Минобрнауки России

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им В. И. Ульянова (Ленина)»

Факультет компьютерных технологий и информатики

Кафедра вычислительной техники

Зачётная работа № 1

по дисциплине «Алгоритмы и структуры данных»

на тему «Множества в памяти ЭВМ»

Выполнили студенты группы 4315:

Данилова С. В.

Коновалова К. Л.

Принял: старший преподаватель Манирагена В.

Санкт-Петербург

2025

Оглавление

1. Цель работы

Сравнить 4 способа хранения множеств в памяти ЭВМ: set, list, bit array, bit word.

2. Задание

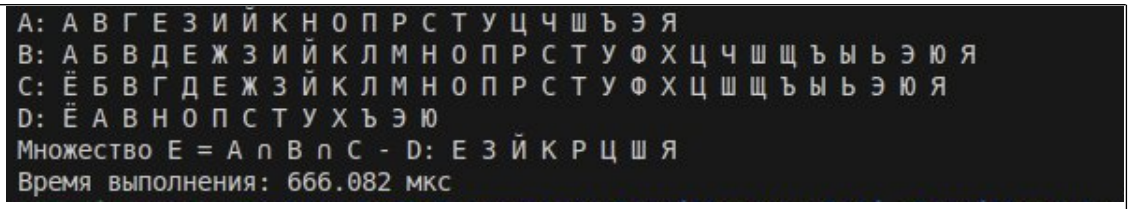
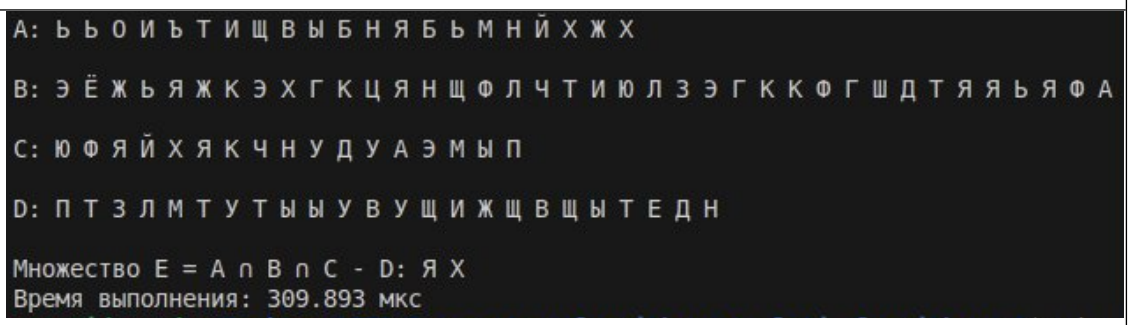
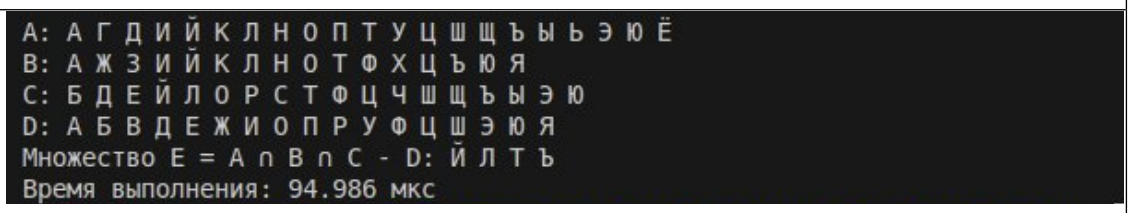
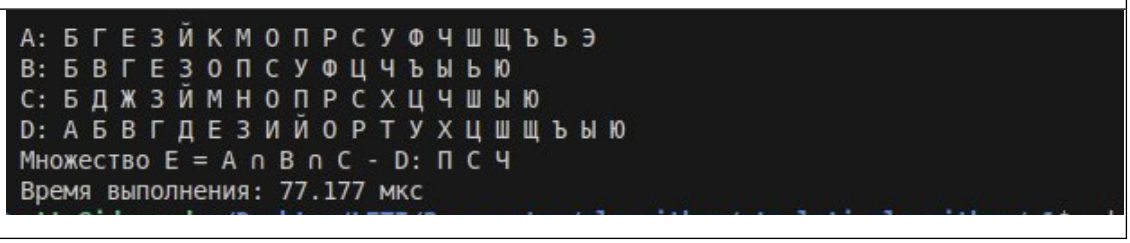
Найти множество прописных русских букв, содержащее все буквы множеств A, B, C, которых нет в D.

3. Формула для вычисления пятого множества

$E = (A \cap B \cap C) \setminus D$

4. Контрольные тесты

На рис. 1-4 представлены результаты тестов на различных типах множеств.

set<string>	
list<string>	
bit[] – bit array	
unsigned long long – bit word	

5. Временная сложность

Таблица 1. Способы представления и временная сложность обработки

Способ представления	Временная сложность	
	Ожидаемая	Фактическая
Множество символов – set	$O(n^2)$	$O(n^2)$ ($O(n^3)$ – весь алгоритм)
Список – list		$O(n^2)$ ($O(n^3)$ – весь алгоритм)
Массив битов – bit[]	$O(\|U\|)$	$O(1)$
Машинное слово – unsigned long long		$O(1)$

Пояснения:

1) set и list

Для множеств, представленных наборами элементов – set или list, двуместная операция требует проверки всех комбинаций элементов множеств A и B, мощность которых k_A и k_B , поэтому временная сложность будет $O(k_A \bullet k_B)$, то есть $O(n^2)$.

В программе использовался двойной вложенный цикл для реализации двуместных операций, поэтому фактическая сложность совпадает с ожидаемой.

Но нужно отметить, что в реальной программе также использовался тройной вложенный цикл, который одновременно выполнял две операции – $(A \cap B \cap C) \setminus D$, а последняя операция выражения – $(A \cap B \cap C) \setminus D$ – выполнялась в двойном вложенном цикле, следующем после тройного. В таком случае получаем сложность реального алгоритма:

$O(k_A \bullet k_B \bullet k_C) + O(k_{max} \bullet k_D) = O(k_A \bullet k_B \bullet k_{C\ +}\ k_{max} \bullet k_D) = O(k_A \bullet k_B \bullet k_C) = O(n^3)$

2) bit array и bit word

Для множеств, представленных отображением на универсум – bit array и bit word, ожидаемое количество шагов двуместной операции равно мощности универсума, то есть $O(|U|)$.

В случае bit array в программе использовался цикл for для выполнения двуместной операции. Цикл проходится по длине массива битов. Его длина – число-константа, поскольку размер универсума изначально известен. Поэтому фактическая временная сложность высчитывается так:

O(|U|) = O(1)

В случае bit word использовались логические операции, поэтому временная сложность буквально уменьшилась до O(1).

6. Результат измерения времени обработки для каждого из способов

Таблица 2. Результаты измерения времени обработки

Мощность множеств	t, c			
	set	list	bit array	bit word
2	8e-05	9e-05	7.7e-05	7.5e-05
4	8.9e-05	1.1e-04	7.6e-05	7.7e-05
6	1.1e-04	1.2e-04	7.8e-05	8e-05
8	1.1e-04	1.2e-04	8.1e-05	8e-05
10	1.3e-04	1.2e-04	8.1e-05	7.4e-05
12	1.4e-04	1.3e-04	8e-05	7.7e-05
14	1.7e-04	1.5e-04	7.6e-05	7.6e-05
16	1.7e-04	1.7e-04	7.6e-05	7.8e-05
18	1.8e-04	1.9e-04	7.8e-05	7.9e-05
20	2e-04	2.3e-04	7.7e-05	7.8e-05
22	2.2e-04	2.4e-04	8e-05	8.2e-05
24	2.3e-04	2.6e-04	8e-05	8.1e-05
26	2.4e-04	2.6e-04	7.6e-05	7.9e-05
28	2.7e-04	3e-04	7.9e-05	7.5e-05
30	2.9e-04	3.2e-04	8.3e-05	7.9e-05

32	3.4e-04	3.3e-04	8.2e-05	7.8e-05

При представлении множеств в виде set и list заметно, что время обработки множеств с увеличением мощности также увеличивается.

Для bit array и bit word время обработки практически неизменно, поскольку не зависит от размера входа.

7. Выводы

Наиболее быстрым способом представления множеств является машинное слово – bit word, обеспечивающее выполнение операций за O(1).

Его следует использовать, когда элементы множества можно однозначно сопоставить номерам битов, а мощность универсума не превышает разрядности слова (обычно 64).

Наиболее медленным оказался список – list, который целесообразно применять только при неизвестной заранее мощности множества и невозможности выделить память под всё множество сразу.

Таким образом, выбор структуры данных должен основываться на размере универсума, известности мощности множества и требованиях к производительности.

8. Список используемых источников

1. Введение в C++. http://www.stolyarov.info/books/pdf/cppintro5.pdf

2. Множества в памяти ЭВМ // Алгоритмы и структуры данных. Лекция от 15.09.2025.

3. Алгоритмы. http://old.math.nsc.ru/LBRT/k5/OR-MMF/dasgupta_2014.pdf

4. Студент Д. Рябова. Частное сообщение.

9. Приложение. Текст программы

1) set

```
#include <iostream>
#include <string>
#include <chrono>
#include "../headers/set.h"

using namespace std;

string universe = "АБВГДЕЖЗИЙКЛМНОПРСТУФХЦЧШЩЪЫЬЭЮЯЁ";

void init(set<string>& s) {
    int size = 22; // -> <= 127 chars in set
    int ind;
    for (int i = 0; i < size; i++) {
        ind = rand()%32+rand()%2;
        s.insert(universe.substr(ind*2, 2));
    }
}

void print(set<string>& s) {
    for (auto ch : s) cout << ch << " ";
    cout << endl;
}

int main() {
    auto t1 = std::chrono::high_resolution_clock::now();
    auto tt1 = clock();

    srand(time(0));
    setlocale(LC_ALL, "Russian");

    set<string> setA; init(setA);
    set<string> setB; init(setB);
    set<string> setC; init(setC);
    set<string> setD; init(setD);
    set<string> setE;

    cout << endl;
```

```
    cout << "A: "; print(setA);
    cout << "B: "; print(setB);
    cout << "C: "; print(setC);
    cout << "D: "; print(setD);

    // Находим A ∩ B ∩ C - D
    for (auto chA : setA) {
        for (auto chB : setB) {
            for (auto chC : setC)
            if (chA == chB && chA == chC) setE.insert(chA);
        }
    }

    for (auto itE = setE.begin(); itE != setE.end(); ) {
        for (auto itD = setD.begin(); itD != setD.end(); itD++) {
            if (*itE == *itD) {
                auto it = itE;
                setE.erase(*it);
                break;
            }
        }
        itE++;
    }

    // Вывод результата
    cout << "Множество E = A ∩ B ∩ C - D: "; print(setE);

    auto t2 = std::chrono::high_resolution_clock::now();
    auto tt2 = clock();

    cout << "Время выполнения: " <<
std::chrono::duration_cast<std::chrono::duration<double, micro>>(t2-
t1).count() << " мкс" << endl;
    cout << "Счетчик тиков: " << tt2-tt1 << endl;
    return 0;
}
```

2) list

```
#include <iostream>
#include <string>
#include <chrono>
#include "../headers/list.h"
#include "../headers/set.h"

using namespace std;

string universe = "АБВГДЕЖЗИЙКЛМНОПРСТУФХЦЧШЩЪЫЬЭЮЯЁ";

void init(list<string>& l) {
    int size = 20;
    int ind;
    for (int i = 0; i < size; i++) {
        ind = rand()%32+rand()%2;
        l.push_back(universe.substr(ind*2, 2));
    }
}

void removeDuplicates(list<string>& l) {
    set<string> seen;
    auto it = l.begin();
    while (it != l.end()) {
        if (seen.find(*it) != nullptr) {
            auto itt = it;
            l.erase(itt);
        } else {
            seen.insert(*it);
        }
        it++;
    }
}

void print(list<string>& l) {
    for (auto ch : l) cout << ch << " ";
    cout << endl;
```

```
}

int main() {
    auto t1 = std::chrono::high_resolution_clock::now();
    auto tt1 = clock();

    srand(time(0));
    setlocale(LC_ALL, "Russian");

    list<string> listA; init(listA);
    list<string> listB; init(listB);
    list<string> listC; init(listC);
    list<string> listD; init(listD);
    list<string> listE;

    cout << endl;

    cout << "A: "; print(listA); cout << endl;
    cout << "B: "; print(listB); cout << endl;
    cout << "C: "; print(listC); cout << endl;
    cout << "D: "; print(listD); cout << endl;

    // Находим A ∩ B ∩ C - D
    bool found = 0;
    removeDuplicates(listA);
    for (auto chA : listA) {
        for (auto chB : listB) {
            for (auto chC : listC) {
                if (chA == chB && chA == chC) {
                    listE.push_back(chA); found = 1; break;
                }
            }
            if (found) {found = 0; break;}
        }
    }

    for (auto itE = listE.begin(); itE != listE.end(); ++itE) {
```

```
        for (auto itD = listD.begin(); itD != listD.end(); ++itD) {
            if (*itE == *itD) {listE.erase(itE); break;}
        }
    }

    // Вывод результата
    cout << "Множество E = A ∩ B ∩ C - D: "; print(listE);

    auto t2 = std::chrono::high_resolution_clock::now();
    auto tt2 = clock();

    cout << "Время выполнения: " <<
std::chrono::duration_cast<std::chrono::duration<double, micro>>(t2-
t1).count() << " мкс" << endl;
    cout << "Счетчик тиков: " << tt2-tt1 << endl;
    return 0;
}
```

3) bit array

```
#include <iostream>
#include <stdlib.h>
#include <string>
#include <chrono>

using namespace std;

string universe = "АБВГДЕЖЗИЙКЛМНОПРСТУФХЦЧШЩЪЫЬЭЮЯЁ";

struct bit {
   unsigned int bit:1;
};

void init(bit* b) {
   for (int i = 0; i < 33; i++) b[i].bit = rand() % 2;
}

void init_default(bit* b) {
```

```
    for (int i = 0; i < 33; i++) b[i].bit = 0;
}

int f(string s) {
    if (s[1]-'0'+160 == -15) return 32; // Ё
    return s[1]-'0'+160;
}

string fb(int i) {
    return universe.substr(i*2, 2);
}

void input(bit *b) {
    string line;
    getline(cin, line, '\n');

    for (int i = 0; i < line.size(); i+=2) b[f(line.substr(i, 2))].bit = 1;
}

void print(bit *b) {
    for (int i = 0; i < 33; i++) {
        if (b[i].bit == 1) cout << fb(i) << " ";
    }
    cout << endl;
}

int main() {
    auto t1 = std::chrono::high_resolution_clock::now();
    auto tt1 = clock();
    srand(time(0));
    setlocale(LC_ALL, "Russian");

    bit bA[33]; init(bA);
    bit bB[33]; init(bB);
    bit bC[33]; init(bC);
    bit bD[33]; init(bD);
    bit bE[33]; init_default(bE);
```

```
    cout << endl;

    cout << "A: "; print(bA);
    cout << "B: "; print(bB);
    cout << "C: "; print(bC);
    cout << "D: "; print(bD);

    // Находим A ∩ B ∩ C - D
    for (int i = 0; i < 33; i++) bE[i].bit = bA[i].bit && bB[i].bit &&
bC[i].bit;
    for (int i = 0; i < 33; i++) bE[i].bit = not (bE[i].bit <= bD[i].bit);

    // Вывод результата
    cout << "Множество E = A ∩ B ∩ C - D: "; print(bE);

     auto t2 = std::chrono::high_resolution_clock::now();
     auto tt2 = clock();

     cout << "Время выполнения: " <<
std::chrono::duration_cast<std::chrono::duration<double, micro>>(t2-
t1).count() << " мкс" << endl;
     cout << "Счетчик тиков: " << tt2-tt1 << endl;
    return 0;
}
```

4) bit word

```
#include <iostream>
#include <stdlib.h>
#include <string>
#include <chrono>

using namespace std;

string universe = "АБВГДЕЖЗИЙКЛМНОПРСТУФХЦЧШЩЪЫЬЭЮЯЁ";
```

```
unsigned long long init() {
  return rand() % 0x2FFFFFFF;
}

int f(string s) {
  if (s[1]-'0'+160 == -15) return 32; // Ë
  return s[1]-'0'+160;
}

string fb(int i) {
  return universe.substr(i*2, 2);
}

void input(unsigned long long& w) {
  string line;
  getline(cin, line, '\n');

  for (int i = 0; i < line.size(); i+=2) w |= (1LL << f(line.substr(i, 2)));
}

void show(unsigned long long w) {
  for (int i = 0; i < 33; i++) {
      std::cout << w%2;
      w /= 2;
  }
  cout << endl;
}

void print(unsigned long long w) {
  for (int i = 0; i < 33; i++) {
      if (w%2 == 1) cout << fb(i) << " ";
      w/=2;
  }
  cout << endl;
}
```

```
int main() {
  auto t1 = std::chrono::high_resolution_clock::now();

  srand(time(0));
  setlocale(LC_ALL, "Russian");
  unsigned long long wA = init(); //show(wA);
  unsigned long long wB = init(); //show(wB);
  unsigned long long wC = init(); //show(wC);
  unsigned long long wD = init(); //show(wD);
  unsigned long long wE = 0; //show(wE);

  cout << endl;

  cout << "A: "; print(wA);
  cout << "B: "; print(wB);
  cout << "C: "; print(wC);
  cout << "D: "; print(wD);
   // Находим A ∩ B ∩ C - D
  wE = wA & wB & wC;

  wE = wE & (~wD);
   // Вывод результата
  cout << "Множество E = A ∩ B ∩ C - D: "; print(wE);

    auto t2 = std::chrono::high_resolution_clock::now();
    cout << "Время выполнения: " <<
std::chrono::duration_cast<std::chrono::duration<double, micro>>(t2-
t1).count() << " мкс" << endl;

  return 0;
}
```