

## Семинар #4: Часть 2: Структуры

### Основы структур

Структуры – это композитный тип данных, объединяющий набор объектов в один объект. Структуры позволяют нам создавать собственные типы данных, используя существующие как строительные блоки.

Предположим, что мы разрабатываем приложение для работы с двумерной графикой и нам понадобилось как-то описывать точку в двумерном пространстве. Для этого мы можем опеределить структуру точки, как это сделано в следующем примере:

```
#include <stdio.h>

struct point
{
    float x;
    float y;
};

int main()
{
    struct point a = {0.5, 1.5};
    a.x = 2.0;
    printf("(%g, %g)\n", a.x, a.y); // Напечатает (2.0, 1.5)
}
```

#### Пояснение по коду:

- Сначала мы определили новую структуру с двумя полями `x` и `y` типа `float`. Таким образом, мы создали новый тип данных – `struct point` (да, название типа состоит из двух слов).
- ! Не забывайте ставить точку с запятой в конце определения структуры.
- Далее, в функции `main`, создаём переменную типа `struct point` по имени `a` и сразу инициализируем её.
- Переменная `a` типа `struct point` хранит в себе два объекта типа `float` по имени `x` и `y`.
- Получить доступ к внутренностям переменной `a` можно с помощью оператора `.` (точка).

### Допустимые операции со структурами

1. При создании структуры её элементы можно инициализировать с помощью фигурных скобочек.

```
struct point a = {1.0, 2.5};
```

Однако нельзя таким образом присваивать

```
a = {2.0, 1.0}; // Ошибка, фигурные скобки работают только при объявлении
```

2. Доступ к элементу структуры осуществляется с помощью оператора точка

```
a.x = 5.5;
a.y = 3.0;
```

3. Структуры можно присваивать друг другу. При этом происходит побайтовое копирование содержимого одной структуры в другую.

```
struct point b;
b = a;
```

## Массив структур

Структуры, как и обычные переменные, можно хранить в массивах. В примере ниже создан массив под названием `array`, содержащий в себе 3 точки.

```
#include <stdio.h>

struct point
{
    float x;
    float y;
};

int main()
{
    struct point array[3] = {{1.1, 2.2}, {3.3, 4.4}, {5.5, 6.6}};
    array[1].y = 9.9;
    printf("(%g, %g)\n", array[1].x, array[1].y); // Напечатает (3.3, 9.9)
}
```

## Передача структуры в функцию

Структуры можно передавать в функции и возвращать из функций также как и обычные переменных. При передаче в функцию происходит полное копирование структуры и функция работает уже с копией структуры. При возвращении из функции также происходит копирование.

```
#include <stdio.h>

struct point
{
    float x;
    float y;
};

void print_point(struct point a)
{
    printf("(%g, %g)", a.x, a.y);
}

struct point add_points(struct point a, struct point b)
{
    struct point result;
    result.x = a.x + b.x;
    result.y = a.y + b.y;
    return result;
}

int main()
{
    struct point a = {1.1, 2.2};
    struct point b = {3.3, 4.4};
    struct point c = add_points(a, b);
    print_point(c);
}
```

## Структуры содержащие более сложные типы данных

Структуры могут содержать в себе не только базовые типы данных, но и более сложные типы, такие как массивы (в том числе строки), указатели, а также другие структуры.

Пример программы, в которой описывается структура для удобной работы с объектами Книга (`struct book`).

```
#include <stdio.h>
#include <string.h>

struct book
{
    char title[50];
    int pages;
    float price;
};

void print_book(struct book b)
{
    printf("Book info:\n");
    printf("Title: %s\nPages: %d\nPrice: %g\n\n", b.title, b.pages, b.price);
}

int main()
{
    struct book a = {"The Martian", 10, 550.0};
    print_book(a);

    a.pages = 369;
    strcpy(a.title, "The Catcher in the Rye");
    print_book(a);

    struct book scifi_books[10] =
    {
        {"Dune", 300, 500.0},
        {"Fahrenheit 451", 400, 700.0},
        {"Day of the Triffids", 304, 450.0}
    };
    scifi_books[2].price = 2000.0;
    print_book(scifi_books[2]);
}
```

## Создаём более удобное имя для типа структуры, используя typedef

По умолчанию для структуры создаётся имя типа, состоящее из двух слов, например `struct book`. Это может быть не очень удобно, так как использование такого имени делает ваш код многословным. Чтобы укоротить имя типа можно использовать ключевое слово `typedef`:

```
struct book
{
    char title[50];
    int pages;
    float price;
};
typedef struct book Book;
// После этого можно использовать имя Book для названия типа структуры
```

## Указатели на структуры:

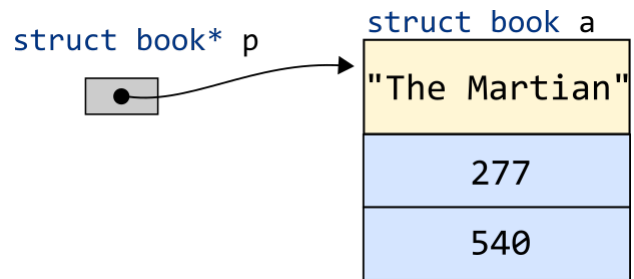
Указатель на структуру хранит адрес первого байта структуры. Для доступа к полям структуры по указателю нужно сначала этот указатель разыменовать, а потом использовать: `(*p).price`. Для удобства был введён оператор стрелочка `->`, который делает то же самое: `p->price`.

```
#include <stdio.h>

struct book
{
    char title[50];
    int pages;
    float price;
};
typedef struct book Book;

int main()
{
    Book a = {"The Martian", 277, 540};
    Book* p = &a;

    // Три способа доступа к полю:
    a.price += 10;
    (*p).price += 10;
    p->price += 10;
}
```



## Передача по значению

При обычной передаче в функцию всё содержимое копируется. Функция работает с копией.

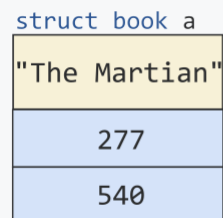
```
#include <stdio.h>

struct book
{
    char title[50];
    int pages;
    float price;
};
typedef struct book Book;

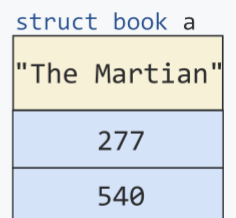
void change(Book a)
{
    a.price += 10;
}

int main()
{
    Book a = {"The Martian", 277, 540};
    change(a); // a НЕ изменится
}
```

Память функции main()



Память функции change()



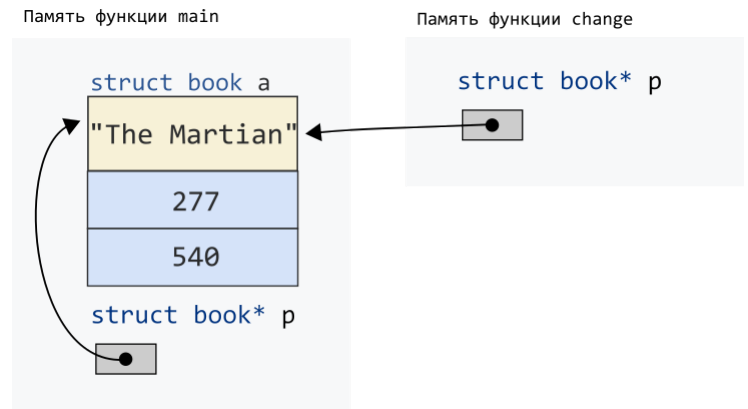
## Передача по указателю

При передаче в функцию по указателю копируется только указатель.

```
#include <stdio.h>
struct book
{
    char title[50];
    int pages;
    float price;
};
typedef struct book Book;

void change(Book* p)
{
    p->price += 10;
}

int main()
{
    Book a = {"The Martian", 277, 540};
    Book* p = &a;
    change(p); // структура a изменится
}
```



Такой способ передачи имеет 2 преимущества:

1. Можно менять структуру внутри функции, и изменения будут действительны вне функции
2. Не приходится копировать структуры, поэтому программа работает быстрее.

## Передача по константному указателю

Иногда мы не хотим менять структуру внутри функции, но хотим избежать дорогостоящего копирования. Тогда желательно использовать передачу по константному указателю.

```
#include <stdio.h>
struct book
{
    char title[50];
    int pages;
    float price;
};
typedef struct book Book;

void print_book(const Book* p)
{
    printf("Title: %s\nPages: %d\nPrice: %g\n\n", p->title, p->pages, p->price);
}

int main()
{
    Book a = {"The Martian", 277, 540};
    print_book(&a);
}
```

Если структура передаётся в функцию по константному указателю, это гарантирует, что содержимое структуры не будет изменено внутри функции через этот указатель. Это особенно важно в больших проектах с тысячами файлов и миллионами строк кода.

Если передавать структуру по неконстантному указателю, то внутри функции нельзя быть уверенным, что данные останутся неизменными. Более того, этот указатель может быть передан дальше в другие функции, где структура потенциально изменится. В результате становится сложно отследить, в каком месте программы произошли изменения.

Использование `const` снимает такие сомнения: программист и компилятор получают явную гарантию, что данные останутся неизменными. Это облегчает сопровождение кода, делает интерфейсы функций более предсказуемыми и помогает избежать трудноуловимых ошибок.

## Возможность изменения структуры при передаче по константному указателю

В языке C передача структуры по указателю на `const` не даёт абсолютной гарантии неизменности данных. Формально константность можно обойти, приведя `const Book*` к `Book*` и изменив содержимое через полученный указатель. При этом, если объект на который указывает указатель сам не является константным, то такое изменение будет даже корректным с точки зрения языка и не приведёт к неопределённому поведению.

```
#include <stdio.h>
struct book
{
    char title[50];
    int pages;
    float price;
};
typedef struct book Book;

void print_book(const Book* p)
{
    printf("Title: %s\nPages: %d\nPrice: %g\n\n", p->title, p->pages, p->price);
}

void change(const Book* p)
{
    Book* q = (Book*)p;
    q->pages += 100;
}

int main()
{
    Book a = {"The Martian", 277, 540};
    change(&a); // Структура a изменится
    print_book(&a);
}
```

Тем не менее на практике это не является проблемой так как:

- снятие `const` считается грубым нарушением стиля и почти не встречается в корректном коде.
- такие преобразования легко заметить при ревью кода или статическом анализе.

Аналогичные принципы применимы не только к структурам, но и к любым данным (переменным, массивам/строкам), переданным по константному указателю.

## Выравнивание

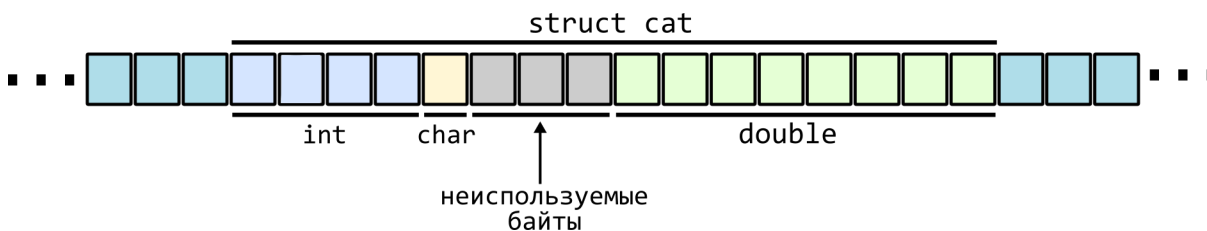
Пусть есть структура `struct cat` и нам нужно узнать её размер, если размеры типов `char`, `int` и `double` равны 1, 4 и 8 байт соответственно.

```
struct cat
{
    int x;
    char y;
    double z;
};
```

Кажется, что размер этой структуры равен сумме размеров составляющих её элементов, то есть 13 байт, но это не так. На самом деле, размер этой структуры будет отличаться в зависимости от вычислительной системы, на которой запускается код (как, впрочем, и размеры других типов). Но на большинстве вычислительных систем размер структуры `cat` будет равен 16 байт. Это можно проверить с помощью следующего кода:

```
#include <stdio.h>
struct cat
{
    int x;
    char y;
    double z;
};
int main()
{
    printf("Size of char   = %zu\n", sizeof(char));      // Напечатает 1
    printf("Size of int    = %zu\n", sizeof(int));       // Напечатает 4
    printf("Size of double = %zu\n", sizeof(double));    // Напечатает 8
    printf("Size of cat    = %zu\n", sizeof(struct cat)); // Напечатает 16
}
```

Так происходит потому что компьютер работает более эффективно с объектами, которые лежат в памяти по адресу, кратному некоторой величине, называемой выравниванием. Например, с числами типа `double` компьютер обычно работает более эффективно, если они лежат по адресам, кратным 8-ми. Поэтому в памяти структура `cat` обычно выглядит так:



Можно считать, что каждый тип данных, помимо размера, характеризуется ещё одной величиной - выравниванием. Выравнивание - это некоторое значение в байтах. Оно означает, что объекты данного типа будут располагаться в памяти по адресам, кратным выравниванию.

Для того, чтобы найти величину выравнивания можно использовать оператор `alignof`:

```
int a;
struct cat b;
printf("Alignment of int = %zu\n", alignof(a)); // На большинстве систем напечатает 4
printf("Alignment of int = %zu\n", alignof(b)); // На большинстве систем напечатает 8
```

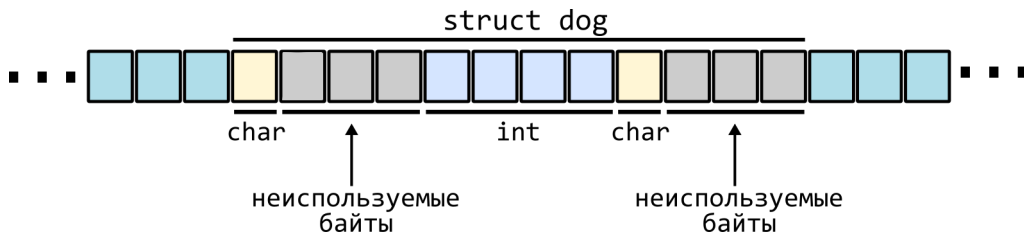
Значения выравниваний для разных типов зависит от системы. Обычно (но не всегда) верно следующее:

- Для скалярных типов выравнивание равно размеру типа.
- Для структур выравнивание равно максимальному значению выравнивания элемента структуры.

Рассмотрим ещё пример выравнивания для следующей структуры:

```
struct dog
{
    char x;
    int y;
    char z;
};
```

Эта структура на большинстве систем будет занимать 12 байт и в памяти будет выглядеть вот так:



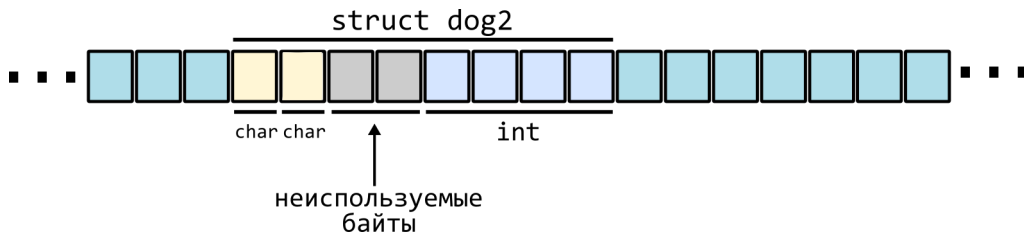
Выравнивание у типа `char` равно 1, поэтому объекты этого типа могут располагаться где угодно, а выравнивание у типа `int` равно 4, поэтому объекты этого типа желательно располагать по адресам, кратным четырём. Это объясняет, почему при расположении числа типа `int` после числа типа `char` был сделан отступ в 3 байта.

Также обратите внимание, что в этом случае неиспользуемые байты были добавлены в конец структуры. Зачем это было нужно? Представьте, что мы создали массив из структур `dog`. Все элементы массива в памяти должны лежать плотно примыкая друг к другу, при этом все поля всех структур в массиве должны быть выровнены. Это можно добиться только добавив три неиспользуемых байта в конец структуры.

Интересно, что размер структуры может зависеть от порядка полей структуры. Например, если мы просто поменяем порядок полей в структуре `dog` вот так:

```
struct dog2
{
    char x;
    char z;
    int y;
};
```

то размер этой структуры уже будет равен 8 байт, а в памяти структура будет выглядеть следующим образом:



## Задание выравнивания

Задать значения выравнивания в языке C можно с помощью атрибута `alignas`.

```
#include <stdio.h>
#include <stdalign.h>

struct cat
{
    char x;
    alignas(32) int y; // Теперь у поля y будет выравнивание 32, а не 4
    alignas(64) char z; // Теперь у поля z будет выравнивание 64, а не 1
};
```



```

int main()
{
    printf("%zu\n", sizeof(struct cat));    // Напечатает 128
    printf("%zu\n", alignof(struct cat));    // Напечатает 64
}

```

Значение выравнивания может принимать только степени двойки и с помощью `alignas` его можно только увеличить, но не уменьшать.

## Уменьшение выравнивания

По стандарту языка C уменьшить выравнивание нельзя. Но компиляторы обычно предоставляют дополнительные возможности, позволяющие уменьшить выравнивания всех полей структуры до единицы. Обычно делать это не рекомендуется, так как доступ к невыровненным данным медленнее. Тем не менее иногда это может понадобиться, если нужно уменьшить размер структуры, пожертвовав производительностью. На компиляторе gcc это можно сделать так:

```

#include <stdio.h>

struct __attribute__((packed)) cat
{
    char a;
    int b;    // будет идти сразу за с, без выравнивания
    char c;
};

int main()
{
    printf("%zu\n", sizeof(struct cat));    // Напечатает 6
    printf("%zu\n", alignof(struct cat));    // Напечатает 1
}

```

На других компиляторах, аналогичный код будет выглядеть по-другому.