

Динамическая диспетчеризация

Объектно-Ориентированное Программирование

Иван Трепаков

NSU

Полиморфизм

Полиморфизм — возможность функции с одним именем иметь разные реализации

Ad hoc полиморфизм

Ad hoc (букв. «к этому») — латинская фраза, означающая «для данного случая», «специально для этого».

Wikipedia

Ad hoc полиморфизм

Ad hoc (букв. «к этому») — латинская фраза, означающая «для данного случая», «специально для этого».

[Wikipedia](#)

- Выбор реализации делается в зависимости от количества и типов формальных параметров функции
 - Перегрузка функций в Java
 - Перегрузка операторов в C++

Полиморфизм

Ad hoc полиморфизм

Ad hoc (букв. «к этому») — латинская фраза, означающая «для данного случая», «специально для этого».

Wikipedia

- Выбор реализации делается в зависимости от количества и типов формальных параметров функции
 - Перегрузка функций в Java
 - Перегрузка операторов в C++

```
var x = ...;  
var y = ...;  
var z = x + y; // ???
```

Полиморфизм

Ad hoc полиморфизм

Ad hoc (букв. «к этому») — латинская фраза, означающая «для данного случая», «специально для этого».

[Wikipedia](#)

- Выбор реализации делается в зависимости от количества и типов формальных параметров функции
 - Перегрузка функций в Java
 - Перегрузка операторов в C++

```
var x = 1;      // int
var y = ...;
var z = x + y;  // ???
```

Полиморфизм

Ad hoc полиморфизм

Ad hoc (букв. «к этому») — латинская фраза, означающая «для данного случая», «специально для этого».

Wikipedia

- Выбор реализации делается в зависимости от количества и типов формальных параметров функции
 - Перегрузка функций в Java
 - Перегрузка операторов в C++

```
var x = 1;      // int
var y = 2;      // int
var z = x + y;  // ???
```

Полиморфизм

Ad hoc полиморфизм

Ad hoc (букв. «к этому») — латинская фраза, означающая «для данного случая», «специально для этого».

Wikipedia

- Выбор реализации делается в зависимости от количества и типов формальных параметров функции
 - Перегрузка функций в Java
 - Перегрузка операторов в C++

```
var x = 1;      // int
var y = 2;      // int
var z = x + y;  // 3 (int)
```


Полиморфизм

Ad hoc полиморфизм

Ad hoc (букв. «к этому») — латинская фраза, означающая «для данного случая», «специально для этого».

Wikipedia

- Выбор реализации делается в зависимости от количества и типов формальных параметров функции
 - Перегрузка функций в Java
 - Перегрузка операторов в C++

```
var x = 1;      // int
var y = 2.0;    // double
var z = x + y;  // ???
```

Ad hoc полиморфизм

Ad hoc (букв. «к этому») — латинская фраза, означающая «для данного случая», «специально для этого».

Wikipedia

- Выбор реализации делается в зависимости от количества и типов формальных параметров функции
 - Перегрузка функций в Java
 - Перегрузка операторов в C++

```
var x = 1;      // int
var y = 2.0;    // double
var z = x + y;  // 3.0 (double)
```

Ad hoc полиморфизм

Ad hoc (букв. «к этому») — латинская фраза, означающая «для данного случая», «специально для этого».

[Wikipedia](#)

- Выбор реализации делается в зависимости от количества и типов формальных параметров функции
 - Перегрузка функций в Java
 - Перегрузка операторов в C++

Ad hoc полиморфизм

Ad hoc (букв. «к этому») — латинская фраза, означающая «для данного случая», «специально для этого».

Wikipedia

- Выбор реализации делается в зависимости от количества и типов формальных параметров функции
 - Перегрузка функций в Java
 - Перегрузка операторов в C++

```
String add(int x, int y) {  
    return "ints: " + (x + y);  
}  
String add(String x, int y) {  
    return "mixed: " + (x + y);  
}  
String add(String x, String y) {  
    return "strings: " + (x + y);  
}
```

Ad hoc полиморфизм

Ad hoc (букв. «к этому») — латинская фраза, означающая «для данного случая», «специально для этого».

Wikipedia

- Выбор реализации делается в зависимости от количества и типов формальных параметров функции
 - Перегрузка функций в Java
 - Перегрузка операторов в C++

```
String add(int x, int y) {  
    return "ints: " + (x + y);  
}  
String add(String x, int y) {  
    return "mixed: " + (x + y);  
}  
String add(String x, String y) {  
    return "strings: " + (x + y);  
}  
add(1, 2)
```

Ad hoc полиморфизм

Ad hoc (букв. «к этому») — латинская фраза, означающая «для данного случая», «специально для этого». [Wikipedia](#)

- Выбор реализации делается в зависимости от количества и типов формальных параметров функции
 - Перегрузка функций в Java
 - Перегрузка операторов в C++

```
String add(int x, int y) {  
    return "ints: " + (x + y);  
}  
String add(String x, int y) {  
    return "mixed: " + (x + y);  
}  
String add(String x, String y) {  
    return "strings: " + (x + y);  
}  
add(1, 2) // ints: 3
```

Ad hoc полиморфизм

Ad hoc (букв. «к этому») — латинская фраза, означающая «для данного случая», «специально для этого». [Wikipedia](#)

- Выбор реализации делается в зависимости от количества и типов формальных параметров функции
 - Перегрузка функций в Java
 - Перегрузка операторов в C++

```
String add(int x, int y) {  
    return "ints: " + (x + y);  
}  
String add(String x, int y) {  
    return "mixed: " + (x + y);  
}  
String add(String x, String y) {  
    return "strings: " + (x + y);  
}  
add(1, 2) // ints: 3  
add("1", 2)
```

Ad hoc полиморфизм

Ad hoc (букв. «к этому») — латинская фраза, означающая «для данного случая», «специально для этого».

Wikipedia

- Выбор реализации делается в зависимости от количества и типов формальных параметров функции
 - Перегрузка функций в Java
 - Перегрузка операторов в C++

```
String add(int x, int y) {  
    return "ints: " + (x + y);  
}  
String add(String x, int y) {  
    return "mixed: " + (x + y);  
}  
String add(String x, String y) {  
    return "strings: " + (x + y);  
}  
add(1, 2) // ints: 3  
add("1", 2) // mixed: 12
```


Ad hoc полиморфизм

Ad hoc (букв. «к этому») — латинская фраза, означающая «для данного случая», «специально для этого».

Wikipedia

- Выбор реализации делается в зависимости от количества и типов формальных параметров функции
 - Перегрузка функций в Java
 - Перегрузка операторов в C++

```
String add(int x, int y) {  
    return "ints: " + (x + y);  
}  
String add(String x, int y) {  
    return "mixed: " + (x + y);  
}  
String add(String x, String y) {  
    return "strings: " + (x + y);  
}  
add(1, 2) // ints: 3  
add("1", 2) // mixed: 12  
add("1", "2")
```

Ad hoc полиморфизм

Ad hoc (букв. «к этому») — латинская фраза, означающая «для данного случая», «специально для этого».

Wikipedia

- Выбор реализации делается в зависимости от количества и типов формальных параметров функции
 - Перегрузка функций в Java
 - Перегрузка операторов в C++

```
String add(int x, int y) {  
    return "ints: " + (x + y);  
}  
String add(String x, int y) {  
    return "mixed: " + (x + y);  
}  
String add(String x, String y) {  
    return "strings: " + (x + y);  
}  
add(1, 2) // ints: 3  
add("1", 2) // mixed: 12  
add("1", "2") // strings: 12
```

Параметрический полиморфизм

Параметрический полиморфизм

- Реализация функции использует *обобщенный* параметр
 - Generics в Java
 - Templates в C++
 - Type classes в Haskell
- Можно задавать дополнительные ограничения на обобщенный тип
- *Подробнее на следующей лекции*

Параметрический полиморфизм

- Реализация функции использует *обобщенный* параметр
 - Generics в Java
 - Templates в C++
 - Type classes в Haskell
- Можно задавать дополнительные ограничения на обобщенный тип
- *Подробнее на следующей лекции*

```
static <T, S> T foo(T x, S y) {  
    return x;  
}
```

```
static <T extends I> boolean bar(I x, I y) {  
    return x.test(y);  
}
```

```
interface I {  
    boolean test(I x);  
}
```

Полиморфизм подтипов

- Отношение подтипа $S <: T$
*Любое значение типа S является значением
типа T*

Полиморфизм подтипов

- Отношение подтипа $S <: T$
Любое значение типа S является значением типа T
- В объектно-ориентированных языках отношение подтипа обычно совпадает с отношением наследования

Полиморфизм подтипов

- Отношение подтипа $S <: T$
Любое значение типа S является значением типа T
- В объектно-ориентированных языках отношение подтипа обычно совпадает с отношением наследования
- Выбор реализации делается в зависимости от реального типа объекта *receiver* в момент исполнения вызова
 - Виртуальные методы
 - Переопределение методов

Полиморфизм подтипов

- Отношение подтипа $S <: T$
Любое значение типа S является значением типа T
- В объектно-ориентированных языках отношение подтипа обычно совпадает с отношением наследования
- Выбор реализации делается в зависимости от реального типа объекта *receiver* в момент исполнения вызова
 - Виртуальные методы
 - Переопределение методов

```
class A {  
    void foo() { println("A.foo"); }  
}  
class B extends A {  
    void foo() { println("B.foo"); }  
}  
class C extends A { }
```

Полиморфизм подтипов

- Отношение подтипа $S <: T$
Любое значение типа S является значением типа T
- В объектно-ориентированных языках отношение подтипа обычно совпадает с отношением наследования
- Выбор реализации делается в зависимости от реального типа объекта *receiver* в момент исполнения вызова
 - Виртуальные методы
 - Переопределение методов

```
class A {  
    void foo() { println("A.foo"); }  
}  
class B extends A {  
    void foo() { println("B.foo"); }  
}  
class C extends A { }  
  
A x = ...;  
x.foo();    // ???
```

Полиморфизм подтипов

- Отношение подтипа $S <: T$
Любое значение типа S является значением типа T
- В объектно-ориентированных языках отношение подтипа обычно совпадает с отношением наследования
- Выбор реализации делается в зависимости от реального типа объекта *receiver* в момент исполнения вызова
 - Виртуальные методы
 - Переопределение методов

```
class A {  
    void foo() { println("A.foo"); }  
}  
class B extends A {  
    void foo() { println("B.foo"); }  
}  
class C extends A { }  
  
A x = ...; // new A()  
x.foo();   // ???
```

Полиморфизм подтипов

- Отношение подтипа $S <: T$
Любое значение типа S является значением типа T
- В объектно-ориентированных языках отношение подтипа обычно совпадает с отношением наследования
- Выбор реализации делается в зависимости от реального типа объекта *receiver* в момент исполнения вызова
 - Виртуальные методы
 - Переопределение методов

```
class A {  
    void foo() { println("A.foo"); }  
}  
class B extends A {  
    void foo() { println("B.foo"); }  
}  
class C extends A { }  
  
A x = ...; // new A()  
x.foo();   // A.foo
```

Полиморфизм подтипов

- Отношение подтипа $S <: T$
Любое значение типа S является значением типа T
- В объектно-ориентированных языках отношение подтипа обычно совпадает с отношением наследования
- Выбор реализации делается в зависимости от реального типа объекта *receiver* в момент исполнения вызова
 - *Виртуальные методы*
 - *Переопределение методов*

```
class A {  
    void foo() { println("A.foo"); }  
}  
class B extends A {  
    void foo() { println("B.foo"); }  
}  
class C extends A { }  
  
A x = ...; // new B()  
x.foo();   // ???
```

Полиморфизм подтипов

- Отношение подтипа $S <: T$
Любое значение типа S является значением типа T
- В объектно-ориентированных языках отношение подтипа обычно совпадает с отношением наследования
- Выбор реализации делается в зависимости от реального типа объекта *receiver* в момент исполнения вызова
 - *Виртуальные методы*
 - *Переопределение методов*

```
class A {  
    void foo() { println("A.foo"); }  
}  
class B extends A {  
    void foo() { println("B.foo"); }  
}  
class C extends A { }  
  
A x = ...; // new B()  
x.foo();   // B.foo
```

Полиморфизм подтипов

- Отношение подтипа $S <: T$
Любое значение типа S является значением типа T
- В объектно-ориентированных языках отношение подтипа обычно совпадает с отношением наследования
- Выбор реализации делается в зависимости от реального типа объекта *receiver* в момент исполнения вызова
 - *Виртуальные методы*
 - *Переопределение методов*

```
class A {  
    void foo() { println("A.foo"); }  
}  
class B extends A {  
    void foo() { println("B.foo"); }  
}  
class C extends A { }  
  
A x = ...; // new C()  
x.foo();   // ???
```

Полиморфизм подтипов

- Отношение подтипа $S <: T$
Любое значение типа S является значением типа T
- В объектно-ориентированных языках отношение подтипа обычно совпадает с отношением наследования
- Выбор реализации делается в зависимости от реального типа объекта *receiver* в момент исполнения вызова
 - Виртуальные методы
 - Переопределение методов

```
class A {  
    void foo() { println("A.foo"); }  
}  
class B extends A {  
    void foo() { println("B.foo"); }  
}  
class C extends A { }  
  
A x = ...; // new C()  
x.foo();   // A.foo
```


Полиморфизм

Полиморфизм — возможность функции с одним именем иметь разные реализации

Полиморфизм

Полиморфизм — возможность функции с одним именем иметь разные реализации
Диспетчеризация — процесс выбора реализации полиморфной функции

Статическая диспетчеризация

- Реализация известна до исполнения
 - Прямой вызов (например статический)
 - Перегрузка
 - *Девиртуализация* в компиляторе
 - Эффективно без поддержки среды исполнения
-

Статическая диспетчеризация

- Реализация известна до исполнения
 - Прямой вызов (например статический)
 - Перегрузка
 - *Девиртуализация* в компиляторе
- Эффективно без поддержки среды исполнения

`C.foo()` \longrightarrow `call &C::foo()`

Диспетчеризация

Статическая диспетчеризация

- Реализация известна до исполнения
 - Прямой вызов (например статический)
 - Перегрузка
 - *Девиртуализация* в компиляторе
- Эффективно без поддержки среды исполнения

Динамическая диспетчеризация

- Реализация известна только во время исполнения конкретного вызова
 - Виртуальный вызов
 - Интерфейсный вызов
- Требуется поддержка среды исполнения

`C.foo()` \longrightarrow `call &C::foo()`

Диспетчеризация

Статическая диспетчеризация

- Реализация известна до исполнения
 - Прямой вызов (например статический)
 - Перегрузка
 - *Девиртуализация* в компиляторе
- Эффективно без поддержки среды исполнения

`C.foo()` \longrightarrow `call &C::foo()`

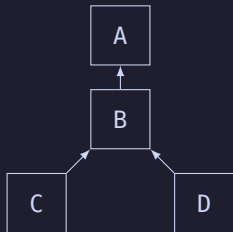
Динамическая диспетчеризация

- Реализация известна только во время исполнения конкретного вызова
 - Виртуальный вызов
 - Интерфейсный вызов
- Требуется поддержка среды исполнения

`x.foo()` \longrightarrow ???

Наследование

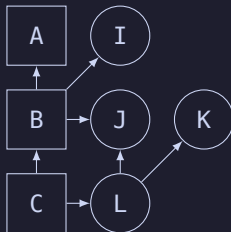
Одиночное



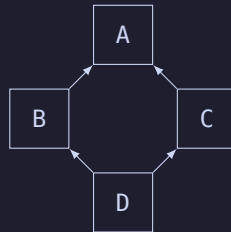
simula



Интерфейсное



Множественное



Диспетчеризация виртуальных методов

Таблица виртуальных методов

Virtual Method Table, VMT, vtable



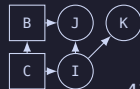
Диспетчеризация виртуальных методов

Таблица виртуальных методов

Virtual Method Table, VMT, vtable

- Массив с адресами реализаций виртуальных методов класса

VMT _C
&B::a()
&C::b()
&K::c()



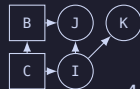
Диспетчеризация виртуальных методов

Таблица виртуальных методов

Virtual Method Table, VMT, vtable

- Массив с адресами реализаций виртуальных методов класса
- Таблицы подклассов расширяют таблицу суперкласса

VMТ _C	VMТ _B
&B::a()	&B::a()
&C::b()	&I::b()
&K::c()	

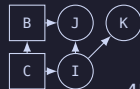
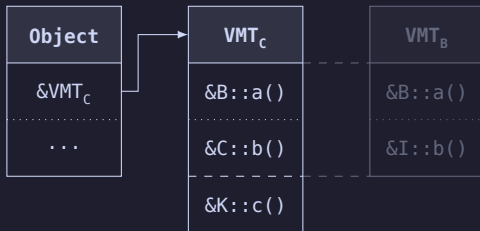


Диспетчеризация виртуальных методов

Таблица виртуальных методов

Virtual Method Table, VMT, vtable

- Массив с адресами реализаций виртуальных методов класса
- Таблицы подклассов расширяют таблицу суперкласса
- Таблица доступна напрямую из каждого объекта класса

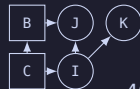
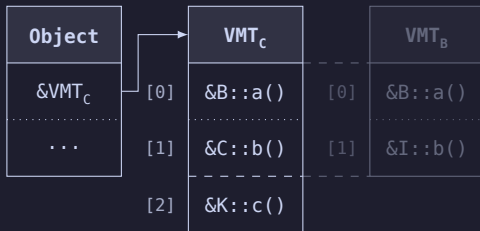


Диспетчеризация виртуальных методов

Таблица виртуальных методов

Virtual Method Table, VMT, vtable

- Массив с адресами реализаций виртуальных методов класса
- Таблицы подклассов расширяют таблицу суперкласса
- Таблица доступна напрямую из каждого объекта класса
- Для каждого виртуального метода можно определить *виртуальный номер*



Диспетчеризация виртуальных методов

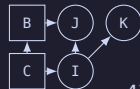
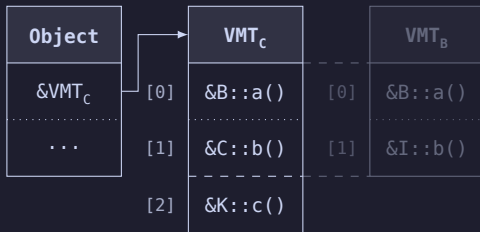
Таблица виртуальных методов

Virtual Method Table, VMT, vtable

- Массив с адресами реализаций виртуальных методов класса
- Таблицы подклассов расширяют таблицу суперкласса
- Таблица доступна напрямую из каждого объекта класса
- Для каждого виртуального метода можно определить *виртуальный номер*

Виртуальный вызов $x.b()$

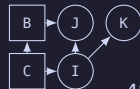
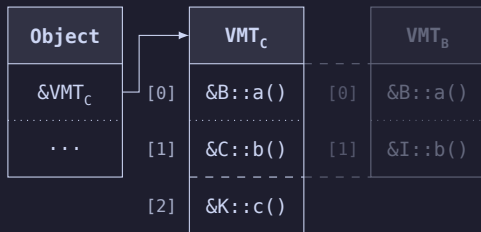
```
// Формальный тип  $x$  - класс  $B$   
call  $x.vmt[vnum_{B,b}]$ 
```



Диспетчеризация интерфейсных методов

Таблица интерфейсных методов

Interface Method Table, IMT, itable

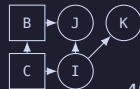
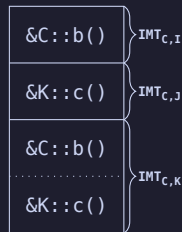
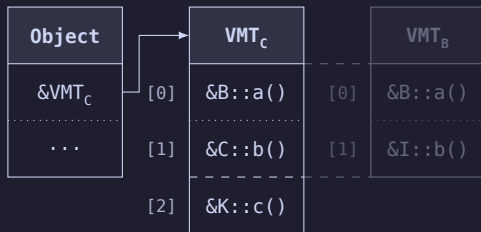


Диспетчеризация интерфейсных методов

Таблица интерфейсных методов

Interface Method Table, IMT, itable

- Массив с адресами реализаций методов

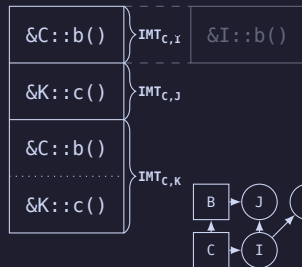
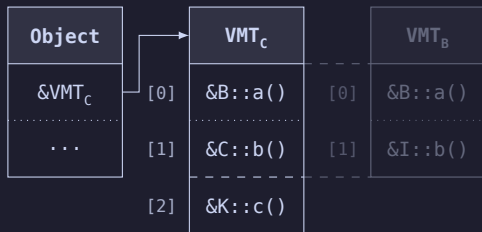


Диспетчеризация интерфейсных методов

Таблица интерфейсных методов

Interface Method Table, IMT, itable

- Массив с адресами реализаций методов
- Раскладка фиксирована во всех реализующих классах

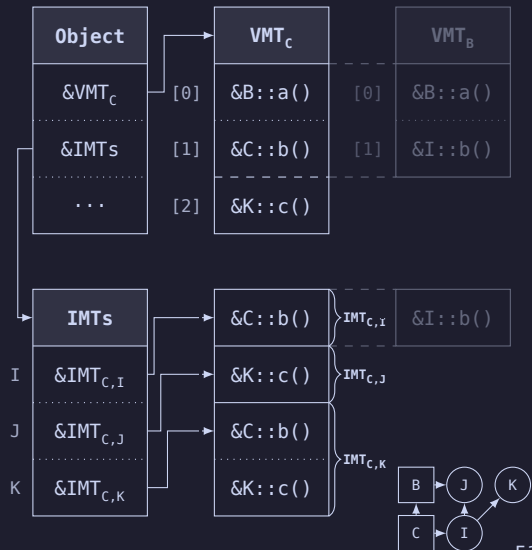


Диспетчеризация интерфейсных методов

Таблица интерфейсных методов

Interface Method Table, IMT, itable

- Массив с адресами реализаций методов
- Раскладка фиксирована во всех реализующих классах
- Таблицы доступны из каждого объекта

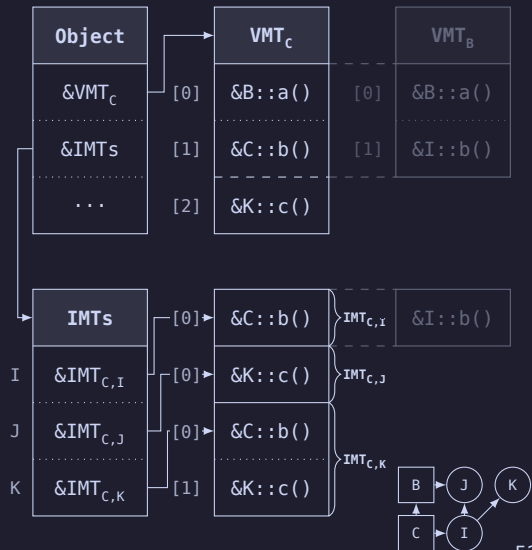


Диспетчеризация интерфейсных методов

Таблица интерфейсных методов

Interface Method Table, IMT, itable

- Массив с адресами реализаций методов
- Раскладка фиксирована во всех реализующих классах
- Таблицы доступны из каждого объекта
- Для каждого интерфейсного метода можно определить *виртуальный номер*

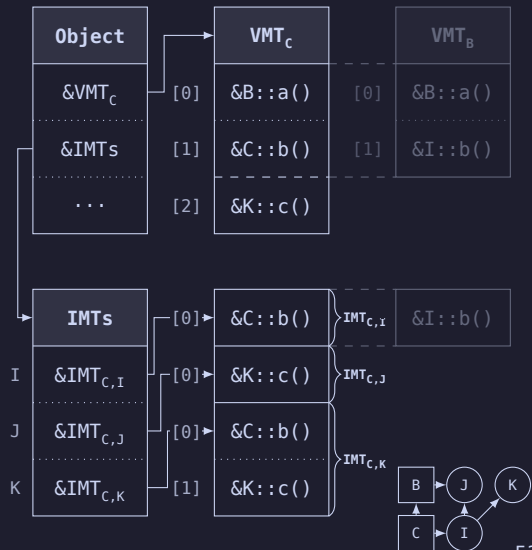


Диспетчеризация интерфейсных методов

Таблица интерфейсных методов

Interface Method Table, IMT, itable

- Массив с адресами реализаций методов
- Раскладка фиксирована во всех реализующих классах
- Таблицы доступны из каждого объекта
- Для каждого интерфейсного метода можно определить *виртуальный номер*
- Необходим поиск нужной таблицы



Диспетчеризация интерфейсных методов

Таблица интерфейсных методов

Interface Method Table, IMT, itable

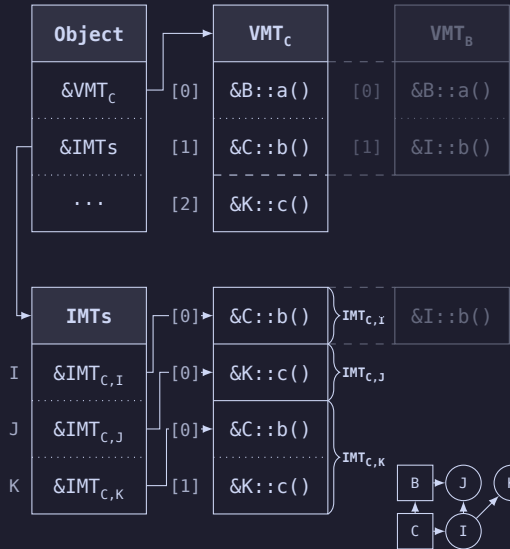
- Массив с адресами реализаций методов
- Раскладка фиксирована во всех реализующих классах
- Таблицы доступны из каждого объекта
- Для каждого интерфейсного метода можно определить *виртуальный номер*
- Необходим поиск нужной таблицы

Интерфейсный вызов $x.b()$

// Формальный тип x - интерфейс I

$imt_{C,I} = x.imts.find(\&I)$

call $imt_{C,I}[vnum_{I,b}]$



Заключение

Что узнали?

- Виды полиморфизма
 - Ad hoc полиморфизм
 - Параметрический полиморфизм
 - Полиморфизм подтипов
- Виды диспетчеризации
 - Статическая
 - Динамическая
- Реализация динамической диспетчеризации
 - Таблица виртуальных методов для одиночного наследования
 - Таблица интерфейсных методов для интерфейсного наследования

Заключение

Что узнали?

- Виды полиморфизма
 - Ad hoc полиморфизм
 - Параметрический полиморфизм
 - Полиморфизм подтипов
- Виды диспетчеризации
 - Статическая
 - Динамическая
- Реализация динамической диспетчеризации
 - Таблица виртуальных методов для одиночного наследования
 - Таблица интерфейсных методов для интерфейсного наследования

Что осталось за кадром?

- Параметрический полиморфизм на следующей лекции
- Диспетчеризации в полноценном множественном наследовании (например, в C++)
- Оптимизации компилятора
 - Открытая подстановка
 - Девиртуализация
 - Условная девиртуализация
 - Profile-Guided Optimization (PGO)
- Оптимизации времени исполнения
 - Polymorphic inline cache (PIC)
 - Профилировка
 - Деоптимизация

Q&A