



Специализация miniKanren: почему так сложно

Автор: Екатерина Вербицкая

Лаборатория языковых инструментов JetBrains

19 декабря 2020

Программа — отношение:

$$\begin{aligned} \text{len}^o \ l \ n = & \\ & (l \equiv [] \wedge n \equiv 0) \\ & \vee (\exists \ h \ t \ m \\ & \quad (l \equiv h : t \\ & \quad \wedge n \equiv 1 + m \\ & \quad \wedge \text{len}^o \ t \ m)) \end{aligned}$$

Выполнение в различных направлениях:

$$\text{len}^o \ [0,1] \ ? \rightsquigarrow 2$$

$$\text{len}^o \ ? \ 2 \rightsquigarrow [_{.}0, _{.}1]$$

Реляционные интерпретаторы для синтеза программ

$$\text{eval}^\circ \subseteq \text{Program} \times \text{Input} \times \text{Output}$$
$$\text{eval}^\circ p\ 1\ 1 \wedge \text{eval}^\circ p\ 2\ 1 \wedge$$
$$\text{eval}^\circ p\ 3\ 2 \wedge \text{eval}^\circ p\ 4\ 3 \wedge$$
$$\text{eval}^\circ p\ 5\ 5 \wedge \text{eval}^\circ p\ 6\ 8$$

Реализация реляционных интерпретаторов

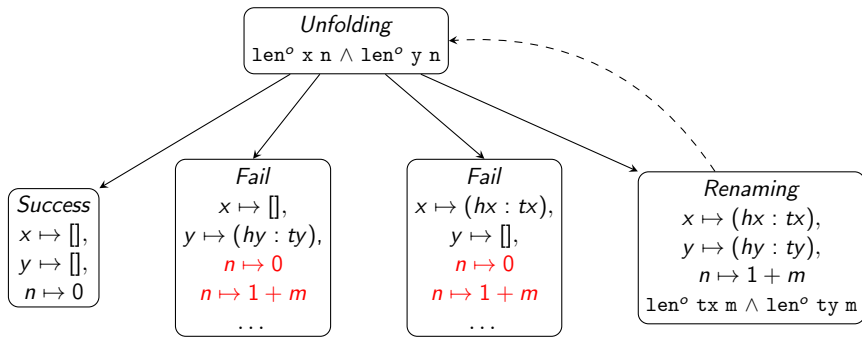
- Реализовать функциональный интерпретатор
- Транслировать функциональный интерпретатор на miniKanren
- Запустить реляционный интерпретатор в обратном направлении
- Транслятор генерирует неэффективный код (в некоторых направлениях)
- Специализация помогает избавиться от неэффективности

Lozov, P., Verbitskaia, E. and Boulytchev, D., 2019.
Relational Interpreters for Search Problems.

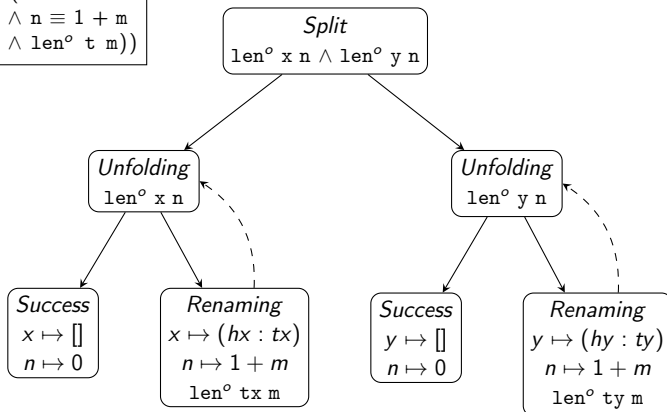
Разработать методы специализации `miniKanren`, которые обеспечивают применимость реляционных интерпретаторов для синтеза

- Реализовать консервативную частичную дедукцию для `miniKanren`
- Поэкспериментировать с суперкомпиляцией для `miniKanren`
- Реализовать трансляцию реляционных программ в функциональные
- Сравнить и выбрать самую адекватную стратегию

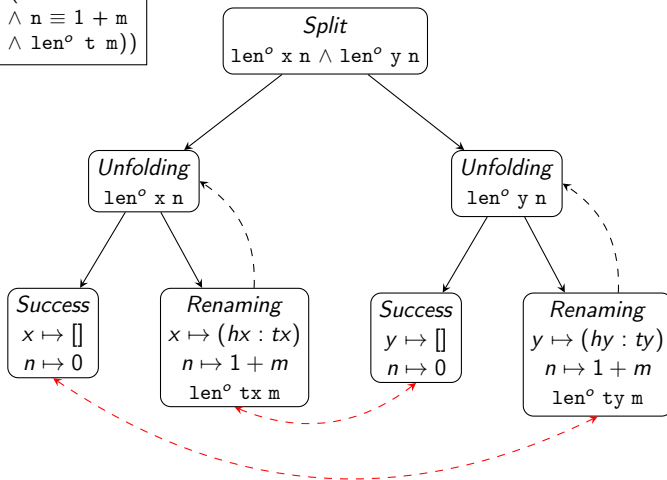
Специализация для miniKanren: полное раскрытие

$$\begin{aligned} \text{len}^\circ \text{ l n} = & \\ & (\text{l} \equiv [] \wedge \text{n} \equiv 0) \\ & \vee (\exists \text{ h t m} \\ & \quad (\text{l} \equiv \text{h} : \text{t} \\ & \quad \wedge \text{n} \equiv 1 + \text{m} \\ & \quad \wedge \text{len}^\circ \text{ t m})) \end{aligned}$$
$$\begin{aligned} \text{lenlen}^\circ \text{ x y n} = & \\ & (\text{x} \equiv [] \wedge \text{y} \equiv [] \wedge \text{n} \equiv 0) \\ & \vee (\exists \text{ h t h1 t1 m} \\ & \quad (\text{x} \equiv \text{hx} : \text{tx} \\ & \quad \wedge \text{y} \equiv \text{hy} : \text{ty} \\ & \quad \wedge \text{n} \equiv 1 + \text{m} \\ & \quad \wedge \text{lenlen}^\circ \text{ tx ty m})) \end{aligned}$$


Специализация для miniKanren: раннее расщепление

$$\begin{aligned} \text{len}^\circ l \ n = & \\ & (l \equiv [] \wedge n \equiv 0) \\ & \vee (\exists h \ t \ m \\ & \quad (l \equiv h : t \\ & \quad \wedge n \equiv 1 + m \\ & \quad \wedge \text{len}^\circ t \ m)) \end{aligned}$$
$$\begin{aligned} \text{lenlen}^\circ x \ y \ n = & \\ & \text{len}^\circ x \ n \wedge \text{len}^\circ y \ n \end{aligned}$$


Специализация для miniKanren: раннее расщепление

$$\begin{aligned} \text{len}^\circ l \ n = & \\ & (l \equiv [] \wedge n \equiv 0) \\ & \vee (\exists h \ t \ m \\ & \quad (l \equiv h : t \\ & \quad \wedge n \equiv 1 + m \\ & \quad \wedge \text{len}^\circ t \ m)) \end{aligned}$$
$$\begin{aligned} \text{lenlen}^\circ x \ y \ n = & \\ & \text{len}^\circ x \ n \wedge \text{len}^\circ y \ n \end{aligned}$$


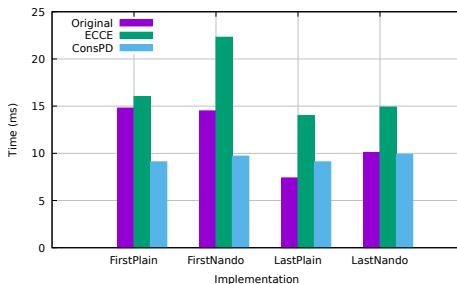
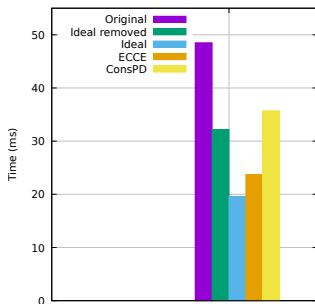
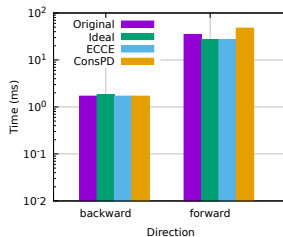
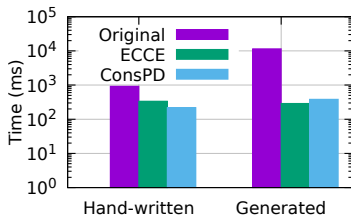
Консервативная частичная дедукция для miniKanren

Вместо раннего расщепления действуем консервативно:

- Временно расщепляем конъюнкцию
- Анализируем конъюнкты в изоляции
- Если какой-то конъюнкт уменьшает пространство поиска, объединяем конъюнкцию и анализируем ее целиком
- Иначе расщепляем конъюнкцию навсегда

Verbitskaia E, Berezun D, Boulytchev D.
An Empirical Study of Partial Deduction for miniKanren.

Консервативная частичная дедукция: результаты



Главная причина непредсказуемой производительности

`miniKanren` **очень** чувствителен к порядку дизъюнктов и конъюнктов

Влияние порядка дизъюнктов на производительность

```
evalo p s r =  
  (p ≡ Var v      ∧  
   lookupo s v r)  
∨  
  (p ≡ Neg x      ∧  
   evalo x s rx ∧  
   noto rx r)  
∨  
  (p ≡ Conj x y ∧  
   evalo x s rx ∧  
   evalo y s ry ∧  
   ando rx ry r)  
∨  
  (p ≡ Disj x y ∧  
   evalo x s rx ∧  
   evalo y s ry ∧  
   oro rx ry r)
```

```
evalo p s r =  
  (p ≡ Disj x y ∧  
   evalo x s rx ∧  
   evalo y s ry ∧  
   oro rx ry r)  
∨  
  (p ≡ Conj x y ∧  
   evalo x s rx ∧  
   evalo y s ry ∧  
   ando rx ry r)  
∨  
  (p ≡ Neg x      ∧  
   evalo x s rx ∧  
   noto rx r)  
∨  
  (p ≡ Var v      ∧  
   lookupo s v r)
```

Влияние порядка конъюнктов на производительность

```
leno l n =  
  (l ≡ [] ∧ n ≡ 0)  
  ∨ (∃ h t m  
      ( l ≡ h : t  
        ∧ n ≡ 1 + m  
        ∧ leno t m))
```

```
leno l n =  
  (l ≡ [] ∧ n ≡ 0)  
  ∨ (∃ h t m  
      ( l ≡ h : t  
        ∧ leno t m  
        ∧ n ≡ 1 + m))
```

Причина непредсказуемой производительности

`miniKanren` **очень** чувствителен к порядку дизъюнктов и конъюнктов

- Производительность измеряется как время, необходимое для получения первых n ответов
- При трансляции порядок ответов изменяется
- Когда первыми начинают вычисляться более “сложные” ответы, на их вычисление требуется больше времени

Но! Специализация уменьшает количество элементарных операций, выполняемых при поиске отдельных ответов

Что делать?

- Гарантировать тот же порядок ответов

Что делать?

- Гарантировать тот же порядок ответов (сложно)

Что делать?

- Гарантировать тот же порядок ответов (сложно)
- Измерять производительность только на программах, возвращающих конечное множество ответов

Что делать?

- Гарантировать тот же порядок ответов (сложно)
- Измерять производительность только на программах, возвращающих конечное множество ответов (бесполезно)

Что делать?

- Гарантировать тот же порядок ответов (сложно)
- Измерять производительность только на программах, возвращающих конечное множество ответов (бесполезно)
- Замерять время, необходимое на каждый ответ

Что делать?

- Гарантировать тот же порядок ответов (сложно)
- Измерять производительность только на программах, возвращающих конечное множество ответов (бесполезно)
- Замерять время, необходимое на каждый ответ (нереалистично)

Что делать?

- Гарантировать тот же порядок ответов (сложно)
- Измерять производительность только на программах, возвращающих конечное множество ответов (бесполезно)
- Замерять время, необходимое на каждый ответ (нереалистично)
- Подсчитывать количество элементарных операций, выполненных для получения каждого ответа

Что делать?

- Гарантировать тот же порядок ответов (сложно)
- Измерять производительность только на программах, возвращающих конечное множество ответов (бесполезно)
- Замерять время, необходимое на каждый ответ (нереалистично)
- Подсчитывать количество элементарных операций, выполненных для получения каждого ответа (показательно)

Разработаны и реализованы несколько модификаций
суперкомпиляторов для miniKanren

Результаты неоднозначные: один и тот же специализатор может как
ускорять, так и замедлять программу

Трансляция из miniKanren в функциональный язык (Ирина Артемьева)

- Учитывается направление вычисления
- Производится анализ времени связывания для определения правильного порядка вычислений
- Функциональные программы работают лучше, чем исходные
- Неясно, как определить наиболее оптимальный порядок вызовов рекурсивных функций
- Не гарантируется тот же порядок ответов

- Реализована консервативная частичная дедукция для `miniKanren`
- Подобрана метрика для сравнения производительности
- Реализованы несколько модификаций суперкомпиляции для `miniKanren`
- Реализован транслятор реляционных программ в функциональные, использующий анализ времени связывания

Задачи на будущее

- Добавить несколько модификаций в консервативную частичную дедукцию
- Разработать модель для оценки производительности программ на `miniKanren`
- Изучить поведение программ после трансляции при выполнении `miniKanren` со справедливой конъюнкцией и дизъюнкцией
- Доработать транслятор в функциональный язык

- Публикации

- Verbitskaia E, Berezun D, Boulytchev D. An Empirical Study of Partial Deduction for miniKanren. (miniKanren workshop при ICFP)
- Артемьева И, Вербицкая Е. Анализ времени связывания для реляционных программ. (SEIM)
- Kuklina M, and Verbitskaia E: Supercompilation Strategies of Relational Programs. (TEASE-LP)
- Verbitskaia E, Artemeva I and Berezun D: Binding-Time Analysis for miniKanren. (TEASE-LP)

- Преподавание

- Лекции и практика по формальным языкам (СПбГУ, ИТМО, ВШЭ, ЛЭТИ)
- 2 защищенных магистерских работы