

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Российская академия наук  
Российская академия архитектуры и строительных наук  
Администрация Белгородской области  
ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова  
Международное общественное движение инноваторов  
«Технопарк БГТУ им. В.Г. Шухова»

**Международная научно-техническая  
конференция молодых ученых  
БГТУ им. В.Г. Шухова,  
*посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова***



*Сборник докладов*

*Часть 13*

***Информационные технологии в управлении техническими  
системами и моделирование***

Белгород  
16-17 мая 2023 г.

|  |     |
|--|-----|
| МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ<br>МУЛЬТИРОТОРНЫМ БПЛА .....  | 498 |
| Тумко А.В.   |     |
| ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАТЕМАТИКА В НАШЕЙ ЖИЗНИ.....   | 502 |
| Фадеев Д.А.  |     |
| НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ УСТАНОВКИ ЛОКАЛЬНОГО<br>СЕРВЕРА НА ARDUINO С ПОМОЩЬЮ МОДУЛЯ W5500 .....  | 505 |
| Харитонов С.Д., Гребеник А.Г.  |     |
| ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ<br>СИСТЕМЫ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩЕЙ ГЕНЕРАЦИЮ<br>СТИХОТВОРНЫХ ТЕКСТОВ.....                         | 508 |
| Хмеленко В.Е.  |     |
| УЛУЧШЕНИЕ ПРОЦЕССА ТЕСТИРОВАНИЯ ВЕБ-СЕРВИСОВ С<br>ПОМОЩЬЮ СОБСТВЕННОГО ИНТЕРФЕЙСА ДЛЯ СОЗДАНИЯ<br>HTTP ЗАГЛУШЕК .....                | 512 |
| Хромых К.А.  |     |
| ПРИМЕНЕНИЕ ГРАФИЧЕСКИХ ПРОГРАММ В ИНЖЕНЕРНОЙ<br>ГРАФИКЕ И ИХ РОЛЬ В ФОРМИРОВАНИИ<br>ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ У СТУДЕНТОВ .....   | 516 |
| Чаплин Д.М.  |     |
| ПОЛЬЗА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНОГО<br>МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ.....   | 521 |
| Черных А. В., Воскобойников И.С.   |     |
| ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ ПРОЕКТА<br>ПРОГРАММНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ LLVM ДЛЯ<br>СОВМЕСТИМОСТИ МНОЖЕСТВА ЯЗЫКОВ<br>ПРОГРАММИРОВАНИЯ ..... | 524 |
| Черняев Г.Ю.   |     |
| МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ НА<br>ЭВМ.....  | 527 |
| Четвертухин В.Р.   |     |

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Теория линейных систем автоматического управления: учеб. пособие, /В. Г. Рубанов. Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. – 209 с.
2. Интернет-ресурс wiki5.ru. «Компьютерное моделирование – Computer simulation». URL: [https://wiki5.ru/wiki/Computer\\_simulation](https://wiki5.ru/wiki/Computer_simulation).
3. Интернет-ресурс Студенческий научный форум – 2020. «Области применения компьютерного моделирования». URL: <https://scienceforum.ru/2020/article/2018020700>.
4. Рубанов В.Г., Бушуев Д.А., Бажанов А.Г., Ващенко Р.А. Проектирование робототехнических систем и комплексов. Белгород: Изд-во БГТУ, 2020. – 190 с.
5. Интернет-ресурс ResearchGate «Динамическое имитационное моделирование в решении задач проектирования систем управления объектов нефтегазовой отрасли». URL: [https://www.researchgate.net/publication/337717440\\_Dinamiceskoe\\_i\\_mitacionnoe\\_modelirovanie\\_v\\_resenii\\_zadac\\_proektirovania\\_sistem\\_upravlenia\\_obektov\\_neftegazovoj\\_otrasli](https://www.researchgate.net/publication/337717440_Dinamiceskoe_i_mitacionnoe_modelirovanie_v_resenii_zadac_proektirovania_sistem_upravlenia_obektov_neftegazovoj_otrasli).
6. Интернет-ресурс ResarchGate. «Математическое моделирование технических систем в MATLAB». URL: [https://www.researchgate.net/publication/325662494\\_MATEMATICESKOE\\_MODELIROVANIE\\_TEHNICESKIH\\_SISTEM\\_V\\_SREDE\\_MATLAB](https://www.researchgate.net/publication/325662494_MATEMATICESKOE_MODELIROVANIE_TEHNICESKIH_SISTEM_V_SREDE_MATLAB)

УДК 510.644

*Черных А. В., Воскобойников И.С.*

*Научный руководитель: Шамраев А. А., канд. техн. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ ПРОЕКТА ПРОГРАММНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ LLVM ДЛЯ СОВМЕСТИМОСТИ МНОЖЕСТВА ЯЗЫКОВ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Компилятор – программное обеспечение (ПО), переводящее исходные текст на языке программирования в машинный код.

Low Level Virtual Machine (LLVM) – проект программной инфраструктуры для реализации компиляторов и смежных им утилит. Состоит из нескольких уровней:

1. Фронтенд: набор компиляторов из языков программирования высокого уровня;

2. Система оптимизации;
3. Бекенд: Интерпретатор и компилятор в машинный (нативный) код.

Фронтенд осуществляет кодирование их языка высокого уровня в байткод, называемый LLVM IR (Intermediate Representation, Промежуточное представление). LLVM IR – RISC-подобная платформонезависимая система кодирования машинных команд. Представляет собой высокоуровневый ассемблер, который не зависит от конкретной архитектуры процессора.

Система оптимизации осуществляет оптимизацию LLVM IR для повышения производительности. Здесь происходят первичные оптимизации, которые не зависят от платформы выполнения – наиболее общие оптимизации.

Бекенд осуществляет компиляцию LLVM IR в платформозависимый машинный код. Здесь происходит перевод команд в машинные инструкции, которые по-разному выполняются на каждой архитектуре. В зависимости от реализации данного слоя, могут происходить оптимизации более глубокого уровня, учитывая архитектуру процессора. Данный слой может быть представлен в виде двух видов:

1. Интерпретатор IR: выполняет сгенерированный IR-код, доступен по умолчанию в проекте LLVM;

2. Компилятор: выполняет компиляцию IR-кода в машинный код для необходимой платформы/архитектуры.

Благодаря такому разбиту на слои, каждый уровень может разрабатываться независимо от назначения. Реализованный фронтенд может быть оптимизирован уже написанными средствами и переведен на машинный код любой архитектуры, для которой реализован бекенд.

Фронтенд Clang (компилятор C++) хорошо зарекомендовал себя среди разработчиков. Также доступно множество фронтендов для существующих языков программирования и бекендов для множества существующих архитектур. Проект постоянно поддерживается разработчиками и сообществом, которые постоянно вносят новые инструменты языки программирования и архитектуры в перечень поддерживаемых.

Проект также содержит множество вспомогательных утилит для разработки, а именно:

1. Отладчик LLDB;
2. Утилита для улучшения компиляции для разнородного оборудования MLIR;



3. Компоновщик LLD;
4. Оптимизатор пост-ссылок BOLT.

Промежуточный код LLVM IR представляет собой C-подобный исходный код, описывающий модули и входящие в них подпрограммы и глобальные переменные. Подпрограммы состоят из машинных инструкций.

Важно отметить, что LLVM IR записан в SSA-форме (Static Single Assignment). В каждую переменную (или регистр) запись осуществляется только один раз. Благодаря этому свойству упрощается статический анализ потока данных.

Благодаря данной инфраструктуре компоновка нескольких языков программирования является возможной. Используются отдельно взятые инструменты фронтенда для преобразования исходных кодов высокого уровня в промежуточный машинный код LLVM IR. Далее, полученные с различных языков, тексты на промежуточном языке объединяются с помощью встроенного в инфраструктуру LLVM инструмента – компоновщика LLVM IR. Скомпонованный LLVM IR может быть скомпилированным одним из доступных бекендов для требуемой платформы/архитектуры.

Стоит упомянуть архитектуру проекта LLVM, она позволяет легко реализовать любой уровень из своей цепочки. Является хорошо документированным и имеет множество пользовательских и встроенных реализаций любого из перечисленных слоев.

Таким образом, был проведен анализ инфраструктуры LLVM, в частности, промежуточное представление LLVM IR, позволяющее сочетать несколько языков программирования высокого уровня в программе. Использование нескольких языков программирования в одном проекте необходимо, если проект охватывает сразу несколько областей. Благодаря инфраструктуре LLVM, это можно реализовать.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Ахо А., Сети Р., Ульман Д., Лам М. Компиляторы: принципы, технологии и инструменты: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 768 с.
2. Вирт Н., Гуткнехт Ю. Разработка операционной системы и компилятора. Проект Оберон: Пер. с англ. Борисов Е.В., Чернышов Л.Н. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 560 с.
3. Лопес Б.К., Аулер Р. LLVM: инфраструктура для разработки компиляторов. / пер. с англ. Киселев А.Н. – М.: ДМК Пресс, 2015. – 342 с.