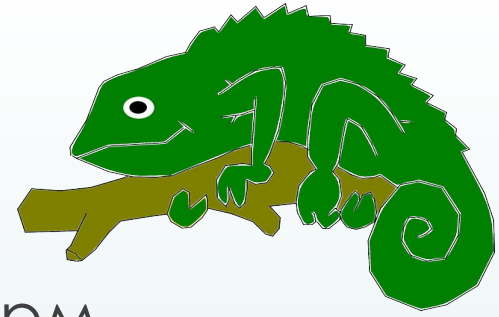
C++
Лекция 3
Полиморфизм

Полиморфизм



- Полиморфизм - много форм.
  - Способность одного “кусочка” кода вести себя по-разному.

- Формы полиморфизма.
  - Ad-hoc полиморфизм (**Перегрузка функций**)
  - Параметрический полиморфизм (**Шаблоны**)
  - **Полиморфизм подтипов**

Чаще всего когда говорят “полиморфизм” имеют в виду полиморфизм подтипов

Перегрузка функций

- **Ad-hoc Полиморфизм** перегрузка функций с одинаковым именем в одной области видимости.

```
int main() {
  Base b;
  b.foo(42);
  b.foo("test");
}
```

какая из функций foo вызывается определяется типом параметров

```
class Base {
public:
  int x;
  void foo(int a);
  int foo(string b);
  void bar(Duck *c);
};
```

А эта функция foo сама по себе, так как живет в отдельной области видимости

```
class Derived : public Base {
public:
  void x(int b);
  int foo(int a);
  void bar(bool c);
};
```

Перегрузка функций

- Несколько функций в одной области видимости с одинаковым именем, но разными *сигнатурами*.
  - Сигнатура включает в себя имя функции и входные параметры.

Что видим мы

```
class Person {
public:
  void greet() {...}
  void greet(int x) {...}
  void greet(string x) {...}
  void greet(int x,
             string x) {...}
  bool greet() {...}
};
```

Что видит компилятор

```
class Person {
public:
  void greet() {...}
  void greet_int(int x) {...}
  void greet_string(string x)
{...}
  void greet_int_string(int x,
                        string x)
{...}
  bool greet() {...}
};
```

Error, duplicate definition.

Полиморфизм подтипов

- Полиморфизм подтипов позволяет использовать базовый тип данных для хранения наследуемых типов
- Попробуем…

```
int main() {
  Chicken c("Myrtle");
  Duck d("Scrooge");
  Bird b = c;
}
```

Что-то пошло не так?

Chicken 12 байт.
Bird 8 байт.

Полиморфизм подтипов

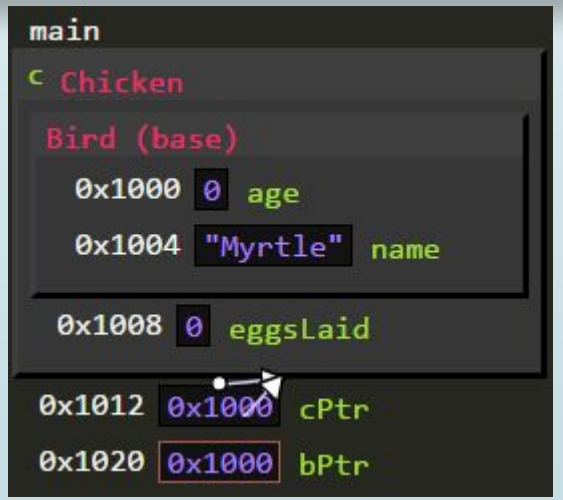
- Проблема: Нельзя использовать Bird для хранения Chicken, так как Chicken занимает большую область памяти.
- Решение: Использовать указатели или ссылки для не прямой работы с объектами.
  - `Bird*` и `Chicken*` равны по размеру.

NO

```
int main() {
  Chicken c("Myrtle");
  Bird b = c;
}
```

YES

```
int main() {
  Chicken c("Myrtle");
  Chicken *cPtr = &c;
  Bird *bPtr = cPtr;
}
```



Upcast vs. Downcast

- Безопасно конвертировать один тип указателей[1] в другой? Компилятор руководствуется следующими правилами:
  - Приведение вверх по иерархии (Upcasts) безопасно(скомпилируется)
  - Приведение вверх по иерархии (Downcasts) *не безопасно* (не скомпилируется)

```
int main() {
  Chicken c("Myrtle");
  Chicken *cPtr = &c;
  Bird *bPtr = cPtr;
}
```

Норм.
Приведение вверх

```
int main() {
  Chicken c("Myrtle");
  Bird *bPtr = &c;
  Chicken *cPtr = bPtr;
}
```

Не норм.
приведение вниз

1 Аналогично для ссылок

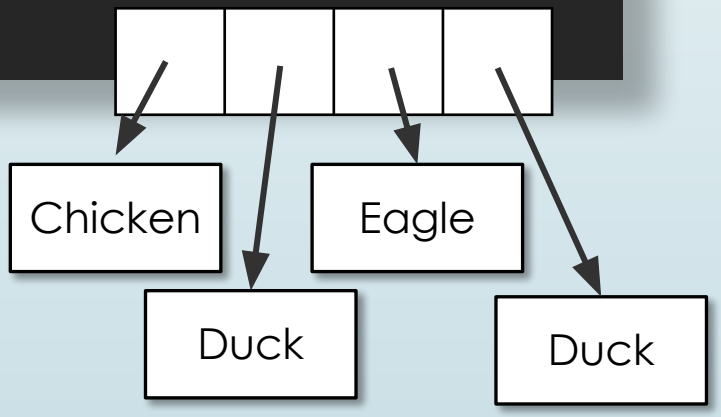
Использование

- Например можно создать массив базового класса содержащий указатели на любые наследуемые типы .

```
void allTalk(vector<Bird *> birds)
{
    for (auto br : birds)
    {
        br->talk();
    }
}
```

```
tweet
tweet
tweet
tweet
```

- Проблема:
  Мы можем создать массив разных птиц, но так как они все типа Bird будут вызываться функции базового класса, а не наследуемых.



```
void allTalk(vector<Bird> birds)
{
    for (auto br : birds)
    {
        br.talk();
    }
}


int main()
{
    Chicken c("ch");
    Duck d("du");
    Bird b("bi");
    vector<Bird> birds;
    birds.push_back(c);
    birds.push_back(d);
    birds.push_back(b);
    allTalk(birds);
    return 0;
}
```

Static vs. Dynamic Type

- **Static type** указателя/ссылки тип известный на **этапе компиляции**.
- **Dynamic type** указателя/ссылки тип объекта на который указывает во **время исполнения**.

```
1  Chicken c("Myrtle");
2  Duck d("Scrooge");
3  Bird *ptr;
   if (random() < 0.5) {
     ptr = &c;
   }
   else {
     ptr = &d;
   }
```

Какой **static** type ptr?
Bird*

Какой **static** ptr?
Bird*

Какой **dynamic** тип ptr?
undefined

Какой **dynamic** ptr?
Chicken*

Раннее связывание

```
int main() {
  Chicken c("Myrtle");
  Duck d("Scrooge");
  Bird *ptr;
  if (random() < 0.5) {
    ptr = &c;
  }
  else {
    ptr = &d;
  }
  ptr->talk();
}
```

static type `Bird`.

Что произойдет при вызове `talk()`?

`tweet`

- Компилятор определяет во время компиляции какую из функций вызвать. Это называется ранее связывание(**static binding**).
  - Основывает на **static type** объекта вызывающего функцию (**receiver**).

Explicit Downcast

- `dynamic_cast` безопасное приведение типов по иерархии наследования.
  - В случае неправильного приведения типов для ссылок вызывается исключительная ситуация std::bad_cast, а для указателей будет возвращен 0.

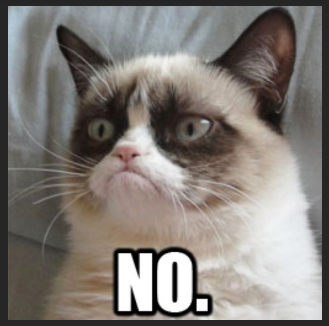
```
int main() {
  Chicken c("Myrtle");
  Bird *bPtr = &c;
  Chicken *cPtr = dynamic_cast<Chicken *>(bPtr);
  if (cPtr != nullptr) {
    // something chicken-specific
  }
}
```

- Если в коде часто используется `dynamic_cast` это говорит о том что программа плохо спроектирована.

```
void allTalk(vector<Bird*> birds)
{
    for (Bird *br : birds)
    {
        Chicken *ch = dynamic_cast<Chicken*>(br);
        if (ch)
        {
            ch->talk();
        }
        Duck *dc = dynamic_cast<Duck*>(br);
        if (dc)
        {
            dc->talk();
        }

    }
}
```

Как тебе такой код?



Для каждого наследника `Bird`, придется добавлять новый `if`.

Позднее связывание

```
int main() {
  Chicken c("Myrtle");
  Duck d("Scrooge");
  Bird *ptr;
  if (random() < 0.5) {
    ptr = &c;
  }
  else {
    ptr = &d;
  }
  ptr->talk();
}
```

Допустим random() вернул 0.7.

- Что если мы хотим определить тип во время исполнения? (Динамический тип, реальный тип.)
- Для этого используется позднее связывание.
  - Основываясь **dynamic type** объекта.

Non-Virtual vs. Virtual Functions

- В C++ можно выбрать какой тип связывания использовать.
- **Раннее связывание используется по умолчанию (non-virtual).**
- Ключевое слово `virtual` для использования позднего связывания.

Non-Virtual vs. Virtual Functions

```
class Bird {
  ...
  void talk() const {
    cout << "tweet" << endl;
  }
  ...
};
```

Non-virtual по умолчанию

```
class Duck : public Bird {
  ...
  void talk() const {
    cout << "quack" << endl;
  }
  ...
};
```

Non-virtual по умолчанию

```
int main() {
  Chicken c("Myrtle");
  Duck d("Scrooge");
  Bird *ptr;
  if (random() < 0.5) {
    ptr = &c;
  }
  else {
    ptr = &d;
  }
  ptr->talk();
}
```

Всегда будет выводиться “tweet”.

Non-Virtual vs. Virtual Functions

```
class Bird {
  ...
  virtual void talk() const {
    cout << "tweet" << endl;
  }
  ...
};
```

Обязательно чтобы функция была объявлена virtual только в базовом классе

```
class Duck : public Bird {
  ...
    void talk() const override {
    cout << "quack" << endl;
  }
  ...
};
```

```
int main() {
  Chicken c("Myrtle");
  Duck d("Scrooge");
  Bird *ptr;
  if (random() < 0.5) {
    ptr = &c;
  }
  else {
    ptr = &d;
  }
  ptr->talk();
}
```

Теперь поведение зависит от типа объекта во время исполнения.

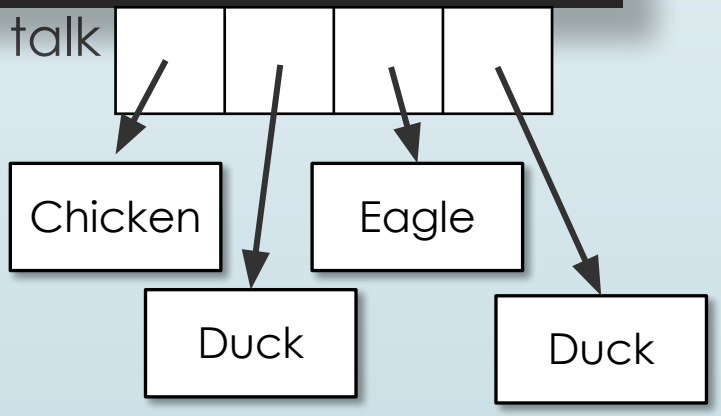
Использование полиморфизма

- Один массив для разных “птиц”.

```
void allTalk(vector<Bird *> birds)
{
    for (auto br : birds)
    {
        br->talk();
    }
}
```

- За счет того что функция talk объявлена как virtual, каждый класс может вызывать свой вариант функции.

```
bawwk
quack
eeeagle
quack
```



Exercise: Виртуальные функции

```
class Grandma {
public:
  int f1() { return 1; }
  virtual int f2() { return 2; }
};

class Mom : public Grandma {
public:
  int f1() { return 3; }
  virtual int f2() { return 4; }
};

class Child : public Mom {
public:
  int f1() { return 5; }
  virtual int f2() { return 6; }
};
```

```
int main() {
    Grandma g;
    Mom m;
    Child c;
    Grandma *gPtr = &c;
    Mom *mPtr = &m;

A   cout << g.f2() << endl;
B   cout << m.f1() << endl;
C   cout << gPtr->f1() << endl;
D   cout << gPtr->f2() << endl;
E   cout << mPtr->f2() << endl;
    mPtr = &c;
F   cout << mPtr->f1() << endl;
G   cout << mPtr->f2() << endl;
}
```

Solution: Виртуальные функции

```
class Grandma {
public:
  int f1() { return 1; }
  virtual int f2() { return 2; }
};

class Mom : public Grandma {
public:
  int f1() { return 3; }
  virtual int f2() { return 4; }
};

class Child : public Mom {
public:
  int f1() { return 5; }
  virtual int f2() { return 6; }
};
```

```
int main() {
    Grandma g;
    Mom m;
    Child c;
    Grandma *gPtr = &c;
    Mom *mPtr = &m;

A   cout << g.f2() << endl;        2
B   cout << m.f1() << endl;        3
C   cout << gPtr->f1() << endl;    1
D   cout << gPtr->f2() << endl;    6
E   cout << mPtr->f2() << endl;    4
    mPtr = &c;
F   cout << mPtr->f1() << endl;    3
G   cout << mPtr->f2() << endl;    6
}
```

Переопределение виртуальных функций

- **Виртуальные** функции **переопределяются** в наследуемом классе, сигнатура должна совпадать
- Это не то же самое что и **перегрузка**.
  - Перегрузка функций работает с функциями в одной области видимости.
  - Переопределение работает с функциями в одной иерархии наследования.

Переопределение vs. Перегрузка

- Переопределение
  - Позволяет наследникам переопределить поведение одного из наследуемых методов.
- Перегрузка
  - Позволяет существовать нескольким функциям с одинаковым именем, но с различными параметрами.

Неудобный класс Bird

- Действительно ли нужен класс описывающий “просто птицу”?
- В реальном мире птицы представлены намного разнообразнее.
- Функция `talk()` неудобная, зачем нужен вариант по умолчанию если все птицы должны говорить по своему:

```
class Bird {
private:
  int age;
  string name;

public:
  Bird(string name_in)
    : age(0), name(name_in) {
    cout << "Bird ctor" << endl;
  }
  ...
  virtual void talk() const {
    cout << "tweet" << endl;
  }

  virtual int getWingspan() const {
    return -1; // ???
  }
};
```

Чисто виртуальные функции

- Можно сделать функции **pure virtual**.
- Это значит что в базовом классе будет только объявление, но не реализация.
- Класс Bird превращается в абстрактный.
- Нельзя создать экземпляр базового класса, но это не нужно!
- Наследники должны **переопределить** виртуальные функции базового класса.

```
class Bird {
private:
  int age;
  string name;

public:
  Bird(string name_in)
    : age(0), name(name_in) {
    cout << "Bird ctor" << endl;
  }

  ...

  virtual void talk() const = 0;

  virtual int getWingspan()
    const = 0;
};
```

1 В противном случае класс наследник тоже будет являться абстрактным классом.

Зачем нужны чисто виртуальные функции?

- **Виртуальные функции** позволяют наследнику переопределить родительские функции, если нужно.
- **Чисто виртуальные функции** являются только объявлением и заставляют классы наследники написать реализацию функций.
- Например: У всех птиц есть параметр `Wingspan`, но не существует значения по умолчанию, в каждом классе наследнике оно свое.

```
class Bird {
public:
...
  virtual int getWingspan() const {
    return -1; // ???
  }
};
```

Не внушает доверия

```
class Bird {
public:
  virtual int getWingspan()
    const = 0;
};

int main() {
  Bird p;
}
```

Лучше

Ошибка, `Bird` является абстрактным.

Интерфейс

- **Интерфейс** - класс в котором все функции чисто виртуальные.

```
class Shape {
public:
  virtual double area() const = 0;
  virtual double perimeter() const = 0;
  virtual void scale(double s) = 0;
};
```

- Классы наследуемые от класса *Shape* (например *Triangle, Rectangle*) называются реализацией интерфейса Shape.

Exercise: Interfaces

Реализовать классы Circle Square

```
const double PI = 3.14159265;

class Shape {
public:
  virtual double area()
    const = 0;

  virtual double perimeter()
    const = 0;

  virtual void scale(double s) = 0;
};
```

```
int main() {
  Circle c(1.5);
  Square s(2.4);
  Shape *ptr = &c;

  ptr->scale(2);
  // result: 18.8496 28.2743
  cout << ptr->perimeter() << " "
       << ptr->area() << endl;

  ptr = &s;
  ptr->scale(0.5);
  // result: 4.8 1.44
  cout << ptr->perimeter() << " "
       << ptr->area() << endl;
}
```

```
class Square : public Shape {
private:
  double side;
public:
  Square(double s_in) : side(s_in) {
  }
  virtual double area() const {
    return side * side;
  }
  virtual double perimeter() const {
    return 4 * side;
  }
  virtual void scale(double s) {
    side *= s;
  }
};
```

```
int main() {
  Circle c(1.5);
  Square s(2.4);
  Shape *ptr = &c;

  ptr->scale(2);
  // result: 18.8496 28.2743
  cout << ptr->perimeter() << " "
       << ptr->area() << endl;

  ptr = &s;
  ptr->scale(0.5);
  // result: 4.8 1.44
  cout << ptr->perimeter() << " "
       << ptr->area() << endl;
}
```