Семинар №8

ФАКТ 2021

Бирюков В. А.

November 3, 2021

Хранение переменных и массивов в памяти

Шестнадцатеричная система

Система счисления по целочисленному основанию 16.

В качестве цифр этой системы обычно используются цифры от `0` до `9` и латинские буквы от `A` до `F`.

Примеры:

```
6 = 0x6
12 = 0xc
20 = 0x14
200 = 0xc8
```

```
255 = 0xff
256 = 0x100
1000 = 0x3E8
1024 = 0x400
```

Шестнадцатеричная система

Пример работы шестнадцатиричной системой в языке C:
Вместо %d (decimal) используем %x (hexadecimal)

```
#include <stdio.h>
int main()
{
        int a = 1000;
        printf("%d\n", a);
        printf("%x\n", a);
}
```

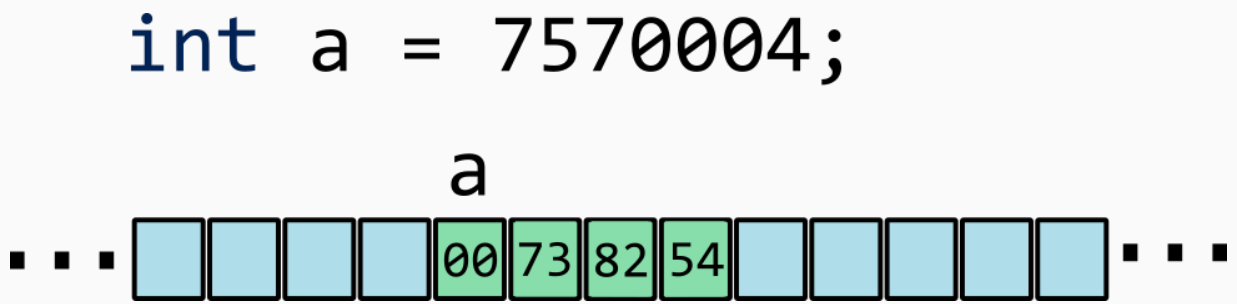
Шестнадцатеричная система

Для создания шестнадцатиричного числа нужно дописать к числу приставку 0x

```
#include <stdio.h>
int main()
{
        int a = 0x14;
        printf("%d\n", a);
        printf("%x\n", a);
}
```

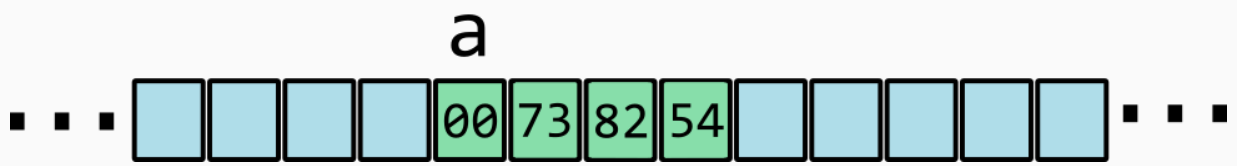
Хранение переменных типа `int` в памяти

Предположим, что мы создали переменную типа `int` в памяти и присвоили ей число 7570004.
Как это число будет выглядеть в памяти?
Если это число перевести в 16-ричную систему, то получится `0x738254`.



Хранение переменных типа `int` в памяти

```
int a = 0x738254;
```



Порядок байт

Порядок байт:

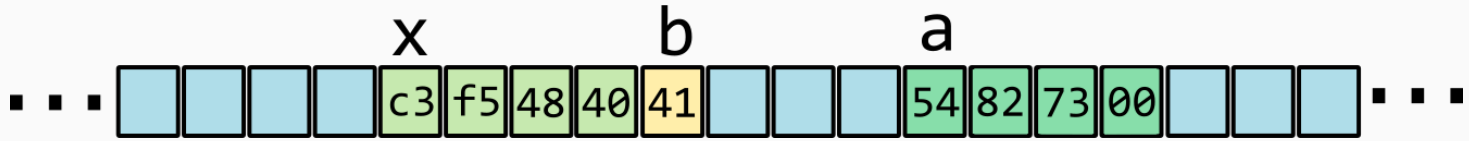
1. Big Endian – от старшего байта к младшему.
2. Little Endian – от младшего байта к старшему. Используется в большинстве вычислительных системах.

```
int a = 0x738254;
```

В дальнейшем будем предполагать, что используется порядок Little Endian

Разные переменные в памяти

```
int a = 0x738254;
char b = 'A';
float x = 3.14;
```

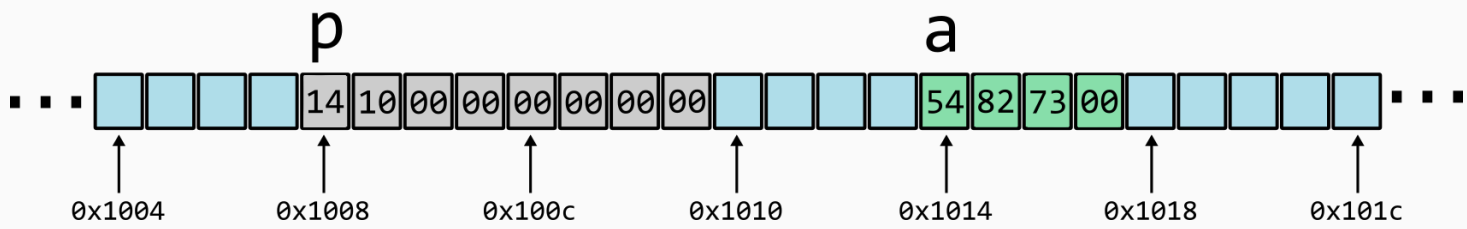


Указатель на переменную типа `int`

Каждый ячейка памяти имеет номер (адрес).

Указатель – переменная, которая хранит адреса.

```
int a = 0x738254;
int* p = &a
```

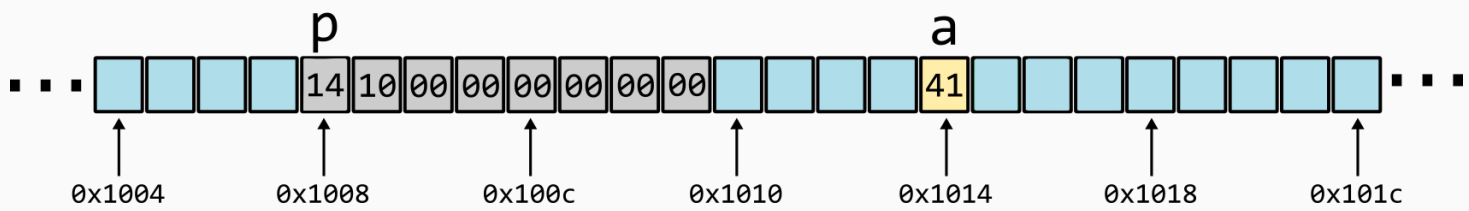


В 64-х битных система размер указателя равен 64 бит (т.е. 8 байт).

Обратите внимание, что для указателя тоже используется Little Endian.

Указатель на переменную типа `char`

```
char a = 'A';
char* p = &a
```

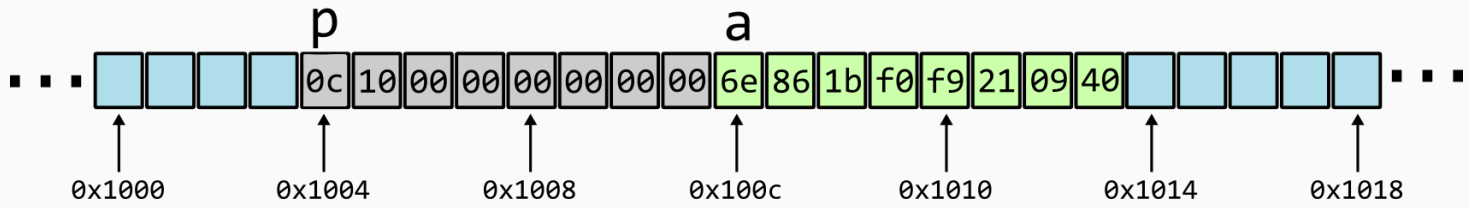


Код ASCII символа A равен 65 или 0x41.

Независимо от размера самой переменной, размер указателя равен 8 байтам.

Указатель на переменную типа `double`

```
double a = 3.14159;
double* p = &a
```



Представление чисел с плавающей точкой в памяти задаётся стандартом `IEEE 754`.

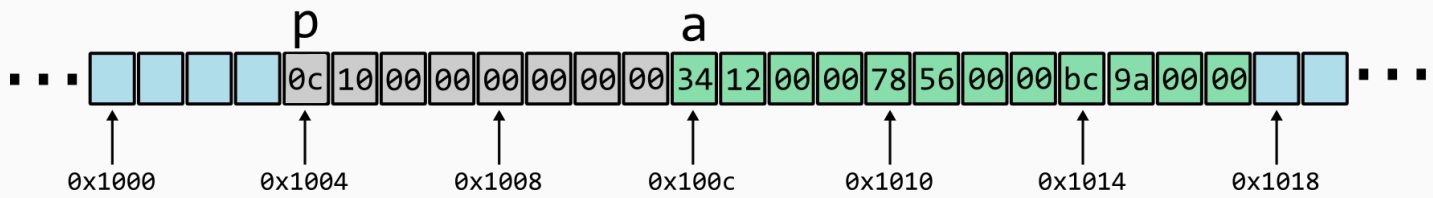
Шестнадцатиричное представление `3.14159` по этому стандарту: `0x400921f9f01b866e`.

Указатель на элемент массива `int`-ов

Элементы массива лежат в памяти последовательно, без зазоров.

Порядок байт – обратный, но только в рамках одного базового типа.

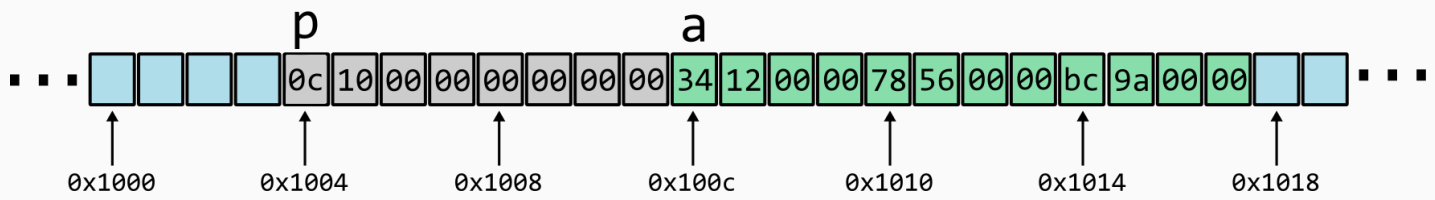
```
int a[3] = {0x1234, 0x5678, 0x9abc};
int* p = &a[0];
```



Указатель на элемент массива `int`-ов

При присваивание указателю или при передаче в функцию название массива ведёт себя как указатель на первый элемент (т. е. `a == &a[0]`)

```
int a[3] = {0x1234, 0x5678, 0x9abc};
int* p = a;
```



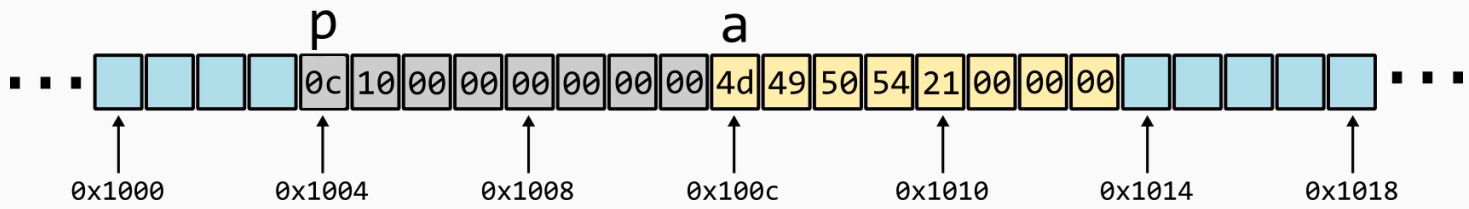
Указатель на элемент массива `char`-ов (строку)

Символ `M` имеет код ASCII равный `77 = 0x4d`.

Остальные символы:

`I` (`0x49`), `P` (`0x50`), `T`(`0x54`) `!`(`0x21`)

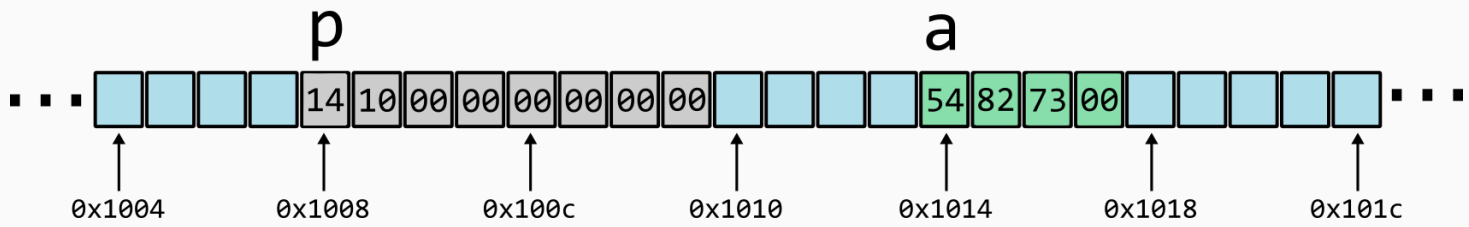
```
char a[8] = "MIPT!";
char* p = &a[0];
```



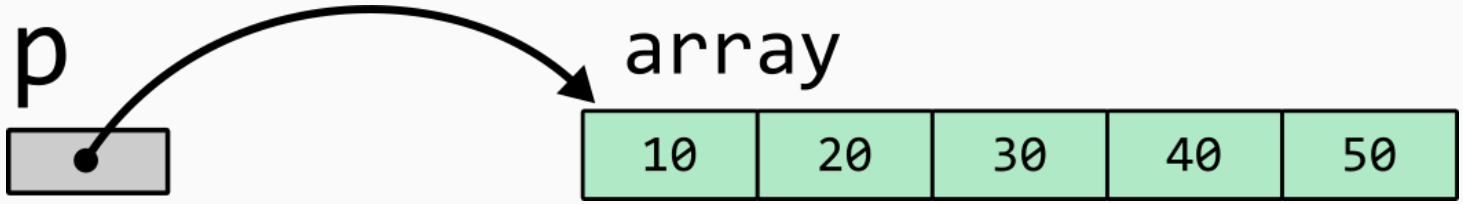
Схематическое изображение указателя

Так как постоянно рисовать память и адреса затратно, то будем использовать схематическое изображение обычных переменных (в виде прямоугольника) и указателей (в виде прямоугольничка со стрелочкой)

```
int a = 0x738254;
int* p = &a
```



Схематическое изображение указателя на элемент массива



Так как `4660 = 0x1234`, `22136 = 0x5678` и `39612 = 0x9abc`.

Арифметика указателей

Операции с указателями

```
int array[5] = {11, 12, 13, 14, 15};
int* p = &array[0];
int* q = &array[3];
```

- Прибавление/вычитание целого числа

  ```
  p += 2;
  ```

- Вычитание двух указателей

  ```
  int n = q - p;
  ```

- Разыменование

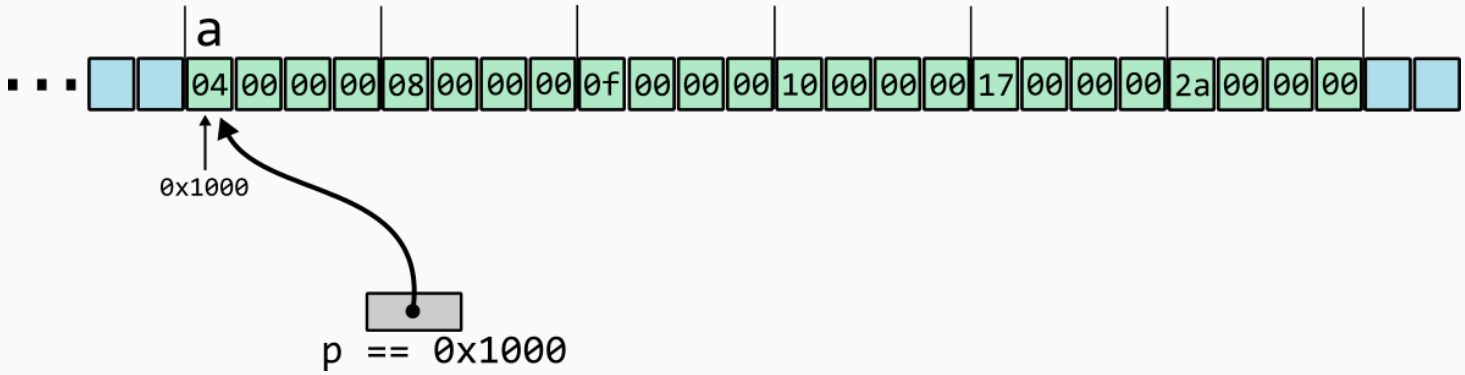
  ```
  int x = *p;
  ```

- Квадратные скобки

  ```
  int x = p[2];
  ```

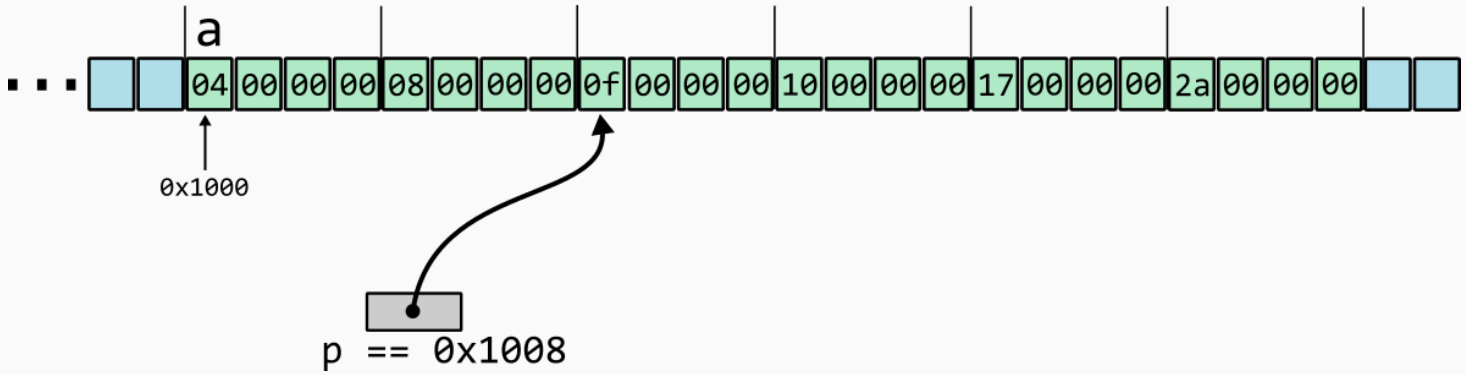
Указатель на массив int-ов

```
int a[6] = {4, 8, 15, 16, 23, 42};
int* p = &a[0];
```



Указатель на массив int-ов

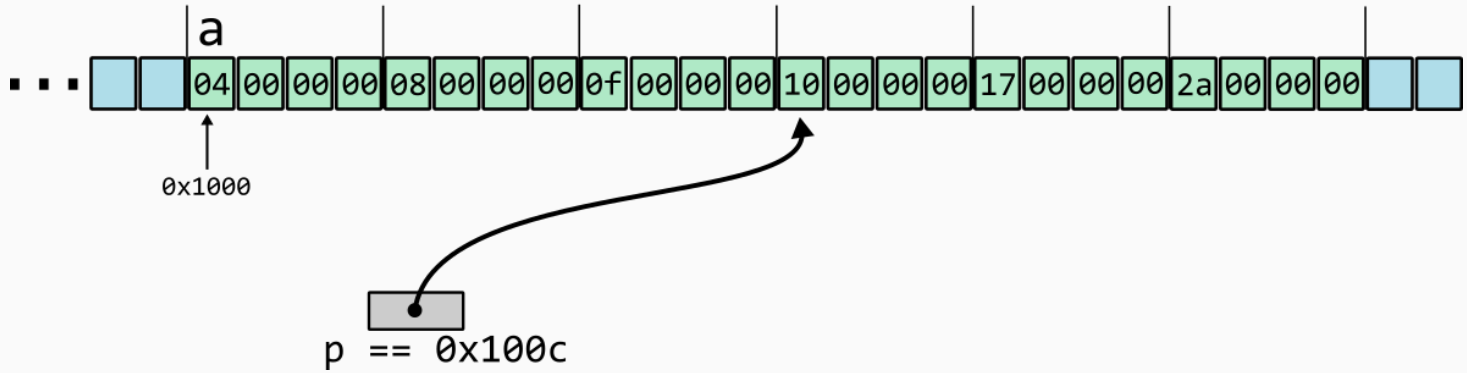
```
int a[6] = {4, 8, 15, 16, 23, 42};
int* p = &a[2];
```



Прибавление целого числа

При прибавлении целого числа `x` к указателю типа `int*`, указатель увеличивается на `x * sizeof(int)`

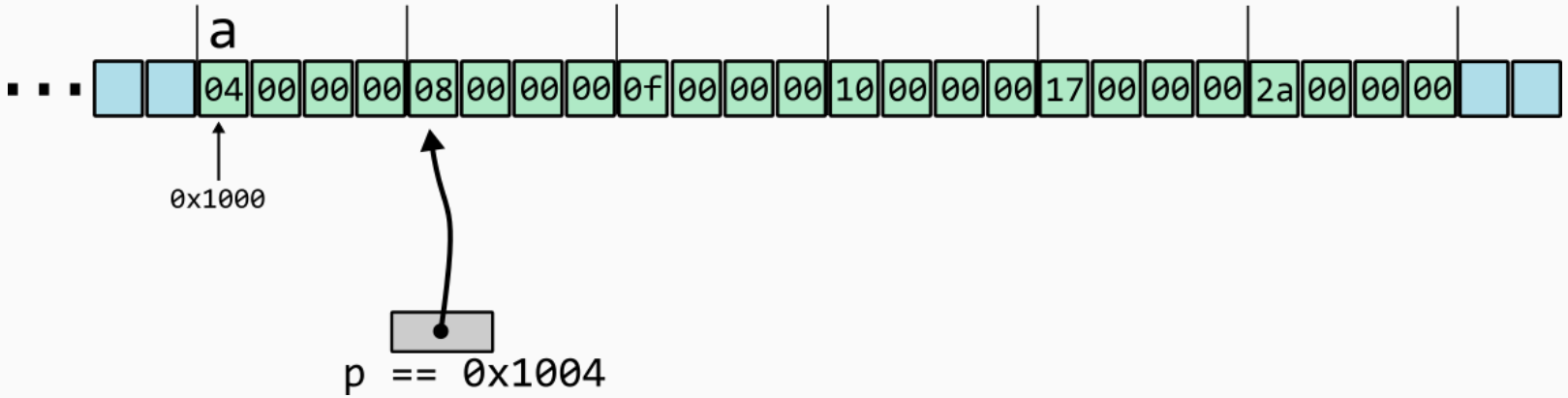
```
int a[6] = {4, 8, 15, 16, 23, 42};
int* p = &a[0];
p += 3;
```



При прибавлении к `p` числа 3, указатель увеличился на 12.

Вычитание целого числа

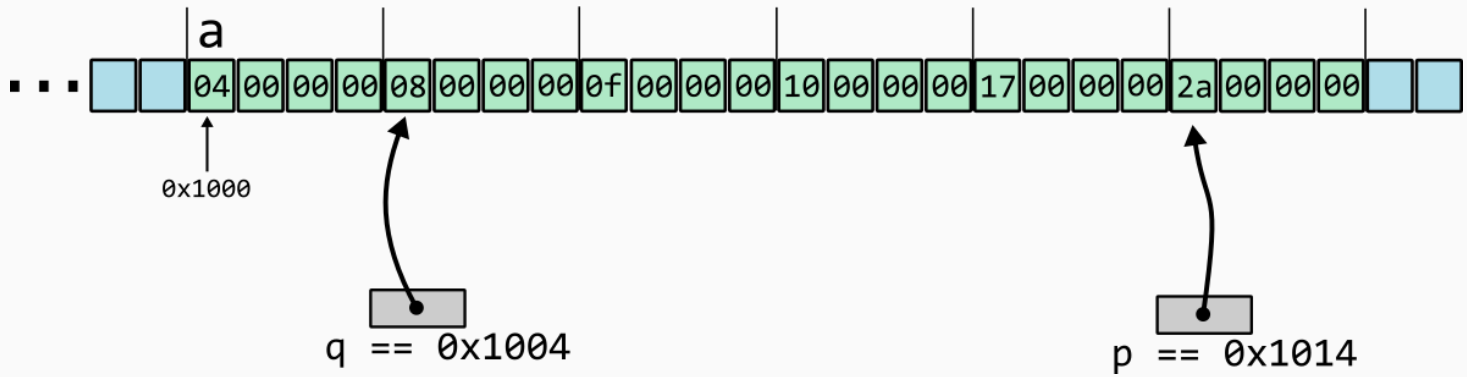
```
int a[6] = {4, 8, 15, 16, 23, 42};
int* p = &a[3];
p = p - 2;
```



Вычитание указателей

При вычитании указателей, результат делится на размер типа на который они указывают.

```
int a[6] = {4, 8, 15, 16, 23, 42};
int* p = &a[5];
int* q = &a[1];
printf("%d\n", p - q);
```

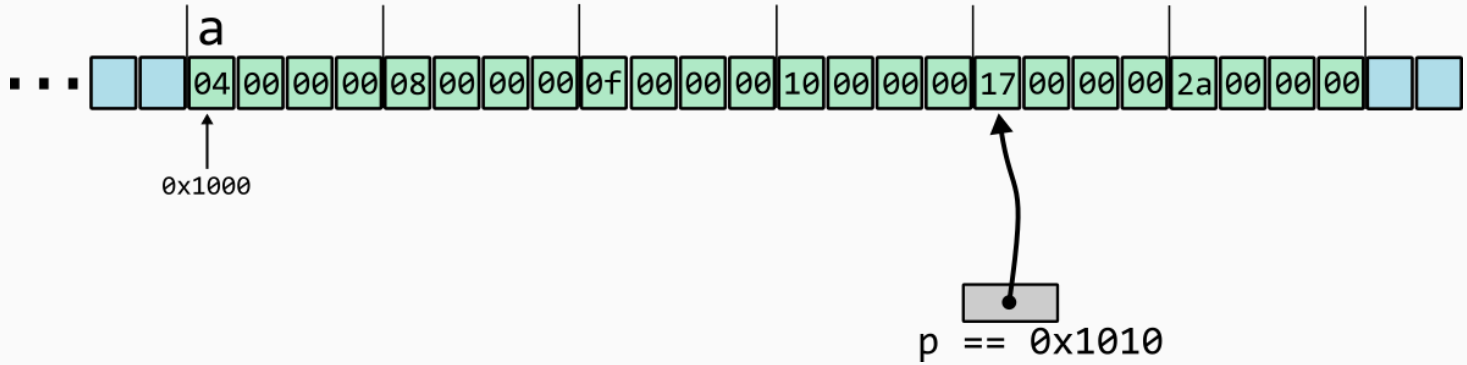


`0x1014 - 0x1004 = 0x10 = 16`, но `p - q = 4`.

Разыменование указателя

Разыменование означает – пойди по адресу `p` и воспринимай 4 байта по этому адресу как переменную типа `int`

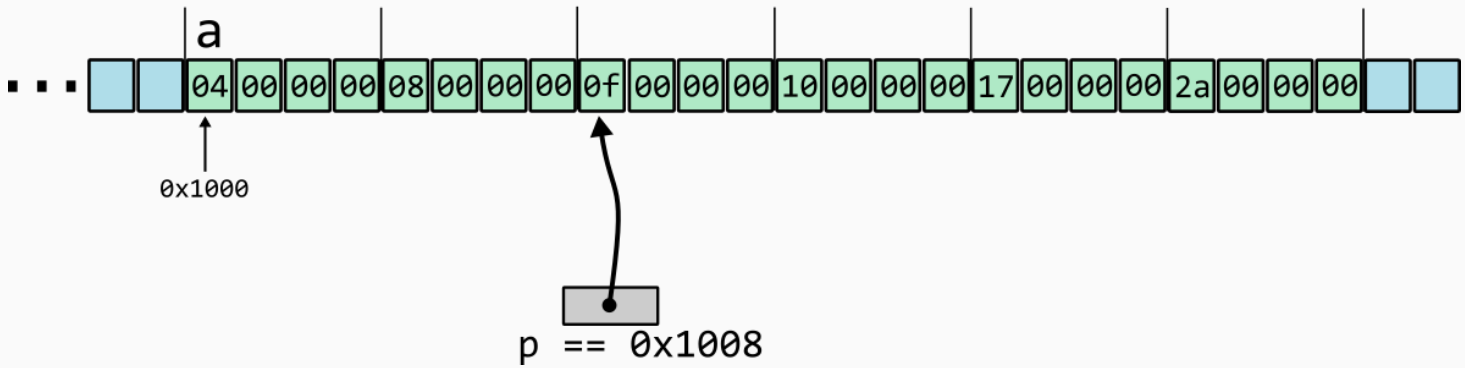
```
int a[6] = {4, 8, 15, 16, 23, 42};
int* p = &a[4];
printf("%d\n", *p);
```



Скобочки заменяются на разыменование:

```
p[i] = *(p + i)
```

```
int a[6] = {4, 8, 15, 16, 23, 42};
int* p = &a[2];
printf("%d\n", p[3]);
```



Приведение указателей

- Приведение типов int и float:

```
float x = 5.2;
int y = (int)x;          // явное
int z = x;               // неявное
```

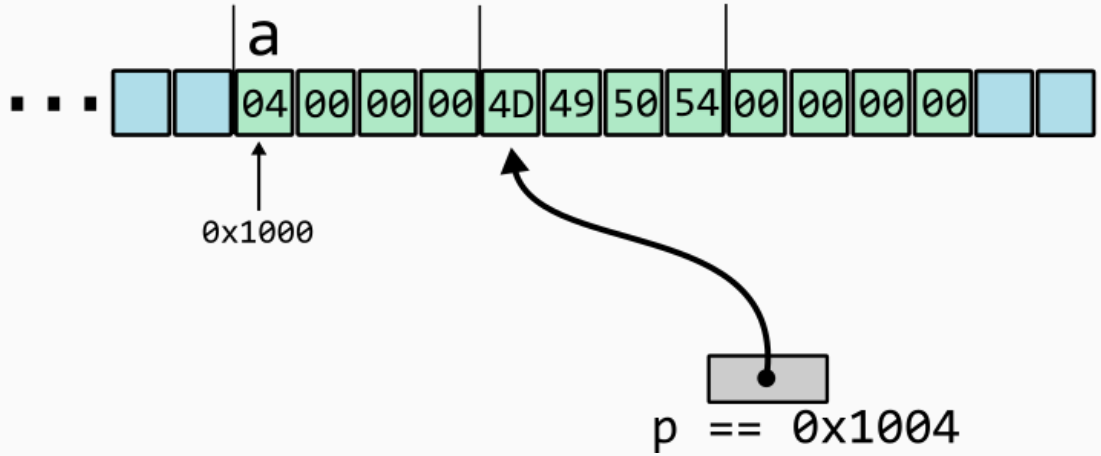
- Верно и для указателей:

```
float a;
float* pf = &a;
int* pi1 = (int*)pf; // явное
int* pi2 = pf;       // неявное, нет в C++
```

Пример приведения указателей

Тут использовано, что `1414547789 = 0x5450494d`

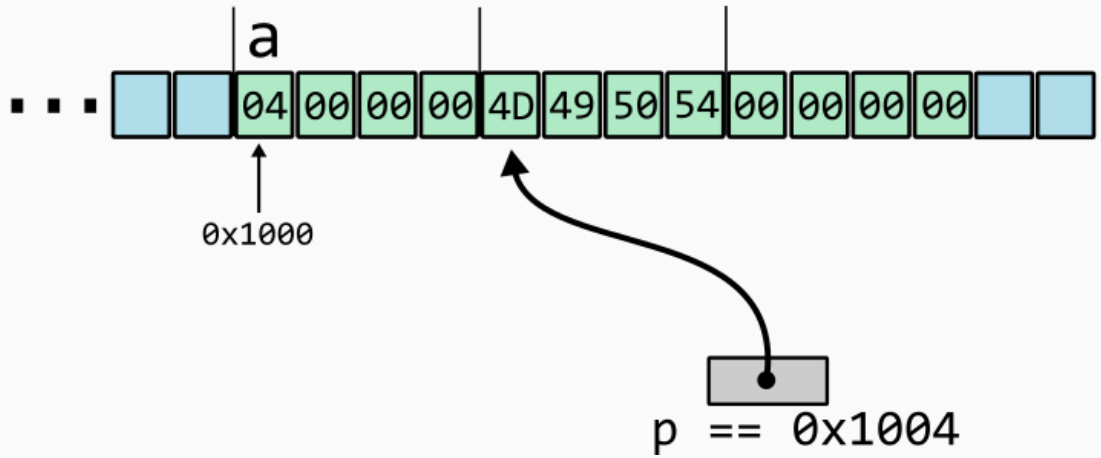
```
int a[3] = {4, 1414547789, 0};
char* p = (char*)(&a[1]);
printf("%s\n", p);
```



Что напечатает этот кусок кода?

Пример приведения указателей

```
int a[3] = {4, 1414547789, 0};
char* p = (char*)(&a[1]);
printf("%s\n", p + 1);
```



Что напечатает этот кусок кода?

Указатель на `void`

- Указатель, который на связан ни с каким типом

```
void* p;
```

- Его нельзя разыменовывать и применять другие операции
- Но его можно привести к другому указателю:

```
int a = 10;
void* p = (void*)&a;
*((int*)p) += 5;
```

- Используется если нужно передать переменную, но её тип на момент написания кода неизвестен

Сегменты памяти

Сегменты памяти: общие моменты

- Операционной системой предоставляется процессу адресное пространство размером 2^{64} байт.
- Это пространство делится на сегменты
- При попытке чтения/записи ячейки памяти недоступного для записи сегмента возникает ошибка `SegmentationFault`
- Для каждого процесса область памяти независима от других процессов. Т.е. нельзя случайно повредить память другого процесса.

Сегменты памяти

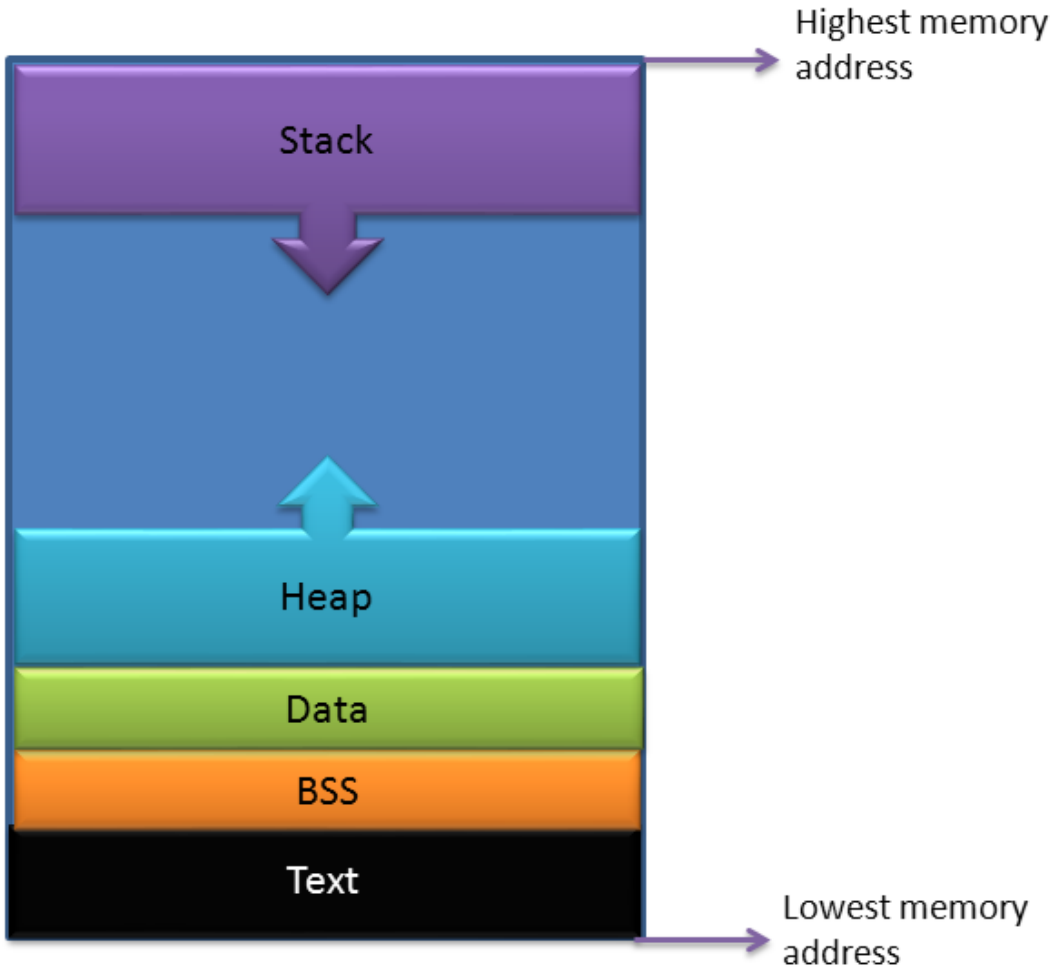


Figure : Process memory organization

Сегмент памяти Стек (Stack)

- В этом сегменте создаются все переменные и статические массивы

```
int a;
float b[10];
```

- Имеет небольшой размер, определяемый операционной системой (обычно не более 10 мегабайт)
- Быстрее выделяется память, чем в Куче
- Память выделяется в начале выполнения функции(под все локальные переменные) и освобождается при завершении функции

Сегмент памяти Куча (Heap)

- В этом сегменте выделяется динамическая память

```
int* p = malloc(100);  // Выделим 100 байт
```

- Имеет размер, ограниченный только свободной оперативной памятью
- Медленней выделяется память, чем в Стеке
- Память выделяется с помощью функции `malloc` или аналогов и освобождается с помощью функции `free` в любом месте программы.