизионные преобразования) текущих значений сигналов датчиков в единицах физических величин

$$\bar{X}_{di} = f_d(\bar{u}_{di})$$

и вычисления их прогнозируемых значений

$$\bar{X}_{d(i+k)}^* = C_{rk} [\bar{X}_{d(i-\alpha)}, (\alpha = 0, 1, \dots, r)];$$

б) определение текущих S_{di} и прогнозируемых на k шагов $S_{d(i+k)}^*$ состояний переменных $X_d(t)$ ($d = \overline{1, D}$):

$$\left. \begin{aligned} s_{di} &= w_{Xd}(\bar{X}_{di}, \gamma_{di}); \\ s_{d(i+k)}^* &= w_{Xd}(\bar{X}_{d(i+k)}, \gamma_{d(i+k)}^*) \end{aligned} \right\}$$

где $\gamma_{di}, \gamma_{d(i+k)}^*$ – граничные условия существования состояний $s_{di}, s_{d(i+k)}^*$ в моменты времени $t_i, t_{(i+k)}$;

в) оценки текущих и прогнозируемых на k шагов состояний $s_{Xdi}, s_{d(i+k)}^*$ ($d = \overline{1, D}$)

$$\left. \begin{aligned} e_{di} &= \Phi_{Xd}(s_{di}, I_{edi}); \\ e_{d(i+k)}^* &= \Phi_{Xd}(s_{d(i+k)}^*, I_{ed(i+k)}^*) \end{aligned} \right\}$$

где $I_{edi}, I_{ed(i+k)}^*$ – правила оценок, действующие в моменты времени $t_i, t_{(i+k)}$;

г) формирование рекомендаций по изменениям с текущего и прогнозируемого состояний $s_{di}, s_{d(i+k)}^*$

$$\left. \begin{aligned} r_{di} &= \varphi_{Xd}(s_{di}, I_{Rdi}); \\ r_{d(i+k)}^* &= \varphi_{X(i+k)}(s_{d(i+k)}^*, I_{rd(i+k)}^*), \end{aligned} \right\}$$

в соответствии с принятыми правилами $I_{Rdi}, I_{Rd(i+k)}^*$;

д) формирование команд управления на основе рекомендаций $r_{di}, r_{d(i+k)}$

$$\left. \begin{aligned} p_{di} &= \vartheta_{Xd}(r_{di}, s_{di}, I_{pdi}); \\ p_{d(i+k)} &= \vartheta_{Xd(i+k)}(r_{d(i+k)}, s_{di}, I_{pd(i+k)}), \end{aligned} \right\}$$

где $I_{pdi}, I_{pd(i+k)}$ – правила принятия решений и выбора команд управления (воздействия на состояния физических переменных);

5) второго уровня вторичной цифровой обработки (2ВЦО), в том числе:

а) расчет текущего \bar{Y}_i и экстраполированного \bar{Y}_{i+k}^* значений траектории изменения состояния объекта

$$\left. \begin{aligned} \bar{Y}_i &= F_Y(t, \bar{X}_{1i}, \bar{X}_{2i}, \dots, \bar{X}_{Di}); \\ \bar{Y}_{i+k}^* &= C_{rk}(\bar{Y}_i, \bar{Y}_{i-1}, \dots, \bar{Y}_{i-r_Y}). \end{aligned} \right\}$$

б) определение текущего и прогнозируемого состояний объекта по значениям траектории $Y(t)$

$$\left. \begin{aligned} S_{Oi} &= W_Y[\bar{Y}_i; \Gamma_{Oi}]; \\ S_{O(i+k)}^* &= W_Y[\bar{Y}_{i+k}^*; \Gamma_{O(i+k)}], \end{aligned} \right\}$$

или по состояниям переменных $X_d(t)$

$$\left. \begin{aligned} S_{Oi} &= z_{SX}[S_{di}; \Gamma_{Oi}]; \\ S_{O(i+k)}^* &= z_{SX}[S_{d(i+k)}; \Gamma_{O(i+k)}], \end{aligned} \right\}$$

где $\Gamma_{O_i}, \Gamma_{O(i+k)}$ – границы областей состояний;

в) оценки текущего S_{O_i} и прогнозируемого $S_{O(i+k)}^*$ состояний объекта по правилам $I_{OE}, I_{OE(i+k)}^*$

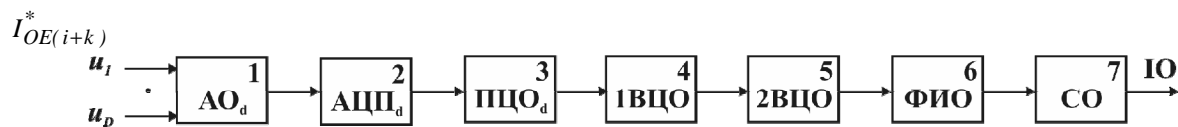


Рисунок 1 – Последовательная схема решения задач

В соответствии с этой схемой сигналы датчиков на аналоговую и цифровую обработку подаются в установленной последовательности, например, по порядку нумерации датчиков. Выделяются сигналы u_d ($d = \overline{1, D}$) перед аналоговой обработкой AO_d . Выделенный и обработанный аналоговый сигнал \tilde{u}_d ($d \in \{D\}$) подается на аналого-цифровое преобразование $АЦЦ_d$, после завершения которого подвергается первичной цифровой обработке $ПЦО_d$ (задачи 1–3). Достоверное, сглаженное значение \bar{u}_d ($d \in \{D\}$) используется при решении задач первого уровня вторичной цифровой обработки 1ВЦО (задачи 4), результаты которых являются исходными данными для решения задач второго

$$\left. \begin{aligned} E_{O_i} &= \Psi_{O_i}[S_{O_i}; I_{OE_i}]; \\ E_{O(i+k)} &= \Psi_{O(i+k)}[S_{O(i+k)}^*; I_{OE(i+k)}]; \end{aligned} \right\}$$

г) выбор рекомендаций по изменению текущего S_{O_i} и прогнозируемого $S_{O(i+k)}^*$ состояний объекта по правилам $I_{RO_i}, I_{RO(i+k)}^*$

$$\left. \begin{aligned} R_{O_i} &= \Phi_{O_i}[S_{O_i}; E_{O_i}; I_{RO_i}]; \\ R_{O(i+k)} &= \Phi_{O(i+k)}[S_{O(i+k)}^*; E_{O(i+k)}; I_{RO(i+k)}]; \end{aligned} \right\};$$

д) формирование команд управления на основе рекомендаций $R_{O_i}, R_{O(i+k)}$

$$\left. \begin{aligned} P_{O_i} &= \Theta_{O_i}(R_{O_i}; S_{O_i}; I_{PO_i}); \\ P_{O(i+k)} &= \Theta_{O(i+k)}(R_{O(i+k)}; S_{O(i+k)}; I_{PO(i+k)}), \end{aligned} \right\}$$

где $I_{PO_i}, I_{PO(i+k)}$ – правила принятия решений и выбора управляющих воздействий;

б) формирования информационного объекта (ФИО) (7);

7) поддержки процедур сетевого обмена (СО) при формировании и передаче информационного объекта $IO_i, IO_{(i+k)}$ в сетевой канал.

Следует заметить, что из приведенного перечня в настоящее время в модулях сбора и обработки сигналов датчиков решаются задачи 1-3, 4 (а, б, в), 7 [7]. Что же касается остальных, то интеллектуальные методы и алгоритмы их решения в таких модулях находятся в стадии разработок и исследований.

Рассмотрим схемы процессов решения задач 1-7 и блочные структуры модулей, в которых они реализуются.

При наличии микропроцессоров, имеющих необходимую вычислительную мощность, предпочтение традиционно может быть отдано последовательной схеме организации решения задач 1-7 (рисунок 1).

уровня вторичной цифровой обработки 2ВЦО (задачи 5). Поскольку для решения задач 5 должны быть вычислены результаты обработки всех D датчиков, то задачи второго уровня цифровой обработки решаются после получения результатов обработки сигнала последнего датчика D .

Результаты решения задач 2ВЦО представляются в виде информационного объекта IO_i , который используется в процедурах сетевого обмена.

В целом время сбора и обработки сигналов D датчиков составит

$$t_{p1} = (t_{AO} + t_{AK} + t_{ACC} + t_{PCO} + t_{VCO})D + t_{ZVCO} + t_{FIO} + t_{CO}. \quad (8)$$

Последовательная схема решения задач (рисунок 1) реализуется в одноядерном ИММ СОИД,

построенном на основе блока аналоговой обработки (БАО), блока аналого-цифрового преобразователя (БАЦП), блока центрального микропроцессора (БЦМП) и блока сетевого обмена (БСО) (рисунок 2).

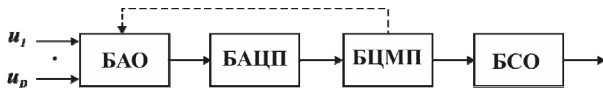


Рисунок 2– Блочная структура одноядерного ИММ СОИД

Для решения всех семи групп задач могут быть использованы ИММ с одноядерной структурой, функциональные возможности которых обеспечиваются применением в них соответствующих микропроцессоров. Естественно, что при решении более сложного набора задач используется более мощный микропроцессор. Заметим, что сегодня фирмы-производители предлагают широкий набор микропроцессорных схем. Однако и в настоящее время выбор одноядерной архитектуры может быть неприемлемым для создания модуля с необходимыми сложными функциональными возможностями и количеством D обрабатываемых сигналов датчиков.

Для решения задач 1-7 вычислительные ядра модулей реализуются на высокопроизводительных микроконтроллерах, способных обеспечить время решения

$$t_p \leq T, \quad (9)$$

где T – шаг дискретизации на интервале решения [8]

$$\frac{1}{4f_{max}} \geq T \geq \frac{1}{10f_{max}}. \quad (10)$$

В этом выражении f_{max} – максимальная частота аналоговых сигналов датчиков $U_d(t)$ ($d = \overline{1, D}$). Когда сигналы меняются медленно (например, f_{max} менее Гц) соотношение (10) может быть выполнено в рамках архитектуры одноядерного модуля с последовательной схемой вычислений [9]. Но, если f_{max} составляет 10 и более Гц, выбор одноядерной архитектуры может привести к созданию модуля с неудовлетворительными технико-экономическими характеристиками.

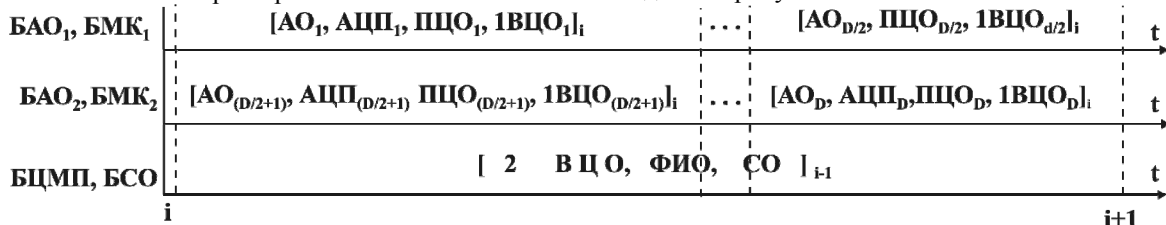


Рисунок 4 – Временная диаграмма обработки в ИММ СОИД 2-х групп сигналов

В результате конвейерной обработки может быть вдвое увеличена частота выдачи результатов и созданы условия для применения менее энергоем-

ких и дорогих микросхем при безусловном выполнении условия (9)

В то же время можно найти альтернативные архитектурные решения, разделив сигналы на G групп ($G \geq 2$) и распараллелив процессы обработки групп сигналов.

В таких ИММ СОИД время решения задач 1-7 сокращается до

$$t_{pG} = (t_{АО} + t_{АЦП} + t_{ПЦО} + t_{1ВЦО}) \frac{D}{G} + t_{сдG} + t_{2ВЦО} +$$

$$+ t_{ФИО} + t_{СО}, \quad (11)$$

где $t_{сдG}$ – время сбора данных.

Пример блочной структуры ИММ СОИД с последовательно-параллельной обработкой разделенных на две группы сигналов приведен на рисунке 3.

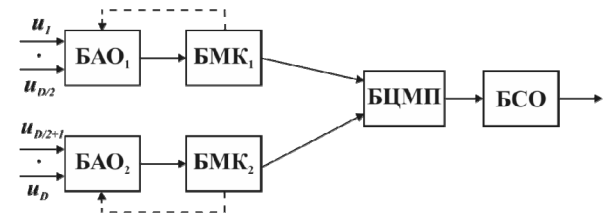


Рисунок 3 – Блочная структура ИММ СОИД с обработкой двух групп сигналов

В ИММ СОИД с обработкой D сигналов, разделенных на G групп, для решения задач 1-4 используются G БМК. Задачи 5-7 решаются в БЦМП с интерфейсным БСО. В общем случае решение задач 5 осуществляется после формирования результатов обработки G групп сигналов, поэтому время решения (11) минимизируется, когда сокращаются затраты времени на вычисления в БМК $_j$ ($j \in \{G\}$) и БЦМП, а также на концентрацию исходных данных в БЦМП – $t_{сдG}$.

Для повышения частоты выдачи результатов в ИММ СОИД организуется конвейерная обработка, в соответствии с которой на i -м шаге решение задач $ОА_j, АЦП_j, ПЦО_j, 1ВЦО_j$ ($j = \overline{1, D}$) совмещается со вторичной обработкой в БЦМП данных, полученных в БМК $_j$ на предыдущем ($i-1$) шаге.

Временная диаграмма конвейерных вычислений в ИММ СОИД, в котором одновременно обрабатываются две группы сигналов ($G=2$), приведена на рисунке 4.

ких и дорогих микросхем при безусловном выполнении условия (9)

$$t_{pG} \leq T.$$

Максимальная производительность достигается в ИММ, в которых реализуются параллельно

процессы аналоговой и частично цифровой обработки D сигналов (рисунок 5).

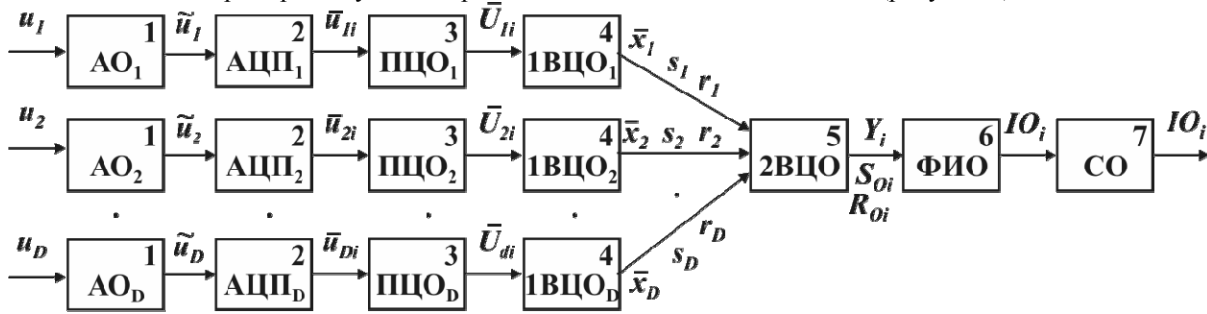


Рисунок 5 – Схема параллельно-последовательной обработки D сигналов

Для параллельной обработки D сигналов в ИММ СОИД (рисунок 6) имеется D каналов. Каждый канал состоит из блоков БАО $_j$ и БМК $_j$ ($j \in \{G\}$), которые выполняют аналоговую обработку, аналого-цифровое преобразование, первичную цифровую обработку и первый уровень вторичной обработки.

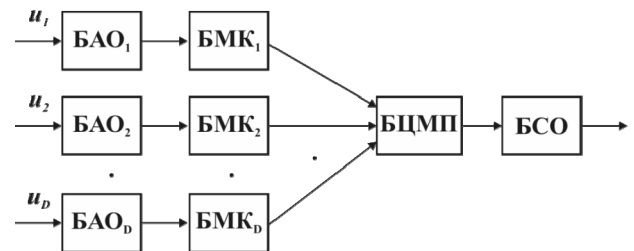


Рисунок 6 – Многоядерная параллельно-последовательная структура ИММ СОИД

В БЦМП, кроме решения задач второго уровня вторичной обработки, формирования информационного объекта и отправки его в сетевой канал производится сбор данных, поступающих с БМК $_j$ ($j=D$). На процедуру сбора данных затрачивается время $t_{сдз}$, которое зависит от сложности информационного объекта IO_5 (5) и времени приема и концентрации данных в памяти БЦМП.

В многоядерном ИММ СОИД также, как при обработке информации разделенных на группы датчиков, целесообразно реализовать конвейерную обработку (рисунок 7).

Блочная структура многоядерного ИММ СОИД с параллельно-последовательной обработкой D сигналов приведена на рисунке 6.

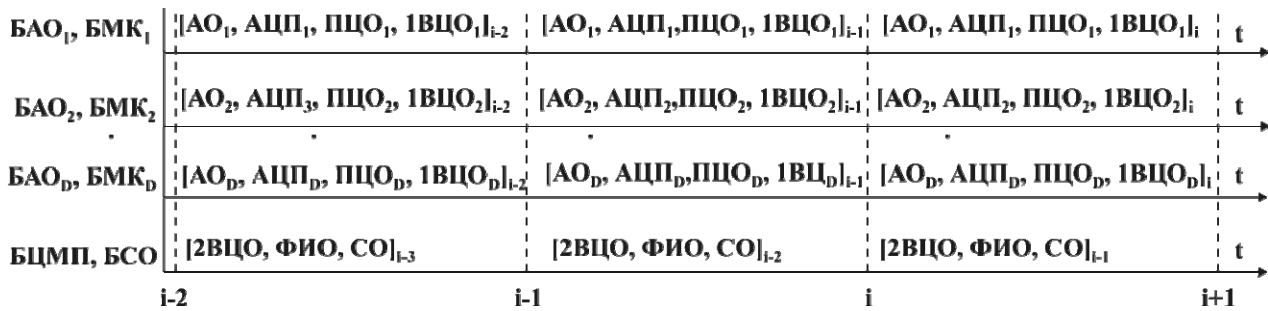


Рисунок 7 – Временная диаграмма работы многоядерного параллельно-последовательного ИММ СОИД

При решении задач 1-7 параллельно-последовательные вычисления (рисунок 5) выполняются за время

$$t_{pz} = t_{АО} + t_{АЦП} + t_{ПЦО} + t_{1ВЦО} + t_{сдз} + t_{2ВЦО} + t_{ФИО} + t_{СО}. \quad (12)$$

Но благодаря конвейеру обеспечивается более высокая частота дискретизации сигналов датчиков и выдачи результатов обработки.

В заключение, заметим, что по сравнению с одноядерными ИММ производительность многоядерных ИММ выше в

$$K = \frac{\alpha D + 1}{\alpha + 1} \quad (13)$$

раз, где α – отношение затрат времени на однократное решение задач 1-4 в БМК и вычисления в БЦМП, т.е.

$$\alpha = \frac{t_{БМК}}{t_{БЦМП}}.$$

В зависимости от вычислительной сложности решаемых задач и быстродействий микропроцессоров коэффициент $\alpha \geq 1$.

При сбалансированном времени работы звеньев $\{BAO_d, BMK_d\}$ ($d = \overline{1, D}$) и звена $\{БЦМП, БСО\}$ ($\alpha=1$) и производительность многоядерного параллельно-последовательного ИММ СОИД в $K=0,5(D+1)$ раз выше производительности одноядерного ИММ. Например, когда $D = 4, 8, 16$, то соответственно $K = 2,5; 4,5; 8,5$.

Таким образом, наряду с разработкой модификаций одноядерных ИММ СОИД [10] следует обращать внимание на возможность создания более

производительных многовходовых многоядерных ИММ с параллельно-последовательной обработкой как разделенных на группы, так и не сгруппированных сигналов. При этом также, как в одноядерных ИММ должны использоваться схемотехнические и системотехнические решения, обеспечивающие сокращение времени посылки информации в сетевой канал t_{CO} .

Литература

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. Концептуальное представление о прецизионных микропроцессорных модулях ввода, измерений и обработки аналоговых сигналов. Известия ТРТУ: Изд-во ТРТУ, №3, 2007. С.126-132.
4. Голдштейн М. 16-битные микроконтроллеры: состояние, перспективы и применение.// "Электронные компоненты", № 11, 2006. – С.89-95.
5. Грушвицкий Р.И., Мурсаев А.Ч., Угрюмов Е.П. Проектирование систем на микросхемах с программируемой структурой. – 2-е изд. перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 736 с.
6. Пьявченко О.Н. Интеллектуальные микропроцессорные модули мониторинга. Труды Конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям «AIS-IT`09». Научное издание в 4-х томах. – М.:Физматлит, 2009, Т.2. С.139-147.
7. Пьявченко О.Н. Задачи первичной и вторичной обработки сигналов в локальных микрокомпьютерных системах. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2008. – 85с.
8. Годбоул К. Переход от аналогового управления электроприводом к цифровому.// "Электронные компоненты", № 11, 2006. – С.25-33.
9. Пьявченко О.Н., Клевцов С.И., Мокров Е.А., Панич А.Е., Пьявченко А.О., Удод Е.В., Федоров А.Г. Прецизионные интеллектуальные тензометрические датчики давления. Методы, модели, алгоритмы и архитектуры. / Под ред. д.т.н. профессора О.Н.Пьявченко. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2009. – 154 с.
10. Пьявченко О.Н. Проектирование локальных микрокомпьютерных систем. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005. – 238 с.

Поступила в редакцию 12.03.2010