Санкт-Петербургский государственный университет

Кафедра системного программирования

Динамическая бинарная трансляция в RISC-V с помощью Instrew

Михайлов Илья Игоревич, группа 21.Б07-мм

Научный руководитель: Д.С. Косарев, ассистент кафедры системного программирования

Санкт-Петербург
2024

Введение

- Бинарные трансляторы являются инструментами для анализа кода, профиляции и эмуляции
- Важным классом которых являются динамические бинарные трансляторы (далее — ДБТ)
- В качестве промежуточного представления для ДБТ хорошо использовать LLVM IR
  - Тулчейн LLVM позволяет проводить качественные оптимизации
- Хотим ДБТ для RISC-V

Обзор

- Динамические бинарные трансляторы:
  - QEMU-user
  - Rosetta 2
  - Valgrind
  - Box64
- Динамические бинарные трансляторы с поднятием в LLVM IR:
  - Instrew + Rellume
  - BinRec, HQEMU (не обновлялись с 2022 и 2018 года соответственно)
  - DBILL, LnQ, Lasagne (есть только статьи, либо код закрыт)

Обзор

- Выводы:
  - Instrew производительнее, чем QEMU и Valgrind (основываясь на бенчмарках[1])
  - Instrew "из коробки" имеет API для добавления инструментов бинарного анализа
  - Из всех рассмотренных ДБТ с поднятием в LLVM IR Instrew + Rellume поддерживается мейнтейнером
  - Instrew уже имеет guest-поддержку RISC-V

[1] https://mediatum.ub.tum.de/doc/1614897/1614897.pdf

Постановка задачи

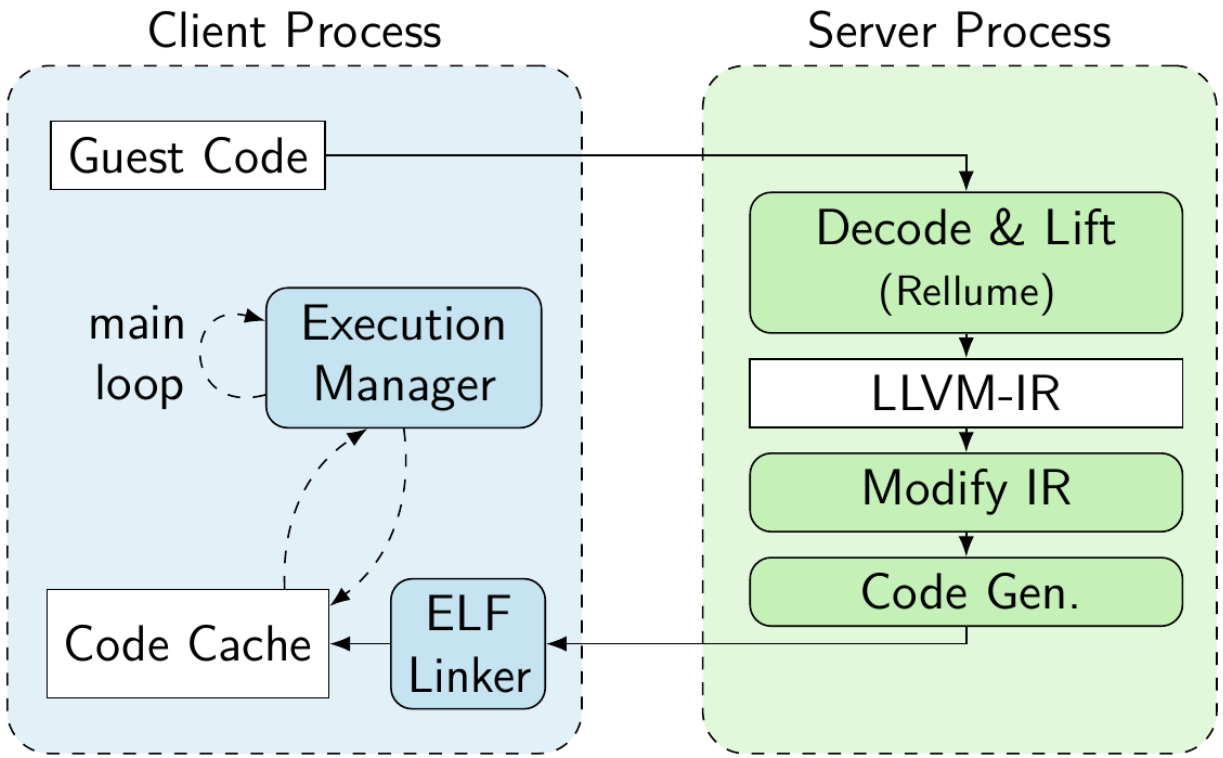
Цель: Добавить поддержку host-архитектуры RISC-V для ДБТ Instrew

Задачи:

1. Выполнить обзор архитектуры Instrew
2. Реализовать минимальную функциональность для запуска Instrew на RISC-V:
   - Скомпилировать, добавив процессорно-специфические патчи и проставив константы
   - Реализовать функции, связанные с RISC-V ABI
3. Протестировать на простых программах

Архитектура Instrew

- Является клиент-серверной
- Работа была проведена над клиентом Instrew



[2]

[2] диаграмма была взята отсюда

Реализация (1/2)

- Чтобы скомпилировать, необходимо:
  - Проставить константы
  - Написать на ассемблере точку входа в программу
- Оказалось, что не все псевдоинструкции описаны в документации RISC-V[3]

[3] https://reviews.llvm.org/D49661

Особенности Instrew (1/2)

- Клиент Instrew довольно таки непросто диагностировать
- Флаги сборки клиента Instrew:
  - Клиент во время запуска выдаёт ошибку сегментации
  - Asan и gprof здесь не работают
  - После локализации ошибки, стало понятно, что к клиенту динамически линкуется ld-linux, чего быть не должно
  - Оказалось, что –static-pie флаг у gcc-13 на x86_64 и RISC-V отличается семантикой
- Динамические релокации и атрибуты:
  - Так как instrew-client собирается и линкуется без libc, ему нужно самому обработать свои релокации
  - Клиент загадочно падет на какой-то релокации
  - Оказалось, что над объявлением функции memset стоит атрибут weak и из-за этого нужно реализовывать другую релокацию

Особенности Instrew (2/2)

- Сервер запускает клиент Instrew через fork и fexecve
  - follow-exec-mode не работал
  - Отдельно запуская клиент в gdb, не подгружались символы
  - Через некоторое время был найден флаг Instrew, который запускал клиент через execve
- Некоторый вывод:
  - Из-за специфических флагов сборки и линковки сложно диагностировать ошибки сегментации
  - Остается только gdb, Valgrind

Реализация (2/2)

- После успешного запуска клиента Instrew нужно:
  - Реализовать эмуляцию системных вызовов для RISC-V
  - Проставить трамплины в PLT таблице
  - Реализовать некоторые релокации для запуска просто примера
- Диагностировать ошибки непросто:
  - При неправильной подстановке опкода/адреса, нужно диагностировать память с помощью gdb
  - Без RISC-V декодера не обойтись

Тестирование

- Удалось успешно протестировать:
  - Программах без libc, исполняющих системные вызовы
  - Факториале и фибоначчи, выводящих результат в exit code
  - Факториале с минимальным рантаймом, который выводит результат на экран
- Не удалось протестировать на:
  - Динамически слинкованных программах и программах использующих libc
  - Программах, с флагами сборки -pie
  - Программах, где конкретная релокация еще не реализована
- Вывод:
  - Работают статически слинкованные программы, с простым рантаймом и системными вызовами

Заключение

В результате работы были выполнены следующие задачи:

1. Выполнен обзор архитектуры Instrew
2. Реализованы процессорно-специфические патчи и проставлены константы.
3. Реализована эмуляция системных вызовов, PLT трамплины и минимальный набор ELF релокаций
4. Instrew был протестирован на статически слинкованных программах, с простым рантаймом

Код доступен по данной ссылке.