中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

运行时存储空间的组织与管理-I

《编译原理和技术》

张昱

0551-63603804，yuzhang@ustc.edu.cn

中国科学技术大学

计算机科学与技术学院

本章内容

术语

- 过程的活动(activation): 过程的一次执行
- 活动记录

  过程的活动需要可执行代码和
  存放所需信息的存储空间, 后者称为活动记录

本章内容

- 一个活动记录中的数据布局
- 程序执行过程中，所有活动记录的组织方式
- 非局部名字的管理、参数传递方式、堆管理
- 几种典型的编译运行时系统（新增）

影响存储分配策略的语言特征

- 过程能否递归
- 当控制从过程的活动返回时，局部变量的值是否要保留
- 过程能否访问非局部变量
- 过程调用的参数传递方式
- 过程能否作为参数被传递
- 过程能否作为结果值传递
- 存储块能否在程序控制下被动态地分配
- 存储块是否必须被显式地释放

中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

1. 名字、绑定、作用域

- 过程定义、调用、活动
- 名字、绑定、作用域、生存期
- 活动记录的常见布局
  - 字节寻址、类型、次序、对齐
- 同名变量的处理

基本概念：过程/函数

- 过程(包括函数、方法等)
  - 过程定义、过程调用、形式参数、实在参数
  - 活动(过程的一次调用)、活动的生存期
  - 每个活动有一个**活动记录➔栈帧**

形式参数

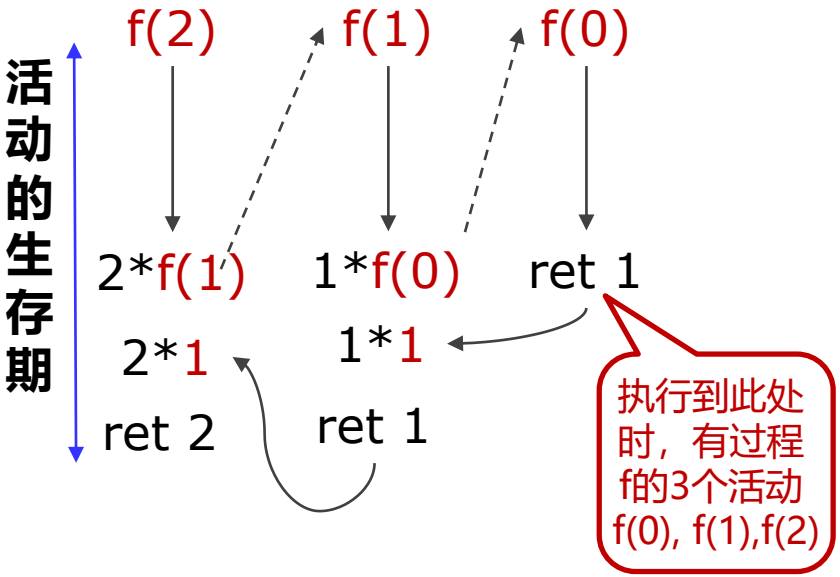
过程定义

```
int  f(int n){
  if (n<0) error("arg<0");
  else if (n==0) return 1;
  else return n*f(n-1);
}

...print(f(2));
```

n-1是实在参数
f(n-1)是过程调用

2是实在参数
f(2)是过程调用



基本概念：名字

- von Neumann体系：内存、处理器
- 名字≡ 标识符
  - 与程序中的过程、形参、变量等程序构造相关联
  - 命名约定 ➔ 构词规则
  - 关键字和保留字：相同的名字可否有不同的含义？

Fortran：关键字不是保留字

```
Integer Apple
Integer = 4
Integer Real
Real Integer
```

关键字可以作为变量名

C/C++、Java：关键字是保留字

```
int i; /* 合法 */
float int;  /*不合法*/
```

基本概念：变量

- 变量：程序语言中对机器的内存单元的抽象
  - 名字、类型、字宽、地址、作用域、生存期(lifetime)

① 绝大多数的变量都有**名字**

  - 没有名字的变量：临时变量、存储在堆中的变量

② 变量的**地址**≡ 左值　变量的**值**≡ 右值

  - 程序中相同的变量在不同时间关联到不同的地址
  - 环境把名字映射到左值，而状态把左值映射到右值
  - 赋值改变状态，但不改变环境
  - 过程调用改变环境：不同的活动有不同的活动记录
  - 如果环境将名字 x 映射到存储单元 s，则说 x 被绑定

基本概念：绑定

- 绑定(binding)：程序中实体和属性之间的关联
  - 变量和其类型、值
  - 符号和其操作：
    如“+”绑定到整数加add、浮点加fadd(x86)/adf(ARM)
- 绑定时间：绑定被创建的时间点
  - 语言设计时：程序结构、可能的类型
  - 语言实现时：I/O、运算的溢出、类型等价性
  - 程序编写时：算法、名字
  - 编译时：数据布局的规划
  - 链接时：整个程序在内存中的布局
  - 加载时：物理地址的选择
  - 运行时：变量-值的绑定、程序启动时间、过程进入时间、语句执行时间等

基本概念：绑定

绑定时机

语言设计时、语言实现时、程序编写时、编译时、链接时、加载时、运行时

如：count = count + 2;

- count的类型在编译时绑定
- count的可能取值集合在语言设计时绑定
- count的值在运行时绑定
- +的含义在编译时当确定操作数的类型时被绑定
- 2的内部表示在语言设计时被绑定

基本概念：类型绑定

- 静态绑定：运行前发生并且在程序执行期间保持不变
- 动态绑定：运行期间发生或者在程序执行期间改变

类型绑定：变量在被引用前必须绑定到数据类型

- 静态类型绑定≡变量声明
  - 显式声明
  - 隐式声明，如Fortran的命名约定：凡以字母I~N六个字母开头的变量名，如无另外说明则为整型变量
- 动态类型绑定，如JavaScript、Python、PHP、Ruby
  - 不用声明变量的类型，根据对变量的赋值**推断**其**类型**

JavaScript：`list = [2, 4.33, 6, 8];` 此时`list`为数组类型

`list = 17;` 此时`list`为整型

C# 2010： `dynamic any;` `any`可以被赋予任何类型的值[链接]

基本概念：类型绑定

- **静态类型绑定的隐式声明**

  带来方便，但可能会损害可靠性(阻止编译期间检测某些拼写错误和编程错误)，进一步的解决办法有：

  - **Fortran**：引入**implicit none** 声明使隐式声明失效
  - **Perl:**变量名以**$、@、%**开始，代表**标量、数组、散列**

- **动态类型绑定**

  灵活（通用的程序单元），但缺点是：

  - 代价高：动态类型检查、动态存储分配(变量的存储大小是可变的）、解释执行
  - 难以在编译时检测类型错误
  - 这些语言通常用解释器实现
    - **Google的V8(JavaScript引擎)引入hidden class以提升性能**

基本概念：生存期与作用域

- 存储绑定与生存期(lifetime)
  - **存储绑定**：变量所绑定的内存单元的**分配、回收**
    - **分配机制**：**静态、栈、堆**
  - **生存期**：变量绑定到某个存储单元的时间区间
    C、C++的存储类别：static、extern、auto、register
- 控制绑定与作用域(scope)
  - **作用域**：一个(变量/过程)**声明**起作用的程序部分
  - 局部变量、非局部变量：同名变量的合法性规定
  - **命名空间(namespace)**：不同命名空间的同名符号的含义互不相干

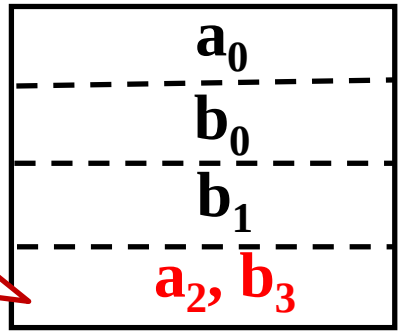
程序块与同名变量的处理

- 现代语言一般可在**程序块**中的任何地方声明
  - C99、C++、 Java: 作用域为从声明处开始到该语句块结尾结束
  - C#：作用域整个语句块
- C/C++中可以嵌套声明同名变量，按**最近(小)嵌套作用域规则**，但在Java和C#中不合法—容易出错
- **并列程序块**不会同时活跃,不同并列块中的变量可以重叠分配

```
main()
{
  int a = 0;
  int b = 0;
  {
    int b = 1;
    {
      int a = 2;
    }
    {
      int b = 3;
    }
  }
}
```

B_0 B_1 B_2 B_3

a_i: 作用域B_i中声明的变量a



B_2、B_3不会同时运行，故B_2中的a_2和B_3中的b_3复用存储空间

全局作用域

- C、C++、Python等**允许在函数定义外声明变量**
- C、C++有全局变量**声明和定义**，后者要分配内存单元
- C、C++同名局部变量与全局变量作用域重叠的，**重叠部分按局部变量处理**

C++

```
#include <iostream>
void func( float );
const int a = 17;              // global constant
int b, c;                      // global variable
int main()
{
        b = 4;                 // assignment to global b
        c = 6;                 // assignment to global c
        func(42.8);  return 0;
}
void func( float c)        // prevents access to global c
{
        float b;               // prevent access to global b
        b = 2.3;               // assignment to local b
        cout << " a = " << a;      // output global a (?)
        cout << " b = " << b;      // output local b (?)
        cout << " c = " << c;      // output local c (?)
}
```

Output:
A = 17 b = 2.3 c = 42.8

Python：全局变量可以在函数中引用，但是只能对在函数中**声明为global**的全局变量**赋值**

```
a = 3
def Fuc():
  print (a)
  a = a + 1
Fuc()
```

```
a = 3
def Fuc():
  print (a)
Fuc()
```

```
a = 3
def Fuc():
  global a
  print (a)
  a = a + 1
Fuc()
```

类与作用域、命名空间

- 类有自己的局部变量
  - 类变量、实例变量
  - 方法中声明的变量
  - 访问属性
    - public
    - protected
    - private

- 命名空间
  - C++允许用户创建自己的命名作用域
  - 如标准的cstdlib头文件包含一些库函数的原型声明

```
namespace std
 {
      ..
      int abs (int );
      ..
 }
```

```
#include <cstdlib>
 int main()
 {
     int alpha;
     int beta;
     ..
     alpha = std::abs(beta);
 }
```

Scope resolution operator

基本概念

静态概念和动态概念的对应

静 态 概 念	动 态 对 应
过程的定义	过程的活动
名字的声明	名字的绑定
声明的作用域	绑定的生存期

活动记录（activation record）

- 常见布局

局部数据的布局

存储布局的一些因素

- 字节是可编址内存的最小单位
- 变量所需的存储空间可以根据其类型而静态确定
- 一个过程所声明的局部变量，按这些变量声明时出现的次序，在局部数据域中依次分配空间
- 局部数据的地址可以用相对于活动记录中某个位置的地址来表示
- 数据对象的存储布局还需考虑对齐问题

对齐对存储size的影响

例 在SPARC/Solaris工作站上下面两个结构体的size分别是24和16，为什么不一样？

```
typedef struct  _a{
    char    c1;
    long    i;
    char    c2;
    double f;
}a;
```

```
typedef struct  _b{
    char c1;
    char    c2;
    long i;
    double f;
}b;
```

对齐：char : 1, long : 4, double : 8

对齐对存储size的影响

例 在SPARC/Solaris工作站上下面两个结构体的size分别是24和16，为什么不一样？

```
typedef struct  _a{          typedef struct  _b{
    char    c1;      0           char c1;       0
    long    i;       4           char   c2;     1
    char    c2;      8           long i;        4
    double f;        16          double f;      8
}a;                              }b;
```

对齐：char : 1, long : 4, double : 8

对齐对存储size的影响

例 在X86/Linux工作站上下面两个结构体的size分别是20和16，为什么不一样？

```
typedef struct  _a{          typedef struct  _b{
    char    c1;     0            char c1;      0
    long    i;      4            char   c2;    1
    char    c2;     8            long i;       4
    double f;       12           double f;     8
}a;                              }b;
```

对齐：char : 1, long : 4, double : 4

例　题　1

一个C语言程序及其在X86/Linux操作系统上的编译结果如下。根据生成的汇编程序来解释程序中四个变量的存储分配、生存期、作用域和置初值方式等方面的区别

```
static long aa = 10;
short bb = 20;
extern int f( );
int func( ) {
    static long cc = 30;
    short dd = 40;
    cc = f(cc,dd);
}
```

在64位系统用gcc –S编译


```
static long aa = 10;
short bb = 20;
extern int f();
```

```
.data
.align 8
    .type aa,@object
    .size aa,8
aa:
    .quad 10
    .globl bb
    .align 2
    .type bb,@object
    .size bb,2
bb:
    .value 20
```

分配8字节

```
int func( ) {
  static long cc = 30;
  short dd = 40;
  cc = f(cc, dd);}
```

```
    .align 8
    .type   cc.1797,@object
    .size   cc.1797, 8
cc.1797:
    .quad 30
.text
    .globl func
    .type func, @function
func: . . .
    movw $40,-2(%rbp)
    movswl -2(%rbp), %edx
    movq cc.1797(%rip), %rax
    movl  %edx, %esi
    movq %rax, %rdi
    movl  $0, %eax
    call  f
```

在64位系统用gcc –S编译


```
static long aa = 10;
short bb = 20;
extern int f();
```

```
.data
.align 8
    .type aa,@object
    .size aa,8
aa:
    .quad 10
    .globl bb
    .align 2
    .type bb,@object
    .size bb,2
bb:
    .value 20
```

分配8字节

```
int func( ) {
  static long cc = 30;
  short dd = 40;
  cc = f(cc, dd);}
```

```
    .align 8
    .type   cc.1797,@object
    .size   cc.1797, 8
cc.1797:
    .quad 30
.text
    .globl func
    .type func, @function
func: . . .
    movw $40,-2(%rbp)
    movswl -2(%rbp), %edx
    movq cc.1797(%rip), %rax
    movl  %edx, %esi
    movq %rax, %rdi
    movl  $0, %eax
    call  f
```

在64位系统用gcc –S编译


```
static long aa = 10;
short bb = 20;
extern int f();
```

```
.data
.align 8
    .type aa,@object
    .size aa,8
aa:
    .quad 10
    .globl bb
    .align 2
    .type bb,@object
    .size bb,2
bb:
    .value 20
```

```
int func( ) {
  static long cc = 30;
  short dd = 40;
  cc = f(cc, dd);}
```

```
    .align 8
    .type   cc.1797,@object
    .size   cc.1797, 8
cc.1797:
    .quad 30
.text
    .globl func
    .type func, @function
func: . . .
    movw $40,-2(%rbp)
    movswl -2(%rbp), %edx
    movq cc.1797(%rip), %rax
    movl  %edx, %esi
    movq %rax, %rdi
    movl  $0, %eax
    call  f
```

在64位系统用gcc –S编译


```
static long aa = 10;
short bb = 20;
extern int f();
```

```
.data
.align 8
    .type aa,@object
    .size aa,8
aa:
    .quad 10
    .globl bb
    .align 2
    .type bb,@object
    .size bb,2
bb:
    .value 20
```

```
int func( ) {
static long cc = 30;
short dd = 40;
cc = f(cc, dd);}
```

```
    .align 8
    .type   cc.1797,@object
    .size   cc.1797, 8
cc.1797:
    .quad 30
.text
    .globl func
    .type func, @function
func: . . .
    movw $40,-2(%rbp)
    movswl -2(%rbp), %edx
    movq cc.1797(%rip), %rax
    movl  %edx, %esi
    movq %rax, %rdi
    movl  $0, %eax
    call  f
```

在64位系统用gcc –S编译


```
static long aa = 10;
short bb = 20;
extern int f();
```

```
.data
.align 8
    .type aa,@object
    .size aa,8
aa:
    .quad 10
    .globl bb
    .align 2
    .type bb,@object
    .size bb,2
bb:
    .value 20
```

```
int func( ) {
  static long cc = 30;
  short dd = 40;
  cc = f(cc, dd);}
```

```
    .align 8
    .type   cc.1797,@object
    .size   cc.1797, 8
cc.1797:
    .quad 30
.text
    .globl func
    .type func, @function
func: . . .
    movw $40,-2(%rbp)
    movswl -2(%rbp), %edx
    movq cc.1797(%rip), %rax
    movl  %edx, %esi
    movq %rax, %rdi
    movl  $0, %eax
    call  f
```

在64位系统用gcc –S编译


```
static long aa = 10;
short bb = 20;
extern int f();
```

```
.data
.align 8
    .type aa,@object
    .size aa,8
aa:
    .quad 10
    .globl bb
    .align 2
    .type bb,@object
    .size bb,2
bb:
    .value 20
```

```
int func( ) {
  static long cc = 30;
  short dd = 40;
  cc = f(cc, dd);}
```

```
    .align 8
    .type   cc.1797,@object
    .size   cc.1797, 8
cc.1797:
    .quad 30
.text
    .globl func
    .type func, @function
func: . . .
    movw $40,-2(%rbp)
    movswl -2(%rbp), %edx
    movq cc.1797(%rip), %rax
    movl  %edx, %esi
    movq %rax, %rdi
    movl  $0, %eax
    call  f
```

在64位系统用gcc –S编译


```
static long aa = 10;
short bb = 20;
extern int f();
```

```
.data
.align 8
    .type aa,@object
    .size aa,8
aa:
    .quad 10
    .globl bb
    .align 2
    .type bb,@object
    .size bb,2
bb:
    .value 20
```

实参dd先提升成4字节整型，

再通过寄存器esi传参

```
int func( ) {
  static long cc = 30;
  short dd = 40;
  cc = f(cc, dd);}
```

```
    .align 8
    .type   cc.1797,@object
    .size   cc.1797, 8
cc.1797:
    .quad 30
.text
    .globl func
    .type func, @function
func: . . .
    movw $40,-2(%rbp)
    movswl -2(%rbp), %edx
    movq cc.1797(%rip), %rax
    movl  %edx, %esi
    movq %rax, %rdi
    movl  $0, %eax
    call  f
```

在64位系统用gcc –S编译


```
static long aa = 10;
short bb = 20;
extern int f();
```

```
int func( ) {
  static long cc = 30;
  short dd = 40;
  cc = f(cc, dd);}
```

```
.data
.align 8
    .type aa,@object
    .size aa,8
aa:
    .quad 10
    .globl bb
    .align 2
    .type bb,@object
    .size bb,2
bb:
    .value 20
```

实参cc先加载到寄存器rax，

再通过寄存器rdi传参

```
    .align 8
    .type    cc.1797,@object
    .size    cc.1797, 8
cc.1797:
    .quad 30
.text
    .globl func
    .type func, @function
func: . . .
    movw $40,-2(%rbp)
    movswl -2(%rbp), %edx
    movq cc.1797(%rip), %rax
    movl  %edx, %esi
    movq %rax, %rdi
    movl  $0, %eax
    call  f
```

在64位系统用gcc –S编译


```
func:
        pushq   %rbp
        movq    %rsp, %rbp
        subq    $16, %rsp
        movw    $40, -2(%rbp)
        movswl  -2(%rbp), %edx
        movq    cc.1797(%rip), %rax
        movl    %edx, %esi
        movq    %rax, %rdi
        movl    $0, %eax
        call    f
        cltq
        movq    %rax, cc.1797(%rip)
        nop
        leave
        ret
```

分配局部变量空间，按16字节对齐

```
int func( ) {
  static long cc = 30;
  short dd = 40;
  cc = f(cc, dd);
}
```

f 函数的返回值通过寄存器eax 返回

cltq等效于movslq %eax, %rax

中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

下期预告：活动记录的组织