Динамическая диспетчеризация

Объектно-Ориентированное Программирование

Иван Трепаков

NSU

Полиморфизм

Полиморфизм — возможность функции с одним именем обрабатывать данные разных типов

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++
  - Type classes в Haskell

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++
  - Type classes в Haskell

```
var x = ...;
var y = ...;
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++
  - Type classes в Haskell

```
var x = 1;      // int
var y = ...;
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++
  - Type classes в Haskell

```
var x = 1;     // int
var y = 2;     // int
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++
  - Type classes в Haskell

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

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++
  - Type classes в Haskell

```
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++
  - Type classes в Haskell

```
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++
  - Type classes в Haskell

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++
  - Type classes в Haskell

```
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++
  - Type classes в Haskell

```
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++
  - Type classes в Haskell

```
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++
  - Type classes в Haskell

```
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++
  - Type classes в Haskell

```
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++
  - Type classes в Haskell

```
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++
  - Type classes в Haskell

```
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++
- Можно задавать дополнительные ограничения на обобщенный тип
- *Подробнее на следующей лекции*

Параметрический полиморфизм

- Реализация функции использует *обобщенный* параметр
  - Generics в Java
  - Templates в C++
- 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 обрабатывать данные разных типов

Полиморфизм

Полиморфизм — возможность функции с одним именем обрабатывать данные разных типов

Диспетчеризация — процесс выбора реализации полиморфной функции

Диспетчеризация

Статическая диспетчеризация

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

Диспетчеризация

Статическая диспетчеризация

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

```
C.foo()  ⟶  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
- Требует поддержки среды исполнения

```
C.foo()  ⟶  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

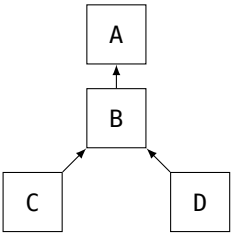
- Реализация известна только во время исполнения конкретного вызова
  - Виртуальный вызов
  - Интерфейсный вызов
- Требует поддержки среды исполнения

`C.foo()` ⟶ `call &C::foo()`

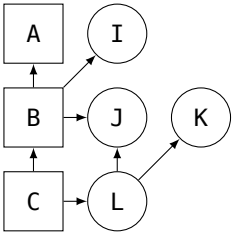
`x.foo()` ⟶ `???`

Наследование

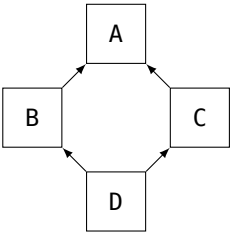
Одиночное



Интерфейсное



Множественное



simula

Java

OCaml

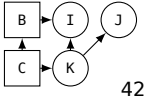
Eiffel

Диспетчеризация виртуальных методов

Диспетчеризация виртуальных методов

Таблица виртуальных методов

Virtual Method Table, VMT, vtable

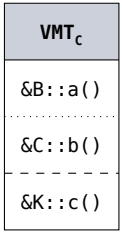


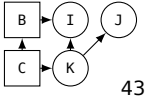
Диспетчеризация виртуальных методов

Таблица виртуальных методов

Virtual Method Table, VMT, vtable

- Массив с адресами реализаций виртуальных методов класса



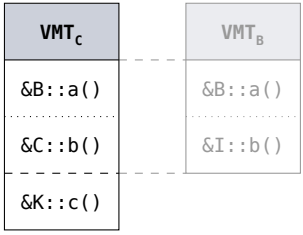


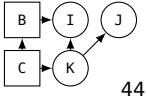
Диспетчеризация виртуальных методов

Таблица виртуальных методов

Virtual Method Table, VMT, vtable

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



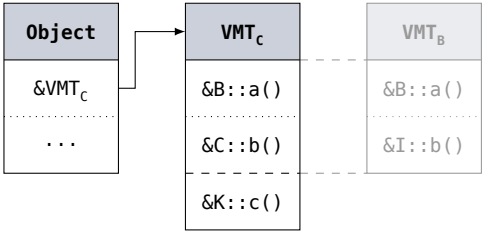


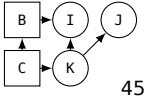
Диспетчеризация виртуальных методов

Таблица виртуальных методов

Virtual Method Table, VMT, vtable

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



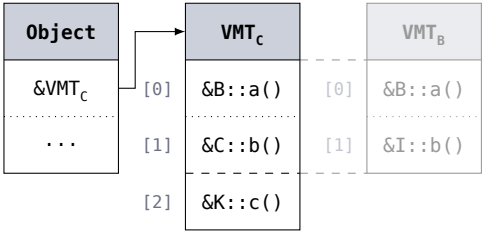


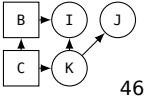
Диспетчеризация виртуальных методов

Таблица виртуальных методов

Virtual Method Table, VMT, vtable

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





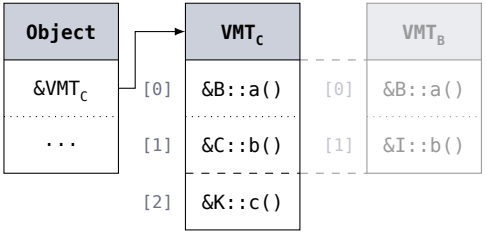
Диспетчеризация виртуальных методов

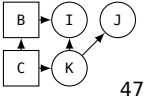
Таблица виртуальных методов

Virtual Method Table, VMT, vtable

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

Виртуальный вызов `x.b()`



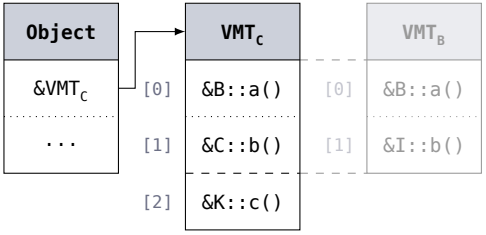


Диспетчеризация виртуальных методов

Таблица виртуальных методов

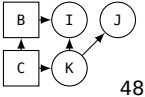
Virtual Method Table, VMT, vtable

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



Виртуальный вызов `x.b()`

```
invokevirtual #1 // Method B.b:()V
```

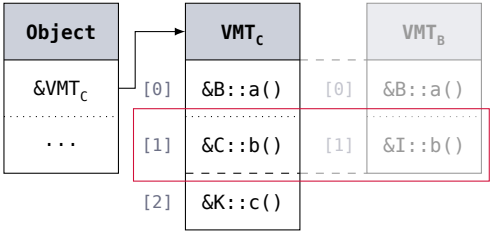


Диспетчеризация виртуальных методов

Таблица виртуальных методов

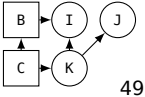
Virtual Method Table, VMT, vtable

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



Виртуальный вызов `x.b()`

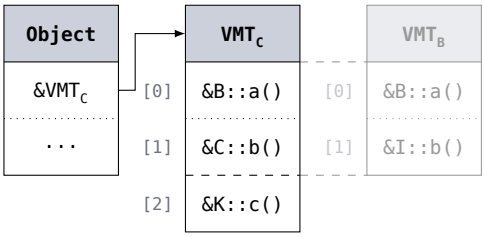
```
invokevirtual #1 // Method B.b:()V

call x.vmt[vnum_B,b]
```

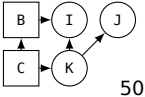


Диспетчеризация интерфейсных методов

Таблица интерфейсных методов

Interface Method Table, IMT, itable



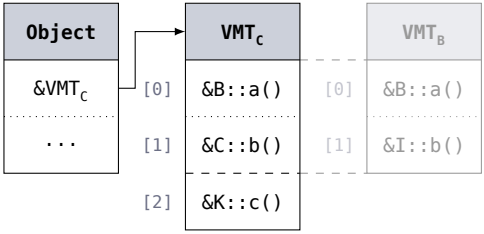


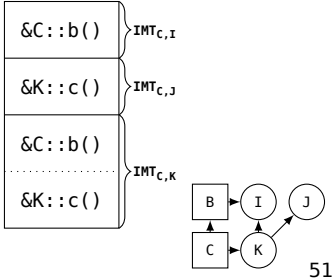
Диспетчеризация интерфейсных методов

Таблица интерфейсных методов

Interface Method Table, IMT, itable

- Массив с адресами реализаций методов



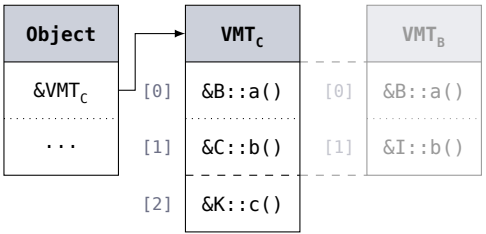


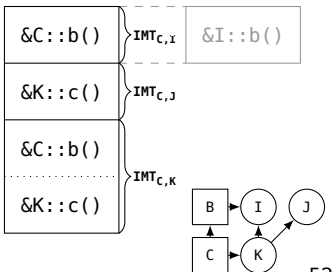
Диспетчеризация интерфейсных методов

Таблица интерфейсных методов

Interface Method Table, IMT, itable

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



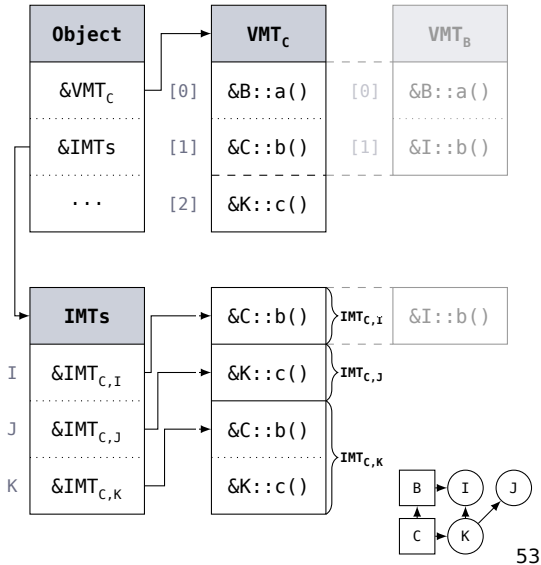


Диспетчеризация интерфейсных методов

Таблица интерфейсных методов

Interface Method Table, IMT, itable

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

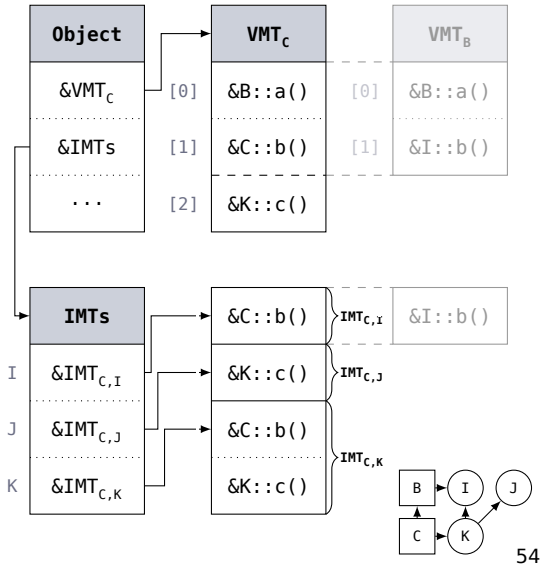


Диспетчеризация интерфейсных методов

Таблица интерфейсных методов

Interface Method Table, IMT, itable

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

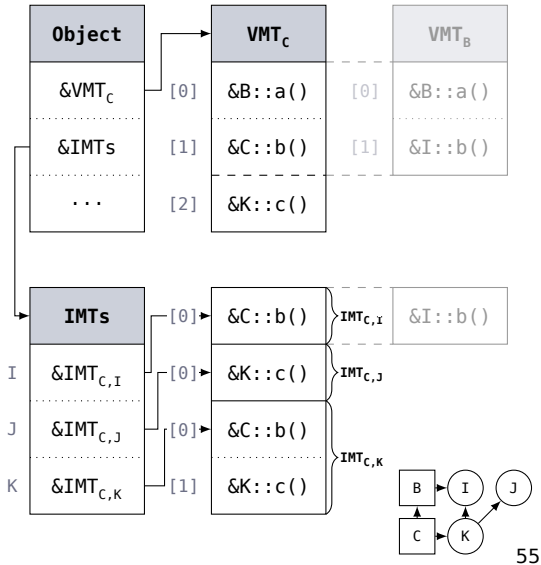


Диспетчеризация интерфейсных методов

Таблица интерфейсных методов

Interface Method Table, IMT, itable

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



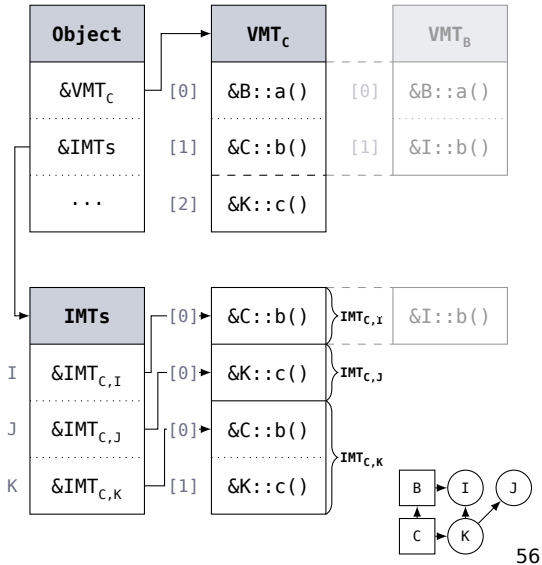
Диспетчеризация интерфейсных методов

Таблица интерфейсных методов

Interface Method Table, IMT, itable

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

Интерфейсный вызов `x.b()`



Диспетчеризация интерфейсных методов

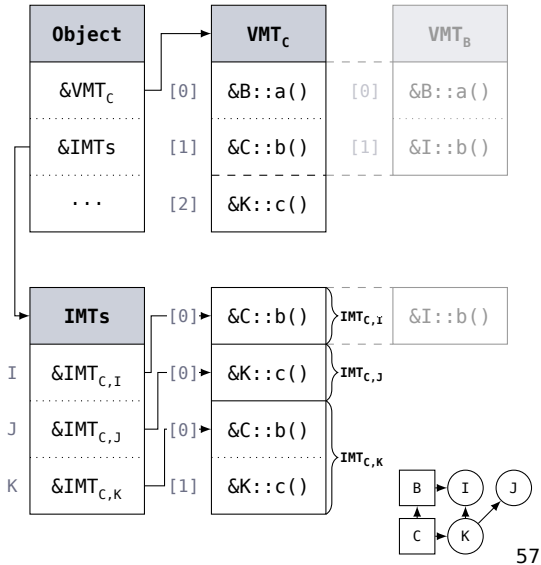
Таблица интерфейсных методов

Interface Method Table, IMT, itable

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

Интерфейсный вызов `x.b()`

```
invokeinterface #1, 1 // Method I.b:()V
```



Диспетчеризация интерфейсных методов

Таблица интерфейсных методов

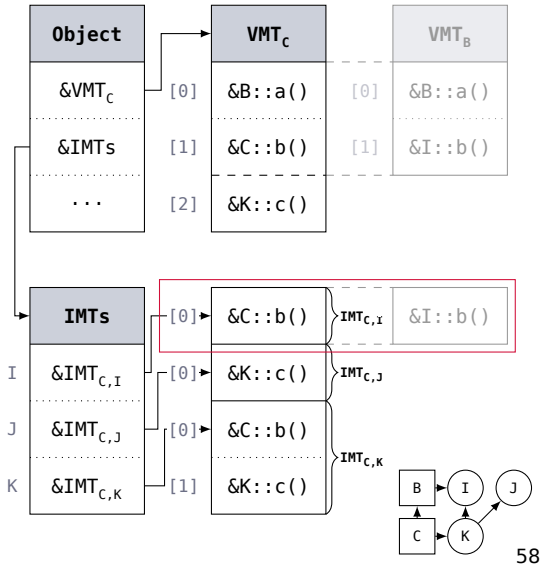
Interface Method Table, IMT, itable

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

Интерфейсный вызов x.b()

```
invokeinterface #1, 1 // Method I.b:()V
```

$imt_{C,I}$ = lookupIMT(x, &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