



Санкт-Петербургский государственный университет
Кафедра системного программирования

Разработка инфраструктуры для создания специализированных ускорителей на основе Interaction Nets

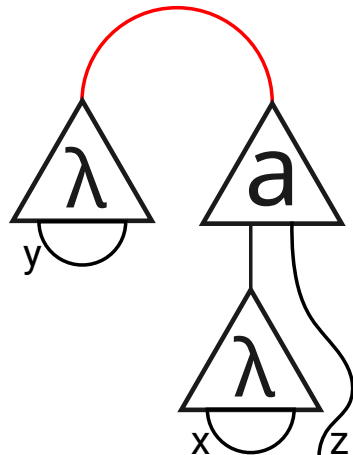
Ефим Кубышкин Николай Пономарев

Санкт-Петербург
2025

- Современные вычислительные системы сталкиваются с растущей потребностью в параллельной обработке данных
- Традиционные архитектуры процессоров неэффективны для нерегулярного параллелизма
- 👍 Interaction Nets — формализм, предложенный Ивом Лафоном в 1989 году, для которого нерегулярный параллелизм естественен
- 👎 На данный момент существуют только программные реализации

Interaction Nets

- Математическая модель, основанная на графовых грамматиках
- Переписывания (редукции) независимы
- Доказана полнота по Тьюрингу и свойство независимости порядка вычислений
- Метки на вершинах и правила грамматики можно менять \Rightarrow высокая степень параметризуемости



Цель и задачи проекта

Цель: Разработка параметризуемого многоядерного ускорителя на основе Interaction Nets

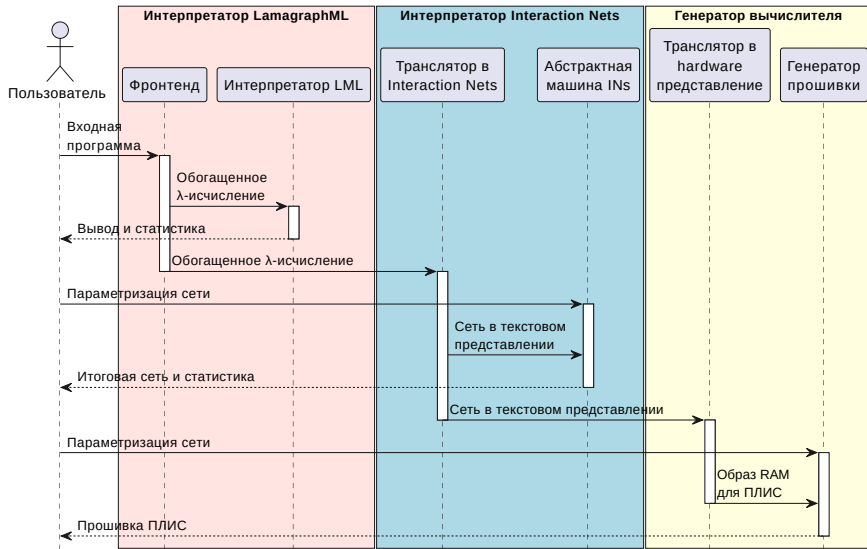
Этапы достижения цели:

- 1. Создание минимальной инфраструктуры для создания специализированных ускорителей на основе Interaction Nets
- 2. Реализация параметризации в Interaction Nets
- 3. Добавление поддержки многоядерности
- 4. Проведение экспериментов

Требования к первому этапу

- Использование единого стека технологий — гомогенность
 - Позволяет упростить цепочку обработки данных
- Получение полнофункционального прототипа, содержащего все компоненты, важнее, чем детальная проработка какого-то отдельного компонента
 -
- Возможность сбора статистики
 -
- На каждом этапе можем получить какойто результат, значит можем тестировать

Lamagraph



Интерпретатор LamagraphML

- Проекты, реализующие Interaction Nets, обычно ставят своей целью реализацию интерпретатора Interaction Nets
- Поэтому для программирования используют собственные языки программирования, часто довольно сложные и синтаксически далёкие от массовых
- Мы же хотим использовать Interaction Nets как ассемблер, выдав программисту высокоуровневый язык
- Выбор именно функциональной парадигмы продиктован "близостью" Interaction Net к λ -исчислению, и большими возможностями к параллелизму (чистота функций)
- Синтаксис высокоуровневого языка основан на ML с системой типов Хиндли-Милнера
- Фронтенд выдаёт обогащенное λ -исчисление, которое а) интерпретируется; б) перегоняется в Interaction Nets

Интерпретаторы Interaction Nets

- Используется текстовое представление Interaction Nets
- State-of-the-art наука умеет транслировать только λ -исчисление

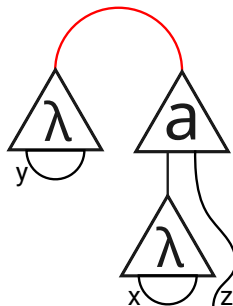
Исходных терм:

$$(\lambda x.x)(\lambda y.y)$$

Текстовое представление:

$$\langle z \mid a(z, \lambda(x, x)) = \lambda(y, y) \rangle$$

Графическое представление:



- Язык описания программного обеспечения, основанный на Haskell
- Активно использует систему типов
- Unit тесты для комбинационной логики, симуляция последовательностной логики, test bench на Verilog

Генератор вычислителя

Подробности

- Интерпретация Interaction Nets, представленных в виде списка смежности
- Сбор статистики: количество тактов, количество редукций, максимальный размер сети
- Параметризация правилами переписывания и метками на узлах через типы

Программа на LamagraphML

- ✓ Интерпретация
- ✓ Трансляция в Interaction Nets (только λ -исчисление)
- ⚙ Трансляция в Interaction Nets

Абстрактная машина

- ✓ Интерпретация
- ✓ Сбор статистики
- ✓ Параметризация сетей

Генерация вычислителя

- ✓ Интерпретация
- ✓ Сбор статистики
- ✓ Параметризация сетей
- ✓ Тесты, симуляция