

Архитектура кластера распределенной системы сбора и обработки сигналов датчиков физических величин

О.Н. Пьявченко

Технологический институт Южного федерального университета,

kafmps@ttpark.ru

Аннотация — Рассматриваются особенности архитектуры и функционирования многомодульного информационного кластера. Кластер ориентируется на сбор и интеллектуальную обработку сигналов датчиков физических переменных. Определяются принципы построения и характеристики. Приводится структура высокопроизводительного кластера, в котором реализуется параллельно-последовательная схема вычислений.

Ключевые слова — Архитектура, кластер, сбор, обработка, сигнал, датчик.

Системы сбора и обработки сигналов датчиков (СОСД) физических величин являются неотъемлемой частью автоматизированных систем мониторинга и управления сложных технических динамических объектов (ТДО) [1]. Одним из существенных результатов эволюционного развития систем СОСД является появление распределенных кластерных технических информационных микрокомпьютерных систем, архитектура которых позволяет наиболее полно учесть функциональные, структурные и конструктивные особенности ТДО. Характерным признаком кластерной системы СОСД является наличие в ней объединенных промышленной цифровой сетью кластеров, каждый из которых решает задачи сбора и интеллектуальной обработки сигналов группы расположенных на объекте датчиков.

В обобщенном представлении кластер – это взаимосвязанная совокупность программно-аппаратных микрокомпьютерных средств, предназначенная для реализации в темпе реального времени сбора и интеллектуальной обработки сигналов группы датчиков физических переменных, измерений и оценок состояний этих переменных (а также характеризуемого этими переменными объекта) и формирования рекомендаций о воздействиях на эти состояния.

Цель данной работы – определение архитектурных особенностей полимодульного информационного кластера (ПИК), предназначенного для работы в жестком темпе реального времени.

Перспективный ПИК строится на основе функциональных микрокомпьютерных модулей, среди которых базовый набор составляют многофункциональные интеллектуальные микроконтроллерные модули (МИММ) [2,3]. Модули объединяются в распределен-

ную минисистему цифровой кластерной сетью и системным программным обеспечением.

ПИК предназначается для решения совокупностей следующих задач [3]:

1) аналоговой обработки (АО) сигналов датчиков u_d ($d = 1, D$) (фильтрации помех, масштабирования амплитуды сигнала);

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

3) первичной цифровой обработки (ПЦО), к которой относятся обнаружение и подавление импульсных помех, сглаживание флуктуаций и др. Результат первичной обработки сигналов датчиков формируется в виде информационного объекта

$$IO_1 = [\bar{u}_{1i}, \bar{u}_{2i}, \bar{u}_{3i}, \dots, \bar{u}_{Di}],$$

который представляет собой массив значений сигналов датчиков в момент времени t_i . Включенные в объект данные используются не только во вторичной обработке, но и находят применение при отладке и испытаниях изделий. В этих случаях они пересылаются через сетевой канал в информационную систему более высокого уровня;

4) первого уровня вторичной цифровой обработки (1ВЦО), включающей измерения (прецизионные преобразования) значений сигналов в единицах физических величин \bar{x}_{di} , оценки текущих s_{xdi} и прогнозируемых s_{xdi}^* состояний, измеряемых физических переменных, выработка рекомендаций r_{xdi} , $r_{xdi(i+k)}$ о воздействиях на эти состояния. В результате решения задач первого уровня вторичной обработки формируется информационный объект

$$IO_{21} = [\bar{x}_{di}, s_{xdi}, \bar{x}_{d(i+k)}^*, s_{xdi(i+k)}^*, r_{xdi}, r_{xdi(i+k)}], \quad (d \geq 1),$$

описывающий текущие и прогнозируемые значения и состояния наблюдаемых переменных, рекомендации о воздействиях на эти состояния;

5) второго уровня вторичной цифровой обработки (2ВЦО), включающего расчеты значений интегральной траектории Y изменения состояния динамического объекта, оценки текущего S_{yi} и прогнозируемого $S_{y(i+k)}^*$ состояний, формирование по результатам оценок рекомендаций R_{yi} , $R_{y(i+k)}$ о корректировке состояний;

б) формирования информационного объекта (ФИО) на i -й момент времени

$$IO_{22} = [\bar{Y}_i, S_{Y_i}, \bar{Y}_{(i+k)}^*, S_{Y_{(i+k)}}^*, R_{y_i}, R_{y_{(i+k)}}] ;$$

7) поддержки процедур внутрикластерного (ВКСО) и внешнего сетевого обмена (СО), послыки информационного объекта в сетевой канал.

Архитектуру ПИК можно описать на некотором общем уровне, включающем определение целевой функции, перечень функциональных возможностей, которыми должен обладать ПИК для выполнения целевой функции, реализуемые принципы действия, особые характеристики программных и аппаратных средств, структуру аппаратных средств, реализующих целевую функцию в реальном времени.

Целевой функцией ПИК является формирование в темпе реального времени информационного объекта и предоставление его в информационную систему более высокого уровня в режиме On-Line/Off-Line.

Реализация целевой функции обеспечивается в результате:

- сбора оцифрованных значений сигналов датчиков физической величины;
- устранения недостоверных данных и снижения помех в цифровых сигналах до приемлемого уровня;
- измерения сигналов в единицах физических величин;
- оценок состояний измеряемых физических величин и описываемых ими объектов;
- работы вне и/или в составе полевой сети.

Принципы построения ПИК:

- специализация аппаратно-программных средств на выполнение основных функций, обеспечивающих реализацию целевой функции в темпе реального времени;
- интеграция аналоговых, цифровых и гибридных устройств с микроконтроллерным обрабатывающим ядром;
- использование схмотехнических и алгоритмических решений, обеспечивающих формирование ре-

зультатов с погрешностями, близкими к трансформированным погрешностям датчиков;

- развитая аппаратная реализация процедур поддержки взаимодействия с объектом (АЦП, ЦАП, счетчики реального и относительного времени, устройства прерывания и т.д.);
- конвейеризация и распараллеливание вычислительных процессов;
- построение на платформе «система-на-кристалле» на основе современных микроконтроллерных элементов.

Характеристики ПИК:

- сопряжение на физическом и информационном уровне с датчиками;
- повышенный уровень защиты от помех во входных трактах;
- прецизионные измерения и интеллектуальные оценки физических переменных [3,5];
- работа в темпе реального времени с шагом дискретизации T , удовлетворяющем требованиям нелинейных систем управления [6];
- взаимодействие с сетевым каналом по установленным в сети регламентам;
- допустимая динамическая погрешность.

Структура аппаратуры ПИК представляется в виде совокупности объединенных информационными и управляющими сетевыми связями специализированных интеллектуальных микроконтроллерных модулей, обеспечивающих решение задач сбора аналоговых сигналов, обработки и сетевого обмена в информационной среде, для работы в которой предназначено изделие.

В зависимости от реализуемой схемы вычислений ПИК могут иметь различные структуры.

Максимальная производительность достигается кластерами, в которых реализуются параллельно процессы аналоговой и частично цифровой обработки каждого из сигналов (рис. 1).

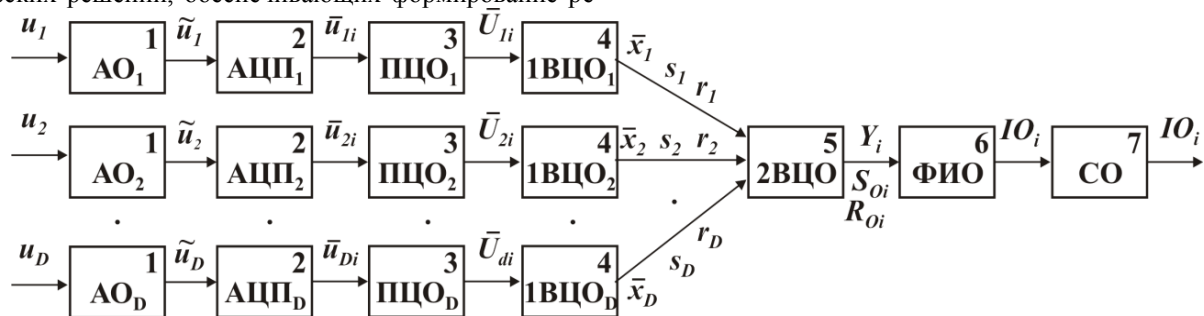


Рис.1. Схема параллельно-последовательной обработки D сигналов

Параллельно-последовательные вычисления выполняются за время

$$T_{p1} = t_{AO} + t_{АЦП} + t_{ПЦО} + t_{1ВЦО} + t_{ВКСО} + t_{2ВЦО} + t_{ФИО} + t_{СО} ,$$

которое меньше времени последовательных вычислений в централизованной информационной системе.

Параллельно-последовательные вычисления реализуются в ПИК, структура которого приведена на рис. 2.

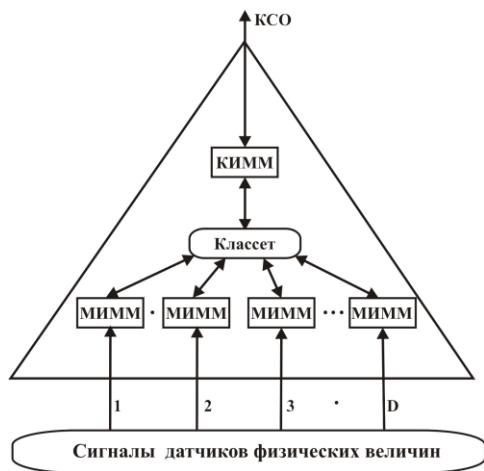


Рис. 2. Структура полимодульного информационного кластера

На рисунке изображены:

МИММ – многофункциональный интеллектуальный микроконтроллерный модуль;

Классет – кластерная сеть, поддерживающая внутренний сетевой обмен (ВКСО);

КИММ – кластерный интеллектуальный микроконтроллерный модуль;

КСО – канал сетевого обмена в распределенной системе СОСД.

МИММ является функционально и конструктивно завершенной микроконтроллерной системой, аппаратные и программные средства которой обеспечивают сбор информации датчиков физических величин, ее хранение, развитую вычислительную и логическую обработку, выдачу результатов в сетевые каналы. МИММ принимают сигналы D датчиков физических величин и осуществляют их аналоговую обработку, оцифровку, первичную цифровую обработку и первый уровень вторичной цифровой обработки (задачи 1-4).

КИММ выполняет:

- асинхронный контролируемый прием данных по D ($D > 1$) каналам;
- выделение данных, на которые "есть подписка";
- отслеживание поступления всех "подписанных" данных;
- решение задач второго уровня вторичной цифровой обработки (если это предусмотрено);
- компоновку данных в сообщение для передачи на верхний уровень;
- фиксацию факта завершения подготовки сообщения;
- отправку сообщения в верхние уровни кластерной информационной системы без специального запроса либо после запроса.

Кластерная сеть пересылает информационные объекты от МИММ к КИММ. При необходимости классет ПИК так же обеспечивает информационный обмен между МИММ.

Требования к кластерной сети:

- реализовать соединения МИММ с КИММ по заданной схеме;
- поддерживать жестко ограниченное время концентрации данных в КИММ;
- обеспечивать, когда это необходимо, возможность обмена данными между МИММ;
- допускать (желательно по максимуму) совмещение своей работы с работой модулей.

В ПИК для увеличения частоты выдачи информационных объектов может быть организована конвейерная обработка. Например, процесс может состоять из двух этапов. На первом этапе МИММ решают задачи 1-4. Когда первый этап завершается, результаты передаются на второй этап. На нем используется КИММ, решающий задачи 5-7.

При этом МИММ выполняет следующий шаг решения задач 1-4.

Принципы работы конвейера иллюстрируются временной диаграммой, приведенной на рис. 3.

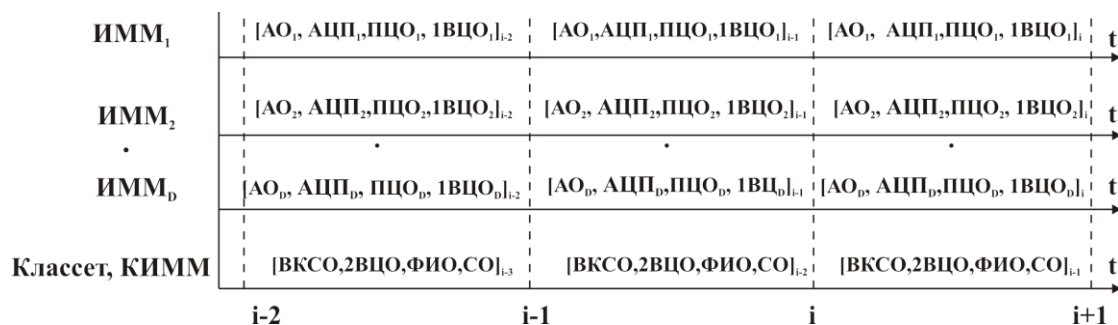


Рис. 3. Временная диаграмма работы параллельно-последовательного ПИК

Следует отметить влияние на время решения задач в ПИК времени сетевого обмена, как кластерной сети, так и работы через внешний сетевой канал.

В МИММ ПИК в процессе сетевого обмена может быть программно-аппаратно поддержана реализация одной из двух функций:

1) ведущего сетевого абонента, основной функцией которого является передача в сетевой канал результатов сбора и обработки сигналов датчиков независимо от реальной готовности их принять сетевыми абонентами;

2) ведомого сетевого абонента, настраиваемого поступающими из сети от КИММ командами на посылку необходимых результатов сбора и обработки сигналов датчиков.

Роль ведущего сетевого абонента сводится к выполнению функций управляемого внешними командами генератора данных, формируемых и направленных в сеть по заложенной программе. ЛИМКС такого рода широко распространены на практике, т.к. их реализация относительно проста, а версии применения изделий апробированы в достаточной степени, например на уровне интеллектуальных датчиков физических величин.

Функции ведомого сетевого абонента могут заключаться не только в посылке в сеть сформированного информационного объекта в ответ на поступивший запрос, но и изменение режима работы под воздействием поступившей из сети управляющей команды.

Следует отметить, что в настоящее время имеются необходимые условия для создания распределенных технических информационных компьютерных систем, реализующих распространённую идею кластерной обработки сигналов датчиков. В качестве базовых компонентов таких систем целесообразно применять ПИК, имеющие разнообразные архитектурные решения, наиболее полно удовлетворяющие системным требованиям.

При этом на выбор архитектуры ПИК влияют:

- тип формируемого информационного объекта (IO_1, IO_{21}, IO_{22});
- степень однородности измеряемых сигналов физических величин и близости их характеристик;
- форма представления сигналов датчиков;
- вычислительная сложность используемых алгоритмов обработки;
- величина шага решения задач T ;
- предельно допустимые погрешности результатов обработки;
- имеющаяся в распоряжении разработчиков элементная, конструкторская и технологическая база.

В процессе проектирования эти факторы определяют выбор количества и типов МИММ, функциональных возможностей КИММ, типа кластерной сети

(общая шина, кольцо, звезда и др. [7]), формирование требований к их техническим характеристикам.

Простым, и в тоже время эффективным инженерным решением является создание ПИК на основе интеллектуальных датчиков физических величин, например интеллектуальных датчиков давления и др. [8,9], подключаемых к КИММ с помощью общей шины. Достоинства такой архитектуры заключаются, прежде всего, в сокращении времени на создание ПИК на базе промышленных интеллектуальных датчиков и промышленных функциональных компьютеров, конечно, если возможно их приобретение по приемлемым ценам.

Однако при этом ПИК будет иметь ограниченные интеллектуальными датчиками возможности и низкую производительность, обусловленную, прежде всего, последовательным подключением интеллектуальных датчиков к общей шине. Поэтому при разработке ПИК может быть обоснован выбор модификаций шинной архитектуры, имеющих более развитые функциональные возможности. Возможно также создание ПИК, в которых найдут применение более производительные сети, например, звезды, электронные коммутаторы и др. На нижнем уровне таких ПИК наряду с интеллектуальными датчиками используются МИММ.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Парк Дж., Маккей С. Сбор данных в системах контроля и управления. Практическое руководство: - М.: ООО «Группа ИДТ», 2006. – 504 с.
- [2] Пьявченко О.Н. Концептуальное представление о прецизионных микропроцессорных модулях ввода, измерений и обработки аналоговых сигналов. Известия ТРТУ: Изд-во ТРТУ, 2007. №3. –С. 126-132.
- [3] Пьявченко О.Н. Проектирование локальных микрокомпьютерных систем. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005. – 238 с.
- [4] 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. – 568 с.
- [5] 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.
- [6] Годбоул К. Переход от аналогового управления электроприводом к цифровому // "Электронные компоненты", 2006. № 11. – С. 25-33.
- [7] Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. – М: Горячая линия - Телеком, 2009. – 608 с., ил.
- [8] Фрайден Дж. Современные датчики. Справочник. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.
- [9] Джексон Р.Г. Новейшие датчики. – М.: Техносфера, 2007. – 384 с.