Алгоритмы и контейнеры данных

Электронная презентация

Захаров Алексей Сергеевич

Кафедра Компьютерной Фотоники
Факультет Фотоники и Оптоинформатики
СПбГУ ИТМО

Введение

- В рамках курса будут изучаться
  - Алгоритмы сортировки и поиска
  - Контейнеры данных
- Необходимо освоить
  - Реализацию алгоритмов и контейнеров
  - Рациональный выбор и использование стандартных алгоритмов и контейнеров

Введение

- Курс разрабатывался, исходя из использования языка программирования C++
- Допускается использование других объектно-ориентированных языков для выполнения заданий

Введение

- Стандартная схема сдачи курса
  - два задания на разработку алгоритмов
  - одно задание на разработку контейнера данных
  - одно задание на разработку программного обеспечения с использованием стандартных алгоритмов и контейнеров данных
  - два теста
  - итоговый отчет

Введение

- Альтернативная схема сдачи курса
  - Есть специальное задание для одного-двоих разработчиков. Желательно знание языка C#.

Тема 1.1. Вычислительная сложность алгоритмов. Алгоритмы сортировки и поиска

Лекция 1. Понятие вычислительной сложности алгоритма

- Время выполнения программой той или иной вычислительно сложной задачи является ключевой характеристикой программы. Следует выбирать алгоритм так, чтобы минимизировать время работы программы.
- Точно оценить время работы программы при разработке невозможно (неизвестны исходные данные, характеристики компьютера и многое другое)

Время работы программы

- Время работы программы зависит от
  - Алгоритма
  - Числа обрабатываемых элементов
  - Конкретного набора элементов
  - Характеристик компьютера
  - Особенностей реализации алгоритма на языке программирования

Время работы программы

- Рассмотрим несколько программ, выполняемых на одной машине в одинаковых условиях с входными наборами различной длины
- В таблице иллюстрируется зависимость времени работы программы от размера входных данных

Изменение времени работы

Формула \ N	2	100	10000
$10N^2$	40	100000	1000000000
$10N^2+30N$	100	103000	1000300000
$20N^2$	80	200000	2000000000
$N^{3+}5N^2$	28	1050000	1000500000000
$3N^3$	24	3000000	3000000000000

Время работы программы

- Можно заметить, что при больших N существенно различие между первыми тремя программами и последними двумя программами.
- Иными словами, существенно различие между программами, работающими за время «порядка N^2» [или $O(N^2)$] и «порядка N^3» [или $O(N^3)$].

Утверждение

- Пусть компьютер соответствует принципу адресности фон Неймана (имеет оперативную память, время обращения к каждой ячейке которой по ее целочисленному адресу одинаково)
- Пусть компьютер поддерживает принцип программного управления и принцип последовательного исполнения команд (допустима конвейеризация или параллельное исполнение на фиксированном числе процессоров)

Утверждение

- Пусть компьютер имеет примерно соответствующий общепринятому набор команд (т.е. в нем нет готовых команд сортировки, например).

Утверждение

- Тогда для большинства задач порядок роста времени работы программы в зависимости от числа элементов определяется алгоритмом.
- Коэффициенты в формуле зависимости времени работы программы определяются деталями реализации, характеристиками компьютера и т.д.

Выводы

- При разработке программы невозможно точно определить время ее работы в будущем.
- Для практических нужд, как правило, достаточно знание порядка роста времени работы программы в зависимости от числа элементов.

Выводы

- Исследование вычислительной сложности алгоритма возможно без знания деталей его реализации на конкретном языке программирования на конкретном компьютере.
  - Для большинства алгоритмов при выполнении базовых предположений о компьютере порядок роста времени работы в зависимости от числа элементов не зависит от реализации

Асимптотическое поведение функции

Говорят, что

$$f(n) \in O(g(n))$$

если

$$\exists c_1 >= 0, c_2 >= 0, n_0 >= 0$$

$$\forall n >= n_0$$

$$0 <= c_1 g(n) <= f(n) <= c_2 g(n)$$

Асимптотическое поведение функции

Говорят, что

$$f(n) \in o(g(n))$$

если

$$\forall c_1 > 0$$

$$\exists n_0 >= 0$$

$$\forall n >= n_0$$

$$0 <= f(n) < c_1 g(n)$$

Асимптотическое поведение функции

- Верно, что

$$f(n) \in O(g(n)) \Leftrightarrow g(n) \in O(f(n))$$

$$f(n) \in O(g(n)), h(n) \in O(g(n)) \Rightarrow$$
$$f(n) \in O(h(n))$$

$$kg(n) + o(g(n)) \in O(g(n))$$

Асимптотическое поведение функции. Примеры

$$3n^2 + 10n = O(n^2)$$

$$500n = o(n^2)$$

$$10n\lg(n) + 50n = O(n\lg(n))$$

$$1000n = o(n\lg(n))$$

$$2^n + 10n^3 = O(2^n)$$

Асимптотическое поведение функции

- Для исследования алгоритма работы достаточно выяснить асимптотическое поведение функции, задающей зависимость времени работы от количества элементов
- Как правило, эта характеристика определяется алгоритмом, а не реализацией программы

Асимптотическое поведение функции.

- Поскольку

$$kg(n) + o(g(n)) \in O(g(n)),$$

мы можем пренебрегать постоянными коэффициентами и меньшими по порядку добавками [$o(g(n))$] при оценивании времени работы функции

Пример

```
max = 0;
for ( i = 0 ; i < n ; i++ )
    if ( max < A[i] )
        max = A[i];
```

Пример. Команды процессора

SET R1,0	c_1			
LOAD R2, <адрес n>		c_2		
LOAD R3, <адрес A>		c_2		
SET R4, 0;			c_1	
start: CMP R4,R2			c_3	
JZ finish	c_4			
LOAD R5, [R3]			c_2	
CMP R1, R5			c_3	
JZ next	c_4			
SET R1, R5			c_1	
next:ADD R4,R4,1				c_5
ADD R3, R3, 4 [sizeof(unsigned int)]				c_5
JMP start	c_6			
finish: SAVE R4, <адрес max>				c_7

Пример:

Время работы программы (k – количество раз, когда условие выполнено, $0<=k<=n$)

$$T=2c_1+2c_2+n(2c_3+2c_4+c_2+2c_5+c_6)+kc_1+c_7$$

$$2c_1+2c_2+c_7+n(2c_3+2c_4+c_2+2c_5+c_6)<=T$$

$$T<=2c_1+2c_2+c_7+n(2c_3+2c_4+c_2+c_1+2c_5+c_6)$$

$$T=O(n)$$

Пример

```
max = 0;
for ( i = 0 ; i < n ; i++ )
    if ( max < A[i] )
       max = A[i];
```

При взгляде на код интуитивно понятно, что сложность алгоритма $T=O(n)$

Мы это доказали строго

Вычислительная сложность алгоритма

- Часто время работы алгоритма зависит не только от размера входных данных, но и от их значений.
- В этом случае можно говорить о времени работы:
  - Для наилучших входных данных
  - Для средних входных данных (матожидание времени работы)
  - Для наихудших входных данных

Вычислительная сложность алгоритма

- Часто асимптотическая сложность алгоритма для средних и наихудших входных данных совпадает
- Когда я говорю о вычислительной сложности алгоритма, не уточняя детали – я имею в виду, что для этого алгоритма асимптотическая сложность совпадает в среднем и наихудшем случае

Вычислительная сложность алгоритма

- Существуют алгоритмы (например, QuickSort), вычислительная сложность которых отличается в среднем $O(n\lg(n))$ и наихудшем $O(n^2)$ случаях
- Используя такие алгоритмы, подумайте, не оказывается ли наихудший случай самым распространенным в вашей задаче

Вычислительная сложность алгоритма

- Вычислительная сложность алгоритма в наилучшем случае обсуждается реже
- Подумайте, не можете ли Вы организовать наилучший случай в своей задаче.

Выводы

- Порядок роста времени выполнения программы, как правило, определяется алгоритмом
- Ключевая характеристика алгоритма – порядок роста (асимптотическая сложность)
- Асимптотическую сложность алгоритма часто можно оценить интуитивно

Лекция 2. Понятие сортировки и поиска. Обзор основных алгоритмов.

- Линейный поиск в массиве
- Бинарный поиск в массиве
- Сортировка прямым выбором
- Другие квадратичные сортировки
- Сортировка Merge Sort
- Другие $n\lg(n)$ сортировки

Методы поиска

- Линейный поиск
- Бинарный поиск
- Другие методы

Линейный поиск в массиве

- Пусть есть массив A длины *n*
- Необходимо найти элемент, равный *a.*
- Мы можем просто перебрать все элементы массива, сравнивая их с *a*

Линейный поиск в массиве

```
int result = -1;
int i = 0;
while ( i < n && result < 0 )
{
  if ( A[ i ] == a )
    result = i;
  i++;
}
```

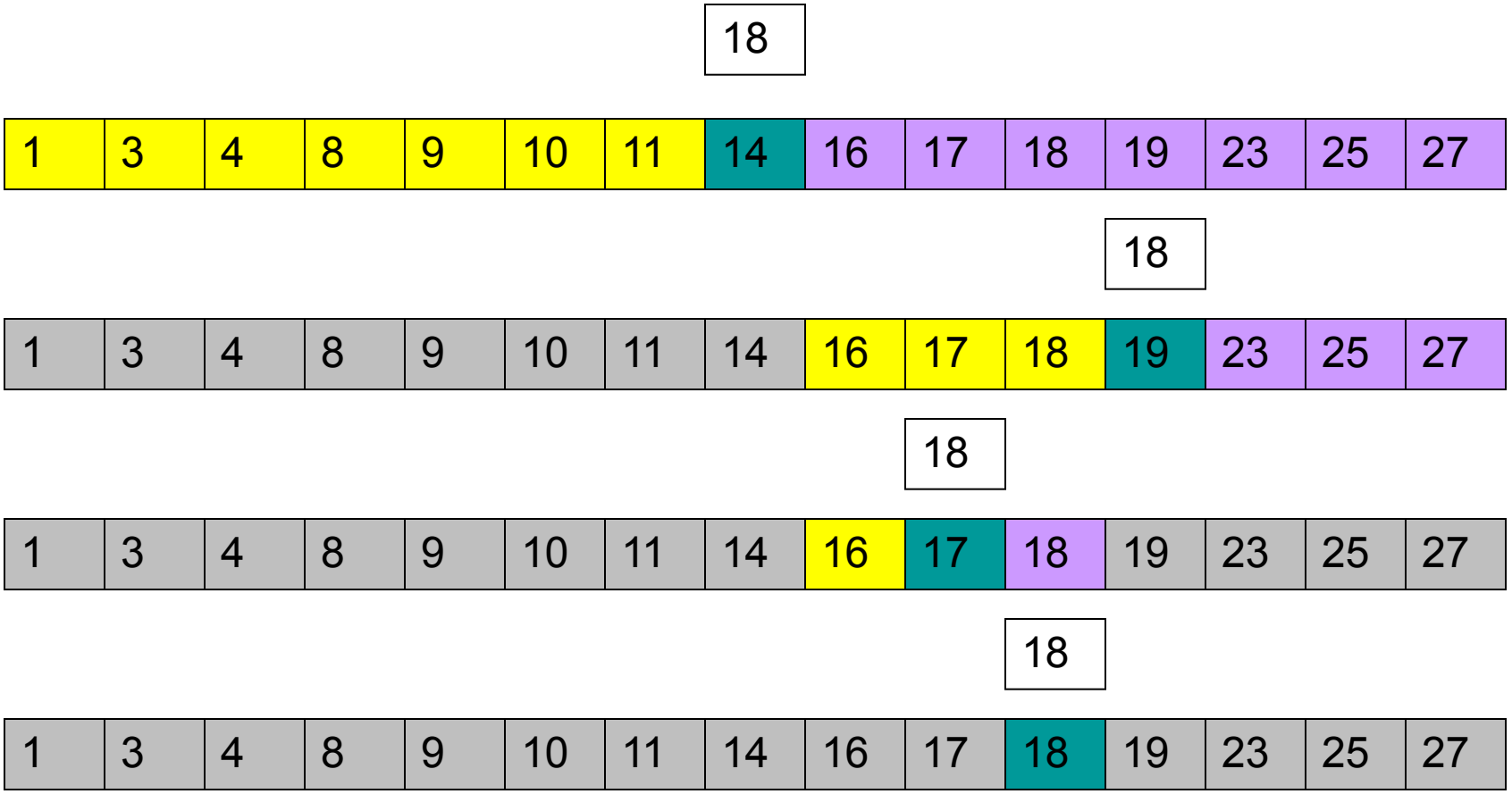
Линейный поиск в массиве

- Легко показать, что время работы алгоритма в наихудшем и среднем случае – O(n).
- Действительно, наихудший случай – когда элемент не найден, трудоемкость равна $c_1 n + c_2$
- Если элемент найден, трудоемкость в среднем $c_1(n/2) + c_3$

Бинарный поиск в массиве

- В общем случае реализовать поиск с трудоемкостью, меньшей O(*n*), невозможно
- Если мы не делаем предположений о хранении данных в массиве – то любой элемент может оказаться нужным, и проверять необходимо все
- Предположим, массив был отсортирован. Тогда ситуация меняется

Поиск в отсортированном массиве



Бинарный поиск

- Количество сравнений – $\log_2 N$
- Неудобство хранения данных в отсортированном массиве – дорогая вставка элемента (потребуется переместить в среднем $N/2$ элементов)
- Решение этой проблемы будет рассмотрено в лекции 3, посвященной контейнерам

Поиск

- Если мы хотим еще более быстрого поиска – мы должны наложить еще более жесткие ограничения на механизм хранения данных.
- Подробнее вопрос будет рассмотрен в лекции 4, посвященной хэшированию.

Поиск минимального элемента

- Задача решается за время, равное O(*n*)

```
min = 0;
for ( i = 0 ; i < n ; i++ )
    if (A[i] < min )
       min = A[i];
```

Методы сортировки

- Сортировка за $O(n^2)$
- Сортировка за $O(n\lg(n))$

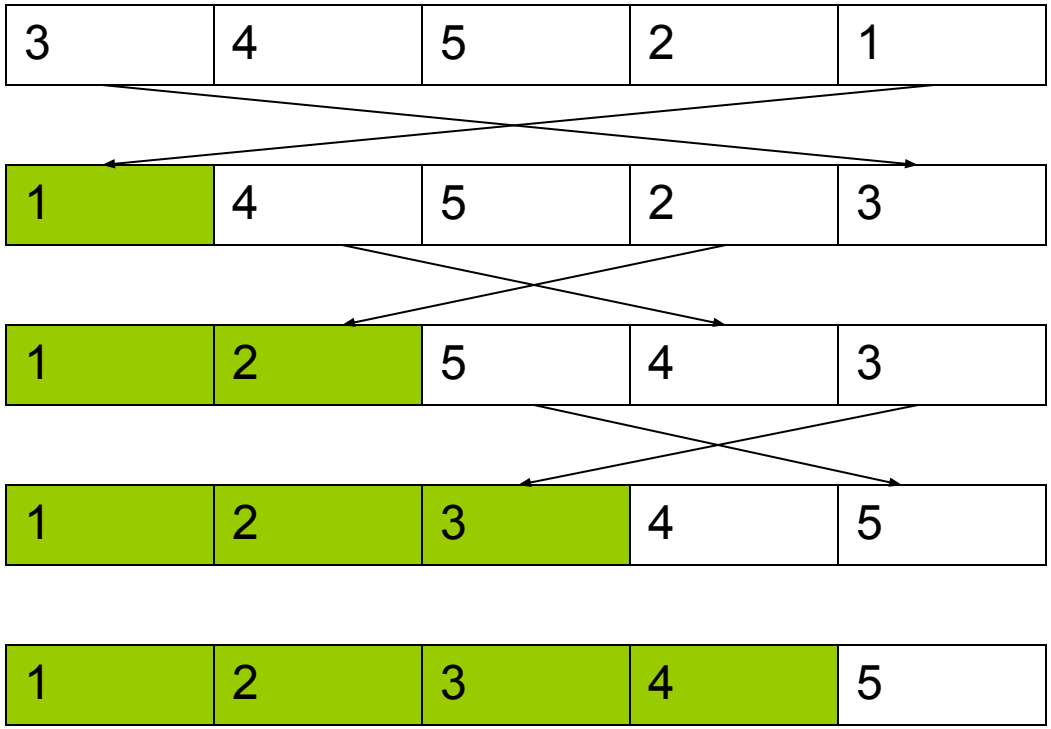
Сортировка прямым выбором

- На первом шаге выбирается минимальный элемент и ставится первым
- После этого мы решаем ту же задачу для *N*-1 элемента – начиная со второго
- Так пока число сортируемых элементов не станет 1

Пример

- Демонстрационная программа SortStraightSel

Пример работы



Сортировка прямым выбором

- Мы просматриваем на первом шаге N элементов, на втором – N-1, и так далее.
- Всего – $N + N\text{-}1 + \ldots + 1 = (N^2 + N)/2$
- Время работы алгоритма - $O(N^2)$

Сортировка пузырьком

- На каждом шаге перебираются все пары соседних элементов, и если меньший элемент стоит позже – элементы меняются местами
- Таким образом, малые значения «всплывают» в начало массива, а большие «опускаются» в конец
- Нужно выполнить *N*-1 шаг, чтобы массив стал отсортированным

Пример

3	4	5	2	1

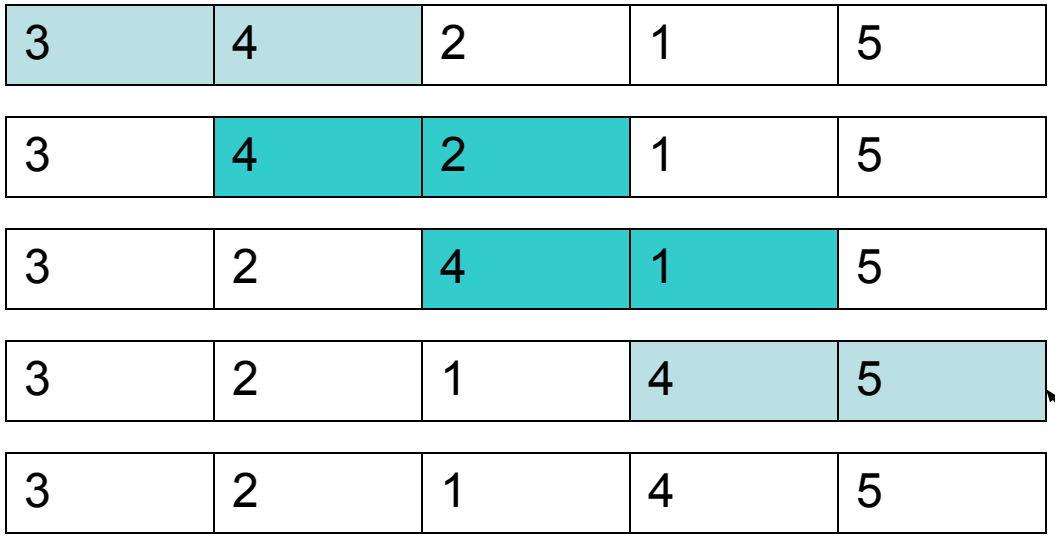
3	4	5	2	1

3	4	5	2	1

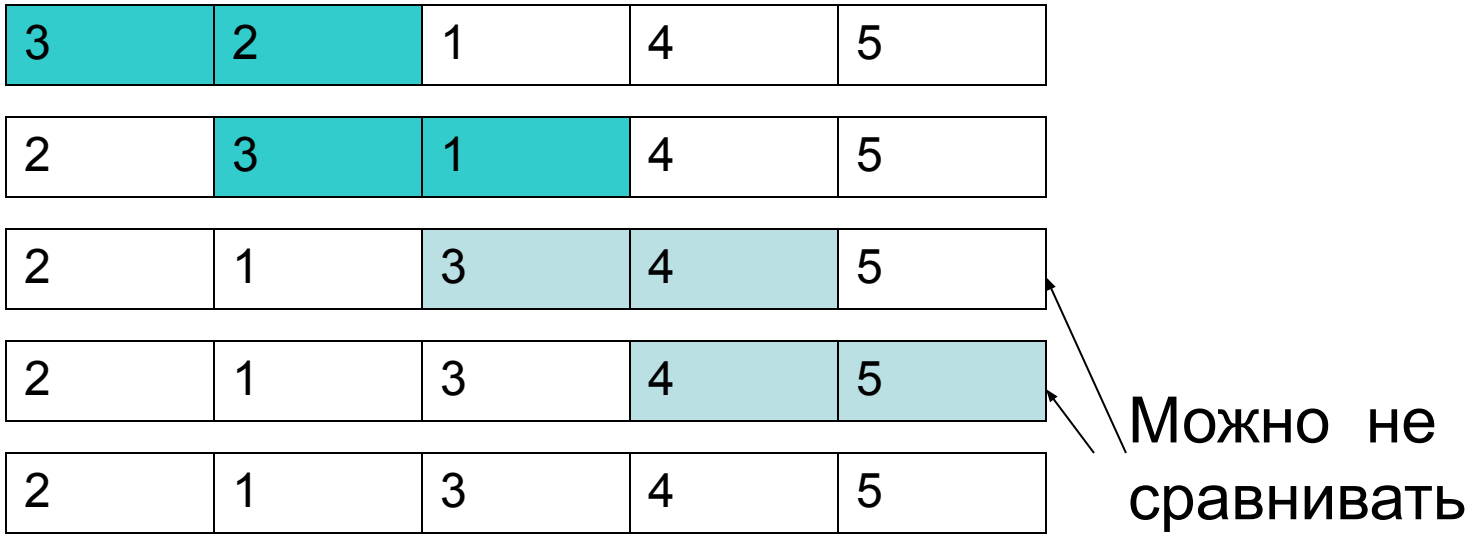
3	4	2	5	1

3	4	2	1	5

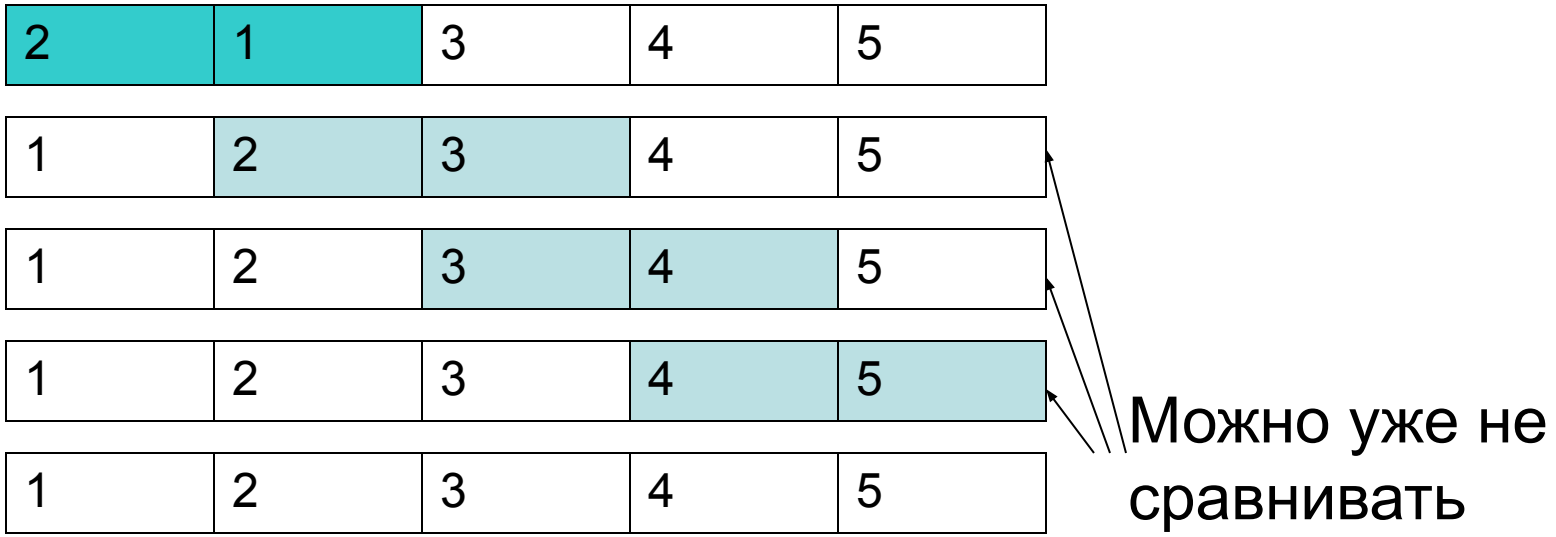
Пример



Пример



Пример



Сортировка пузырьком

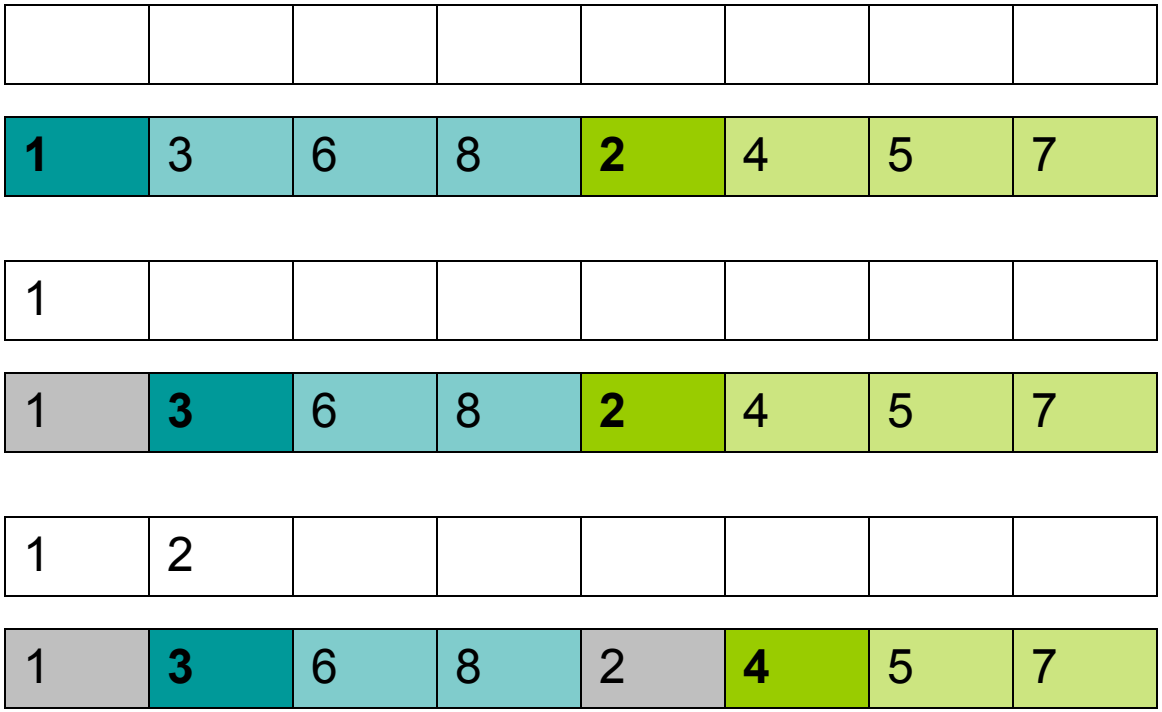
- Необходимо N-1 шагов.
- На каждом шаге – N-1 сравнение (и, при необходимости, перестановка).
- Итого – $(N\text{-}1)^2$, т.е. $O(N^2)$ шагов
- Если не делать лишних сравнений – $(N^2 - N)/2$

Быстрые алгоритмы сортировки

Алгоритм сортировки MergeSort

- Представим себе, что левая и правая половина массива отсортированы.
- Тогда отсортировать весь массив можно за *N* шагов. Как?

Merge Sort



- На каждом шаге сравниваются два элемента - один из первой половины, один из второй.
- Меньший из них записывается в результирующий массив

Merge Sort

Merge Sort

1	2	3	4	5			
1	3	**6**	8	2	4	5	**7**

1	2	3	4	5	6		
1	3	6	**8**	2	4	5	**7**

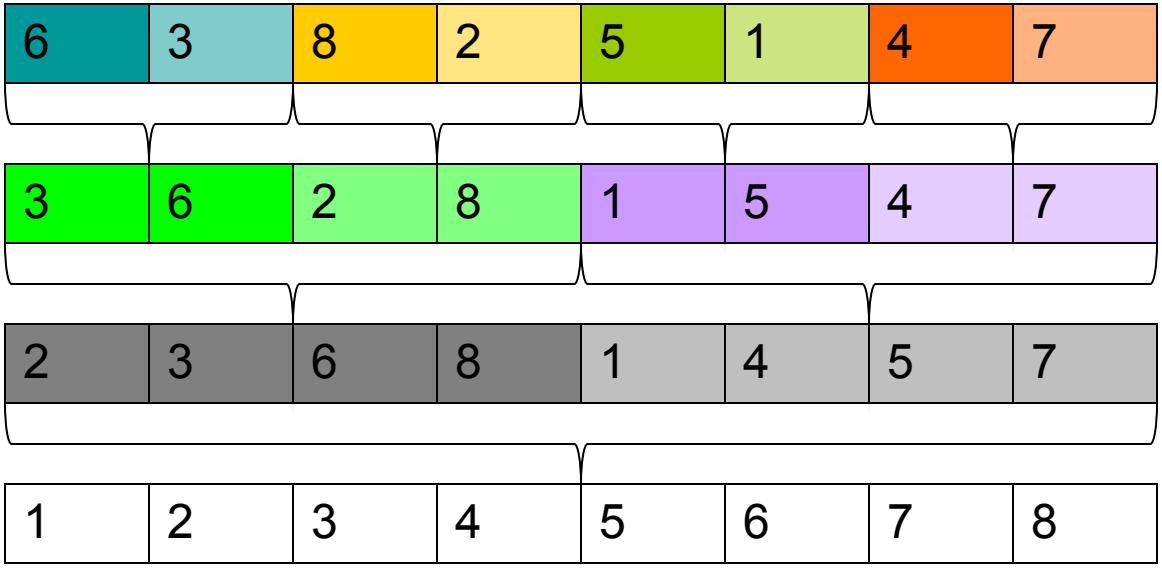
1	2	3	4	5	6	7	
1	3	6	**8**	2	4	5	7

1	2	3	4	5	6	7	8
1	3	6	8	2	4	5	7

Merge Sort

- Как же сделать половинки массива отсортированными?
  - В массиве из двух элементов половинки отсортированы всегда
  - Отсортировав все фрагменты массива из двух элементов каждый, можно сортировать фрагменты из четырех – и так до конца
  - Если длина массива – не 2^n, ничего страшного – просто один из двух массивов будет короче

Merge Sort. Неотсортированый массив



$4 * 2 = 8, N$

$2 * 4 = 8, N$

$1 * 8 = 8, N$

Ступенек – $\log_2 N$, общая трудоемкость – $N\log_2 N$

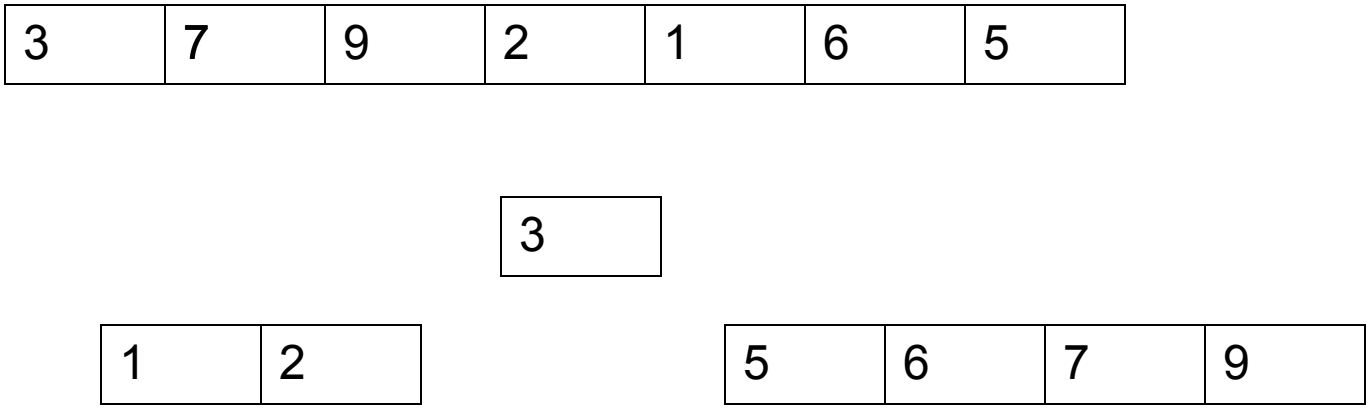
MergeSort

- Алгоритм MergeSort позволяет нам решить задачу сортировки массива за время, пропорциональное $N\log_2 N$
- Мы знаем, что $\log_2 N = \log_a N * \log_2 a = K\log_a N$
- Следовательно, если время работы алгоритма – $O(\log_2 N)$, то оно равно и $O(\log_a N)$
- Поэтому часто говорят просто $O(N\log N)$, не уточняя основание логарифма

Пирамидальная сортировка

- Основана на помещении значений в пирамиду и извлечении их из пирамиды

QuickSort



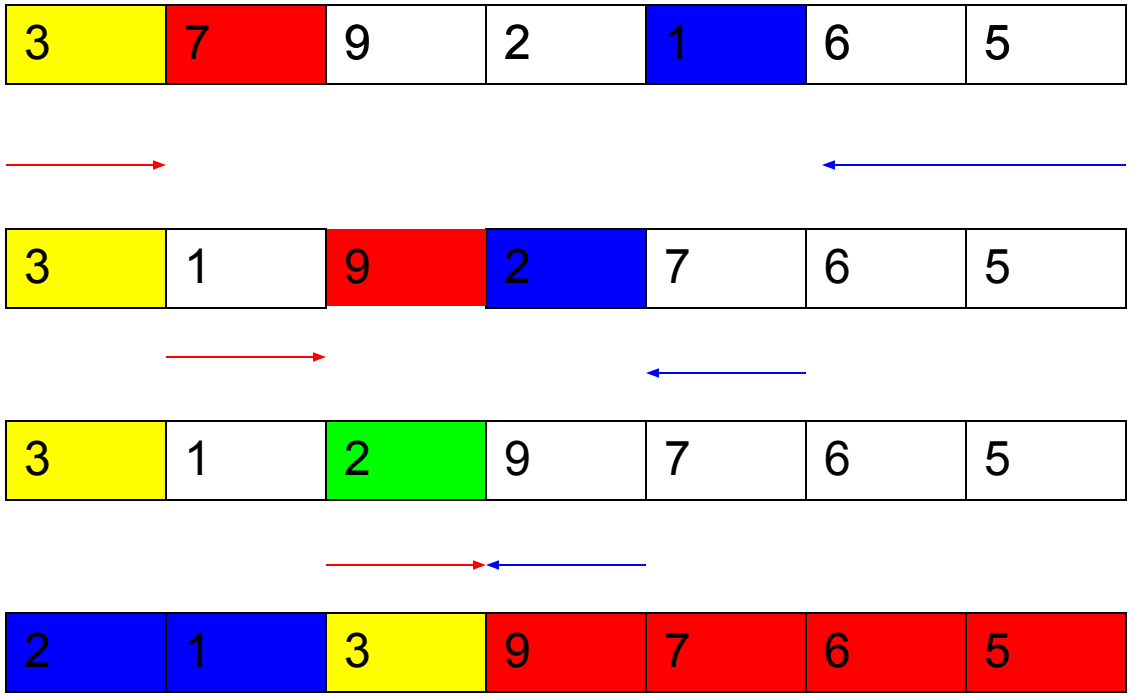
Мы взяли число и разделили массив на две части – значения меньше данного и больше данного. После этого мы можем продолжить сортировки половинок массива

В среднем и лучшем случае сортировка занимает время O(NlgN) – лучший случай это деление массива пополам на каждом шаге

В худшем случае – $O(N^2)$

QuickSort

- Как выполнить QuickSort без использования дополнительной памяти?



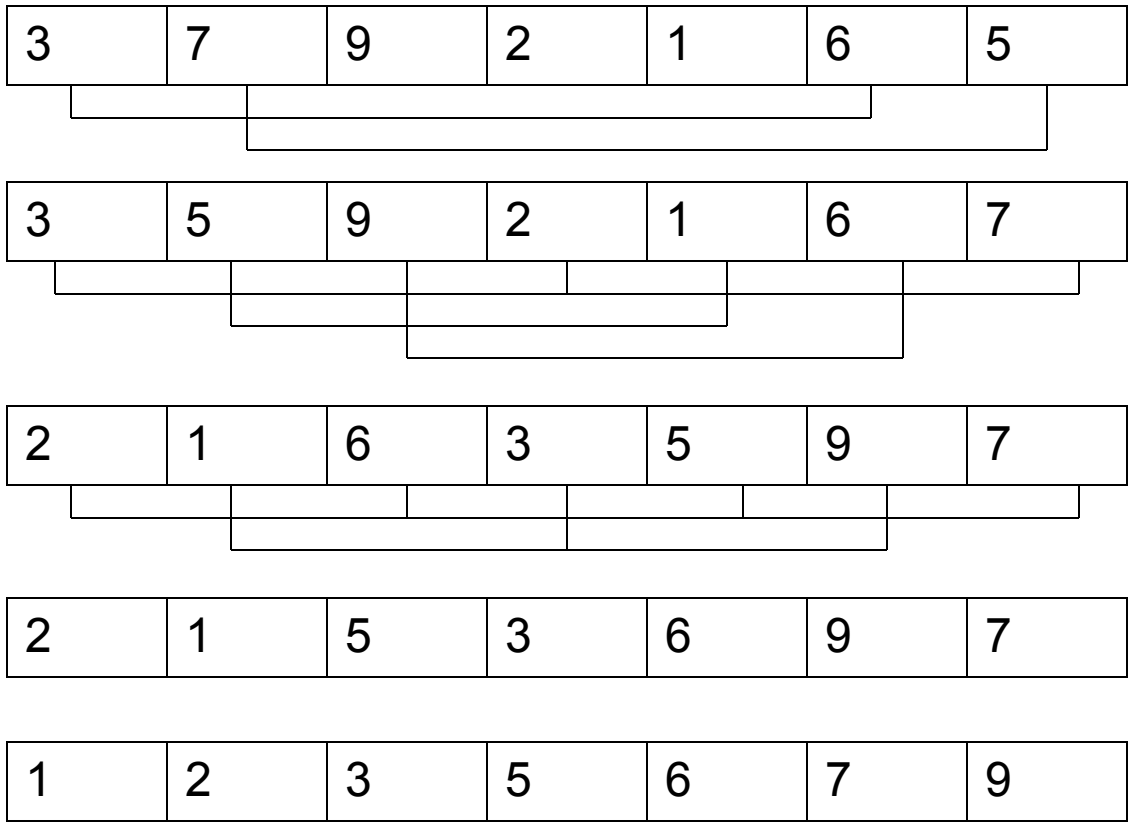
CombSort

- В сортировке пузырьком мы сравниваем соседние элементы и меняем их местами
- Эффективнее на первых шагах сравнивать более удаленные друг от друга элементы
- Постепенно снижаем расстояние между сравниваемыми элементами
- На последнем шаге повторим пузырек, но проходов потребуется немного

CombSort

- Начальный шаг – длина массива, деленная на 1.3
- Уменьшение шага – в 1.3 раза

CombSort


3 7 9 2 1 6 5
Шаг 5 (1 проход)
3 5 9 2 1 6 7
Шаг 3 (1 проход)
2 1 6 3 5 9 7
Шаг 2 (2 прохода)
2 1 5 3 6 9 7
Шаг 1 (2 прохода)
1 2 3 5 6 7 9

IntroSort

- Сочетание пирамидальной и быстрой сортировки
- Быстрая сортировка лучше в среднем случае, пирамидальная – в наихудшем
- При достижении предельной глубины быстрой сортировки переходим на пирамидальную

Методы сортировки за O(N)

- Сортировка подсчетом
- Цифровая сортировка
- Карманная сортировка

Сортировка подсчетом

- Предположим, в массиве лежат значения, равные 0, 1 и 2
- Как выполнить его сортировку за время O(N)?

0	2	2	0	1	1	0	2

Сортировка подсчетом

0	2	2	0	1	1	0	2

Этап 1 – подсчитываем число 0, единиц и двоек

0	3
1	2
2	3

Сортировка подсчетом

0	2	2	0	1	1	0	2

Этап 2 – Определяем позиции, на которых должны лежать 0, 1 и 2

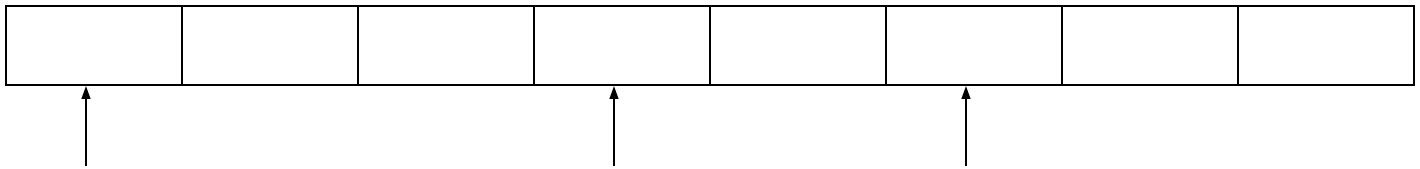
Значение	Число	Min	Max
0	3	0	2
1	2	3	4
2	3	5	7

Сортировка подсчетом

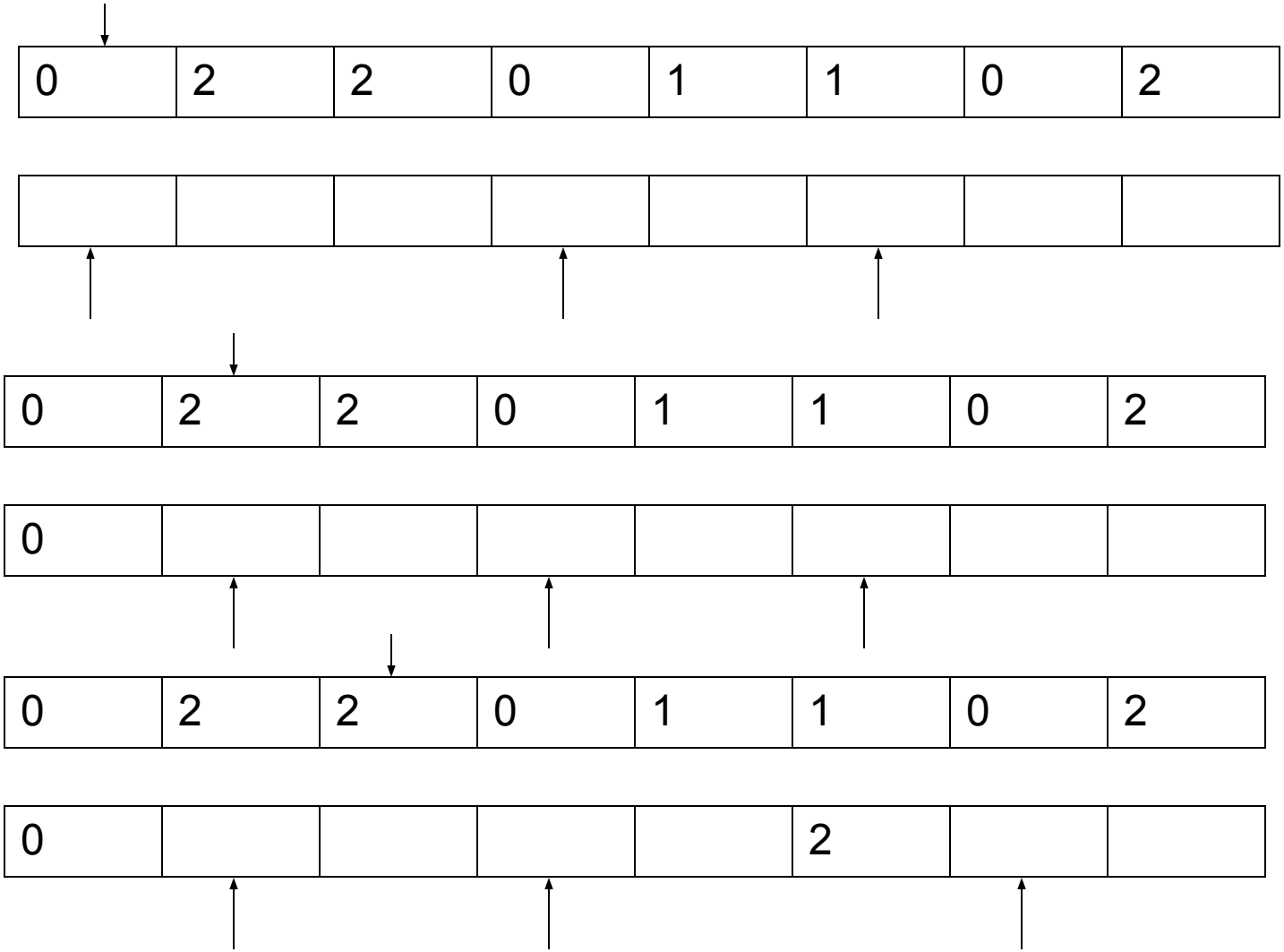
0	2	2	0	1	1	0	2

Этап 3 – Создаем новый массив и устанавливаем счетчики

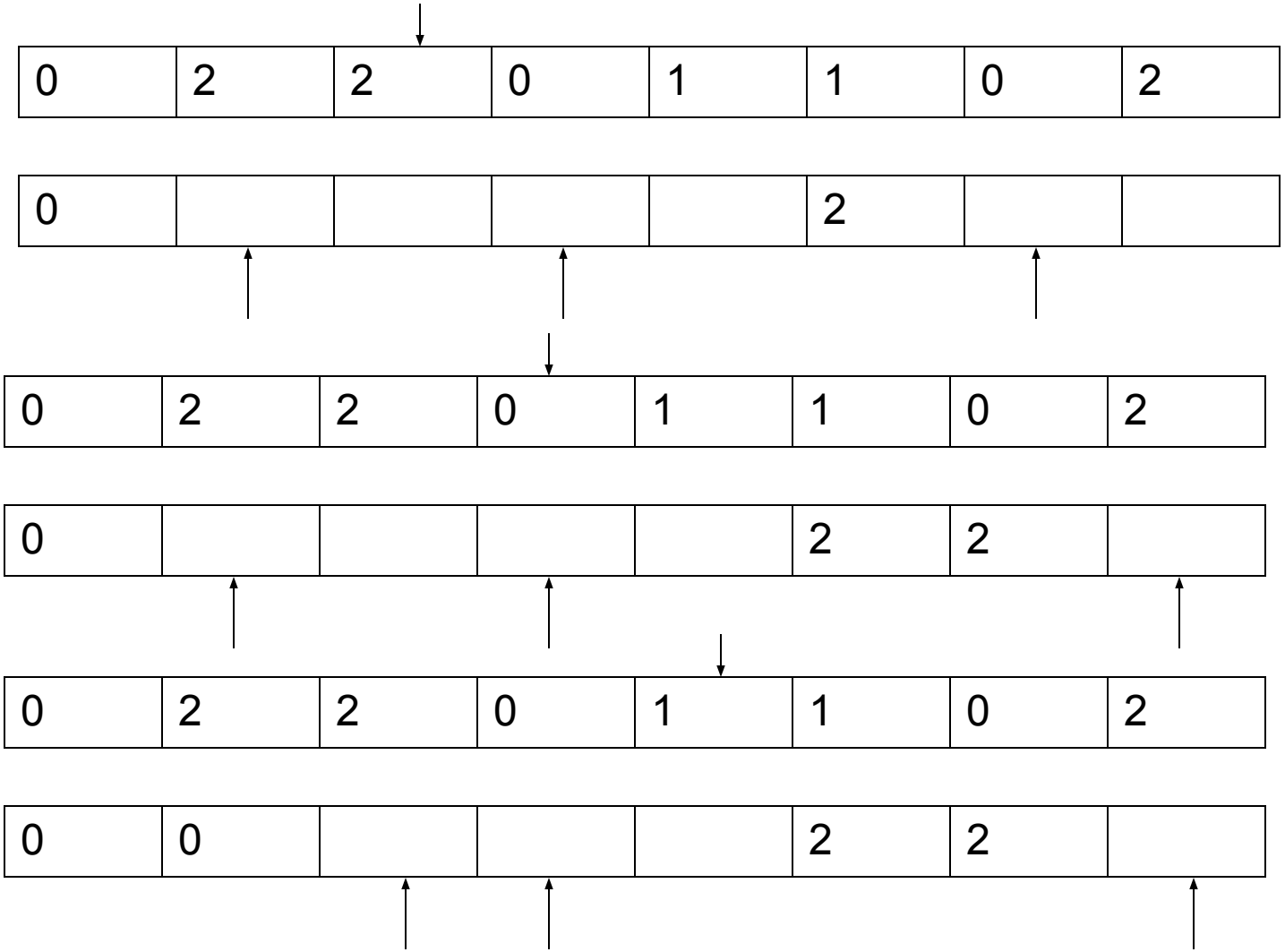
Значение	Число	Min	Max
0	3	0	2
1	2	3	4
2	3	5	7



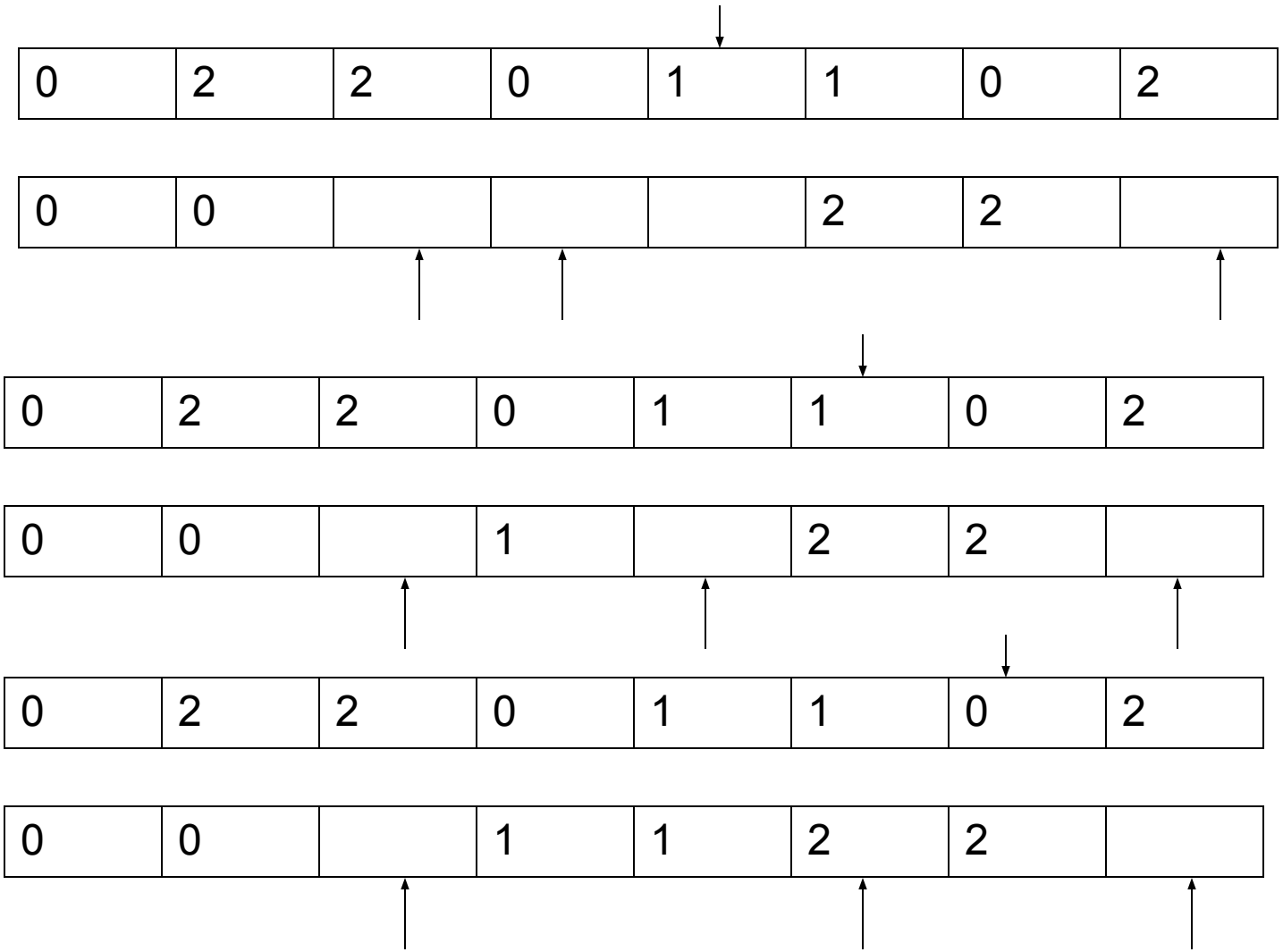
Сортировка подсчетом



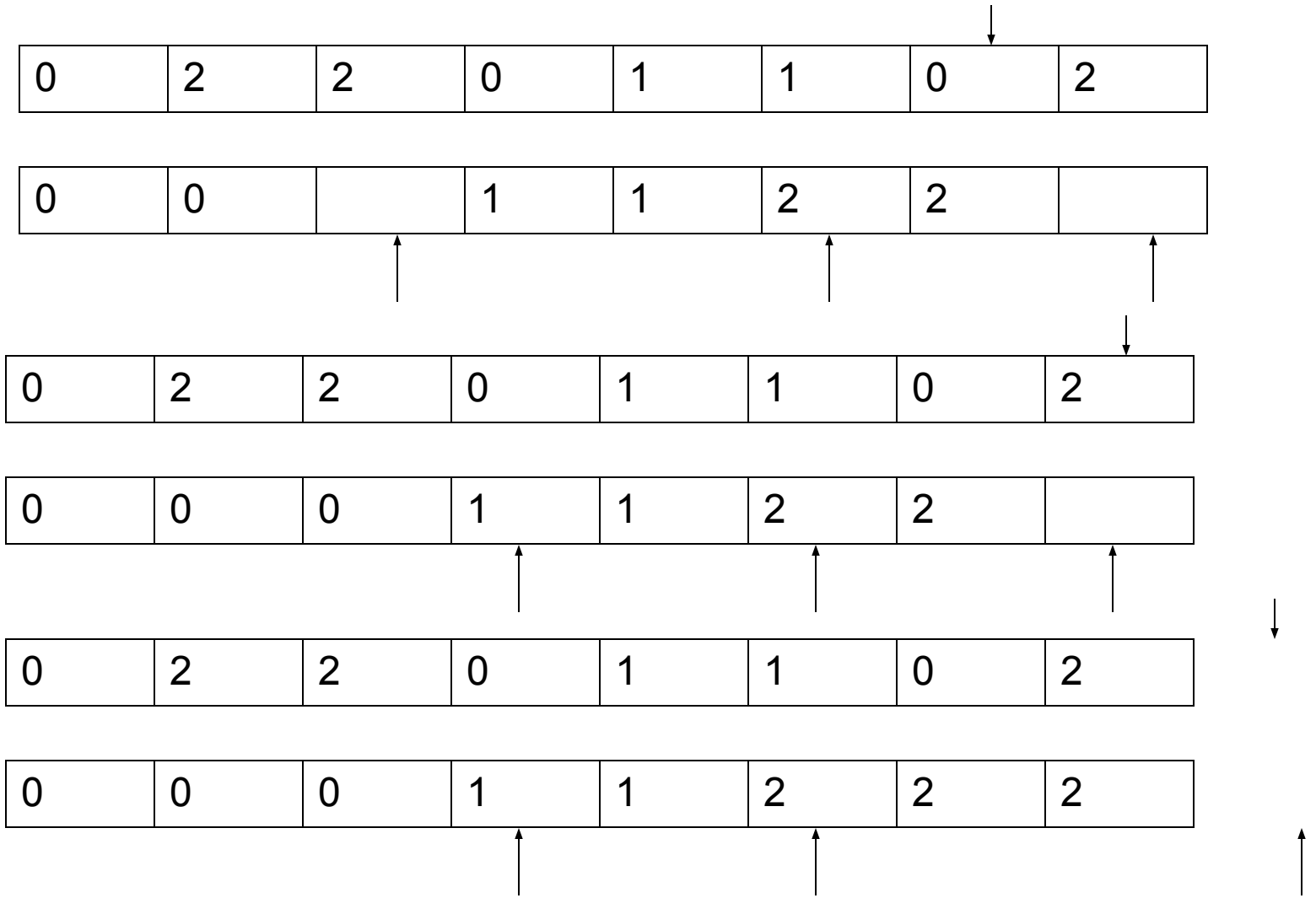
Сортировка подсчетом



Сортировка подсчетом



Сортировка подсчетом



Сортировка подсчетом

- Работает за время O(N+K), где N – число значений в массиве, K – число возможных значений
- Требует дополнительной памяти в объеме O(N+K)

Сортировка подсчетом

Фамилия	Имя	Курс
Алексеев	Иван	3
Борисов	Кирилл	2
Васильев	Андрей	3
Иванова	Ольга	1
Петрова	Дарья	3
Сидоров	Артем	2
Широков	Владимир	1
Яковлев	Алексей	2

Фамилия	Имя	Курс
Иванова	Ольга	1
Широков	Владимир	1
Борисов	Кирилл	2
Сидоров	Артем	2
Яковлев	Алексей	2
Алексеев	Иван	3
Васильев	Андрей	3
Петрова	Дарья	3

Сортировка подсчетом

- Порядок студентов был алфавитным
- Мы отсортировали список по номеру курса. Порядок студентов внутри курса остался алфавитным

Цифровая сортировка

- Для массивов с большим диапазоном значений сортировка подсчетом не годится
- Учитывая сохранение порядка элементов с равными значениями в сортировке подсчетом, можно ее использовать и в этом случае

Цифровая сортировка

532
718
191
265
743
489
170
913

2
8
1
5
3
9
0
3

170
191
532
743
913
265
718
489

7
9
3
4
1
6
1
8

913
718
532
743
265
170
489
191

9
7
5
7
2
1
4
1

170
191
265
489
532
718
743
913

- Последовательно сортируем по цифрам, начиная с последней.
- Трудоемкость O(R*(N+K)), где R – число цифр, K – число значений цифры, N – число значений в массиве. Дополнительная память - O(N+K)

Карманная сортировка

- Пусть есть массив N вещественных значений от 0 до 1.
- Создадим N списков. В список K будем помещать значения из диапазона [K/N , (K+1)/N)
- Любым методом отсортируем списки (они будут очень короткими)
- Объединим списки в результирующий массив

Другие алгоритмы сортировки

- Быстрая сортировка (Quick Sort)
- Сортировка Шелла
- Сортировка Шейкером
- Сортировка подсчетом
- Цифровая сортировка (по младшему разряду, потом по старшему и т.д.)
- Пирамидальная сортировка (Heap Sort)

Другие алгоритмы сортировки

- Сортировка расческой (Comb Sort)
- Плавная сортировка (Smooth Sort)
- Блочная сортировка
- Patience sorting
- Introsort

Лабораторная работа №1. Реализация алгоритмов сортировки и поиска.

Реализация алгоритмов сортировки и поиска

- Предлагаются индивидуальные варианты заданий, связанные с реализацией алгоритмов
- Предпочтительна реализация алгоритма, сопровождаемая подготовкой доклада об алгоритме
- Доклады целесообразны для алгоритмов повышенной сложности

Варианты заданий

- Реализовать бинарный поиск в массиве
- Реализовать сортировку Шелла
- Реализовать сортировку шейкером
- Реализовать сортировку подсчетом (данные типа char)
- Реализовать сортировку расческой (CombSort)

Варианты заданий

- Реализовать метод IntroSort
- Реализовать цифровую сортировку значений типа int по их двоичной записи
- Реализовать цифровую сортировку значений типа int по их восьмеричной записи
- Реализовать цифровую сортировку значений типа int по их десятичной записи
- Реализовать цифровую сортировку значений типа int по их шестнадцатеричной записи

Варианты заданий повышенной сложности

- Реализовать пирамидальную сортировку
- Реализовать плавную сортировку (Smooth Sort)
- Реализовать быструю сортировку (QuickSort)
- Реализовать рандомизированную быструю сортировку

Варианты заданий повышенной сложности

- Реализовать карманную (bucket) сортировку
- Реализовать алфавитную сортировку *M* строк суммарной длиной *N* символов за время O(*N*)

Варианты заданий повышенной сложности

- Реализовать поиск *i*-ой порядковой статистики [*i*-ого по величине числа] методом RandomizedSelect (за O(*N*) в среднем).
- Реализовать поиск *i*-ой порядковой статистики [*i*-ого по величине числа] за время O(*N*) в наихудшем случае
- Реализовать поиск наибольшей возрастающей подпоследовательности (Patience Sorting)

Понятие порядковой статистики

2	1	7	4	9	3	0

- 1-ая порядковая статистика – 0
- 2-ая – 1
- 3-я – 2
- 4-ая – 3
- 5-ая – 4
- 6-ая – 7
- 7-ая - 9

Тема 1.2. Контейнеры данных. Идея хэширования

Лекция 3. Понятие контейнера данных. Основные типы контейнеров

Понятие контейнера данных

- Контейнер – программный объект, отвечающий за хранение набора однотипных данных (элементов контейнера) и организацию доступа к ним

Контейнеры в языках программирования

- Контейнер может быть
  - Стандартным объектом языка программирования (массивы фиксированной длины в C)
  - Объектом класса, разработанного пользователем
  - Объектом класса стандартной библиотеки

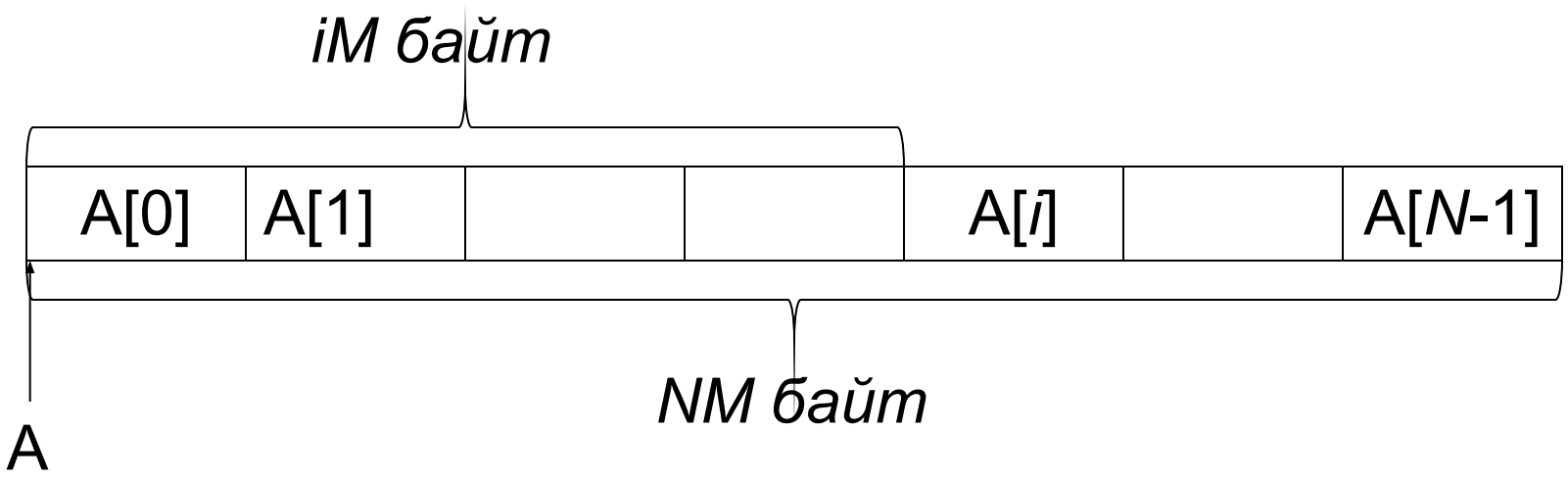
Виды контейнеров

- Массивы
- Списки
- Деревья
- Словари
- Стеки и очереди
- Пирамиды. Очереди с приоритетами

Массивы

- Массивом называется контейнер, в котором элементы лежат в памяти компьютера подряд
- Размер массива из N элементов, каждый из которых занимает M байт – NM.
- Если адрес начала массива в памяти – A, то адрес i-ого элемента – $A+iM$

Массивы

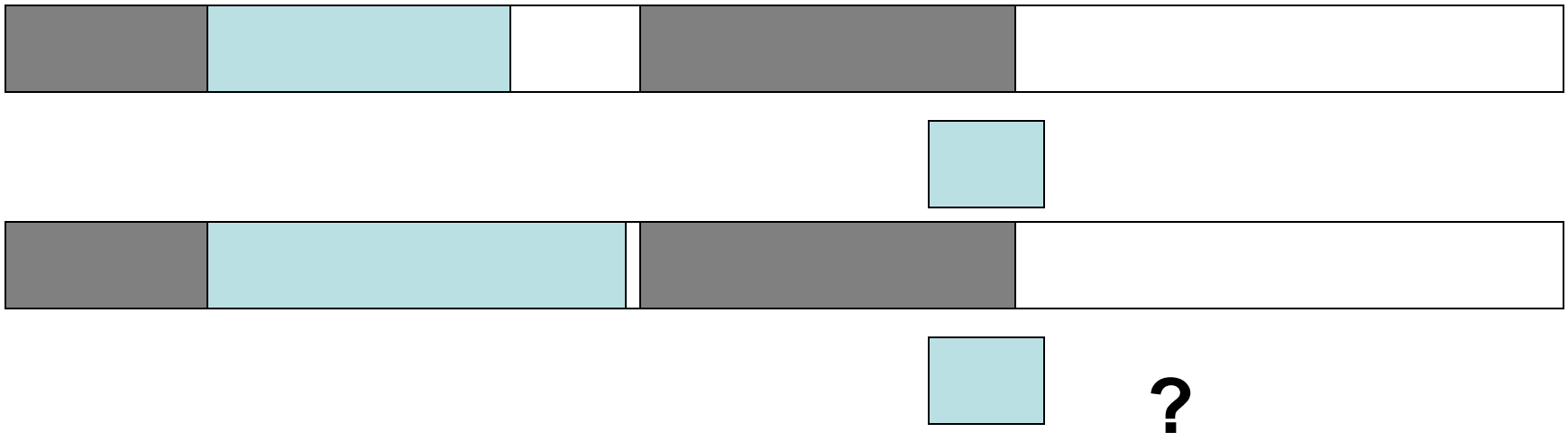


Массивы. Ключевые свойства

- Быстрый поиск элемента по индексу (за O(1))
- На C/C++

  &(A[n])=&(A)+n
- Медленная вставка элемента в середину (важно для отсортированного массива) – за O(*N*)
- Проблемы при росте массива сверх заранее запланированного размера

Массив. Рост сверх планового размера



Игнорируем

Переезжаем

Массивы

- Запрещая «переезд» массива, мы ограничиваем рост его размера
- Разрешая «переезд», мы лишаем себя права запоминать адреса объектов массива

Пример

```
std::vector< int > array;
…
int* ptr = &(array[0]);    //Запомнили адрес
array.push_back( 7 );   //Добавили элемент
                        //Возможен «переезд»
std::cout << *ptr;  //Может упасть.
    //Может и не упасть.
```

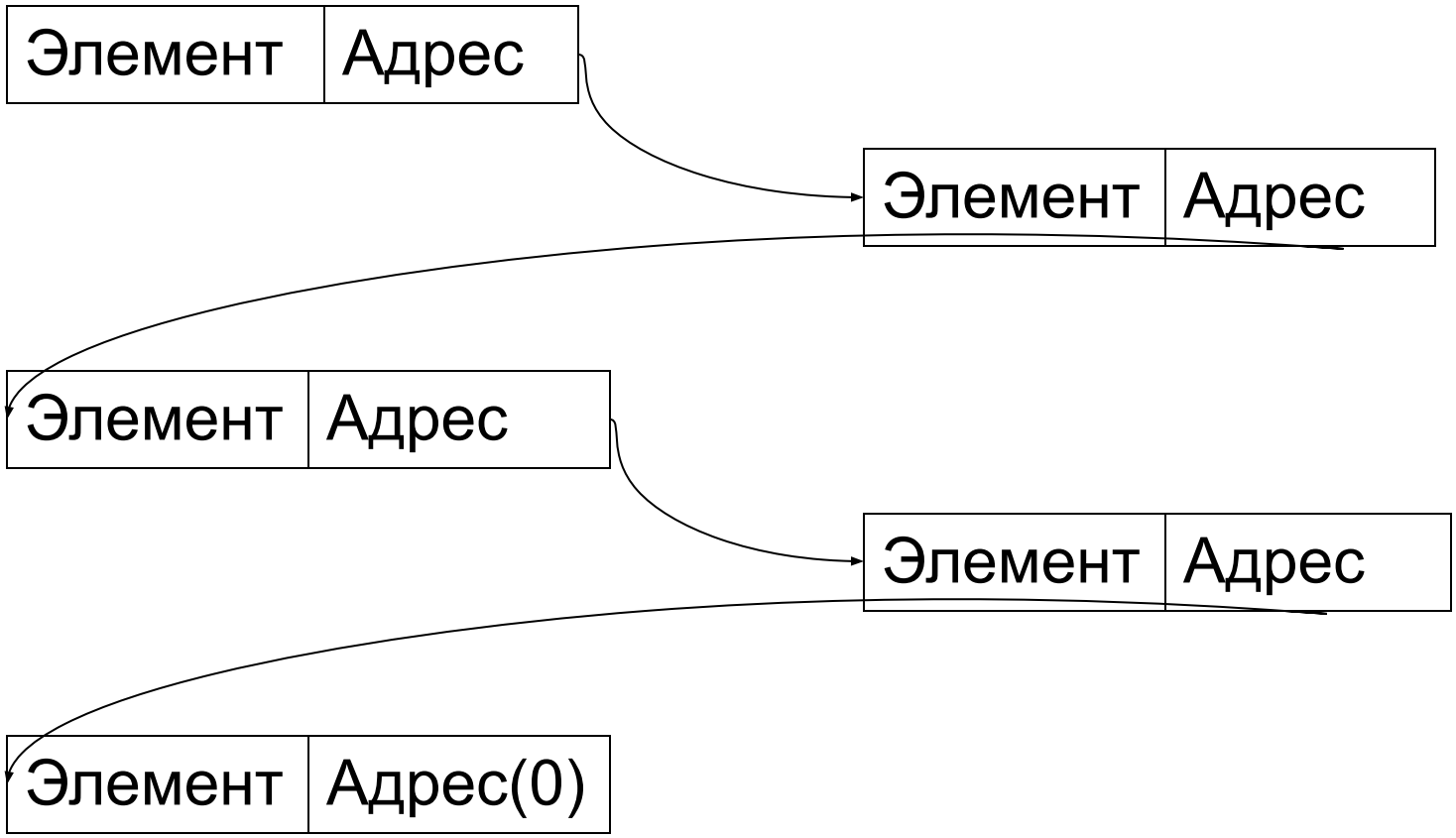
Списки

- Существенным ограничением массива является хранение элементов подряд
- Оно приводит к сложности расширения массива и вставки элемента в середину
- Попробуем от него отказаться

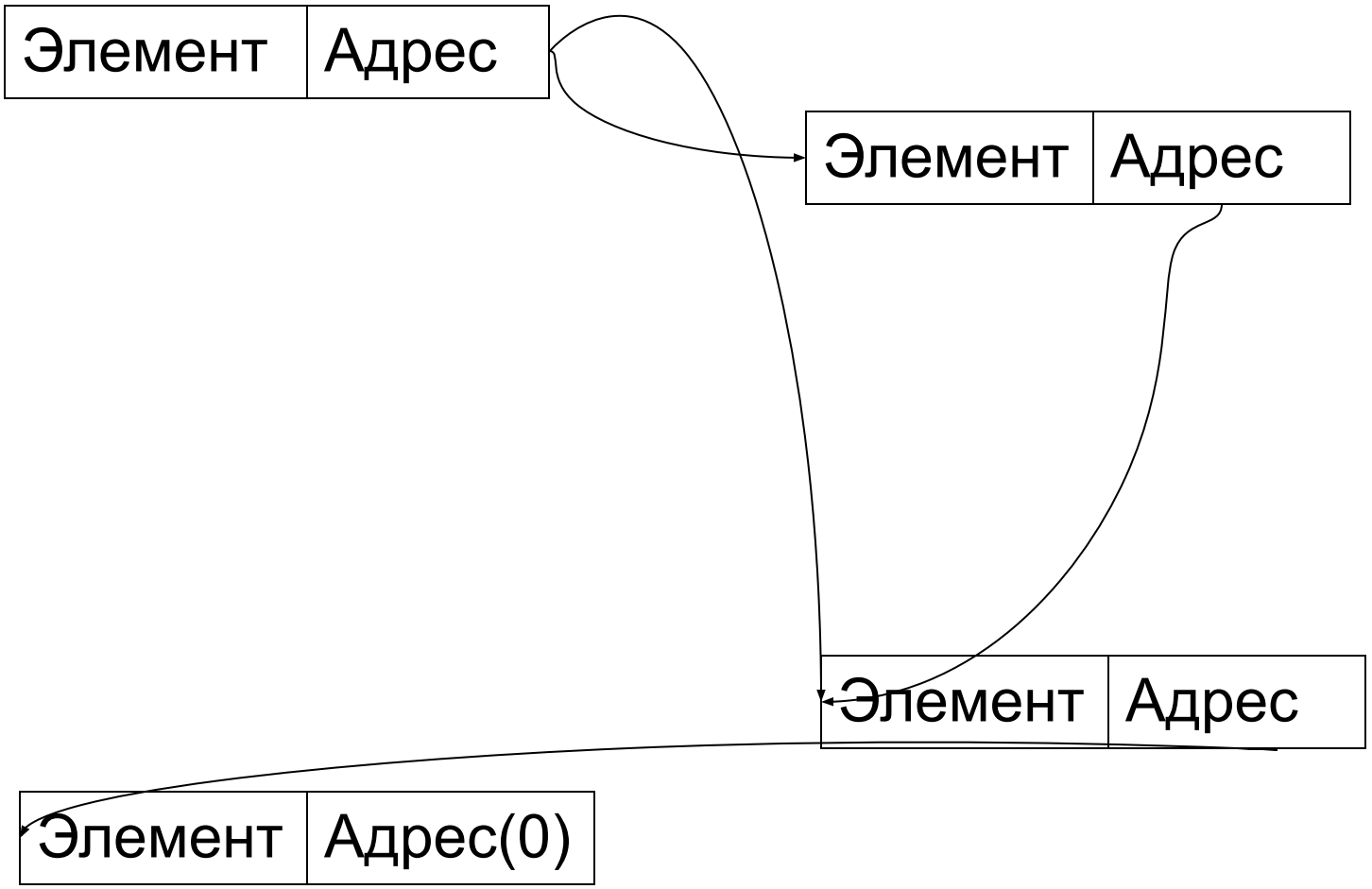
Списки

- Пусть каждый элемент помнит, где лежит следующий (хранит его адрес)
- Тогда достаточно запомнить адрес нулевого элемента, и мы легко найдем любой
- Пример списка приведен на слайде

Списки


Элемент
Адрес
Элемент
Адрес
Элемент
Адрес
Элемент
Адрес
Элемент
Адрес(0)

Список: вставка элемента



Список: вставка элемента

- Время вставки элемента в середину списка – O(1), т.е. не зависит от размера списка
- Время поиска *i*-ого элемента по индексу – O(*i*)

Списки

- Недостаток списка: в нем, даже отсортированном, нельзя реализовать бинарный поиск (слишком дорого искать середину списка)

Списки

- Бывают:
  - Однонаправленными (каждый элемент знает следующий)
  - Двунаправленными (каждый элемент знает следующий и предыдущий)

Деревья

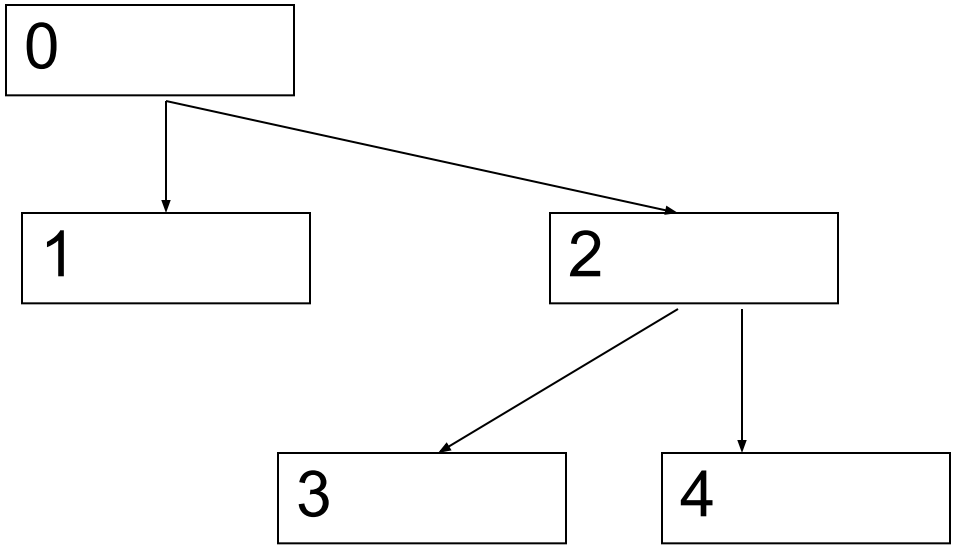
- Отсортированный массив хорош, поскольку позволяет бинарный поиск за время $O(\log N)$
- Добавление нового элемента при этом занимает время $O(N)$
- Мы попробуем с этим справиться
- Начнем с краткого экскурса в теорию графов

Граф

- Рассмотрим множество **A** из *N* элементов и множество **B**, состоящее из пар элементов множества **A** и не содержащее повторяющихся пар
- A: {0, 1, 2, 3, 4}
- B: {{0,1},{0,2},{2,3},{2,4}}

Граф

- Это множество называется графом и может быть представлено в виде



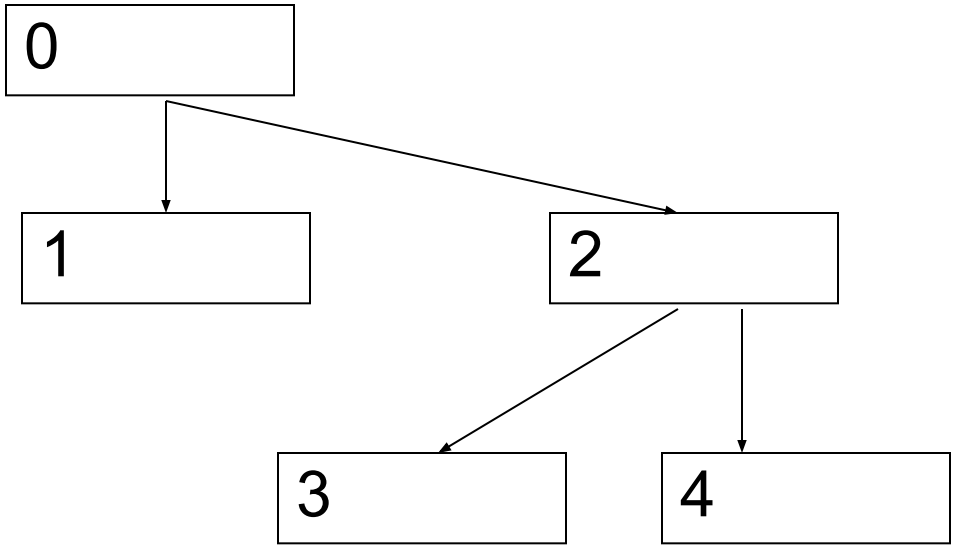
Граф

- Элементы A – узлы графа
- Элементы B – ребра графа. Ребро задается своим начальным и конечным узлом

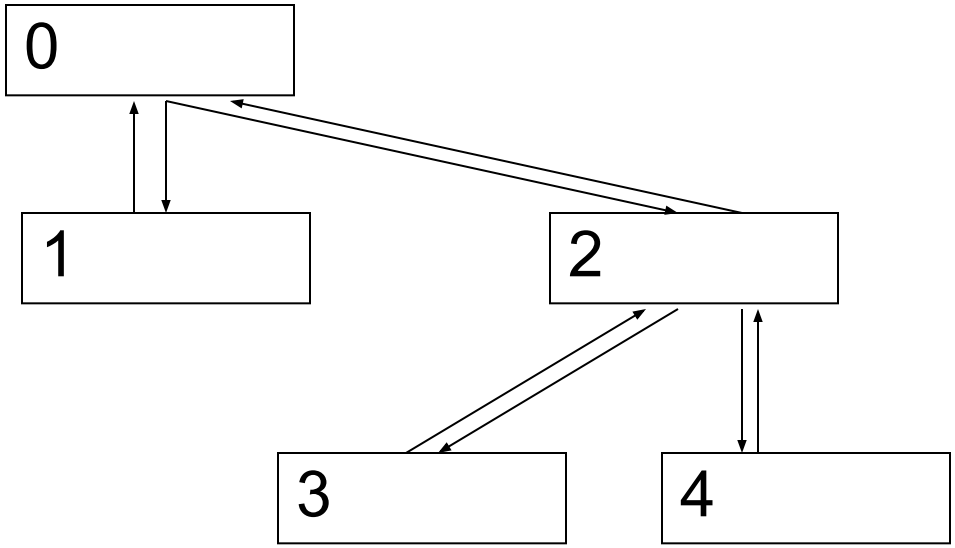
Граф

- Граф называется неориентированным, если для любого ребра {a,b}, входящего в граф, ребро {b,a} тоже входит в граф

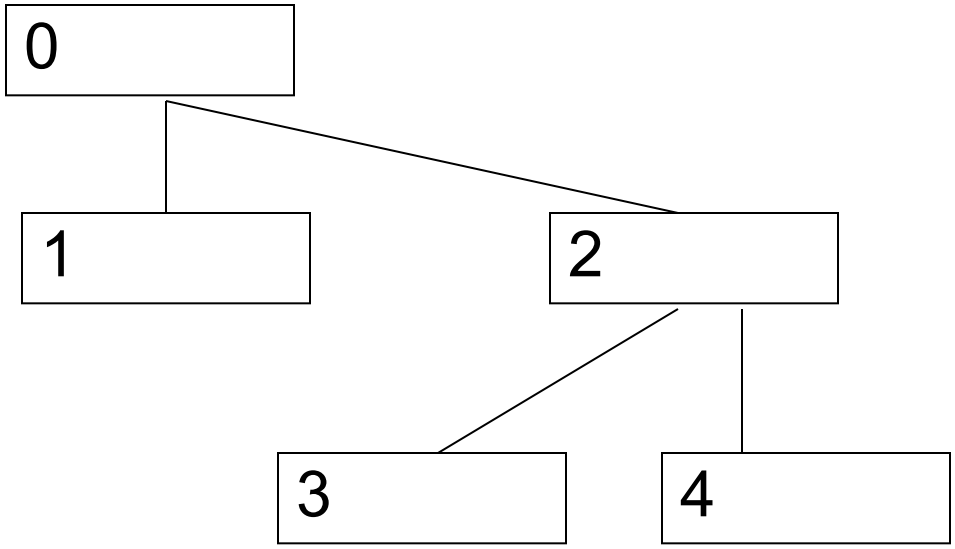
Неориентированный граф?



Неориентированный граф?



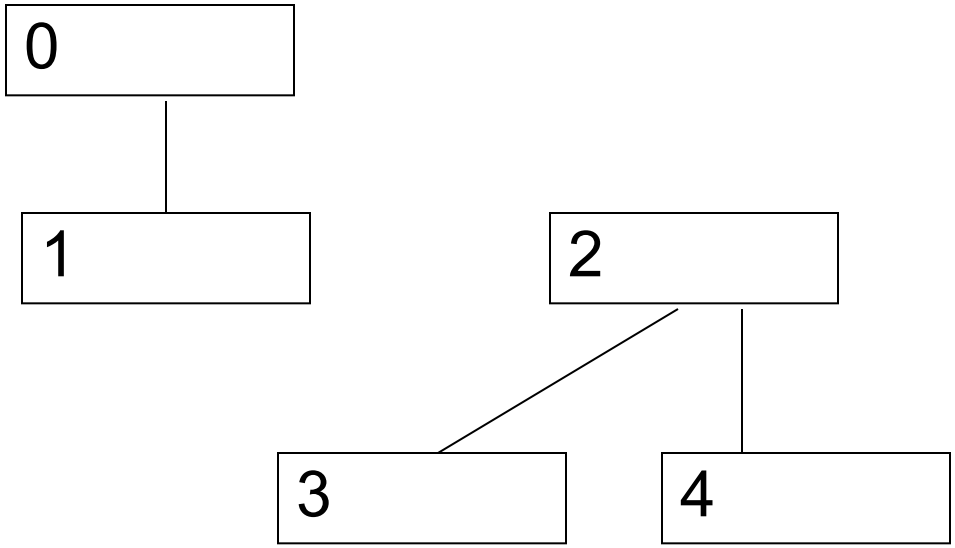
Упрощенное изображение неориентированного графа



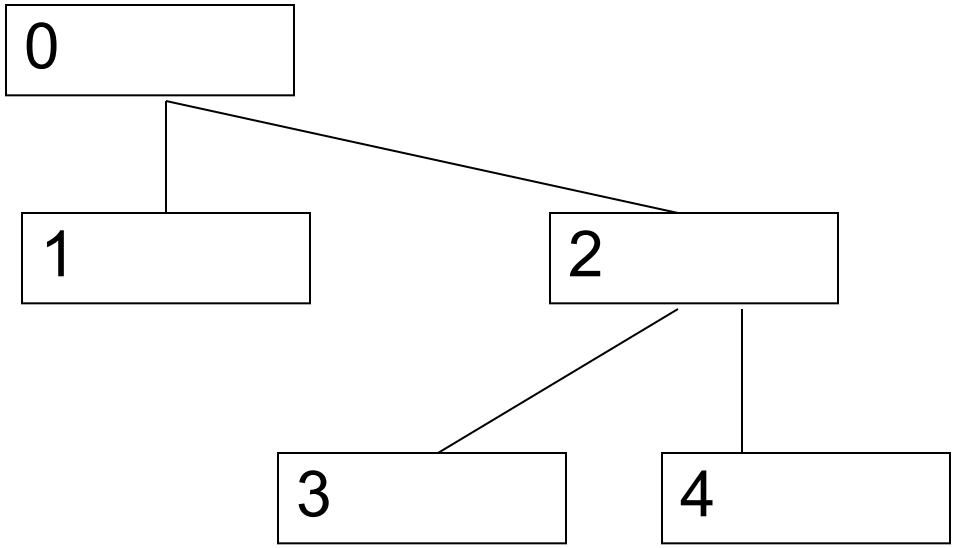
Неориентированные графы

- Неориентированный граф является связным, если из любого узла a можно попасть в любой узел b
- Т.е. для любых a и b существует набор ребер графа $\{a,x_0\}$, $\{x_0,x_1\}$, …, $\{x_{n-1},x_n\}$, $\{x_n,b\}$

Связный граф?



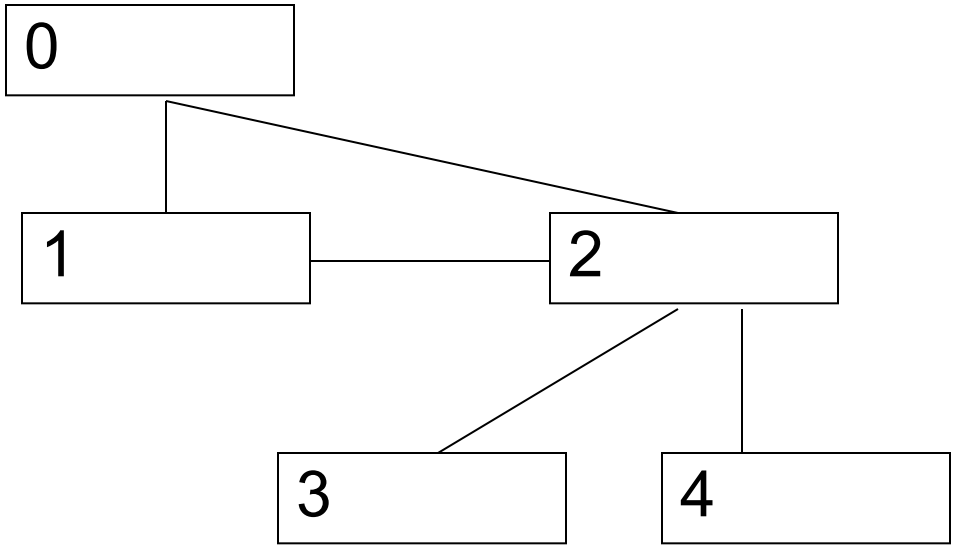
Связный граф?



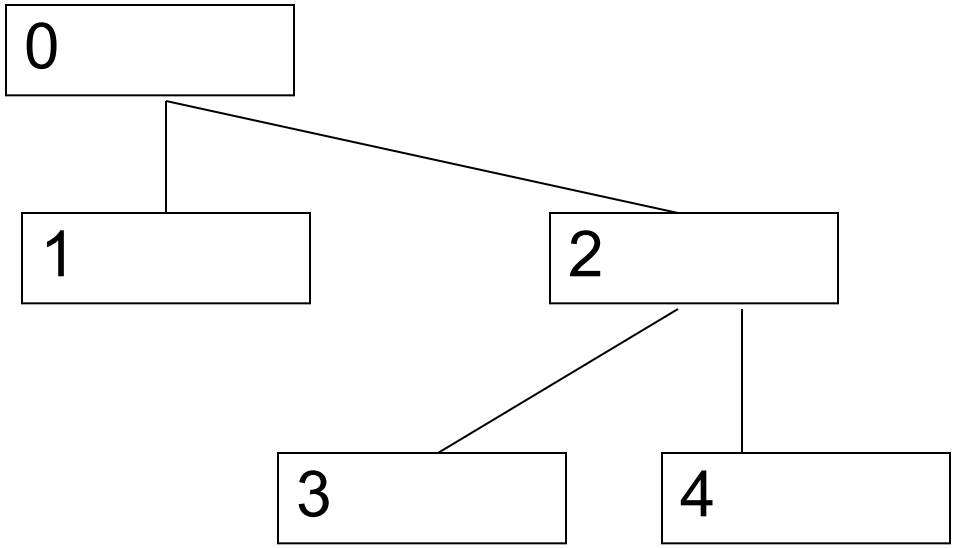
Неориентированные графы

- Неориентированный граф является ациклическим, если в нем не существует маршрутов без повторения ребер, которые начинаются и заканчиваются в одной точке

Ациклический граф?



Ациклический граф?



Деревья

- Деревом называется связный ациклический неориентированный граф
- Если ациклический неориентированный граф – не связный, то это лес (совокупность нескольких деревьев – компонент связности)

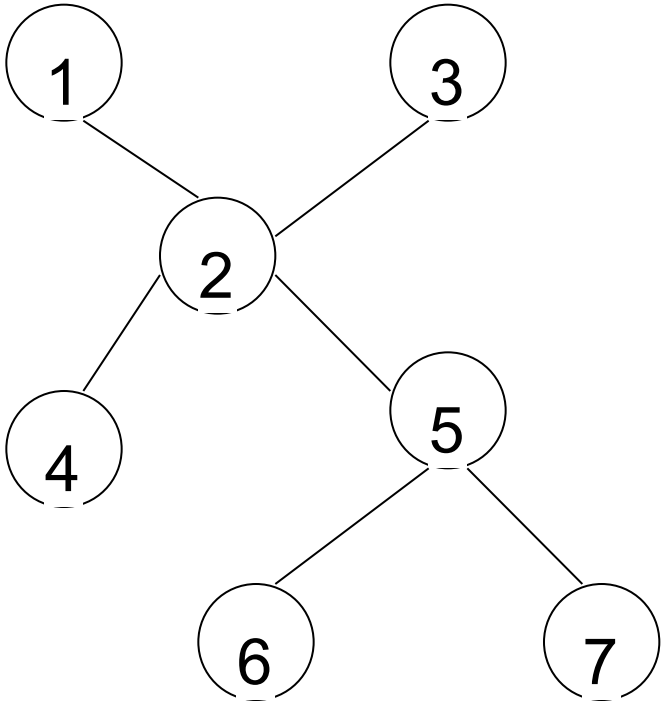
Утверждение

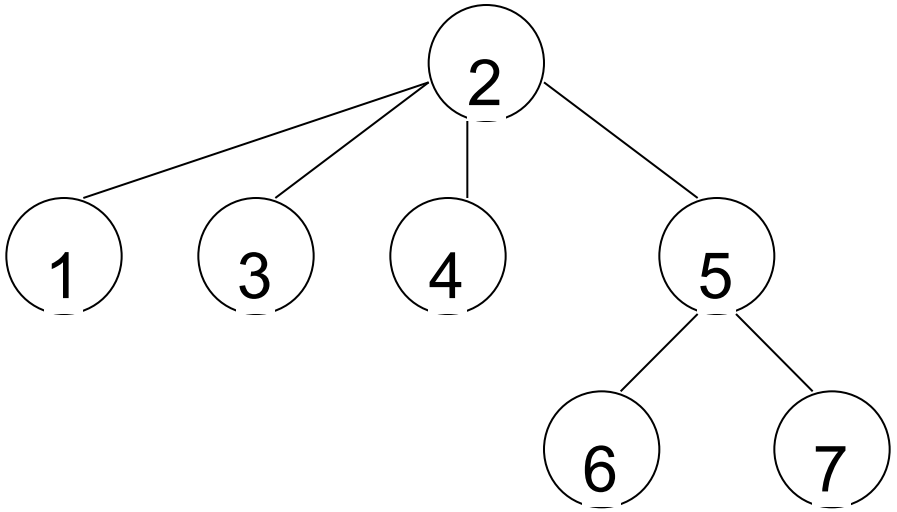
- В любом дереве можно ввести отношение предок-потомок со следующими свойствами
  - Предок соединен с потомком ребром дерева
  - Если элементы соединены ребром – один из них предок другого
  - У каждого элемента 0 или 1 предок
  - У элемента может быть любое число потомков
  - Отношение предок-потомок не имеет циклов (т.е. нельзя быть потомком своего потомка, потомком потомка своего потомка и т.д.)
  - Элемент, не имеющий предков, только один – корень дерева.

Доказательство

- Возьмем произвольный узел и объявим его корнем.
- Все соединенные с ним узлы – его потомки и узлы 1-ого уровня
- Все узлы, соединенные с узлами первого уровня, кроме корня – их потомки и узлы 2-ого уровня
- …
- Поскольку граф ациклический, отношение предок-потомок не будет иметь циклов

Иллюстрация

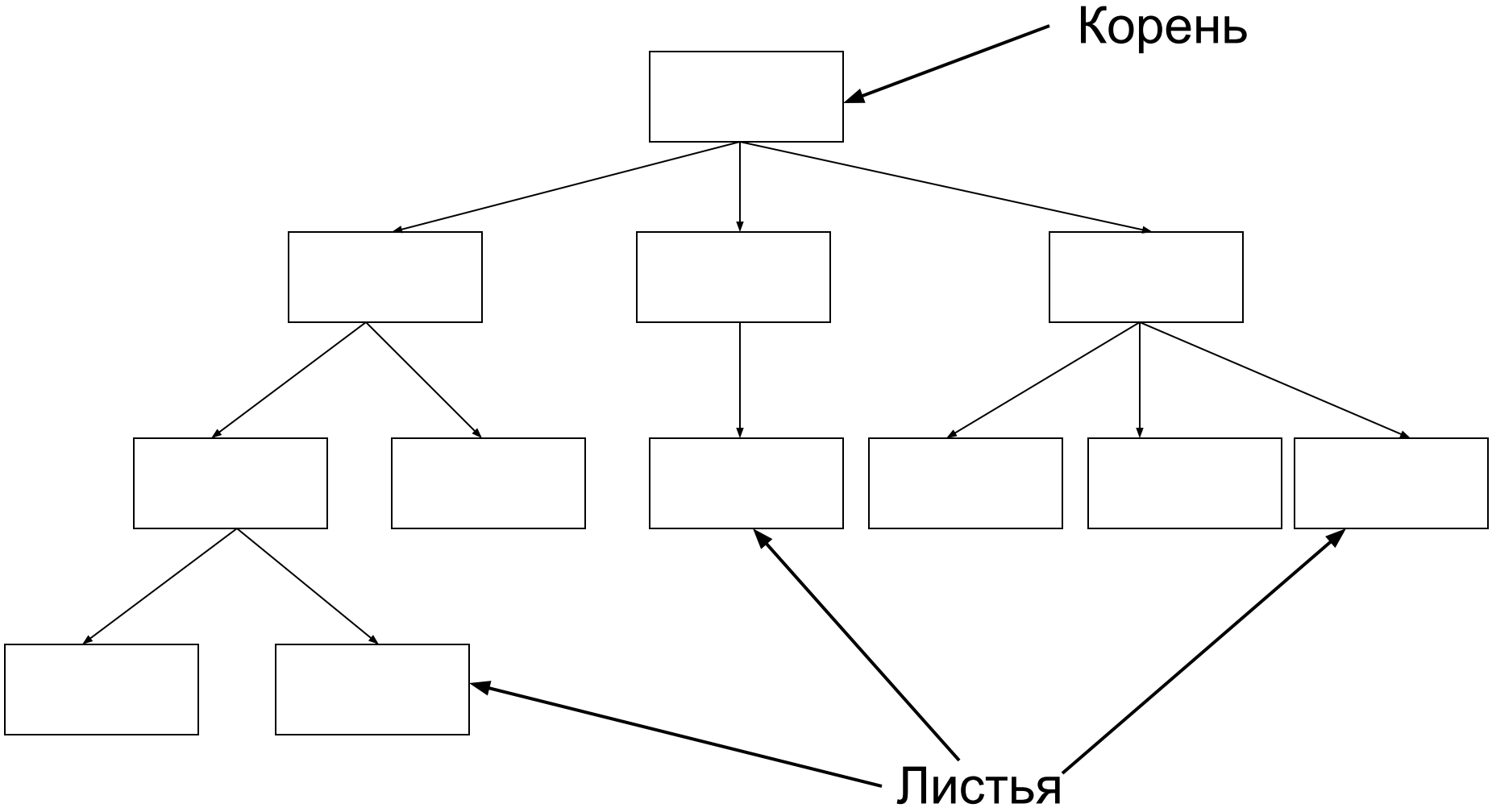




Дерево

- Итак, деревом называется контейнер, в котором
  - Элементы связаны отношением предок-потомок
  - У каждого элемента 0 или 1 предок. Как правило, элемент знает его адрес.
  - У каждого элемента могут быть потомки, и он знает их адреса
  - Отношение предок-потомок не имеет циклов (т.е. нельзя быть потомком своего потомка, потомком потомка своего потомка и т.д.)
  - Элемент, не имеющий предков, только один – корень дерева. Он один (иначе это лес, а не дерево)
- Концевые (не имеющие потомков) элементы - листья

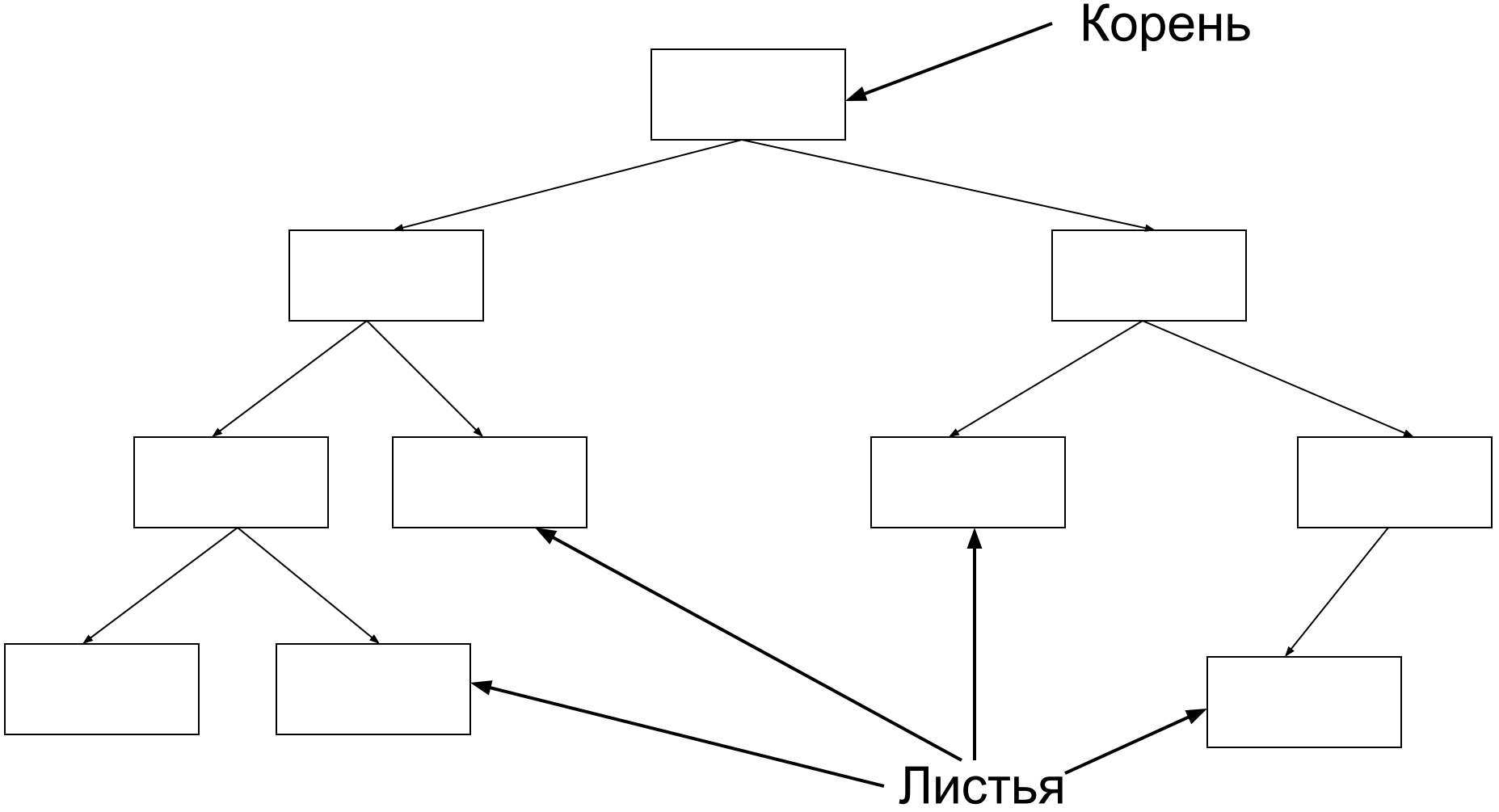
Дерево



Бинарное дерево

- Бинарным называется дерево, в котором у каждого элемента не более 2 потомков
- Один из них называется левым, другой правым

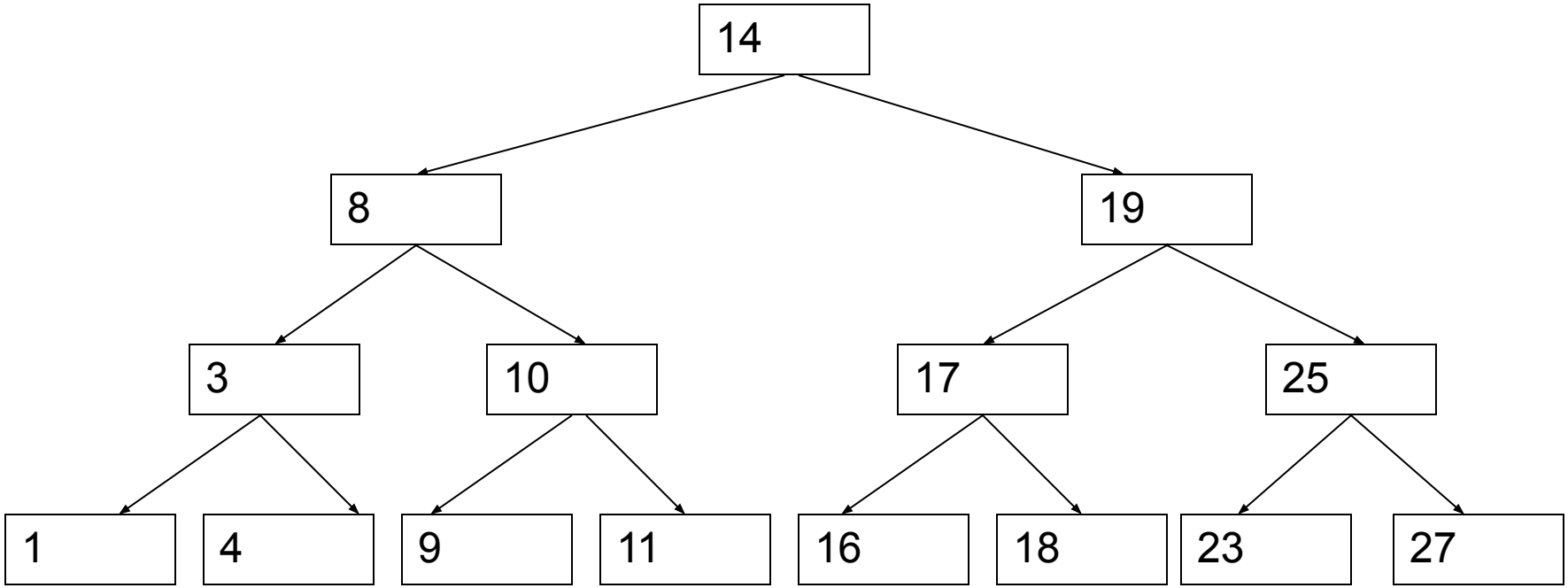
Бинарное дерево



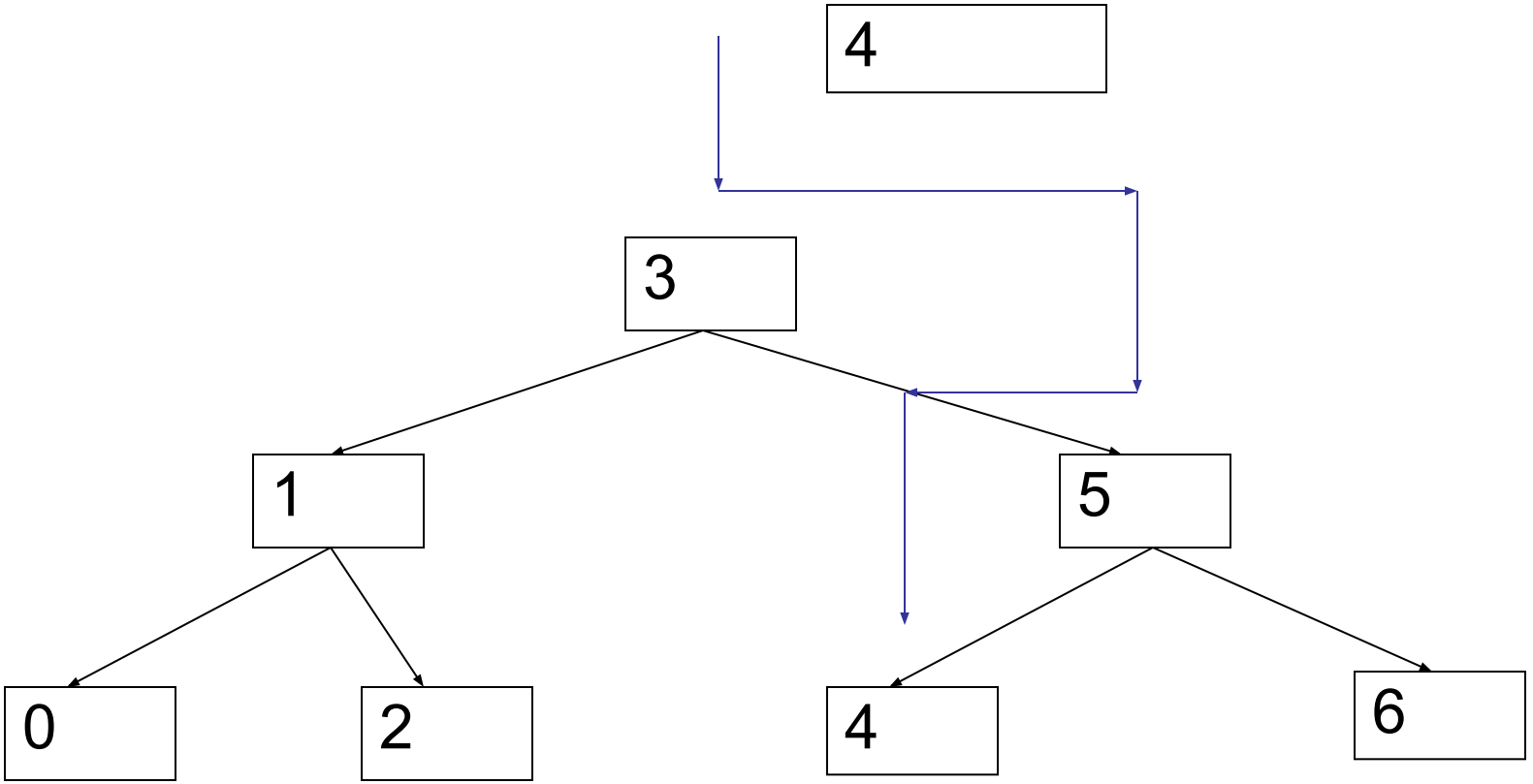
Бинарное дерево поиска

- Бинарное дерево называется деревом поиска, если
  - Левый потомок любого элемента и все элементы поддерева, растущего из левого потомка, меньше данного элемента
  - Правый потомок любого элемента и все элементы поддерева, растущего из правого потомка, больше данного элемента

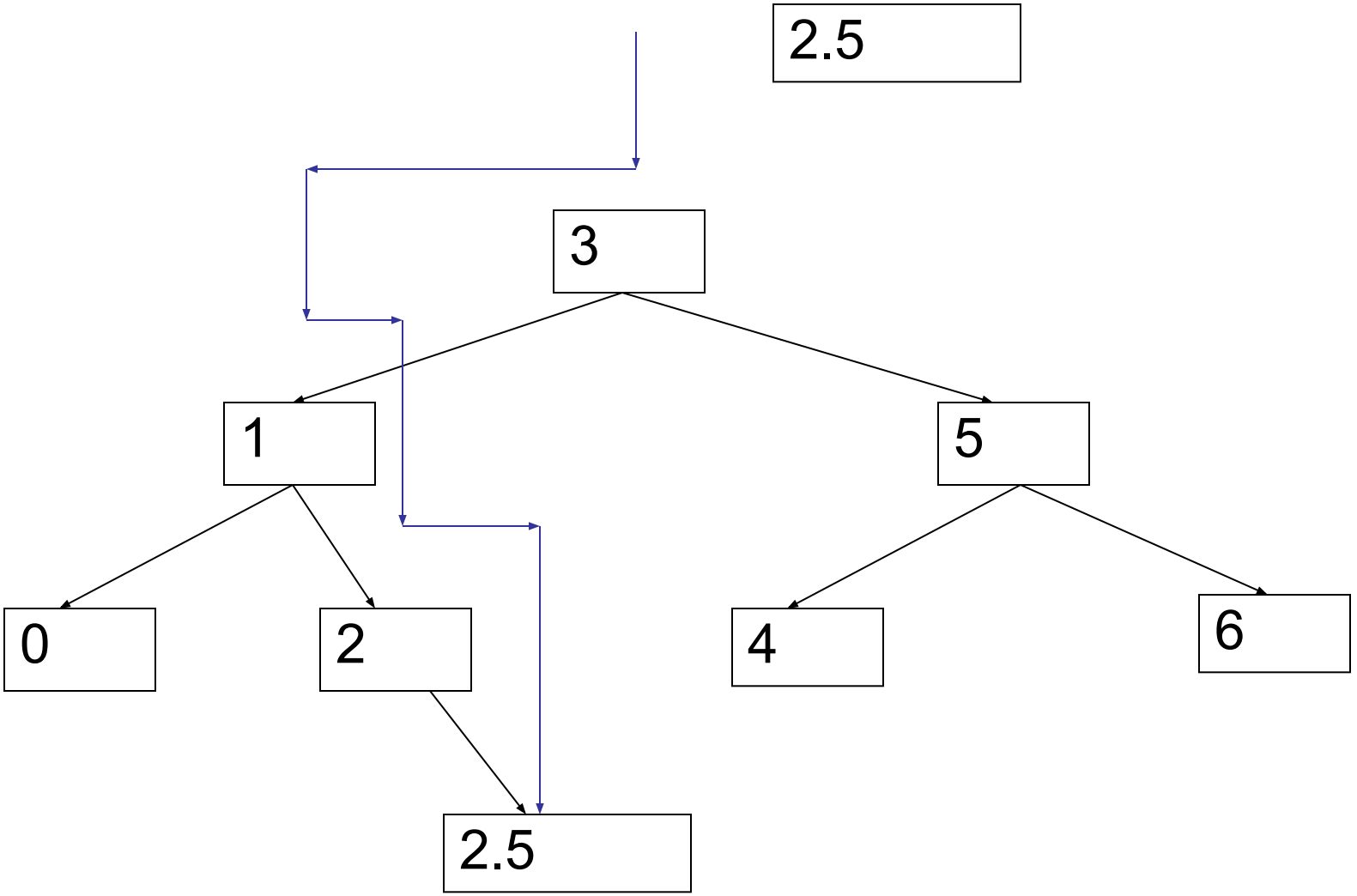
Бинарное дерево поиска



Бинарное дерево. Поиск



Бинарное дерево. Добавление элемента



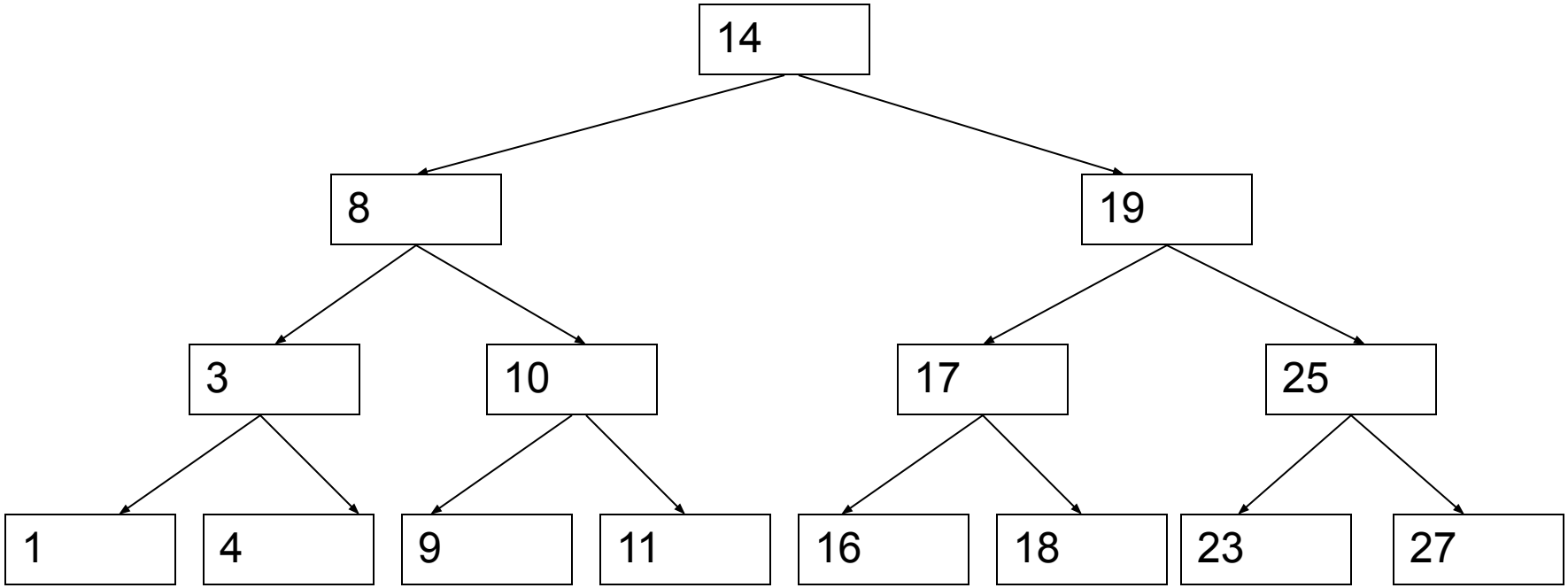
Бинарное дерево поиска

- Как и отсортированный массив, поддерживает поиск за log(*N*)
- В отличие от отсортированного массива, поддерживает добавление элемента за log(*N*)

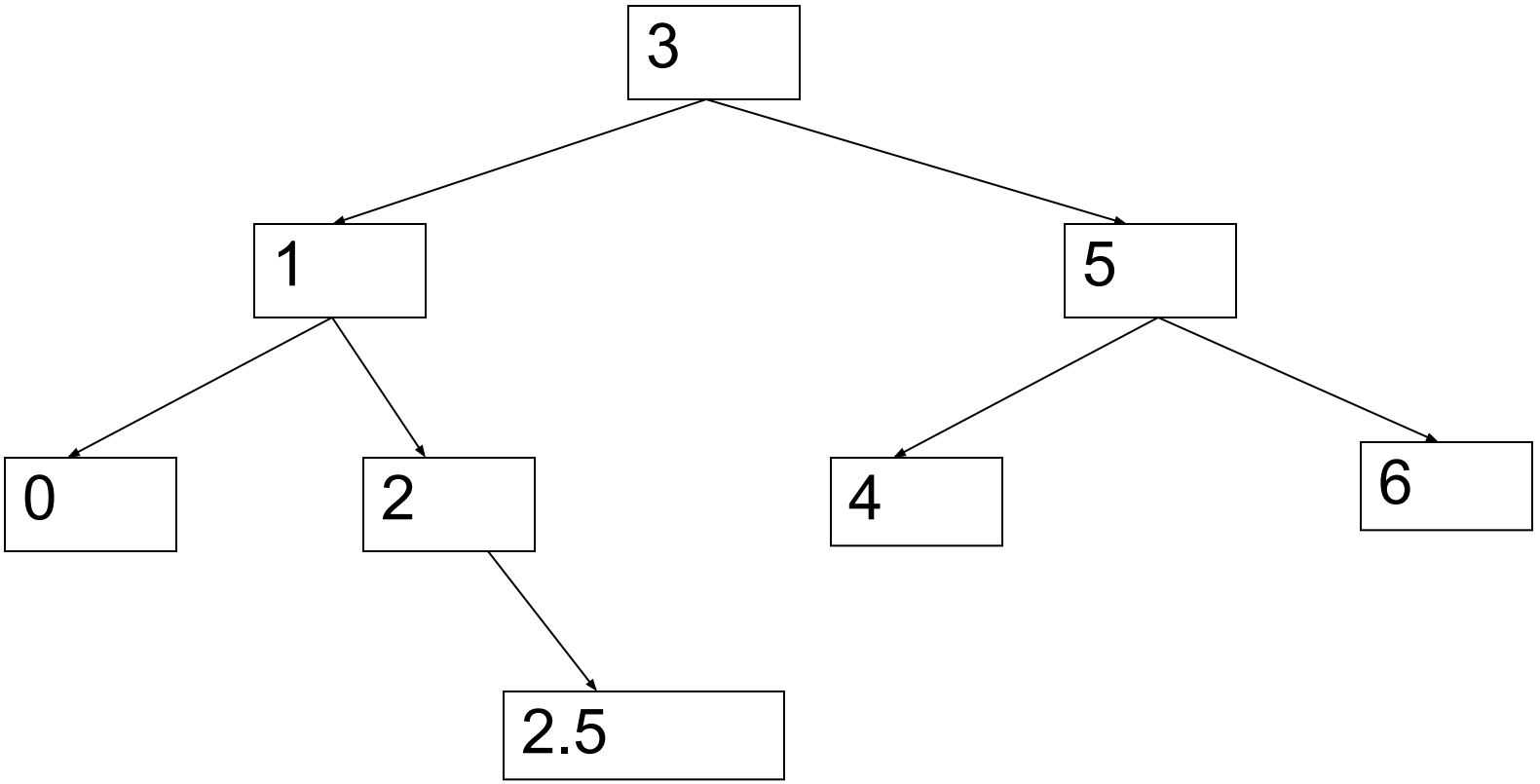
Сбалансированное дерево

- Дерево является сбалансированным, если разница между его максимальной и минимальной глубиной (количеством элементов от корня до листа) не больше 1.

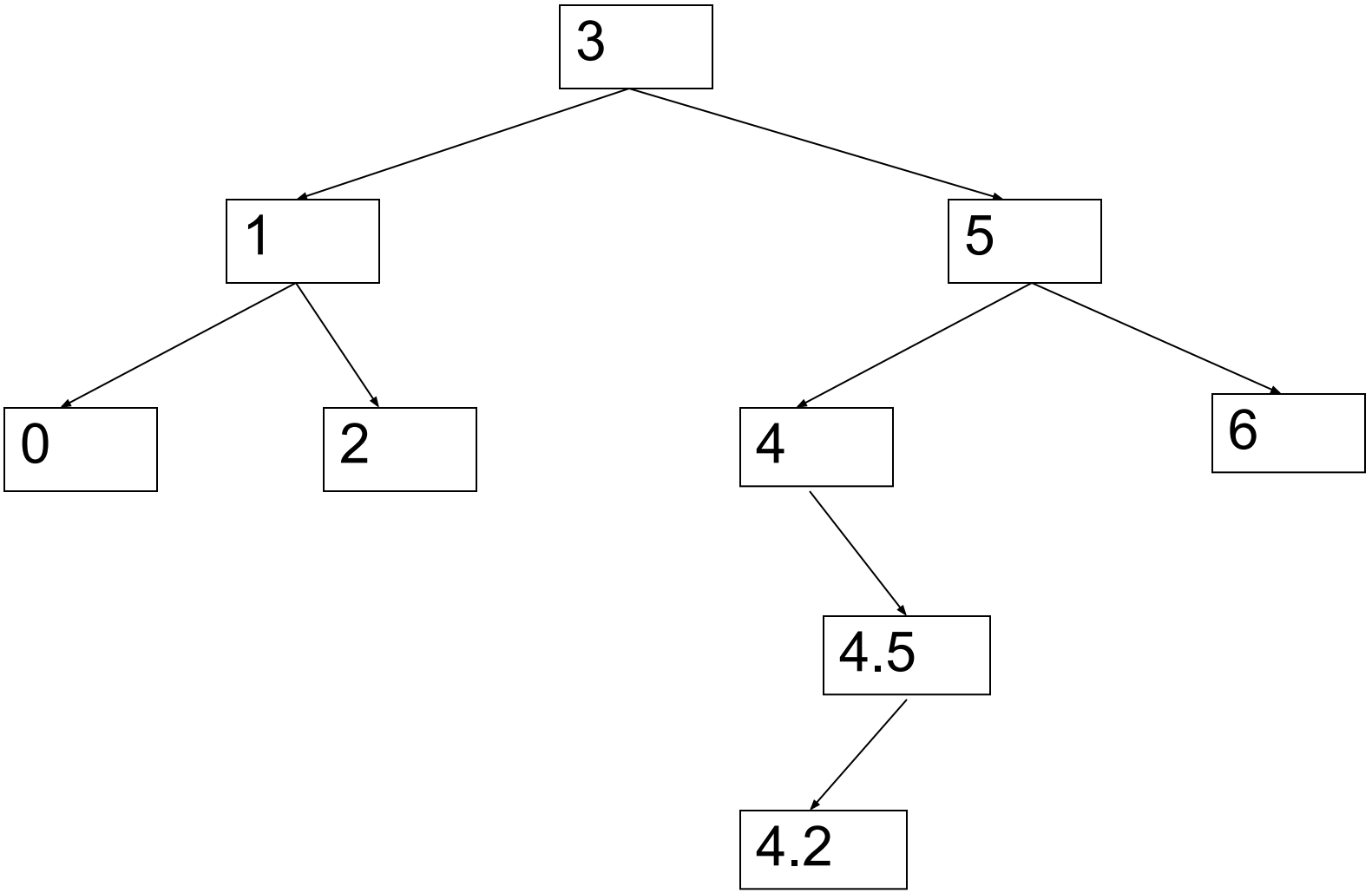
Сбалансированное дерево



Сбалансированное дерево



Несбалансированное дерево



Сбалансированное дерево

- Дерево должно быть сбалансированным, чтобы поддерживать поиск и добавление элемента за log(*N*)
- Существуют различные алгоритмы реализации бинарных деревьев поиска
- Они отличаются способом обеспечения сбалансированности дерева

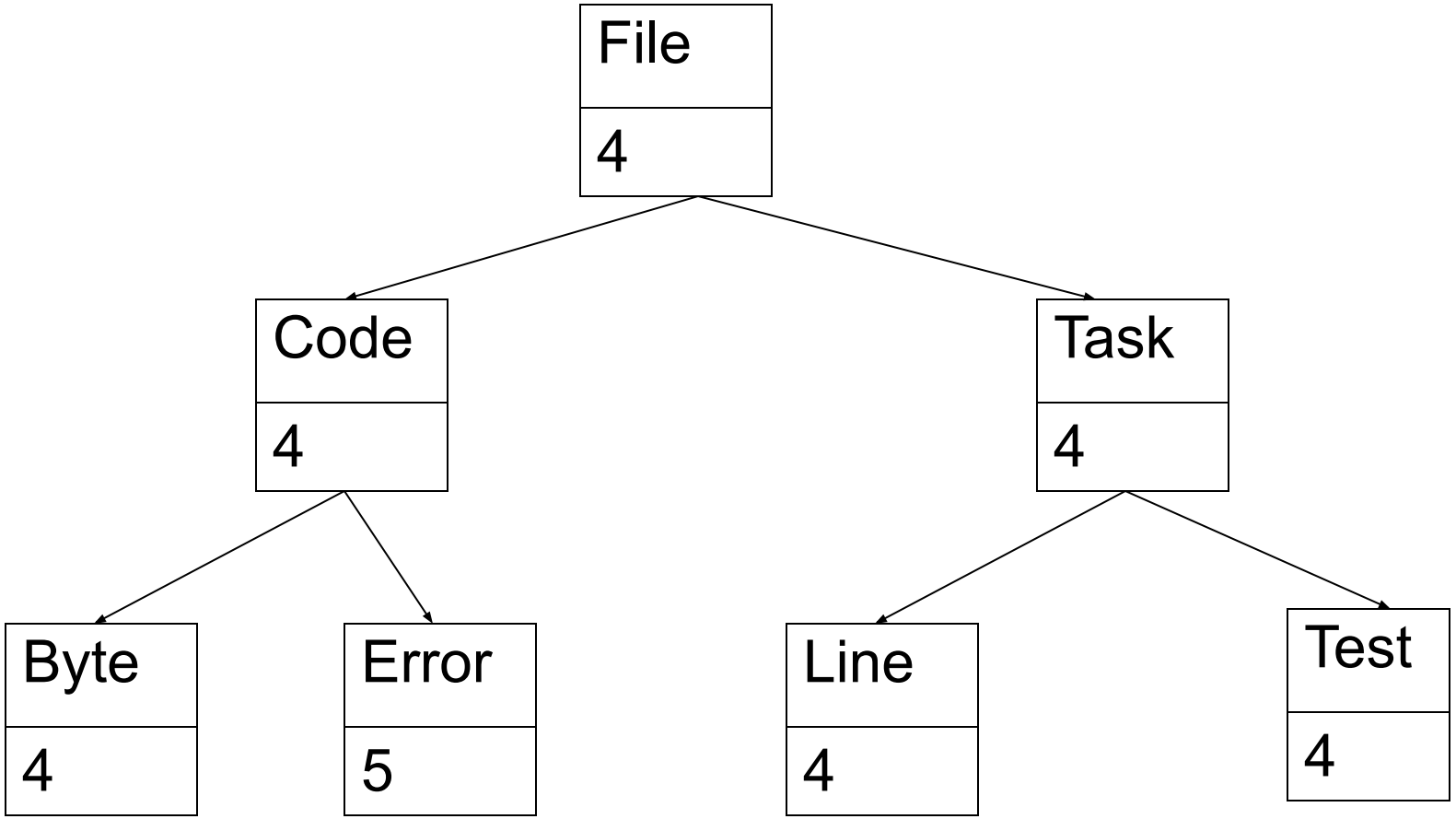
Сбалансированное дерево

- Варианты:
  - Красно-черные деревья
  - AVL-деревья

Словари

- Словарь – структура данных, в которой ключам сопоставляются значения (как в толковом словаре словам сопоставляются определения)
- Словарь должен поддерживать быстрый поиск по ключу и быстрое добавление значения
- Словарь строят на основе бинарного дерева поиска

Словарь



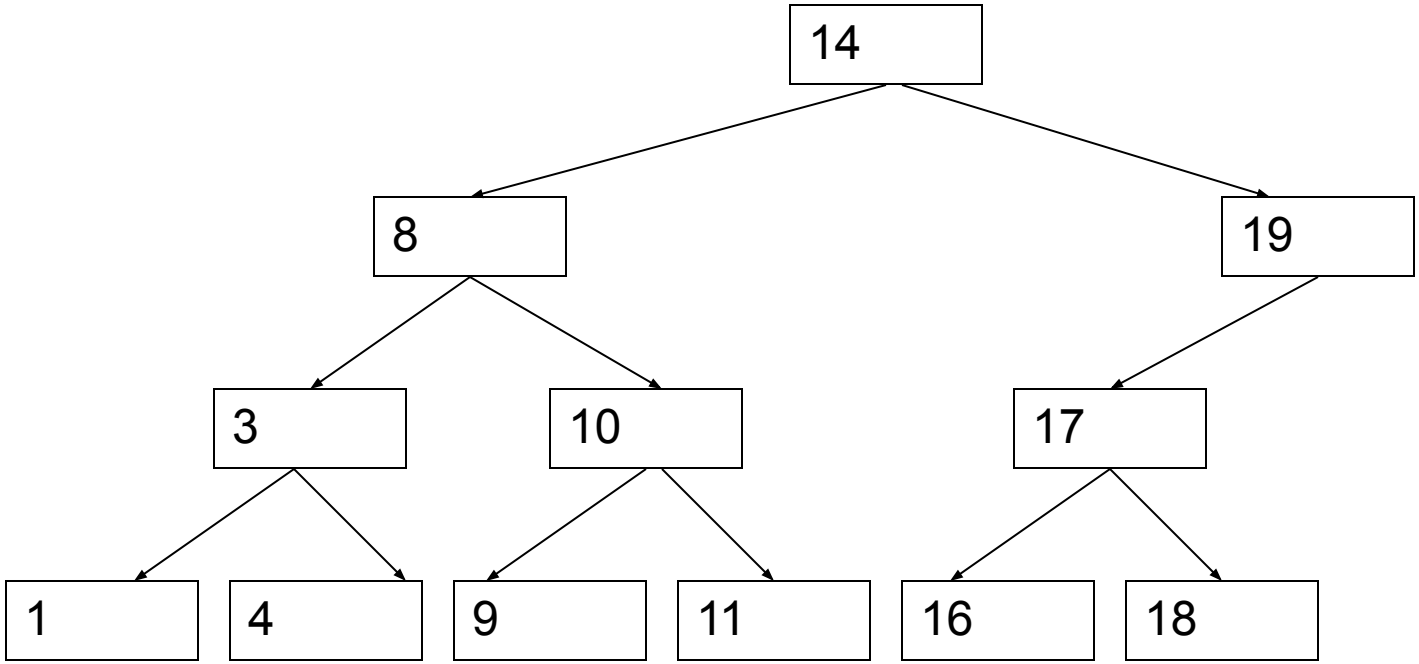
Словарь

- Ключи (в данном случае строковые) отсортированы по алфавиту
- Значения (в данном случае целочисленные) не влияют на сортировку

Пирамиды

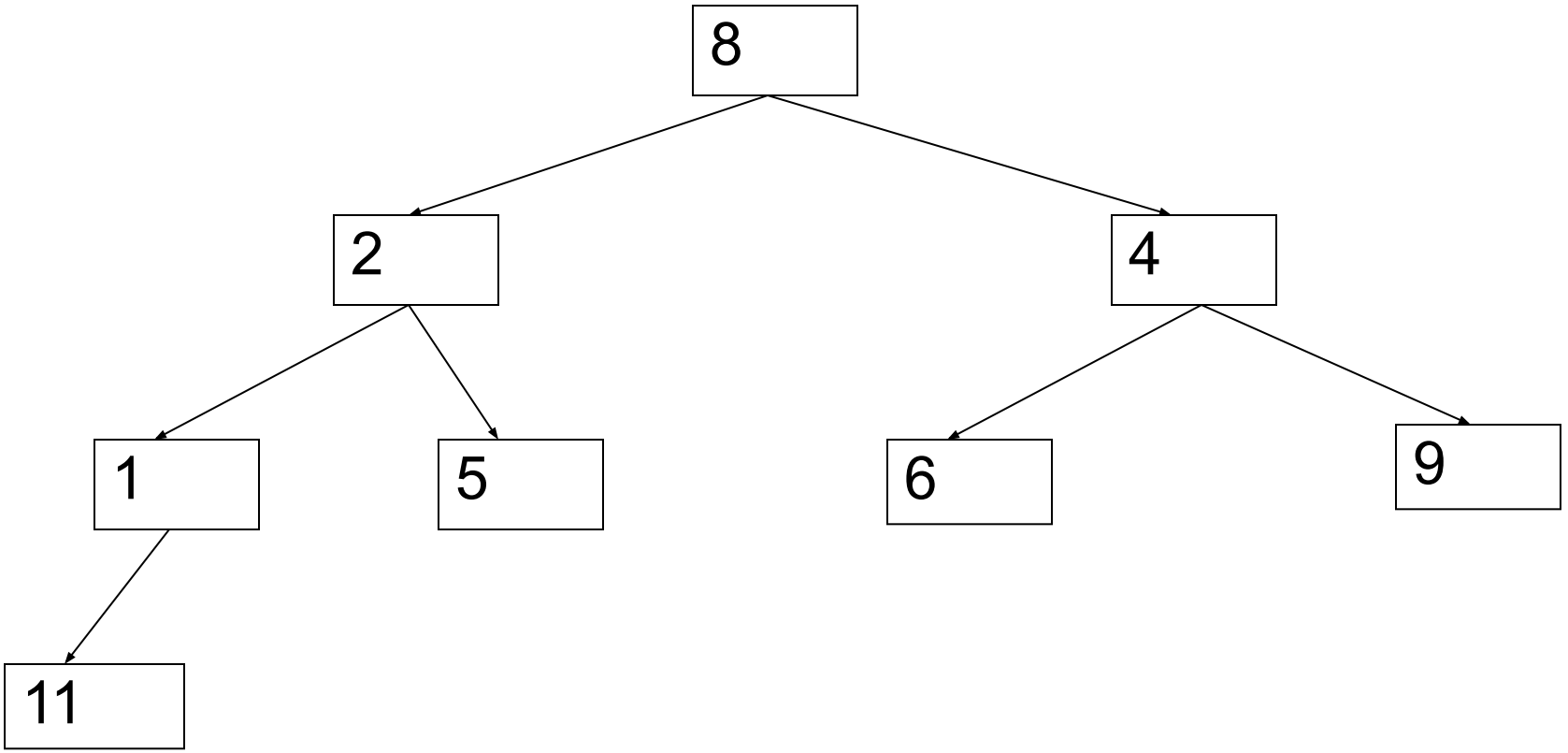
- Пирамида – это бинарное дерево со следующими свойствами
  - Все уровни дерева, возможно кроме последнего, полностью заполнены (сбалансированность дерева)
  - На последнем уровне заполнены несколько элементов, начиная с самого левого

Пирамида?



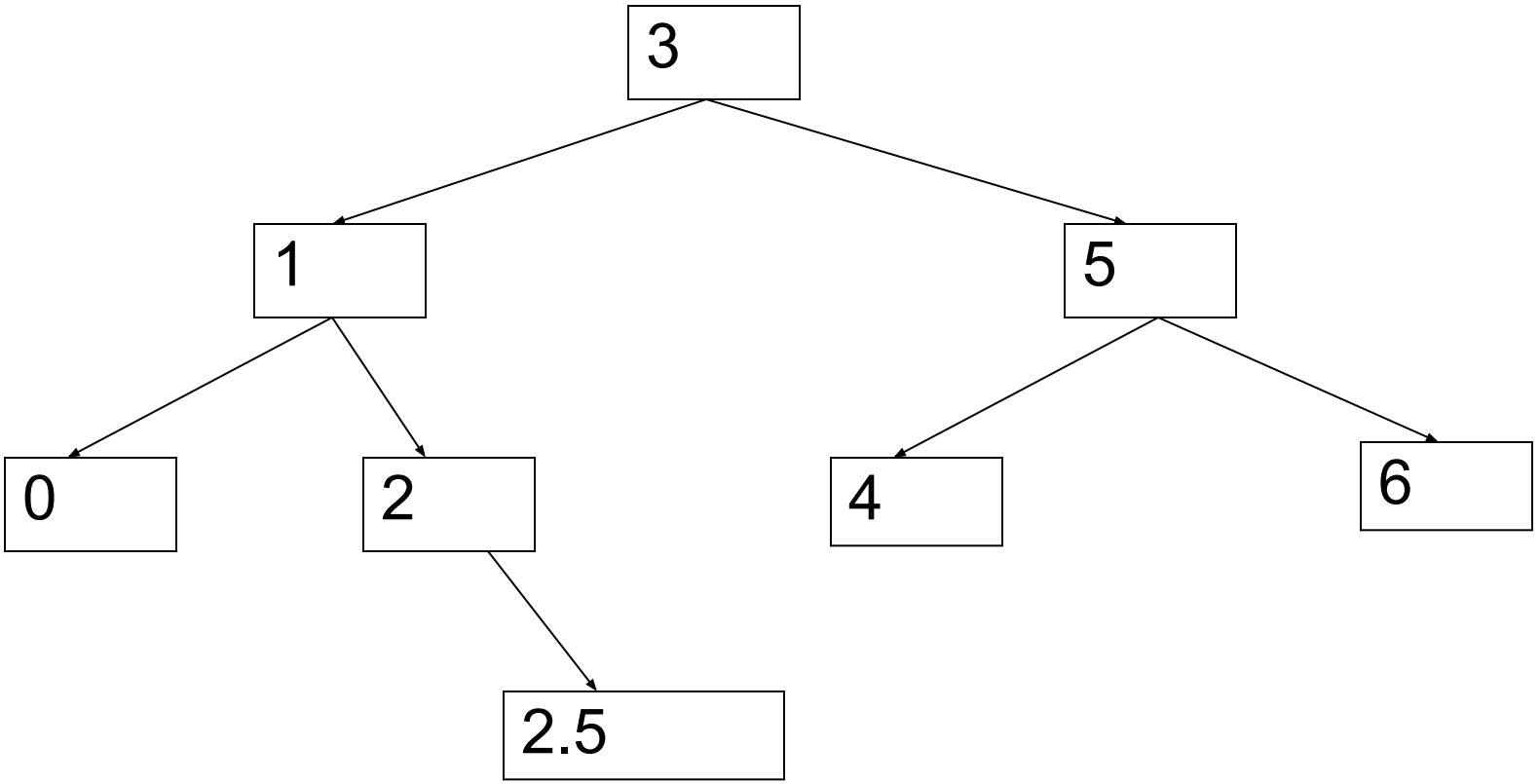
Нет – не заполнен 3-ий уровень

Пирамида?



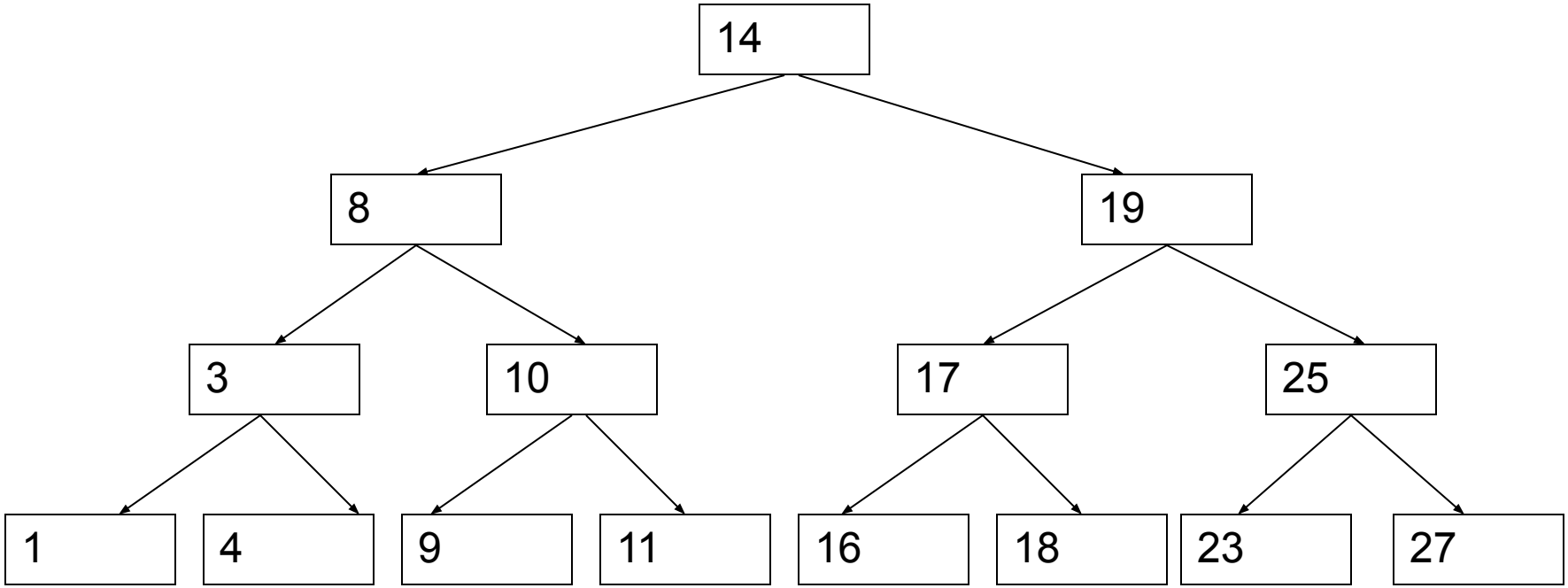
Да

Пирамида?



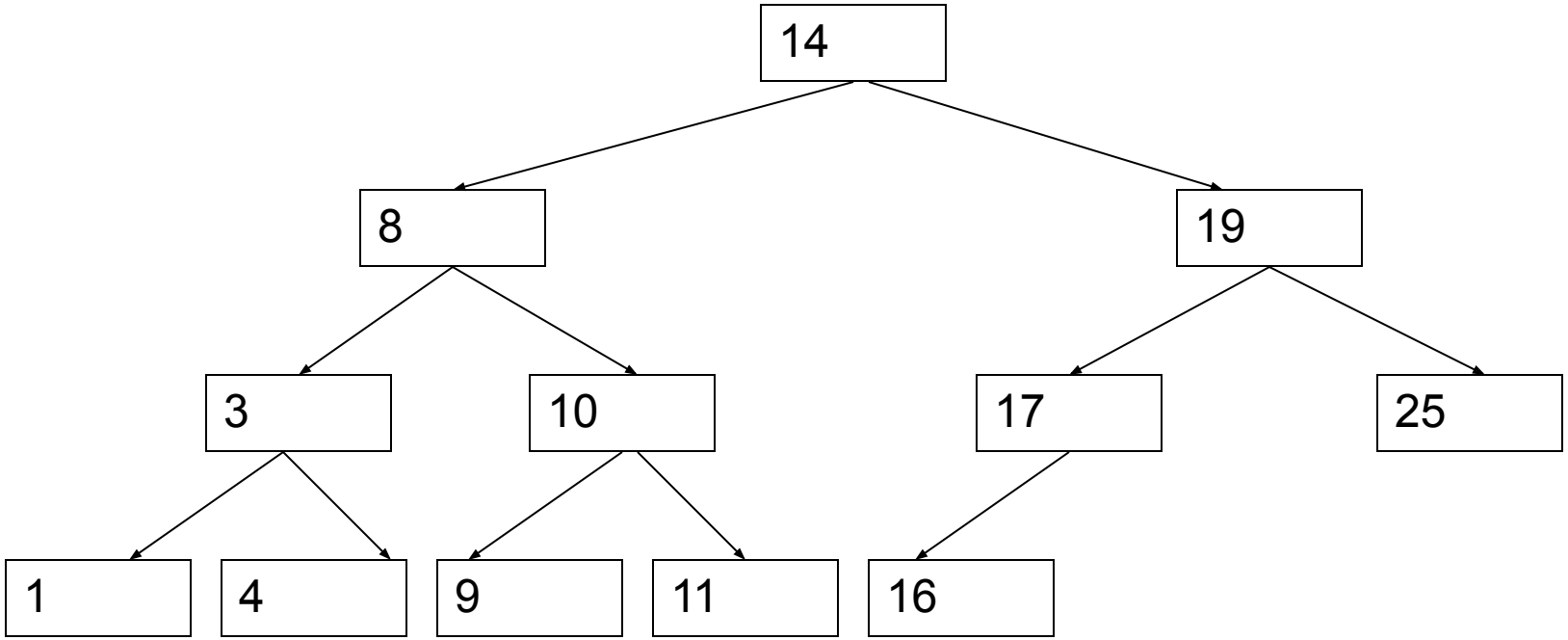
Нет – на 4-ом уровне заполнен не самый левый элемент

Пирамида?



Да

Пирамида?

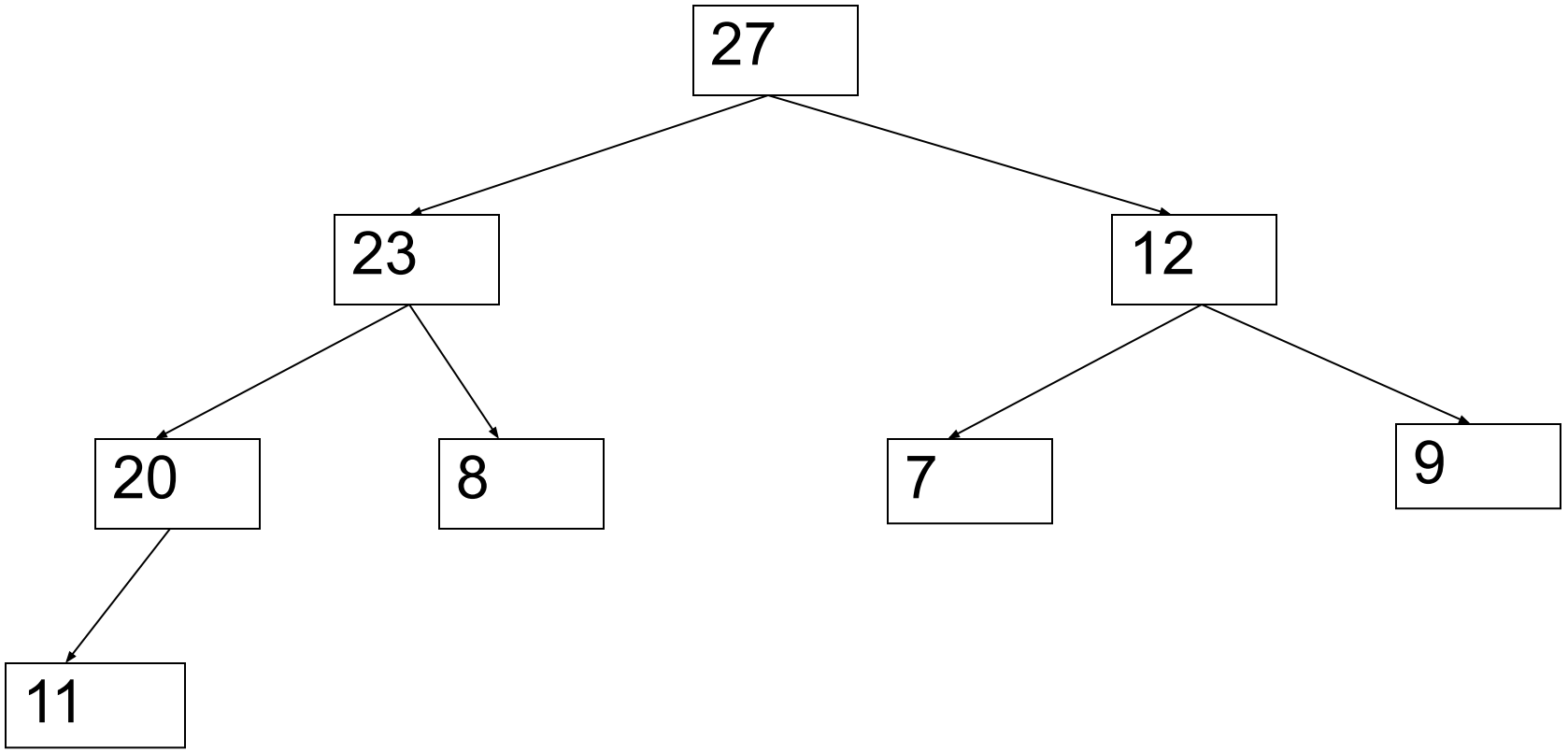


Да

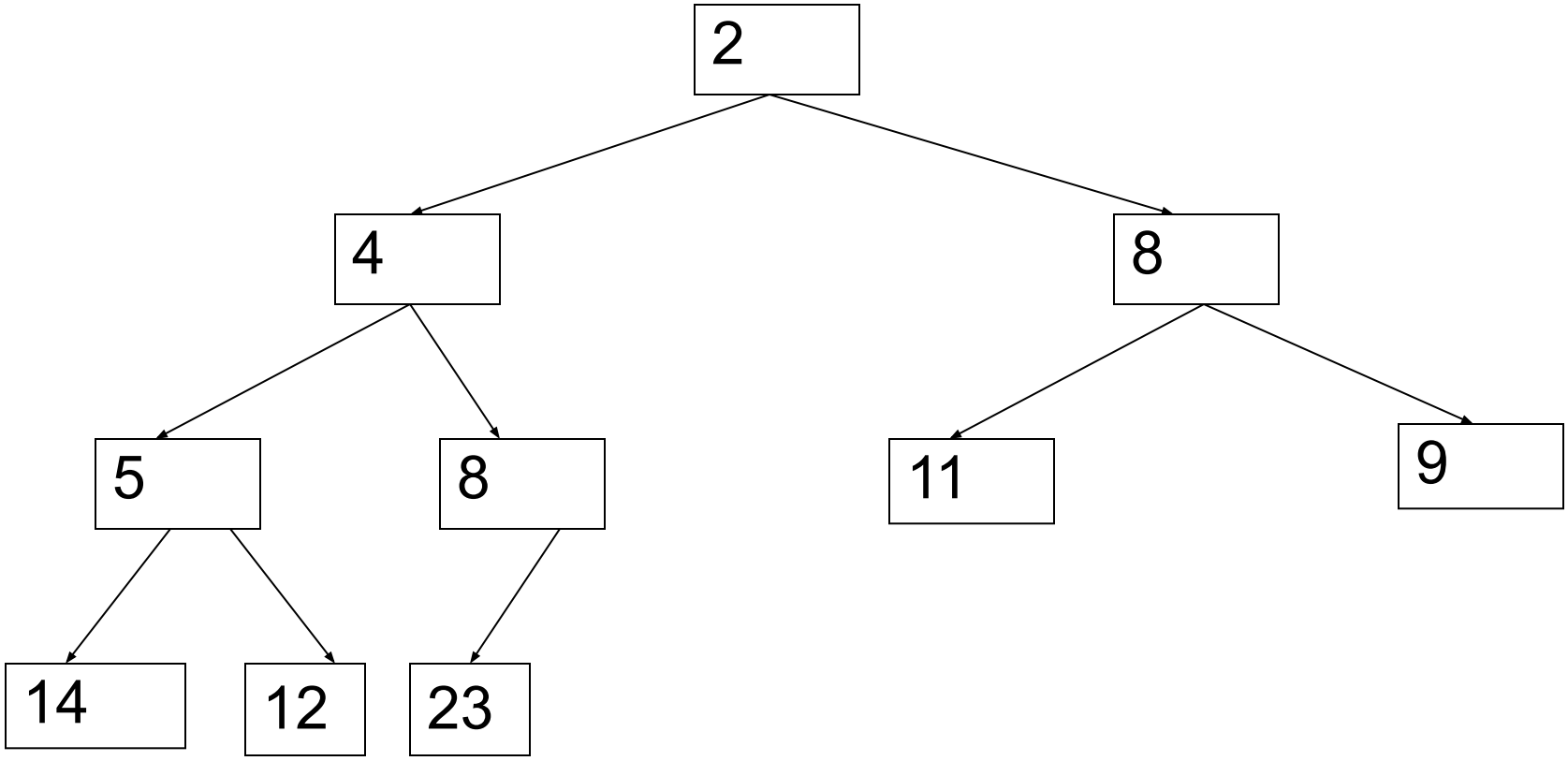
Пирамида

- Пирамида называется невозрастающей, если любой родительский элемент больше (либо равен) обоих дочерних элементов
- Пирамида называется неубывающей, если любой родительский элемент меньше (либо равен) обоих дочерних элементов

Невозрастающая пирамида



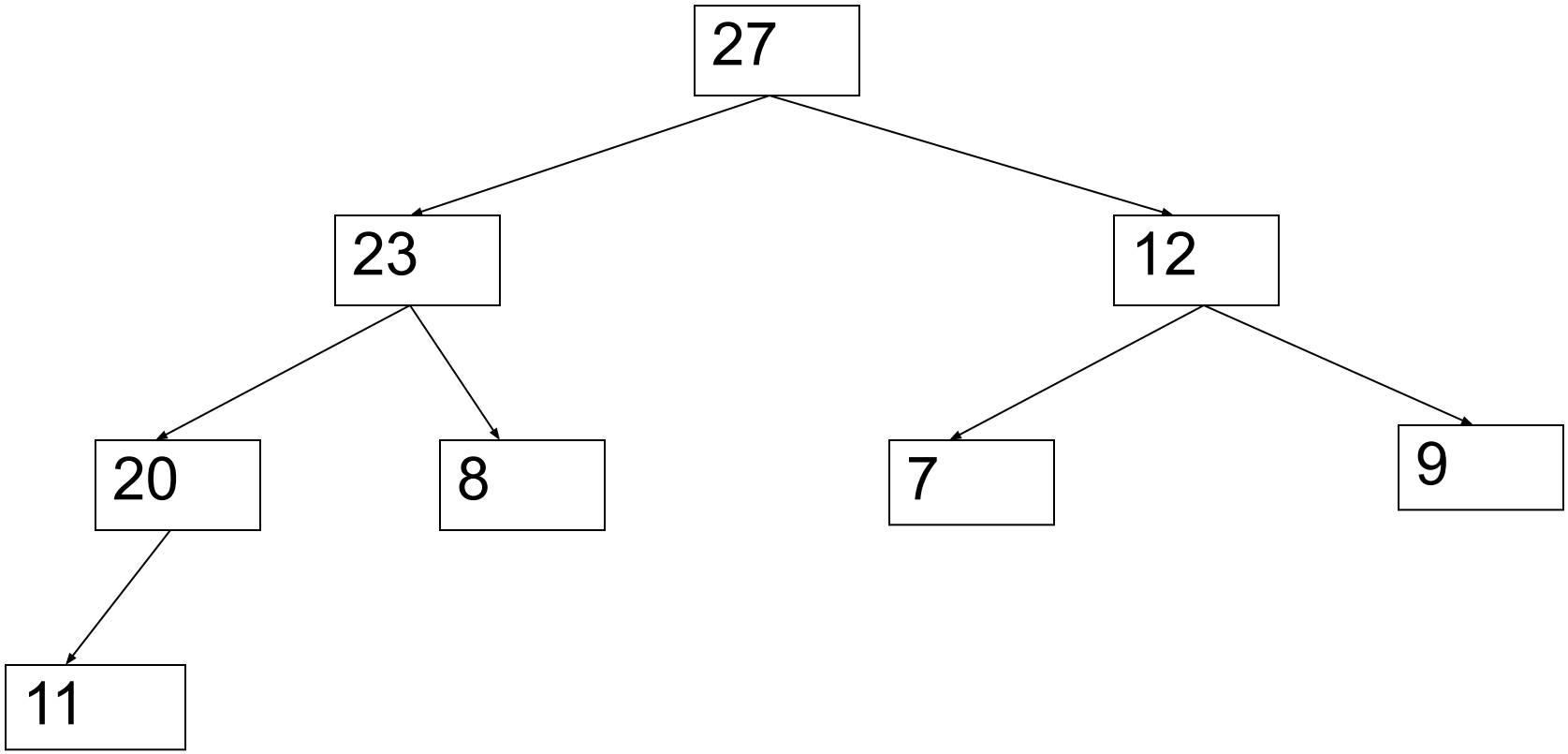
Неубывающая пирамида



Операции над невозрастающей пирамидой

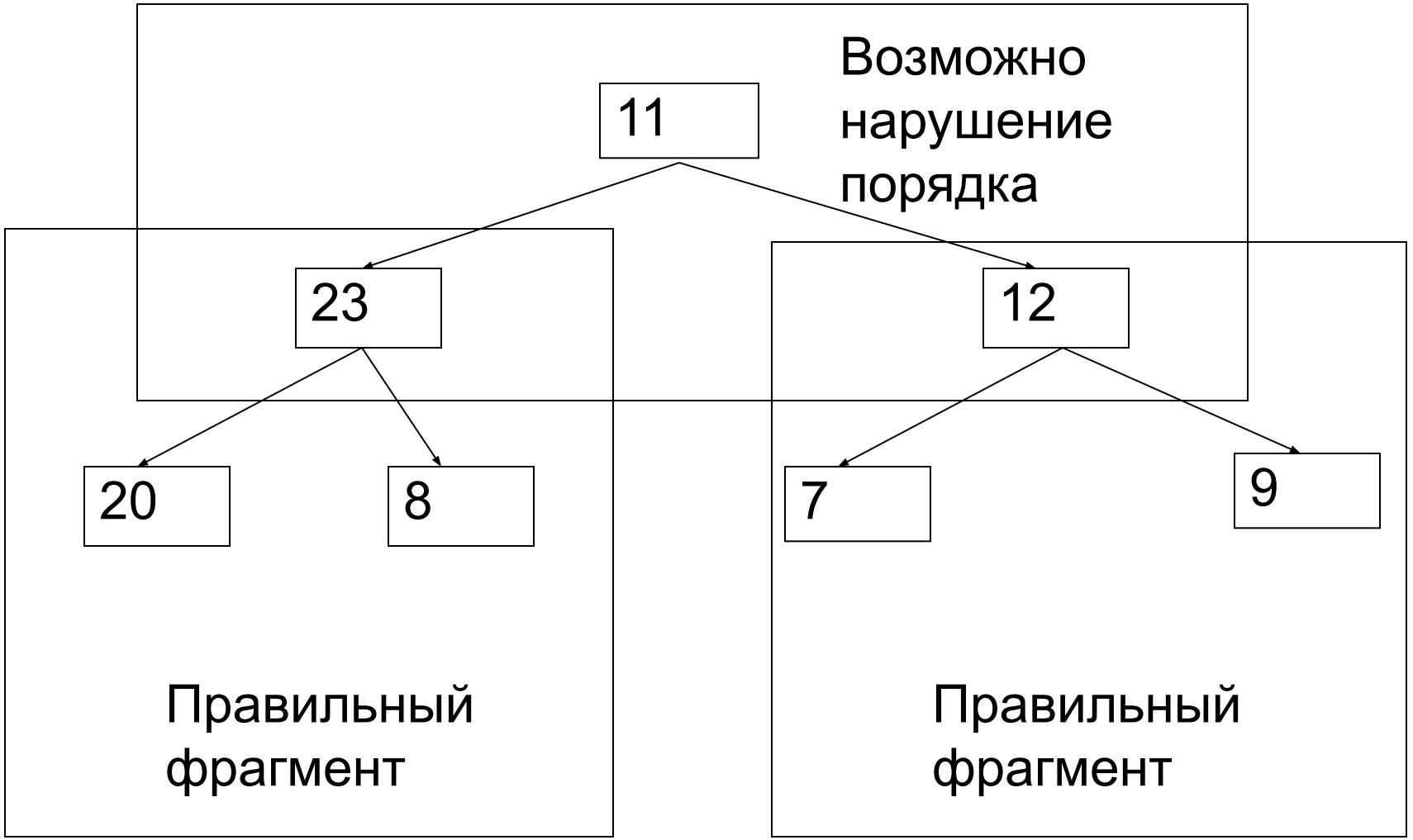
- Из невозрастающей пирамиды можно извлечь максимальный элемент за время $O(\log N)$ так, чтобы она осталась невозрастающей
- В невозрастающую пирамиду можно добавить элемент за время $O(\log N)$ так, чтобы она осталась невозрастающей

Извлечение элемента из пирамиды



Извлечение элемента из пирамиды

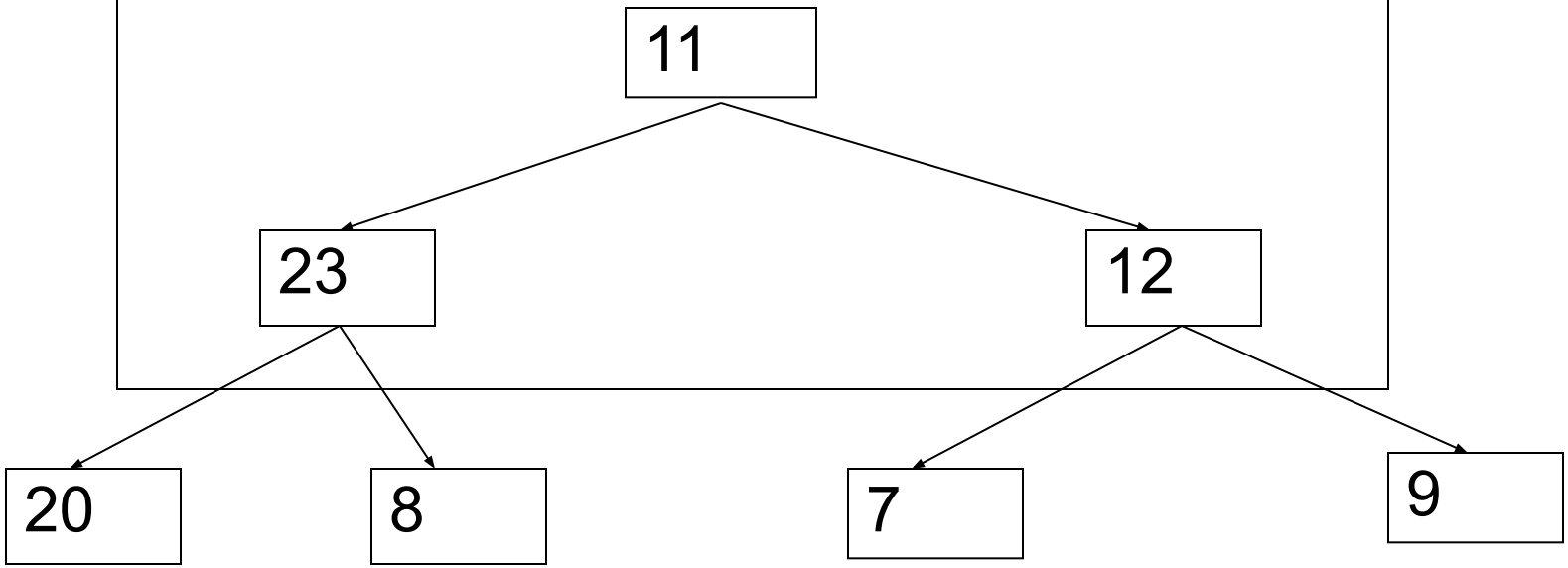
27



Извлечение элемента из пирамиды

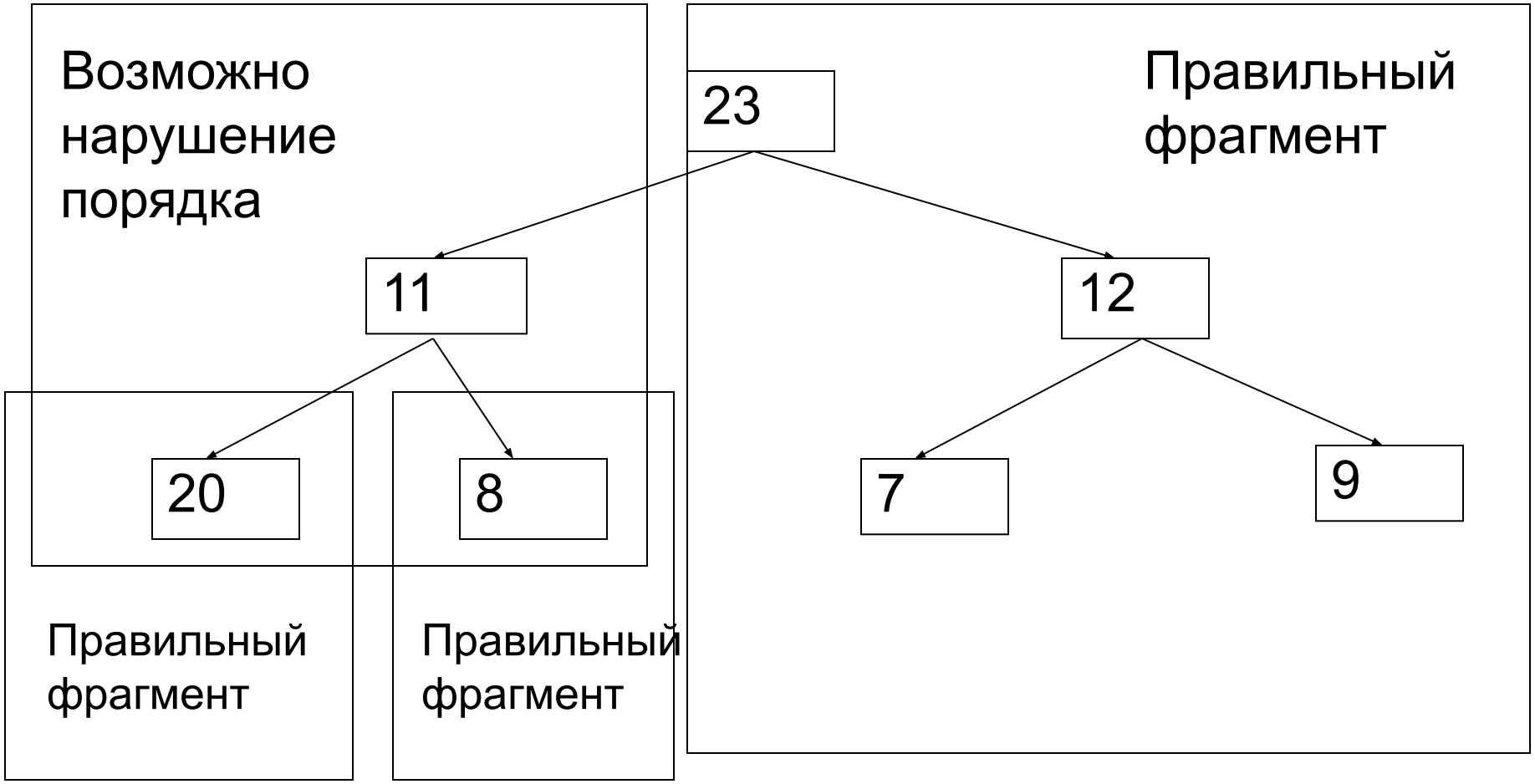
27

Выберем максимум и поменяем местами с верхним элементом



Извлечение элемента из пирамиды

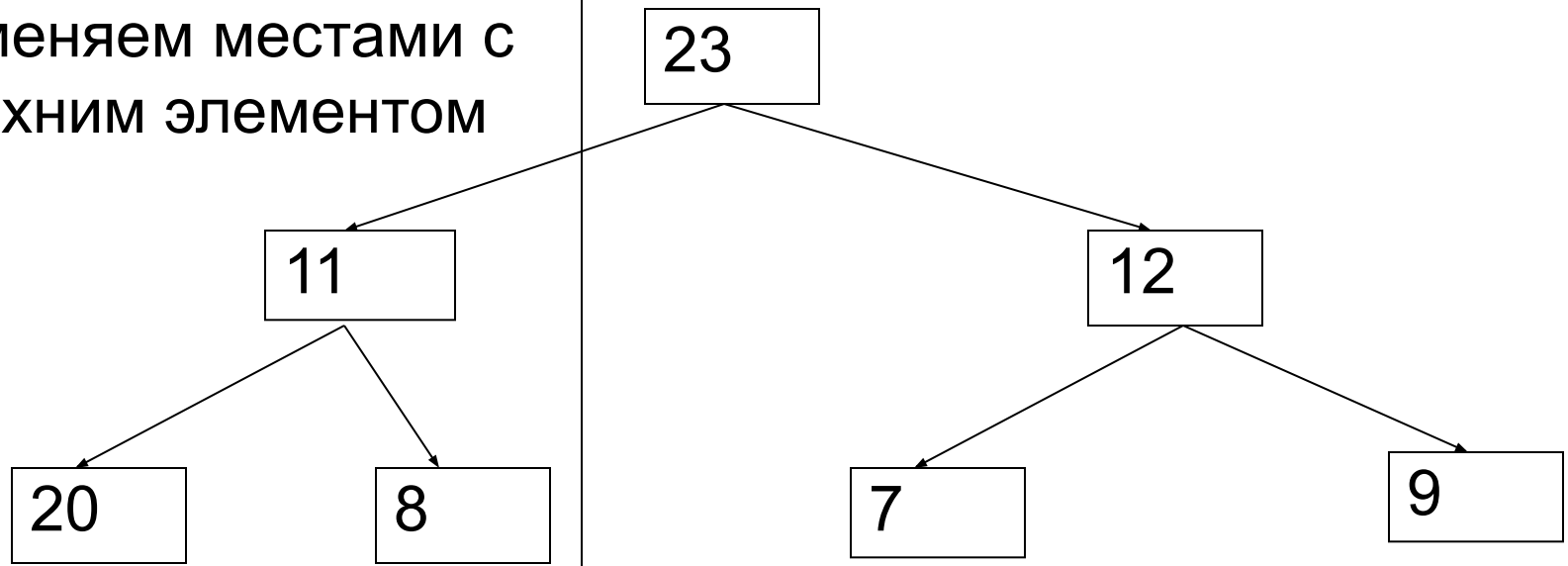
27



Извлечение элемента из пирамиды

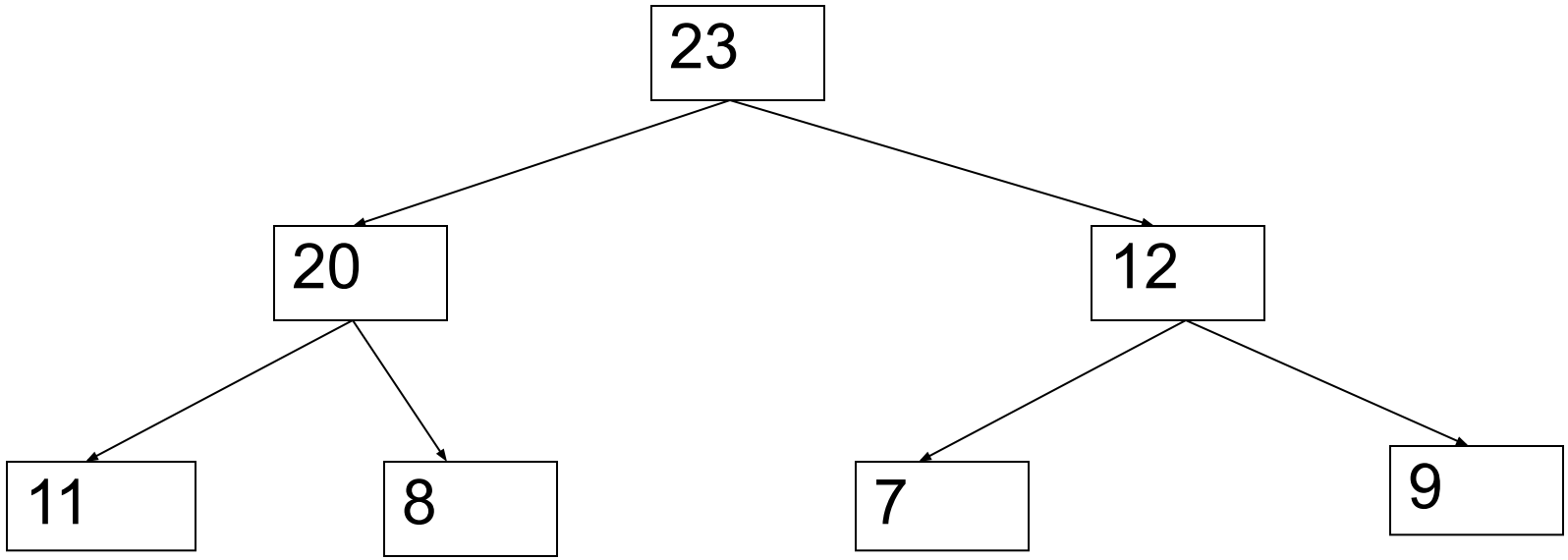
27

Выберем максимум и поменяем местами с верхним элементом



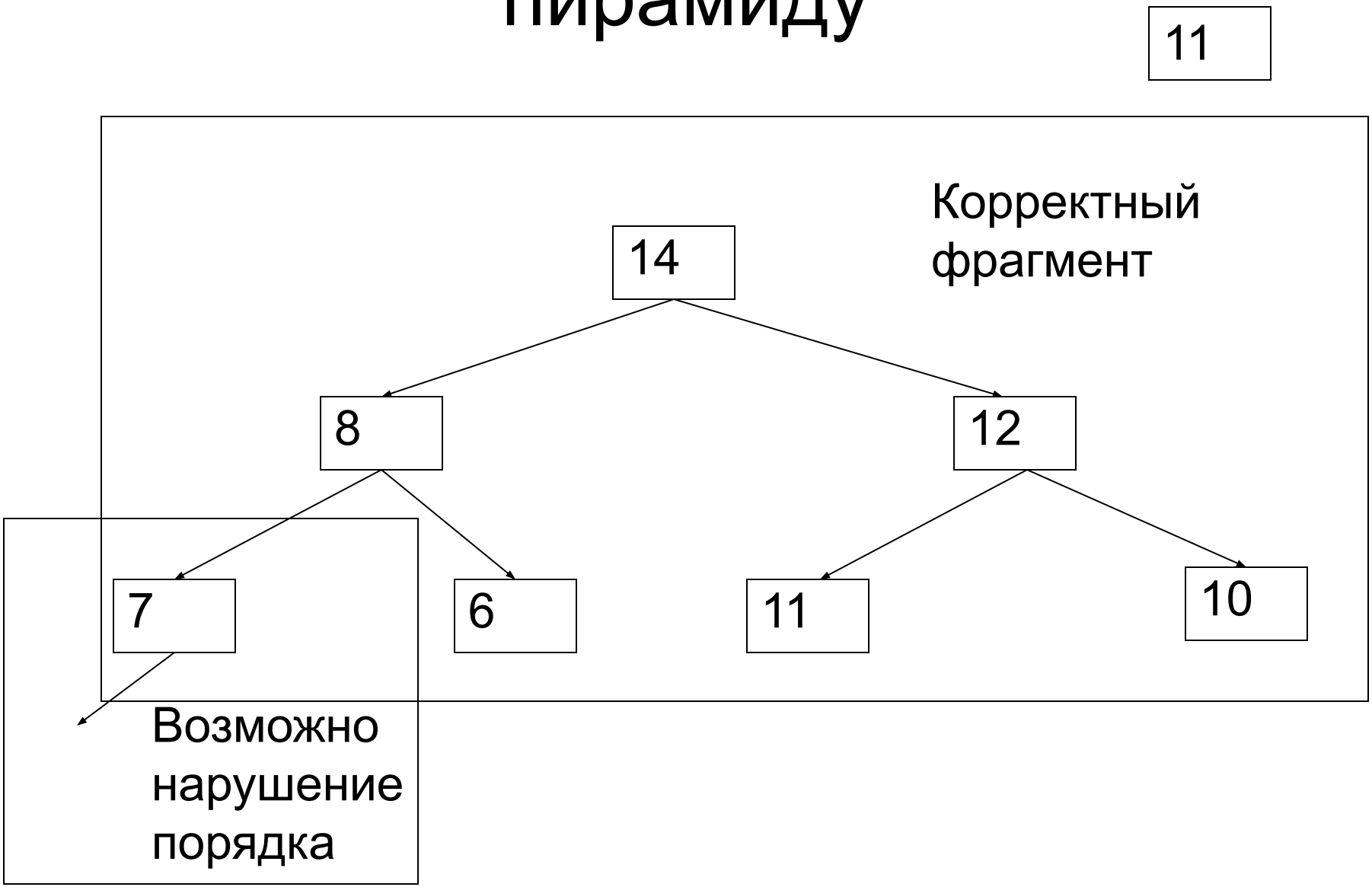
Извлечение элемента из пирамиды

27

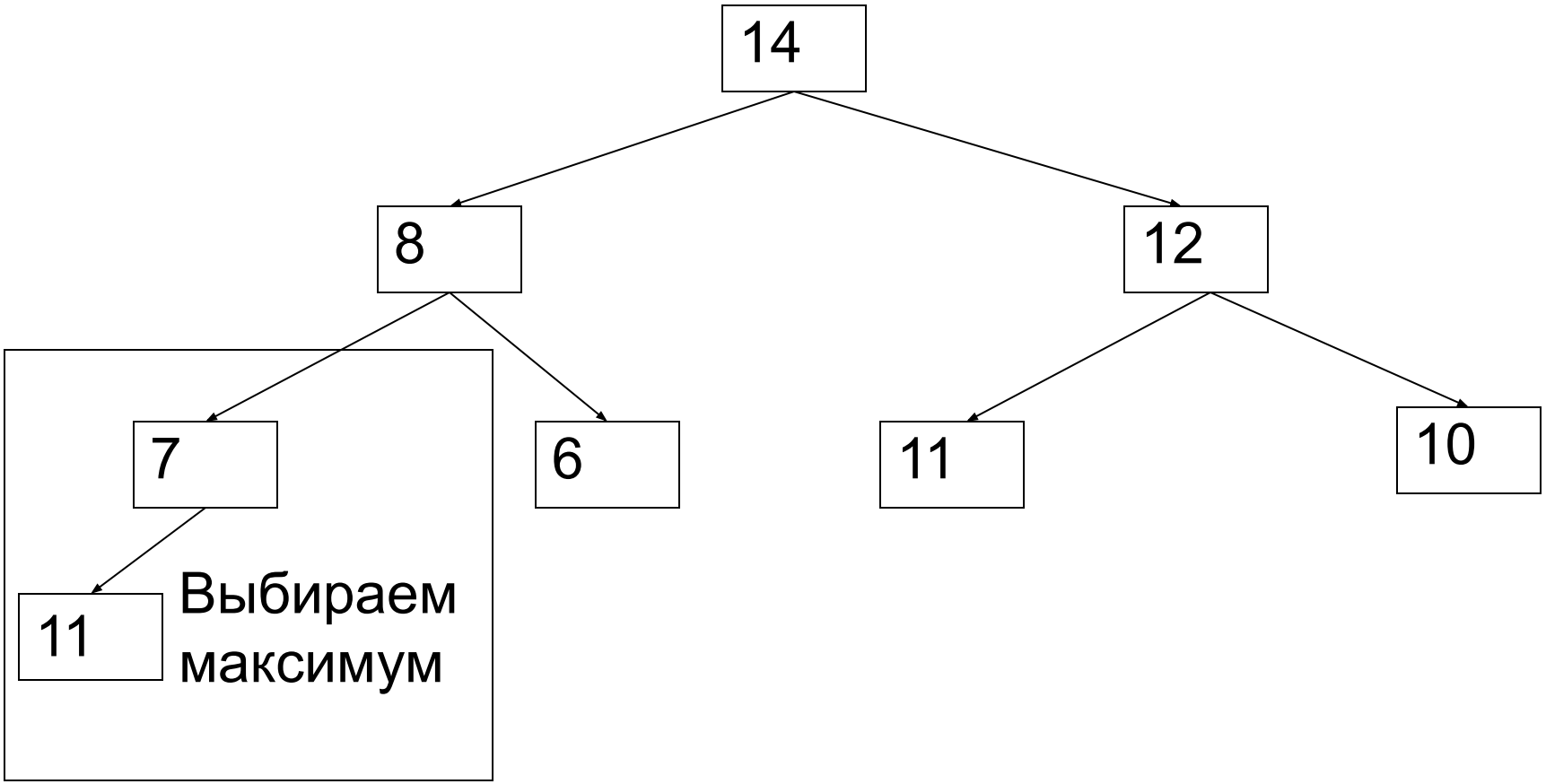


Завершено!

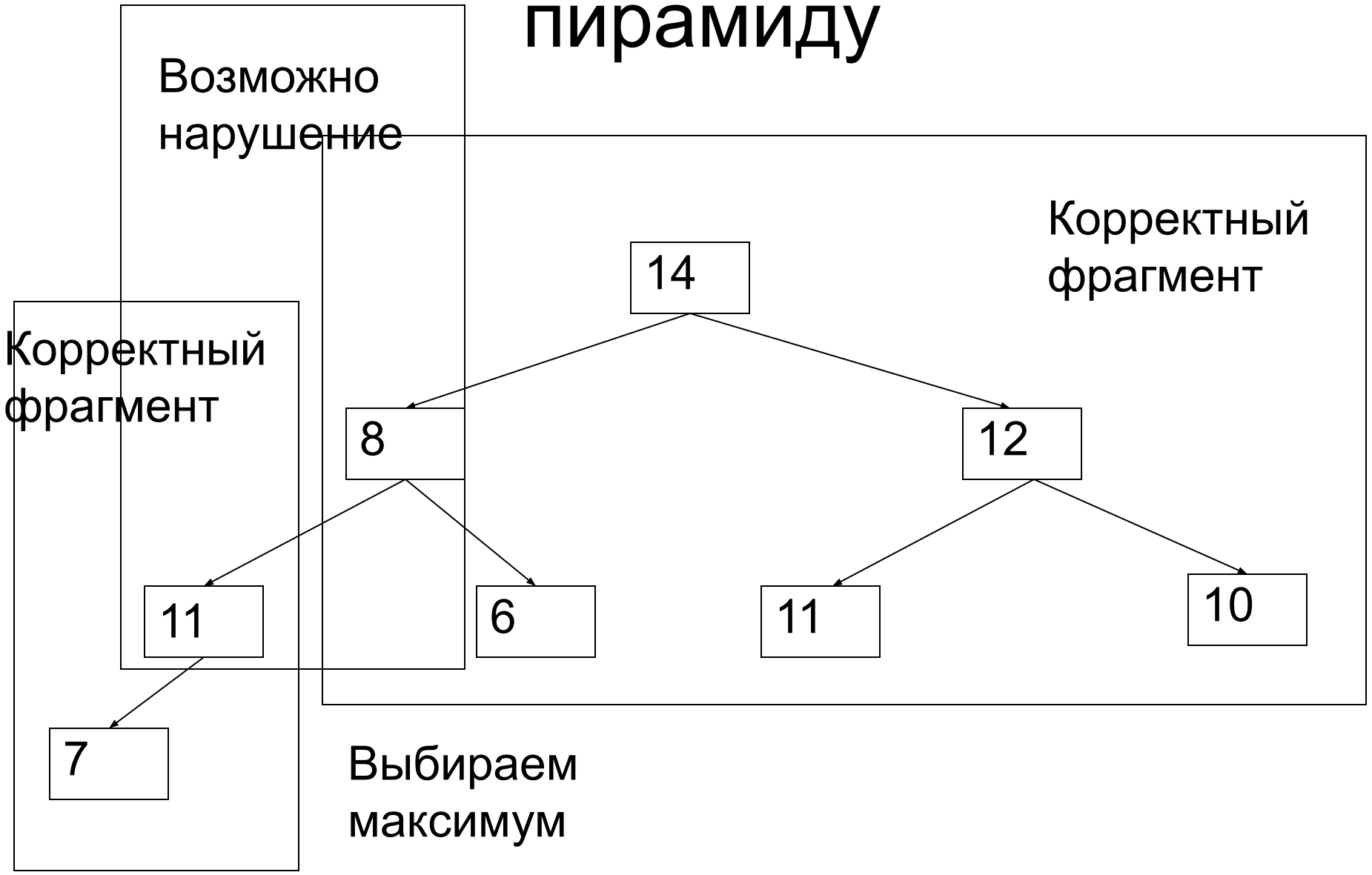
Добавление элемента в пирамиду



Добавление элемента в пирамиду

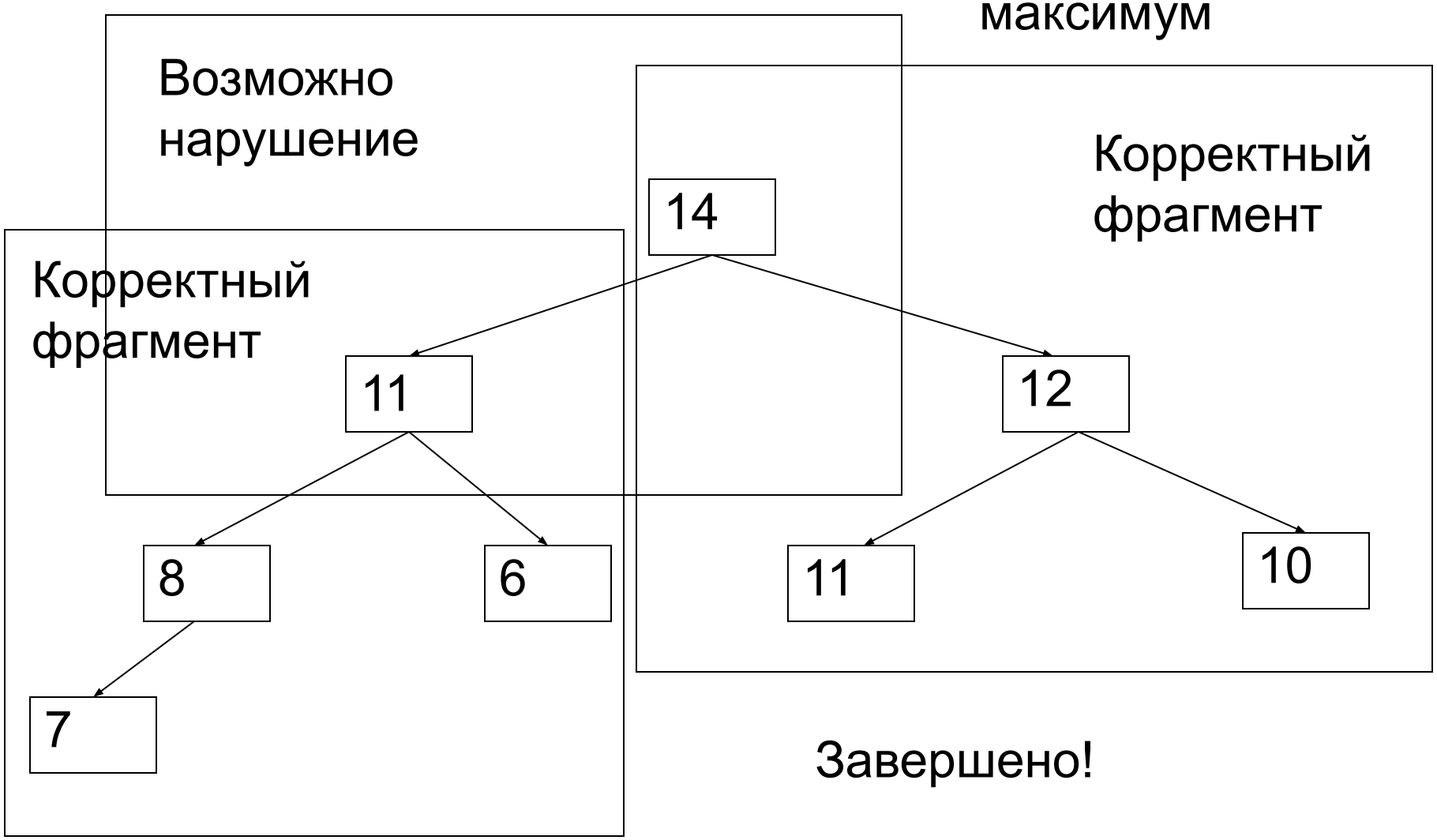


Добавление элемента в пирамиду



Добавление элемента в пирамиду

Выбираем максимум



Применение пирамиды

- Пирамида используется в пирамидальной сортировке – построив пирамиду и извлекая из нее элементы, мы реализуем сортировку за $O(N\log N)$
- Пирамида может рассматриваться как очередь с приоритетами. В ней можно выполнить за $O(\log N)$ операции
  - Выборки максимального элемента
  - Добавления нового элемента в очередь
  - Повышения приоритета элемента

Хранение пирамиды

- Мы можем хранить пирамиду как обычное бинарное дерево (каждый узел представляется как структура, состоящая из значения элемента, указателей на дочерние узлы и родительский узел)
- Этот механизм требует использовать дополнительную память для хранения указателей

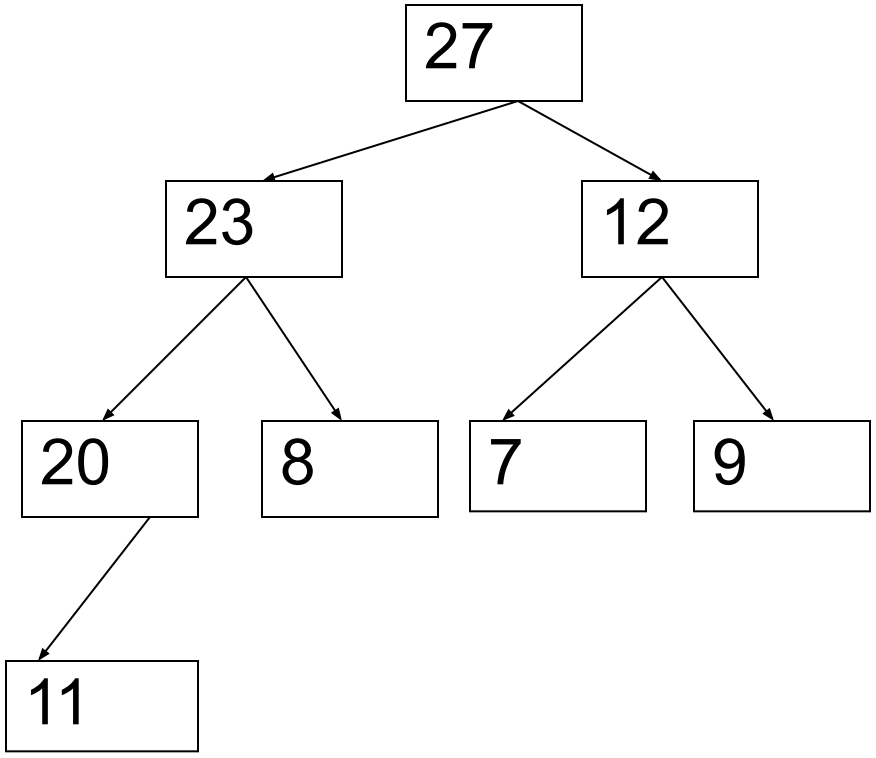
Хранение пирамиды

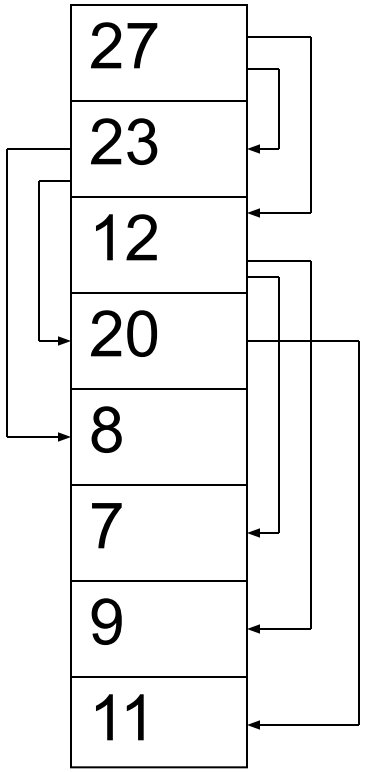
- Пирамиду можно хранить без выделения дополнительной памяти
- Для этого пирамида представляется как массив

Хранение пирамиды

- Уровень *K* пирамиды занимает в массиве позиции от 2^K-1 до 2^{K+1}-2
- Например, уровень 0 (корень) находится в позиции 0
- Уровень 1 (2 элемента)– в позициях от 1 до 2
- Уровень 3 (8 элементов) – в позициях от 7 до 14

Хранение пирамиды





Хранение пирамиды

- Потомками элемента A[K] являются
  - A[2 * K + 1] – левый потомок
  - A[2 * K + 2] – правый потомок
- Например, у элемента 4 (2-ой слева элемент на 3-ем уровне) потомками будут
  - Элемент 9 – 3-ий слева элемент 4-ого уровня, левый потомок
  - Элемент 10 – 4-ый слева элемент 4-ого уровня, правый потомок

Задание

- Как выглядит код, проверяющий массив на то, что он является невозрастающей пирамидой?

Стек

- Стеком называется контейнер, поддерживающий принцип Last In – First Out
- Мы можем в любой момент добавить новый элемент, посмотреть последний добавленный элемент, удалить последний добавленный элемент

Стек

Стек

- Стек может быть построен на базе практически другого контейнера, например массива
- Стек ограничивает количество операций контейнера

Очередь

- Очередь – это контейнер, поддерживающий принцип First In – First Out
- Существуют операции добавления элемента в очередь и удаления элемента, который был добавлен раньше всех

Очередь

Очередь

- Очередь также легко реализуется на базе другого контейнера (например, массива)

Лекция 4. Хэш-таблицы. Понятие о хэш-функции. Идея хэширования.

Хэш-таблицы. Постановка задачи.

- Бинарные деревья поиска позволили реализовать поиск элемента в контейнере за $O(\log N)$
- Это правило удалось реализовать, введя ограничения на структуру контейнера (не любой элемент не в любую ячейку можно положить)
- Может, если ограничения сделать больше, удастся повысить результат?

Хэш-таблицы – прямая адресация

- Пусть в контейнере планируется хранить целые числа от 0 до 2^{32}-1
- Для упрощения скажем, что числа могут быть только разные
- Если бы мы могли завести массив длиной 2^{32} - проблема была бы решена
- Хранить каждый элемент только в ячейке, номер которой совпадает с его значением

Хэш-таблицы – прямая адресация

Исходное состояние – значение всех элементов не совпадает с номером, набор пустой

Добавление элемента 5

Добавление элемента 7

Хэш-таблицы – прямая адресация

1	0	0	0	0	5	0	7	0	0	0

Поиск элемента

2

Не совпали – значит,
такого нет

Поиск элемента

7

Совпали – значит,
такой есть

О достоинствах и недостатках схемы

- Поиск любого элемента выполняется за фиксированное время (O(1))
- Добавление нового элемента выполняется за фиксированное время (O(1))
- Количество требуемой памяти пропорционально количеству возможных значений ключа

Идея хэш-функции

- Обеспечить поиск и добавление элемента за время, равное O(1), возможно, если позиция полностью определяется значением (например, в рассмотренном методе прямой адресации – совпадает со значением). Тогда время вычисления позиции по значению фиксировано и не зависит от количества элементов
- Простое правило: «номер совпадает со значением» возможно только для целых чисел и приводит к перерасходу памяти

Идея хэш-функции

- Итак, необходимо, чтобы элемент со значением x сохранялся в позиции $h(x)$.
- $h(x)$ – хэш-функция (от to hash – перемешивать)
- Тогда поиск и добавление элемента выполняются за время O(1)

Пример

- Рассмотрим контейнер целых чисел
- Для хранения – массив из 11 элементов
- $h(x) = x \% 11$ (остаток от деления на 11)

- Начальное состояние – контейнер пустой. Поскольку в памяти что-то должно быть – заполняем невозможными (вообще или в данной клетке) значениями.

X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Пример хэш-таблицы

Добавление элемента

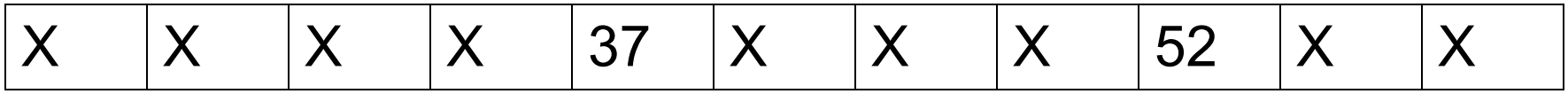
52

52 % 11 = 8

Добавление элемента

37

37 % 11 = 4



Пример хэш-таблицы

X	X	X	X	37	X	X	X	52	X	X

Поиск элемента

16

16 % 11 = 5

Не найден

X	X	X	X	37	X	X	X	52	X	X

Поиск элемента

19

19 % 11 = 8

Не найден

Пример хэш-таблицы

X	X	X	X	37	X	X	X	52	X	X

Поиск элемента

37

37 % 11 = 4

Найден

Коллизии

- Мы не хотим выделять память на каждое возможное значение элемента (реально встретившихся значений обычно много меньше, чем возможных)
- Значит, возможных значений $h(x)$ меньше, чем возможных значений x
- И существуют такие x_1, x_2, что $h(x_1)=h(x_2)$

Коллизии

- Значит, возможна ситуация, когда мы пытаемся добавить элемент, а место занято.
- Эта ситуация называется **коллизией**

- Вернемся к примеру

Пример коллизии

X	X	X	X	37	X	X	X	52	X	X

Добавление элемента

96

96 % 11 = 8

Коллизия

Необходимо разрешение коллизий

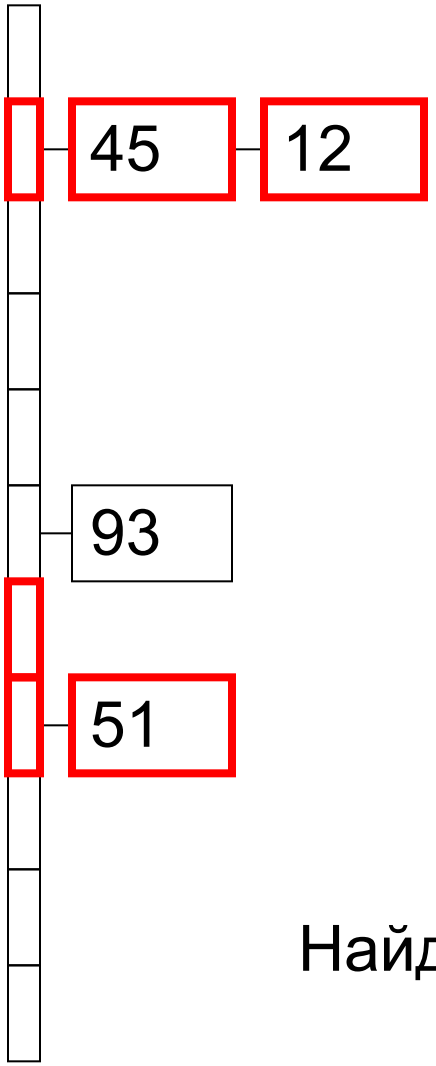
- Правила разрешения коллизий должны определять, что делать при коллизии (куда поместить полученный элемент)
- Важно обеспечить, чтобы:
  - Правила разрешения коллизий позволяли бы разместить в контейнере любой набор значений
  - Правила поиска позволяли найти любой элемент, размещенный по правилам разрешения коллизий

Разрешение коллизий: хранение списков

- Будем хранить в каждом элементе массива не значение, а список значений
- Новое значение добавляем в конец списка
- Поиск выполняется по списку

Разрешение коллизий: хранение списков, $h(x) = x \% 11$, добавление

Разрешение коллизий: хранение списков, $h(x) = x \% 11$, поиск



Найден!

17

29

89

12

Не найден

Разрешение коллизий хранением списков

- В наихудшем случае время поиска O(*N*) – если возникнет один список
- Время добавления элемента в наихудшем случае – O(*N*) или O(1) [если хранить адрес последнего элемента списка]

Разрешение коллизий хранением списков

- Предположим, что
  - Вероятности попадания элемента в любую ячейку равны
  - Количество ячеек *M* равно количеству элементов *N* (или хотя бы пропорционально)

- Тогда средняя длина списка – 1, среднее время поиска и добавления элемента – O(1)

Разрешение коллизий методом сдвига

- Достаточно легко удалить элемент – просто удаляем его из списка. Время удаления - O(1)

Разрешение коллизий методом сдвига

- Часто хочется упростить структуру и не хранить массив списков
- В этом случае можно применить разрешение коллизий методом сдвига (хэширование с открытой адресацией, метод линейного исследования)

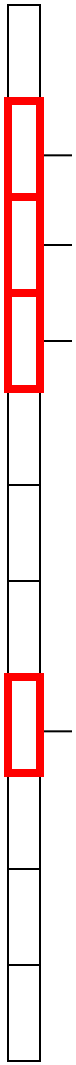
Разрешение коллизий методом сдвига

- Если мы не можем положить элемент в нужную ячейку – пытаемся положить в следующую, и так пока не найдется свободная
- При поиске перебираем элементы, пока не встретим пустую ячейку
- Встретив конец массива – переходим на первый элемент

Почему линейное исследование?

- При попытке № *i* поместить значение k мы пробуем ячейку $h(k , i)$
- $h(k , i) = (h'(k) + i) \% m$
- Функция - линейная

Разрешение коллизий методом сдвига , $h(x) = x \% 11$, добавление



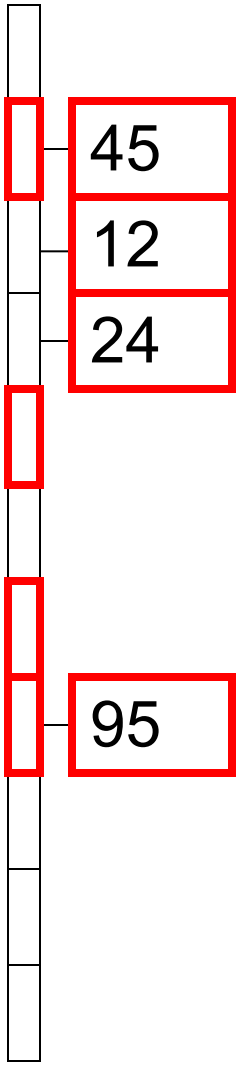
45

12

95

24

Разрешение коллизий методом сдвига , $h(x) = x \% 11$, поиск



17

95

12

89

Найден!

Не найден

Разрешение коллизий методом сдвига

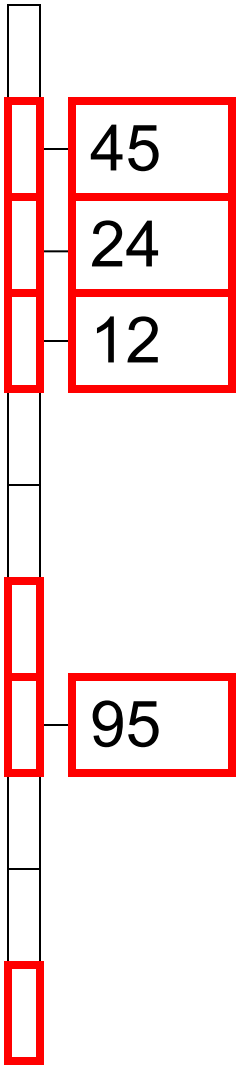
- Метод работает, только если длина массива не меньше числа элементов
- Когда элементов в массиве становится достаточно много, эффективность хэширования мала (приходится перебирать множество элементов)
- Этот эффект называется **кластеризацией** (возникает кластер из занятых элементов)

Разрешение коллизий: квадратичное исследование

- При попытке № i поместить значение k мы пробуем ячейку $h(k , i)$
- $h(k , i) = (h'(k) + c_1 i + c_2 i^2) \% m$
- В отличие от линейного исследования, кластеризация слабее

Квадратичное исследование, $h(x, i) = (x \% 11 + i + i^2) \% 11)$

Квадратичное исследование, $h(x, i) = (x \% 11 + i + i^2) \% 11)$



Найден!

17

95

12

89

Не найден

Квадратичное исследование, $h(x, i) = (x \% 11 + i + i^2) \% 11)$

45

- 45%11 = 1
- (45 + 1 + 1) % 11= 3
- (45 + 2 + 4) % 11= 7
- (45 + 3 + 9) % 11= 2
- (45 + 4 + 16) % 11 = 10
- (45 + 5 + 25) % 11 = 9
- (45 + 6 + 36) % 11 = 10, повторная попытка

Квадратичное исследование, $h(x, i) = (x \% 8 + i / 2 + i^2 / 2) \% 8)$

45

- 45%8 = 5
- (45 + 1 / 2 + 1 / 2) % 8 = 6
- (45 + 2 / 2 + 4 / 2) % 8 = 0
- (45 + 3 / 2 + 9 / 2) % 8 = 3
- (45 + 4 / 2 + 16 / 2) % 8 = 7
- (45 + 5 / 2 + 25 / 2) % 8 = 4
- (45 + 6 / 2 + 36 / 2) % 8 = 2
- (45 + 7 / 2 + 49 / 2) % 8 = 1

Выводы:

- Квадратичное исследование менее подвержено опасности кластеризации, чем линейное.
- При квадратичном исследовании важен выбор функции так, чтобы перебрать все ячейки.
- Докажите, что при выборе функции вида ($h(x) + i / 2 + i^2 / 2) \% 2^m$), мы попробуем все ячейки (от 0 до $2^m - 1$).

Двойное хэширование

- Методы линейного и квадратичного исследования неприемлемы при большом числе коллизий
- Если мы добавляем *N* элементов с одинаковым значением хэш-функции, то для последнего элемента придется сделать *N* попыток его размещения
- Эту проблему может решить метод **двойного хэширования**

Двойное хэширование

- Идея двойного хэширования в том, чтобы использовать вторую хэш-функцию для определения смещения
- $h(k , i) = (h_1(k) + ih_2(k)) \bmod m$

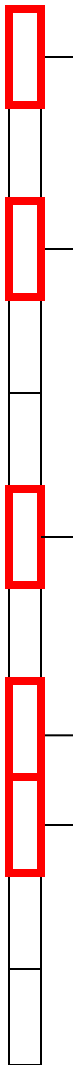
- Важно, чтобы для любого k $h_2(k)$ было взаимно простым с m

Варианты:

- m – степень двойки
- $h_2(k)$ – нечетная для любого k, $h_2(k) = 2h_3(k)+1$

- m – простое число
- $h_2(k)$ строго меньше m, например
- $h_1(k) = k \,\%\, m$
- $h_2(k) = 1 + (k \,\%\, m - 1)$

Двойное хэширование, $h_1(x) = x \% 11$, $h_2(x) = 1 + x \% 10$



95

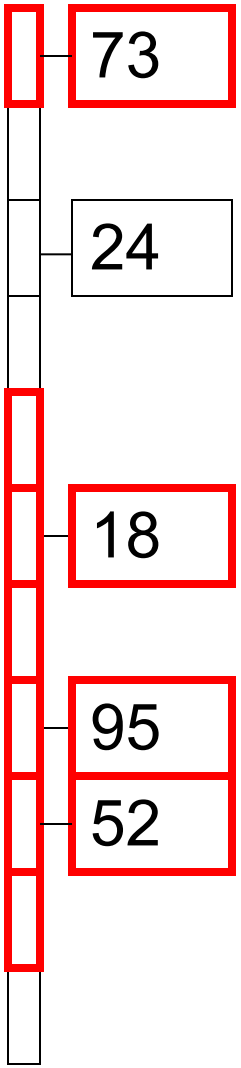
18

24

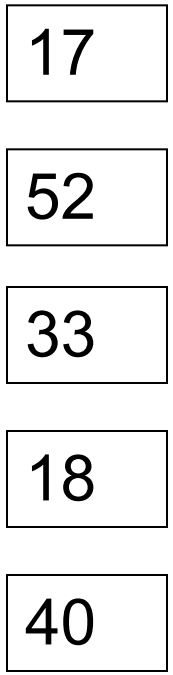
52

73

Двойное хэширование, $h_1(x) = x \% 11$, $h_2(x) = 1 + x \% 10$, поиск



Найден!

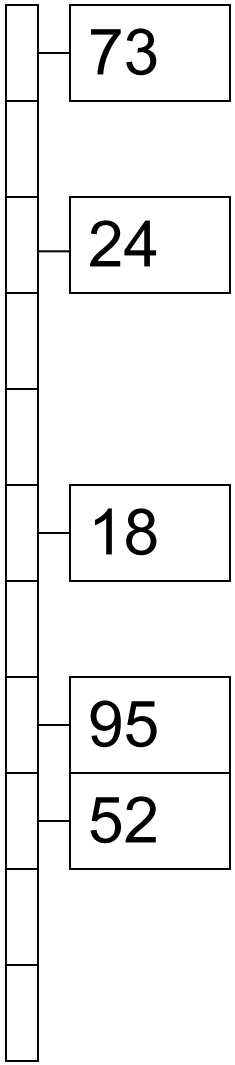


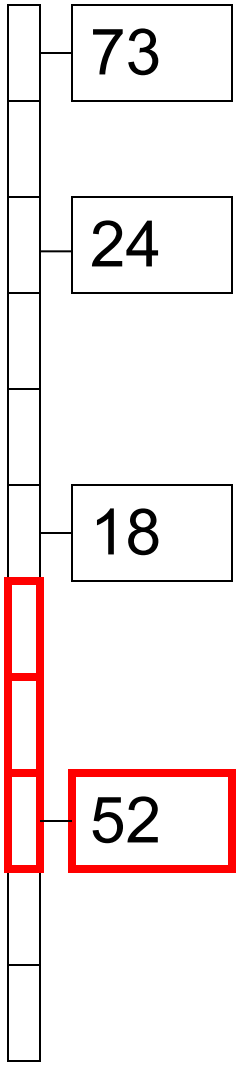
Не найден

Двойное хэширование: выводы

- Двойное хэширование – лучший из методов с открытой адресацией (т.е. с хранением значений непосредственно в массиве)

Удаление элементов из хэш-таблицы с открытой адресацией $h_1(x) = x \% 11$, $h_2(x) = 1 + x \% 10$





Найден!

17

52

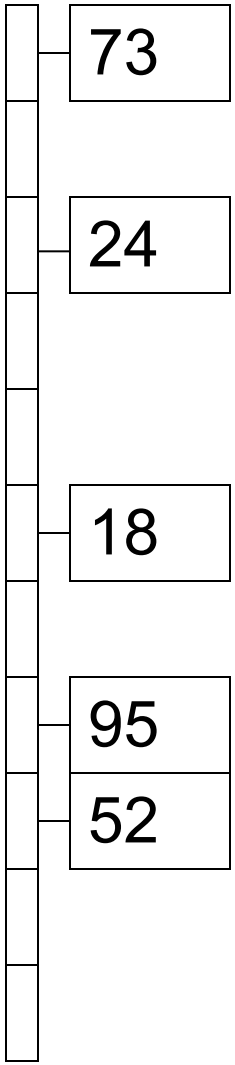
18

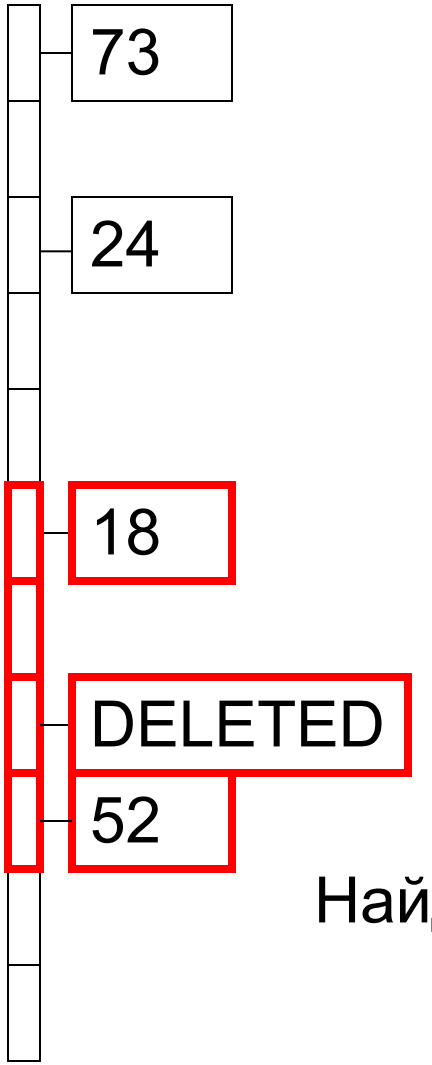
Не найден

Удаление элементов

- Просто удалить элемент нельзя – нарушится поиск тех, которые были добавлены после него
- Можно заменить значение на пометку Deleted

Удаление элементов из хэш-таблицы с открытой адресацией $h_1(x) = x \% 11$, $h_2(x) = 1 + x \% 10$





Найден!

17

52

18

Не найден

Удаление элементов

- Специальное значение Deleted позволяет удалить элемент
- Но позиция в таблице после этого остается занятой и замедляет поиск
- Этот подход годится, если потребность удалить элемент возникает в результате крайне экзотической ситуации
- Если действительно нужно удалять – используйте разрешение коллизий методом списков

Выбор хэш-функции

- Мы будем считать, что элементы массива – целые числа
- Если они не целые числа – их всегда можно сделать целыми (возможно, очень большими)
- Приведем примеры

Пример: строки ANSI

- «Alexey»
- В памяти -

65(‘A’)	108(‘l’)	101(‘e’)	120(‘x’)	101(‘e’)	121(‘y’)	0

- В числовой форме – 7193381466252 1
  $121+101*256+120*256^2+101*256^3$
  $+108*256^4+65*256^5$

Варианты хэш-функции

- Метод деления
- Метод умножения
- Универсальное хэширование

Метод деления

- $h(k) = k \% m$
- m – число позиций в хэш-таблице

- Преимущество – простота
- Недостаток – ограничения на величину m (нежелательна степень двойки – тогда на позицию влияют только младшие биты числа)
- Оптимально – простое число, далекое от степени двойки

Метод умножения

- $h(k) = [\, m\,(kA - [\, kA \,]\,)\,]$
- $[x]$ – целая часть x
- Кнут предложил $A = (\sqrt{5} - 1)/2$
- Можно избежать вещественных вычислений.

Метод умножения

- Можно избежать вещественных вычислений. $m=2^w$, $A=s/2^w$, $0<s<2^w$
- $h(k) = [m (kA - [kA])] = [(ks - 2^w[ks / 2^w])] = ks \% 2^w$
- И происходит только одно умножение и 1 деление на степень 2 (очень быстрое)

Универсальное хэширование

- Ясно, что для любой хэш-функции можно подобрать значения, при которых она работает плохо (коллизии на каждом шаге).
- Злоумышленник может посылать нам такие значения и спровоцировать неработоспособность нашей программы.

Универсальное хэширование

- Идея универсального хэширования – случайный выбор хэш-функции так, чтобы для любой сгенерированной злоумышленником последовательности вероятность проблем была мала

Универсальное хэширование

- Множество N хэш-функций $h_n(k)$ универсально, если для любых ключей k, l существует не больше N/m таких i, что
  $h_i(k) = h_i(l)$
- Т.е. для любой пары ключей вероятность коллизии не больше, чем вероятность совпадения двух случайных значений

Универсальное хэширование

- Пример функции
- Пусть p – простое число, ключи – от 0 до p – 1
- m – размер таблицы, $h(k)$ – от 0 до m – 1
- Рассмотрим семейство функций вида
- $h_{a,b}(k)=((ak+b) \bmod p) \bmod m$
  $a=\{ 1, \ldots, p-1 \}$, $b = \{ 0, \ldots, p-1 \}$
- Оно является универсальным

Другие применения хэш-функций

- Криптография.
  - Криптография с закрытым ключом – зная ключ, можно построить хэш-функции для шифрования и расшифровки
  - Криптография с открытым ключом. Кто угодно может зашифровать сообщение открытым ключом, а для расшифровки нужно знать секретный закрытый
  - Электронная цифровая подпись. Кто угодно может открытым ключом расшифровать сообщение, а зашифровать – нужно знать закрытый. Если расшифровалось – значит, автор знает закрытый ключ

Лабораторная работа №2. Реализация контейнеров данных.

Реализация контейнеров данных

- Предлагаются индивидуальные варианты заданий, связанные с реализацией контейнеров
- Предпочтительна реализация контейнера, сопровождаемая подготовкой доклада об контейнере
- Доклады целесообразны для контейнеров повышенной сложности

Варианты заданий

- Реализовать класс списка с операциями добавления элемента, удаления элемента, доступа к первому элементу, доступа к следующему за данным. ([1], раздел 10.2)
- Реализовать класс бинарного дерева с операциями поиска, добавления и удаления элемента. ([1], раздел 12)
- Реализовать класс ассоциативного массива. ([1], раздел 12)

Варианты заданий

- Реализовать класс массива элементов, значение которых может быть 0 или 1, с выделением 1 бита на каждый элемент (т.е. если мы храним 32 элемента – внутри должна лежать одна переменная типа int).
- Реализовать класс стека с операциями добавления элемента, удаления элемента, доступа к первому элементу. ([1], раздел 10.1)
- Реализовать класс очереди с операциями добавления элемента, удаления элемента, доступа к первому элементу. ([1], раздел 10.1)

Варианты заданий повышенной сложности

- Реализовать класс АВЛ-дерева с операциями добавления элемента, удаления элемента, доступа к первому элементу ([1], раздел 13, задача 13-3)
- Красно-черное дерево с операциями добавления элемента, удаления элемента, доступа к первому элементу ([1], раздел 13)
- Реализовать класс очереди с приоритетами на базе пирамиды с операциями добавления элемента, извлечения очередного элемента ([1], раздел 6.5).

Тема 2.1. Библиотека STL как пример стандартной библиотеки языка программирования. Использование контейнеров и алгоритмов STL.

Лекция 5. Шаблоны и пространства имен в C++

Шаблоны

- Рассмотрим функцию сортировки массива целых чисел и функцию сортировки телефонной книги (программа Sort).
- Они очень похожи. Но объединить их в одну функцию мы не можем – разные типы параметров.

Шаблоны

- Для решения этой проблемы придуманы шаблоны.
- Шаблон – это «заготовка» функции, которая может быть конкретизирована несколькими способами. Например, заготовка функции сортировки в SortTemplates

SortTemplates

- Мы определили заготовку функции сортировки для произвольного типа.
- Когда компилятор видит попытку вызова Sort для массива целого типа, он генерирует функцию, в которой вместо T подставлено int, включает ее в программу и вызывает ее.
- Потом компилятор видит Sort для TelephoneRecord, генерирует из заготовки еще одну функцию, и включает ее в программу.

Шаблоны

- Параметром шаблона может быть не только тип данных, но и число (режим работы функции)
- Пример работы – функция Print в SortTemplates.

Синтаксис определения функции-шаблона

```
template < параметры шаблона >
   имя функции( параметры функции)
{
   тело функции
}
```

Для параметра шаблона указывается его тип (int, typename, class – что должно быть параметром) и имя.

Имя параметра шаблона может использоваться в списке параметров функции и в теле функции.

Вопрос

- Медленнее ли работа шаблона, чем работа нормальной функции?

Ответ

- Нет, не медленнее – это механизм уровня компиляции. Еще при сборке шаблон заменяется на несколько обычных функций, и вызов функции-шаблона заменяется на вызов одной из них.

Шаблоны классов

- Точно так же, как функция, шаблоном может быть и класс.
- Шаблоны классов часто используются для классов векторов и других подобных объектов, работающих с произвольным типом данных (например, int, float, double, TComplex_ - для вектора).

Синтаксис определения класса-шаблона

```
template <параметры шаблона> class имя
{
    //Определение класса. В нем могут
    //использоваться параметры шаблона
…
};

template <параметры шаблона>
имя класса<параметры шаблона>::
    имя метода (параметры метода )
{
    …
}
```

Пример шаблона класса

- Класс комплексного числа, работающего с типами double, float - ComplexTemplate

Задание

- Написать класс вектора, который сможет работать как с вещественными, так и с комплексными числами. Также написать класс комплексного числа.

Частичная спецификация шаблона

- Предположим, некоторый класс работает одинаково для всех типов данных
- При этом для одного типа данных он работает иначе (применения обсуждаются в лекции алгоритмы При этом для одного типа данных он работает иначе (применения обсуждаются в лекции алгоритмы STL)
- Хочется использовать шаблон – но как

Частичная спецификация шаблона

```
template < class T >
class TemplateClass
{
};
template <>
class TemplateClass < int >
{
};
```

Пространства имен

- В большой программе велик риск, что имена классов и функций будут повторяться.
- Для борьбы с этим придуманы пространства имен (namespace).

Пространства имен. Пример

```
namespace N1
{
   class A { …};
}
namespace N2
{
   class A { …};
}
N1::A a1;
N2::A a2;
```

Пространства имен

- Как видно на предыдущем слайде, заключив классы в пространство имен, мы можем не бояться совпадения имен двух классов и при обращении четко указать, с каким именно классом мы работаем.
- Если разработчик класса спрятал его в пространство имен, а нам писать везде имя пространства имен не хочется, можно написать один раз

using namespace N1;

Тогда после этой строчки можно к классам и функциям из N1 обращаться просто по имени, без N1::

Лекция 6. Контейнеры STL – общие принципы

Основные контейнеры

- vector – массив
- list – список
- valarray – вектор (массив с арифметическими операциями)
- set – упорядоченное множество.
- map – ассоциативный массив

Требования к реализации контейнеров

- Независимость реализации контейнера от типа используемых данных (могут предъявляться минимальные требования к типу – наличие копирования и проверки на равенство)
- Возможность одновременной работы с контейнером из нескольких потоков

Требования к реализации контейнеров

- Возможность единообразной реализации операций (например, перебора) для нескольких контейнеров
- Константность логически константных методов контейнера
- Независимость от используемых механизмов оперативной памяти
- Возможность хранения данных одного типа с сортировкой по разным критериям (для пирамид и деревьев поиска)

Решения

- Для обеспечения независимости от типа элемента используем шаблоны C++
- Для обеспечения независимости контейнера от конкретного способа выделения памяти передаем контейнеру объект-**аллокатор**, отвечающий за выделение и освобождение памяти (контейнер не использует new-delete, malloc-free). Существует аллокатор по умолчанию, работающий через new-delete.

Решения

- Для возможности сортировки данных одного типа по разным критериям контейнер не использует оператор сравнения у объекта (т.е. нигде в реализации контейнера нет кода if (a<b)). Вместо этого для сравнения используется специальный объект-**компаратор**.

Решения

- Для обеспечения константности логически константных операций, устойчивости к многопоточности и возможности единообразной работы с несколькими контейнерами вводим понятие **итератора**.

Итераторы

- Итератором называется программный объект со следующими свойствами
  - Объект связан с определенным объектом-контейнером и указывает на конкретный элемент этого контейнера.
  - У объекта можно вызвать оператор++ и он станет указывать на следующий элемент того же контейнера.
  - Если ++ вызывается у итератора, указывающего на последний элемент, он переходит в состояние «ни на что не указывающего итератора» и мы можем проверить, находится ли итератор в этом состоянии

Итераторы

- Каждому типу контейнера соответствует свой тип итератора. Для контейнеров STL этот тип можно получить как ContainerType::iterator (например, std::vector<int>::iterator).

Итераторы. Контрольный массив

- Есть массив в стиле C

```
int a[100];
```

- Существует ли итератор у этого конттейнера?

Итераторы. Контрольный вопрос.

- Да! Это переменная типа int*, указывающая на любой его элемент.
  - Указывает на элемент контейнера
  - Переходит к следующему элементу вызовом ++.
  - Если элементы закончились – переходит в невалидное состояние. Можно проверить состояние

```
if ( ptr < a + 100 )
```

Простейшее применение итераторов

- Практически все контейнеры STL имеют
  - Метод begin() – возвращает итератор, указывающий на первый элемент
  - Метод end() – возвращает итератор, указывающий на элемент, следующий за последним.
- Пусть есть контейнер STL типа A с элементами типа T. Необходимо распечатать все элементы контейнера

Простейшее применение итераторов

```
void Print ( T element )

void PrintAll( A container )
{
    for ( A::iterator iter = container.begin() ;
        iter != container.end() ;
        iter++ )
    {
      Print (*iter );
    }
}
```

Простейшее применение итераторов

- Код работоспособен для любого контейнера STL и любого типа элемента (если для него существует функция Print)

Классификация итераторов

- Итератор всегда имеет оператор ++
- Кроме того, он может иметь (а может – не иметь) еще ряд операций
  - Доступ к объекту на чтение (A=*iter)
  - Доступ к объекту на запись (*A=iter)
  - Доступ к полям объекта (iter->field)
  - Методы итерации (iter--, iter+=N, iter -=N)
  - Сравнение на равенство (iter1 == iter2, iter1 != iter 2)
  - Сравнение на неравенство (iter1 < iter2)

Классификация итераторов

- Мы хотим иметь возможность применять итераторы для чтения данных из потока ввода (например, из файла). Мы можем создать итератор файла целых чисел

```
std::ifstream file_in( “in.txt” );
std::istream_iterator< int > iter_in ( file_in );
```

- У такого оператора есть только две операции – итерация (++) и доступ к элементу на чтение
- Это **итератор чтения**

Классификация итераторов

- Мы хотим использовать итераторы для записи данных в файл.

```
std::ofstream file_out( “out.txt” );
std::ostream_iterator< int > iter_out ( file_out );
```

- У такого итератора две операции – доступ на запись и переход к следующему элементу.
- Это **итератор записи**

Классификация итераторов

- Любой итератор контейнера имеет
  - Операцию доступа к объекту на чтение
  - Операцию доступа к объекту на запись
  - Операцию доступа к полям объекта
  - Операцию сравнения на равенство
  - Операцию ++
- Если набор операций ограничивается этим, итератор называется **однонаправленным итератором**
- Например, однонаправленным является итератор однонаправленного списка

Классификация итераторов

- Если к набору операций однонаправленного итератора добавить операцию – (переход к предыдущему элементу), мы получим **двунаправленный итератор**
- Двунаправленный итератор реализуется для бинарных деревьев поиска, словарей, двунаправленных списков

Классификация итераторов

- Если к набору операций двунаправленного итератора добавить возможность сдвига на *N* позиций вперед или назад по контейнеру и возможность сравнения на неравенство, мы получим **итератор с произвольным доступом**
- Итератор с произвольным доступом реализуется для массива, двусторонней очереди

Вопрос

- Ясно, что технически возможно реализовать сдвиг по списку или бинарному дереву поиска на *N* позиций вперед или назад
- Почему для них не реализуется итератор с произвольным доступом?

Ответ

- Сдвиг на *N* позиций работал бы за время O(*N*) для списка и бинарного дерева
- Пользователь привык к тому, что для массива сдвиг работает за время O(1)
- Не следует вводить его в заблуждение
- Смещение на N реализуется как метод итераторов только для контейнеров, для которых оно работает за время O(1).

Классификация итераторов

	Итератор записи	**Итератор чтения**	**Однонаправленный итератор**	**Двунаправленный итератор**	**Итератор с произвольным доступом**
Доступ к полям		->	->	->	->, []
Чтение		=*p	=*p	=*p	=*p
Запись	*p=		*p=	*p=	*p=
Итерация	++	++	++	++, --	++, --, +, -, +=, -=
Сравнение		==, !=	==, !=	==,!=	==, !=, <, >, <=, >=
Примеры контейнеров	Поток вывода	Поток ввода	Однонаправленный список	Двунаправленный список, дерево поиска	Массив

Компараторы

- Вспомним алгоритм сортировки пузырьком

```
void sort ( T* A , int N )
{
   for ( i = 0 ; i < N – 1 ; i++ )
    for ( j = 0 ; j < N – i ; j++ )
        if ( A[ j ] < A[ j+1 ] )
        {
            swap ( A[ j ] , A[ j + 1 ] );
        }
}
```

Компараторы

- Мы можем применить этот алгоритм для любого типа, имеющего оператор сравнения
- Предположим, у нас есть два массива элементов одного типа T – A и B.
- Мы хотим отсортировать их по разным критериям (список студентов по алфавиту и по успеваемости)

Компараторы

- Использовать приведенный выше код мы не сможем
- Что делать?

Компараторы

- Мы должны передать критерий сортировки как параметр функции или параметр шаблона
- Значит, критерий сортировки может быть либо типом, либо объектом
- Можно разрешить критерию сортировки быть и типом, и объектом

Компараторы

```
template < class TComparator >
void sort ( T* A , int N , TComparator comparator )
{
   for ( i = 0 ; i < N – 1 ; i++ )
    for ( j = 0 ; j < N – i ; j++ )
        if ( comparator ( A[ j ] , A[ j+1 ] ) )
        {
            swap ( A[ j ] , A[ j + 1 ] );
        }
}
```

Компараторы

```
class UsualComparator
{
    bool operator()( T a , T b )
    {
     return a < b;
    }
};

T a[50];
sort ( a , 50 , UsualComparator() );
```

Компараторы

- Код на предыдущем слайде приводит к обычной сортировке с использованием оператора сравнения.
- В функцию sort в качестве третьего параметра придет созданный конструктором по умолчанию объект UsualComparator
- При необходимости сравнить два элемента массива они будут передаваться методу operator() этого объекта и сравниваться обычным образом

Компараторы

- Мы можем реализовать другие типы компараторов и создать другие объекты компараторы
- Передавая их в качестве параметров функции, мы настраиваем используемый функцией метод сравнения.

Компараторы

- Компаратор можно передать и контейнеру, нуждающемуся в упорядочении своих элементов (неубывающей пирамиде, дереву поиска, словарю).
- Все контейнеры STL могут использовать компараторы.
- Компаратор по умолчанию – std::less, использует обычное сравнение (реализован примерно как приведенный выше Usual Comparator)

Аллокаторы

- Компараторы позволяют настроить метод сравнения объекта
- Аналогично аллокаторы позволяют настроить метод выделения и освобождения памяти для хранения объектов.

Лекция 7. Контейнеры STL - реализация

Массивы в STL - std::vector

- Реализует массив
- Тип элемента задается как параметр шаблона.
- Тип элемента должен иметь конструктор по умолчанию и конструктор копирования
- Есть доступ по индексу с естественным синтаксисом за время O(1)

```
vector a;
…
a[i]=3;
```

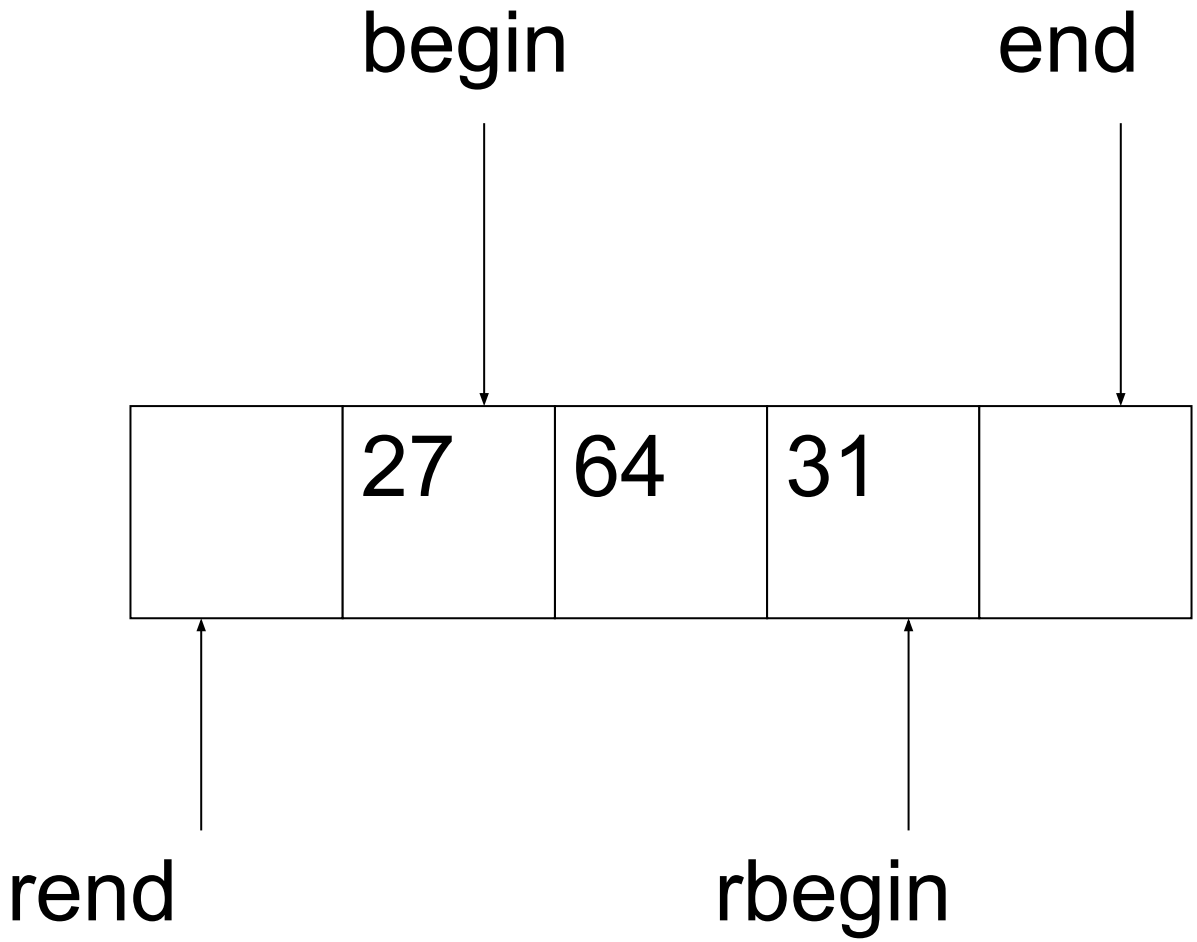
Массивы в STL - std::vector

- Метод at – доступ по индексу с проверкой корректности, также за время O(1)
- Методы front(), back() предоставляют доступ к первому и последнему элементу контейнера за время O(1).
- Методы push_back, pop_back позволяют добавлять и удалять последний элемент в среднем за время O(1). Работа push_back() в наихудшем случае медленнее из-за необходимости перевыделения памяти.

Массивы в STL - std::vector

- std::vector определяет тип итератора std::vector<T>::iterator. Этот итератор является итератором с произвольным доступом и имеет полный набор операций, характерных для итератора с произвольным доступом.
- Вектор определяет константный итератор, итератор с обратным порядком и константный итератор с обратным порядком.
- Вектор имеет функции begin(), end(), rbegin(), rend() для доступа к началу и концу последовательности при прямой и обратной итерации.

Массивы в STL - std::vector



Массивы в STL - std::vector

- Для размещения элементов в памяти std::vector использует аллокатор. Тип аллокатора задается вторым параметром шаблона. Ссылка на конкретный экземпляр аллокатора, который следует использовать, может быть передана в конструктор вектора. По умолчанию используется стандартный класс STL std::allocator.
- Операции вставки элемента после заданного элемента (insert) и удаления элемента (erase) работают за линейное время.

Списки в STL – std::list

- std::list реализует стратегию работы со списками независимо от типа хранимых элементов. Тип элемента задается как параметр шаблона.
- Тип элемента должен иметь конструктор по умолчанию и конструктор копирования

Списки в STL – std::list

- Методы front(), back() предоставляют доступ к первому и последнему элементу контейнера за время O(1).
- Методы push_back, pop_back позволяют добавлять и удалять последний элемент за время O(1). Аналогично работают операции push_front, pop_front

Списки в STL – std::list

- std::list определяет тип итератора std::list<T>::iterator. Этот итератор является двунаправленным итератором и предоставляет соответствующий набор операций.
- Список определяет константный итератор, итератор с обратным порядком и константный итератор с обратным порядком.
- Список имеет функции begin(), end(), rbegin(), rend() для доступа к началу и концу последовательности при прямой и обратной итерации.

Списки в STL – std::list

- Используются аллокаторыИспользуются аллокаторы так же, как в массиве.
- Операции вставки элемента в середину (после заданного элемента) и удаления элемента работают за время O(1).
- Список определяет дополнительные операции, такие как merge (сортировка двух объединяемых списков), splice (перемещение элемента одного списка в другой без физического копирования, простой перестановкой указателей).

Бинарное дерево поиска в STL – std::set

- std::set реализует работу с бинарным деревом поиска независимо от типа хранимых элементов. Тип элемента задается как параметр шаблона.
- Тип элемента должен иметь конструктор по умолчанию и конструктор копирования.
- Необходим компаратор. Компаратор по умолчанию std::less использует оператор сравнения.

Бинарное дерево поиска в STL – std::set

- Бинарный поиск реализуется методом find, работает за время $O(\log N)$
- Доступны и работают за время $O(\log N)$ операции
  - lower_bound (поиск минимального элемента, больше либо равного данного)
  - upper_bound (поиск минмального элемента, большего данного)
  - equal_range (одновременный поиск lower_bound и upper_bound)

Бинарное дерево поиска в STL – std::set

- Добавление элемента реализуется методом insert. Результатом добавления является итератор, указывающий на добавленный элемент, и флаг, говорящий об успехе добавления.
- Для возврата двух значений используется std::pair
- Удаление элемента реализуется методом erase

Бинарное дерево поиска в STL – std::set

- std::set определяет тип итератора std::set<T>::iterator. Этот итератор является двунаправленным итератором и перебирает элементы в порядке возрастания.
- std::set определяет константный итератор, итератор с обратным порядком и константный итератор с обратным порядком.
- std::set имеет функции begin(), end(), rbegin(), rend()

Бинарное дерево поиска в STL – std::set

- Используются аллокаторыИспользуются аллокаторы так же, как в массиве
- Хранить несколько одинаковых значений нельзя (insert вернет false). Если необходимо – используйте multi_set

std::multi_set

- Набор операций аналогичен std::set
- find возвращает первый элемент, равный данному
- insert возвращает только итератор. Успех добавления элемента гарантируется.

std::multi_set

- Перебор элементов, равных данному:

```
for ( TContainer::iterator iter =
   Container.lower_bound( x ) ;
      iter != Container.upper_bound( x ) ;
      iter ++ )
{
   …
}
```

Словарь в STL – std::map

- std::map реализует работу со словарем, имеющим произвольный тип ключа и произвольный тип значения. Тип ключа и тип значения – два первых параметра шаблона.
- Типы ключа и значения должны иметь конструктор по умолчанию и конструктор копирования.
- Необходима реализация компаратора – объекта, обеспечивающего сравнение ключей

Словарь в STL – std::map

- Методы find, lower_bound, upper_bound, equal_range, insert, erase – аналогичны std::set
- Доступ на чтение и запись к значению, соответствующему ключу, можно получить вот так:

… = Map[key]

Map[key] = …

- Словарь называют ассоциативным массивом
- Если элемента с таким ключом нет – он конструируется со значением по умолчанию

Словарь в STL – std::map

- std::map определяет тип итератора std::map<T>::iterator. Этот итератор является двунаправленным итератором и перебирает элементы в порядке возрастания. Итератор указывает на пару (std::pair) ключ-значение
- std::map определяет константный итератор, итератор с обратным порядком и константный итератор с обратным порядком.
- std::map имеет функции begin(), end(), rbegin(), rend()

Словарь в STL – std::map

- Используются аллокаторыИспользуются аллокаторы так же, как в массиве
- Хранить несколько значений для одного ключа нельзя (insert вернет false). Если необходимо – используйте multi_map

std::multi_map

- Аналогичен std::map
- Не реализуется обращение по индексу map[key].
- Как и в stdКак и в std::Как и в std::multiset, метод find выдает первый (в порядке итерации) из элементов с данным ключом; insert возвращает не пару (итератор, флаг успеха), а только итератор

Двусторонняя очередь – std::deque

- std::deque реализует поведение двусторонней очереди
- std::deque позволяет задать тип элемента как параметр шаблона.
- Тип элемента должен иметь конструктор по умолчанию и конструктор копирования, необходимые для работы с ним.

Двусторонняя очередь – std::deque

- Быстрый доступ по индексу – как в std::vector

Deq[i]

Deq.at(i)

- Напомните, в чем разница?

Двусторонняя очередь – std::deque

- Методы front(), back() предоставляют доступ к первому и последнему элементу контейнера за время O(1).
- Методы push_back, pop_back позволяют добавлять и удалять последний элемент в среднем за время O(1).
  - Работа push_back() в наихудшем случае медленнее из-за необходимости перевыделения памяти.
- Аналогичные операции с началом очереди – push_front, pop_front()

Двусторонняя очередь – std::deque

- std::deque определяет тип итератора std::deque<T>::iterator. Этот итератор является итератором с произвольным доступом.
- Двусторонняя очередь определяет константный итератор, итератор с обратным порядком и константный итератор с обратным порядком.
- Двусторонняя очередь имеет функции begin(), end(), rbegin(), rend()

Двусторонняя очередь – std::deque

- Для размещения элементов в памяти std::deque использует аллокаторДля размещения элементов в памяти std::deque использует аллокатор так же, как массив.
- Операции вставки элемента в середину (после заданного элемента) и удаления элемента работают за линейное время.

Очередь – std::queue

- Реализует очередь
- Тип элемента задается как параметр шаблона.
- Необходимо существование конструктора по умолчанию и конструктора копирования для элемента.

Очередь – std::queue

- Набор операций включает методы
  - push (добавить элемент в конец очереди)
  - pop (извлечь элемент из начала)
  - front (доступ к начальному элементу)
  - back (доступ к конечному элементу)
  - size (доступ к количеству элементов)
  - empty(проверка на пустоту)
- Все операции должны выполняться за время O(1).

Очередь – std::queue

- Очередь может эффективно работать при различных стратегиях размещения данных в памяти, поэтому не навязывает одну стратегию
- Для хранения своих данных std::queue создает контейнер какого-либо другого типа (либо использует готовый контейнер, заданный ей как параметр конструктора).

Очередь – std::queue

- Тип внутреннего контейнера задается как второй параметр шаблона std::queue.
- Этот внутренний контейнер должен иметь операции size(), back(), front(), push_back() и pop_front().
- Несложно убедиться, что из рассмотренных выше контейнеров нас устраивают stdНесложно убедиться, что из рассмотренных выше контейнеров нас устраивают std::Несложно

Стек – std::stack

- Реализует стек
- Тип элемента задается как параметр шаблона.
- Необходимо существование конструктора по умолчанию и конструктора копирования для элемента.

Стек – std::stack

- Набор операций включает
  - push (добавить элемент)
  - pop (извлечь последний добавленный элемент)
  - back (доступ к последнему добавленному элементу)
  - size (доступ к количеству элементов)
  - empty(проверка на пустоту).
- Все операции должны выполняться за время O(1).

Стек – std::stack

- Стек может быть реализован на базе различных контейнеров.
- Базовый контейнер может быть задан как параметр шаблона. От него требуется наличие методов size(), push_back(), pop_back(), back().
- Базовым контейнером может быть stdБазовым контейнером может быть std::Базовым контейнером может быть std::vectorБазовым контейнером может

Очередь с приоритетами – std::priority_queue

- Очередь с приоритетами – это очередь, в которой элементам сопоставлен приоритет и первым в очереди считается элемент с максимальным приоритетом

Очередь с приоритетами – std::priority_queue

- Тип элемента задается как первый параметр шаблона.
- Необходимо существование конструктора по умолчанию и конструктора копирования для элемента.
- Для сравнения двух элементов и проверки, какой из них больше (т.е. имеет больший приоритет) используется компаратор, задаваемый как третий параметр шаблона. По умолчанию используется компаратор std::less

Очередь с приоритетами – std::priority_queue

- Набор операций включает
  - push (добавить элемент)
  - pop (извлечь элемент с максимальным приоритетом)
  - top (доступ к элементу с максимальным приоритетом)
  - size (доступ к количеству элементов)
  - empty(проверка на пустоту).
- push и pop выполняются за время O(log*N*), остальные операции за время O(1).

Очередь с приоритетами – std::priority_queue

- Как реализуется очередь с приоритетами?

Очередь с приоритетами – std::priority_queue

- Очередь с приоритетами строится на базе невозрастающей пирамиды
- Используется хранение пирамиды в виде массива

Очередь с приоритетами – std::priority_queue

- Для хранения «пирамиды как массива» может использоваться любой контейнер, имеющий итератор с произвольным доступом, т.е. std::vector
Для хранения «пирамиды как массива» может использоваться любой контейнер, имеющий итератор с произвольным доступом, т.е. std::vector или std::deque
- Тип используемого контейнера задается

Хэш-таблица – std::hash_map

- Класс std::hash_map реализует хэш-таблицу
- Как и stdКак и std::Как и std::map, std::hash_map хранит пары ключ-значение и требует уникальности ключа.
  - Если уникальность не требуется или требуется хранение только ключей существуют классы std::hash_multimap, std::hash_set, std::hash_multiset.
- Типы ключа и значения задаются как параметры шаблона. Должны иметь конструкторы по умолчанию и конструкторы копирования

Хэш-таблица – std::hash_map

- За вычисление хэш-функции и проверки на равенство отвечает специальный объект – хэш-компаратор. Он способен как вычислять значение хэш-функции, так и проверять два значения на равенство.

Хэш-таблица – std::hash_map

- Необходимый размер хэш-таблицы вычисляется и динамически меняется.
  - Задаваемая пользователем хэш-функция должна лишь вычислять требуемый индекс в диапазоне (в данный момент) от 0 до 2^{32}-1.
  - Индекс особым преобразованием (зависящим от текущего размера массива) превращается в реальный индекс.
  - Естественно, при изменении размера хэш-таблицы и преобразования гарантируется сохранение доступности ранее добавленных элементов.
- Для выделения памяти используется аллокатор, задаваемый как четвертый параметр шаблона.

Не совсем контейнеры

- Существуют объекты библиотеки STL, которые не являются контейнерами но реализуют определенные возможности контейнеров
- Это строки, вектора (valarray), битовые массивы, потоки ввода-вывода

Строка – std::basic_string

- Строка является массивом символов
- Для представления символов могут использоваться различные типы данных (char, wchar_t, unsigned short, …)
- Не любой массив можно рассматривать как строку
- Строка реализуется в STL классом std::basic_string

Строка как массив

- std::basic_string определяет тип итераторов с произвольным доступом – std::basic_string<T>::iterator.
- std::basic_string имеет методы begin, end, rbegin, rend.
- Для строки возможно обращение к символу по индексу (operator [] и метод at()).
- Существует метод push_back().
- Есть возможность задания аллокаторов, используемых строкой для выделения памяти.

Отличия строки

- std::basic_string требует от используемого типа символов расширенного набора операций
- См. char_traits
- std::basic_string определяет дополнительные операции, характерные для строк (выдача null-terminated строки c_str, выдача подстроки substr, …)

Вектор – std::val_array

- Есть доступ по индексу []
- Есть метод size
- Реализует маетматические операции над векторами

Битовый массив – std::bit_set

- Возможен доступ к биту с помощью оператора []
- Дополнительно реализуются побитовые операции

Потоки ввода-вывода и итераторы

- Основным инструментом ввода-вывода в STL являются **потоки ввода-вывода**
- Поток ввода – это объект, из которого можно прочитать значения различных типов
- Потоком ввода может быть файл, строка, датчик, ввод с экрана консольного приложения
- Большинство потоков ввода в STL наследуются от std::basic_iostream

Потоки ввода-вывода и итераторы

- Поток вывода – это устройство, в которое можно вывести значение того или иного типа
- Это может быть экран, строка, файл,…

Потоки ввода-вывода и итераторы

- Если мы читаем из потока или записываем в поток однотипные значения, целесообразно использовать для чтения и записи в поток итераторы.
- Для ввода данных из потока используется итератор чтения
- Для вывода данных в поток используется итератор записи

Задание

- Напишите программу, читающую набор целых чисел из файла и записывающую их в другой файл
- Используйте итераторы чтения и записи
- Не забудьте решить проблему разделителей

Лабораторная работа №3. Использование стандартных контейнеров данных

Задание

- Разработать программу на языке C++, реализующую функциональность в соответствии с вариантом задания.
- Настоятельно рекомендуется использование стандартных контейнеров из библиотеки STL.

Варианты задания

- Реализовать программу, хранящую совокупность многоугольников на плоскости и позволяющую организовать быстрый поиск многоугольников, попадающих в заданный прямоугольник
  - Необходимо обеспечить добавление многоугольника и поиск многоугольников, попадающих в прямоугольник.
  - Предложение: Храните один массив многоугольников и 4 массива или бинарных дерева номеров многоугольников, упорядоченных по самой левой, самой правой, самой верхней и самой нижней точке многоугольника.
  - Это позволит быстро отфильтровать многоугольники, лежащие заведомо выше, ниже, левее или правее данного прямоугольника, и только для оставшихся реализовывать медленные алгоритмы содержательной проверки пересечения прямоугольника.

Варианты задания

- Реализовать программу, хранящую совокупность отрезков на плоскости и поддерживающую добавление отрезка и быстрый поиск отрезков, попадающих в прямоугольник
  - Предложение: Храните один массив отрезков и 4 массива или бинарных дерева номеров отрезков многоугольников, упорядоченных по самой левой, самой правой, самой верхней и самой нижней точке отрезка.
  - Это позволит быстро отфильтровать отрезки, лежащие заведомо выше, ниже, левее или правее данного прямоугольника, и только для оставшихся реализовывать медленные алгоритмы содержательной проверки пересечения прямоугольника.

Варианты задания

- Реализовать программу, хранящую множество шариков, летающих в комнате, поддерживающих добавление и удаление шарика и выдающей информацию о 5 ближайших столкновениях шарика со стенкой. Движение шарика равномерное и прямолинейное, удар упругий, возможностью столкновения шариков друг с другом пренебречь. При добавлении шарика указываются его положение, скорость и время начала полета.
- В электронной картотеке библиотеки для каждой книги хранится номер зала, стеллажа и полки. При этом необходим быстрый поиск книги по фамилии автора (считаем, что автор один) и по слову из названия (падежами и т.д. пренебрегаем, считаем, что слово должно быть в названии точно таким же, как его вводит пользователь). Разработать программу электронной картотеки с операциями добавления книги и поиска.

Варианты задания

- Реализовать систему регистрации сделок на бирже. Для каждой сделки указывается, какой товар продан, в какой день, какое количество и по какой цене. Необходимо по запросу выводить среднюю цену на данный товар в данный день.
- Реализовать систему, хранящую информацию о доходах налогоплательщиков (для каждого налогоплательщика указывается его заработок в каждом году). Система должна быть в состоянии дать отчет о доходах данного налогоплательщика в данные годы и отчет о среднем уровне дохода в каждом году.

Варианты задания

- Реализовать программу электронного магазина, поддерживающую три операции
  - Добавление информации о появлении в продаже очередной партии товара (указывается цена, количество и наименование).
  - Покупку партии товара.
  - Формирование отчета об имеющихся на складе товарах.
- Реализовать программу, хранящую информацию о вкладчиках банка. Для каждого вкладчика указывается фамилия и номер паспорта, и для каждого из его вкладов – сумма, валюта и срок возврата. Поддерживать операции добавления и снятия вклада, отчета о всех вкладах и об отдельном вкладчике.

Варианты задания

- Реализовать программу, которая получает результаты измерений одной и той же меняющейся величины 10 датчиками. Если больше 3 значений подряд, приходящих с одного датчика не соответствуют значениям с остальных – объявить датчик испортившимся и более не учитывать. Операции
  - Добавить результат очередных измерений (10 чисел)
  - Вывести среднее значение величины по итогам последнего измерения.
  - Вывести информацию об исправных датчиках.

Варианты задания

- При голосовании приходят результаты в виде «На участке № такой-то такая-то партия получила столько-то голосов.» Система должна в любой момент выдать информацию о доступных результатах по данному участку и о суммарном количестве проголосовавших за партию.
- Несколько датчиков установлены в разных местах планеты и присылают свои результаты измерения температуры (указывая номер датчика, температуру и время). Необходимо по запросу пользователя выводить отчет о любом датчике (все его измерения), или данные со всех датчиков, говорящие о температуре в заданном интервале времени.

Варианты задания

- Корабли присылают в каждый момент времени данные о своей скорости и направлении и свои координаты. Необходимо предупредить пользователя, если данные не согласованы (т.е. если изменение координат не соответствует скорости и направлению движения корабля). Землю считать плоской.
- В базу данных вводятся результаты футбольных матчей. По запросу пользователя выдать турнирную таблицу чемпионата (количество побед, ничьих, поражений, очков и разницу мячей у каждой команды)

Варианты задания

- Завод по сборке автомобилей покупает комплекты комплектующих и производит автомобили из них. Необходимо хранить информацию о количестве комплектов на складе комплектующих и количестве готовых к отгрузке автомобилей. Основные действия – это покупка N комплектов комплектующих, производство N автомобилей, продажа N автомобилей, выдача отчета о количестве комплектующих и автомобилей на складах.
- В базе данных животных в зоопарке хранится информация о виде животного, кличке и количестве потребляемой в день еды (сколько килограммов какого продукта необходимо в неделю). Необходимо формировать отчеты о потребностях данного животного, о потребностях всех животных данного вида и сообщать о суммарной потребности в данном продукте в неделю.

Варианты задания

- Подразделения фирмы, нуждающиеся в покупке компьютеров, вносят заказы в базу данных. Отдел закупок вносит информацию о ценах на соответствующее оборудование. Необходимо иметь возможность вывести всю информацию о потребностях каждого подразделения и о данном виде оборудования.
- Предприятие хранит базу данных о сотрудниках. Фамилия, №паспорта, должность, зарплата. Основные операции – прием на работу, увольнение, перевод на другую должность, изменение зарплаты, отчет о всех сотрудниках, выдача информации о конкретном сотруднике.

Варианты задания

- Операционная система хранит базу данных процессов. Процесс имеет постоянный приоритет (константа, задается пользователем) и дополнительный приоритет (у каждого следующего процесса на 1 меньше, чем у предыдущего – чтобы те, кто дольше ждал, имели преимущество). Набор поддерживаемых операций:
  - Добавить процесс с данным именем и постоянным приоритетом
  - Выбрать из очереди процесс с наибольшим приоритетом (суммой постоянного и дополнительного). Он отработает и завершится.
  - Выбрать из очереди процесс с наибольшим приоритетом (суммой постоянного и дополнительного). Он отработает, после этого нужно снова поставить его в очередь (уже с новым дополнительным приоритетом).
  - Все операции должны работать за логарифмическое время.
- Указание: priority_queue.

Лекция 8. Стандартные алгоритмы STL.

- Простейший стандартный алгоритм for_each
- Возможности применения алгоритмов на примере for_each
- Другие алгоритмы STL.

std::for_each

- Алгоритм std::for_each заключается в вызове заданной функции для каждого элемента контейнера
- for_each не делает предположений о типе контейнера – достаточно, чтобы у него был итератор чтения
- for_each не модифицирует перебираемые элементы

std::for_each - пример

```
for_each( v1.begin() , v1.end() , Print )
```

эквивалентно

```
for ( v1::iterator iter = v1.begin() ;
        iter != v1.end() ;
        iter++ )
{
   Print( *iter );
}
```

std::for_each

- В приведенном примере мы вызывали функцию Print, единственным параметром которой был элемент контейнера, для которого она вызывалась
- Это простейший случай
- Чаще встречаются другие ситуации

Пример – вызов функции с несколькими параметрами

```
for ( v1::iterator iter = v1.begin() ;
        iter != v1.end() ;
        iter++ )
{
   Print( *iter , file );
}
```

Пример – вызов метода класса с несколькими параметрами

```
for ( v1::iterator iter = v1.begin() ;
        iter != v1.end() ;
        iter++ )
{
   Processor.Process( *iter , param2 );
}
```

std::for_each

- Ясно, что мы должны уметь применять for_each для таких ситуаций – иначе этот механизм бесполезен

Шаблоны. Взаимозаменяемость классов и функций

- for_each – это шаблон функции.
- Шаблоны C++ являются механизмом времени компиляции.
- Это означает, что еще до компиляции происходит замена for_each на соответствующий код (примерно такая, как показано выше)

Шаблоны. Взаимозаменяемость классов и функций

- Но это означает, что с точки зрения for_each не важно, что такое Print
- Это может быть функция с одним параметром
- Это может быть класс, имеющий метод operator() с одним параметром

Класс-функция

```
class Printer
{
public:
    Printer( std::ostream& stream )
     :Stream(stream) {}

    void operator()(int a )
    {
     Print( Stream , a );
    }
private:
    std::ostream& Stream;
};
```

Класс-функция

- С точки зрения шаблона for_each, объект класса Printer – полный аналог функции, имеющей один параметр.
- И мы можем дать указание for_each вызвать этот объект (т.е. его метод operator()) для всех элементов контейнера

Класс-функция

```
Printer printer( stream1 );
std::for_each( v1.begin() , v1.end() , printer );
```

эквивалентно

```
for ( v1::iterator iter = v1.begin() ;
        iter != v1.end() ;
        iter++ )
{
   printer( *iter ); //или printer.operator()(*iter)
}
```

Класс-функция

- И это уже эквивалентно

```
for ( v1::iterator iter = v1.begin() ;
        iter != v1.end() ;
        iter++ )
{
   Print( *iter , stream1 );
}
```

Вызов метода класса

```
for ( v1::iterator iter = v1.begin() ;
        iter != v1.end() ;
        iter++ )
{
   processor.Process( *iter );
}
```

Вызов метода класса

```
class ProcessorAdapter
{
public:
    ProcessorAdapter ( Processor& processor )
     :Proc( processor )    {}
    void operator()( int cur )
    {
     Proc.Process( cur );
    }
private:
    Processor& Proc;
};
```

Вызов метода класса

```
ProcessorAdapter adapter( processor );
std::for_each( int_vector.begin() , int_vector.end() ,
   adapter );
```

эквивалентно

```
for ( v1::iterator iter = v1.begin() ;
        iter != v1.end() ;
        iter++ )
{
   adapter.operator()( *iter );
}
```

Возвращаемое значение for_each

- Функция for_each возвращает тот объект, метод operator() которого она вызвала для всех элементов контейнера
- Это означает, что если вызов метода приводил к изменению состояния объекта, то измененное состояние нам доступно

Задание

- Реализуйте поиск максимума массива вещественных чисел через for_each

Решение

```
class MaxSearch
{
public:
    MaxSearch( double first )
     :CurMax( first ) {}
    void operatorI()( double cur )
    {
     if ( cur > CurMax )
           CurMax= cur;
    }
    double GetMax()
    {
     return CurMax;
    }
private:
    double CurMax;
};
```

Решение

```
std::vector < double > double _vector;
…
MaxSearch search(*double _vector.begin() );
search = std::for_each(    double_vector.begin() ,
                           double_vector.end() ,
                           search );
double max = search.GetMax();
```

Вызовы функций с параметрами – готовые механизмы

Если мы хотим вызвать для всех методов контейнера функцию

```
void Print ( std::istream& stream , int a )
{
   stream << a << “ “;
},
```

мы можем просто написать:

```
std::for_each( v1.begin(), v1.end(),
   std::bind1st( Print , stream1 ) );
```

Вызовы функций с параметрами – готовые механизмы

- Другие готовые механизмы для вызова функций и методов классов из for_each есть в библиотеке Boost (boost::bind)

Методы поиска

- Все методы принимают два итератора (указывающие на начало последовательности и на следующий за последним элемент)
- Возвращают итератор, указывающий на найденный элемент (или на следующий за последним, если элемент не найден)

Методы поиска

- find – поиск равного данному
- find_if – поиск соответствующего условию
- find_first_of – поиск в первой последовательности первого символа, присутствующего во второй(задается компаратор)
- adjacent_find – поиск двух равных последовательных символов (задается компаратор)

Задание

- Как найти первый символ, больший квадрата предыдущего?
- Предложите два метода

Поиск нарушения порядка в массиве в стиле C

```
bool Test( double a , double b )
{
  return a > b;
}
…
double array[4]={3,5,35,27};
…
double* ptr = std::adjacent_find( array , array+4 ,
                                  Test );
```

Методы подсчета

- count – подсчет элементов, равных данному
- count_if – подсчет количества элементов, соответствующих условию

- Входные параметры – два итератора и условие для count_if
- Возвращаемое значение?

Методы подсчета

- Фиксированный тип – не годится.

Вариант:

```
template < class TIterator , class TValue >
TIterator::difference_type count(
   TIterator begin ,
   TIterator end ,
   TValue value )
```

Методы подсчета

- В данном случае в классе TIterator должно быть что-то вроде

```
class TIterator
{
public:
   typedef int difference_type;
};
```

Ваша оценка решения?

Методы подсчета

- В этом случае мы не сможем использовать указатель как итератор массива в стиле C и нам не удастся написать

```
int A[ 5 ];
…
int n = std::count( A , A+5 , 3 );
```

Методы подсчета - решение

Определим шаблонный класс iterator_traits вида

```
template < class TIterator >
class iterator_traits
{
   typedef TIterator::difference_type
   difference_type;
};
```

Методы подсчета - решение

```
template < class TIterator , class TValue >
iterator_traits<TIterator>::difference_type
  count(
  TIterator begin ,
  TIterator end ,
  TValue value )
```

Методы подсчета - решение

- Внешне кажется, что ничего не изменилось

iterator_traits<TIterator>::difference_type

это эквивалент

TIterator::difference_type

- Но теперь пользователь может воспользоваться частичной спецификацией шаблонов

Методы подсчета - решение

- Определим частичную спецификацию шаблона iterator_traits вида

```
template< >
class iterator_traits<int*>
{
   typedef int difference_type;
};
```

Методы подсчета - решение

```
int A[ 5 ];
…
int n = std::count( A , A+5 , 3 );
```

A и A+5 имеет тип int*

Поэтому тип возвращаемого значения – Iterator_traits<int*>::difference_type

Минимумы и максимумы

- max_element и min_element ищут максимальный или минимальный элемент последовательности
- Принимают итераторы, указывающие на начало и конец, и функцию сравнения (или объект-компаратор)

Сравнение последовательностей

- equal – проверка на равенство
- mismatch – поиск первого различия
- lexicographical_compare
- Задается объект-компаратор
- Типы элементов могут различаться.

Сравнение последовательностей

- В одном массиве строки, в другом числа
- Нужно проверить, что длина строки номер *i* в первом массиве равна числу номер *i* во втором

Подпоследовательности

- search - поиск первого вхождения подпоследовательности в последовательность. Задаются 4 итератора и компаратор
- find_end - поиск последнего вхождения подпоследовательности в последовательность. Задаются 4 итератора и компаратор
- search_n – поиск в последовательности идущих подряд n чисел, равных данному. Задаются два итератора, значение и компаратор

Задание

- Предложите два способа поиска трех нечетных чисел подряд – с помощью search и search_n

Копирование

- copy копирует одну последовательность в другую
- Задаются 3 итератора – начало и конец первой последовательности и начало второй
- Первые – итераторы чтения, второй – итератор записи
- Пользователь отвечает за то, чтобы во второй последовательности было достаточно места

Копирование

```
vector2.resize( vector1.size() );
std::copy( vector1.begin() , vector1.end() ,
   vector2.begin() );
```

или

```
std::copy( vector1.begin() , vector1.end() ,
   std::back_inserter( vector2 ) );
```

Вопрос

Корректен ли код, копирующий 5 первых элементов последовательности в конец?

```
const int N = …;
double a[N];
…
std::copy( a , a+5 , a+N-5 );
```

Копирование

Не корректен, если N < 10. Мы затрем элементы до того, как их копировать.

Если есть двунаправленный итератор, можно использовать

```
const int N = …;
double a[N];
…
std::copy_backward( a , a+5 , a+N-5 );
```

Преобразование

- Преобразование последовательности

```
double TransformT( double c )
{
    return 1.8 * c + 32;
}
std::vector<double> temperatures;
…
std::transform( temperatures.begin() ,
                temperatures.end() ,
                temperatures.begin() ,
                TransformT )
```

Преобразование двух последовательностей

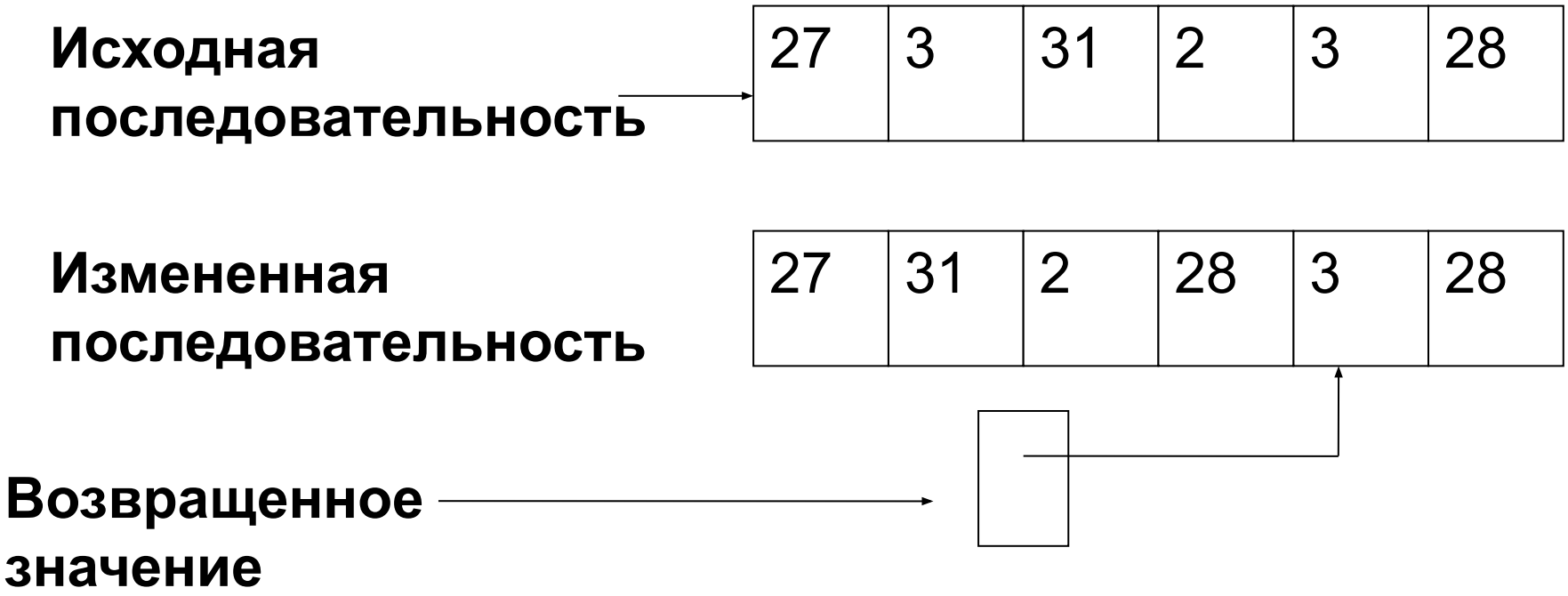
Результат преобразования записывается в третью.

```
double Fib( double a , double b )
{
  return a + b;
}
…
    std::vector < int > vec_fib;
    vec_fib.push_back( 0 );
    vec_fib.push_back( 1 );
    vec_fib.resize( 42 );
    transform( vec_fib.begin() , vec_fib.begin() + 40 ,
       vec_fib.begin() + 1 , vec_fib.begin() + 2 , Fib );
```

Удаление

- std::remove удаляет из последовательности, заданной двумя итераторами, элементы, равные данному
- std::remove не может изменить количество элементов в последовательности, т.к. эту операцию нельзя однообразно выполнить для всех контейнеров

Удаление


Исходная последовательность
27
3
31
2
3
28
Измененная последовательность
27
31
2
28
3
28
Возвращенное значение

Удаление

- Результатом remove является итератор, указывающий на элемент, следующий за последним оставшимся
- После remove следует специфичным для контейнера способом освободить память из-под всех элементов, начиная с возвращенного значения.

```
std::vector<int> vec;
…
std::vector<int>::iterator iter = std::remove <vec.begin() , vec.end() , 3 );
vec.erase(iter , vec.end() );
```

Удаление

- remove_if – удаление элементов, соответствующих условию
- Задача: удалить первые 10 отрицательных чисел
- unique – встретив несколько идущих подряд равных элементов, заменяет их на один. Может получать компаратор.

Удаление

- remove_copy – копирует элементы во вторую последовательность, удаляя равные данному
- remove_copy_if - копирует элементы во вторую последовательность, удаляя соответствующие условию
- unique_copy - копирует элементы во вторую последовательность, заменяя последовательности равных на один элемент

Замена

- Аналогично удалению, но заменяет на заданное значение
- std:replace
- std::replace_if
- std::replace_copy
- std::replace_copy_if

Заполнение

- std::fill – принимает начальный и конечный итераторы, значение
- std::fill_n – принимает итератор вывода, значение и количество элементов, которое необходимо вывести

Заполнение. Примеры

```
std::vector< int> int_vector;
int_vector.resize( 100 );
std::fill( int_vector.begin() , int_vector.end() , 0 );

std::vector< int> int_vector;
std::fill_n( back_inserter( int_vector.begin() ), 100 , 0 );

std::ostream_iterator <int> outiter( std::cout );
std::fill_n( outiter , 100 , 0 );
```

Заполнение

- Можно задать не значение, а функцию (которая будет вызвана для каждого элемента контейнера и ее возвращаемое значение записано в элемент) или объект-генератор (имеющий оператор ()).
- std::generate
- std::generate_n

Заполнение

```
class FibonacciGenerator
{
public:
  FibonacciGenerator()
    :First( 0 ),Second( 1 )  {}
  int operator()()
  {
    int val = First;    First = Second;    Second = Second + val;
    return val;
  }
private:
  int First;
  int Second;
};
std::ostream_iterator <int> outiter( std::cout );
std::generate_n( outiter , 40 , FibonacciGenerator() );
```

Перестановки

- std::swap – меняет местами два значения, принимая ссылки
- std::iter_swap – меняет местами значения, на которые указывают заданные итераторы
- std::swap_ranges – меняет местами две последовательности

Перестановки

- Какой иетратор требуется для выполнения swap_ranges?

Перестановки

- std::reverse, std::reverse_copy – переставляет в обратном порядке
- std::rotate, std::rotate_copy – циклический сдвиг
- std::random_shuffle – случайные перестановки

Лексикографические перестановки

- abc
- acb
- bac
- bca
- cab
- cba

Лексикографические перестановки

- prev_permutation – предыдущая перестановка
- next_permutation – следующая перестановка
- Принимает два двунаправленных итератора и объект-компаратор

Сортировки

- std::sort – сортировка (обычно быстрая сортировка)
- std::stable_sort – сортировка с сохранением порядка равных элементов
- std::partial_sort – сортирует первые N элементов
- std::partial_sort_copy – копирует заданное число минимальных элементов во вторую последовательность

Сортировки

```
vector2.resize( 10 );
std::partial_sort_copy(
   vector1.begin() , vector1.end() ,
   vector2.begin() , vector2.end() );
```

Сортировки

- std::nth_element – поиск порядковой статистики (гарантирует, что на позиции N будет тот элемент, который был бы там в отсортированном массиве, меньшие левее, большие правее)

Сортировки

```
class Student
{
public:
    double AverageGrade() const;
};
class StudentComparator
{
public:
    bool operator( const Student& a , const Student& b )
    {
      return a.AverageGrade() > b.AverageGrade();
    }
};
std::vector <Student> vec_studs;
…
vec_studs.nth_element( vec_studs.begin() ,
                       vec_studs.begin() + 10 ,
                       vec_studs.end() );
```

Бинарный поиск

- std::binary_search – бинарный поиск в отсортированной последовательности (true, если найден)
- std::lower_bound - первый элемент, больший либо равный данному.
- std::upper_bound - первый элемент, больший данного.
- std::equal_range - оба этих элемента.
- Достаточно однонаправленного итератора, осмысленно только для итератора с произвольным доступом

Слияние

- std::merge – объединяет две отсортированные последовательности в одну
- std::inplace_merge – объединение двух отсортированных половин последовательности на месте

Слияние

```
for ( int k = 1 ; k < n; k *= 2 )
{
  for ( int i = 0 ; i + k < n ; i+= 2 * k )
  {
    int last = std::min( i + 2 * k , n );
   std::inplace_merge( array + i , array + i + k ,
              array + last );
  }
}
```

Разделение

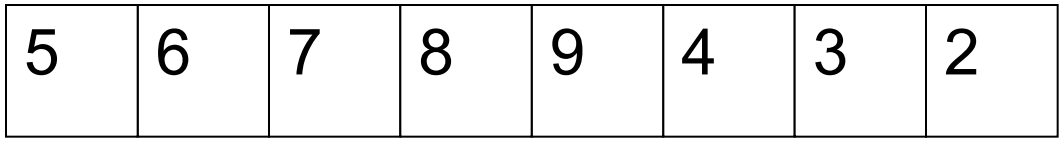
- Делим последовательность на группы, соответствующие условию и не соответствующие ему - partition
- Если нужно сохранить порядок внутри групп – stable_partition
- Результат – итератор, указывающий на начало второй группы.

Пирамиды

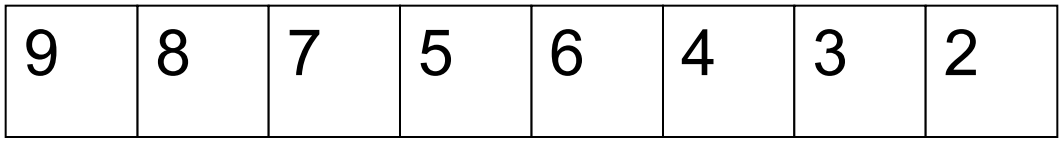
- std::make_heap – расставляет элементы в последовательности так, как они лежали бы в невозрастающей пирамиде в виде массива
- push_heap – включает элемент в пирамиду
- pop_heap – извдлекает из пирамиды максимальный элемент и ставит последним
- sort_heap – преобразует пирамиду в отсортированный массив

make_heap

Исходная последовательность



Измененная последовательность



Вопрос

- Как реализовать пирамидальную сортировку вектора?

Пирамидальная сортировка

```
std::make_heap ( vec.begin() , vec.end() );
std::sort_heap( vec.begin() , vec.end() )
```

Множественные операции

- Реализуются над отсортированными последовательностями
- std::includes – проверка включения
- std::set_union - объединение
- std::set_intersection - пересечение
- std::set_difference – множественная разность
- std::set_symmetric_difference – присутствующие в одном и олько одном множестве элементы

Лабораторная работа №4. Использование стандартных алгоритмов STL.

Задание

- Разработать программу на языке C++, реализующую функциональность в соответствии с вариантом задания.
- Настоятельно рекомендуется использование стандартных алгоритмов из библиотеки STL.

Варианты задания

- Реализовать программу хранения массива геометрических фигур в двумерном пространстве. Фигура – это окружность или N-угольник. Программа должна поддерживать поворот и растяжение/сжатие всех фигур относительно заданного пользователем центра. Необходима устойчивость программы к выбору контейнера данных.

Варианты задания

- Реализовать программу, хранящую в отсортированном массиве список пользователей операционной системы с информацией об имени и пароле. Пользователь вводит имя и пароль, программа сообщает, правильный ли пароль.
  - Указание: используйте функцию binary_search
  - Пожелание: Чтобы не хранить пароль в открытом виде, придумайте хэш-функцию, и храните имя и хэш-значение пароля. При проверке применяйте хэш-функцию к паролю и сравнивайте хэш-значения.

Варианты задания

- Разработайте программу, хранящую базу данных телефонной компании (фамилия, номер, остаток денег на счету) и по запросу пользователя выдающую количество пользователей с отрицательным остатком и их список.
  - Указание: можно использовать count_if, remove_copy_if, for_each…, equal_range

Варианты задания

- Реализуйте программу, заполняющую массив фиксированной длины прочитанными из файла значениями или случайными значениями (по выбору пользователя).
  - Указание: generate
  - Пожелание: используя стандартную библиотеку boost и функцию boost::bind, реализуйте чтение из файла в generate, не открывая файл каждый раз и не завождя глобальных переменных.

Варианты задания

- Реализуйте программу, считывающие из двух файлов два набора строчек и проверяющую их на совпадение.
  - Указание: generate, equal
  - Пожелание: используя стандартную библиотеку boost и функцию boost::bind, реализуйте чтение из файла в generate, не открывая файл каждый раз и не заводя глобальных переменных.

Варианты задания

- База данных телефонной компании реализована в форме отсортированного массива. Периодически приходит дополнение к базе – также отсортированный массив, который необходимо включить в главный.
  - Указание: используйте merge или inplace_merge.
- В словаре – пары слово + объяснение. Напечатать список статей об отраслях науки, в которых слово заканчивается на «логия».
  - Указание: Например, remove_copy_if или for_each.

Варианты задания

- Прочитайте из файла последовательность чисел и выведите все возможные их перестановки в лексикографическом порядке (первая – по возрастанию, последняя – по убыванию).
  - Указание: sort, next_permutation
- В текстовом файле – список сотрудников фирмы. Распечатайте списки сотрудников, принятых на работу до и после 01.01.2005.
  - Указание: partition

Литература

1. Кормен Т.Х., Лейзерсон Ч.И., Ривест Р. Л., Штайн К. Алгоритмы: построение и анализ. 2-ое издание. : Пер.с англ. – М.: ИД «Вильямс», 2007.
2. Б. Страуструп. Язык программирования C++. Специальное издание. Пер. с англ. –М.: ООО «Бином-Пресс», 2005 г. - 1104с.