



СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
ПЕРВЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ



Р.Р. Фаткиева

Аппаратное обеспечение IoT

Конспект лекций

СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2021 г.



2 АППАРАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИОТ

2.1 Датчики

Одним из самых главных элементов Интернета вещей являются датчики (сенсоры), которые снимают различные показания и передают их через сети для анализа и формирования управляющего воздействия.

Датчик - это устройство, воспринимающее внешнее изменение объекта (количественная характеристика: свойство или качество), которое необходимо считать на входе и преобразовать в электрический сигнал на выходе для последующей обработки (Рис.2.1).

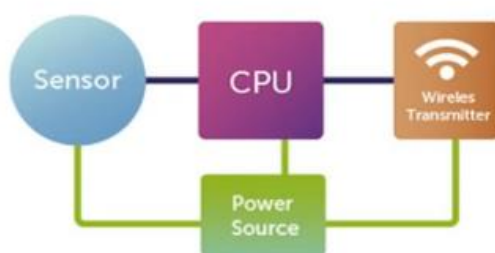


Рис. 2.1

Для каждого датчика можно вывести соотношение, связывающее сигналы на его входе и выходе, $S = f(s)$ которое называют передаточной функцией. Одномерная линейная функция может быть представлена выражением вида: $S = as + b$, где b - постоянная составляющая, то есть значение выходного сигнала при нулевом входном, a - угол наклона прямой, называемый чувствительностью датчика. Выходными сигналами датчиков могут быть напряжение, ток или заряд, описываемые такими характеристиками как амплитуда, частота, фаза или цифровым кодом. К основным характеристикам работы датчиков можно отнести [1]:

Диапазон измеряемых значений - алгебраическая разность между выходными сигналами, измеренными при максимальной и минимальной величине внешнего воздействия.

Точность датчика - погрешность измерений, т. е. величина максимального расхождения между показаниями реального и идеального датчиков.



Гистерезис - это разность значений (за счет трений и структурные особенности) выходного сигнала для одного и того же входного сигнала, полученных при его возрастании и убывании.

Воспроизводимость - это способность датчика при соблюдении одинаковых условий выдавать идентичные результаты.

Мертвая зона - нечувствительность датчика в определенном диапазоне входных сигналов. В пределах этой зоны выходной сигнал остается почти постоянным (часто равным нулю).

Разрешающая способность - это величина минимального изменения входного сигнала, приводящая к появлению минимального изменения выходного сигнала датчика при определенных условиях.

Сигнал возбуждения - это электрический сигнал, необходимый активному датчику для работы. Выход параметров сигнала возбуждения за указанные пределы может привести к изменению передаточной функции датчика, а, следовательно, к искажению выходного сигнала.

Надежность - способность датчика выполнять требуемые функции при соблюдении определенных условий в течение заданного промежутка времени.

Безопасность - способность датчика выполнять заданные функции без ущерба для жизни, здоровья и имущества людей, а также окружающей среде

Время разогрева - время между подачей сигнала возбуждения на датчик и моментом, когда датчик начинает работать, обеспечивая требуемую точность измерений.

Частота среза - наименьшая или наибольшая частота внешних воздействий, которую датчик может воспринять без искажений.

Фазовый сдвиг на определенной частоте показывает, насколько выходной сигнал отстает от внешнего воздействия.

Дрейф - изменение рабочих характеристик датчиков в течение коротких или длинных промежутков времени. Выходной сигнал датчика может увеличиваться или уменьшаться с течением времени, что можно выразить через величину шума сверхнизкой частоты.

В зависимости от назначения, выходного сигнала, принципа действия датчики могут быть классифицированы по самым различным признакам (Рис. 2.2) Важнейшим из них является принцип работы датчика. В соответствии с





этим критерием датчики медико-биологической информации можно разделить на две группы: биоуправляемые и энергетические [2].

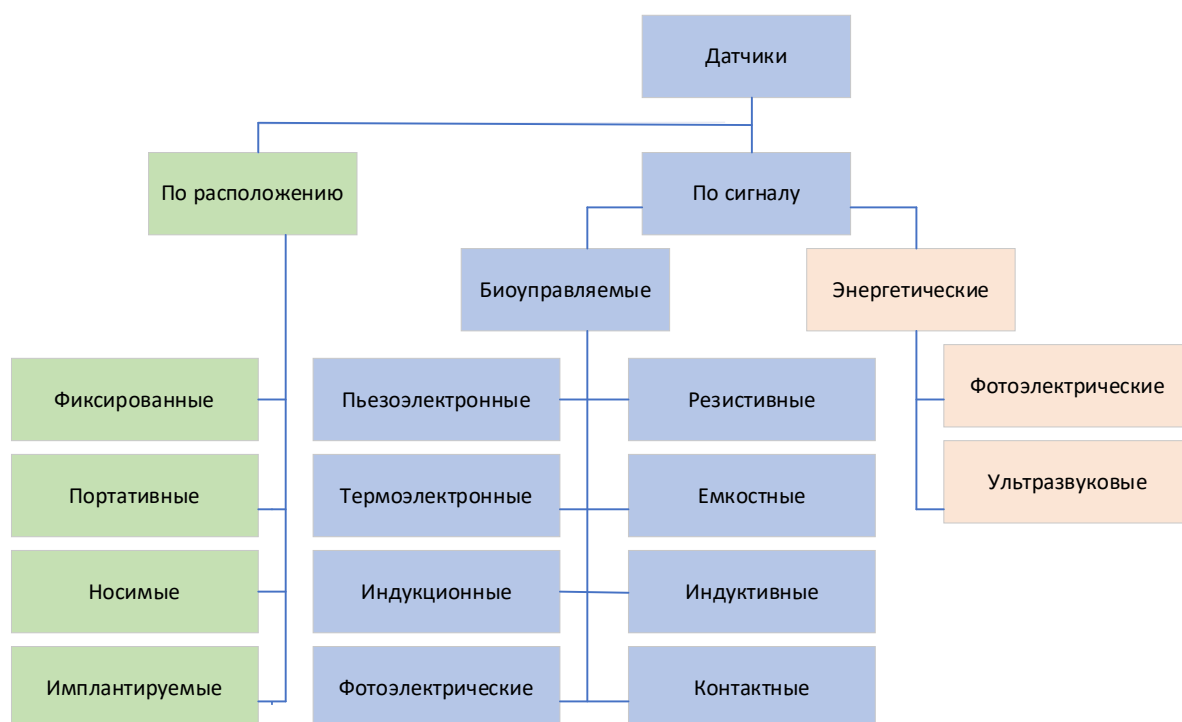


Рис. 2.2

В некоторых случаях датчики называют по измеряемой величине, например, датчик давления, тензометрический датчик (тензодатчик), сенсор глюкозы, и т.д.

Датчики, применяемые в медицинских приборах. Рассмотрим работу датчика (Рис. 2.3). Биологическая мишень (объект организма, подвергающейся измерению) находится в непосредственном контакте с датчиком. Датчик, предназначен для получения (съемы) биометрических данных, включая поиск и определение паттернов в снимаемых аналоговых и цифровых сигналах, интегрированный в сетевую инфраструктуру приложения. Например, в качестве источника съема может служить биосенсорная система, в которой происходит динамическое изменение уровня глюкозы (биологической мишенью является скорость изменения глюкозы), а качестве датчика комбинация флуоресцентного чувствительного к глюкозе сенсора, светодиодных источников света, фотодиодов для обнаружения флуоресцентных сигналов и передатчика, который транслирует данные о концентрации глюкозы в крови в мобильное приложение. Имплантируемая сенсорная система вводится под кожу на плече при помощи несложных манипуляций.



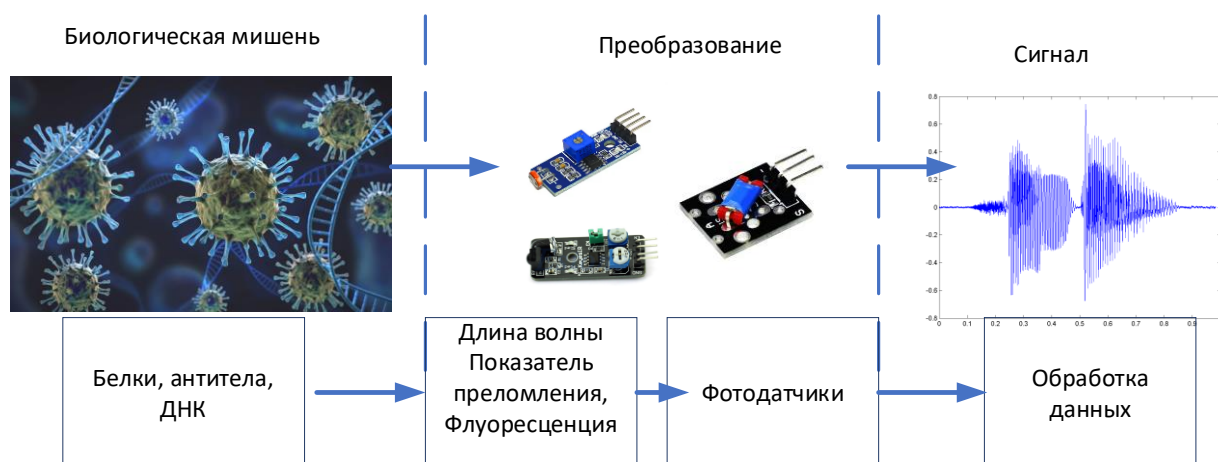


Рис. 2.3

При этом для передачи данных о изменении измеряемых величин необходимо использовать протокол, предназначен для передачи биометрических данных в приложение. При этом приложение, является получателем биометрических данных и выполняет основные прикладные задачи по их распознаванию, визуализации, анализу, сопоставлению, выработке рекомендаций и т.д. Облачное хранилище биометрических данных, предназначено для накопления и долгосрочного хранения данных, обеспечивает должный уровень безопасности, доступности и поддержки различных протоколов доступа.

Термопара - устройство для измерения температуры, содержащих два проводника, изготовленные из двух разных материалов, соединенные в зоне измерения температуры [4, Рис. 2.4]. Поскольку у разных металлов уровень потенциала различен, то на металлическом электроде, возникает электрический потенциал, который находится нелинейной зависимости от температуры. Этот эффект известен как электродвижущий эффект Зеебека. Важно, чтобы концы проводов были термически изолированы от системы (и провода должны иметь одинаковую контролируемую температуру).

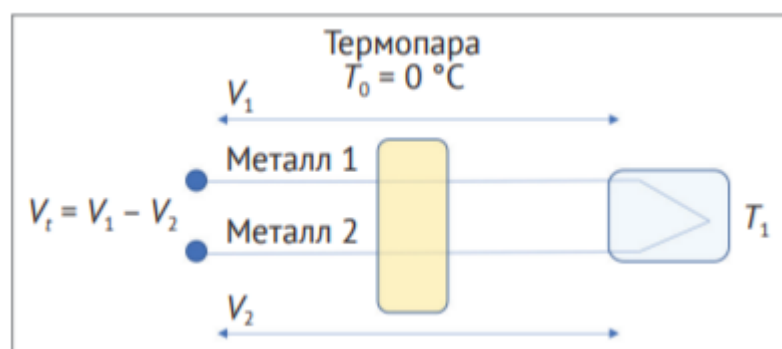


Рис. 2.4 [4]

Резистивные датчики температуры (RTD) - представляют собой проволочный резистор, который по своей природе имеет два и более выводов и реагирует на повышение температуры пропорциональным увеличением сопротивления. В высококачественном RTD обычно используется платиновый провод, сопротивление которого изменяется линейно и предсказуемо при изменении температуры (Рис. 2.5). Поскольку в основе измерений лежит измерение сопротивления, для работы с RTD необходим внешний источник питания с выходной силой тока 1 мА.

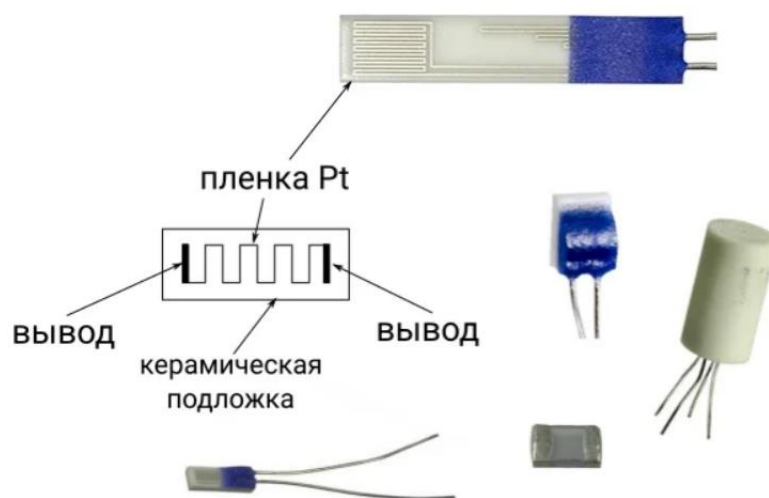


Рис. 2.5 [5]

Термисторы- это терморезисторы, с нелинейной зависимостью сопротивления от температуры, что обеспечивает более высокую точность измерений в сравнении с RTD (Рис. 2.6). Их используют в качестве сглаживающих фильтров, для ограничения скачков тока, что позволяет обеспечить высокую степень разрешения измерений в узком диапазоне температур. Существует два типа:

- NTC (их сопротивление уменьшается при повышении температуры);
- PTC (их сопротивление возрастает с повышением температуры).



Рис. 2.6

MEMS-акселерометры и гироскопы. Акселерометры реагируют на изменение линейного движения и представляют собой чувствительную массу, закреплённую в упругом подвесе. Отклонение массы от её первоначального положения при наличии кажущегося ускорения несёт информацию о величине этого ускорения. В общем случае акселерометр содержит груз, закрепленный на пружине и демпфер, который подавляет колебания груза. Чем больше кажущееся ускорение, тем сильнее деформируется пружина, изменяя показания прибора (Рис. 2.7).

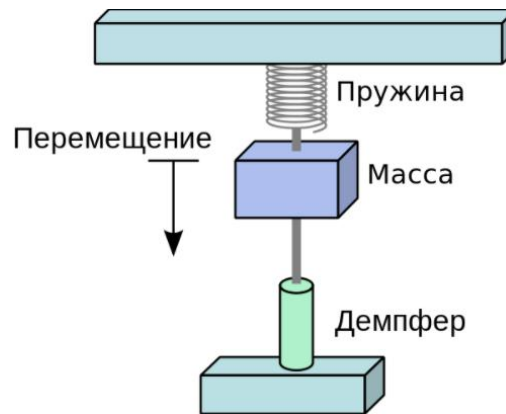


Рис. 2.7 [6]

Гироскоп- устройство, способное реагировать на изменение углов ориентации тела, на котором оно установлено, относительно инерциальной системы отсчёта. Для этого на кремниевой подложке в процессе изготовления MEMS формируются концентрические кольца, разрезанные на маленькие дуги (Рис. 2.8).

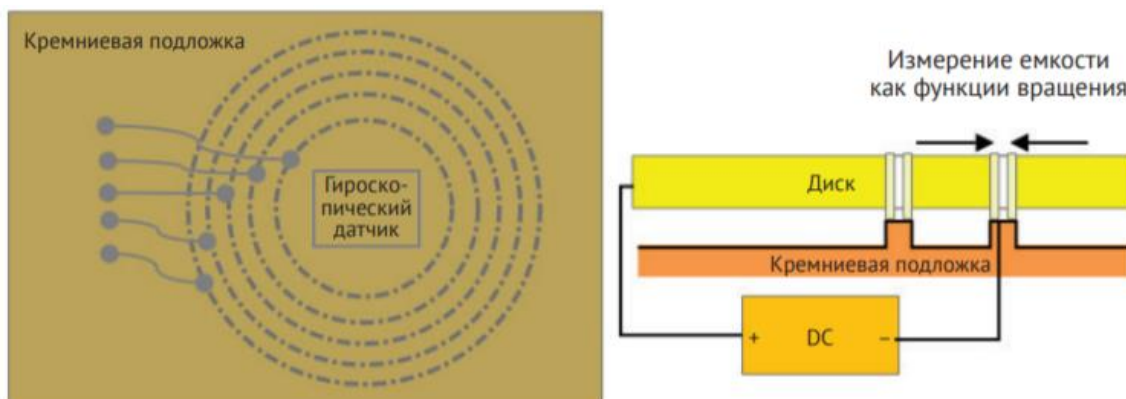


Рис. 2.8 [4]

Источник постоянного тока через электроды, прикрепленные к кольцам, создает электростатическое поле. Это поле вызывает резонансные колебания

системы колец. Если в них фиксируется изменение, то, присутствует ускорение Кориолиса, которое изменяет зазор между кольцами, установленный статическим полем источника постоянного тока, и, как следствие, общую емкость системы [4]. Внешние электроды фиксируют отклонение в кольце, а внутренние обеспечивают измерения емкости.

MEMS микрофон - электроакустический прибор для преобразования звуковых колебаний в электрические, который обладает достаточно малыми размерами. В состав самого MEMS входят: преобразователь звукового давления в электрический сигнал (гибкая мембрана), неподвижная задняя пластина. Под воздействием давления воздуха мембрана смещается, изменяя емкость между обкладками. Эти данные пересчитываются и выводятся в виде электрического сигнала на интегральную схему. Именно этот сигнал преобразуется в звук (Рис. 2.9)

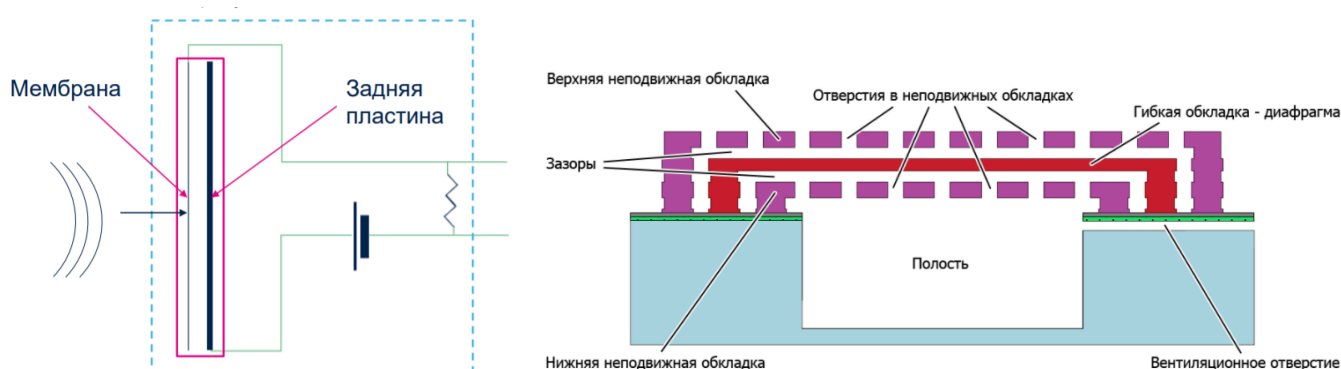


Рис. 2.9

Датчики давления бывают инвазивные и использующие косвенные измерения. Инвазивные датчики, используются для внутрисосудистых измерений в мониторинговых системах, содержат чувствительный элемент, на который воздействует давление крови, вызывающее его деформацию [2]. В современных конструкциях датчиков давления чувствительный элемент располагается на кончике катетера и отделен от крови тонкой мембраной. Наибольшее распространение получили тензометрические датчики, обладающие высокими метрологическими характеристиками.

Емкостный датчик давления - датчик, расположенный в корпусе прибора, реагирует на колебания воздуха, которые возникают из-за движения измеряемого потока на исследуемом участке. А датчике находится подвижная пластина конденсатора, которая начинает перемещаться, увеличивая



расстояния до неподвижной пластины, что влечет за собой деформацию диэлектрика, при этом изменяется его положение, ведущее к изменению диэлектрической проницаемости, которые можно считать в виде сигнала.

Индуктивные датчики давления находят применение в вазотометрах - приборах, с помощью которых производят измерение давления в сосудах глаза. Принцип действия основан на изменении амплитуды колебаний генератора. При подаче питания на конечный выключатель в области его чувствительной поверхности образуется изменяющееся магнитное поле, наводящее во внесенном в зону материала вихревые токи, которые приводят к изменению амплитуды колебаний генератора. В результате вырабатывается аналоговый выходной сигнал, величина которого изменяется от расстояния между датчиком и контролируемым предметом.

Фотоплетизмография определение относительных изменений объема крови в кровеносных сосудах в дерме и подкожной жировой клетчатке, которое соответствуют изменения поглощения света, испускаемое светодиодом. Используется для значимых параметров, таких как насыщение крови кислородом, сердечный ритм, АД, частота дыхательных движений, сердечный выброс, эндотелиальная функция, микроциркуляторный кровоток и функция автономной нервной системы.

2.2 Актуаторы. Исполнительные устройства (актуаторы)-функциональный элемент IoT, который воздействует на объект управления, изменяя поток энергии или материалов, которые поступают на объект.

Состоит из двух функциональных блоков:

- исполнительного устройства (если исполнительное устройство механическое, то его часто называют (исполнительный механизм));
- регулирующего органа;
- дополнительными блоками, например источник питания.

Система управления получает информацию от датчика, обрабатывает ее, формирует управляющее воздействие и передает его на исполнение (Рис. 2.10).



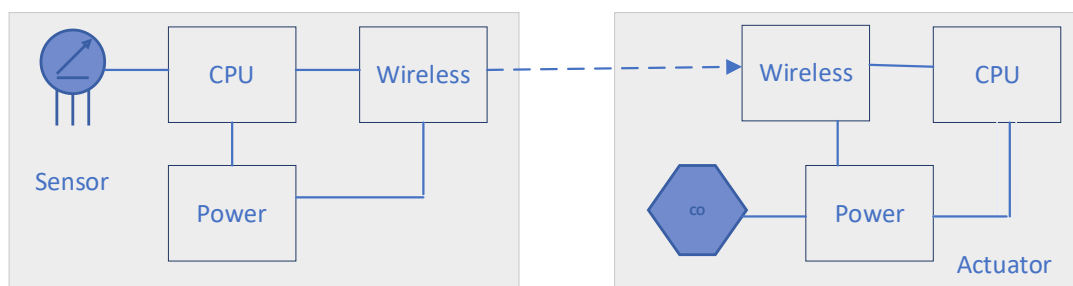


Рис. 2.9

Для этого требуется источник энергии и процесс ее преобразования. Когда актуатор получает сигнал управления, он преобразует источник энергии в механическую операцию или электрический импульс. Исходя из этого имеются различные типы, приводов:

Гидравлические приводы -использует гидравлическую мощность для выполнения механической операции, за счет вращения цилиндра или жидкостного двигателя. Механическое движение преобразуется во вращательное, линейное или колебательное движение в соответствии с потребностями устройства IoT. Гидравлические приводы могут производить большую величину силы и высокую скорость. К недостаткам можно отнести возможность утечки гидравлической жидкости.

Пневматические приводы -использует энергию, образованную вакуумом или сжатым воздухом под высоким давлением, для преобразования в линейное или вращательное движение. Используются при экстремальных температурах, где применение воздуха является более безопасным вариантом, чем химические вещества. Обладают низкими эксплуатационными расходами, долговечны и имеют длительный срок службы. Однако потеря давления может сделать его менее эффективным.

Электрические приводы -применяя электрическую энергию, приводят в действие двигатель, который использует в работе механический крутящий момент. Позволяет автоматизировать работу клапанов. Он может быть перепрограммирован и обеспечивает высочайшую точность управления позиционированием.

Тепловые/магнитные приводы -приводятся в действие тепловой или механической энергией. В них используются сплавы с памятью формы (SMAs)



или магнитные сплавы с памятью формы (MSMA). Примером теплового/магнитного привода может быть пьезодвигатель с использованием SMA.

Механические приводы - выполняют движение путем преобразования вращательного движения в линейное движение. Он включает в себя шкивы, цепи, шестерни, рельсы и другие устройства для работы.

Мягкие приводы, приводы с регулируемой жесткостью за счет использования термочувствительных эластомеров позволяют менять форму в ответ на механические, тепловые и электрические раздражители.

Полимеры с памятью формы - полимерные интеллектуальные материалы, которые обладают способностью возвращаться из деформированного состояния в исходную форму при воздействии триггера, например изменение температуры. В настоящее время используются в различных офтальмологических устройствах, включая пунктальные пробки, шунты глаукомы и интраокулярные линзы. Некоторые классы полимеров с памятью формы обладают дополнительным свойством: биоразлагаемостью, что позволяет расширить сферу применения в хирургии и ортопедии за счет использования временных имплантатов, стентов, в том числе использования шовного материала.

2.2 Микропроцессоры и микроконтроллеры

Микропроцессор (MPU) — устройство, отвечающее за выполнение арифметических, логических операций и операций управления, записанных в машинном коде, реализованный в виде микросхемы.

В состав микропроцессора входят: арифметико-логическое устройство, блок управления, таймер, регистры, памяти шины передачи данных и команд. В отличие от микроконтроллера, микропроцессор обычно не имеет интегрированных в микросхему устройств ввода-вывода и других периферийных устройств. С одной стороны, это снимает ограничения на размер памяти, поскольку для хранения программы и данных используется внешняя память, что позволяет хранить сотни и тысячи мегабайт данных. Но, с другой стороны, это накладывает ограничения на время запуска, которое необходимо на подключение оперативной и энергонезависимой памяти.





К отличию микроконтроллера от микропроцессора так же можно отнести подключение к системе питания. Благодаря встроенному регулятору напряжения, микроконтроллеру необходимо только одно значение внешнего напряжения. Тогда как микропроцессору требуется несколько разных напряжений для ядра, периферии, портов ввода-вывода и т.д.

Микроконтроллер (MCU)- микросхема на кристалле, предназначенная для программного управления, содержащая в себе вычислительное устройство, ПЗУ, ОЗУ, порты ввода/вывода, таймеры, последовательные и параллельные интерфейсы.

К характеристикам микроконтроллера можно отнести:

- количество аналоговых и цифровых контактов (пинов), к которым можно подключить датчики;
- общее количество контактов;
- количество ядер, присутствующих в микроконтроллере;
- скорость выполнения операций;
- объем оперативной и постоянной внутренней памяти;
- вид операционной системы
- размеры.

Выбор микроконтроллера или микропроцессора определяется:

1. Количеством необходимых к подключению периферийных устройств (в том числе датчиков). Если требуется такое количество интерфейсных каналов, которое не может предоставить микроконтроллер, то целесообразно использовать микропроцессор.
2. Стоимостью подключения периферийных устройств, в том числе наличием встроенного LCD контроллера, поскольку подключение внешнего LCD контроллера, требует использование драйверов при подключении к микроконтроллеру, что влечет за собой снижение производительности и увеличение себестоимости изделия.
3. Расчет вычислительной мощности поскольку для приложений, которые обрабатывают большие числовые объемы, требуется определенный запас вычислительной мощности. Чем больше приложение ориентировано на числовую обработку, обработку изображений, с дальнейшим расширением функциональных





возможностей, тем выше вероятность использования микропроцессора. Здесь же необходимо учитывать оценку вычислительной мощности при формировании пользовательского интерфейса, чем выше требования к нему, тем большая производительность и память вам потребуется.

4. Временем реакции приложения поскольку из-за встроенных подсистем, микроконтроллер будет лидировать по этому критерию.
5. Подключением к системе питания, поскольку потребление микроконтроллера значительно ниже, чем микропроцессора.
6. Необходимостью быстрой передачи данных через сетевой интерфейс. Здесь необходимо учитывать наличие возможности подключения к модулям передачи данных, а также то, что высокоскоростные сетевые подключения, требуют применения микропроцессоров.

Микроконтроллеры целесообразно использовать в решениях, где имеется детерминированное поведение системы и важное значение имеет стоимость изделия, а также энергосбережение. Микропроцессоры, как правило, применяются для создания функциональных и высокопроизводительных приложений, с высокоскоростным обменом данными.

2.3 Одноплатные компьютеры

Одноплатный компьютер, или SBC (Single-Board Computer), — миниатюрное электронно-вычислительное устройство, все компоненты которого собраны на единственной печатной плате.

Рассмотрим основные требования, которые следует принимать во внимание при выборе одноплатного компьютера:

-целевое назначение и условия эксплуатации, то есть необходимо рассмотреть требуемый диапазон температур (в частности, «индустриальный» диапазон температур $(-40...+85^{\circ}\text{C})$, наличие нагрузок (сильные механические воздействия, вибрационные нагрузки или повышенная влажность, в этом случае преимущество должны получить системы, имеющие минимальное количество компонентов, питаемых на





плату, с минимальным количеством соединительных разъёмов, чувствительных к ударам или вибрации);

-размер, возможность расширения и интероперабельность с другим оборудованием играет важную роль и определяет количество подключений для плат и расширение системы при взаимодействии с другими системами;

энергопотребление является важным фактором и связан не только с длительностью служб ресурсов, но с требованием возможности автоматического понижения тактовой частоты процессора при возникновении опасности перегрева.

-устойчивость к электромагнитным помехам актуальна при эксплуатации устройств вблизи генераторов, моторов и иных источников сильных электромагнитных полей и электростатических разрядов;

-надёжность, ремонтпригодность и среднее время безотказной работы;

-используемая операционная система и встраиваемые приложения чем шире выбор серийно выпускаемых плат расширения и устанавливаемых приложений, тем больше возможностей создать на базе одного SBC ландшафт систем для конечных пользователей.

- возможность модернизации — улучшения в будущем основных характеристик вычислительного ядра (производительность, ёмкость ОЗУ или накопитель и т.д.). Актуально для приложений, где нагрузка на SBC может со временем повышаться, например за счет подключения дополнительных каналов поступления информации или применения иного, более требовательного к ресурсам программного обеспечения.

2.4 Модули передачи данных

Модуль передачи данных - это электронное устройство, используемое для передачи и/или приема сигналов между двумя устройствами. Модуль передачи данных выбирается в зависимости от среды передачи данных, необходимой для передачи скорости, технических характеристик тех устройств с которых планируется съём информации для передачи. В качестве среды передачи в IoT чаще всего используется воздушная среда передачи с использованием радиочастотных сигналов и инфракрасного





излучения. Рассмотрим основные характеристики, которые необходимо учитывать при выборе адаптера передачи данных:

-*архитектура сетевой топологии передача данных*, учет этой характеристики необходим для понимания в каком режиме будет осуществляться передача данных, например при централизованном режиме целесообразно использовать клиент серверную архитектуру, а при децентрализованном подходе-режим межмашинного взаимодействия или режим ad hoc, в некоторых случаях, когда необходимо обеспечить отказоустойчивость целесообразно использовать mesh сети;

-*режим передачи*- в зависимости от типов взаимодействия между устройствами необходимо рассмотреть вид передачи данных: симплексный связь является однонаправленной, то есть данные могут передаваться только в одном направлении; полудуплексном режиме поток сообщений может идти в обоих направлениях, но не одновременно; полнодуплексный поток данных идет в обоих направлениях одновременно;

-*интерфейс подключения* адаптера к основному устройству, здесь необходимо предусмотреть не только, чтобы контакты устройств подходили по сопряжению, но возможность поддержки адаптером современных стандартов связи, что является гарантией стабильного и быстрого соединения;

- *выходная мощность* сигнала, от которой напрямую зависит дальность действия сигнала и его стабильность. Величина этого параметра определяет поддержку качества сигнала на далеком расстоянии. большинство модулей обладают мощностью от 15 до 20 децибел-милливатт;

-*оценка диапазона используемых частот* необходима поскольку в процессе передачи возможны помехи, возникающие при частичном перекрытии используемых частот передачи;

-*такты частота процессора* и объем памяти для хранения передаваемых данных, не только влияет на скорость передачи данных, но регулирует очереди и приоритезацию при получении или отправке пакетов.

-*тип и количество используемых антенн* учет этих факторов важен, поскольку внутренние антенны компактны, встроены в плату, но могут обладать слабым по мощности сигналом, использование внешних антенн





мене отказоустойчиво, но обладает большей мощностью. Использование нескольких антенн на одном устройстве позволяют достичь максимальную скорость, но стоят дороже.

В общем случае, перед тем как приступить к проектированию системы IoT, необходимо ответить на ряд вопросов [7]:

- органичность использование проектируемой системы;
- величины и тип измеряемых, диапазон измерений на датчике характеристик;
- требуемая точность и разрешающая способность величин, получаемых с сенсоров;
- частота обновления данных, способы передачи, обработки и хранения;
- материал, из которого изготовлен, или состоит сенсор (металл, пластмасса, жидкость, ферромагнетик, биологическая ткань и пр.)
- условия окружающей среды, в которых должна эксплуатироваться система;
- потребляемая мощность для каждого устройства;
- размер пространства, отведенный под монтаж системы;
- срок службы всей системы и каждого устройства, отказоустойчивость и ремонтпригодность»;
- стоимость разрабатываемой системы по сравнению с аналогами, ее эффективность, ценность для конечного потребителя;
- наличие партнеров. Функционирование устройств, в случае проблем у партнеров (например проблемы с загрузкой сторонних библиотек, сервисов, API);
- необходимость защиты информации при ее передаче и обработке;
- необходимость лицензирования и сертификации устройств и/или системы в целом.





СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Датчики. Классификация, характеристики, принципы работы. Электронный ресурс.
https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/7671/43/лк9-10_ДАТЧИКИ-Характеристики.pdf#:~:text=ДАТЧИКИ.%20Датчик%20-%20это%20устройство%2C,воспринять%20и%20преобразовать%20в%20электрический.
2. Лекция 5 Измерительные преобразователи неэлектрических величин. Датчики давления в медицинских приборах. Электронный ресурс.
https://moodle.kstu.ru/pluginfile.php/437260/mod_resource/content/1/Лекция%205%20ИП%20неэлектр.%20величин.%20Датчики%20давления%20в%20медицинских%20приборах.docx.pdf
3. Биосенсорные системы в медицине: экспертный обзор / Аксенова Е. И., Камынина Н. Н., Маклакова Ю. А. – М.: ГБУ «НИИОЗММ ДЗМ», 2020. – 20 с.
4. Ли П. Архитектура интернета вещей / пер. с англ. М. А. Райтмана. – М.: ДМК Пресс, 2019. – 454 с.: ил.
5. Измерение температуры и датчики температуры. Часть 3. RTD - резистивные термодатчики. Электронный ресурс.
https://zen.yandex.ru/media/smart_world/izmerenie-temperature-i-datchiki-temperature-chast-3-rtd-rezistivnye-termodatchiki-60143f3617d39f78df45cc06
6. Акселераторы. Википедия.
<https://ru.wikipedia.org/wiki/Акселерометр>
7. Алексей Пышкин. Как создавать IoT-устройства: методика и примеры. Электронный ресурс. <https://vc.ru/tech/138327-kak-sozdavat-iot-ustroystva-metodika-i-primery>

