Лекция 26 (продолжение)

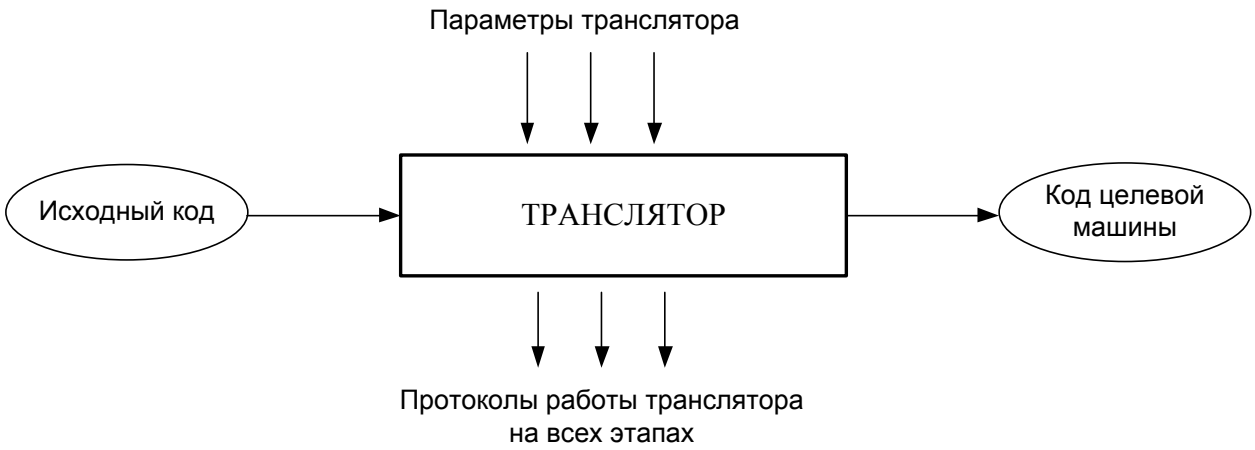
БГТУ, ФИТ, ПОИТ, 3 семестр
Конструирование программного обеспечения

Генерация кода. Jit-компиляторы.

Подходы к разработке трансляторов:

- часть операционной системы;
- для аппаратной платформы (ассемблер);
- реализации для одной программной платформы;
- реализация для одной программой платформы, но для разных процессоров;
- интерпретаторы;
- несколько реализаций для разных платформ;
- кроссплатформенные реализации (Java);
- **компиляторы-интерпретаторы (компиляция + интерпретация);**
- разработка стандарта и стандартизация (Java, C++,C#)

1. Общая схема транслятора:

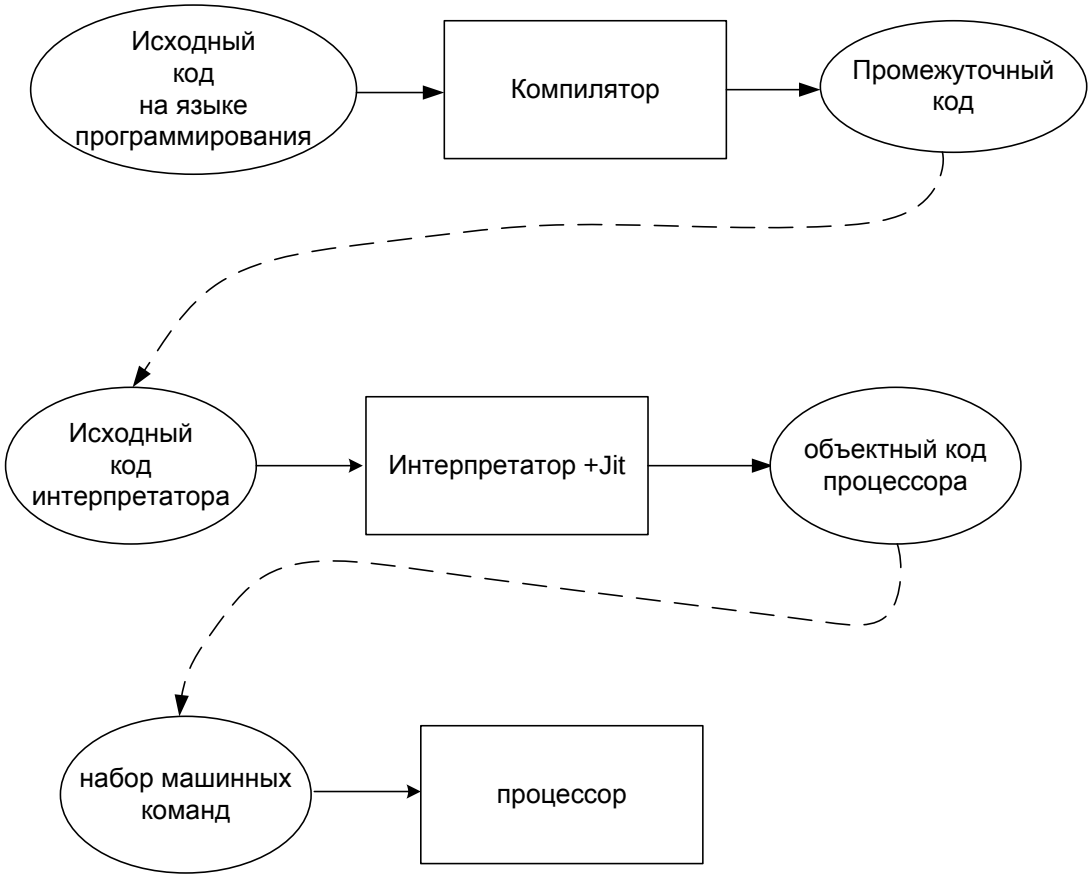


	Исходный код:		**Целевой код:**
–	C, C++, Fortran, Java	→	ассемблер целевой машины
–	LaTeX: текст с макрокомандами	→	.DVI файл
–	Компиляторы VHDL (язык описания устройств на сверх больших интегральных схемах (СБИС)	→	схема чипа
–	SQL	→	план выполнения запроса
–	Естественный язык1 (английский)	→	естественный язык2 (русский)

2. Компиляторы-интерпретаторы

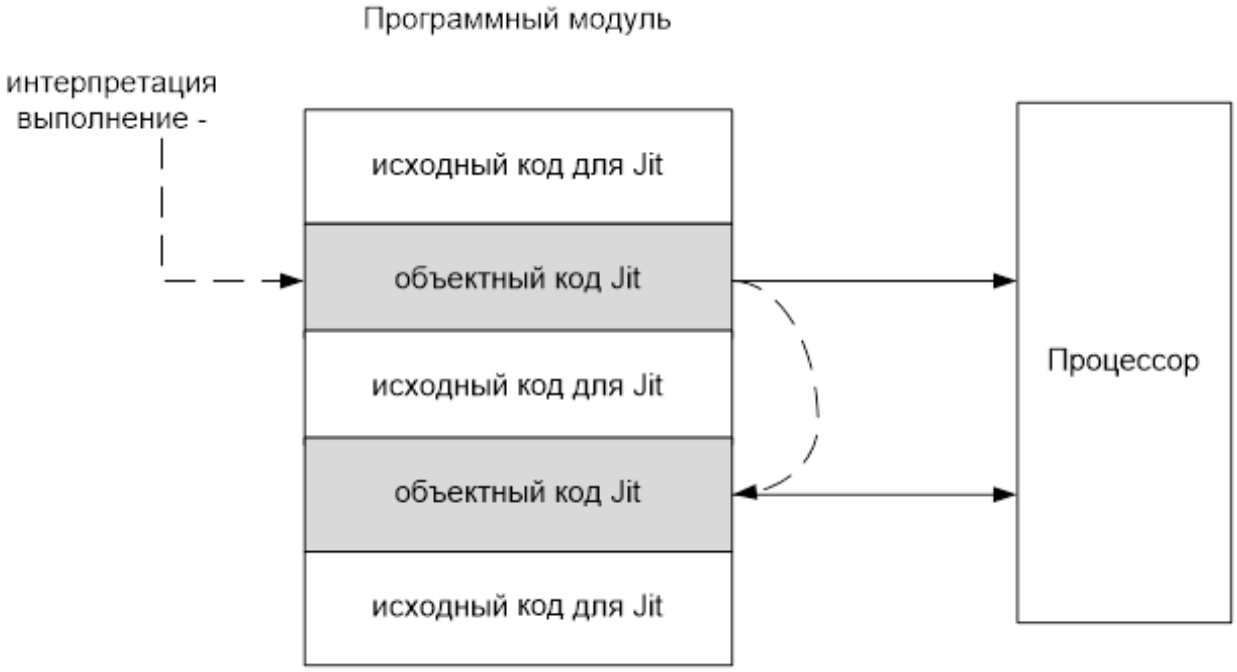
Jit-трансляторы: сначала генерируется промежуточный код, затем он компилируется в объектный код аппаратной платформы.

Jit-трансляторы могут осуществлять частичную трансляцию по мере необходимости.

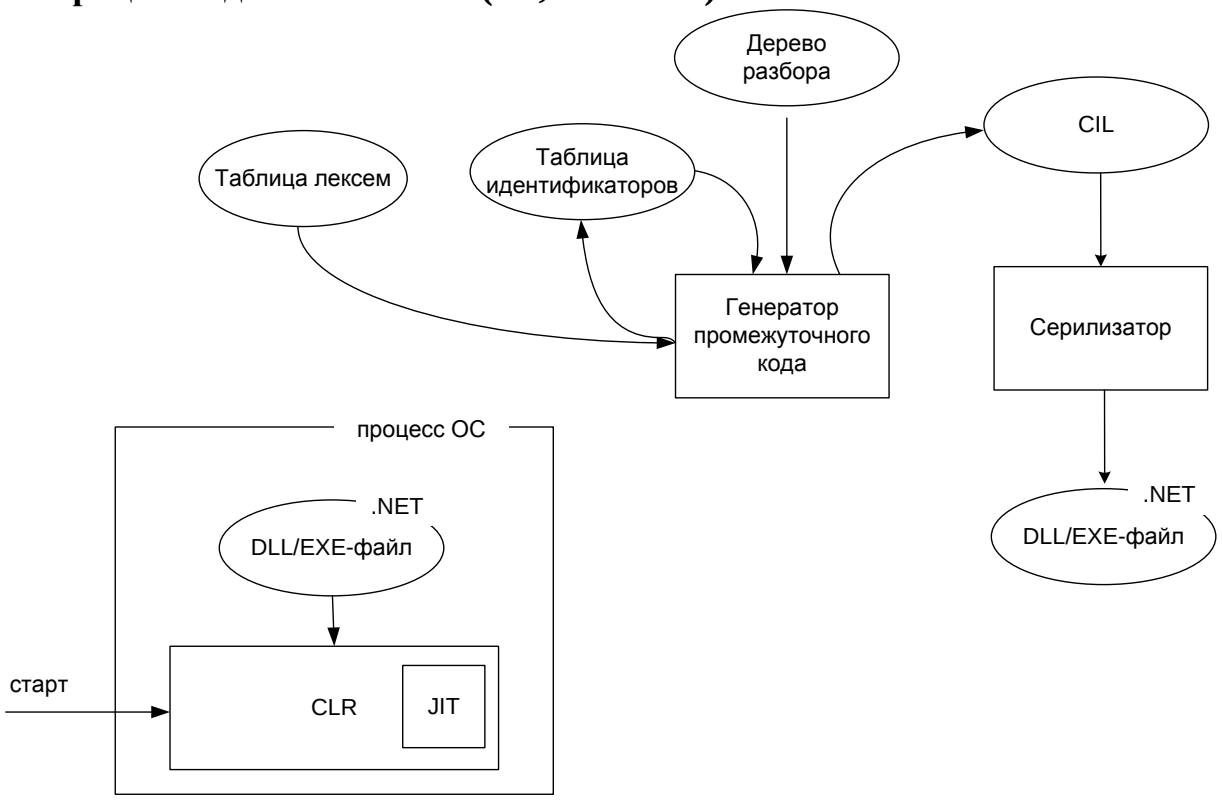


3. Частичная компиляция

После внесения изменений компилируются только те части программы, которые были модифицированы после предыдущей компиляции.



4. Генерация кода языка .NET (C#, VB.NET)

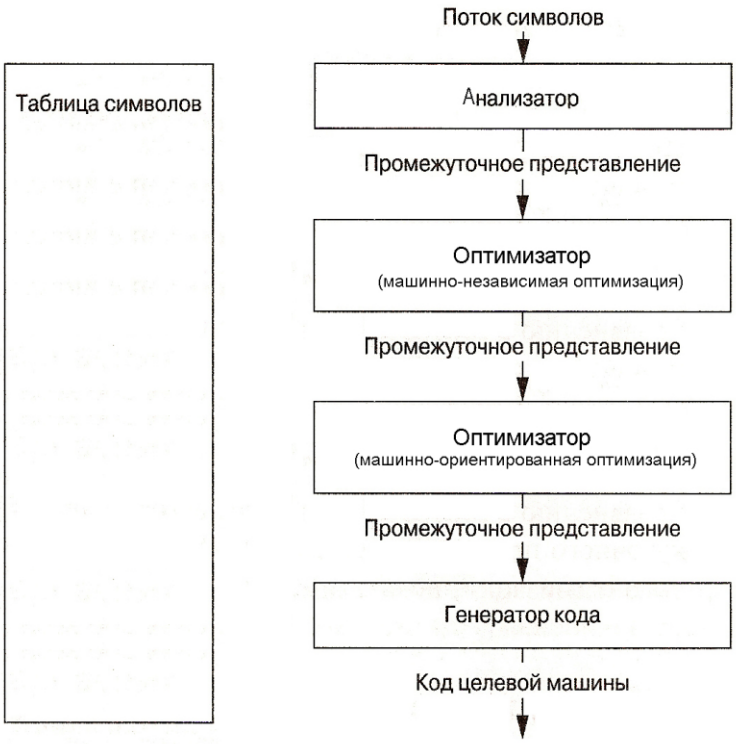


5. Виды компиляции: статическая, динамическая компиляция

- статическая компиляция:
  - AOT (***ahead-of-time***) компиляция;
  - Исходный код → Нативный код;
  - основные действия до выполнения;
- динамическая компиляция:
  - «just-in-time» компиляция;
  - Исходный код → Байт-код →Интерпретатор + JIT;
  - значительная часть работы выполняется во время выполнения.

5.1.Статическая компиляция: оперирует Исходным кодом.

Структура статического оптимизирующего компилятора:



Задачи оптимизирующих компиляторов:

- по коду программы на исходном языке можно построить множество семантически эквивалентных ей программ на целевом языке;
- получить целевую программу, оптимальную по некоторому критерию:
  - скорость выполнения;
  - размер кода (например, для мобильных устройств);
  - минимальное энергопотребление (мобильные устройства,…);
  - и т.п.

5.2.Динамическая компиляция

Профилирование – это сборка информации о коде.

Цель профилировки – исследовать характер поведения приложения во всех его точках.

«`Точка`» – отдельная машинная команда или конструкция языка высокого уровня (например: функция, цикл или одна строка исходного текста).

Профилировщик определяет:

- общее время исполнения каждой точки программы;
- удельное время исполнения каждой точки программы;
- причины и/или источника конфликтов и пенальти (penalty information);
- количество вызовов той или иной точки программы;
- степени покрытия программы.

6. JIT-компиляция

Java-компилятор `javac` преобразует исходный код на языке Java в переносимый байт-код JVM, который является «инструкциями» для JVM.

Преимущества JIT-компилятора:

- выполняет оптимизацию кода;
- может использовать внутреннее представление, более подходящее для оптимизаций, чем непосредственно байт-код;
- оптимизирует программу под конкретные входные данные (профиль программы собирается «на лету»)
- перекомпилирует программу, если профиль изменился.

Недостатки JIT-компилятора:

- возрастают затраты ресурсов на компиляцию;
- увеличивается время старта;
- ограничен в сложности выполняемых оптимизаций, т.к. не должен задерживать выполнение программы;
- высокая вероятность ошибки, связанной с нарушением семантики пользовательского кода.

Особенности:

- инкапсуляция
- наследование
- полиморфизм
- неопределенное время жизни объектов

Реализуется через вызовы методов для доступа к данным

Особенности систем управляемого исполнения:

- промежуточный код (Byte Code)
  - сокрытие семантики исходного кода
- ленивая загрузка классов
  - неполный граф вызовов во время компиляции
- JIT-компилятор является частью среды
  - возможность перекомпиляции при загрузке новых классов и изменении характера нагрузки
- компиляция происходит параллельно с выполнением
  - требуется учитывать время компиляции
  - за раз компилируется небольшой блок кода

Пример.

Пусть в программе используется метод `Integer.bitCount(int)`, который подсчитывает количество битов в целом числе, установленных в 1 (единицу).

- на многих процессорах есть ***готовая инструкция***, которая делает то же самое – это одна машинная команда.
- при использовании ***библиотечной функции Integer.bigCount()*** – JIT подменяет все её вызовы внутренними функциями. Список ***intrinsic***-функций (внутренних функций) для каждого процессора свой.

JIT-компилятор собирает информацию об архитектуре, на которой он запущен и на ее основании определяет, что для метода `Integer.bitCount(int)` есть конкретная команда процессора (в JIT есть список ***intrinsic***-функций для данного процессора).

```
if (funcName == "Integer.bitCount"  && CPU == x86)
  useIntrinsic()
else
  useNormalFunc()
```

Другой пример – Method `inlining`:

```
boolean hasBoobs(String str) {
  if (str == null)
    return false
  else
    return str.indexOf("Boobs") > 0
}

    for (i in 1..1000000) {
        hasBoobs(some string...);
    }
```

→

```
  for (i in 1..1000000) {
    if (str == null)
      return false
    else
    // тело метода indexOf()
  }
```

В примере 1 миллион раз вызывается метод `hasBoobs()`, который, в свою очередь, вызывает другой метод – `indexOf()`. Прямо в рантайме код метода `indexOf()` встраивается в `else` часть условия.

Пример. Оптимизация виртуальных вызовов (***virtual call inlining***).

Есть интерфейс `Animal` с методом – `walk()` и две его реализации для классов `Cat` и `Dog`:

```
class Cat implements Animal {
   void walk() {
   ….
   }
}
```

```
class Dog implements Animal {
  void walk() {
   …
  }
}
```

Возможное использование в коде:

```
Animal animal = ….
animal.walk()
```

Вопрос - метод какого класса надо вызвать `Cat` или `Dog`?

В рантайме JIT-компилятор точно знает экземпляр какого класса в переменной `animal`. Этот объект уже создан и работает. Например: в переменной `animal` хранится экземпляр класса `Cat`, следовательно можно не делать вызов виртуальной функции, а прямо вставить вызов конкретного метода `Cat.walk()`.

Многоуровневый JIT:

- 1-й уровень: быстрый — интерпретатор — выполняет простые оптимизации, после которых сразу же начинает выполнять байт-код и собирать профиль;
- 2-й уровень: оптимизирует только «горячие» места, выполняет более сложные оптимизации по профилю, при этом, собственное внутреннее представление, может быть спекулятивным;
- обеспечивает переключение между уровнями при изменении профиля.

Особенности JIT

Спекулятивный JIT:

- специализирует код для данных, полученных при профилировании (прежде всего типы объектов);
- для обработки остальных случаев предусмотрены проверки, возвращающие выполнение на предыдущий уровень JIT;

Пример.

- целочисленная арифметика и регистры: для ***предположительно*** целых типов (т.к. работает быстро для целых);
- откат на предыдущий уровень происходит только при переполнении (работает медленно, но и для других, в том числе неатомарных типов).

Пример спекулятивной оптимизации:

`if (cond)`
`foo();`
`else`
`bar();`
	Профилируем →	`if (cond)`
		`foo(); // 0 раз`
		`else`
		`bar(); // 10000 раз`

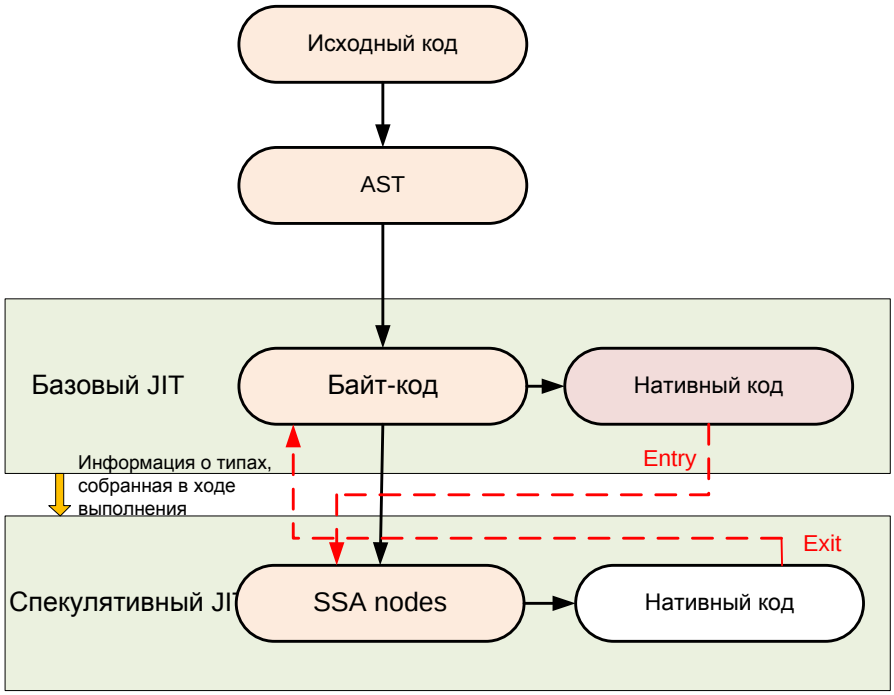
Оказалось: `foo()` никогда не исполнялся!

Вывод (***спекулятивный***): не будем компилировать `foo`:

`if (cond)`
`  foo();`
`else`
`  bar();`
	→	`if (cond)`
		`<uncommon_trap>`
		`bar();`

Чтобы избежать ловушек: (**Uncommon Traps**):

```
// Если условие случится, исполнение продолжить в интерпретаторе:
if (cond)
<uncommon_trap>
bar();
```



Переключение между уровнями JIT:

- переключение возможно между командами байт-кода;
- каждая проверка удачной спекуляции содержит свой код отката;
- замена исполняемого кода во время выполнения в стеке.

Пример при переполнении для целочисленной арифметики:

- записать в стек все вычисленные значения как `float`;
- перейти в код базового JIT в место, соответствующее операции, вызвавшей переполнение.

Свойства промежуточного представления высокого уровня:

- сохранение семантики исходного кода
  - контексты блоков и функций;
  - типы данных;
  - общие подвыражения;
  - циклы в явном виде;
- сохранение метаданных;
- упрощение оптимизации;
- граф управления (`control flow graph`):
  - узлы – блоки, участки кода без переходов;
  - дуги – переходы между блоками;
  - возможно параллельное исполнение блоков;
  - хранение дополнительных данных в узлах и дугах;
  - описание блоков.

Температура кода:

- мертвый код: не исполняется никогда;
- холодный код: исполняется редко, не оказывает влияния на скорость работы системы;
- теплый код: исполняется регулярно, влияет на скорость работы системы;
- горячий код: оказывает доминирующее влияние на скорость работы системы.

Удаление «мертвого» кода

Одной из задач оптимизирующего компилятора является удаление «мертвого» кода – кода, не влияющего на результат выполнения программы.

Сборка мусора

Объекты размещаются в куче. По истечении времени жизни таких объектов из них создается мусор. Для уборки мусора запускается сборщик мусора.