Основы программирования. Теормин

Содержание

Встроенные типы данных, представление чисел в памяти, строки 1
- Целочисленные типы 1
- Числа с плавающей точкой 2
- Строки 2

Преобразования типов 2
- Неявные преобразования 3
- Явные преобразования 3

Структуры и объединения 4
- Структура 4
- Объединение 5
- Выравнивание 6

Указатели 6
Массивы 7
Устройство памяти 8
- Виртуальная и физическая память 8
- Сегменты памяти 9
- Страницы физической памяти 10

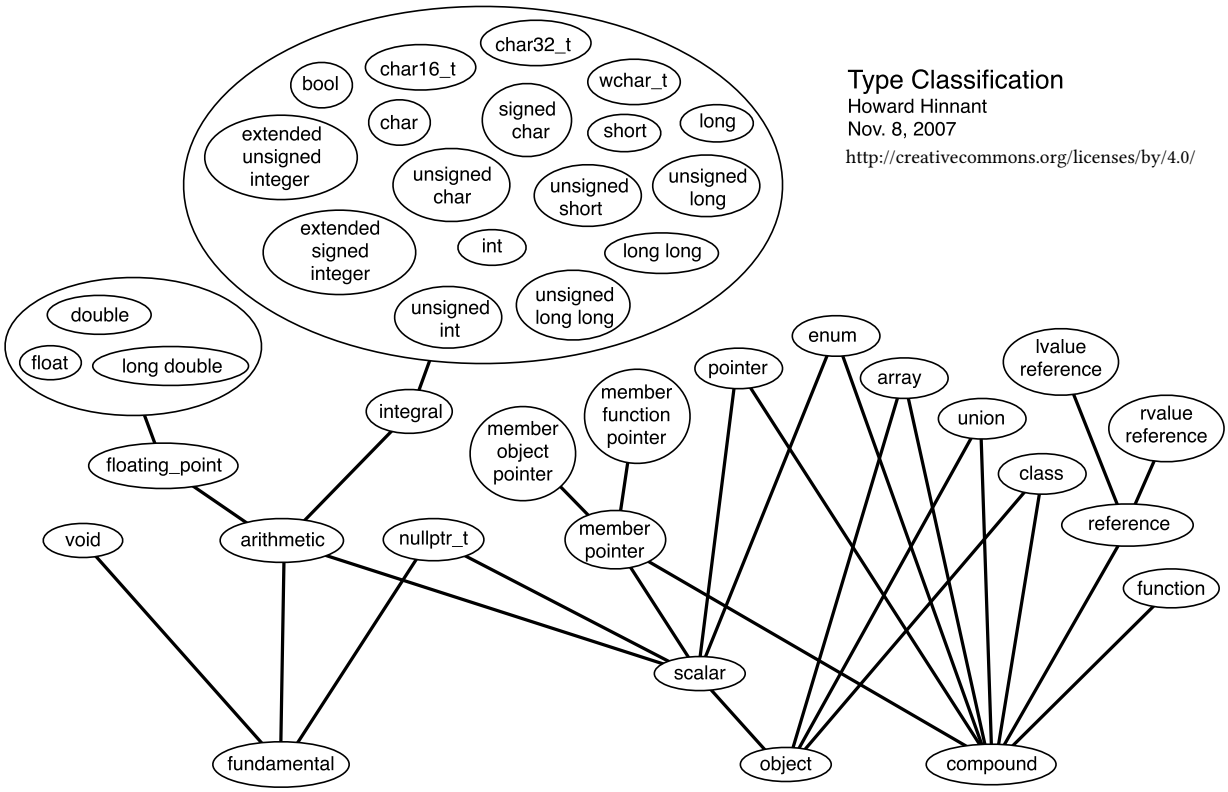
Стек вызова функций 10
Ссылки 11
Перегрузка функций 12
namespace 13
TODO Компиляция, этапы, ошибки компиляции 14
ООП 14
- Абстракция 14
- Инкапсуляция 15
- **TODO** Полиморфизм 15
- **TODO** Наследование 15

TODO Классы. Специальные методы 15
TODO Перегрузка операторов 15
TODO Шаблоны функций, классов. Частичная и полная специализация. 15
RAII 15
Всякие мелочи 17
- Linkage Duration 17
- Storage Duration 17

itmo.arslee.me

Встроенные типы данных, представление чисел в памяти, строки

Начну сию книжку с запугивания. Вот так классифицируются типы в C++:



Но в данном разделе теормина нас только раздел «fundamental». Оттуда выделим следующие типы:

- Целочисленные: `char`, `int`, `short`, `long`
- Числа с плавающей точкой: `float`, `double`
- `bool`
- `void`
- `nullptr_t`

Целочисленные типы

Для некоторых арифметических типов данных есть модификаторы:

- Размерность: `short`, `long`
- Наличие знака: `signed`, `unsigned`

С помощью оператора `sizeof` можно получить размер типа в байтах. Стандарт C++ гарантирует для целочисленных данных следующую цепочку:

```
1 == sizeof(char) <= sizeof(short) <= sizeof(int) <= sizeof(long) <= sizeof(long long)
```

Для нас это значит, что:
- `char` всегда 1 байт
- Какие-то типы данных могут иметь одинаковый размер. Это особенно заметно на 64-битных системах: размеры `int` и `long` совпадают на Windows, но отличаются на macOS или Linux.
  - Чтобы гарантировать размерность типов данных, можно использовать `typedef`'ы из хедера `cstdint` (например, `int16_t` или `uint32_t`).

На современных компьютерах знаковые целые числа хранятся в *дополнительном коде*. Это позволяет легко складывать два целых числа, учитывая переполнение. Для преобразования в дополнительный код (т.е. взятия отрицания), все биты исходного числа инвертируются, а затем прибавляется единица.

Числа с плавающей точкой

К данным типам относятся `float` и `double` (а также `long double`). Стандарт C++ не диктует их представление в памяти, но все современные системы придерживаются стандарту IEEE 754, где вещественное число записано следующим образом:

$$\underbrace{1}_{\text{Знак}}\ \underbrace{10000001}_{\text{Экспонента}}\ \underbrace{01000000000000000000000_2}_{\text{Мантисса}}$$

Например, для числа -1.2345:
- Знак равен 1 («минус»)
- Мантисса равна 12345
- Экспонента равна 10^{-4}

То есть, число хранится в форме, знакомой еще со школьной физики: $-12345 \cdot 10^{-4}$

Помимо обычных вещественных чисел, стандартом IEEE 754 определены:
- $+0$ и -0
- $+\inf$ и $-\inf$
- NaN — «not a number» (при неопределенностях типа $\frac{0}{0}$)

Размеры чисел с плавающей точкой фиксированы:
- `float`: 32 бита
- `double`: 64 бита

Строки

По сути дела, строки представлены в виде последовательности `char`'ов. Со времени языка Си принято, чтобы строки оканчивались на знак `'\0'`, что означает конец строки. Это сделано потому, что для «сырых» массивов нельзя узнать их длину, только если ее не хранить как-то самостоятельно. На нулевой символ опираются многие функции из стандартной библиотеки: `strlen`, `strcmp` и тому подобные.

В современном C++ лучше использовать `std::string`, но это уже другая история.

TODO литералы? enum?

Преобразования типов

Так называемые касты.

Неявные преобразования

При выполнении данных операций, C++ выполнит неявные преобразования в следующем порядке:

1. Если какой-то из операндов является `long double`, то другой операнд приводится к `long double`
2. Аналогичным образом приведение к `double`
3. Аналогичным образом приведение к `float`
4. Операнды типа `char` или `short` приводятся к `int`
5. Наконец, если какой-то операнд — `long`, то второй приводится к `long`

> **Примечание**
>
> Если обобщить, то:
> 1. Сначала кастуем к наибольшим вещественным типам
> 2. Затем кастуем к наибольшим целочисленным типам

Пример:

```
int a = 42;
float b = 3.14;
long c = a + b;
```

В третьей строке произойдет следующее:
1. `a` приведется к `float`:
   `a = 42.0f`
2. Выполнится сложение:
   `a + b = 45.14f`
3. Результат преобразуется в `long` (дробная часть отбросится) и запишется в `c`:
   `c = 45`

Явные преобразования

В C++ есть 5 различных оператора преобразований
1. `static_cast` — выполняет преобразования типов во время компиляции
2. `dynamic_cast` — выполняет преобразования указателей или ссылок на полиморфные объекты
3. `const_cast` — добавляет или убирает модификатор `const`
4. `reinterpret_cast` — указывает компилятору, чтобы битовое представление операнда интерпретировалось как новый тип.
5. `(new_type)value` — C-style преобразование. В данном касте компилятор пытается выполнить преобразование в следующем порядке:
   1) `const_cast`
   2) `static_cast`
   3) `static_cast + const_cast`
   4) `reinterpret_cast`
   5) `reinterpret_cast + const_cast`

Пример сценария, когда может быть полезен `reinterpret_cast` — преобразование указателя в число (чтобы узнать адрес):

```cpp
int value = 1;
int *pointer = &value;
uint64_t address = reinterpret_cast<uint64_t>(pointer);
```

> **Примечание**
>
> В современном C++:
>
> - Обычно достаточно `static_cast` или `dynamic_cast` (но об этом виде каста в следующем семестре)
> - Использование `reinterpret_cast` или `const_cast` рекомендовано лишь в крайних случаях, так как есть большой риск UB
> - C-style каст не рекомендуется из-за чрезмерной неявности

Структуры и объединения

Структура

Структура — последовательная группа переменных.

Базовый пример:

```cpp
struct Point {
  int x;
  int y;
};

struct Rect {
  Point pt1;
  Point pt2;
};

int main() {
  // Различные виды инициализации
  Point p1 = {1, 2};
  Point p2 = {.x = 3, .y = 4};

  Rect r1{p1, {3, 4}};
  Rect r2 = {.pt1 = {1, 2}, .pt2 = p2};
}
```

Пример анонимных структур:

```cpp
struct Button {
  struct {
    int x, y;
  };

  struct {
    int w, h;
  };
};
```

```
int main() {
  Button btn = {
    // Обращаемся к полям напрямую!
    .x = 0, .y = 100,
    .w = 200, .h = 50
  };
}
```

Пример синтаксиса `->` для разыменовывания полей структуры:

```
struct Vector {
  int x, y;
};

void Scale(Vector* vec, int scale) {
  // Обе строки делают одно и то же.
  // Но первая строка красивее :)
  vec->x *= scale;
  (*vec).y *= scale;
}
```

Объединение

Объединение — переменная, содержащая поля, лежащие в одной и той же области памяти (в отличие от структур, где для каждого поля предназначены разные ячейки памяти).

Базовый пример:

```
union MyUnion {
  // Оба поля ссылаются на одну и ту же
  // область памяти
  double d;
  char c[8];
};
```

Пример вариативного объекта (паттерн Tagged Union):

```
struct Point { int x, y; };

struct Circle { Point center; int radius; };
struct Rect { Point a, b; };
struct Triangle { Point a, b, c; };

union ShapeU {
  Circle circle;
  Rect rect;
  Triangle triangle;
};

enum ShapeType {
```

```
  kCircle, kRect, kTriangle
};

struct Shape {
  ShapeType type;
  ShapeU shape;
};
```

Выравнивание

Современные процессоры умеют быстро обращаться к полям структур, если они *выровнены*. Это значит, что адрес поля `int` должен быть кратен 4, адрес `double` должен быть кратен 8, и так далее. Для этого компилятор вставляет между полями и в конце структуры *padding* — пустые байты.

Помимо этого, размер всей структуры должен быть кратным размеру самого большого поля, чтобы можно было быстро обращаться к массиву самих структур.

Рассмотрим пример:

```
struct Foo {
  char a;   // 1 байт
  // [7 байт padding, чтобы выровнять b]
  double b; // 8 байт
  int c;    // 4 байта
  // [4 байта padding, чтобы добить структуру до кратности 8]
};
```

Итого структура занимает 24 байта, хотя из них полезной информации на 13 байт!

Переупорядочим поля:

```
struct Foo {
  double b; // 8 байт
  int c;    // 4 байта
  char a;   // 1 байт
  // [3 байта padding для кратности 8]
};
```

Теперь размер структуры равен 16 байт.

> **Примечание**
>
> Для наиболее «плотной» компоновки структуры, поля нужно размещать по порядку убывания их размера.
>
> Подробнее про упаковку структур монжо почитать в этой замечательной статье.

Указатели

Указатель — переменная, хранящая в себе адрес на ячейку памяти.

Особый случай — указатель на нулевой адрес (null pointer). Используется для обозначения того, что переменная никуда не указывает.

- Для взятия указателя на объекта используется оператор `&`
- Для обращения к переменной по указателю (т.н. *разыменовывания*) используется оператор `*`

Пример — обмен значений переменных:

```
void swap(int* a, int* b) {
  int temp = *a;
  *a = *b;
  *b = temp;
}

int main() {
  int x = 2;
  int y = 7;

  swap(&x, &y);
  std::cout << x << " " << y; // 7 2

  swap(&a, nullptr); // Segmentation fault!
}
```

Указатели поддерживают арифметику: их можно складывать, вычитать. Зачем? Ответ тому — массивы.

Массивы

Массив — упорядоченая последовательность однотипных элементов. Размер массива фиксирован.

Пример:

```
int main() {
  // Различные определения массива
  int arr1[10]; // Без инициализации, заполнен мусором!
  int arr2[10] = {0}; // 10 нулей
  int arr3[] = {1, 2, 3}; // Перечисление элементов без явного количества
  int arr4[4] = {1, 2, 3, 4}; // Перечисление с явным количеством
  int arr5[2][3] = {
    {1, 2, 3},
    {4, 5, 6}
  }; // Многомерный массив

  // Обращение к элементам массива
  assert(arr2[4] == 2);
  assert(arr5[1][2] == 6)
}
```

> **Примечание**
>
> Массив и указатель тесно связаны! По сути, массив в C++ — это указатель на его первый элемент. Более того, у указателя можно обращаться по индексу, будто перед нами массив.

```c
int main() {
  int arr[] = {1, 2, 3};

  assert(arr[0] == *arr);
  assert(arr[2] == *(arr + 2));
  assert(arr == &arr[0]);

  int* p = arr;
  assert(p[1] == 2);
}
```

Отсюда заметим, что при сложении указателя и числа, число умножается на размер типа, а не тупо прибавляется как количество байт.

Примечание

```c
int main() {
  int arr[] = {1, 2, 3};
  assert(arr[1] == 1[arr]);
}
```

Это компилируется и работает. Думайте.

Устройство памяти

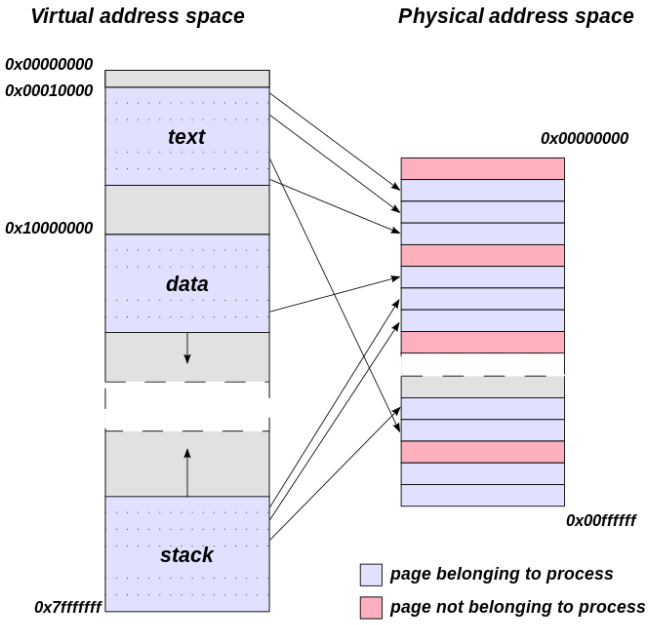
Виртуальная и физическая память

Оперативная память в компьютере представлена в виде последовательности байтов, доступных по адресу. Архитектура Фон-Неймана, используемая на современных компьютерах, также размещает сами программы в оперативной памяти. Обобщенно назовем все это *физическим адресным пространством*.

Однако современные операционные системы не дают процессам свободный доступ ко всей памяти. Вместо этого, каждому процессу предоставляется *виртуальное адресное пространство*. Программа думает, будто обращается к какой-то ячейке памяти, но вместо этого ОС решает что сделать: отобразить данный виртуальный адрес в физический, выдать содержимое файла, крашнуть прогу к чертям.

Полезностей виртуальной памяти полно, среди них:

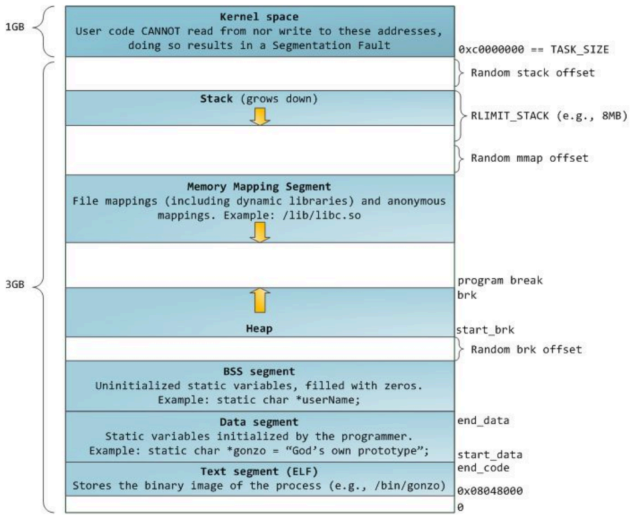
- Изоляция: не хотелось бы, чтобы программа могла читать (и уж тем более записывать) память других процессов. Для этого ОС создает отдельное адресное пространство для каждого процесса.
- Безопасность: для виртуальной памяти можно настроить права доступа. В какие-то адреса можно читать и писать, какие-то read-only, а куда-то вообще нельзя обращаться, иначе ОС просто убьет процесс.
- Удобство: процессы постоянно запускаются и завершаются, из-за чего физическое пространство сегментируется. С точки зрения процесса, ячейки памяти под виртуальными адресами `0x01` и `0x02` находятся рядом друг с другом, однако на физической памяти они могут находиться очень «далеко» друг от друга. ОС сама заботится о распределении физической памяти.



Отображение из виртуальной в физическую память наглядно

Сегменты памяти

Благодаря виртуальной памяти, все адресное пространство можно разделить на *сегменты* — разделы, каждая имеющая какую-то свою роль.



Сегменты памяти наглядно

В зависимости от ОС, сегменты могут варьироваться, но на Unix-системах (macOS, Linux и т.п.) можно выделить следующие:

- `Text` — машинный код программы. Read-only!
- `Rodata` — константы (например, строковые литералы). Read-only!
- `Data` — инициализированные статические переменные.
- `BSS` — неинициализированные статические переменные. Заполняется нулями.
- `Memory Mapping` — отображения файлов в память. Например, динамические библиотеки.
- `Stack` — локальные переменные, вызовы функций. *Растет вниз.*
- `Heap` — динамически выделяемая память (`malloc`, `new`). *Растет вверх.*

- `Kernel space` — всякие внутренние данные ОС. Чтение и запись запрещены!

Пример:

```
// Литерал "Hello World" в Rodata, указатель на него в Data
static const char* message = "Hello World";

// BSS
int global_number;

int main() {
  // Stack
  int local_number = 123;

  // Массив float[100] в Heap, указатель на него в Stack
  float* float_array = new float[100];

  global_number = 42; // OK
  message[0] = 'a' // Segmentation fault!
  message = "Other message" // OK
}
```

Страницы физической памяти

Операционная система делит физическую память на куски, называемые *страницами*. Обычно одна страница занимает 4 Кб, но это число может варьироваться в зависимости от ОС. Поэтому когда программа запрашивает, скажем, 100 байт на куче, на самом деле выделяется больше. *Обычно это не страшно — аллокатор сам разберется с избытком. Но это уже другая история.*

Стек вызова функций

Как было сказано раннее, на стеке хранится информация для вызываемой функции: ее аргументы, локальные переменные и адрес возврата. В общем это называется *стек фреймом*.

«Под капотом» процессор использует два регистра:
- `esp` — хранит верхушку стека (незанятый байт!)
- `ebp` — хранит начало стека относительно функции

В C++ стек организован по соглашению `cdecl`.

```
void foo(int x) {
  // Кладем старый ebp на стек
  // Сохраняем текущий адрес esp в регистр ebp

  int a = 42;  // Адрес: [ebp-4]
  long b = 69; // Адрес: [ebp-12]

  int d = b + x; // Сложить [ebp-12] и [ebp+8], положить по адресу [ebp-16]

  // Переходим по адресу возврата [ebp+4]
}
```

```
int main() {
  // Кладем старый ebp на стек (но ebp нулевой, так как это начало программы)
  // Сохраняем текущий адрес esp в регистр ebp

  int x = 5; // Адрес: [ebp-4]

  // Кладем на стек адрес возврата в main
  // Кладем на стек значение аргумента x,
  foo(x); // Переходим по адресу функции foo
}
```

Ссылки

Ссылка — алиас на объект. Семантически схож на указатель, но имеет ряд отличий:

- Всегда ведет на уже существующий объект
- Обязана быть инициализированной
- Не имеет арифметики
- Нельзя сделать указатель на ссылку

Базовый пример:

```
int main() {
  int num = 1;

  int& ref = num;
  ref = 123;

  std::cout << num; // 123
}
```

Пример ссылки как аргумента функции:

```
void swap(int& a, int& b) {
  int t = a;
  a = b;
  b = t;
}

int main() {
  int a = 2;
  int b = 7;
  swap(a, b);

  std::cout << a << " " << b; // 7 2
}
```

Примеры ошибок:

```
int main() {
  int& a; // Не инициализировано

  int b = 1;
  const int& c = b;
  c = 42; // Нельзя менять const ссылку
}
```

Пример UB:

```
int& foo() {
  int x = 20;
  return x;
}

int main() {
  int a = foo(); // UB
}
```

Перегрузка функций

Перегрузка функций — механизм, позволяющий объявлять несколько функций с одинаковым именем и типом возврата, но разными аргументами.

```
void foo(int x) {}
void foo(double x, int y) {}
void foo(const char* s) {}

// А вот так нельзя:
// float foo() {}

int main() {
  foo(1);
  foo(1.23, 4);
  foo("Hello");
}
```

Важно понимать, что при передаче аргументов функции, они могут неявно приводиться к другому типу. Компилятор не всегда в силах определить, какую именно функцию вызвать:

```
int foo(int x) {}
int foo(float x) {}

int main() {
  double num = 1.23;
  foo(num); // Ошибка! Компилятор не знает к чему привести num: к float или к
int?
}
```

namespace

Пространства имен (namespace) — абстрактное хранилище идентификаторов: классов, функций, глобальных переменных и т.п. Используется для логической группировки идентификатора, что упрощает читаемость кода и предотвращает конфликт одинаковых имен.

- С помощью `using namespace` можно «импортировать» все идентификатора из пространства имен в скоуп.
- Можно делать алиасы на неймспейсы (например, для сокращения имени).
- Разрешены вложенные неймспейсы (но рекомендуется не больше 2-3).
- Можно не указывать имя неймспейса. Тогда его идентификаторы будут доступны только в рамках единицы трансляции (что эквивалентно ключевому слову `static`).

Базовый пример:

```
namespace Foo {
  void print() {
    std::cout << "Foo\n";
  }
}

namespace Bar {
  void print() {
    std::cout << "Bar\n";
  }
}

int main() {
  Foo::print(); // Foo
  Bar::print(); // Bar
}
```

Пример глобального `using namespace`:

```
namespace Foo {
  void print() {
    std::cout << "Foo\n";
  }
}

using namespace Foo;

int main() {
  print(); // Foo
}
```

Но так делать не рекомендуется.

Пример локального `using namespace`:

```cpp
namespace Foo {
  void print() {
    std::cout << "Foo\n";
  }
}

int main() {
  using namespace Foo;
  print(); // Foo
}
```

Пример алиаса + вложенные неймспейсы

```cpp
namespace SomeLongNamespace {
  namespace Foo {
    void print() {
      std::cout << "Foo\n";
    }
  }
}

int main() {
  namespace NS = SomeLongNamespace::FOO;
  NS::print(); // Foo
}
```

Пример безымянного неймспейса:

```cpp
namespace {
  void print() { std::cout << "Foo\n"; }
}

int main() {
  print(); // Foo
}
```

TODO Компиляция, этапы, ошибки компиляции

ООП

Объектно-ориентированное программирование — парадигма программирования, в которой мы описываем объекты: их свойства, поведение и взаимодействие между другими объектами.

ООП держится на нескольких принципах: абстракция, инкапсуляция, полиморфизм, наследование.

Абстракция

Придание объекту характеристик, которые определяют его концептуальные границы, отличая от остальных объектов.

Суть в том, чтобы использовать абстрактные объекты как составные детали для более сложных. Скажем, система обработки заявок скорой помощи состоит из приоритетной очереди и еще каких-нибудь абстрактных объектов.

В C++ это можно выразить в виде структуры с функциями, которые ее как-то модифицируют:

```
struct Stack {
  int len;
  int values[100];
};

void push(Stack& stack, int value);
int pop(Stack& stack);
```

Инкапсуляция

Инкапсуляция — объединение данных и поведения в единую логическую единицу, а также скрытие внутренних деталей реализации от внешнего мира:

В C++ для этого используются модификаторы доступа, а также вложение методов внутри класса/структуры:

```
class Stack {
public:
  void push(int value);
  int pop();

private:
  int len;
  int values[100];
};
```

TODO Полиморфизм

TODO Наследование

TODO Классы. Специальные методы

TODO также рассказать про ключевое слово `explicit`

TODO Перегрузка операторов

TODO Шаблоны функций, классов. Частичная и полная специализация.

RAII

RAII — Resourse Acquisition Is Initialization. Идея в том, что если у нас есть какой-то ресурс, который имеет сложный жизненный цикл. Например, файл:

```cpp
#include <cstdio>

int main() {
  FILE* f = fopen("output.txt", "w");
  if (f == nullptr) {
    std::cout << "Failed to open file\n";
    return 1;
  }

  fprintf(f, "Hello World");
  fclose(f);
}
```

Мы вручную открыли файл, проверили успех этой операции, а потом еще руками закрыли. А если мы забудем закрыть? А что, если это не файл, а указатель? Утечка памяти! А если это соединение с базой данных? Упс, положили БД.

В общем, мы хотим, чтобы жизненный цикл ресурса управлялся автоматически. Именно в этом и суть RAII. Мы оборачиваем ресурс в класс, который при конструировании инициализируется, а при деструкте закрывается.

```cpp
class RaiiFile {
public:
  RaiiFile(const char* name, const char* mode) {
    f_ = fopen(name, mode);
    if (f_ == nullptr) {
      // handle error
    }
  }

  ~RaiiFile() {
    fclose(f_);
  }

  FILE* operator*() {
    return f_;
  }

private:
  FILE* f_;
};

int main() {
  RaiiFile f("output.txt", "w");
  fprintf(*f, "Hello World");

  // Файл закроется автоматически!
}
```

Всякие мелочи

Linkage Duration

- External linkage — символ доступен для других единиц трансляций. Переменные помечаются ключевым словом `extern`, либо `const`. Функции по умолчанию external.
- Internal linkage — символ доступен только внутри единицы трансляции. Помечается ключевым словом `static`.
- No linkage — символ недоступен для линковки. Пример — локальная переменная (в т.ч. статическая).

Пример:

```c
extern int global = 42; // External linkage
static int static_global = 123; // Internal linkage

// External linkage (by default)
void foo() {
  int local_num = 69; // No linkage
  printf("Меня можно вызвать из других единиц трансляции\n");
}

// Internal linkage
static void bar() {
  static int hvost = 239; // No linkage
  printf("Я доступен только внутри текущего файла\n");
}
```

Storage Duration

- Static duration — переменные, живущие на протяжении всей программы. Пример — глобальные переменные, переменные с модификатором `static`.
- Automatic duration — переменные внутри блока, создающиеся в начале блока и разрушающиеся в конце. Пример — локальные переменные.
- Dynamic duration — переменные, за жизненный цикл которой отвечает пользователь. Пример — переменные, созданные через `new`/`malloc`
- Thread duration — переменные с модификатором `thread_local`. *Но подробнее об этом поговорим в следующем семестре...*