

Введение. Основные понятия.

Алгоритмы и структуры данных

Мулюгин Николай

03.09.2022

Информационные источники

- 1 А. В. Столяров. Введение в профессию.
<http://stolyarov.info>
- 2 К. Владимиров.
[youtube.com/channel/UCvmBEbr9NZt7UEh9d0l7_A](https://www.youtube.com/channel/UCvmBEbr9NZt7UEh9d0l7_A)
- 3 Ю. Окуловский.
<https://ulearn.me/>

Информационные источники

- 4 Томас Х. Кормен. Алгоритмы: построение и анализ.
- 5 Томас Х. Кормен. Алгоритмы. Вводный курс.
- 6 Род Стивенс. Алгоритмы. Теория и практическое применение.
- 7 Никлаус Вирт. Алгоритмы и структуры данных.
- 8 Д. Кнут. Искусство программирования.

Мотивация

- Применение в науке.
- Трудоустройство. Вопросы на собеседовании.
- Общение с коллегами.
- Повседневное применение.

Алгоритм

Алгоритм представляет собой набор правил преобразования исходных данных(input) в выходные(output).

Алгоритм

Алгоритм представляет собой набор правил преобразования исходных данных(input) в выходные(output).

Алгоритмы строятся для решения **вычислительных задач**.

Алгоритм

Алгоритм представляет собой набор правил преобразования исходных данных(input) в выходные(output).

Алгоритмы строятся для решения **вычислительных задач**.

Свойства алгоритма:

обязательные

необязательные

Алгоритм

Алгоритм представляет собой набор правил преобразования исходных данных(input) в выходные(output).

Алгоритмы строятся для решения **вычислительных задач**.

Свойства алгоритма:

обязательные

необязательные

1 Конечность.

Алгоритм

Алгоритм представляет собой набор правил преобразования исходных данных(input) в выходные(output).

Алгоритмы строятся для решения **вычислительных задач**.

Свойства алгоритма:

обязательные

необязательные

- 1 Конечность.
- 2 Дискретность.

Алгоритм

Алгоритм представляет собой набор правил преобразования исходных данных(input) в выходные(output).

Алгоритмы строятся для решения **вычислительных задач**.

Свойства алгоритма:

обязательные

необязательные

- 1 Конечность.
- 2 Дискретность.
- 3 Определенность.

Алгоритм

Алгоритм представляет собой набор правил преобразования исходных данных(input) в выходные(output).

Алгоритмы строятся для решения **вычислительных задач**.

Свойства алгоритма:

обязательные

необязательные

1 Конечность.

4 Правильность.

2 Дискретность.

3 Определенность.

Алгоритм

Алгоритм представляет собой набор правил преобразования исходных данных(input) в выходные(output).

Алгоритмы строятся для решения **вычислительных задач**.

Свойства алгоритма:

обязательные

1 Конечность.

2 Дискретность.

3 Определенность.

необязательные

4 Правильность.

5 Завершаемость.

Алгоритм

Алгоритм представляет собой набор правил преобразования исходных данных(input) в выходные(output).

Алгоритмы строятся для решения **вычислительных задач**.

Свойства алгоритма:

обязательные

- 1 Конечность.
- 2 Дискретность.
- 3 Определенность.

необязательные

- 4 Правильность.
- 5 Завершаемость.
- 6 Массовость.

Сложность алгоритма мотивация

Есть алгоритм. Что дальше?

Сложность алгоритма мотивация

Есть алгоритм. Что дальше?

- Анализировать алгоритм.

Сложность алгоритма мотивация

Есть алгоритм. Что дальше?

- Анализировать алгоритм.
- Сравнивать различные алгоритмы.

Сложность алгоритма мотивация

Есть алгоритм. Что дальше?

- Анализировать алгоритм.
- Сравнивать различные алгоритмы.
- Понять как поведет себя алгоритм в будущем.

Сложность алгоритма

Время работы алгоритма - число элементарных операций, которые он выполняет.

Сложность алгоритма

Время работы алгоритма - число элементарных операций, которые он выполняет.

Время работы алгоритма в худшем случае (временная сложность) - максимальное время работы для входов данного размера.

Сложность алгоритма

Время работы алгоритма - число элементарных операций, которые он выполняет.

Время работы алгоритма в худшем случае (временная сложность) - максимальное время работы для входов данного размера.

Емкостная сложность - максимально используемый объем памяти для входов данного размера.

Сложность алгоритма

Время работы алгоритма - число элементарных операций, которые он выполняет.

Время работы алгоритма в худшем случае (временная сложность) - максимальное время работы для входов данного размера.

Емкостная сложность - максимально используемый объем памяти для входов данного размера.

Асимптотическая сложность алгоритма - оценка, характеризующая вид зависимости времени работы алгоритма от длины входа.

Сложность алгоритма

```
1 #include<iostream> //headers
2 #include<string>
3 //g++ -Wall -Werror -g --std=c++20 complex_1.cpp
4 //g++ - compiler; -Wall - show all the errors;
5 //-Werror - treat warnings as errors
6 int main()//entry point
7 {
8     std::string input;//variable with type string
9     std::cin >> input;//standard input
10    int n = input.size();
11    int sum = 0;
12    for( int i = 0; i < n; i++ )//n
13        for( int j = 0; j < 2 * i; j++ )
14            //01 0123 012345 0123456 012...2i-1
15            sum++;//0 + 2 + 4 + 6 + ... 2(n-1)
16    std::cout << sum << std::endl;
17    return 0;//code of return
18 }
```

Сложность алгоритма

Посчитаем сложность алгоритма - функцию $f : N \rightarrow N$ которая на вход берет n - длину входа и возвращает число элементарных операций для данного n .

```
1 int n = input.size();  
2 int sum = 0;  
3 for( int i = 0; i < n; i++ )  
4     for( int j = 0; j < 2 * i; j++ )  
5         sum++;
```

Сложность алгоритма

```
1 int n = input.size();
2 int sum = 0;
3 for( int i = 0; i < n; i++ )//n
4     for( int j = 0; j < 2 * i; j++ )
5         //01 0123 012345 0123456 012..2i-1
6         sum++; //0 + 2 + 4 + 6 + ... 2(n-1)
```

$$f(n) = n \cdot (C_{=} + C_{<} + C_{*} + C_{+}) + \\ + 2 \cdot n \cdot (n - 1) \cdot (C_{=} + C_{<} + C_{*} + C_{+}) + C_{in} + C_{out}$$

$f(n)$ - характеристика нашего алгоритма.

Какие выводы мы можем сделать по ней?

Сложность алгоритма мотивация

- Анализировать алгоритм.
- Сравнивать различные алгоритмы.
- Понять как поведет себя алгоритм в будущем.

Переменные

0100

Переменные

a 4 [-7÷8]

0100

Переменные

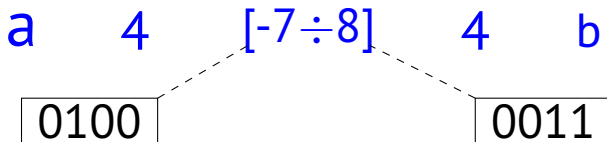
a 4 [-7÷8]

0100

Мы знаем тип a?

Мы знаем диапазон значений!

Переменные

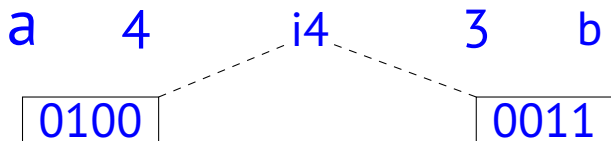


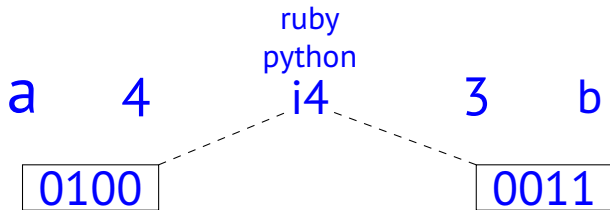
Мы знаем тип a?

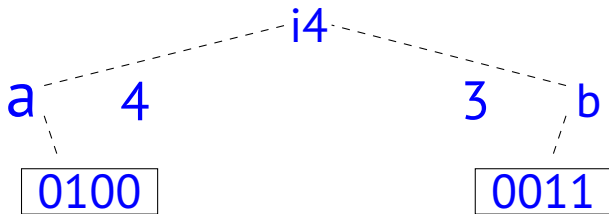
Мы знаем диапазон значений!

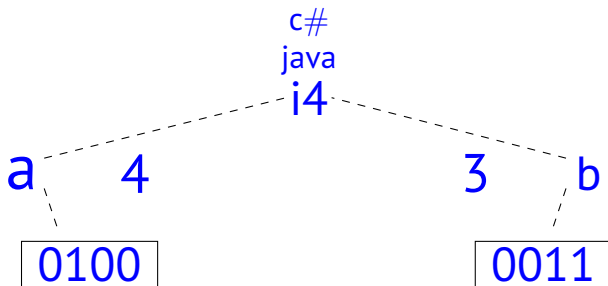
Мы не знаем операции!

- Что такое тип?
- value type: диапазон значений объекта
- object type: совокупность операций над объектом
 - $5/2$ даст 2 для int но 2.5 для double
- Назовем целочисленный арифметический тип i4

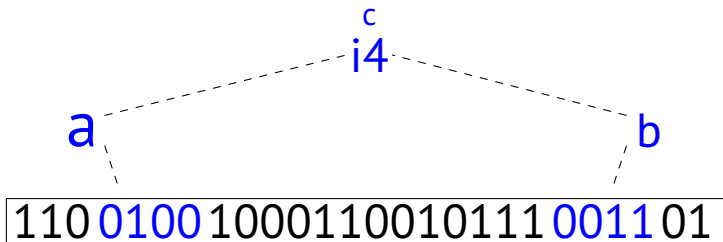




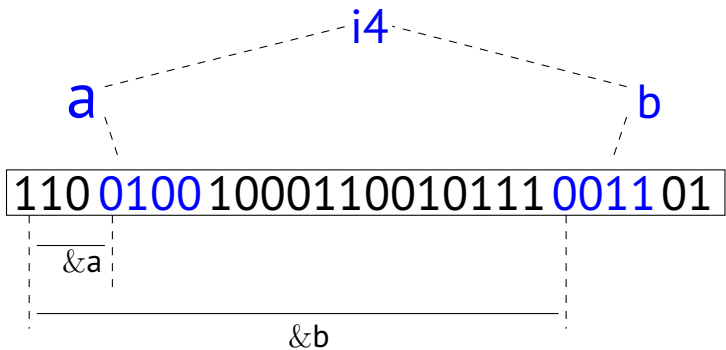


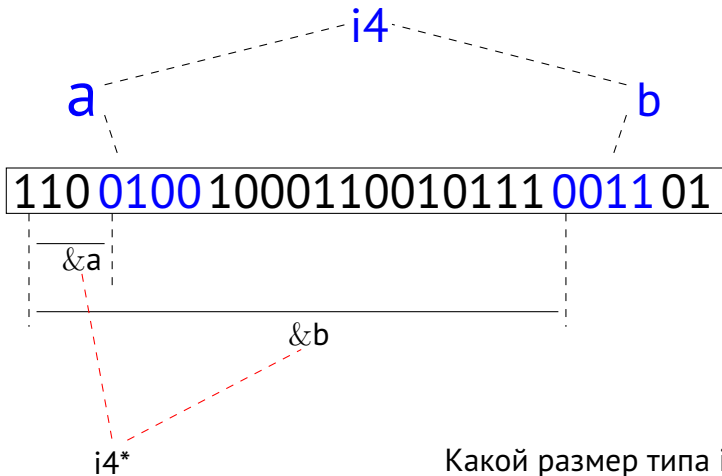


Имя навсегда связано с типом.

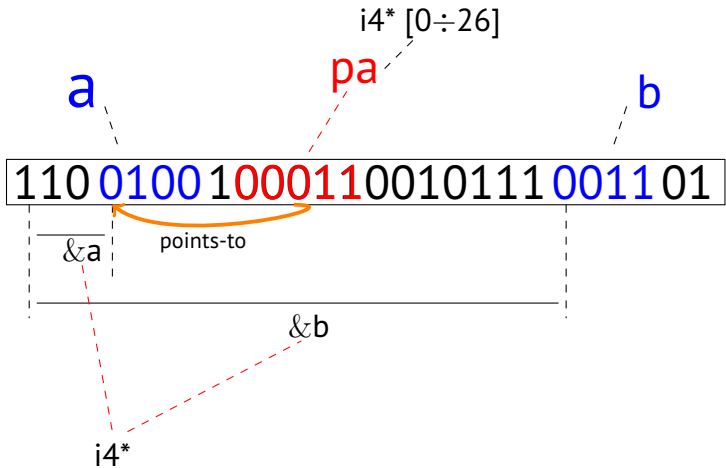


RAM - random access memory



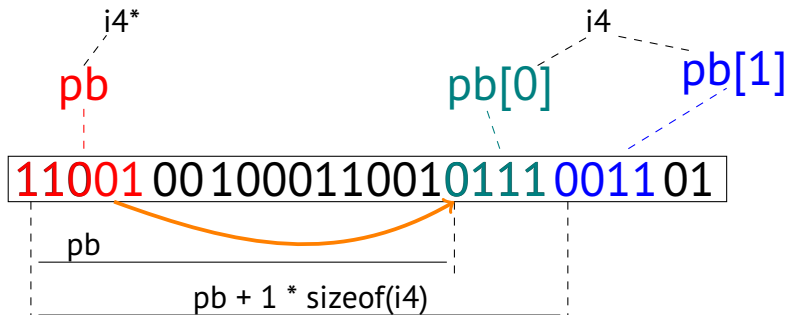


Какой размер типа $i4^*$?
Какое значение `CHAR_BIT` ?



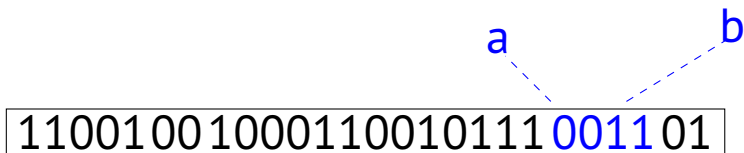
Указатели

- Если указатель это просто расстояние, то может быть нулевое расстояние?
 - `nullptr`
- `p[2] == *(p+2)`



Ссылки

- Два имени у одного объекта в C++.



Ссылки

Базовый синтаксис lvalue ссылок это одинарный амперсанд

```
1 int x;  
2 int &y = x; // y - another name for x
```

Ссылки

Базовый синтаксис lvalue ссылок это одинарный амперсанд

```
1 int x;  
2 int &y = x; // y - another name for x
```

Не путать со взятием адреса!

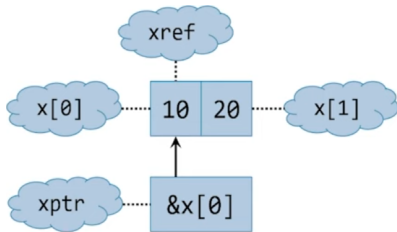
Ссылки

Базовый синтаксис lvalue ссылок это одинарный амперсанд

```
1 int x;  
2 int &y = x; // y - another name for x
```

Не путать со взятием адреса!

```
1 int x[2] = {10, 20};  
2 int &xref = x[0];  
3 int *xref = &x[0];  
4 xref += 1;  
5 xptr += 1;  
6 assert(xref == 11);  
7 assert(xptr == 20);  
8
```



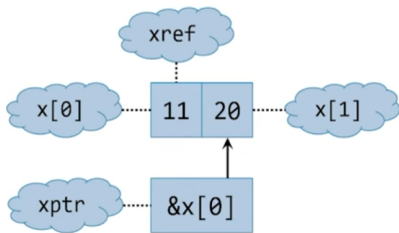
Ссылки

Базовый синтаксис lvalue ссылок это одинарный амперсанд

```
1 int x;  
2 int &y = x; // y - another name for x
```

Не путать со взятием адреса!

```
1 int x[2] = {10, 20};  
2 int &xref = x[0];  
3 int *xref = &x[0];  
4 xref += 1;  
5 xptr += 1;  
6 assert(xref == 11);  
7 assert(xptr == 20);  
8
```



Оценка сложности алгоритма

Чем мы тут занимаемся???

```
1 int n = input.size();
2 int sum = 0;
3 for( int i = 0; i < n; i++ )//n
4     for( int j = 0; j < 2 * i; j++ )
5         //01 0123 012345 0123456 012...2i-1
6         sum++; //0 + 2 + 4 + 6 + ... 2(n-1)
```

$$f(n) = n \cdot (C_{=} + C_{<} + C_{*} + C_{+}) + \\ + 2 \cdot n \cdot (n - 1) \cdot (C_{=} + C_{<} + C_{*} + C_{+}) + C_{in} + C_{out}$$

- $f(n)$ - характеристика нашего алгоритма.
- Какие выводы мы можем сделать по ней?

Мотивация!!!

Есть алгоритм. Что дальше?

- Анализировать алгоритм.
- Понять как поведет себя алгоритм в будущем.
- Сравнивать различные алгоритмы.

Анализировать алгоритм

```
1 int n = input.size();
2 int sum = 0;
3 for( int i = 0; i < n; i++ )//n
4     for( int j = 0; j < 2 * i; j++ )
5         //01 0123 012345 0123456 012..2i-1
6         sum++; //0 + 2 + 4 + 6 + ... 2(n-1)
```

$$f(n) = n \cdot (C_{=} + C_{<} + C_{*} + C_{+}) + \\ + 2 \cdot n \cdot (n - 1) \cdot (C_{=} + C_{<} + C_{*} + C_{+}) + C_{in} + C_{out}$$

Анализировать алгоритм

```
1 int n = input.size();
2 int sum = 0;
3 for( int i = 0; i < n; i++ )//n
4     for( int j = 0; j < 2 * i; j++ )
5         //01 0123 012345 0123456 012..2i-1
6         sum++; //0 + 2 + 4 + 6 + ... 2(n-1)
```

$$f(n) = n \cdot (C_{=} + C_{<} + C_{*} + C_{+}) + \\ + 2 \cdot n \cdot (n - 1) \cdot (C_{=} + C_{<} + C_{*} + C_{+}) + C_{in} + C_{out}$$

$f(n)$ - показывает зависимость алгоритма от длины входа.

Понять как поведет себя алгоритм в будущем

```
1 int n = input.size();
2 int sum = 0;
3 for( int i = 0; i < n; i++ )//n
4     for( int j = 0; j < 2 * i; j++ )
5         //01 0123 012345 0123456 012...2i-1
6         sum++; //0 + 2 + 4 + 6 + ... 2(n-1)
```

$$f(n) = n \cdot (C_{=} + C_{<} + C_{*} + C_{+}) + \\ + 2 \cdot n \cdot (n - 1) \cdot (C_{=} + C_{<} + C_{*} + C_{+}) + C_{in} + C_{out}$$

Понять как поведет себя алгоритм в будущем

```
1 int n = input.size();
2 int sum = 0;
3 for( int i = 0; i < n; i++ )//n
4     for( int j = 0; j < 2 * i; j++ )
5         //01 0123 012345 0123456 012...2i-1
6         sum++; //0 + 2 + 4 + 6 + ... 2(n-1)
```

$$f(n) = n \cdot (C_{=} + C_{<} + C_{*} + C_{+}) + \\ + 2 \cdot n \cdot (n - 1) \cdot (C_{=} + C_{<} + C_{*} + C_{+}) + C_{in} + C_{out}$$

$$f(n) : n \rightarrow \infty$$

Понять как поведет себя алгоритм в будущем

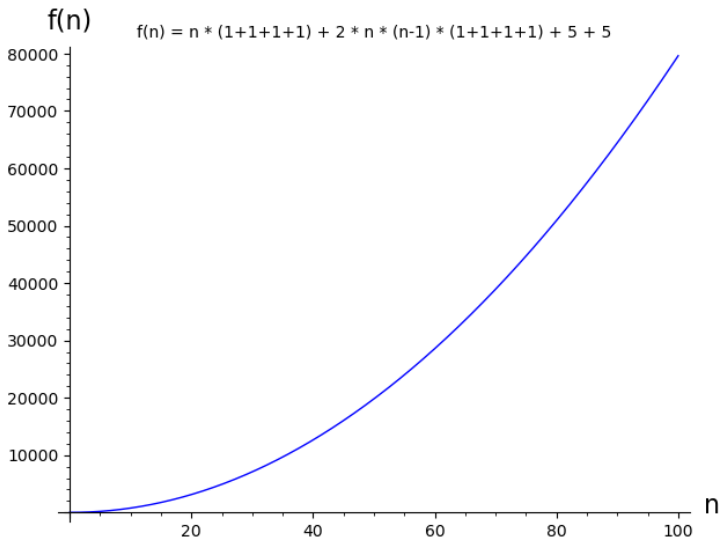
```
1 int n = input.size();
2 int sum = 0;
3 for( int i = 0; i < n; i++ )//n
4     for( int j = 0; j < 2 * i; j++ )
5         //01 0123 012345 0123456 012...2i-1
6         sum++; //0 + 2 + 4 + 6 + ... 2(n-1)
```

$$f(n) = n \cdot (C_{=} + C_{<} + C_{*} + C_{+}) + \\ + 2 \cdot n \cdot (n - 1) \cdot (C_{=} + C_{<} + C_{*} + C_{+}) + C_{in} + C_{out}$$

$$f(n) : n \rightarrow \infty$$

```
1 f(n) = n*(1+1+1+1) + 2*n*(n-1)*(1+1+1+1) + 5 + 5
2 plot(f, (n,0,100), axes_labels=['n', 'f(n)'])
```

Понять как поведет себя алгоритм в будущем



Масштаб роста функций

$$f(n) = n \cdot (C_{=} + C_{<} + C_{*} + C_{+}) + \\ + 2 \cdot n \cdot (n - 1) \cdot (C_{=} + C_{<} + C_{*} + C_{+}) + C_{in} + C_{out} =$$

Масштаб роста функций

$$\begin{aligned} f(n) &= n \cdot (C_{=} + C_{<} + C_{*} + C_{+}) + \\ &+ 2 \cdot n \cdot (n - 1) \cdot (C_{=} + C_{<} + C_{*} + C_{+}) + C_{in} + C_{out} = \\ &= n \cdot C_1 + 2 \cdot n \cdot (n - 1) \cdot C_2 + C_3 = \end{aligned}$$

Масштаб роста функций

$$\begin{aligned} f(n) &= n \cdot (C_{=} + C_{<} + C_{*} + C_{+}) + \\ &+ 2 \cdot n \cdot (n - 1) \cdot (C_{=} + C_{<} + C_{*} + C_{+}) + C_{in} + C_{out} = \\ &= n \cdot C_1 + 2 \cdot n \cdot (n - 1) \cdot C_2 + C_3 = \\ &= 2 \cdot n^2 \cdot C_2 + n \cdot (C_1 - 2 \cdot C_2) + C_3 = \end{aligned}$$

Масштаб роста функций

$$\begin{aligned} f(n) &= n \cdot (C_{=} + C_{<} + C_{*} + C_{+}) + \\ &+ 2 \cdot n \cdot (n - 1) \cdot (C_{=} + C_{<} + C_{*} + C_{+}) + C_{in} + C_{out} = \\ &= n \cdot C_1 + 2 \cdot n \cdot (n - 1) \cdot C_2 + C_3 = \\ &= 2 \cdot n^2 \cdot C_2 + n \cdot (C_1 - 2 \cdot C_2) + C_3 = \\ &= 2 \cdot n^2 \cdot C_2 + n \cdot C_4 + C_3. \end{aligned}$$

Масштаб роста функций

$$\begin{aligned} f(n) &= n \cdot (C_{=} + C_{<} + C_{*} + C_{+}) + \\ &+ 2 \cdot n \cdot (n - 1) \cdot (C_{=} + C_{<} + C_{*} + C_{+}) + C_{in} + C_{out} = \\ &= n \cdot C_1 + 2 \cdot n \cdot (n - 1) \cdot C_2 + C_3 = \\ &= 2 \cdot n^2 \cdot C_2 + n \cdot (C_1 - 2 \cdot C_2) + C_3 = \\ &= 2 \cdot n^2 \cdot C_2 + n \cdot C_4 + C_3. \end{aligned}$$

Может быть нам более интересен масштаб роста функции?

Масштаб роста функций

$$\begin{aligned} f(n) &= n \cdot (C_{=} + C_{<} + C_{*} + C_{+}) + \\ &+ 2 \cdot n \cdot (n - 1) \cdot (C_{=} + C_{<} + C_{*} + C_{+}) + C_{in} + C_{out} = \\ &= n \cdot C_1 + 2 \cdot n \cdot (n - 1) \cdot C_2 + C_3 = \\ &= 2 \cdot n^2 \cdot C_2 + n \cdot (C_1 - 2 \cdot C_2) + C_3 = \\ &= 2 \cdot n^2 \cdot C_2 + n \cdot C_4 + C_3. \end{aligned}$$

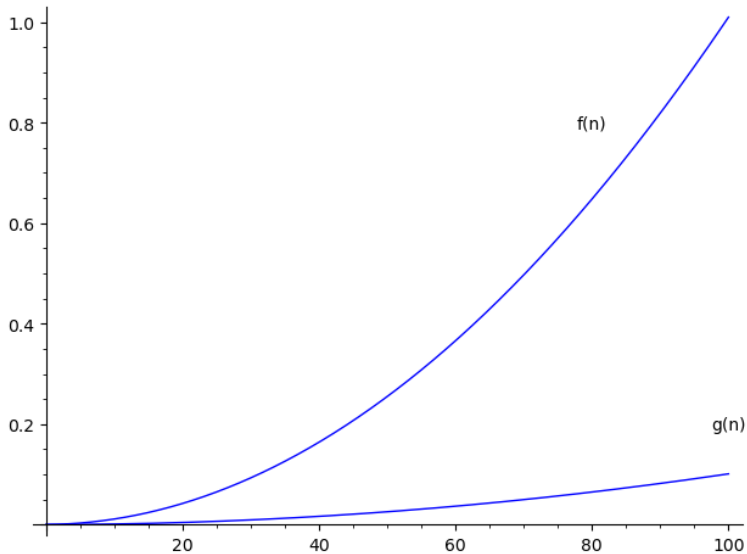
Может быть нам более интересен масштаб роста функции?

Не все ли равно какие коэффициенты C_1, C_2, C_3, C_4 при $n \rightarrow \infty$?

Масштаб роста функций

```
1 f(n) = 10*n^2 + n *10 + 10
2 g(n) = 100*n^2 + n *100 + 100
3
4 f_p = plot(f, (n,0,100))
5 g_p = plot(g, (n,0,100))
6 ans = f_p + g_p
7
8 ans += text("g(n)", (100, +200000))
9 ans += text("f(n)", (80, +800000))
10 ans
```

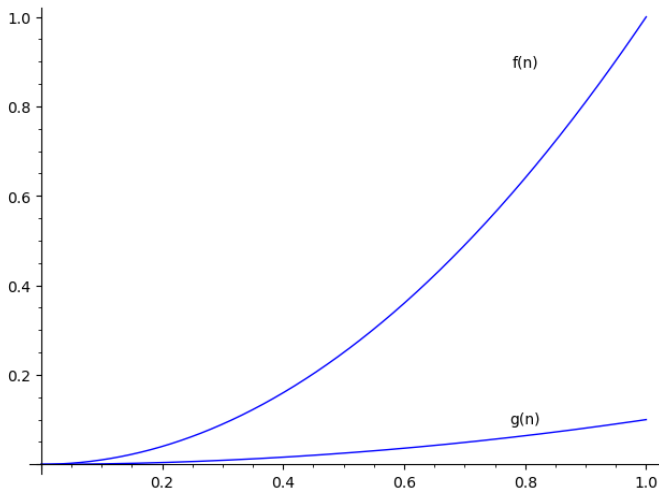
Масштаб роста функций



Масштаб роста функций

```
1 f(n) = 10*n^2 + n *10 + 10
2 g(n) = 100*n^2 + n *100 + 100
3
4 f_p = plot(f, (n,0,100000000))
5 g_p = plot(g, (n,0,100000000))
6 ans = f_p + g_p
7 ans+= text("g(n)", (80000000, +1000000000000000000))
8 ans+= text("f(n)", (80000000, +900000000000000000))
9 ans
```

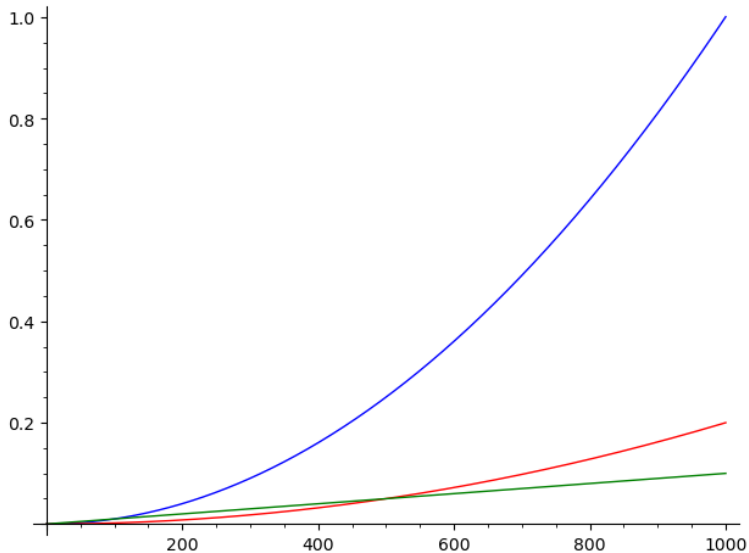
Масштаб роста функций



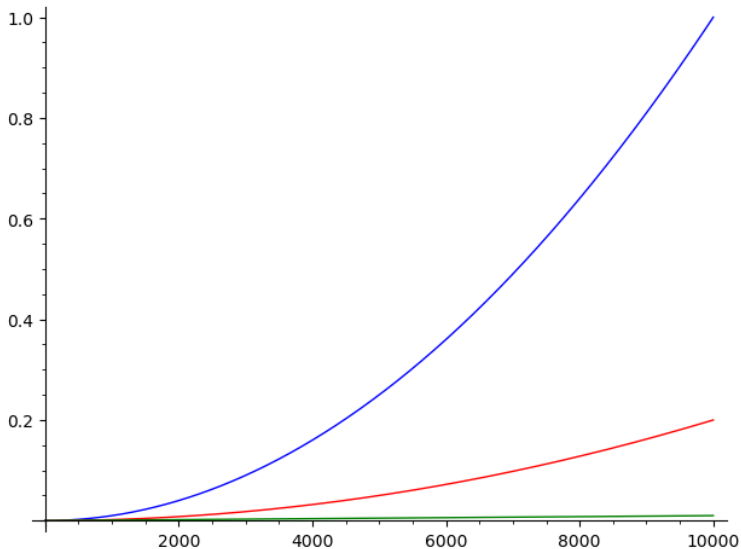
Масштаб роста функций

```
1 f(n) = 10*n^2 + n *10 + 10
2 quad(n) = 2*n^2
3 lin(n) = 1000*n
4
5 f_p = plot(f, (n,0,1000))
6 quad_p = plot(quad, (n,0,1000), color='red')
7 lin_p = plot(lin, (n,0,1000),color = 'green')
8 ex_p = plot(ex, (n,0,1000),color = 'brown')
9
10 ans = f_p + quad_p + lin_p
11 ans
```

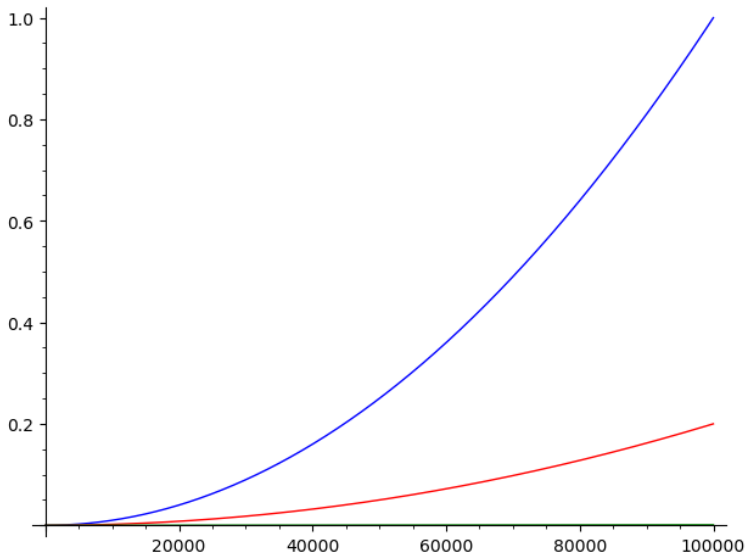

Масштаб роста функций



Масштаб роста функций



Масштаб роста функций



Масштаб роста функций

$$f(n) = 2 \cdot n^2 \cdot C_2 + n \cdot C_4 + C_3.$$

Масштаб роста функций

$$f(n) = 2 \cdot n^2 \cdot C_2 + n \cdot C_4 + C_3.$$

- Как максимально коротко и точно описать сложность алгоритма?

Масштаб роста функций

$$f(n) = 2 \cdot n^2 \cdot C_2 + n \cdot C_4 + C_3.$$

- Как максимально коротко и точно описать сложность алгоритма?
- Возьмем самое значимое слагаемое.

Масштаб роста функций

$$f(n) = 2 \cdot n^2 \cdot C_2 + n \cdot C_4 + C_3.$$

- Как максимально коротко и точно описать сложность алгоритма?
- Возьмем самое значимое слагаемое.
- Можем ли мы подтвердить интуицию математикой?

O-символика

$$f(n) = o(g(n)) \quad \forall k > 0 \quad \exists n_0 \quad \forall n > n_0 \quad f(n) < k \cdot g(n) \quad \Leftrightarrow \quad \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{f(n)}{g(n)} = 0 \quad f(n) \prec g(n)$$

$$f(n) = O(g(n)) \quad \exists k > 0 \quad \exists n_0 \quad \forall n > n_0 \quad f(n) < k \cdot g(n) \quad \Leftrightarrow \quad \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{f(n)}{g(n)} < \infty \quad f(n) \preceq g(n)$$

$$f(n) = \Theta(g(n)) \quad \begin{array}{l} \exists k_1 k_2 > 0 \quad \exists n_0 \\ \forall n > n_0 \\ k_1 \cdot g(n) < f(n) \\ f(n) < k_2 \cdot g(n) \end{array} \quad \Leftrightarrow \quad \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{f(n)}{g(n)} = c \quad f(n) \approx g(n)$$

$$f(n) = 2 \cdot n^2 \cdot C_2 + n \cdot C_4 + C_3.$$

$$g(n) = n^2$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{f(n)}{g(n)} =$$

$$f(n) = 2 \cdot n^2 \cdot C_2 + n \cdot C_4 + C_3.$$

$$g(n) = n^2$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{f(n)}{g(n)} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{2 \cdot n^2 \cdot C_2 + n \cdot C_4 + C_3}{n^2} =$$

$$f(n) = 2 \cdot n^2 \cdot C_2 + n \cdot C_4 + C_3.$$

$$g(n) = n^2$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{f(n)}{g(n)} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{2 \cdot n^2 \cdot C_2 + n \cdot C_4 + C_3}{n^2} =$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{2 \cdot n^2}{n^2} + \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n \cdot C_4}{n^2} + \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{C_3}{n^2} =$$

$$f(n) = 2 \cdot n^2 \cdot C_2 + n \cdot C_4 + C_3.$$

$$g(n) = n^2$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{f(n)}{g(n)} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{2 \cdot n^2 \cdot C_2 + n \cdot C_4 + C_3}{n^2} =$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{2 \cdot n^2}{n^2} + \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n \cdot C_4}{n^2} + \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{C_3}{n^2} =$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{2}{1} + \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{C_4}{n} + \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{C_3}{n^2} =$$

$$f(n) = 2 \cdot n^2 \cdot C_2 + n \cdot C_4 + C_3.$$

$$g(n) = n^2$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{f(n)}{g(n)} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{2 \cdot n^2 \cdot C_2 + n \cdot C_4 + C_3}{n^2} =$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{2 \cdot n^2}{n^2} + \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n \cdot C_4}{n^2} + \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{C_3}{n^2} =$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{2}{1} + \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{C_4}{n} + \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{C_3}{n^2} =$$

$$2 + 0 + 0 = 2$$

Классы сложности

Алгоритм со сложностью $f(n)$ называется:

- Если $f = \Theta(\log^k n)$: логарифмическим при $k=1$, полилогарифмическим при $k>1$.
- Если $f = \Theta(n)$: линейным.
- Если $f = \Theta(n \log^k n)$: linearithmic при $k=1$, квазилинейным при $k>1$.
- Если $f = \Theta(n^k)$: полиномиальным, при $k=2$ квадратическим.
- Если $f = \Theta(2^{n^k})$: экспоненциальным.

```
1 #include<iostream>
2 #include<string>
3 #include<cmath>
4 int main()
5 {
6     int n, root;
7     std::cin >> n;
8     root = std::sqrt( n );
9     for( int i=2;i<=root;i++ ){
10         if(n%i == 0){
11             std::cout << i << std::endl;
12             return 0;
13         }
14     }
15     std::cout << n << " is prime" << std::endl;
16     return 0;
17 }
```

```
1 #include<iostream>
2 #include<string>
3 #include<cmath>
4 int main()
5 {
6     int n, root;
7     std::cin >> n;
8     root = std::sqrt( n );
9     for( int i=2;i<=root;i++ ){
10         if(n%i == 0){//2 3 4 5 ... sqrt(n)
11             std::cout << i << std::endl;
12             return 0;
13         }
14     }
15     std::cout << n << " is prime" << std::endl;
16     return 0;
17 }
```



```
1 int n, root;  
2 std::cin >> n;  
3 root = std::sqrt( n );  
4 for(int i=2;i<=root;i++)
```

$$f(n) = \Theta(\sqrt{n})$$

```
1 int n, root;  
2 std::cin >> n;  
3 root = std::sqrt( n );  
4 for(int i=2;i<=root;i++)
```

$$f(n) = \Theta(\sqrt{n})$$

$$n = \Theta(10^{|x|})$$

```
1 int n, root;  
2 std::cin >> n;  
3 root = std::sqrt( n );  
4 for(int i=2;i<=root;i++)
```

$$f(n) = \Theta(\sqrt{n})$$

$$n = \Theta(10^{|x|})$$

$$f(|x|) = \Theta\left(\sqrt{10^{|x|}}\right)$$

Домашнее задание

- Написать программу реализующую алгоритм Эратосфена.
- Оценить сложность - написать в программе комментариями мысли и результат.
- Сделать pull request в папку lecture_01/homework/ с файлом решения.