

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 004.932

Ценцевицкий
Дмитрий Александрович

Программно-аппаратный комплекс для быстрого прототипирования
встраиваемых систем на базе linux

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра
по специальности 1-40 80 01 «Компьютерная инженерия (встраиваемые
системы)»

(подпись магистранта)

Научный руководитель
Шемаров Александр Иванович

(фамилия, имя, отчество)

К. Т. Н., ДОЦЕНТ

(ученая степень, ученое звание)

(подпись научного руководителя)

Минск 2024

ВВЕДЕНИЕ

За последний год произошел стремительный рост робототехнических продуктов. Практически каждая крупная компания представила свою новую робототехническую платформу: NVIDIA Isaac Perceptor, Tesla Optimus, Unitree H1, Figure 01.

Данные компании имеют огромный штат разработчиков, покрывающих все необходимые для конструирования робототехники уровни: от низкоуровневого программирования микроконтроллеров, до высокоуровневой разработки мультимодальных нейронных сетей для выполнения возложенных на работа бизнес-процессов.

В данной конкурентной среде среднестатистической IT компании, имеющей ресурсы и наработки в области искусственного интеллекта и/или автоматизации бизнес-процессов достаточно сложно выйти на рынок. Это обусловлено тем, что вместо решения конкретных бизнес-задач, которые компания умеет решать хорошо, ей приходится иметь дело с низкоуровневой разработкой аппаратуры путем расширения штата разработчиков. Для этого приходится нанимать дорогостоящих инженеров-схемотехников и низкоуровневых программистов.

Для предотвращения данных расходов, ускорения разработки и возможности сосредоточиться на решении поставленных бизнес-задач можно использовать предлагаемый «Программно-аппаратный комплекс для быстрого прототипирования встраиваемых систем на базе linux».

Использование привычной программистам среды linux позволяет не расширять штат разработчиков, позволяет пере использовать уже написанный код и утилиты на целевой платформе без портирования их на микроконтроллер.

Данный подход позволит компаниям экономить средства на разработку, а также сосредоточиться на написании высокоуровневой логики роботизированной платформы, не отвлекаясь на низкоуровневые детали.

Подобный шаг вполне естественный и подобен переходу от ассемблера к высокоуровневым языкам. Появление первых компиляторов позволило программистам сосредоточиться на решении поставленных задач, не отвлекаясь на детали реализации аппаратуры того или иного вычислительного устройства.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы магистерской диссертации

В последние годы отмечается внушительный рост в области робототехнических продуктов. Однако, в условиях такой конкурентной среды для IT-компании, обладающей значительными ресурсами в области искусственного интеллекта и автоматизации бизнес-процессов, становится сложно выйти на рынок. Сложности возникают из-за необходимости вложений в низкоуровневую разработку аппаратуры и расширения штата разработчиков.

Для преодоления этих трудностей, ускорения разработки и возможности более фокусированного решения бизнес-задач предлагается использовать программно-аппаратный комплекс для быстрого прототипирования встраиваемых систем на базе Linux. Этот подход позволяет экономить средства на разработку, переиспользовать код и утилиты на целевой платформе без необходимости их портирования на микроконтроллеры.

Подобное решение переносит акцент с низкоуровневых деталей разработки на написание высокоуровневой логики роботизированных платформ, позволяя компаниям сосредоточиться на своих основных целях и задачах. Этот переход аналогичен прогрессу от ассемблера к высокоуровневым языкам программирования: появление первых компиляторов позволило программистам более эффективно решать задачи, не отвлекаясь на детали реализации аппаратуры.

Цель и задачи магистерской диссертации

Целью диссертационной работы является исследование и разработка «программно-аппаратного комплекса для быстрого прототипирования встраиваемых систем на базе linux».

Для достижения целей работы поставлены следующие задачи:

- изучить текущие комплексы для прототипирования, выделить их особенности и проблемы;
- проанализировать пользовательские предпочтения и выявить основные требования «идеального» комплекса для прототипирования, как с программной, так и с аппаратной точки зрения;
- выделить преимущества в использовании ОС при написании прошивок для встраиваемых систем;
- провести сравнительный анализ существующих real time операционных систем и выделить преимущества использования linux;
- изучить потенциальные проблемы и недостатки linux при работе в real time режиме, а также рассмотреть различные механизмы диспетчеризации и синхронизации потоков доступные в linux;

- сформулировать требования к аппаратному обеспечению разрабатываемого комплекса и подобрать удовлетворяющие им компоненты;
- сформулировать перечень поддерживаемых комплексом языков и фреймворков, позволяющих в значительной степени ускорить разработку;
- разработать программную модель взаимодействия всех компонентов системы, описать все поддерживаемые API и интерфейсы;
- подготовить техническую документацию для изготовления разрабатываемого комплекса;

Научная новизна

Научная новизна диссертационной работы состоит в предоставлении доказательной базы превосходства современных высокоинтегрированных SoC над микроконтроллерами в задачах связанных с разработкой робототехнических устройств, средствах автоматизации производства. Высоконагруженных систем реального времени; разработке и реализации архитектуры аппаратной системы для предоставления услуги hardware as a service.

Разработка архитектуры включает в себя:

- сравнительный анализ современных SoC для выбора наиболее подходящих вариантов;
- адаптация ядра операционной системы linux, для запуска на данных SoC с максимально возможной эффективностью;
- разработка периферийных блоков для возможности конфигурирования конечной архитектуры комплекса в зависимости от конкретных задач;
- разработка драйверов ядра linux для возможности работы с разработанными периферийными устройствами.

Основные положения выносимые на защиту

- 1 Исследование ключевых параметров производительности современных микроконтроллеров и SoC.
- 2 Структурная организация аппаратной части комплекса для возможности реконфигурирования параметров.

Личный вклад соискателя

Все вошедшие в диссертационную работу результаты были получены лично автором. Изложенные в данной диссертационной работы результаты основываются на исследованиях автора, проводимых на кафедре электронных вычислительных систем БГУИР. Архитектуры аппаратной и программной части адаптированы под конкретную задачу лично автором.

Опубликованность результатов диссертации

Результаты диссертационной работы опубликованы в сборниках материалов научных конференций студентов, магистрантов и аспирантов БГУИР.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе рассмотрена разница в разработке устройств используя классический и предлагаемый подход. Данная проблема рассмотрена в рамках нескольких подвопросов, среди которых:

- стоимость и время разработки;
- требования к квалификации персонала;
- гибкость и масштабируемость;
- поддержка и экосистема;
- надежность и безопасность.

Рассмотрены вопросы перехода от устаревшей методологии разработки с акцентом на детали реализации к современному более абстрагированному подходу.

Во второй главе работы был составлен список пунктов, по которым можно провести объективное сравнение двух подходов. Эти пункты отражают ключевые характеристики, определяющие производительность встраиваемых систем. Понимание и анализ этих характеристик позволяют оценить эффективность предлагаемого решения и оценить возможность его применения в определённых отраслях. К этим пунктам относятся:

- время обработки прерывания;
- скорость чтения ОЗУ и ПЗУ;
- энергоэффективность;
- производительность.

Затем для каждого из этих пунктов была разработана подробная методология для проведения испытания, а также выбран и описан статический метод проверки подлинности проверенных данных.

В третьей главе были произведены испытания согласно разработанным методикам. На рисунке 1 представлен пример проведенного теста.

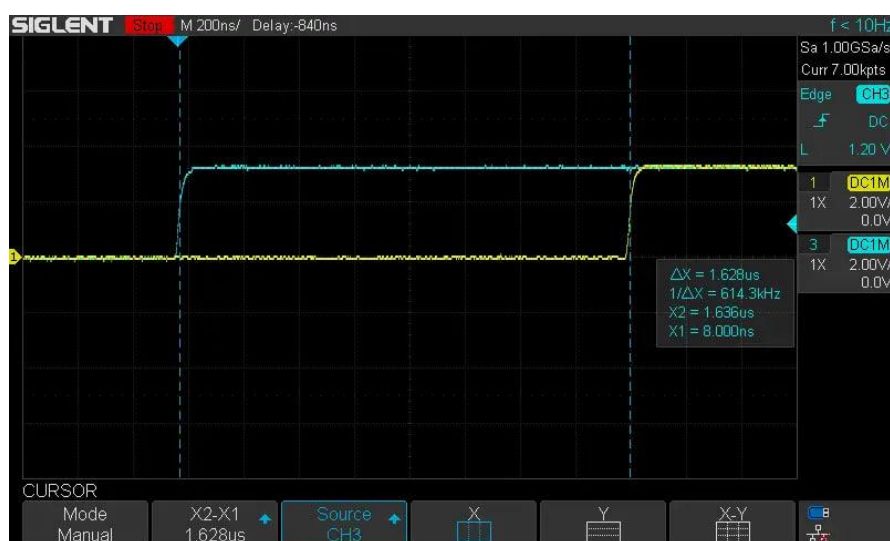


Рисунок 1 – испытания времени обработки прерывания

На рисунке 1 отражен результат тестирования времени обработки прерывания микроконтроллера STM32F103.

Также в данной главе были произведены все статистические расчеты, доказывающие достоверность полученных данных и сделаны выводы по результатам тестирования. Среди выводов фигурирует тот факт, что современные системы на кристалле значительно превосходят по своим возможностям микроконтроллеры, при гораздо более низких затратах на разработку программного обеспечения для них.

В четвертой главе работы представлена архитектура аппаратного комплекса, соответствующего идеи hardware as a service, в которой разработчики могут конфигурировать периферийные блоки в зависимости от нужд конкретной задачи, что позволит экономить как время на разработку уникального решения, так и стоимость при использовании стандартизированных вариантов.

Так же в данной главе показан пример успешного применения данной методики при разработки программно-аппаратного комплекса, который позволил существенно сократить затраты на разработку программного обеспечения для выполнения целевой задачи. Разработанное устройство продемонстрировано на рисунке 2.

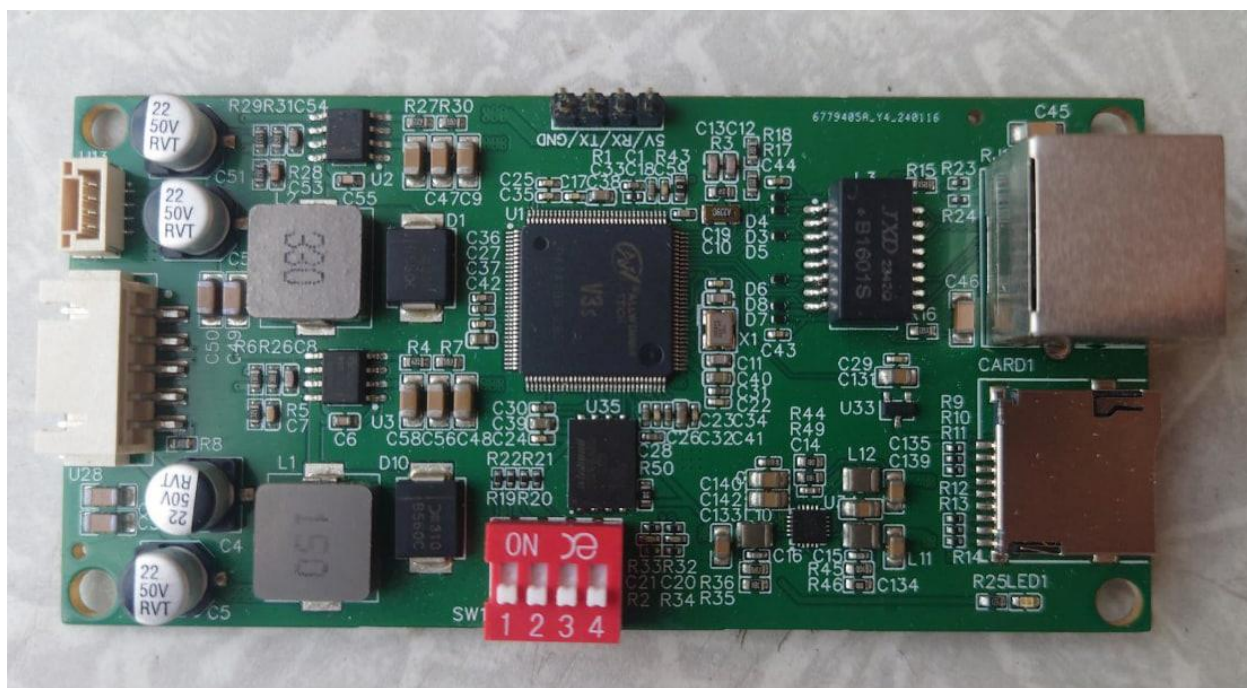


Рисунок 2 – разработанное по предлагаемой методологии устройство

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках данной диссертационной работы была проведена комплексная научно-исследовательская работа, посвященная сравнению ключевых параметров производительности современных SoC, а также разработана архитектура программно-аппаратного комплекса, использующего эти SoC.

В ходе исследования были достигнуты следующие цели:

- исследованы ключевые параметры производительности современных SoC и микроконтроллеров;

- проведен анализ и исследование характеристик ядра операционной системы linux реального времени;

- разработана архитектура аппаратного комплекса, соответствующего концепции hardware as a service;

- разработана модель программного кода, для поддержки реконфигурирования системы на этапе проектирования.

Полученные в ходе исследований результаты имеют большое значение как для создания систем автоматизации и робототехники в сфере машиностроения, так и для решения одиночных задач по вычислительно емкой обработке цифровых данных.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

[1] Ценцевицкий, Д. А. Buildroot для систем на кристалле семейства Allwinner F1CX00S = Software module for pattern recognition for microcomputers based on neural networks of YOLOv5 family / Д. А. Ценцевицкий // Компьютерные системы и сети : сборник статей 59-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 17–21 апреля 2023 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2023. – С. 119–123.