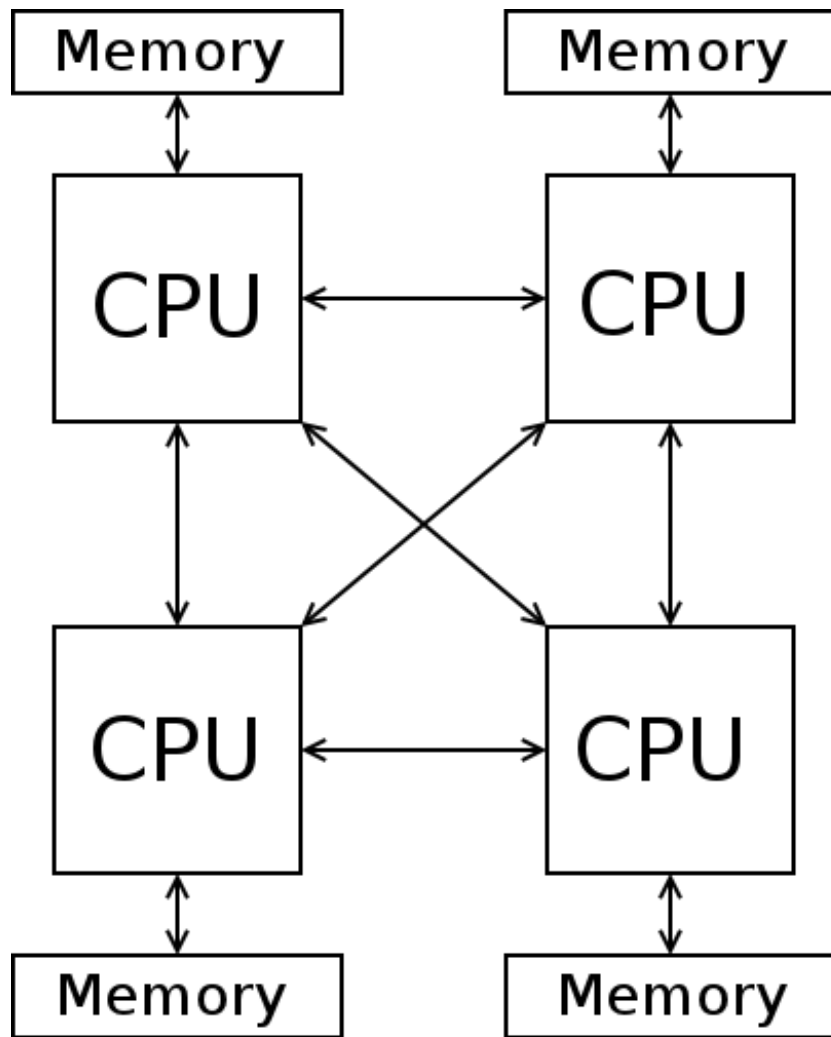


Магистерская диссертация

Верификация протокола поддержки когерентности памяти процессора «Эльбрус-2S»

Работу выполнил: Петроченков М.В. 613 гр
Научный руководитель: к.ф-м.н. Камкин А.С.

Кластер «Эльбрус-2S»

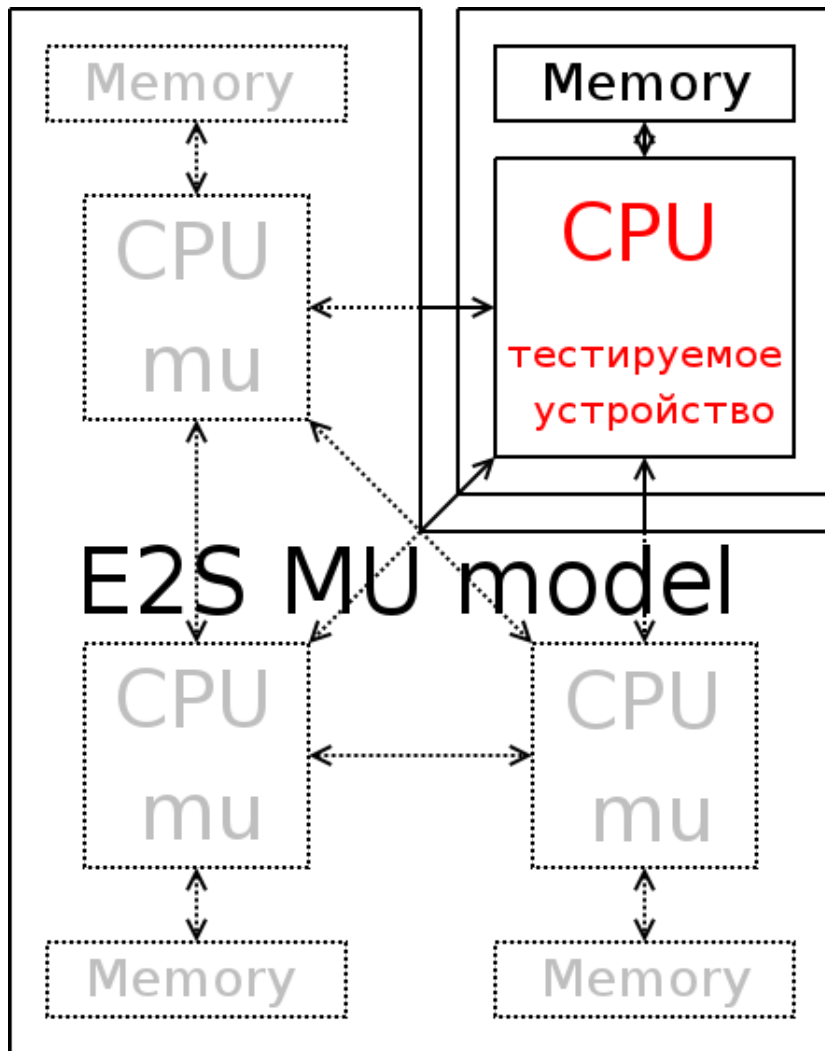


- 4 процессора соединенных по схеме «каждый с каждым».
- Неоднородный доступ к памяти (NUMA).
- Процессоры обладают кэш-памятью.
- MOSI - протокол поддержания когерентности памяти.

Постановка задачи

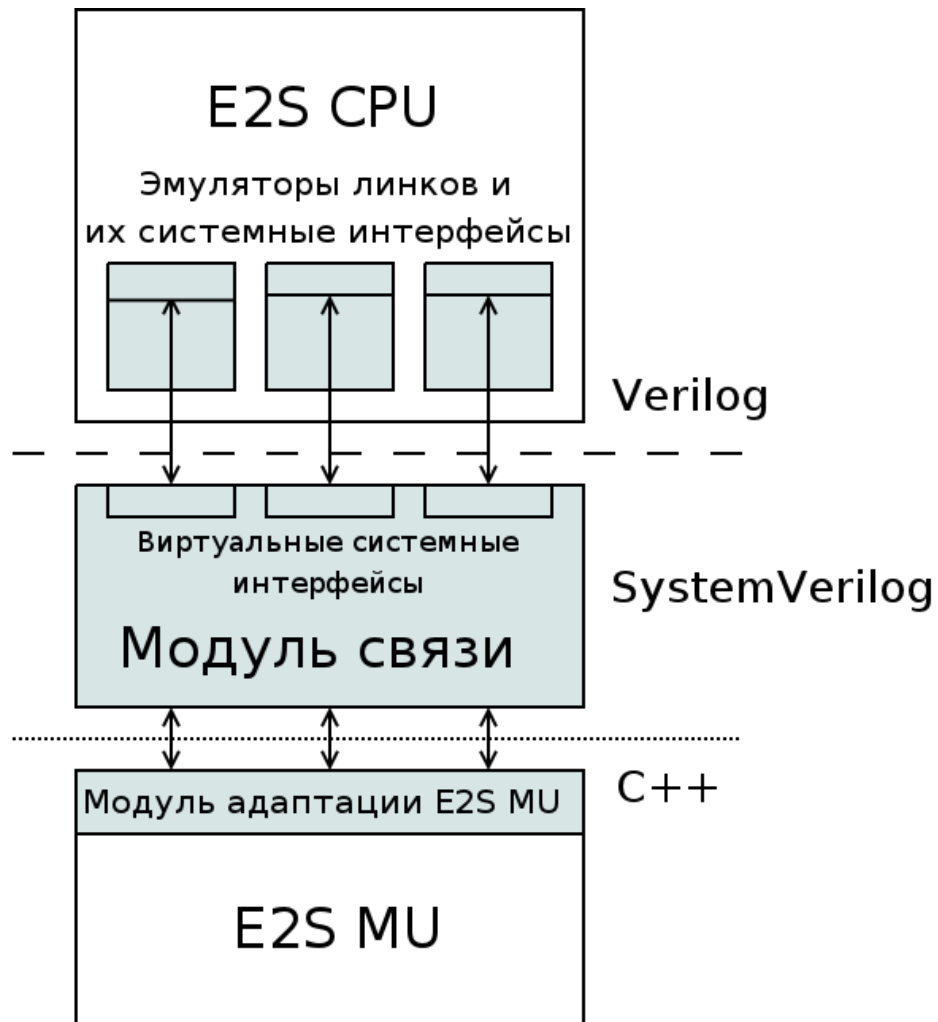
- Разработать тестовую систему для верификации протокола поддержания когерентности.
- Разработать средства генерации воздействий на тестовую систему.
- Использовать их для верификации реализации протокола поддержания когерентности процессора «Эльбрус-2S».

Принятый подход



- RTL-описание процессора — тестируемое устройство.
- Осуществляется **динамическая верификация** с помощью **случайных тестов**.
- Моделируется поведение кластера «Эльбрус-2S».
- E2S MU моделирует поведение подсистем памяти 3 процессоров кластера.
- **E2S MU обнаруживает ошибки** реализации протокола поддержки когерентности процессора.

Структура тестовой системы

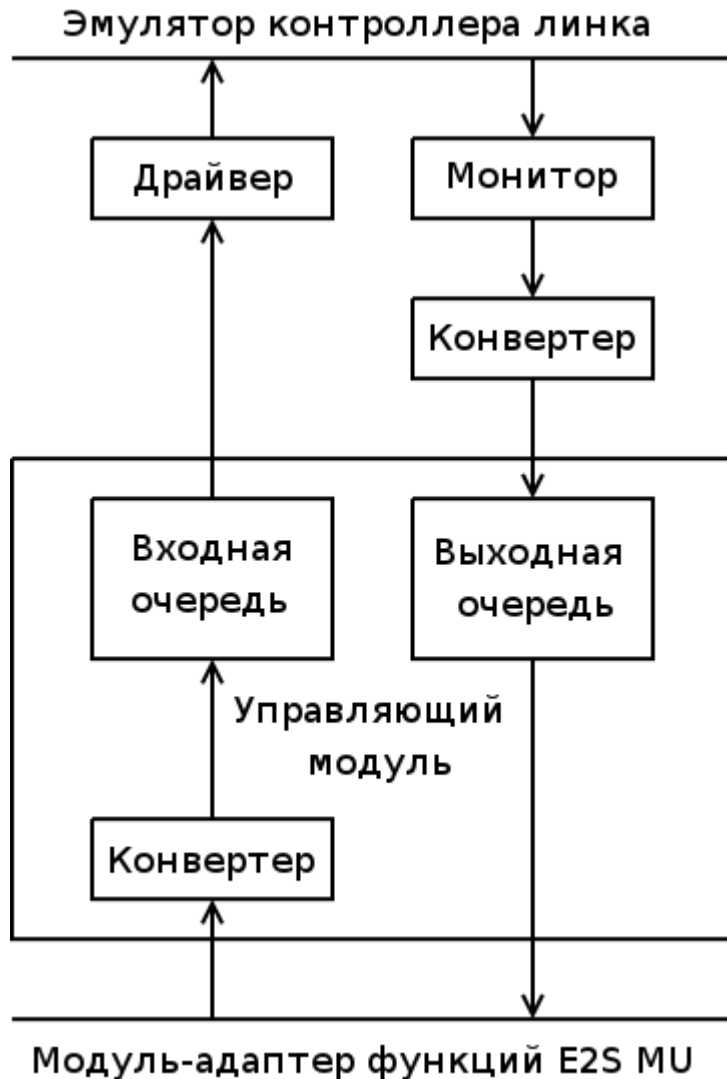


Разработаны дополнительные компоненты:

- Эмулятор контроллера межпроцессорного линка, предоставляющий системный интерфейс модулю связи.
- Модуль связи, передающий пакеты между частями системы.
- Модуль-адаптер функций модели E2S MU, для их вызова из модуля связи.

Модуль СВЯЗИ

Компоненты



- Драйверы и мониторы преобразуют пакеты в сигналы в интерфейсах и обратно.
- Конвертеры преобразуют представления пакетов:
 - С-подобная структура.
 - Двумерный массив битов.
- Управляющий модуль согласовывает работу остальных частей.

Модуль СВЯЗИ

Алгоритм работы

При старте осуществляются:

- Инициализация модели E2S MU;
- Ожидание готовности процессорных линков;

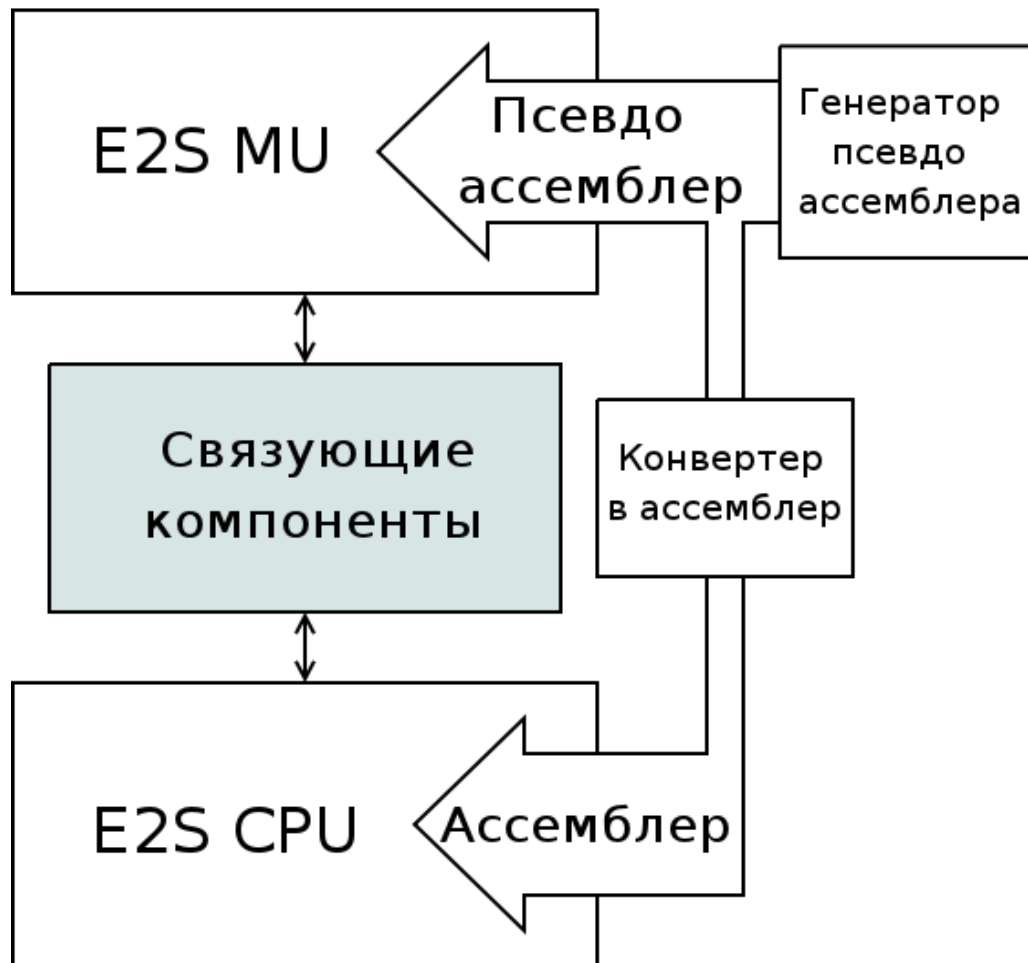
На каждом такте выполняются:

- Запись пакетов из E2S MU во входные очереди;
- Запуск передач пакетов драйверами;
- Передача в E2S MU пакетов из выходных очередей, при этом **модель проверяет корректность принятых пакетов;**
- Проверка условий завершения выполнения теста.

Модуль-адаптер

- Предоставляет тестовому окружению функции
 - инициализации модели E2S MU;
 - приема и передачи различных пакетов;
 - выполнения шага моделирования;
 - проверки завершения теста модели.
- **Проверяет корректность значений полей пакетов.**
- Преобразует поля пакетов.
- Протоколирует информацию об успешных вызовах функций E2S MU.

Воздействия на тестовую систему



- Генерируется псевдоассемблер модели E2S MU.
- Ассемблер процессора «Эльбрус-2S» конвертируется из псевдоассемблера.

Псевдоассемблер

- Включает следующие операции:
 - Чтение и запись (**load** и **store**);
 - Гашение строки кэша с записью модифицированных данных (**flush**);
 - AAU операции;
 - Семафорные операции;
 - Барьерная синхронизация;
 - Пустая операция (**nop**).
- Поддерживает типы памяти для load и store:
 - Write Back;
 - Write Back без заведения в кэше;
 - Write Through;
 - Write Through без заведения в кэше;
 - Write Combining;
 - Uncacheable;
- Комбинация операции и типа памяти определяет набор остальных аргументов и их допустимые значения.

Генератор псевдоассемблера

- Создает поток операций псевдоассемблера.
- Принимает в качестве аргументов:
 - количество тестов для генерации;
 - диапазоны адресов памяти в процессорах;
 - количество операций в тесте;
 - вероятности появления **операций** и **типов памяти** в тесте.
- Присваивает прочим параметрам допустимые значения случайным образом.

Конвертер в ассемблер

- Преобразует команды псевдоассемблера модели E2S MU в операции ассемблера.

| Команда псевдоассемблера | Операции ассемблера |
|--------------------------|--|
| Ld wb, wb_nc, wc, uc | Ld + MAS |
| St wb, wb_nc, wc, uc | Add data, 0, %r St %r MAS |
| Ld, St wt, wt_nc | Смена бита wt в таблице страниц Ld и St + MAS |
| flush | Ld + MAS |
| Ld lock, st unlock | Ld + MAS, St + MAS |
| nop | nop |

- Добавляет постоянную часть.

Возникшие проблемы и их решения

- × Моделирование тестовой системы затратно по времени.
 - ✓ Запуск моделирования на нескольких машинах.
- × Все компоненты системы могут содержать ошибки.
 - ✓ Отладка с помощью моделирования **кластера E2S MU**.
 - ✓ Создание механизмов для упрощения отладки E2S MU.

Конвертеры трасс тестовой системы

- Принцип работы - преобразование трассы модуля адаптации функций E2S MU.
- Реализация на языке Perl конвертирует трассу в C++-программу, содержащую вызовы функций E2S MU.
 - ✓ Позволяет оказывать на E2S MU произвольные воздействия.
 - × Работает с трассами ограниченной длины.
- Реализация на C++ «на лету» конвертирует трассу в вызовы функций E2S MU.
 - ✓ Работает с трассами произвольной длины.
 - × Не позволяет варьировать воздействия на E2S MU в широких пределах.

Результаты

- Реализованы компоненты тестовой системы.
- Реализованы генераторы случайных тестов для тестовой системы.
- Обнаружено **15** ошибок в процессоре «Эльбрус-2S».
- Обнаружено **44** ошибки в модели E2S MU.

Спасибо за внимание!

Дальнейшее развитие системы

- Адаптация тестовой системы для моделирования режима «мультилинк» процессора «Эльбрус-2S».
- Адаптация тестовой системы для моделирования многокластерной системы.

Объем кода

- ~2000 строк кода на C++
- ~1200 строк кода на Perl
- ~600 строк кода на ассемблере e2s
- ~4000 строк кода на SystemVerilog