06.04.2024

Наследование I

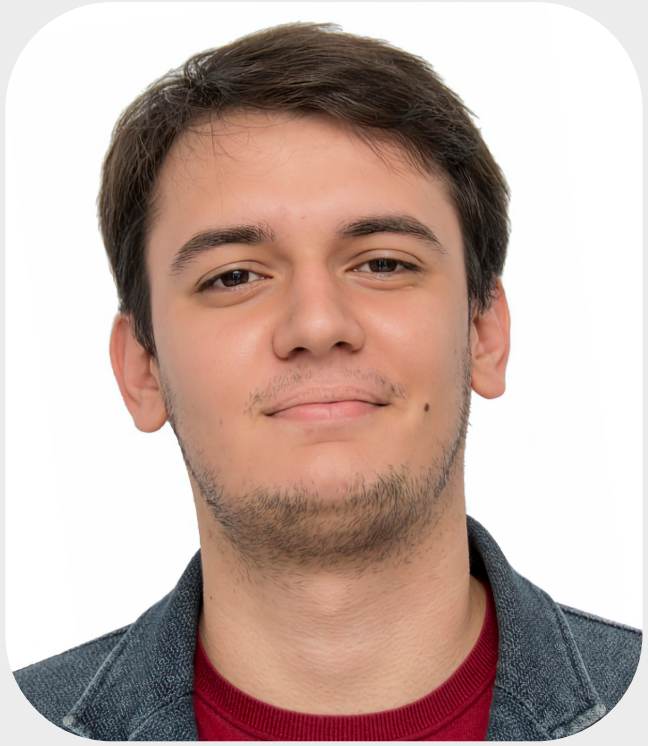
Спикер: Ибрагимов Булат Ленарович

Fast Track в Телеком, 2024

НТР новые телеком решения

PHOENIX EDUCATION

МФТИ



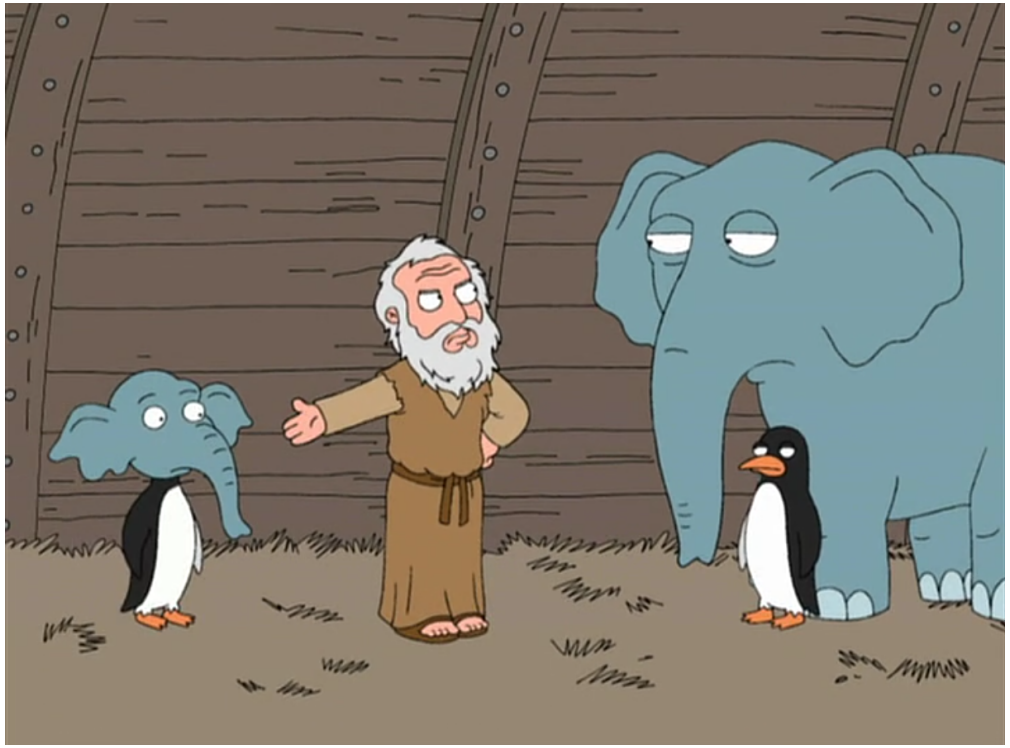
ИБРАГИМОВ БУЛАТ ЛЕНАРОВИЧ

- Преподаватель в МФТИ. Проводит курсы по C++ и алгоритмам, структурам данных
- Научный сотрудник Института Искусственного Интеллекта (AIRI)
- Работал разработчиком-исследователем в Яндекс и Сбербанк

Наследование

Наследование - свойство, позволяющее создавать новый тип данных на основе уже существующих с полным или частичным заимствованием функционала.

Наследование является одним из основных понятий, на которых зиждется ООП.



Пример и синтаксис наследования

Допустим пишем простую компьютерную игру с набором персонажей, которые могут выполнять некоторые действия:

```
struct Archer {
  int strength;  // сила
  int hp;        // здоровье
  int xp;        // опыт

  void Shoot();  // выстрелить
    // ...
};

struct Soldier {
  int strength;  // сила
  int hp;        // здоровье
  int xp;        // опыт

  void Melee();  // ближний бой
    // ...
};
```

Пример и синтаксис наследования

Ясно, что с увеличением числа персонажей и их возможностей код может разрастаться очень сильно.

```
class Archer;
class Melee;
class Cavalry;
class Imposter;
```

Таким образом, возникает две ключевые проблемы:

1. Дублирование кода.
2. Отсутствие ясной структуры и иерархии классов.

Пример и синтаксис наследования

Для решения проблем дублирования кода и указания связи между классами можно воспользоваться следующим синтаксисом:

```
struct Hero {
  int strength;  // сила
  int hp;        // здоровье
  int xp;        // опыт

  void Heal();  // лечиться
  // ... (другие общие методы и поля)
};

struct Archer : public Hero {  // лучник унаследован от класса "персонаж"
  void Shoot();
  // ... (другие специфичные методы и поля)
};
```

`Hero` - базовый класс, `Archer` - производный класс (класс-наследник).

Пример и синтаксис наследования

Теперь все поля и методы `Hero` также являются полями и методами класса `Archer`:

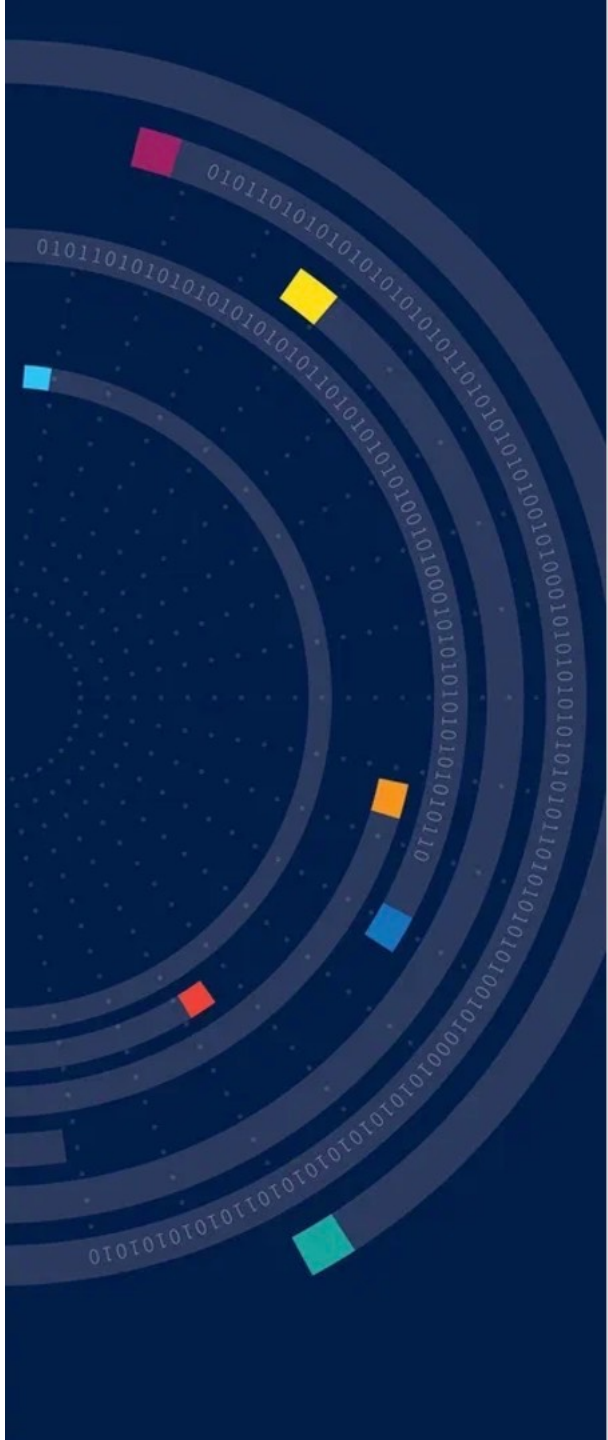
```
Hero hero;
Archer archer;

hero.hp = 90;     // hp - поле hero
archer.hp = 80;   // у archer тоже есть такое поле

hero.Heal();      // аналогично
archer.Heal();

archer.Shoot();   // Archer - более специфичный класс
// hero.Shoot();  CE
```

Модификаторы доступа и наследование



`public` и `private`

Как и раньше - `public` открывает доступ всем, `private` закрывает доступ для всех, даже для наследников

```
struct Hero {
public:
    void Heal() { UpdateHp(20); }
private:
    void UpdateHp(int delta) { hp += delta; }
};
////////////////////////////////////////
struct Archer : public Hero {
    void Rest() {
        Heal();           // Ok (public)
        // UpdateHp(10);  // CE (private)
    }
};
////////////////////////////////////////
Archer archer;
archer.Heal();           // Ok (public)
// archer.UpdateHp(10);  // CE (private)
```

`public` и `private`

`public` и `private` могут задавать и *режим наследования*, то есть задавать уровень доступа к полям и методам базового класса.

public наследование - все знают о том, что класс унаследован от базового, и внешний код имеет полный доступ к открытым полям и методам базового класса.

private наследование - никто не должен знать о наследовании, доступ к открытым полям и методам базового класса имеет только наследник.

```
struct Hero {
// ...
};

struct Archer : public Hero {  // или struct Archer : private Hero
// ...
};
```

`public` и `private`

```
struct A {
  public: int x;
  private: void f();
};
struct B : public A {
  void h() {
    x = 0;  // ???
    f();    // ???
  }
};
struct C : private A {
  void h() {
    x = 0;  // ???
    f();    // ???
  }
};
```

```
A a;
a.x = 11;  // ???
a.f();     // ???

B b;
b.x = 11;  // ???
b.f();     // ???

C c;
c.x = 11;  // ???
c.f();     // ???
```

`public` и `private`

```
struct A {
public: int x;
private: void f();
};
struct B : public A {
  void h() {
    x = 0;  // Ok
    f();    // CE
  }
};
struct C : private A {
  void h() {
    x = 0;  // Ok
    f();    // CE
  }
};
```

```
A a;
a.x = 11;  // Ok
a.f();     // CE

B b;
b.x = 11;  // Ok
b.f();     // CE

C c;
c.x = 11;  // CE
c.f();     // CE
```

Модификатор доступа `protected`

Существует третий модификатор доступа - `protected`.

Он работает так же как и `private`, но доступ дополнительно получают наследники класса:

```
struct A {
protected:
  int x;
  void f();
};

struct B : public A {
  void h() { x = 0; f(); }  // Ok
};

A a;
// a.x = 0; a.f();  // CE
B b;
b.h(); // b.x = 0; b.f();  // CE
```

Модификатор доступа `protected`

`protected` можно использовать для изменения режима наследования.

protected наследование - никто не имеет доступ к базовому классу, кроме наследников

```
struct A {
  int x;
  void f();
};

struct B : protected A {
};

struct C : public B {
  void h() { x = 0; f(); }  // Ok
};

A a; a.x = 0; a.f();
B b; // b.x = 0; b.f()  // CE
```

Модификатор доступа `protected`

```
struct A {
public: int x;
private: void f();
protected: void g();
};

struct B : protected A {
  void h() {
    x = 0;  // ??
    f();    // ??
    g();    // ??
  }
};

struct C : public B {};
```

```
A a;
a.g();      // ??

B b;
b.x = 11;   // ??
b.f();      // ??
b.g();      // ??
b.h();      // ??

C c;
c.x = 11;   // ??
c.f();      // ??
c.g();      // ??
c.h();      // ??
```

Модификатор доступа `protected`

```
struct A {
public: int x;
private: void f();
protected: void g();
};

struct B : protected A {
  void h() {
    x = 0;  // Ok
    f();    // CE
    g();    // Ok
  }
};

struct C : public B {};
```

```
A a;
a.g();      // CE

B b;
b.x = 11;   // CE
b.f();      // CE
b.g();      // CE
b.h();      // Ok

C c;
c.x = 11;   // CE
c.f();      // CE
c.g();      // CE
c.h();      // Ok
```

TL;DR

- `public` режим наследования позволяет обращаться к полям и методам базового класса напрямую (то есть пользоваться наследником в точности как базовым классом). Реализует семантику "является".

```
struct A { /* ... */ };
struct B : public A { /* ... */ };  // B является A
```

- `private` и `protected` режимы запрещают внешнему коду (кроме друзей) каким-либо образом использовать знание о том, что что-то от чего-то унаследовано. `protected` дополнительно разрешает доступ для наследников класса (для остальных работает как `private`). Реализует семантику "содержит".

```
struct A { /* ... */ };
struct B : protected A { /* ... */ };  // B содержит A
```

Замечание о `private` и `protected` наследовании

`private` и `protected` наследование почти всегда можно заменить на композицию (введение поля нужного типа в класс):

```
struct A { /* ... */ };

struct B : private A { /* ... */ };

struct C {
private:
  A a;
// ...
};
```

Классы `C` и `B` практически эквивалентны (с точки зрения внешнего кода эквивалентны, так как он не использует факт наследования от `A` или наличия поля `a`).

Empty Base Optimization (EBO)

Размер в байтах любого, даже пустого, объекта в C++ обязан быть > 0. Однако при наследовании от пустого класса размер наследника не увеличивается

```
struct A {};  // sizeof(A) == 1

struct B : private A {  // sizeof(B) == sizeof(int)
  int x;
};

struct C {  // sizeof(C) > sizeof(int)
  int x;
private:
  A a;
};
```

Это бывает полезно, если класс реализован с помощью другого класса, у которого нет нестатических полей. В этом случае наследование лучше композиции.

Еще одно отличие `class` от `struct`

Знаем: в классах модификатор доступа по умолчанию - `private`, в структурах - `public`

С наследованием аналогично: классы по умолчанию наследуют приватно, а структуры - публично.

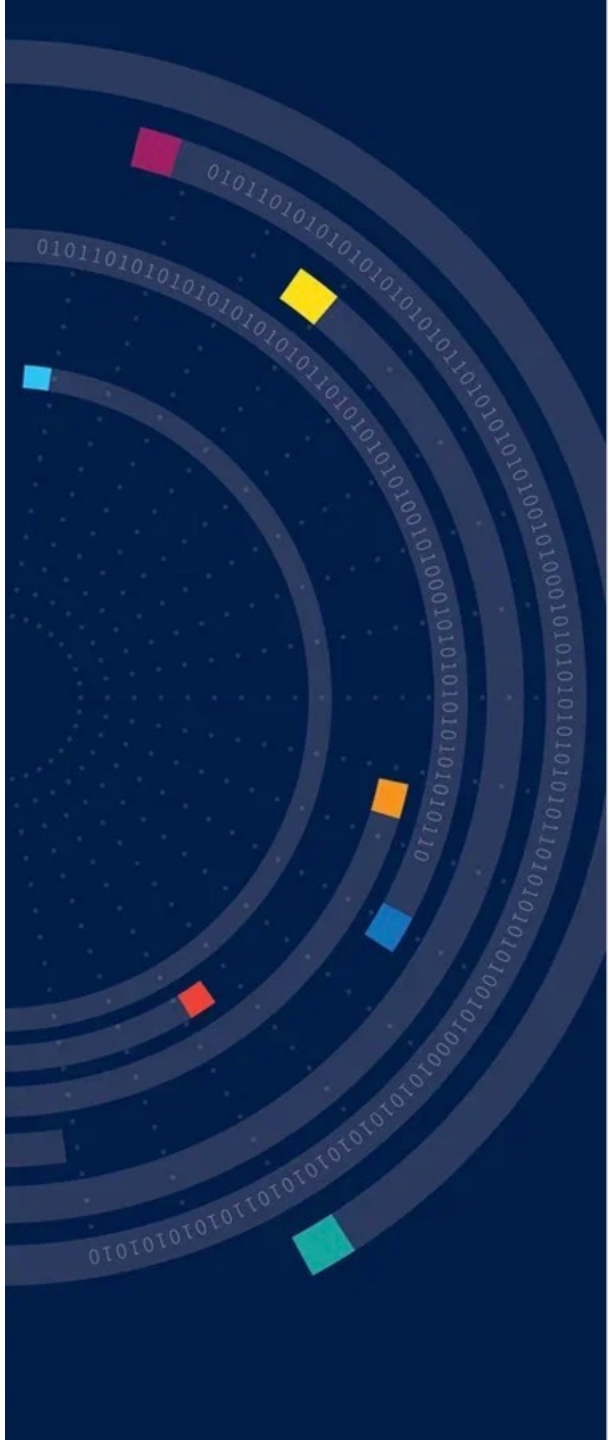
```
class A { /* ... */ };

struct S : A { /* ... */ };
// <=>
struct S : public A { /* ... */ };

class C : A { /* ... */ };
// <=>
class C : private A { /* ... */ };
```

На этом список отличий заканчивается.

Порядок вызова конструкторов и деструкторов при наследовании



Пример

```
class StackMax : public Stack {
  int* max_buffer_ = nullptr;

public:
  StackMax() = default;
  StackMax(const StackMax& other) { max_buffer = /* ... */ }
  // ...
};

class StackMin : public Stack {
  int* min_buffer_ = nullptr;

public:
  StackMin() = default;
  StackMin(const StackMin& other) = default;
  // ...
}
```

Как в StackMax/StackMin будет проинициализирована часть относящаяся к Stack?

Пример

Перед входом в тело конструктора все поля и *базовые классы* должны быть проинициализированы.

```
class StackMax : public Stack {
public:
  StackMax() = default;  // вызывается Stack()
  StackMax(const StackMax& other) { /* ... */ }  // 1: вызывается Stack()
  // ...
};

class StackMin : public Stack {
public:
  StackMin() = default;  // вызывается Stack()
  StackMin(const StackMin& other) = default;  // 2: вызывается Stack(const Stack&)
  // ...
}
```

В случае 1 в Stack ничего не копируется; в случае 2 Stack скопируется, но часть, относящаяся к StackMin проинициализируется по умолчанию.

Вызов конструктора базового класса

```
class StackMax : public Stack {
  int max_buffer_ = nullptr;

public:
  StackMax() = default;  // Stack()

  StackMax(const StackMax& other)
    : Stack(other)
    , max_buffer_(new int[kCapacity]) {

    if (size_ > 0) {
      max_buffer_[0] = buffer_[0];
    }
    for (size_t i = 1; i < size; ++i) {
      max_buffer_[i] = std::max(buffer_[i], max_buffer_[i - 1]);
    }
  }
  // ...
};
```

Вызов конструктора базового класса

- Класс инициализируется так: сначала инициализируются базовые классы, затем поля класса-наследника в порядке объявления (список инициализации не может повлиять на порядок!)

```
struct A {
  int x;
  int y;

  A(int);
  A(int, int);
};

struct B : public A {
  int z = 0;

  // B() {} - CE, у A нет конструктора по умолчанию
  B(int x) : A(x) {}
  B(int x, int y) : A(x, y) {}  // сначала A(x, y), затем z = 0
  B(int x, int y, int z) : A(x, y), z(z) {}
}
```

Вызов конструктора базового класса

- Чтобы не дублировать конструкторы базового класса (как в прошлом примере) можно воспользоваться конструкцией `using A::A` (теперь B можно создавать так же как и `A`)

```
struct A {
  int x;
  int y;

  A(int);
  A(int, int);
};

struct B : public A {
  int z = 0;

  using A::A;
  B(int x, int y, int z) : A(x, y), z(z) {}
}
```

Вызов конструктора базового класса

- Нельзя проинициализировать отдельное поле базового класса, только всю базовую часть целиком

```
struct A {
  int x;
  int y;

  A(int);
  A(int, int);
};

struct B : public A {
  int z = 0;

  B(int x, int y, int z) : x(x), y(y), z(z) {}  // CE
}
```

```
error: class 'B' does not have any field named 'x'
error: class 'B' does not have any field named 'y'
```

Порядок вызова деструкторов

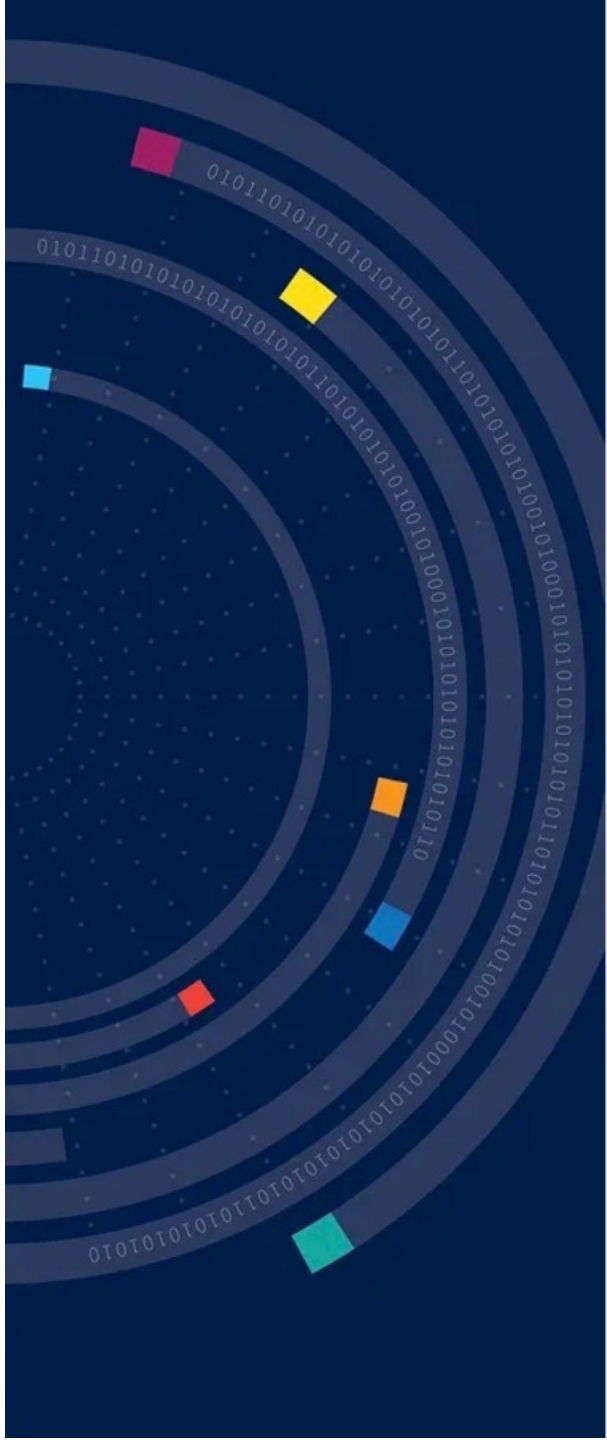
При уничтожении объекта сначала выполняется тело деструктора, затем деструктурируются поля класса-наследника в порядке обратном объявлению и в самом конце уничтожаются части базового класса

```
class A {
    // ...
};

class B : public A {
    Stack s1;
    Stack s2;

    // ...
    ~B() {
        // (1) ...
    }  // <- (2) s2.~Stack(), (3) s1.~Stack(), (4) ~A()
};
```

Срезка (Slicing)



Срезка

Так как публичное наследование реализует отношение "является", можно инициализировать объекты предка объектами потомков, а также присваивать предкам потомков. Но не наоборот!

```
struct A {
  int x;
  void f();
};

struct B : public A {  // B является A (но A не является B)
  int y;
  void g();
};

B b;
A a = B();
a = b;
// b = a;  // CE
```

Срезка

Данная возможность называется "срезкой" (при присваивании используются только часть класса, относящаяся к базовому классу).

```
struct A { /* ... */ };

struct B : public A { /* ... */ };

A a = B();  // от правой части остается только кусок, содержащий A
```

Наоборот нельзя, так как в `B` могут быть элементы, которых нет в `A`:

```
// B b = A();  // CE
```

Стоит отметить, что если в базовом классе есть копирующий/перемещающий конструктор/присваивание, то при срезке будут использованы именно они.

Срезка

При приватном и защищенном наследовании внешний код не имеет права использовать факт наличия связи между классами, поэтому срезка запрещена.

```
struct A { /* ... */ };
struct B : protected A { /* ... */ };

// A a = B();  // CE
```

Исключение 1: внутри класса-наследника срезку делать можно (он "знает" про то, что он от чего-то унаследован)

```
struct B : protected A {
  void f() { A a = B(); }  // Ok
};
```

Исключение 2: друзья наследника тоже имеют право знать (и использовать) факт наследования

Настройка поведения при срезке

Рассмотрим пример

```
struct A {
  std::string name;
  A() { name = "A"; }
  // ...
};

struct B : public A {
  B() { name = "B"; }
  // ...
};
```

```
A a; a.name;          // "A"
B b; b.name;          // "B"
A aa = b; aa.name;    // "B" - но, возможно, хочется "A"
```

Настройка поведения при срезке

Для задания конкретного поведения нужно определить конструктор `A` от `B`:

```
struct B;  // forward declaration

struct A {
  std::string name = "A";
  A(const B& other);
  // ...
};

struct B : public A {
  // ...
};

A::A(const B& other) : name("A") { /* ... */ }
```

```
A aa = b; aa.name;  // "A"
```

Настройка поведения при срезке

Аналогичным образом можно запретить срезку:

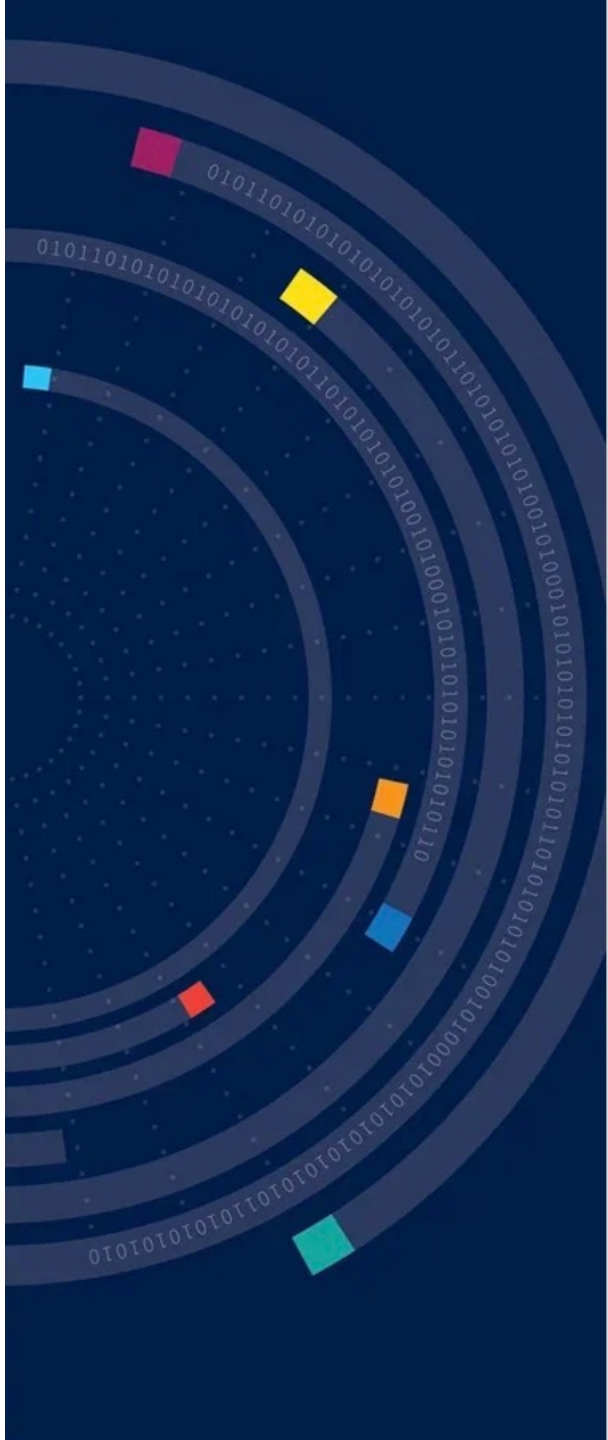
```
struct B;  // forward declaration

struct A {
  std::string name = "A";
  A(const B& other) = delete;
  // ...
};

struct B : public A {
  // ...
};
```

```
A aa = b;  // CE
```

Затенение методов базового класса (shadowing)



Пример 1

```
struct A {
  void f(int) {
    std::cout << "A::f(int)\n";
  }
};

struct B : public A {
  void f(int) {
    std::cout << "B::f(int)\n";
  }
};
```

```
B b;
b.f(0);  // Ok: B::f(int)
```

А что, если хочется вызвать метод `f` из `A`?

Явный вызов метода базового класса

```
struct A {
  void f(int) {
    std::cout << "A::f(int)\n";
  }
};

struct B : public A {
  void f(int) {
    std::cout << "B::f(int)\n";
  }
};
```

```
B b;
b.f(0);      // Ok: B::f(int)
b.A::f(0);   // Ok: A::f(int)
```

Пример 2

```
struct A {
  void f() {
    std::cout << "A::f()\n";
  }
};

struct B : public A {
  void f(int) {
    std::cout << "B::f(int)\n";
  }
};
```

```
B b;
b.f(0);  // Ok: B::f(int)
// b.f();   // CE
```

```
error: no matching function for call to 'B::f()'
```

Shadowing

Если в производном классе присутствует метод с тем же именем, что и метод в базовом классе, то это имя затеняет базовые методы с тем же именем (shadowing).

Логично ли это?

```
struct A {
  void f();
};

struct B : public A {
  void f(int);
};
```

```
B b;
b.f(0);      // Ok: B::f(int)
// b.f()     // CE
b.A::f();    // Ok: A::f()
```

Shadowing

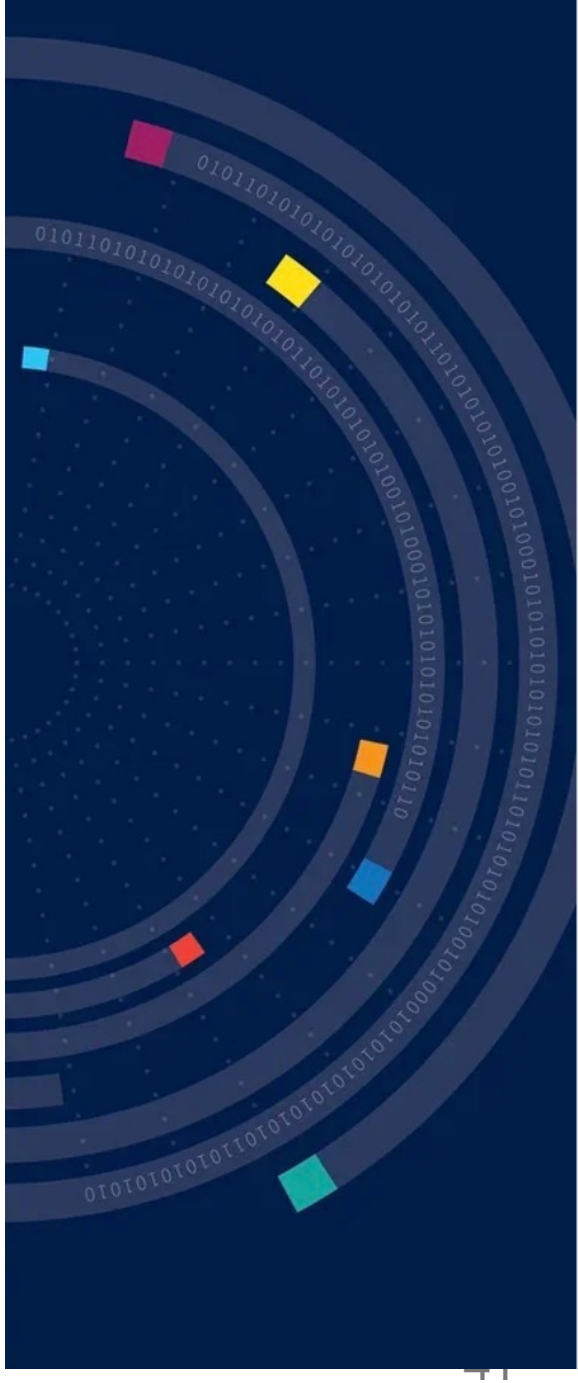
Есть несколько решений этой "проблемы" (не факт, что проблема):

1. Смириться.
2. Использовать полное имя метода (`b.A::f()`).
3. Использовать `using` :

```
struct A {
  void f();
  void f(double);
};
struct B : public A {
  using A::f;  // A::f(), A::f(double) (частично нельзя!)
  void f(int);
};
```

```
b.f(0);    // Ok: B::f(int)
b.f();     // Ok: A::f()
b.f(0.0);  // Ok: A::f(double)
```

Работа с производным классом через указатель или ссылку на базовый



Указатель и ссылка на базовый класс

```
class B : public A { /* ... */ };
```

Если класс `B` публично унаследован от класса `A`, можно (подобно срезке) присваивать указатель/ссылку на `B` указателю/ссылке на `A`:

```
B b;
A* b_ptr = &b;  // Ok
A& b_ref = b;   // Ok
```

Но не наоборот:

```
A a;
B* a_ptr = &a;  // CE
B& a_ref = a;   // CE
```

В чем отличие от срезки?

Указатель или ссылка ссылаются на *тот же* объект и работают с его данными, в отличие от срезки, где мы работаем с копией:

```
struct A {
  int x = 0;
  void f() { ++x; }
};

struct B : public A {
  int y = 0;
};
```

```
B b;          // b.x == 0; b.y == 0
A a = b;      // a.x == 0
a.f();        // a.x == 1, b.x == 0
// a.y;       // CE
A& b_ref = b;
b_ref.f();    // b.x = 1;
// b_ref.y;   // CE: все-таки компилятор видит, что type(b_ref) == A&
```

Какие методы вызываются?

Компилятор выбирает версию метода, основываясь на *статическом типе* указателя/ссылки, не обращая внимания на реальный тип объекта, на который ссылаются:

```
struct A {
    void f() { std::cout << "A::f()\n"; }
};

struct B() : public A {
    void f() {std::cout << "B::f()\n"; }
};
```

```
B b;
A* b_ptr = &b;
b_ptr->f();  // A::f()
```

Тизер

```
B b;
A* b_ptr = &b;
b_ptr->f();  // A::f()
```

Это поведение может смущать. Придется жить с этим чувством до следующей недели. А там встанем с колен и исправим этот пример.

Резюме

- Наследование позволяет задать связь между классами и способствует повторному использованию кода.
- `public` наследование реализует отношение "является", `protected` и `private` - "содержит" (часто можно заменить на композицию).
- Имена в производном классе могут затенять соответствующие имена в базовом классе.
- Объекты базового класса могут создаваться из объектов производного с помощью механизма срезки.
- Ссылки и указатели на производный класс свободно приводятся к ссылкам и указателям на открытый базовый класс.