

## Тема 1.2 Классификация встраиваемых микропроцессорных систем

**Микропроцессорная система** – система, включающая в свой состав хотя бы один микропроцессор, запоминающее устройство, устройство ввода/вывода, устройство сопряжения системной шины с устройствами ввода/вывода (контроллеры), системную шину. **Микропроцессорная система** может рассматриваться как частный случай электронной системы, предназначенной для обработки входных сигналов и выдачи выходных сигналов. В качестве входных и выходных сигналов при этом могут использоваться аналоговые сигналы, одиночные цифровые сигналы, цифровые коды, последовательности цифровых кодов. Внутри системы может производиться хранение, накопление сигналов (или информации), но суть от этого не меняется. Если система цифровая (а микропроцессорные системы относятся к разряду цифровых), то входные аналоговые сигналы преобразуются в последовательности кодов выборок с помощью АЦП, а выходные аналоговые сигналы формируются из последовательности кодов выборок с помощью ЦАП. Обработка и хранение информации производятся в цифровом виде.

Множество областей применения МП и микроЭВМ позволяет классифицировать МПС на системном уровне следующим образом:

- встроенные системы контроля и управления;
- локальные системы накопления и обработки информации;
- распределенные системы управления сложными объектами;
- распределенные высокопроизводительные системы параллельных вычислений.

Исходя из этого, в настоящее время определились следующие приоритетные области применения МПС:

- системы управления;
- контрольно-измерительная аппаратура;
- техника связи;
- бытовая и торговая аппаратура;
- транспорт;
- военная техника;
- вычислительные машины, системы, комплексы и сети.

Зарождение встроенных систем происходило в начале пятидесятых годов. В то время, компьютеры выполнялись на громоздкой элементной базе, были крайне ненадежны. Для нормальной работы таким машинам требовались идеальные условия эксплуатации. Класс вычислительных систем, предназначенных для управления и максимально оторванных от объекта управления, называли информационно-управляющими системами (ИУС). С появлением компьютерных сетей примерно в 70-х годах, появилась возможность строить распределенные или сетевые ИУС. Появление интегральных микросхем, а также микропроцессоров дало возможность приблизить ИУС непосредственно к объекту управления, или даже встроить в него ЭВМ. Так появились первые встроенные системы (Embedded System). Постепенно, по мере удешевления элементной базы и увеличения степени её интеграции и увеличения надёжности вычислительных устройств появилась возможность устанавливать ЭВМ в разные места объекта управления, объединяя все вычислительные узлы в единую контроллерную сеть. В процессе дальнейшего развития, благодаря еще большей миниатюризации и диффузии с объектом управления появились так называемые киберфизические системы, (CPS, Cyber Physical System). CPS характеризуются глубоким сращиванием с механическими, оптическими, химическими и биологическими системами. Итак, по степени проникновения вычислительной системы в объект управления можно выделить:

- Информационно-управляющие системы (ИУС).
- Распределенные информационно-управляющие системы (РИУС).
- Встроенные системы (Embedded System, ES).
- Сетевые встроенные системы (Networked Embedded System, NES).
- Киберфизические системы (Cyber Physical System, CPS).

В последнее время, из-за прогресса в области вычислительной техники, смысл термина встроенная система достаточно сильно видоизменился. По мере развития техники происходила эволюция обозначения класса управляющих компьютерных систем: от информационно-управляющей системы к встроенной, от встроенной к встроенной сетевой, а от встроенной сетевой – киберфизической. В процессе развития, происходила плавная интеграция вычислительной

системы и объекта управления. Если первые информационно-управляющие системы представляли собой систему, практически не связанную с объектом управления, то современные киберфизические системы очень и очень тесно интегрированы с объектом управления. Киберфизическая система Cyber Physical System, (CPS)– специализированная вычислительная система, имеющая физические средства взаимодействия (электрические, химические, оптические, механические, биологические и т.п.) с объектом контроля и управления, выполняющая одну функцию. В качестве вычислительной платформы для реализации киберфизической системы может использоваться любое компьютерное оборудование, включая оборудование класса SOHO (например, персональный компьютер).

Встраиваемые вычислительные системы можно классифицировать:

- по области применения/назначению;
- по различному соотношению информационных и управляющих функций, т.е. система преимущественно информационная (система сбора данных) или управляющая (система автоматического управления);
- по пространственной локализации аппаратных блоков:
  - а) пространственно локализованные;
  - б) пространственно рассредоточенные.
- по различному соотношению вычислительной (обработка данных) и коммуникационной (функция ввода-вывода данных) составляющей;
- по степени участия человека:
  - а) автоматические системы – системы, в которых оператор выполняет только функции начальной настройки и оперативной корректировки параметров и режимов работы системы. Функции сбора данных, передачи и исполнения команд управления, оперативной выработки команд управления происходят без участия человека;
  - б) автоматизированные системы – системы, в которых оператор частично или в полном объеме обеспечивает оперативную обработку данных и формирование команд управления исполнительными устройствами (например, телеуправление).
- по организации обработки данных/вычислений (централизованные/ децентрализованные);
- по распараллеливанию на уровне задач и/или функций между физическими/логическими модулями системы.

Особенность работы встроенной системы состоит в наличии необходимости работы в реальном масштабе времени (или просто в реальном времени).

Из известных общих классификаций встраиваемых микропроцессорных систем для сегодняшнего состояния вычислительной техники видится наиболее удачной классификация Дэвида Паттерсона, в соответствии с которой выделяются три категории вычислительных систем

1. настольные компьютеры (ПК – рабочая станция / интеллектуальный терминал);
2. серверы (ВС коллективного пользования);
3. встраиваемые системы (все прочие встраиваемые микропроцессорные системы).



Классификация разделяет встраиваемые микропроцессорные системы по характеру их

использования. Данная классификация выделяет важнейшие свойства класса встраиваемых систем, и прежде всего, самый широкий из всех встраиваемых систем диапазон изменения сложности.

Таблица 1.1. Характерные особенности вычислительных систем различных классов

	Персональный компьютер	Сервер	Встраиваемая система
Стоимость системы	\$500-\$5000	\$5000- \$5000000	\$10-\$100000
Стоимость микропроцессорного модуля	\$50-\$5000	\$200-\$10000	\$0.01-\$100
Наиболее весомые характеристики	Цена – производительность, скорость работы с графикой	Пропускная способность, доступность, расширяемость	Цена, энергопотребление, производительность для специфических приложений

Традиционно классификацию встраиваемых систем начинают с функционального признака. Разделить встраиваемые системы по назначению можно только очень условно. Попытка такого деления представлена ниже:

1. Системы автоматического управления (САУ);
2. Измерительные системы и системы сбора информации с датчиков (приборные, характерны ярко выраженные измерительные функции наряду с управлением);
3. Информационные системы “запрос-ответ” реального времени (платежные системы, резервирование билетов и т.д.) Они занимают пограничное положение с информационными системами общего назначения;
4. Цифровые системы передачи данных (телекоммуникационные системы);
5. Сложные иерархические системы реального времени (обеспечивают контроль и управление сложными, в том числе, пространственно- распределенными объектами);
6. Системы управления подвижными объектами;
7. Подсистемы ВС общего назначения;
8. Мультимедийные системы.

Кроме классификации по назначению возможно разделение встраиваемых систем по таким признакам, как:

1. сложность системы (большие, средние, малые);
2. топология системы (сосредоточенные, распределенные);
3. тип ВС, являющейся основой ВcC (одно- и многопроцессорные, гомогенные и гетерогенные, сильно и слабосвязанные, использующие ОС и не использующие);
4. особенность реализации реального масштаба времени (мягкое и жесткое реальное время);
5. конструкция (моноблочные, модульные, встроенные, расширяемые и нерасширяемые, обслуживаемые и необслуживаемые);
6. реализуемая для ВcC надежность, безопасность, информационная защищенность и т.д.;
7. другие функциональные и нефункциональные характеристики.

В рамках фаз жизненного цикла ВcC на этапе исполнения (RunTime) важно выделять:

- инструментальные возможности системы;
- тип платформы с точки зрения возможностей (частично скрытые возможности; платформа, возможности которой раскрываются по мере выхода новых экземпляров встраиваемой системы).

На этапе разработки (Design Time) у ВcC появляется множество критериев для классификации на архитектурном уровне. Можно выделять следующие основные структурные характеристики:

- количество уровней иерархии;
- количество вычислителей в системе;
- степень разнородности вычислителей в системе;
- количество процессоров в вычислителе;
- тип связи между процессорами в вычислителях;

- степень однотипности процессоров в вычислителе;
- степень равноправия процессоров.

По принципу комплексирования, ВсС можно разделить на четыре категории:

1. полностью готовые,
2. блочные,
3. заказные,
4. полузаказные,
5. смешанные.

Полностью готовая система – это система, выполняющая целевую функцию, либо требующая незначительной по трудоемкости доводки для выполнения своей целевой функции. Как правило, ВсС на основе готовых систем обладают максимальной избыточностью и соответственно стоимостью. Следующий по сложности вариант – система из готовых блоков. Чтобы такая система выполняла свою целевую функцию, необходимо комплексирование или интеграция покупных программных и аппаратных блоков. Избыточность системы существенно ниже, чем в первом случае. Стоимость разработки также невысока. В третьем и четвертом вариантах присутствует заказной компонент, требующий зачастую проведения научно-исследовательских работ, подготовки производства, разработки новых технологий.

Важными классификационными критериями для разработчика являются:

- соотношение обработка данных – управление;
- степень программируемости системы;
- способ проектирования;
- способ реализации платформы;
- сила воздействия на проект тех или иных аспектов проектирования.