Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)

Институт информационных технологий и прикладной математики

Кафедра вычислительной математики и программирования

Курсовая работа по курсу дискретный анализ

Пространственный поиск

Студент: И. С. Глушатов
Преподаватель: С. А. Сорокин
Группа: М8О-207Б-19
Дата:
Оценка:
Подпись:

Москва, 2021

Задача

Задача: Реализовать систему для определения принадлежности точки одному из многоугольников на плоскости.

**./prog index --input <input file> **
--output <index file>

Ключ	Значение
--input	входной файл с многоугольниками
--output	выходной файл с индексом

**./prog search --index <index file> **
**--input <input file> **
--output <output file>

Ключ	Значение
--index	входной файл с индексом
--input	входной файл с запросами
--output	выходной файл с ответами на запросы

Формат входного файла:

<количество многоугольников> <количество вершин многоугольника [n]>
$<x_1>$ $<y_1>$ $<x_2>$ $<y_2>$ **...** $<x_n>$ $<y_n>$

Формат файла запросов:

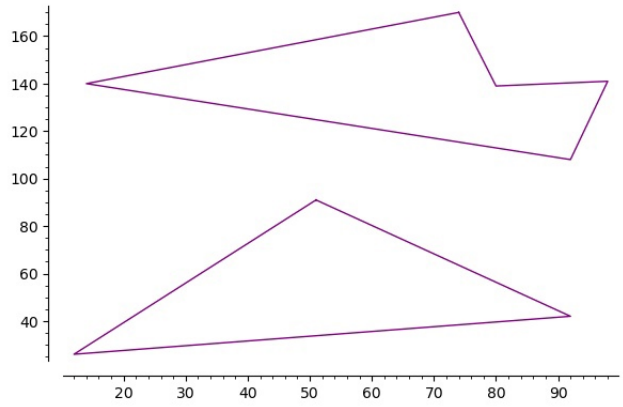
$<x_i>$ $<y_i>$

Для каждого запроса вывести номер многоугольника, внутри которого содержится точка (многоугольники нумеруются с единицы), либо -1.

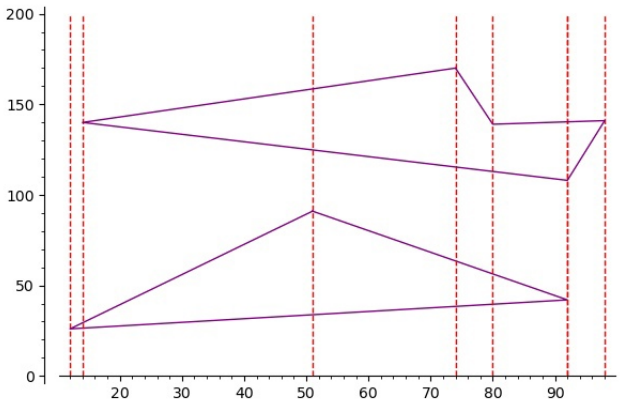
1 Описание

Задача о принадлежности точки многоугольнику является фундаментальной темой в вычислительной геометрии. Существует много алгоритмов для решени данной задачи, такие как метод трассировки лучей, учёт числа оборотов, суммирование углов. Все эти алгоритмы работают без предварительной обработки фигуры. В данной работе мне пришлось работать с препроцессингом, использующим персистентную структуру данных (сбалансированное AVL-дерево).

Допустим, что у нас есть фигуры, изображенные на рис. 1.



(a) рис. 1

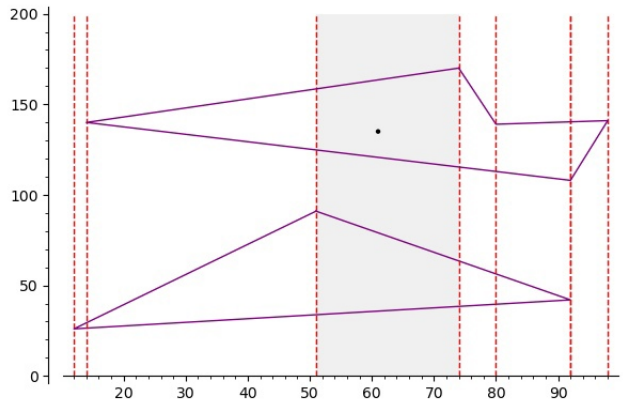


(b) рис. 2

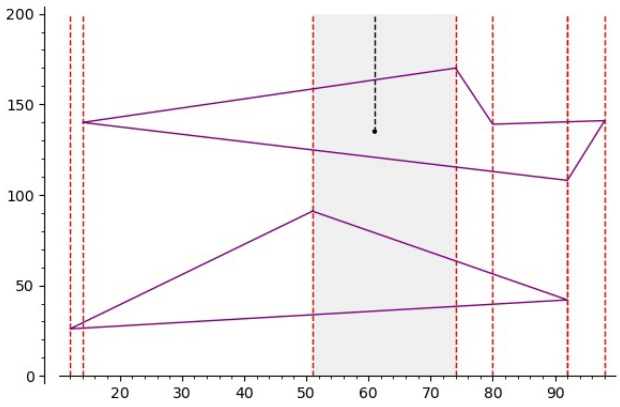
Тогда всю плоскость можно мысленно разбить на плиты (slabs в английской литературе), проведя через каждую точку вертикальную прямую (рис. 2).

Если многоугольники без самопересечений, то мы можем гарантировать, что внутри каждой плиты отрезки, полученные разбиением ребер можно упорядочить (определить оператор отношения).

Вообще если брать произвольные отрезки, то упорядочить их невозможно, однако разбиение на плиты позволяет нам это сделать. Таким образом сложность поиска должна составить $O(log_2(n))$



(c) рис. 3



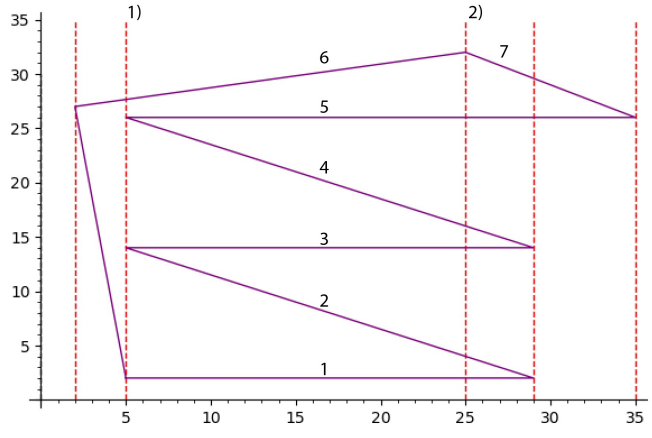
(d) рис. 4

Подав точку на вход мы можем бинарным поиском найти нужную нам плиту (рис. 3) (для этих целей служит отсортированный массив x'ов), после чего в дереве искать место, между какими ребрами попала точка. Если в процессе препроцессинга хранить в дереве количество ребер выше (т.е. в правом поддереве), то можно за логарифмическую сложность узнать, сколько ребер находится над точкой и по методу

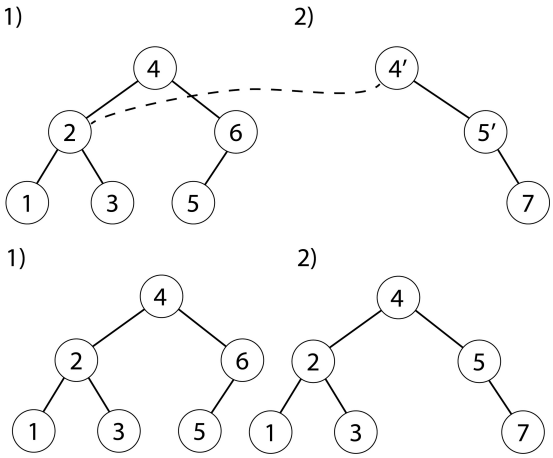
трассировки лучей (рис. 4), выдать ответ о принадлежности точки многоугольнику. Номер многоугольника выбирается за счет хранения и запоминания в процессе поиска в дереве номера фигуры соответствующего пройденному ребру.

Сложность препроцессинга же $O(nlog(n))$, что можно будет заметить на тестах. Персистентное дерево как раз помогает обеспечить такую ассимптотику. В принципе для каждой плиты можно было бы создавать отдельное дерево, и в векторе хранить корни этих деревьев. Такой подход требовал бы в худшем случае $O(n^2)$ памяти и такое же время для препроцессинга, хотя поиск выполнял бы за нужный нам логарифм. Однако можно заметить тот факт, что одно и то же ребро может принадлежать сразу нескольким плитам, а иногда и всем сразу. Персистентное дерево позволяет нам в действительности добавлять и удалять рёбра лишь единожды, а к остальным просто ссылаться, так как их подструктура и отношения между ними не меняется (в случае многоугольников без самопересечений). Единственная сложность при применении персистентного дерева заключается в нетривиальности способа сериализации.

Вот, к примеру, ситуация, когда мы строим дерево для плит 1) и 2).



(e) рис. 5



(f) рис. 6

Видно, что при использовании персистентного дерева, нам необходимо хранить лишь 9 вершин, вместо 12. Такие цифры кажутся несущественными, однако на больших многоугольниках это дает огромный выигрыш. Количество памяти и времени на построение дерева уменьшаются с квадратичной до $O(nlog(n))$

2 Исходный код

Классы точки и ребра - простые библиотеки с множеством методов и конструкторов, позволяющие абстрактно использовать их в ходе всего курсового проекта. Так как в основном вся реализация простая, то я не буду включать их в листинг курсовой.

```
1
2  #pragma once
3  #include <iostream>
4  #include <math.h>
5  #include <cfloat>
6  #include <fstream>
7
8  class Point {
9    public:
10     double x;
11     double y;
12     Point(double _x = 0.0, double _y = 0.0);
13     Point operator+ (const Point&) const;
14     Point operator- (const Point&) const;
15     friend Point operator* (const double, const Point&);
16     double operator[] (int);
17     bool operator== (Point) const;
18     bool operator< (Point) const;
19     bool operator> (Point) const;
20     bool operator!= (Point) const;
21     int classify(Point, Point);
22     double polarAngle(void);
23     double length(void);
24     double distance(Point&, Point&);
25     friend std::ostream& operator<<(std::ostream&, const Point&);
26 };
27
28 enum {
29   LEFT,
30   RIGHT,
31   BEYOND,
32   BEHIND,
33   BETWEEN,
34   ORIGIN,
35   DESTINATION
36 };
37
38 class Edge {
39   public:
40     Point org;
41     Point dest;
42     Edge(void);
43     Edge(double p1_x, double p1_y, double p2_x, double p2_y);
44     Edge(Point& _org, Point& _dest);
45     Edge(Point& _org, Point&& _dest);
46     Edge& rot(void);
47     Edge& flip(void);
48     Point point(double);
49     int intersect(Edge&, double&);
50     int intersect(Edge&&, double&);
51     int cross(Edge&, double&);
52     bool isVertical(void);
53     double slope(void) const;
54     double y(double) const;
55     bool abovePoint(Point) const;
```

```
    bool underPoint(Point) const;
    bool crossPoint(Point) const;
    bool operator==(Edge) const;
    bool operator!=(Edge) const;
    double min_y() const;
    double max_y() const;
    friend std::ofstream& operator<<(std::ofstream&, const Edge&);
    friend std::ostream& operator<<(std::ostream&, const Edge&);
    friend std::ifstream& operator>>(std::ifstream&, Edge&);
};

enum {
  COLLINEAR,
  PARALLEL,
  SKEW,
  SKEW_CROSS,
  SKEW_NO_CROSS
};
```

Самый важный класс из курсового проекта - персистентное сбалансированное AVL-дерево. О методах подробнее в таблице:

persistent_tree2.hpp	
PersistentTree::Insert (const K&, const V&, const double, const bool)	Вставка в персистентное дерево. Булевый флаг указывает, сохранять ли новую версию дерева или нет
PersistentTree::Remove (const K&, const double, const bool)	Удаление из дерева по ключу с такой же функцией у булевого флага
PersistentTree::NotChange ()	Копирование самой последней версии
PersistentTree::FindNumberAbove (const unsigned int, const Point&, long*, long*)	Возвращает количество рёбер над точкой
PersistentTree::Print (...)	Вывод дерева в консоль
PersistentTree::operator« (ofstream&, PersistentTree&)	Сохранение дерева в файл
PersistentTree::operator» (ifstream&, PersistentTree&)	Загрузка дерева из файла

```
#pragma once

#include <iostream>
#include <vector>
#include <memory>
#include <map>
#include <unordered_map>
#include <queue>
#include "utilitys.hpp"

using namespace std;

static unsigned long long index = 1;

template<class K, class V>
struct PersistentTree {

  struct node {

    using h_type = unsigned int;
    using nre_type = unsigned int;
```

```
22      using idx_type = unsigned long long;
23      using node_ptr = shared_ptr<node>;
24
25      node_ptr l = nullptr;
26      node_ptr r = nullptr;
27      K key;
28      V value;
29      h_type h;
30      nre_type nre;
31      idx_type idx;
32
33      node(const K& _k, const V& _v): key(_k), value(_v), h(1), nre(0) {
34        idx=index;
35        index++;
36      }
37      node(const K& _k, const V& _v, const h_type& _h, const nre_type& _nre): key(_k),
            value(_v), h(_h), nre(_nre) {
38        idx=index;
39        index++;
40      }
41
42      node_ptr RightRotate(node_ptr head) {
43        node_ptr temp1 = make_shared<node>(head->l->key, head->l->value, head->l->h, 1 +
              head->l->nre + head->nre);
44        node_ptr temp2 = make_shared<node>(head->key, head->value, head->h, head->nre);
45        temp1->l = head->l->l;
46        temp1->r = temp2;
47        temp2->l = head->l->r;
48        temp2->r = head->r;
49        FixHeight(temp2);
50        FixHeight(temp1);
51        return temp1;
52      }
53
54      node_ptr LeftRotate(node_ptr head) {
55
56        if (head->key == head->r->key)
57          return head;
58
59        node_ptr temp1 = make_shared<node>(head->r->key, head->r->value, head->r->h, head
              ->r->nre);
60        node_ptr temp2 = make_shared<node>(head->key, head->value, head->h, head->nre - 1
               - head->r->nre);
61        temp1->l = temp2;
62        temp1->r = head->r->r;
63        temp2->l = head->l;
64        temp2->r = head->r->l;
65        FixHeight(temp2);
66        FixHeight(temp1);
67        return temp1;
68      }
69
70      node_ptr Balancing(node_ptr head) {
71        node_ptr temp = make_shared<node>(head->key, head->value, head->h, head->nre);
72        temp->l = head->l;
73        temp->r = head->r;
74        FixHeight(temp);
75        if (Balance(temp)==2) {
76          if (Balance(temp->l)<0) {
77            temp->l = LeftRotate(head->l);
78          }
```

```
79          return RightRotate(temp);
80        } else if (Balance(temp)==-2) {
81          if (Balance(temp->r)>0) {
82            temp->r = RightRotate(head->r);
83          }
84          return LeftRotate(temp);
85        }
86        return temp;
87      }
88
89      node_ptr Insert(const node_ptr parent, const K& key, const V& value, const double
            slab) {
90        static unsigned int index = 1;
91        if (parent) {
92          node_ptr temp;
93          if (key.y(slab) > parent->key.y(slab)) {
94            temp = make_shared<node>(parent->key, parent->value, parent->h, parent->nre +
                   1);
95            temp->l = parent->l;
96            temp->r = Insert(parent->r, key, value, slab);
97          } else {
98            temp = make_shared<node>(parent->key, parent->value, parent->h, parent->nre);
99            temp->r = parent->r;
100           temp->l = Insert(parent->l, key, value, slab);
101         }
102
103         return Balancing(temp);
104       }
105
106       return make_shared<node>(key, value);
107     }
108
109     node_ptr MinRight(node_ptr head) {
110       node_ptr temp = head;
111       while (temp->l) {
112         temp = temp->l;
113       }
114       return temp;
115     }
116
117     node_ptr RemoveMin(node_ptr head) {
118       if (!head->l) {
119         node_ptr temp = head->r;
120         return temp;
121       }
122       node_ptr temp = make_shared<node>(head->key, head->value, head->h, head->nre);
123       temp->r = head->r;
124       temp->l = RemoveMin(head->l);
125       return Balancing(temp);
126     }
127
128     node_ptr Remove(node_ptr parent, const K& key, const double slab) {
129       if (!parent)
130         return nullptr;
131
132       node_ptr temp;
133       if (key == parent->key) {
134         if (!parent->l and !parent->r) {
135           return nullptr;
136         }
137
```

```
138         if (!parent->r) {
139           return parent->l;
140         }
141
142         node_ptr min_right = MinRight(parent->r);
143         temp = make_shared<node>(min_right->key, min_right->value, parent->h, parent->
                nre - 1);
144         temp->l = parent->l;
145         temp->r = RemoveMin(parent->r);
146       } else if (key.y(slab) < parent->key.y(slab)) {
147         temp = make_shared<node>(parent->key, parent->value, parent->h, parent->nre);
148         temp->r = parent->r;
149         temp->l = Remove(parent->l, key, slab);
150       } else {
151         temp = make_shared<node>(parent->key, parent->value, parent->h, parent->nre -
                1);
152         temp->l = parent->l;
153         temp->r = Remove(parent->r, key, slab);
154       }
155
156       return Balancing(temp);
157     }
158
159     nre_type FindNumberAbove(const node_ptr head, const Point& p, bool *onEdge, long*
            left_ancestor, long* right_ancestor) {
160       if (head) {
161         if (p.y > head->key.y(p.x)) {
162           *left_ancestor = static_cast<long>(head->value);
163           return FindNumberAbove(head->r, p, onEdge, left_ancestor, right_ancestor);
164         } else if (p.y == head->key.y(p.x)) {
165           *left_ancestor = static_cast<long>(head->value);
166           *right_ancestor = static_cast<long>(head->value);
167           *onEdge = true;
168           return 0;
169         } else {
170           *right_ancestor = static_cast<long>(head->value);
171           return head->nre + 1 + FindNumberAbove(head->l, p, onEdge, left_ancestor,
                    right_ancestor);
172         }
173       }
174
175       return 0;
176     }
177
178     h_type Height(const node_ptr head) const {
179       return head ? head->h : 0;
180     }
181
182     int Balance(const node_ptr head) const {
183       return head ? Height(head->l)-Height(head->r) : 0;
184     }
185
186     void FixHeight(node_ptr head) {
187       head->h = (Height(head->l)>Height(head->r) ? Height(head->l) : Height(head->r))
              +1;
188     }
189
190     void Print(const node_ptr head, unsigned int tab) const {
191       if (head) {
192         Print(head->r, tab + 1);
193         for (unsigned int i = 0; i < tab; i++) std::cout << "\t";
```

```
194         std::cout << "(" << head->key << ", " << head->value << ", " << head->h << ", "
                << head->nre << ", " << head->idx << ")\n";
195         Print(head->l, tab + 1);
196       }
197     }
198
199     friend std::ostream& operator<<(std::ostream& out, const node& p) {
200       out << p.key << " " << p.value << " " << p.h << " " << p.nre << " " << p.idx;
201       return out;
202     }
203
204     friend std::ofstream& operator<<(std::ofstream& out, const node& p) {
205       out << p.key << " " << p.value << " " << p.h << " " << p.nre << " " << p.idx;
206       return out;
207     }
208
209   };
210
211   using node_ptr = shared_ptr<node>;
212
213   unsigned int number_of_versions = 0;
214   vector<node_ptr> trees;
215
216   void Insert(const K& key, const V& value, const double slab, const bool flag = false
        ) {
217     if (!flag) {
218       if (trees.empty()) {
219         trees.push_back(nullptr);
220         trees[0] = make_shared<node>(key, value);
221       } else {
222         trees.push_back(nullptr);
223         trees[number_of_versions] = trees[number_of_versions]->Insert(trees[
              number_of_versions - 1], key, value, slab);
224       }
225       number_of_versions++;
226     } else {
227       if (trees.empty()) {
228         trees.push_back(nullptr);
229         trees[0] = make_shared<node>(key, value);
230         number_of_versions++;
231       } else {
232         trees[number_of_versions - 1] = trees[number_of_versions - 1]->Insert(trees[
              number_of_versions - 1], key, value, slab);
233       }
234     }
235   }
236
237   void Remove(const K& key, const double slab, const bool flag = false) {
238     if (!flag) {
239       trees.push_back(nullptr);
240       trees[number_of_versions] = trees[number_of_versions]->Remove(trees[
            number_of_versions - 1], key, slab);
241       number_of_versions++;
242     } else {
243       trees[number_of_versions - 1] = trees[number_of_versions - 1]->Remove(trees[
            number_of_versions - 1], key, slab);
244     }
245   }
246
247   void NotChange() {
248     trees.push_back(nullptr);
```

```
249     trees[number_of_versions] = trees[number_of_versions - 1];
250     number_of_versions++;
251   }
252
253   unsigned int FindNumberAbove(const unsigned int version, const Point& p, long*
          left_ancestor, long* right_ancestor) {
254     if (version >= trees.size()) {
255       print("bad version: ", version);
256       throw "There is no such version";
257     }
258
259     bool onEdge = false;
260     unsigned int result = trees[version]->FindNumberAbove(trees[version], p, &onEdge,
            left_ancestor, right_ancestor);
261
262     if (onEdge)
263       result = 1;
264
265     return result;
266   }
267
268   void Print(const unsigned int version) const {
269     if (version >= trees.size()) {
270       cout << "|--------------------------------------------------|" << endl;
271       cout << "There is no such version of tree" << endl;
272       cout << "|--------------------------------------------------|" << endl;
273       return;
274     }
275
276     cout << "|--------------------------------------------------|" << endl;
277     cout << "[" << version << "]" << endl;
278     trees[version]->Print(trees[version], 0);
279     cout << "|--------------------------------------------------|" << endl;
280   }
281
282   void Print() const {
283     unsigned int v = 1;
284     cout << number_of_versions << " versions in total:\n";
285     for (node_ptr tree : trees) {
286       cout << "|--------------------------------------------------|" << endl;
287       cout << "[" << v << "]" << endl;
288       tree->Print(tree, 0);
289       cout << "|--------------------------------------------------|" << endl;
290       v++;
291     }
292   }
293
294   friend ofstream& operator<<(ofstream& out, PersistentTree& pt) {
295     map<unsigned long long, node> visited;
296
297     node_ptr curr;
298     out << pt.trees.size() << "\n";
299
300     for (size_t i = 0; i < pt.trees.size(); i++) {
301       curr = pt.trees[i];
302
303       if (curr == nullptr) {
304         out << "0 0 0 0 0 0 0 0 ";
305         continue;
306       } else {
307         out << *curr << " ";
```

```
    }

    queue<node_ptr> visited_in_this_tree;

    if (curr->l != nullptr)
      visited_in_this_tree.push(curr->l);

    if (curr->r != nullptr)
      visited_in_this_tree.push(curr->r);

    while (!visited_in_this_tree.empty()) {
      curr = visited_in_this_tree.front();
      visited_in_this_tree.pop();

      visited.insert({curr->idx, *curr});

      if (curr->l != nullptr)
        visited_in_this_tree.push(curr->l);

      if (curr->r != nullptr)
        visited_in_this_tree.push(curr->r);
    }
  }

  out << "\n" << visited.size() << "\n";

  for (const auto n : visited) {
    out << n.second << " ";
  }

  out << "\n";

  for (size_t i = 0; i < pt.trees.size(); i++) {
    curr = pt.trees[i];

    if (curr == nullptr)
      continue;

    queue<node_ptr> visited_in_this_tree;
    visited_in_this_tree.push(curr);

    while (!visited_in_this_tree.empty()) {
      curr = visited_in_this_tree.front();
      visited_in_this_tree.pop();

      if (curr->l != nullptr) {
        out << curr->idx << " " << curr->l->idx << " " << "0" << " ";
        visited_in_this_tree.push(curr->l);
      }

      if (curr->r != nullptr) {
        out << curr->idx << " " << curr->r->idx << " " << "1" << " ";
        visited_in_this_tree.push(curr->r);
      }
    }
  }

  return out;
}
```

```
369  friend ifstream& operator>>(ifstream& in, PersistentTree& pt) {
370
371    in >> pt.number_of_versions;
372    for (size_t i = 0; i < pt.number_of_versions; i++) {
373      Edge key;
374      unsigned int value;
375      unsigned int h;
376      unsigned int nre;
377      unsigned long long idx;
378
379      in >> key >> value >> h >> nre >> idx;
380      node_ptr np = make_shared<PersistentTree<K, V>::node>(key, value, h, nre);
381      np->idx = idx;
382      if (idx == 0) np = nullptr;
383      pt.trees.push_back(np);
384    }
385
386    unsigned int number_of_inside_vertexes;
387    in >> number_of_inside_vertexes;
388
389    vector<node_ptr> inside_vertexes;
390
391    for (size_t i = 0; i < number_of_inside_vertexes; i++) {
392      Edge key;
393      unsigned int value;
394      unsigned int h;
395      unsigned int nre;
396      unsigned long long idx;
397
398      in >> key >> value >> h >> nre >> idx;
399      node_ptr np = make_shared<PersistentTree<K, V>::node>(key, value, h, nre);
400      np->idx = idx;
401      inside_vertexes.push_back(np);
402    }
403
404    unsigned long long num_from, num_to, side;
405    while (in >> num_from >> num_to >> side) {
406      node_ptr from = nullptr;
407      node_ptr to = nullptr;
408
409      for (size_t i = 0; i < inside_vertexes.size(); i++) {
410        if (inside_vertexes[i]->idx == num_from) {
411          from = inside_vertexes[i];
412        }
413
414        if (inside_vertexes[i]->idx == num_to) {
415          to = inside_vertexes[i];
416        }
417      }
418
419      if (from == nullptr) {
420        for (size_t i = 0; i < pt.trees.size(); i++) {
421          if (pt.trees[i] == nullptr)
422            continue;
423
424          if (pt.trees[i]->idx == num_from) {
425            from = pt.trees[i];
426          }
427        }
428      }
429
```

```
      if (side == 0) {
        from->l = to;
      } else if (side == 1) {
        from->r = to;
      }

    }

    return in;
  }

};
```

Основной prog2.cpp файл с программой и классом Index.

```
#include <iostream>
#include <cstdlib>
#include <climits>
#include <ctime>
#include <vector>
#include <algorithm>
#include <fstream>
#include <chrono>
#include <map>
#include "point.hpp"
#include "edge.hpp"
#include "persistent_tree2.hpp"

// #define PRINT
// #define TREE
// #define LOG

using namespace std;

struct Index {

  PersistentTree<Edge, unsigned int> tree;
  vector<double> slabs;

  Index() = default;

  Index(vector<vector<Point>> figures) {

    multimap<double, pair<Edge, unsigned int>> edges;
    multimap<double, Edge> for_enter;

#ifdef PRINT
    print("[");
    for (int i = 0; i < figures.size(); i++){
      print(" ", figures[i]);
    }
    print("]");
#endif

    for (vector points : figures) {
      static unsigned int figure_number = 1;
      for (size_t i = 0; i < points.size(); i++) {
        if (points[i].x == points[(i+1) % points.size()].x) continue;
        Edge cur = Edge(points[i], points[(i+1) % points.size()]);
        edges.insert({cur.org.x, {cur, figure_number}});
        for_enter.insert({cur.dest.x, cur});
      }
```

```
48        figure_number++;
49      }
50
51
52      for (vector points : figures) {
53        for (const Point p : points) {
54          // if (find(slabs.begin(), slabs.end(), p.x) == slabs.end())
55            slabs.push_back(p.x);
56        }
57      }
58
59
60      sort(slabs.begin(), slabs.end());
61
62      bool flag = false;
63      for (int i = 0; i < slabs.size(); i++) {
64
65
66        while (!for_enter.empty() and (*for_enter.begin()).second.dest.x == slabs[i] and
              i>0) {
67          tree.Remove((*for_enter.begin()).second, slabs[i-1] + 10E-9, flag);
68          for_enter.erase(for_enter.begin());
69
70          if (!flag)
71            flag = true;
72        }
73
74
75        while (!edges.empty() and (*edges.begin()).second.first.org.x == slabs[i]) {
76          tree.Insert((*edges.begin()).second.first, (*edges.begin()).second.second,
                 slabs[i] + 10E-9, flag);
77          edges.erase(edges.begin());
78
79          if (!flag)
80            flag = true;
81        }
82
83
84        if (!flag)
85          tree.NotChange();
86
87        flag = false;
88      }
89
90
91  #ifdef PRINT
92  #ifdef TREE
93      tree.Print();
94  #endif
95  #endif
96    }
97
98    unsigned int NumberOfEdgesAbovePoint(Point p, long* la, long* ra) {
99
100     if (p.x < slabs[0] or p.x > slabs[slabs.size()-1])
101       return 0;
102     unsigned int l = 0, r = slabs.size();
103
104     bool flag = false;
105     while(r - l > 1) {
106
```

```
107       unsigned int mid = (l + r) / 2;
108
109       if (slabs[mid] == p.x) {
110         l = mid;
111         flag = true;
112         break;
113       }
114
115       if (p.x < slabs[mid]) {
116         r = mid;
117       } else {
118         l = mid;
119       }
120
121     }
122
123     long left_ancestor = -1, right_ancestor = -1;
124     unsigned int res = tree.FindNumberAbove(l > 0 ? l-flag : l, p, &left_ancestor, &
          right_ancestor);
125
126     *la = left_ancestor;
127     *ra = right_ancestor;
128     return res;
129   }
130
131   long inWhichPoligone(Point p) {
132
133     long left_ancestor = -1, right_ancestor = -1;
134     unsigned int noeap = NumberOfEdgesAbovePoint(p, &left_ancestor, &right_ancestor);
135
136     if (noeap % 2 == 1) {
137       return left_ancestor;
138     }
139
140     return -1;
141   }
142
143   void Write(string name_of_file) {
144     ofstream save_file;
145     save_file.open(name_of_file);
146
147     if (!save_file.is_open()) {
148       print("Bad record");
149     }
150
151     save_file << slabs.size() << "\n";
152     for (const double& p : slabs) {
153       save_file << p << " ";
154     }
155     save_file << "\n";
156     save_file << tree << "\n";
157
158     save_file.close();
159   }
160
161   void Read(string name_of_file) {
162     ifstream save_file;
163     save_file.open(name_of_file);
164
165     if (!save_file.is_open()) {
166       print("Bad reading");
```

```
    }

    unsigned int size_of_slabs;
    save_file >> size_of_slabs;

    for (size_t i = 0; i < size_of_slabs; i++) {
      double slab;
      save_file >> slab;
      slabs.push_back(slab);
    }

    save_file >> tree;
    save_file.close();
  }

};


unsigned long long Read(vector<vector<Point>>* figures, istream& from) {
  unsigned int number_of_figures;
  from >> number_of_figures;
  unsigned long long res = 0;

  for (const unsigned int i : range<unsigned int>(0, number_of_figures)) {
    unsigned int number_of_vertexes;
    from >> number_of_vertexes;

    figures->push_back(vector<Point>());

    for(const unsigned int j : range<unsigned int>(0, number_of_vertexes)) {
      double l, r;
      from >> l >> r;
      (*figures)[i].push_back(Point(l, r));
      res++;
    }
  }

  return res;
}


int main(int args, char** argv) {
  vector<vector<Point>> figures;

#ifdef LOG
  std::chrono::time_point<std::chrono::system_clock> start;
  std::chrono::time_point<std::chrono::system_clock> end;
  ofstream log_file;
  log_file.open("log1.txt", std::fstream::app);
#endif

  if (args == 1) {
    print("No keys: index, search");
  }

  else if (args == 2 and string(argv[1]) == "index") {

    Read(&figures, cin);

    Index Poligones(figures);
    Poligones.Write("base_output.txt");
```

```
228   }
229
230   else if (args == 4 and string(argv[1]) == "index" and string(argv[2]) == "--input")
          {
231
232     ifstream file;
233     file.open(argv[3]);
234
235     if (!file.is_open()) {
236       print("Bad reading");
237       return 0;
238     }
239
240     Read(&figures, file);
241
242 #ifdef LOG
243     start = std::chrono::system_clock::now();
244     Index Poligones(figures);
245     end = std::chrono::system_clock::now();
246     Poligones.Write("base_output.txt");
247     log_file << figures[0].size() << " " << std::chrono::duration<double>(end-start).
            count() << "\n";
248 #else
249     Index Poligones(figures);
250     Poligones.Write("base_output.txt");
251 #endif
252
253     file.close();
254   }
255
256   else if (args == 8 and string(argv[1]) == "search" and string(argv[2]) == "--index"
          and string(argv[4]) == "--input" and string(argv[6]) == "--output") {
257     Index Poligones;
258     Poligones.Read(string(argv[3]));
259
260     ifstream file;
261     ofstream out_file;
262     file.open(argv[5]);
263     out_file.open(argv[7]);
264
265     if (!file.is_open() or !out_file.is_open()) {
266       print("Bad opening");
267       return 0;
268     }
269
270 #ifdef LOG
271     start = std::chrono::system_clock::now();
272     double x,y;
273     unsigned int np = 0;
274     while (file >> x >> y) {
275       np++;
276       out_file << Poligones.inWhichPoligone(Point(x, y)) << endl;
277     }
278     end = std::chrono::system_clock::now();
279     log_file << Poligones.slabs.size() << " " << std::chrono::duration<double>(end-
            start).count() << "\n";
280 #else
281     double x,y;
282     while (file >> x >> y) {
283       out_file << Poligones.inWhichPoligone(Point(x, y)) << endl;
284     }
```

```
285 #endif
286
287     out_file.close();
288     file.close();
289   } else {
290     print("Wrong enter");
291   }
292
293 #ifdef LOG
294   log_file.close();
295 #endif
296
297   return 0;
298 }
```

3 Консоль

```
igor@igor-Aspire-A315-53G:~/Рабочий стол/c++/DA/kp/kp5$ ./prog2.out index
2
3
1 0
5 0
4 2
4
4 3
5 4
4 5
3 4
Структура построена и сохранена в файле: base_output.txt
igor@igor-Aspire-A315-53G:~/Рабочий стол/c++/DA/kp/kp5$ ./prog2.out search
--index base_output.txt
4 4
2
3 1
1
5 2
-1
4 2
1
1 0
1
igor@igor-Aspire-A315-53G:~/Рабочий стол/c++/DA/kp/kp5$
```

4 Тест производительности

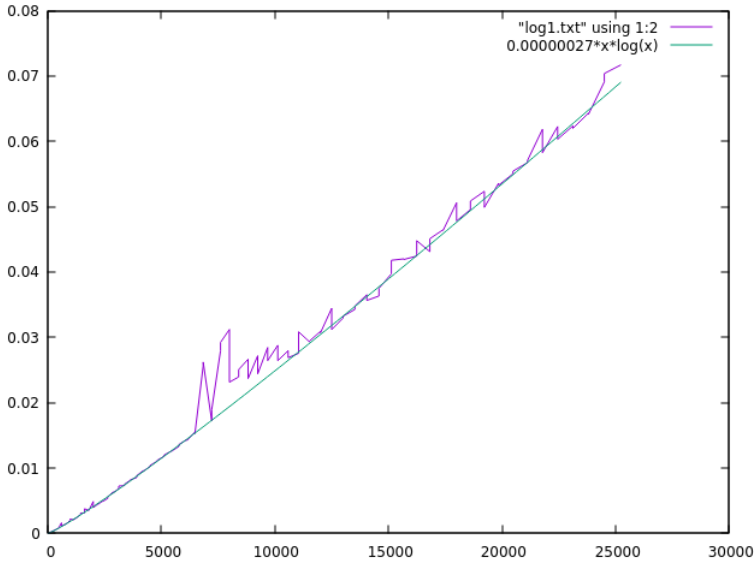


Рис. 1: График времени построения дерева от суммарного количества вершин многоугольников. Ассимптотика алгоритма $O(nlog(n))$

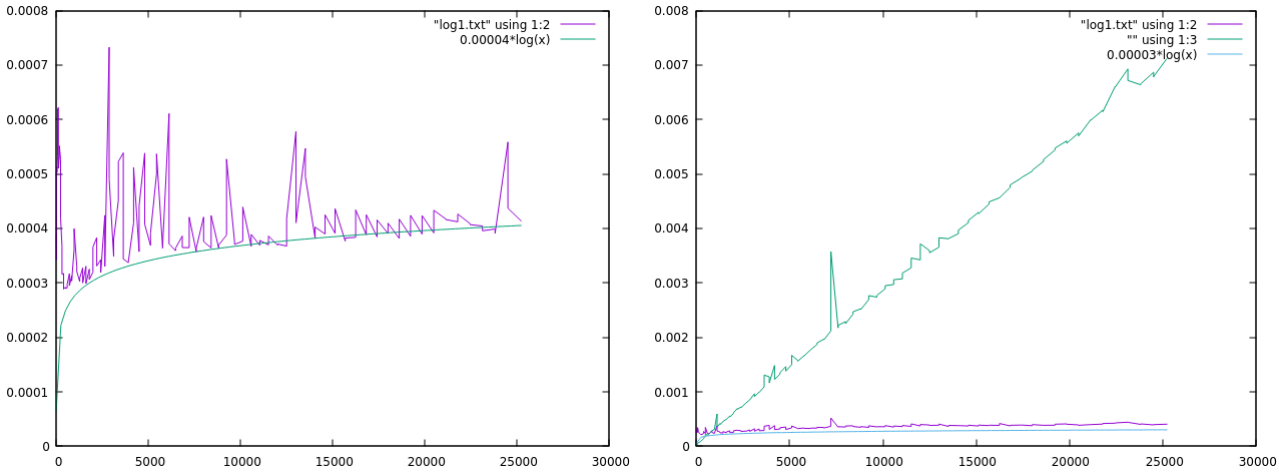


Рис. 2: Графики времени запроса определения принадлежности точки многоугольникам от суммарного количества рёбер многоугольников. Первый график показывает работу с препроцессингом, а второй наивный метод.

Производительность		
Количество рёбер	С препроцессингом	Метод трассировки
10^3	0.000380122	0.000580401
10^4	0.000269536	0.00313879
10^5	0.000472941	0.0337781
10^6	0.00146333	0.369675

5 Выводы

В ходе курсового проекта я познакомился с персистентными структурами данных (а именно деревом), узнал о том, насколько сложно, оказывается, иметь дело с многоугольниками в вычислительной геометрии, что обосновало причину использования прямоугольной структуры приложений, в том числе и сайтов. Ознакомился с многочисленной зарубежной литературой.

Список литературы

[1] *Поисковик - Google.*
URL: https://www.google.com/

[2] *Сайт с подробной документацией библиотек C++*
URL: https://en.cppreference.com/

[3] *Persistent Data Structures*
URL: https://ocw.mit.edu/courses/electrical-engineering-and-computer-science/6-854

[4] *PLP*
URL: https://sites.cs.ucsb.edu/ suri/cs235/Location.pdf

[5] *Смежные задачи*
URL: https://e-maxx.ru/algo/intersecting_segments