

Анализ графов с использованием формальных языков в качестве ограничений на пути

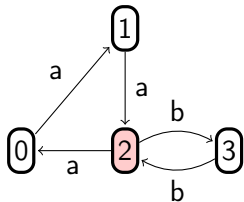
Заготовки для докторской диссертации

Семён Григорьев

Санкт-Петербургский Государственный Университет

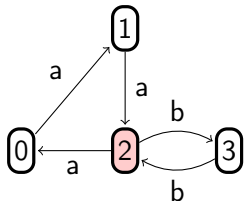
!!! !!!! 2026

Формальные языки и ограничения на пути в графе



- $G = \langle V, E, L \rangle$ — (ориентированный) граф с метками на рёбрах
- Путь π задаёт слово: $\omega(2\pi_1) = \omega(2 \xrightarrow{a} 0 \xrightarrow{a} 1) = aa$
- Ищем пути, задающие слова определённого вида
 - ▶ Например, слова вида a^*b
- Множество слов — язык \mathcal{L} над алфавитом Σ
 - ▶ Для удобства будем считать, что $\Sigma \cap L \neq \emptyset$

Формальные языки и ограничения на пути в графе

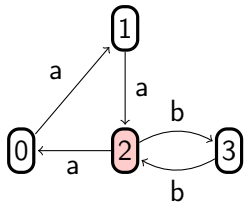


- $G = \langle V, E, L \rangle$ — (ориентированный) граф с метками на рёбрах
- Путь π задаёт слово: $\omega(2\pi_1) = \omega(2 \xrightarrow{a} 0 \xrightarrow{a} 1) = aa$
- Ищем пути, задающие слова определённого вида
 - ▶ Например, слова вида a^*b
- Множество слов — язык \mathcal{L} над алфавитом Σ
 - ▶ Для удобства будем считать, что $\Sigma \cap L \neq \emptyset$

Варианты задач Formal Language Constrained Path Quering (FLPQ)

Для данного графа G , стартовых вершин $V_s \in V$ и финальных вершин $V_f \in V$, языка \mathcal{L}

Формальные языки и ограничения на пути в графе



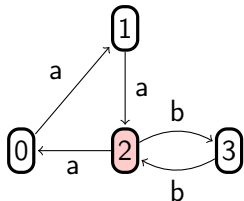
- $G = \langle V, E, L \rangle$ — (ориентированный) граф с метками на рёбрах
- Путь π задаёт слово: $\omega(2\pi_1) = \omega(2 \xrightarrow{a} 0 \xrightarrow{a} 1) = aa$
- Ищем пути, задающие слова определённого вида
 - ▶ Например, слова вида a^*b
- Множество слов — язык \mathcal{L} над алфавитом Σ
 - ▶ Для удобства будем считать, что $\Sigma \cap L \neq \emptyset$

Варианты задач Formal Language Constrained Path Querying (FLPQ)

Для данного графа G , стартовых вершин $V_s \in V$ и финальных вершин $V_f \in V$, языка \mathcal{L}

- Задача достижимости: $R = \{(u, v) \mid \omega({}_u\pi_v) \in \mathcal{L}, u \in V_s, v \in V_f\}$

Формальные языки и ограничения на пути в графе



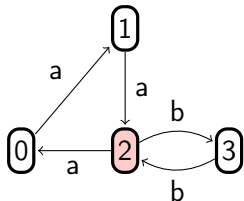
- $G = \langle V, E, L \rangle$ — (ориентированный) граф с метками на рёбрах
- Путь π задаёт слово: $\omega(2\pi_1) = \omega(2 \xrightarrow{a} 0 \xrightarrow{a} 1) = aa$
- Ищем пути, задающие слова определённого вида
 - ▶ Например, слова вида a^*b
- Множество слов — язык \mathcal{L} над алфавитом Σ
 - ▶ Для удобства будем считать, что $\Sigma \cap L \neq \emptyset$

Варианты задач Formal Language Constrained Path Quering (FLPQ)

Для данного графа G , стартовых вершин $V_s \in V$ и финальных вершин $V_f \in V$, языка \mathcal{L}

- Задача достижимости: $R = \{(u, v) \mid \omega(u\pi_v) \in \mathcal{L}, u \in V_s, v \in V_f\}$
- Задача поиска всех путей: $P = \{\pi \mid \omega(u\pi_v) \in \mathcal{L}, u \in V_s, v \in V_f\}$

Формальные языки и ограничения на пути в графе



- $G = \langle V, E, L \rangle$ — (ориентированный) граф с метками на рёбрах
- Путь π задаёт слово: $\omega(2\pi_1) = \omega(2 \xrightarrow{a} 0 \xrightarrow{a} 1) = aa$
- Ищем пути, задающие слова определённого вида
 - Например, слова вида a^*b
- Множество слов — язык \mathcal{L} над алфавитом Σ
 - Для удобства будем считать, что $\Sigma \cap L \neq \emptyset$

Варианты задач Formal Language Constrained Path Quering (FLPQ)

Для данного графа G , стартовых вершин $V_s \in V$ и финальных вершин $V_f \in V$, языка \mathcal{L}

- Задача достижимости: $R = \{(u, v) \mid \omega(u\pi_v) \in \mathcal{L}, u \in V_s, v \in V_f\}$
- Задача поиска всех путей: $P = \{\pi \mid \omega(u\pi_v) \in \mathcal{L}, u \in V_s, v \in V_f\}$
- Задача поиска одного пути
- Задача проверки наличия достижимых пар

Теория графов

- Классические варианты известных задач
 - ▶ Достижимость
 - ▶ Поиск путей
 - ▶ Между всем парами вершин
 - ▶ От заданных вершин
 - ▶ ...
- Способы представления графов
- Разновидности графов:
 - ▶ С циклами
 - ▶ Без циклов
 - ▶ ...

Теория графов

- Классические варианты известных задач
 - ▶ Достижимость
 - ▶ Поиск путей
 - ▶ Между всем парами вершин
 - ▶ От заданных вершин
 - ▶ ...
- Способы представления графов
- Разновидности графов:
 - ▶ С циклами
 - ▶ Без циклов
 - ▶ ...

Теория формальных языков

- Способы задания ограничений
 - ▶ Автоматы
 - ▶ Грамматики
 - ▶ ...
- Разрешимость
 - ▶ Проверка пустоты пересечения языков
 - ▶ Замкнутость относительно пересечения с регулярными языками
 - ▶ ...
- Представление результата
 - ▶ Пересечение языков — язык
 - ▶ Способы задания языков
 - ▶ ...

- Регулярные языки
 - ▶ Графовые базы данных (Regular Path Queries, RPQ)
 - ★ Поддерживается (частично) в ряде существующих языков запросов (типа Cypher)

- Регулярные языки
 - ▶ Графовые базы данных (Regular Path Queries, RPQ)
 - ★ Поддерживается (частично) в ряде существующих языков запросов (типа Cypher)
- Контекстно-свободные языки
 - ▶ Статический анализ кода (Context-Free Language Reachability, CFL-r)
 - ★ Анализ потока данных (межпроцедурный анализ указателей), разрешение имён, унификация, ...
 - ▶ Графовые базы данных (Context-Free Path Querying, CFPQ)
 - ★ Биоинформатика, анализ происхождения данных, анализ иерархий (в RDF), ...

- Регулярные языки
 - ▶ Графовые базы данных (Regular Path Queries, RPQ)
 - ★ Поддерживается (частично) в ряде существующих языков запросов (типа Cypher)
- Контекстно-свободные языки
 - ▶ Статический анализ кода (Context-Free Language Reachability, CFL-r)
 - ★ Анализ потока данных (межпроцедурный анализ указателей), разрешение имён, унификация, ...
 - ▶ Графовые базы данных (Context-Free Path Querying, CFPQ)
 - ★ Биоинформатика, анализ происхождения данных, анализ иерархий (в RDF), ...
- За пределами контекстно-свободных языков
 - ▶ Многокомпонентные контекстно-свободные (MCFL): статический анализ кода
 - ▶ Линейные конъюнктивные (Linear Conjunctive): статический анализ кода

Запросы с ограничениями в виде регулярных языков

- Хорошо изучены
 - ▶ Впервые введены в работе A. O. Mendelzon and P. T. Wood. 1989. Finding regular simple paths in graph databases.
 - ▶ Большое количество прикладных и теоретических работ

Запросы с ограничениями в виде регулярных языков

- Хорошо изучены
 - ▶ Впервые введены в работе A. O. Mendelzon and P. T. Wood. 1989. Finding regular simple paths in graph databases.
 - ▶ Большое количество прикладных и теоретических работ
- Часть стандартов ISO языков запросов
 - ▶ ISO/IEC 9075-16:2023 Information technology — Database languages — SQL Part 16: **Property Graph Queries (SQL/PGQ)**
 - ▶ ISO/IEC 39075:2024 Information technology — Database languages — **GQL**

Запросы с ограничениями в виде регулярных языков

- Хорошо изучены
 - ▶ Впервые введены в работе A. O. Mendelzon and P. T. Wood. 1989. Finding regular simple paths in graph databases.
 - ▶ Большое количество прикладных и теоретических работ
- Часть стандартов ISO языков запросов
 - ▶ ISO/IEC 9075-16:2023 Information technology — Database languages — SQL Part 16: **Property Graph Queries (SQL/PGQ)**
 - ▶ ISO/IEC 39075:2024 Information technology — Database languages — **GQL**
- ! Проблемы с производительностью
 - ▶ Angela Bonifati, George Fletcher, Hannes Voigt, and Nikolay Yakovets. 2018. Querying Graphs
 - ▶ Diego Arroyuelo, et al. 2023. Optimizing RPQs over a compact graph representation

Запросы с ограничениями в виде контекстно-свободных языков

- Активно изучаются
 - ▶ Родоначальники: Томас Репс и Михалис Яннакакис
 - ★ Thomas Reps. 1997. Program analysis via graph reachability
 - ★ Mihalis Yannakakis. 1990. Graph-theoretic methods in database theory
 - ▶ Большое количество прикладных и теоретических работ
 - ▶ Известные открытые вопросы
 - ★ Существование истинно субкубического алгоритма для задачи достижимости

Запросы с ограничениями в виде контекстно-свободных языков

- Активно изучаются
 - ▶ Родоначальники: Томас Репс и Михалис Яннакакис
 - ★ Thomas Reps. 1997. Program analysis via graph reachability
 - ★ Mihalis Yannakakis. 1990. Graph-theoretic methods in database theory
 - ▶ Большое количество прикладных и теоретических работ
 - ▶ Известные открытые вопросы
 - ★ Существование истинно субкубического алгоритма для задачи достижимости
- Существуют инструменты (академические прототипы) анализа кода на основе CFL-r
 - ▶ POCR, PEARL, GASPAN, GIGASCALE, ...

Запросы с ограничениями в виде контекстно-свободных языков

- Активно изучаются
 - ▶ Родона начальники: Томас Репс и Михалис Яннакакис
 - ★ Thomas Reps. 1997. Program analysis via graph reachability
 - ★ Mihalis Yannakakis. 1990. Graph-theoretic methods in database theory
 - ▶ Большое количество прикладных и теоретических работ
 - ▶ Известные открытые вопросы
 - ★ Существование истинно субкубического алгоритма для задачи достижимости
- Существуют инструменты (академические прототипы) анализа кода на основе CFL-r
 - ▶ POCR, PEARL, GASPAN, GIGASCALE, ...
- Попытки интегрировать в графовые базы данных
 - ▶ Предложение о расширении Cypher
 - ▶ Arseniy Terekhov et al. 2021. Multiple-Source Context-Free Path Querying in Terms of Linear Algebra

Запросы с ограничениями в виде контекстно-свободных языков

- Активно изучаются
 - Родона начальники: Томас Репс и Михалис Яннакакис
 - ★ Thomas Reps. 1997. Program analysis via graph reachability
 - ★ Mihalis Yannakakis. 1990. Graph-theoretic methods in database theory
 - Большое количество прикладных и теоретических работ
 - Известные открытые вопросы
 - ★ Существование истинно субкубического алгоритма для задачи достижимости
- Существуют инструменты (академические прототипы) анализа кода на основе CFL-r
 - POCR, PEARL, GASPAN, GIGASCALE, ...
- Попытки интегрировать в графовые базы данных
 - Предложение о расширении Cypher
 - Arseniy Terekhov et al. 2021. Multiple-Source Context-Free Path Querying in Terms of Linear Algebra
- ! Проблемы с производительностью
 - Jochem Kuijpers, George Fletcher, Nikolay Yakovets, and Tobias Lindaaker. 2019. An Experimental Study of Context-Free Path Query Evaluation Methods
 - Chenghang Shi, et al. 2024. Pearl: A Multi-Derivation Approach to Efficient CFL-Reachability Solving

Более широкие классы языков в качестве огарничений на пути

- Перспективны
 - ▶ Позволяют улучшить «точность» некоторых видов анализа кода

Более широкие классы языков в качестве ограничений на пути

- Перспективны

- ▶ Позволяют улучшить «точность» некоторых видов анализа кода

- ! Изучены слабо

- ▶ Qirun Zhang and Zhendong Su. 2017. Context-sensitive data-dependence analysis via linear conjunctive language reachability
- ▶ Giovanna Kobus Conrado, Adam Husted Kjelstrøm, Jaco van de Pol, and Andreas Pavlogiannis. 2025. Program Analysis via Multiple Context Free Language Reachability
- ▶ Epelbaum I.V., Azimov R.Sh., Grigorev S.V. 2023. Multiple context-free path querying by matrix multiplication

Высокопроизводительный анализ графов

- Обобщённая разреженная линейная алгебра — один из перспективных путей к высокопроизводительному анализу графов
 - ▶ «Естественная» параллельность — возможность использовать современное аппаратное обеспечение, в том числе GPGPU
 - ▶ Выразительность — алгоритмы для достаточно широкий спектра задач выразимы в терминах линейной алгебры
 - ★ Транзитивное замыкание, поиск кратчайших путей
 - ★ Обход в ширину, построение минимального остовного дерева
 - ★ Подсчёт треугольников, ...

Высокопроизводительный анализ графов

- Обобщённая разреженная линейная алгебра — один из перспективных путей к высокопроизводительному анализу графов
 - ▶ «Естественная» параллельность — возможность использовать современное аппаратное обеспечение, в том числе GPGPU
 - ▶ Выразительность — алгоритмы для достаточно широкий спектра задач выразимы в терминах линейной алгебры
 - ★ Транзитивное замыкание, поиск кратчайших путей
 - ★ Обход в ширину, построение минимального остовного дерева
 - ★ Подсчёт треугольников, ...
- **GraphBLAS API** — стандарт, декларирующий базовые примитивы линейной алгебры и операции над ними
 - ▶ Предложена качественная референсная реализация: **SuiteSparse:GraphBLAS**
 - ▶ Разрабатывается библиотеки прикладных алгоритмов **LAGraph**

Высокопроизводительный анализ графов

- Обобщённая разреженная линейная алгебра — один из перспективных путей к высокопроизводительному анализу графов
 - ▶ «Естественная» параллельность — возможность использовать современное аппаратное обеспечение, в том числе GPGPU
 - ▶ Выразительность — алгоритмы для достаточно широкий спектра задач выразимы в терминах линейной алгебры
 - ★ Транзитивное замыкание, поиск кратчайших путей
 - ★ Обход в ширину, построение минимального остовного дерева
 - ★ Подсчёт треугольников, ...
- **GraphBLAS API** — стандарт, декларирующий базовые примитивы линейной алгебры и операции над ними
 - ▶ Предложена качественная референсная реализация: [SuiteSparse:GraphBLAS](#)
 - ▶ Разрабатывается библиотеки прикладных алгоритмов [LAGraph](#)
- ! Не все алгоритмы естественным образом выразимы в терминах линейной алгебры
- ! Эффективное использование GPGPU — нетривиальная задача

- Существуют курсы, затрагивающие те или иные аспекты решения задач анализа графов с использованием формальных языков
 - Анализ данных, базы данных
 - Статический анализ кода

- Существуют курсы, затрагивающие те или иные аспекты решения задач анализа графов с использованием формальных языков
 - Анализ данных, базы данных
 - Статический анализ кода
- Курсы затрагивают отдельные аспекты
 - Фундаментальные: алгебра, теория графов, ...
 - Прикладные: анализ данных, базы данных, построение компиляторов, ...

- Существуют курсы, затрагивающие те или иные аспекты решения задач анализа графов с использованием формальных языков
 - Анализ данных, базы данных
 - Статический анализ кода
- Курсы затрагивают отдельные аспекты
 - Фундаментальные: алгебра, теория графов, ...
 - Прикладные: анализ данных, базы данных, построение компиляторов, ...
- ! Целостность картины
 - Разные прикладные области используют общий фундамент

- Существуют курсы, затрагивающие те или иные аспекты решения задач анализа графов с использованием формальных языков
 - Анализ данных, базы данных
 - Статический анализ кода
- Курсы затрагивают отдельные аспекты
 - Фундаментальные: алгебра, теория графов, ...
 - Прикладные: анализ данных, базы данных, построение компиляторов, ...
- ! Целостность картины
 - Разные прикладные области используют общий фундамент
- ! Преподавание фундаментальных дисциплин для инженеров-программистов
 - Связь теории и практики
 - Применимость в конкретных областях
 - ★ Теория формальных языков — синтаксический анализ (языков программирования)
 - ★ А что, если я не собираюсь заниматься компиляторами?

Выводы

- Анализ графов с использованием формальных языков в качестве ограничений на пути — активно развивающаяся область, имеющая прикладное значение
- Междисциплинарная область: теория графов, теория формальных языков, линейная алгебра, статический анализ кода, графовые базы данных, параллельные вычисления

- Анализ графов с использованием формальных языков в качестве ограничений на пути — активно развивающаяся область, имеющая прикладное значение
- Междисциплинарная область: теория графов, теория формальных языков, линейная алгебра, статический анализ кода, графовые базы данных, параллельные вычисления
- ! Разрозненные исследования
 - ▶ Отсутствие системности, взаимосвязей ...
 - ★ Вручную распараллеливать, писать свою линейную алгебру
 - ★ Анализ различных сценариев !!!!
 - ▶ Терминология
 - ▶ Решения
 - ▶ Сравнение

Выводы

- Анализ графов с использованием формальных языков в качестве ограничений на пути — активно развивающаяся область, имеющая прикладное значение
- Междисциплинарная область: теория графов, теория формальных языков, линейная алгебра, статический анализ кода, графовые базы данных, параллельные вычисления
- ! Разрозненные исследования
 - ▶ Отсутствие системности, взаимосвязей ...
 - ★ Вручную распараллеливать, писать свою линейную алгебру
 - ★ Анализ различных сценариев !!!!
 - ▶ Терминология
 - ▶ Решения
 - ▶ Сравнение
- ! Проблемы с прикладными алгоритмами
 - ▶ Обоснование теоретических свойств
 - ▶ Производительность прикладных решений

Выводы

- Анализ графов с использованием формальных языков в качестве ограничений на пути — активно развивающаяся область, имеющая прикладное значение
- Междисциплинарная область: теория графов, теория формальных языков, линейная алгебра, статический анализ кода, графовые базы данных, параллельные вычисления
- ! Разрозненные исследования
 - ▶ Отсутствие системности, взаимосвязей ...
 - ★ Вручную распараллеливать, писать свою линейную алгебру
 - ★ Анализ различных сценариев !!!!
 - ▶ Терминология
 - ▶ Решения
 - ▶ Сравнение
- ! Проблемы с прикладными алгоритмами
 - ▶ Обоснование теоретических свойств
 - ▶ Производительность прикладных решений
- ! Проблемы с подготовкой специалистов
 - ▶ Обоснование теоретических свойств
 - ▶ Производительность прикладных решений

Целью данной работы является создание общей методологии анализа графов с использованием формальных языков в качестве ограничений на пути

- Нацеленную на получение практически значимых результатов
- !!!

Положения, выносимые на защиту

- 1 Создана методология анализа графов с использованием формальных языков в качестве ограничений на пути, нацеленная на конструирование алгоритмов FLPQ

Положения, выносимые на защиту

- 1 Создана методология анализа графов с использованием формальных языков в качестве ограничений на пути, нацеленная на конструирование алгоритмов FLPQ
- 2 Разработаны методы конструирования алгоритмов решения FLPQ

Положения, выносимые на защиту

- 1 Создана методология анализа графов с использованием формальных языков в качестве ограничений на пути, нацеленная на конструирование алгоритмов FLPQ
- 2 Разработаны методы конструирования алгоритмов решения FLPQ
 - ▶ Используя операции линейной алгебры

Положения, выносимые на защиту

- 1 Создана методология анализа графов с использованием формальных языков в качестве ограничений на пути, нацеленная на конструирование алгоритмов FLPQ
- 2 Разработаны методы конструирования алгоритмов решения FLPQ
 - ▶ Используя операции линейной алгебры
 - ▶ Основанных на классических алгоритмах синтаксического анализа

Положения, выносимые на защиту

- 1 Создана методология анализа графов с использованием формальных языков в качестве ограничений на пути, нацеленная на конструирование алгоритмов FLPQ
- 2 Разработаны методы конструирования алгоритмов решения FLPQ
 - ▶ Используя операции линейной алгебры
 - ▶ Основанных на классических алгоритмах синтаксического анализа
- 3 Разработана методика проведения экспериментальных исследований решений FLPQ

Положения, выносимые на защиту

- 1 Создана методология анализа графов с использованием формальных языков в качестве ограничений на пути, нацеленная на конструирование алгоритмов FLPQ
- 2 Разработаны методы конструирования алгоритмов решения FLPQ
 - ▶ Используя операции линейной алгебры
 - ▶ Основанных на классических алгоритмах синтаксического анализа
- 3 Разработана методика проведения экспериментальных исследований решений FLPQ
- 4 Спроектированы и реализованы библиотеки разреженной линейной алгебры, использующие графические ускорители для решения FLPQ

Положения, выносимые на защиту

- ❶ Создана методология анализа графов с использованием формальных языков в качестве ограничений на пути, нацеленная на конструирование алгоритмов FLPQ
- ❷ Разработаны методы конструирования алгоритмов решения FLPQ
 - ▶ Используя операции линейной алгебры
 - ▶ Основанных на классических алгоритмах синтаксического анализа
- ❸ Разработана методика проведения экспериментальных исследований решений FLPQ
- ❹ Спроектированы и реализованы библиотеки разреженной линейной алгебры, использующие графические ускорители для решения FLPQ
- ❺ Создан набор данных для экспериментального исследования решений FLPQ

Положения, выносимые на защиту

- ❶ Создана методология анализа графов с использованием формальных языков в качестве ограничений на пути, нацеленная на конструирование алгоритмов FLPQ
- ❷ Разработаны методы конструирования алгоритмов решения FLPQ
 - ▶ Используемых операции линейной алгебры
 - ▶ Основанных на классических алгоритмах синтаксического анализа
- ❸ Разработана методика проведения экспериментальных исследований решений FLPQ
- ❹ Спроектированы и реализованы библиотеки разреженной линейной алгебры, использующие графические ускорители для решения FLPQ
- ❺ Создан набор данных для экспериментального исследования решений FLPQ
- ❻ Разработаны, реализованы, интегрированы в пользовательские библиотеки и инструменты алгоритмы решения различных вариантов FLPQ

Положения, выносимые на защиту

- ❶ Создана методология анализа графов с использованием формальных языков в качестве ограничений на пути, нацеленная на конструирование алгоритмов FLPQ
- ❷ Разработаны методы конструирования алгоритмов решения FLPQ
 - ▶ Используя операции линейной алгебры
 - ▶ Основанных на классических алгоритмах синтаксического анализа
- ❸ Разработана методика проведения экспериментальных исследований решений FLPQ
- ❹ Спроектированы и реализованы библиотеки разреженной линейной алгебры, использующие графические ускорители для решения FLPQ
- ❺ Создан набор данных для экспериментального исследования решений FLPQ
- ❻ Разработаны, реализованы, интегрированы в пользовательские библиотеки и инструменты алгоритмы решения различных вариантов FLPQ
- ❼ Разработаны методические рекомендации по выстраиванию междисциплинарных связей, улучшающих понимание областей применения и алгоритмов решения FLPQ

Положения, выносимые на защиту

- ❶ Создана методология анализа графов с использованием формальных языков в качестве ограничений на пути, нацеленная на конструирование алгоритмов FLPQ
- ❷ Разработаны методы конструирования алгоритмов решения FLPQ
 - ▶ Используя операции линейной алгебры
 - ▶ Основанных на классических алгоритмах синтаксического анализа
- ❸ Разработана методика проведения экспериментальных исследований решений FLPQ
- ❹ Спроектированы и реализованы библиотеки разреженной линейной алгебры, использующие графические ускорители для решения FLPQ
- ❺ Создан набор данных для экспериментального исследования решений FLPQ
- ❻ Разработаны, реализованы, интегрированы в пользовательские библиотеки и инструменты алгоритмы решения различных вариантов FLPQ
- ❼ Разработаны методические рекомендации по выстраиванию междисциплинарных связей, улучшающих понимание областей применения и алгоритмов решения FLPQ
- ❽ Разработан курс для программных инженеров, выстраивающий изучение основ теории формальных языков вокруг различных вариантов FLPQ

Методология анализа графов с использованием формальных языков в качестве ограничений на пути

- ❶ основания методологии: философия, логика, системология, психология, информатика, системный анализ, науковедение, этика, эстетика;
- ❷ характеристики деятельности: особенности, принципы, условия, нормы деятельности;
- ❸ логическая структура деятельности: субъект, объект, предмет, формы, средства, методы, результат деятельности, решение задач;
- ❹ временная структура деятельности: фазы, стадии, этапы.
- ❺ технология выполнения работ и решения задач

Метод конструирования алгоритмов FLPQ, основанных на линейной алгебре

1 !!!

Алгоритмы FLPQ, основанные на линейной алгебре

- RPQ
- CFPQ
- Boolean
- MCFL

Библиотеки разреженной линейной алгебры

- ① CuBool
- ② Spbla
- ③ Spla
- ④ Kronecker in GraphBLAS

Метод конструирования алгоритмов FLPQ, основанных на классических алгоритмах синтаксического анализа

1 !!!

Алгоритмы CFPQ, основанные на классических алгоритмах синтаксического анализа

- Обобщённый синтаксический анализ
- Понятие shift-shift конфликта
- GLR
- GLL

① Набор данных

Задачи FLPQ в обучении

- ① Междисциплинарность
- ② Прикладное значение
- ③ Алгоритмы
- ④ Теория, которая важна на практике

- 1 Прикладная направленность: основной фокус на алгоритмах
- 2 Частные/крайние случаи (деревья, ...)
- 3 Учёт особенностей прикладных областей: *ide* или *offline*, OLAP или OLTP,
- 4 Удобство для пользователя: API, как задавать ограничения и встраивать в язык запросов,

1 !!!

Соответствие паспорту специальности 2.3.5

- Пункту 1: модели, методы и алгоритмы проектирования, анализа, трансформации, верификации и тестирования программ и программных систем
- Пункту 4: интеллектуальные системы машинного обучения, управления базами данных и знаний, инструментальные средства разработки цифровых продуктов
- Пункту 8: модели и методы создания программ и программных систем для параллельной и распределенной обработки данных, языки и инструментальные средства параллельного программирования
- Пункту 10: оценка качества, стандартизация и сопровождение программных систем

Основные публикации

1 !!!

2 !!!

3 !!!

4 !!!

1 !!!

2 !!!

3 !!!

4 !!!