

Поиск списываний в контестах по программированию с помощью построения графов зависимостей программ

Анисимова Карина Витальевна

Научный руководитель: А.В. Садовников

Санкт-Петербургская школа физико-математических
и компьютерных наук
НИУ ВШЭ — Санкт-Петербург

19 января 2022 г.

Специфика контекстного плагиата:

- Одиночные файлы
- Небольшой размер файлов
- Потенциальное множество попарных сравнений

Задача поиска списывания

Основные модификации¹²³:

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main()
{
    int a = 5, b = 2, c = 0;
    for (int i = 0; i < a; i++) {
        c += i;
        cout << i;
    }
    cout << c + a + b;
    return 0;
}
```

- Добавление/удаление комментариев
- Добавление незначимых строк кода
- Переименование
- Перестановка операций
- Взаимозаменяемые конструкции
 - for/while
 - if/else

¹GPLAG: Detection of Software Plagiarism by Program Dependence Graph Analysis (2006)

²Finding Plagiarisms among a Set of Programs with JPlag (2003)

³Comparison and evaluation of code clone detection techniques and tools: A qualitative approach (2009)

Задача поиска списывания

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main()
/* comment */ {
    int a = 5, b = 2, c = 0;
    for (int i = 0; i < a; i++) {
        // comment
        c += i;
        cout << i;
    }
    cout << c + a + b;
    return 0;
}
```

- Добавление/удаление комментариев
- Добавление незначимых строк кода
- Переименование
- Перестановка операций
- Взаимозаменяемые конструкции
 - for/while
 - if/else

Задача поиска списывания

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main()
/* comment */ {
    int a, b, c, d;
    a = 5;
    b = 2; ←
    c = 0;
    d = 42; ←
    for (int i = 0; i < a; i++) {
        // comment
        c += i;
        cout << i;
    }
    int ans = c + a + b; ←
    cout << ans;
    return 0;
}
```

- Добавление/удаление комментариев
- Добавление незначимых строк кода
- Переименование
- Перестановка операций
- Взаимозаменяемые конструкции
 - for/while
 - if/else

Задача поиска списывания

```
#include <iostream>
using namespace std;

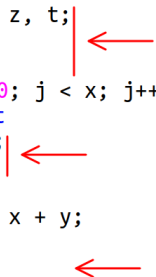
int main()
/* comment */ {
    int x, y, z, t;
    x = 5;
    y = 2;
    z = 0;
    t = 42;
    for (int j = 0; j < x; j++) {
        // comment
        z += j;
        cout << j;
    }
    int out = z + x + y;
    cout << out;
    return 0;
}
```

- Добавление/удаление комментариев
- Добавление незначимых строк кода
- Переименование
- Перестановка операций
- Взаимозаменяемые конструкции
 - for/while
 - if/else

Задача поиска списывания

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main()
/* comment */ {
    int x = 5, y, z, t;
    z = 0;
    y = 2;
    for (int j = 0; j < x; j++) {
        // comment
        cout << j;
        z += j;
    }
    int out = z + x + y;
    cout << out;
    t = 42;
    return 0;
}
```



- Добавление/удаление комментариев
- Добавление незначимых строк кода
- Переименование
- Перестановка операций
- Взаимозаменяемые конструкции
 - for/while
 - if/else

Задача поиска списывания

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main()
/* comment */ {
    int x = 5, y, z, t, j = 0;
    z = 0;
    y = 2;
    while (j < x) { ←
        // comment
        cout << j;
        z += j;
        j++; ←
    }
    int out = z + x + y;
    cout << out;
    t = 42;
    return 0;
}
```

- Добавление/удаление комментариев
- Добавление незначимых строк кода
- Переименование
- Перестановка операций
- Взаимозаменяемые конструкции
 - for/while
 - if/else

Существующие решения и аналоги

- Sim⁴

- Справляется с форматированием, переименованием и частично перестановкой инструкций
- Поддерживает C, Java, Pascal

- MOSS⁵

- Справляется с форматированием, переименованием и частично перестановкой инструкций
- Поддерживает C/C++, C, Java, assembly

- GPLAG⁶

- В основе сравнение Program Dependency Graph
- Справляется со всеми основными модификациями
- Поддерживает Java
- Оценка качества поиска контекстного плагиата не проводилась
- Код утерян*

⁴Sim: A Utility For Detecting Similarity in Computer Programs (1999)

⁵MOSS, A System for Detecting Software Plagiarism (2002)

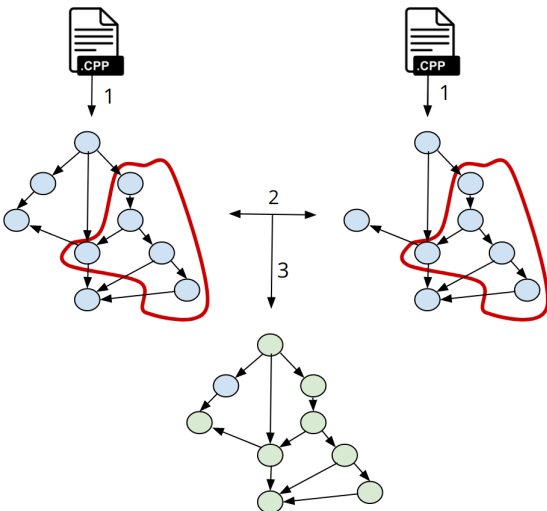
⁶GPLAG: Detection of Software Plagiarism by Program Dependence Graph Analysis (2006)

Цель: Оценить применимость алгоритма GPLAG к решению задачи поиска контекстного плагиата

Задачи:

- Реализовать алгоритм GPLAG
- Собрать датасет для оценки применимости подхода к решению задачи поиска контекстного плагиата
- Провести тестирование и проанализировать работу полученного решения

Реализация алгоритма. Пайплайн



- 1 Построение PDG с помощью Joern⁷
- 2 Сравнение графов
- 3 Оценка покрытия графа

⁷[Joern documentation](#)

Реализация алгоритма. Сравнение графов

Проблемы:

- 1 Алгоритмы поиска изоморфизмов вида граф - подграф не подходят
- 2 Подграфов в графах слишком много
- 3 Нужно учитывать типы вершин и ребер

Решения:

- 1 Сводим задачу к поиску изоморфизмов граф - подграф
- 2 Фиксируем размер подграфов: 9 вершин
- 3 Сужаем типы вершин до 60 основных

Реализация алгоритма. Метрика похожести программ

- Похожесть = $\frac{\text{Полученное покрытие}}{\text{Максимальное покрытие}}$
- При сравнении графов получаем покрытие
- Максимальное покрытие - покрытие полученное при сравнении программы с собой

Мотивация: Общедоступного датасета нет⁸

Датасет для оценки способности алгоритма находить плагиат и чувствительности к разным видам модификаций:

- Собрано 372 программы из 23 контекста с Codeforces
- С помощью инструмента gorshochek⁹ построены модификации:
 - Добавление/удаление комментариев
 - Переименование
 - Замена взаимозаменяемых конструкций
- Добавлена возможность построения модификации вставки незначимых строк кода в gorshochek
- Для каждой программы построен файл с набором разных модификаций

⁸Academic Source Code Plagiarism Detection by Measuring Program Behavioral Similarity (2021)

⁹github.com/JetBrains-Research/gorshochek

Датасет для оценки работы алгоритма в случаях отсутствия плагиата:

- 23 программы, решающих одну и ту же простую задачу (25 строк кода)
- 12 программ, решающих одну и ту же сложную задачу (60 строк кода)

Тестирование. Результаты

	Средняя похожесть
Добавление/удаление комментариев	1 ± 0
Вставка незначимых строк кода	0.99 ± 0.01
Замена взаимозаменяемых конструкций	0.94 ± 0.02
Переименование	0.93 ± 0.02
Комбинация модификаций	0.82 ± 0.03
Простая задача	0.15 ± 0.03
Сложная задача	0.05 ± 0.03

Вывод:

- Алгоритм справляется с выявлением контекстного плагиата
- Алгоритм корректно ведет себя в случаях отсутствия плагиата
- Алгоритм выдает неоднозначный результат на маленьких программах

- Реализован алгоритм из статьи GPLAG, поддержана возможность работы с разными языками программирования
- Собран датасет из 372 программ с 4 видами модификаций, 23 решений простой задачи (25 строк кода) и 12 решений сложной задачи (60 строк кода)
- Проведено исследование и показана применимость алгоритма GPLAG. По результатам тестирования алгоритм подходит для выявления контекстного плагиата, однако в случаях небольших программ возможны неточности.

Репозиторий: github.com/Karina5005/Plagiarism

- Оценить точность других алгоритмов поиска плагата в применении к задаче поиска списываний в контекстах
- Заменить в системе построение PDG по абстрактному синтаксису на построение PDG по assembler и сравнить эти два подхода
- Придумать и применить эвристики для ускорения поиска подграфов и сокращения их количества без сильной потери точности работы алгоритма
- Решить проблему нахождения плагиата в случаях популярных паттернов

Program Dependency Graph

Definition

Program Dependency Graph (PDG) – представление

программы в виде графа.

Вершинами являются базовые выражения.

Ребра зависимости по данным соединяют вершины, в которых используются одинаковые данные.

Ребра передачи управления соединяют две вершины, если контролирующая вершина определяет, будет ли выполняться выражение в зависимой вершине.

program

`x := 5; y := 5; a := 1;`

while `a < 5` **do**

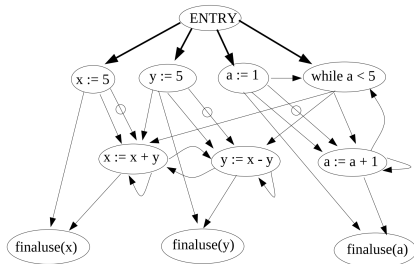
`x := x + y;`

`y := x - y;`

`a := a + 1;`

end

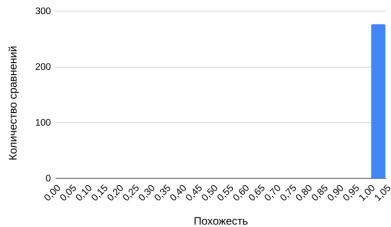
end(x, y, a)



Тестирование. Результаты

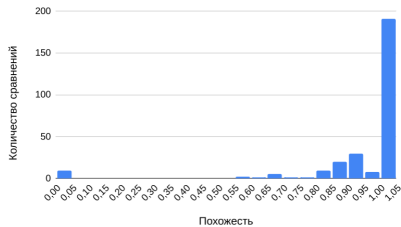
Добавление/удаление комментариев

Среднее время работы: 96 секунд



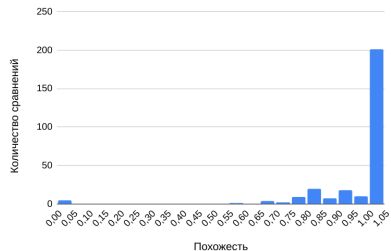
Переименование

Среднее время работы: 141 секунда



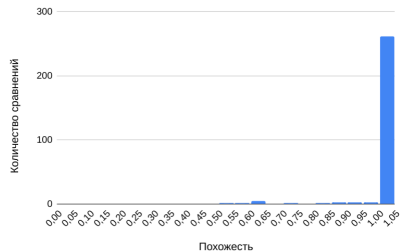
Взаимозаменяемые конструкции

Среднее время работы: 141 секунда



Вставка незначимых строк кода

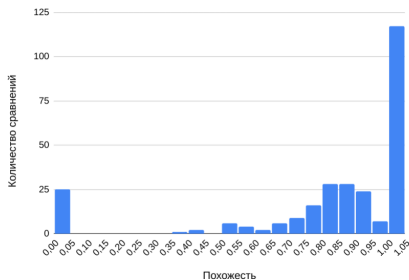
Среднее время работы: 127 секунд



Тестирование. Результаты

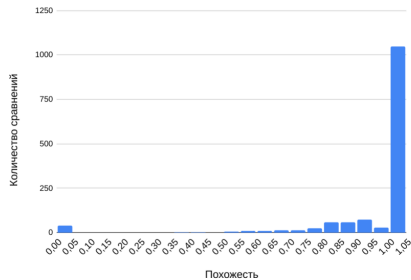
Все модификации

Среднее время работы: 115 секунд



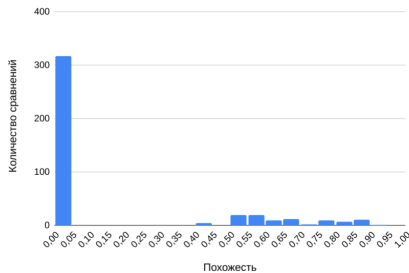
Все сравнения

Среднее время работы: 123 секунды

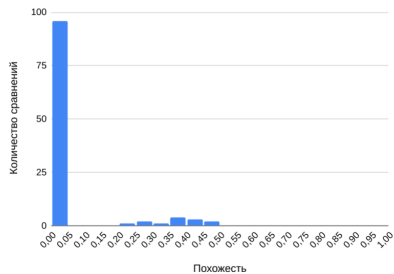


Тестирование. Результаты

Простая задача



Сложная задача



- Сложно автоматизировать
- Идеи автоматизации основаны на использовании графа зависимостей программ¹⁰

¹⁰The Program Dependence Graph and Its Use in Optimization (1987) ◀ ▶ ◀ ▶ ◀ ▶

Примеры сужения типов:

(<operator>.assignment, i = 1) \longrightarrow assignment

(<operator>.postIncrement, i++) \longrightarrow increment

(<operator>.lessEqualsThan, j <= n) \longrightarrow check

Некорректная модификация

```
#include<bits/stdc++.h>
using namespace std;
#define all(v) v.begin(),v.end()

void solve(){
    string s;
    cin>>s;
    int c=count(all(s),'a');
    ...
}
```

```
#include<bits/stdc++.h>
using namespace std;
#define all(v) v.begin(),v.end()

void lx_rs(){
    string g;
    cin>>g;
    int w=count(all(s),'a');
    ...
}
```

- PROGEX¹¹

- Парсит только Java, но можно добавлять и свои грамматики
- На практике добавление новой грамматики проблематично

- TinyPDG¹²

- Умеет парсить только Java код
- Добавление новой грамматики не предусмотрено

- Joern

- Умеет парсить только C/C++ и Java код
- Результат в формате *.dot

¹¹github.com/ghaffarian/progex

¹²github.com/YoshikiHigo/TinyPDG

Существует две реализации:

- `vfrunza\GPLAG-Plagerism-Detection`¹³
 - Полностью самостоятельная реализация
 - Упрощенная версия графа зависимостей программ
 - Поддерживает только C
 - Нет тестов отдельных частей
 - Тестирование проводилось на большом датасете модификаций элементарной программы (9 строк)
- `sarahfoss\GPLAG`¹⁴
 - Полностью самостоятельная реализация
 - Поддерживает только Java
 - Нет тестов отдельных частей
 - Тестирование проводилось на 4 тестовых файлах

¹³ github.com/vfrunza/GPLAG-Plagerism-Detection

¹⁴ github.com/sarahfoss/GPLAG