寄存器分配

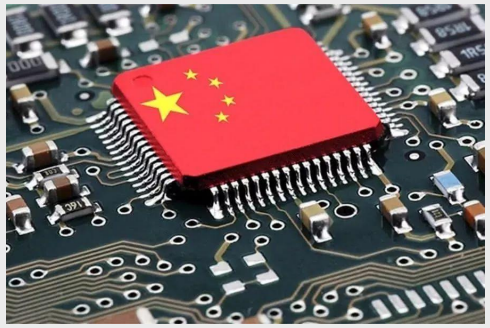
李 诚

国家高性能计算中心(合肥)、信息与计算机国家级实验教学示范中心

计算机科学与技术学院

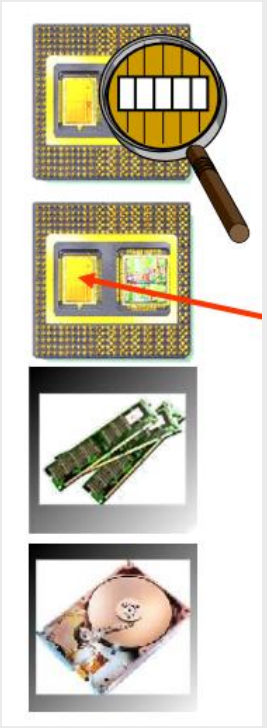
2024年11月27日

程序如何在计算机上执行的？



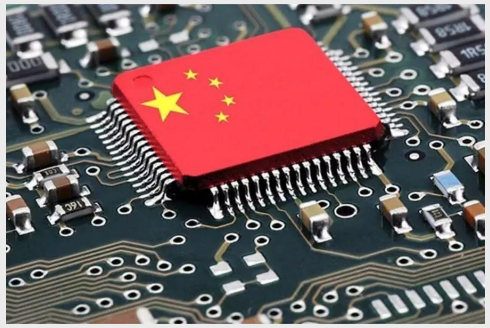
计算单元
（龙芯CPU）

寄存器
缓存
内存
磁盘

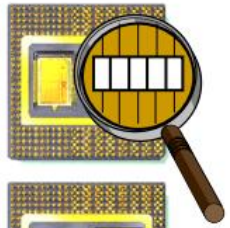
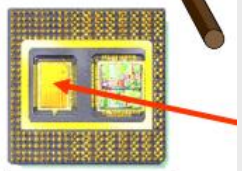


存储单元
（长鑫内存、国科微固态硬盘）

程序如何在计算机上执行的？

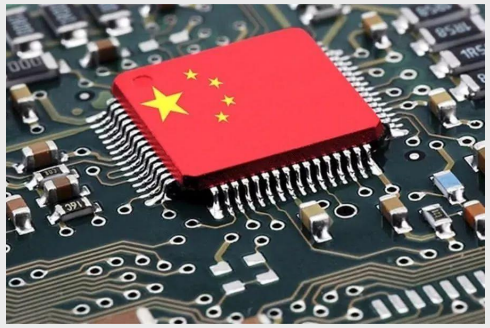


计算单元
（龙芯CPU）

		读取速度（指令周期）	容量（字节）
寄存器		1	8K
缓存		3	40M
内存		20	512G
磁盘		5M	10T

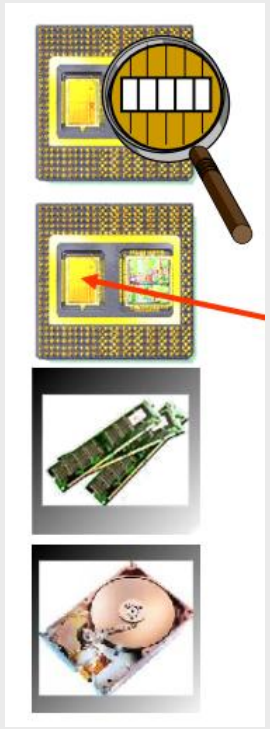
存储单元
（长鑫内存、国科微固态硬盘）

程序如何在计算机上执行的？



计算单元
（龙芯CPU）

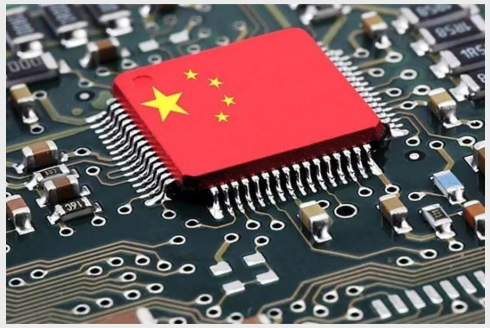
		读取速度（指令周期）	容量（字节）
寄存器		1	8K
缓存		3	40M
内存		20	512G
磁盘		5M	10T



代码 数据

存储单元
（长鑫内存、国科微固态硬盘）

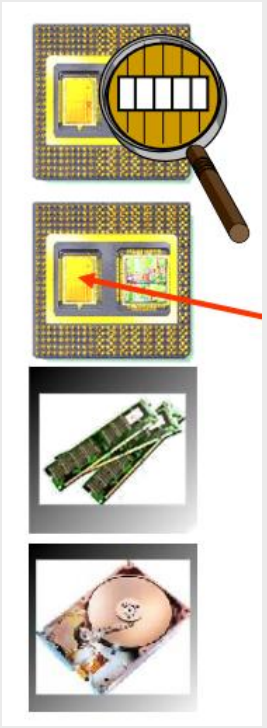
程序如何在计算机上执行的？



代码

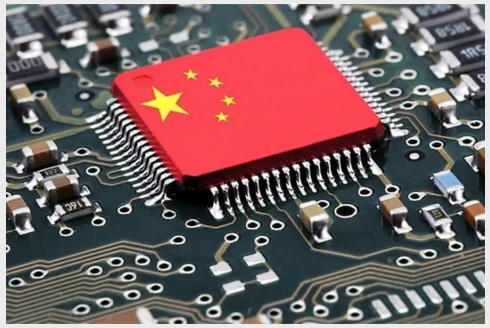
计算单元
（龙芯CPU）

		读取速度（指令周期）	容量（字节）
寄存器		1	8K
缓存	代码	3	40M
内存	代码	20	512G
磁盘	代码 数据	5M	10T



存储单元
（长鑫内存、国科微固态硬盘）

程序如何在计算机上执行的？



代码

			读取速度（指令周期）	容量（字节）
寄存器		数据	1	8K
缓存	代码	数据	3	40M
内存	代码	数据	20	512G
磁盘	代码	数据	5M	10T

计算单元
（龙芯CPU）

存储单元
（长鑫内存、国科微固态硬盘）

寄存器资源管理十分重要

- 寄存器容量和个数十分有限
  - 受限于电源功耗等因素
- 为了编程简单，高级语言假设可以使用无限多个寄存器

架构	32位
ARM	15
Intel x86	8
MIPS	32
RISC-V	16/32
LoongArch	32+32

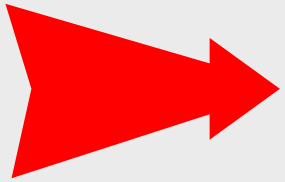
龙芯

程序片段:

```
t1 = 0
t2 = t1- 5
t3 = t1 + t2
t4 = t2 * t3
t5 = t3 – t4
… …
```

t1
t2
.
.
.
too

竞争
寄存器的使用



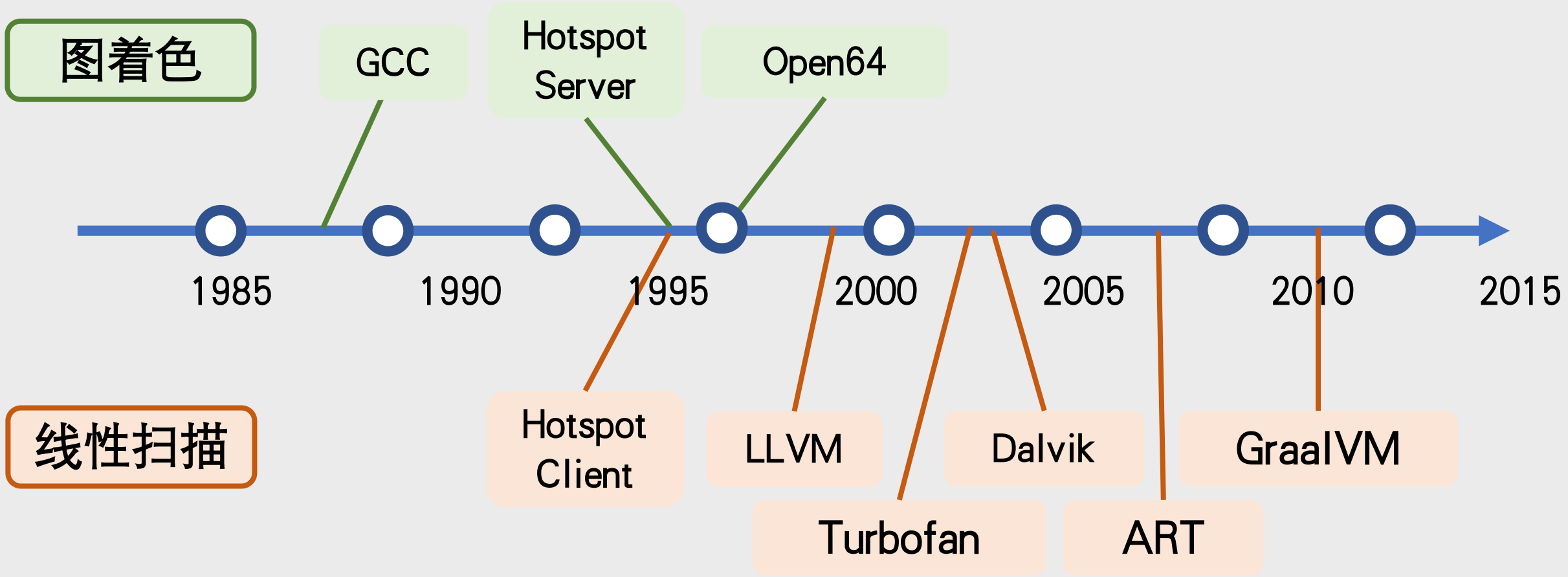
R1
R2
.
.
.
R32

寄存器分配

- **任务目标：**
  - 在不改变程序行为的前提下，将同一个寄存器分配给多个变量
- **约束条件：**
  - 同一时刻，一个寄存器只能被一个变量占用
  - 寄存器占满后，新的使用申请将选择一个寄存器，移出其所存储的变量，放回内存（成为**Spill**，产生较大的开销）
  - 换入换出寄存器的开销尽可能小

寄存器分配算法的演进

分配效果非常好、但运行时间长、常见于传统编译器。



算法运行时间很短，分配效果接近图着色、常见于现代编译器。

举例——寄存器线性扫描分配

```
        e = d + a
        f = b + c
        f = f + b
        if e == 0 goto
_L0
        d = e + f
        goto _L1
_L0: d = e – f
_L1: g = d
```

a

b

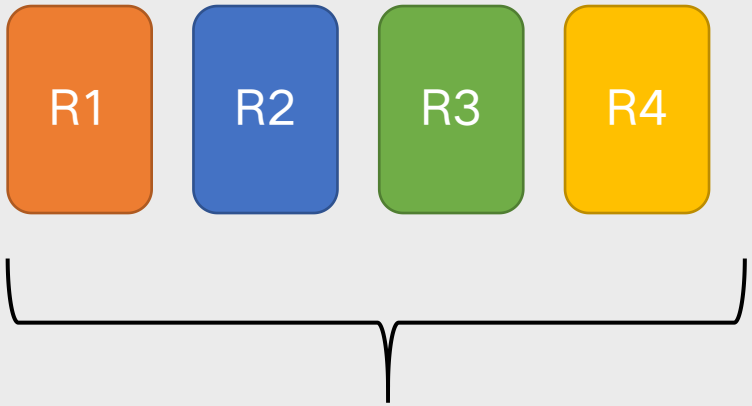
c

d

e

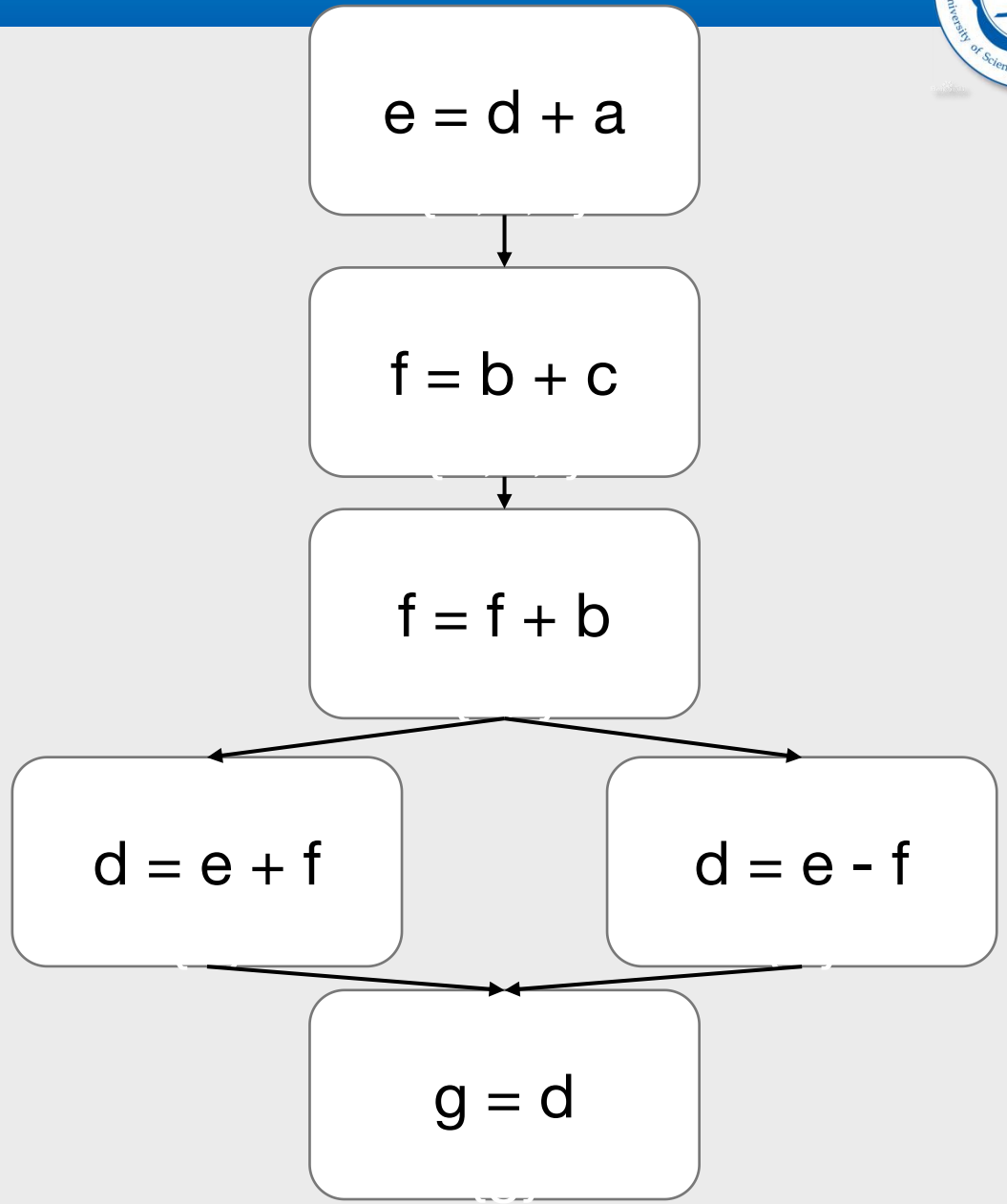
f

g



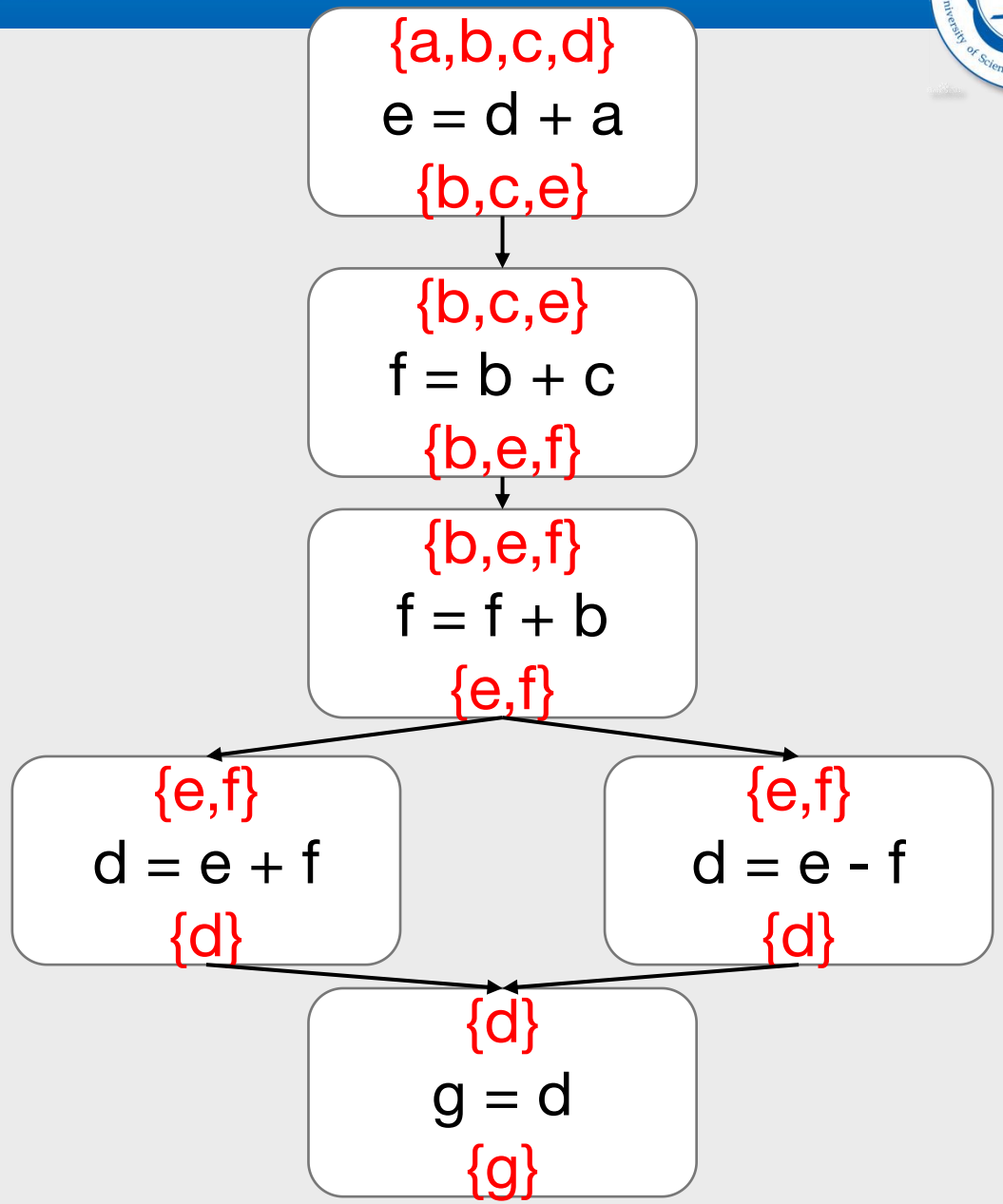
寄存器线性扫描分配——变量存活区间

```
        e = d + a
        f = b + c
        f = f + b
        if e == 0 goto
_L0
        d = e + f
        goto _L1
_L0: d = e – f
_L1: g = d
```

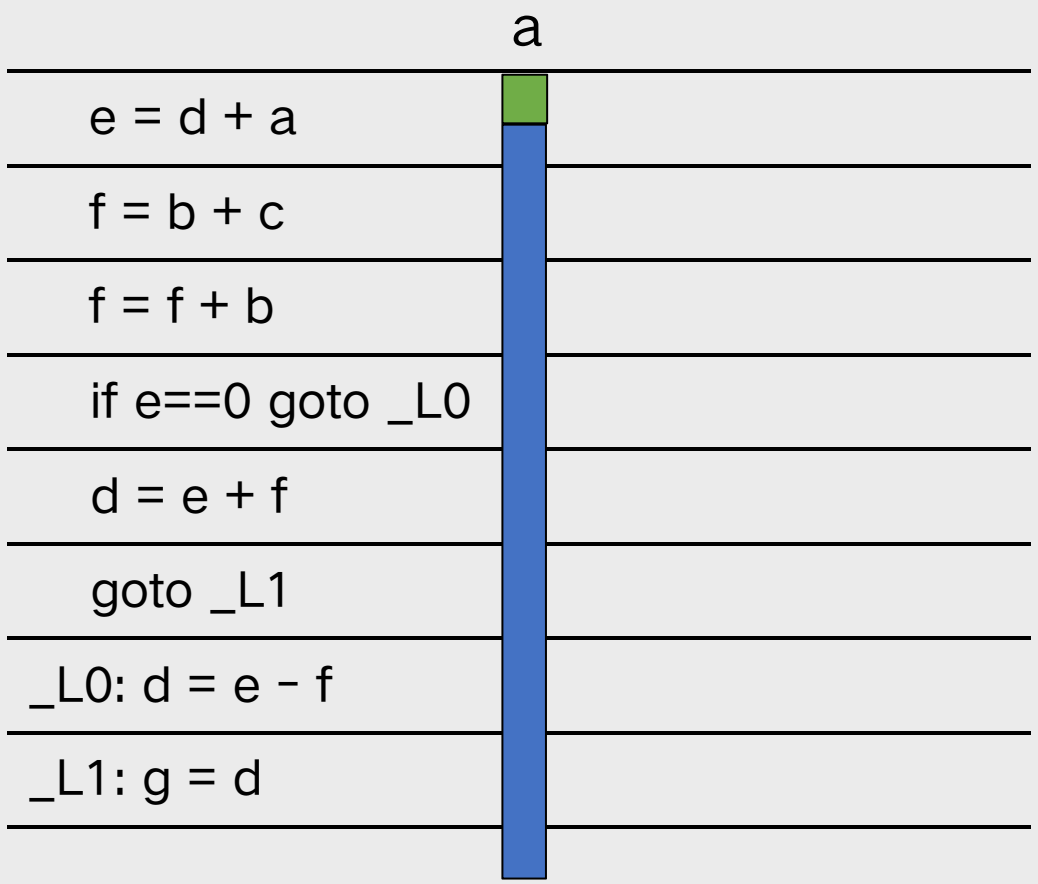


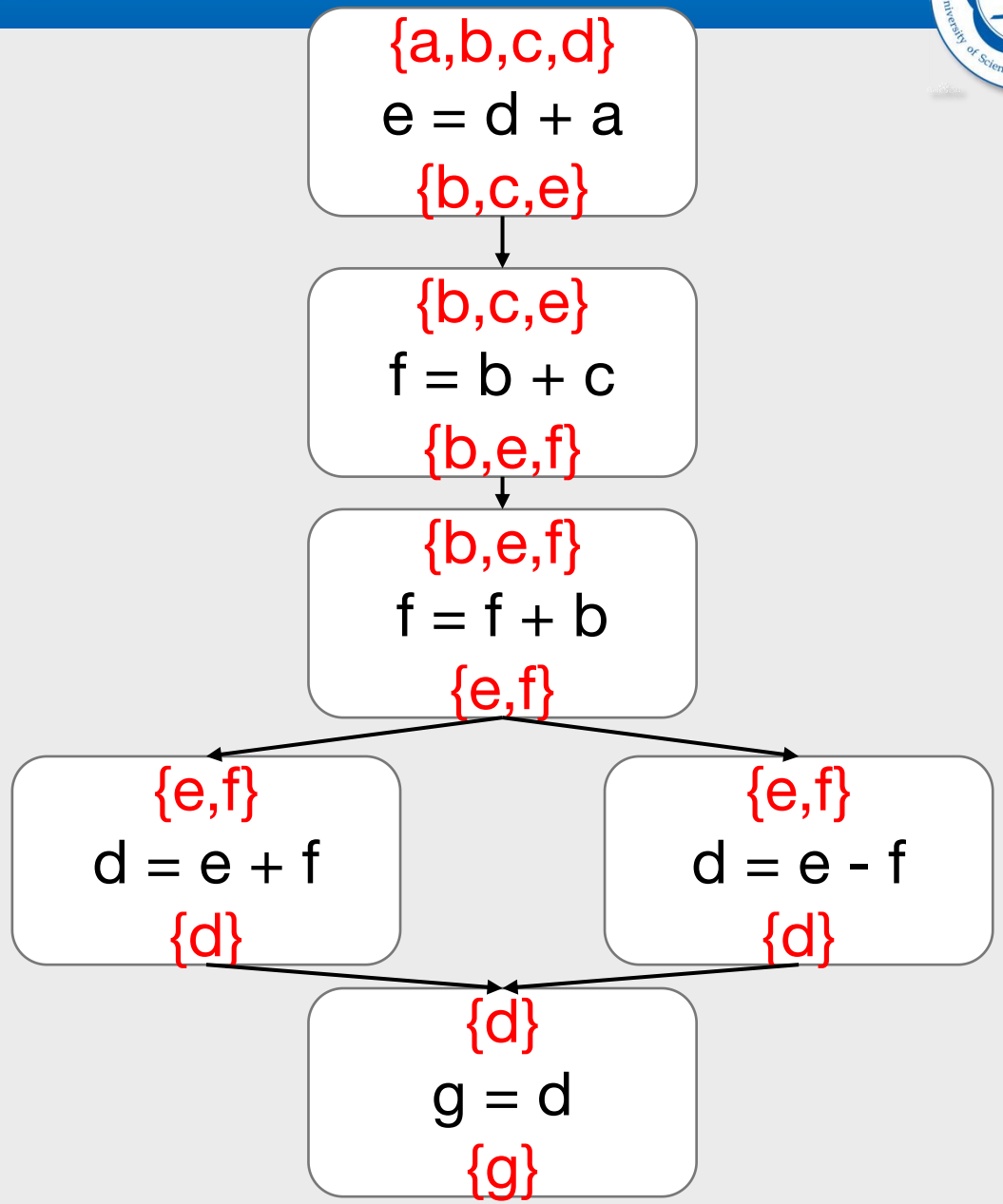
寄存器线性扫描分配——变量存活区间

```
        e = d + a
        f = b + c
        f = f + b
        if e == 0 goto
_L0
        d = e + f
        goto _L1
_L0: d = e – f
_L1: g = d
```

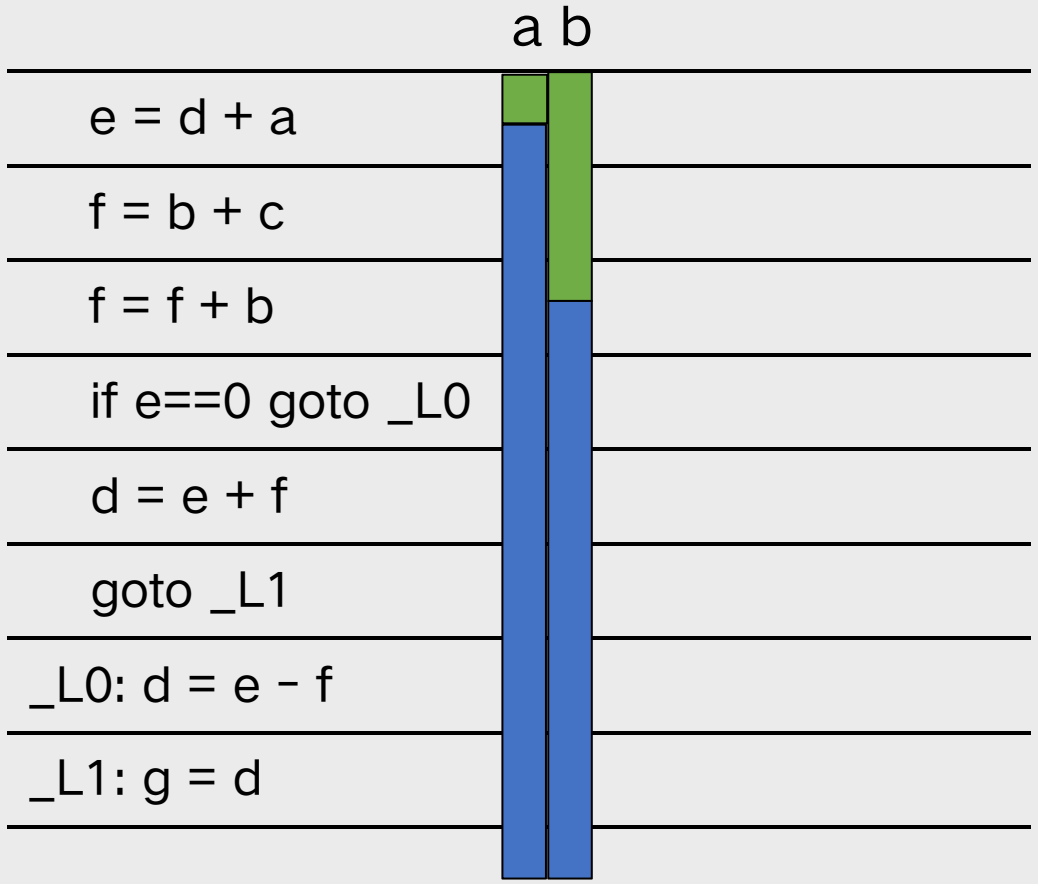


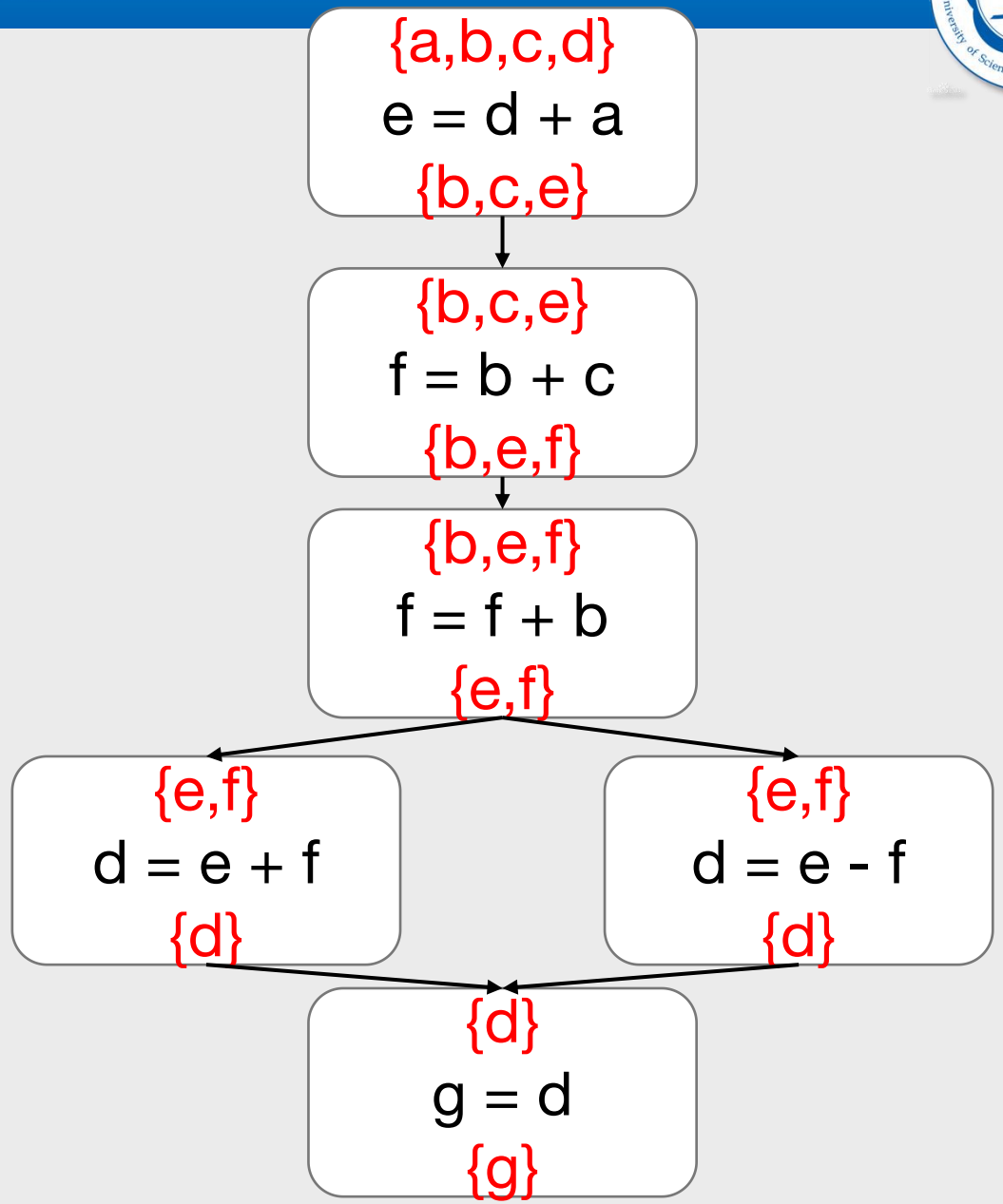
寄存器线性扫描分配——变量存活区间



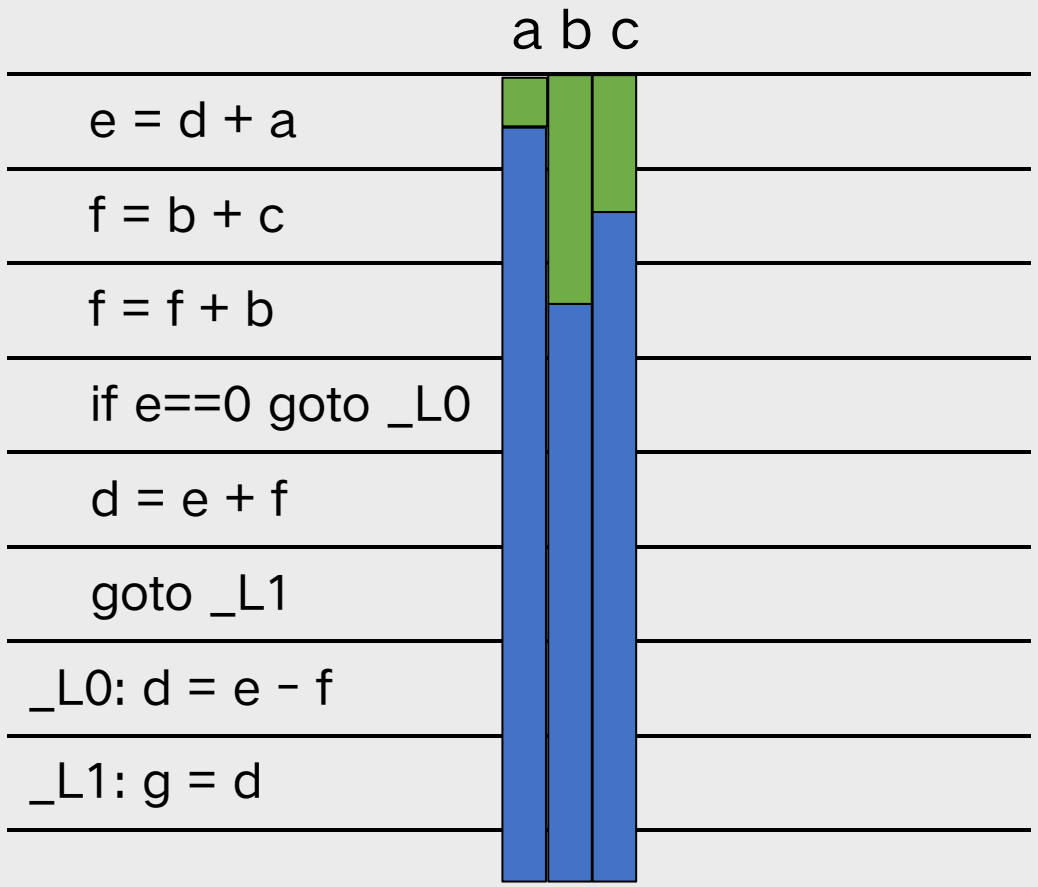


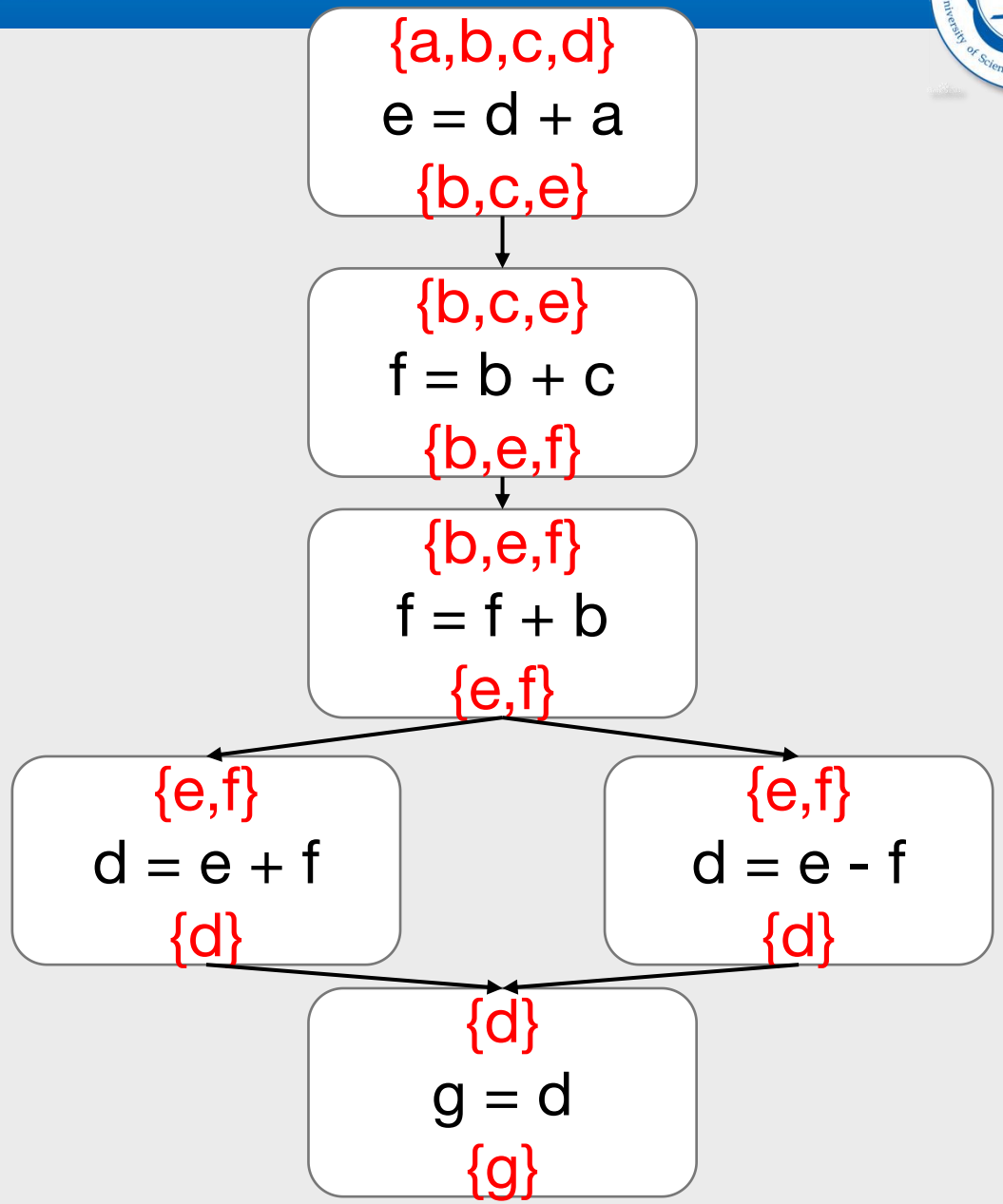
寄存器线性扫描分配——变量存活区间



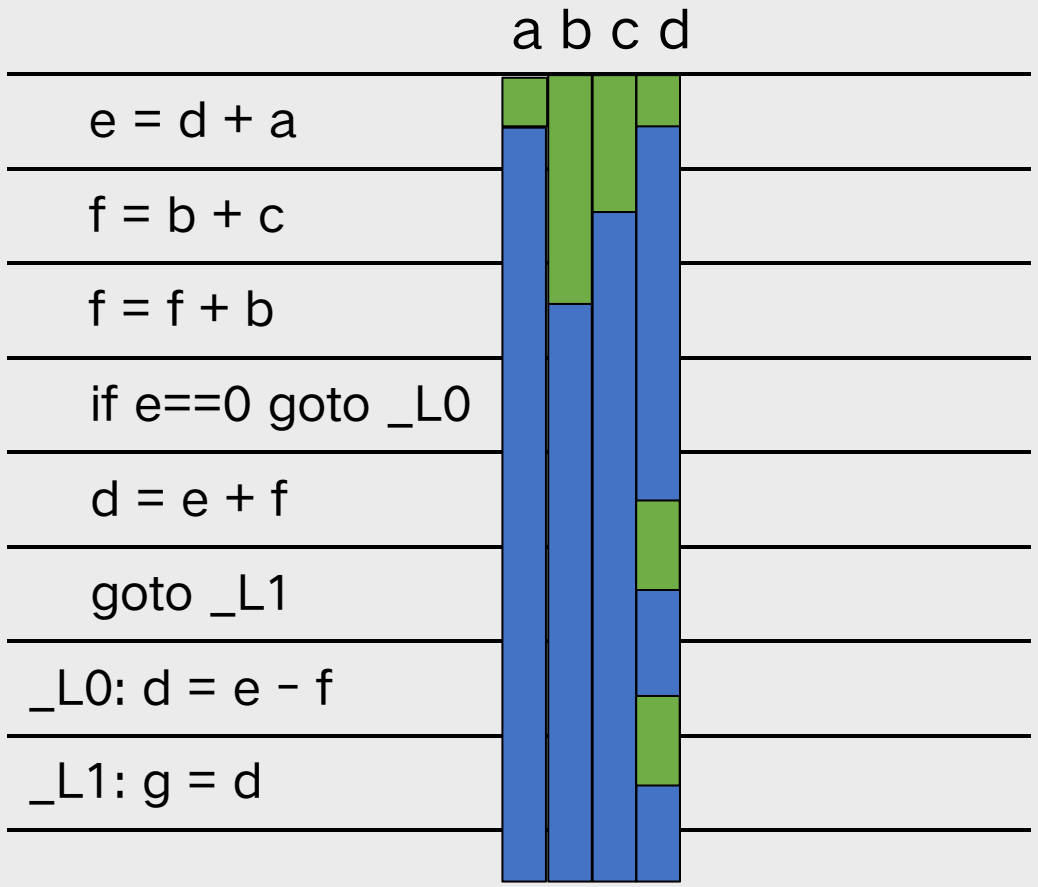


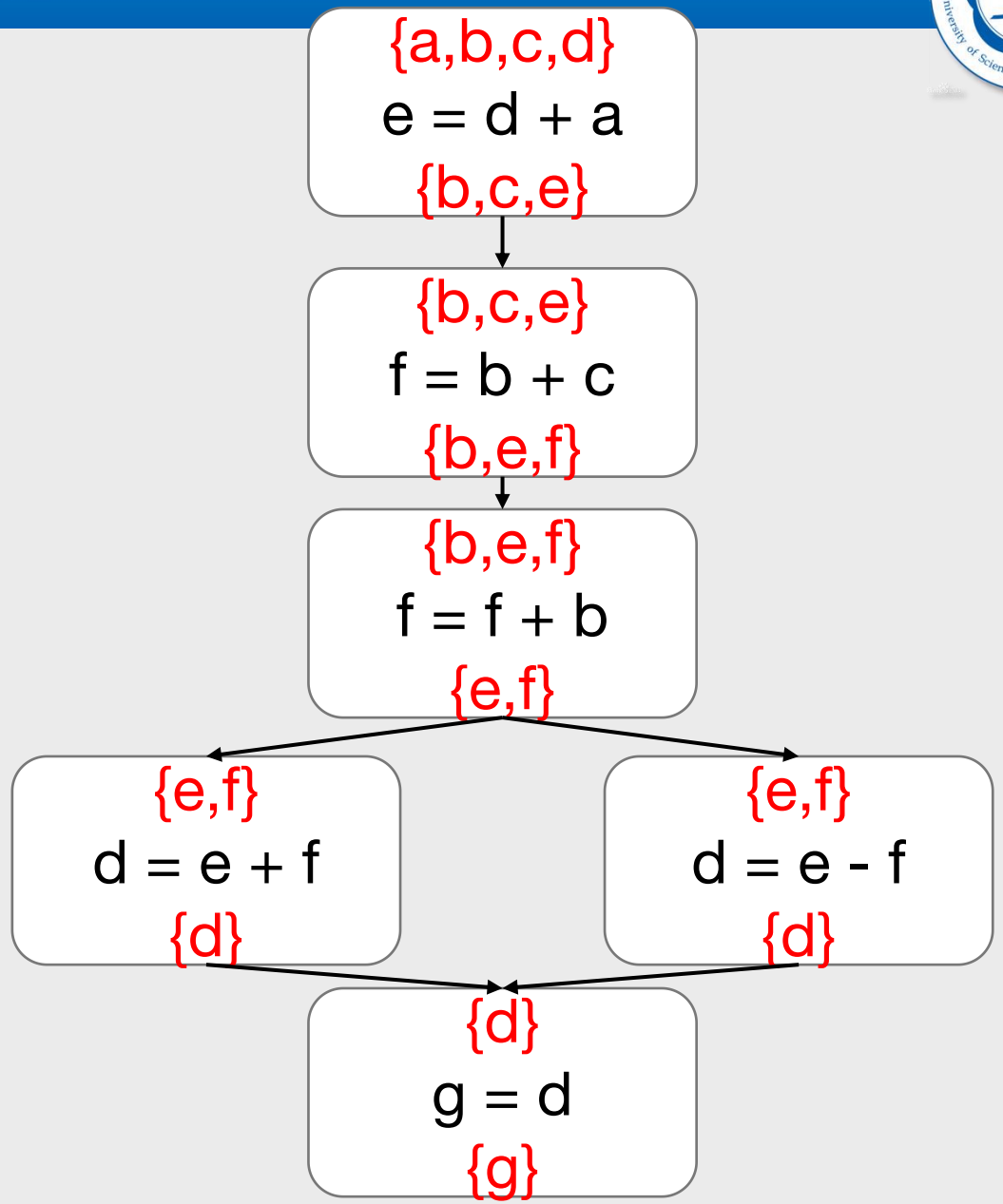
寄存器线性扫描分配——变量存活区间



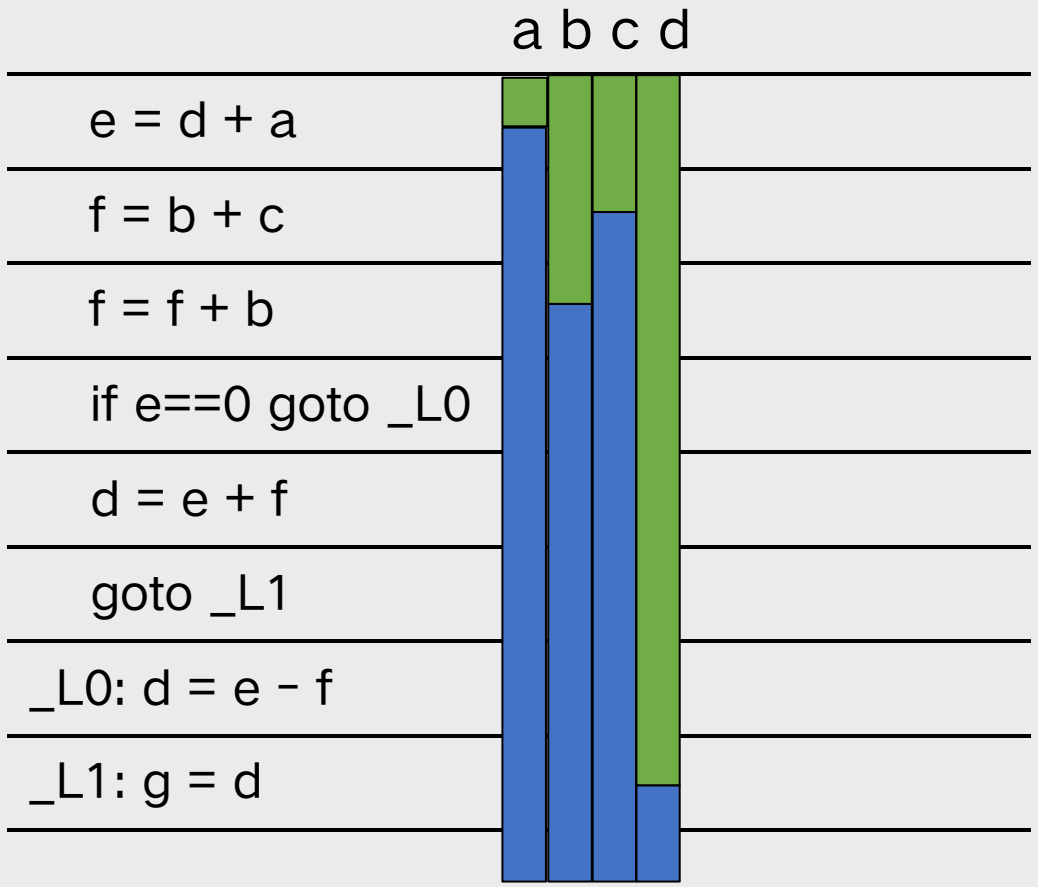


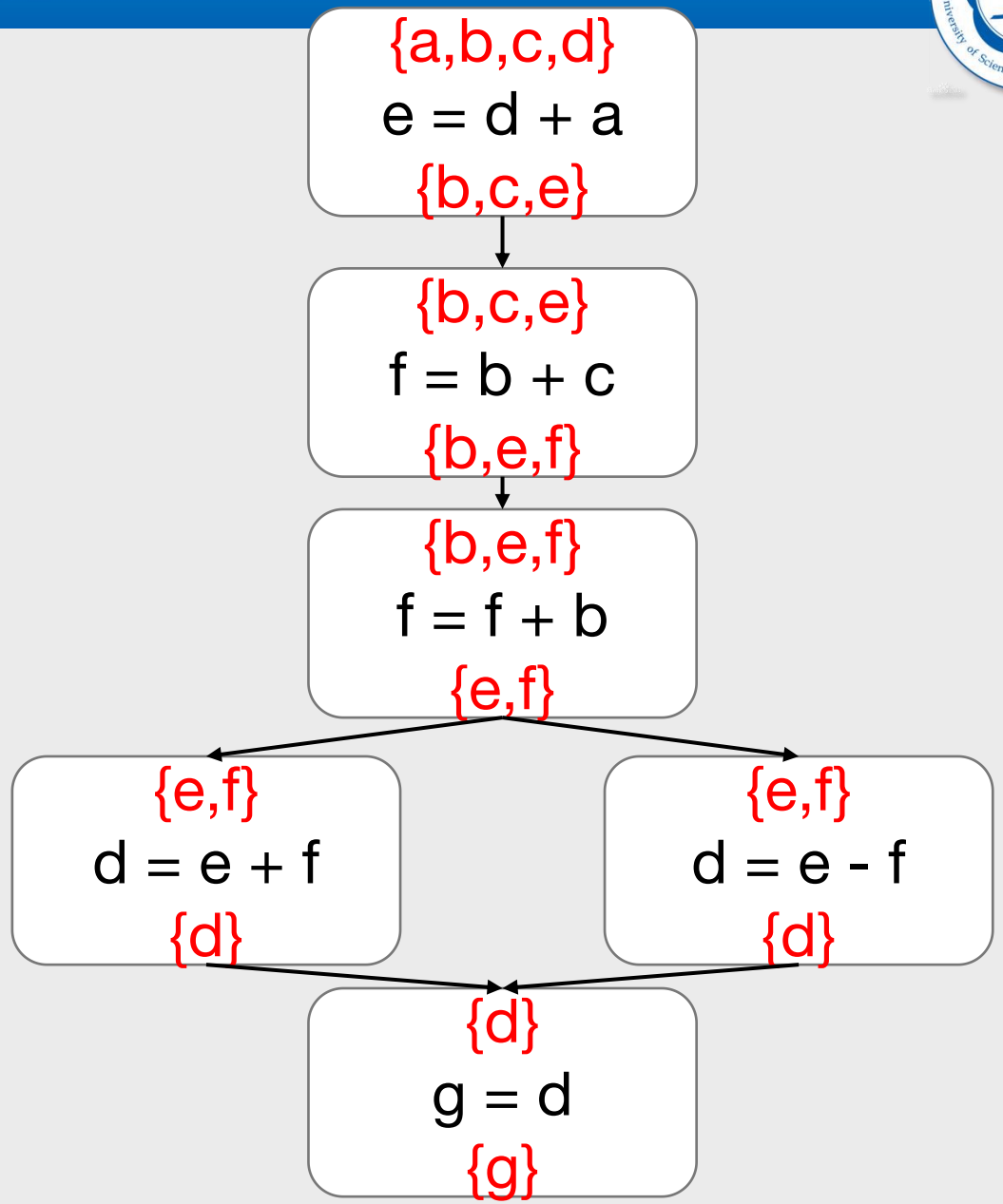
寄存器线性扫描分配——变量存活区间



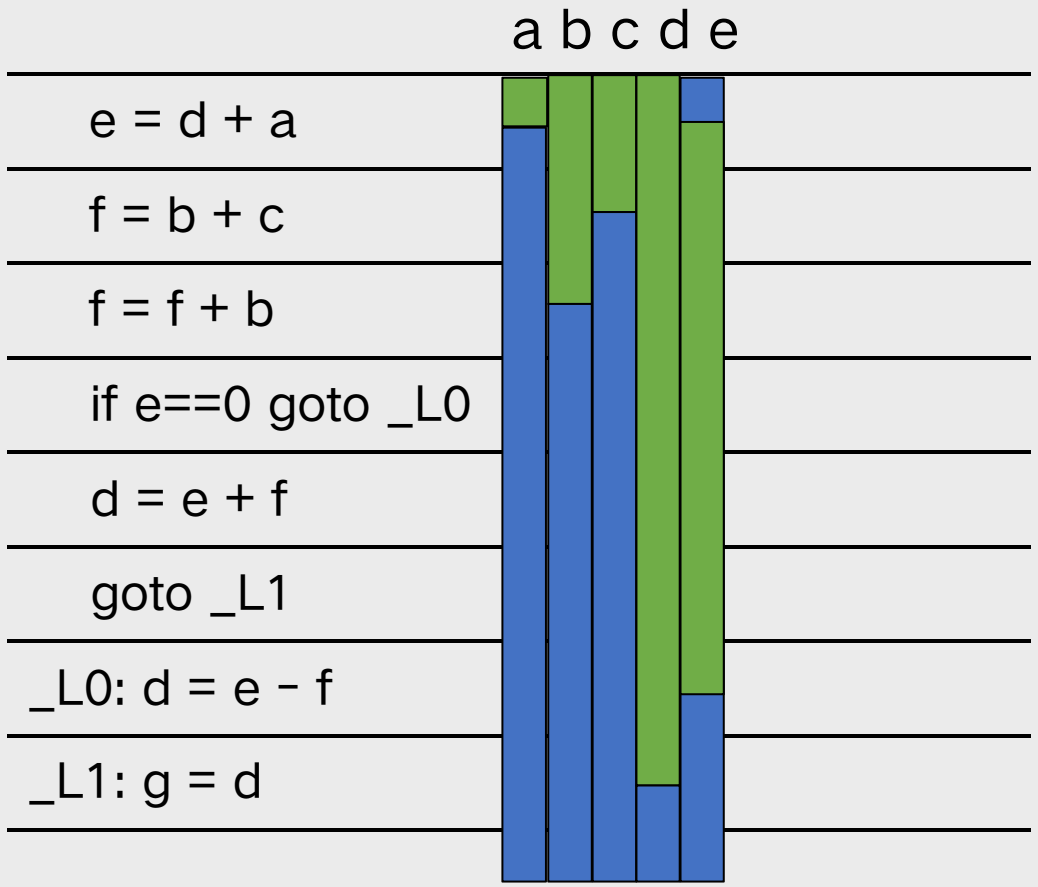


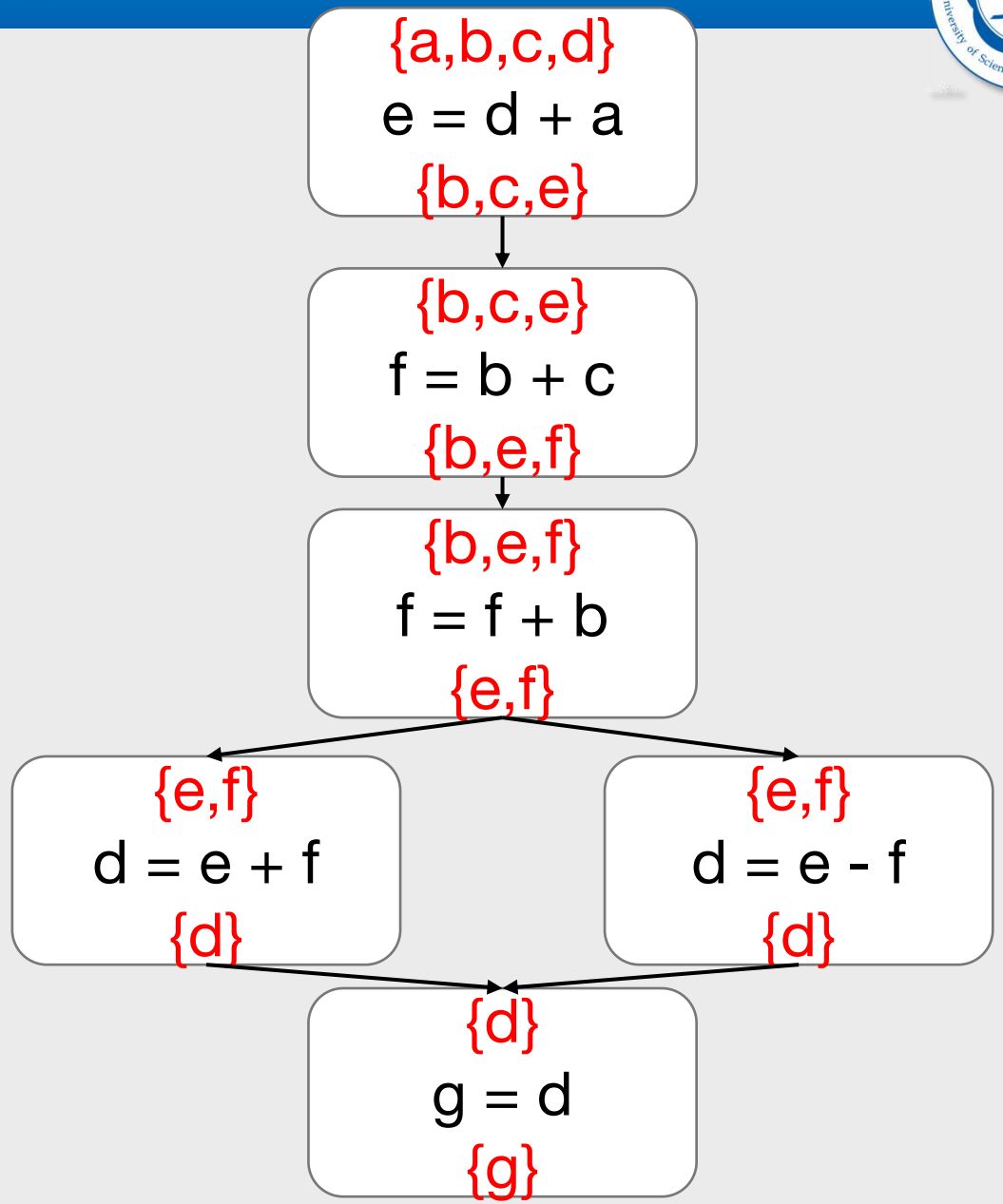
寄存器线性扫描分配——变量存活区间



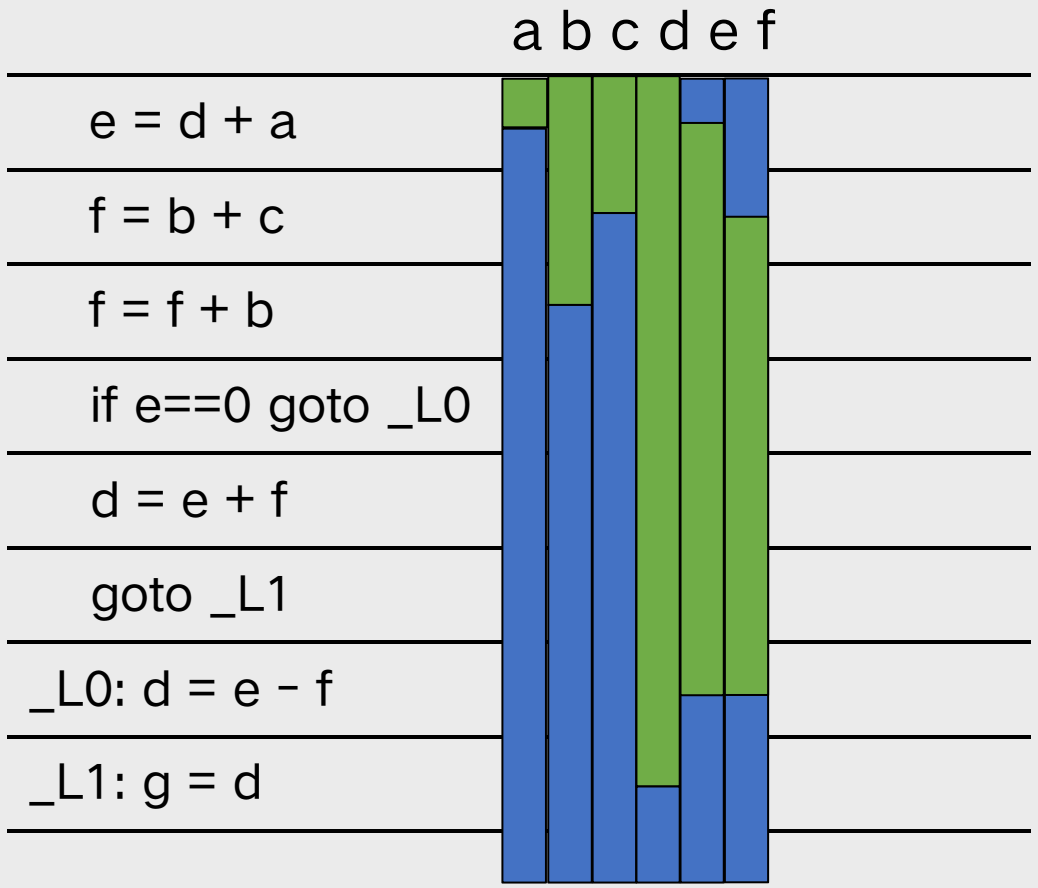


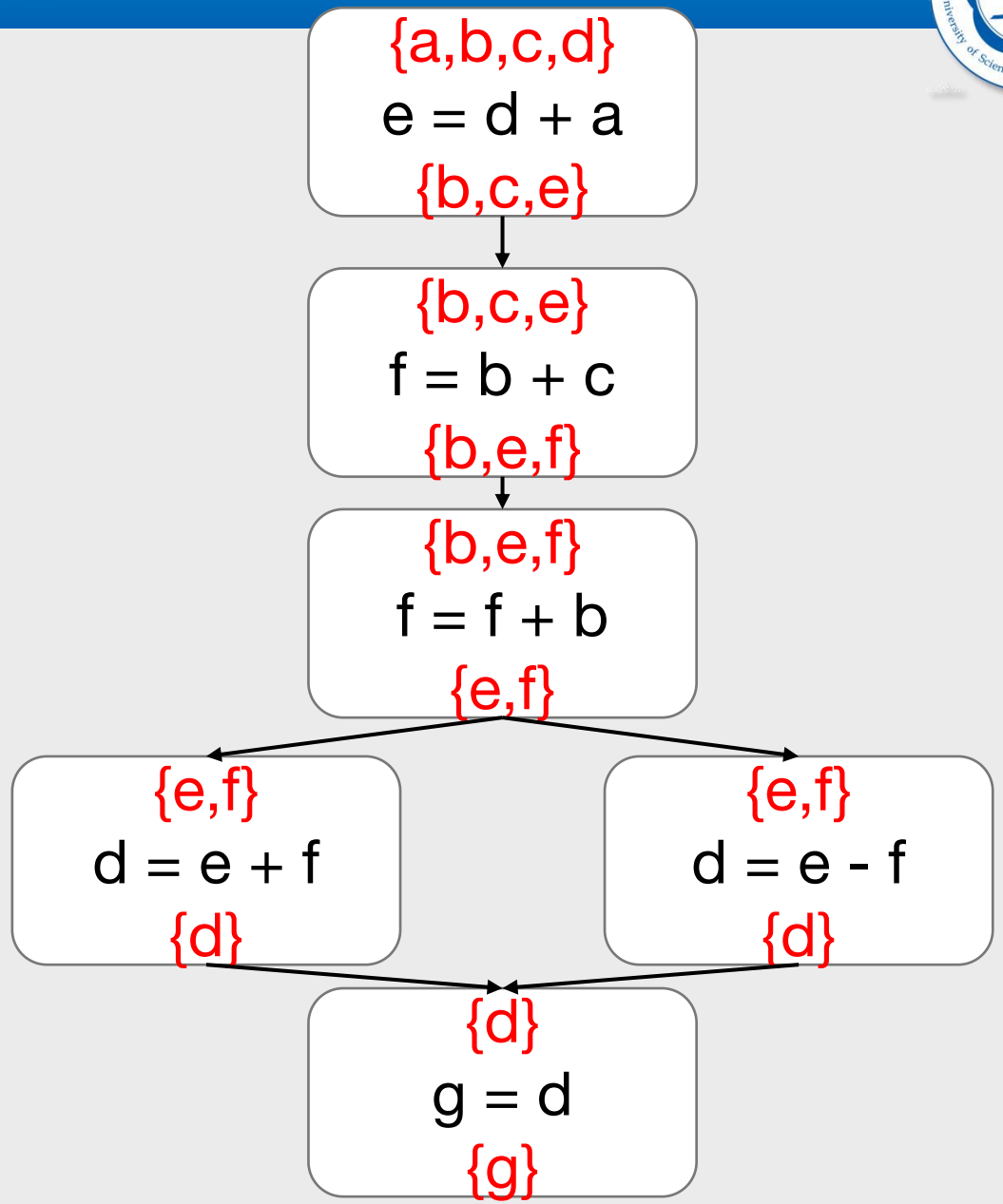
寄存器线性扫描分配——变量存活区间



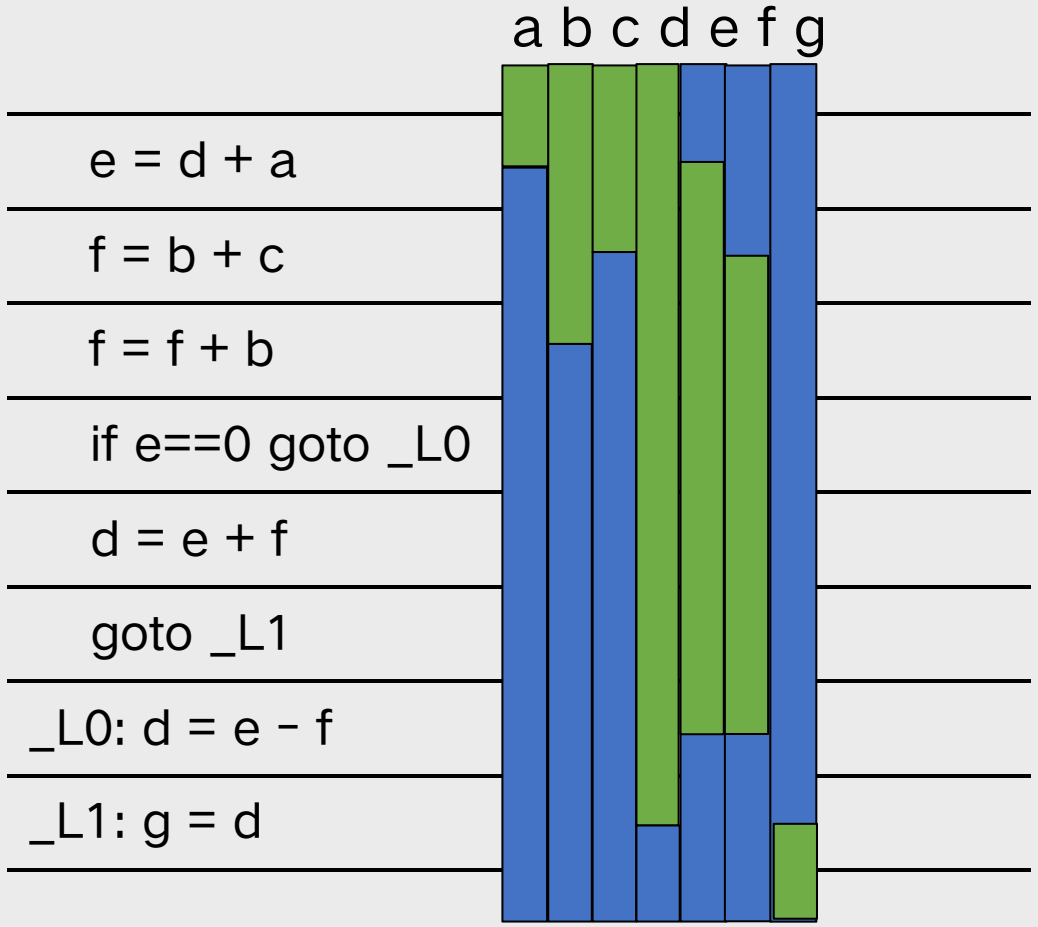


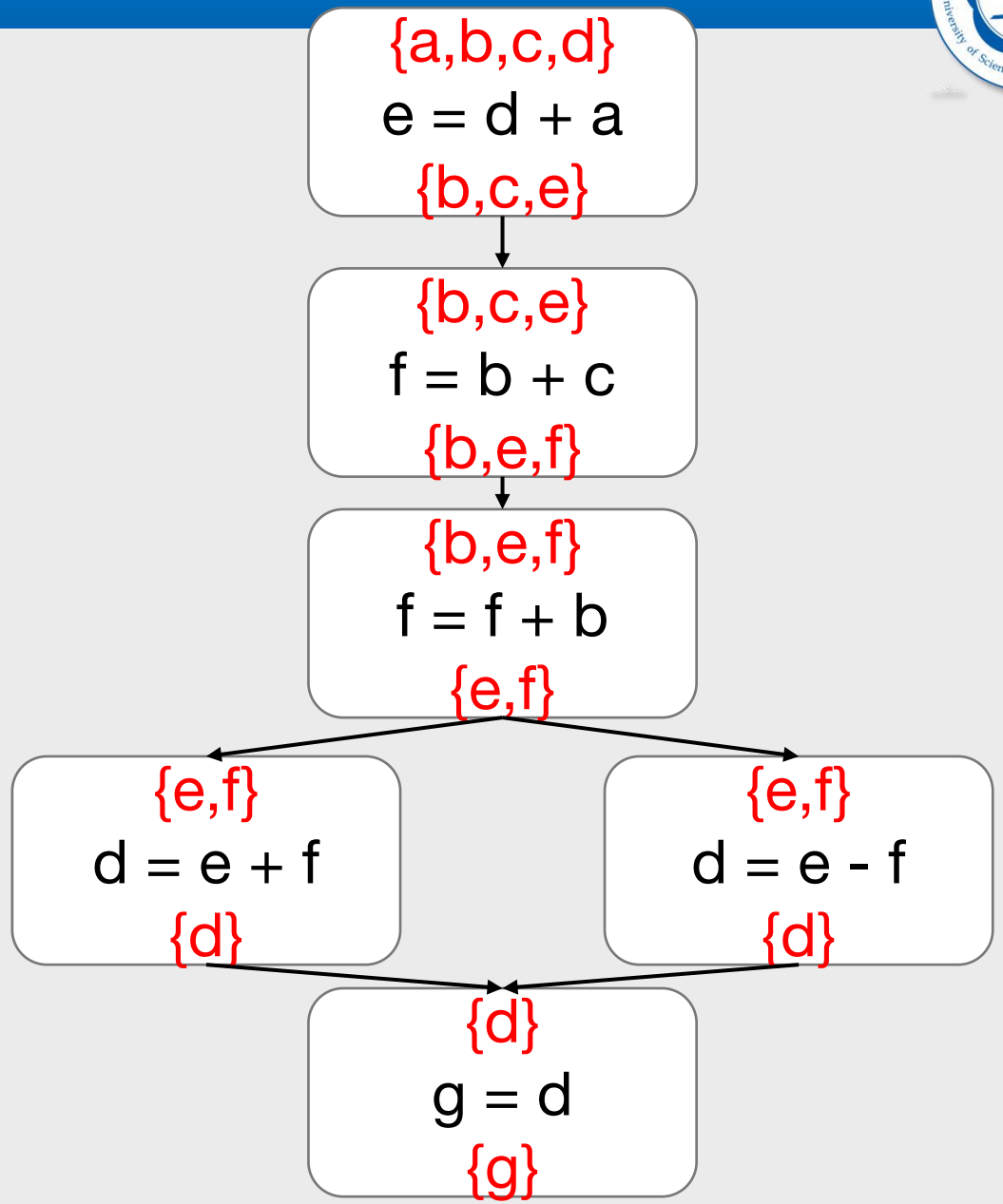
寄存器线性扫描分配——变量存活区间



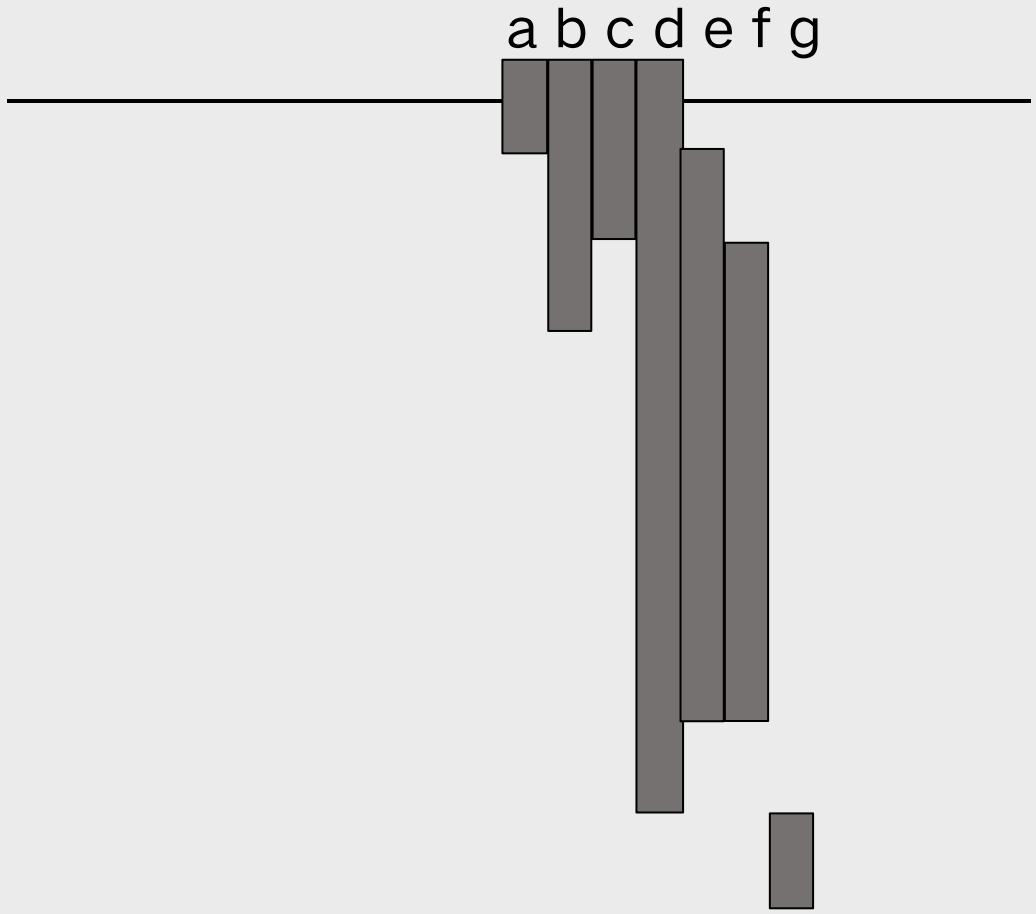


寄存器线性扫描分配——变量存活区间

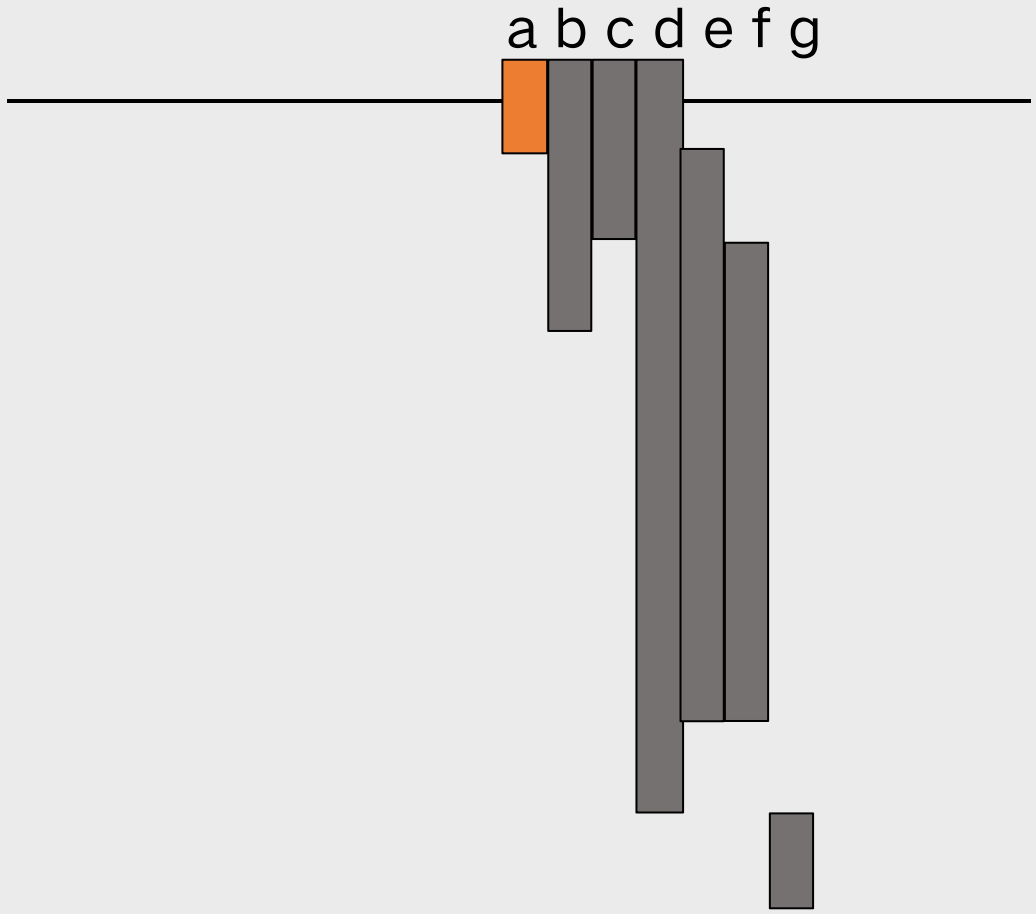




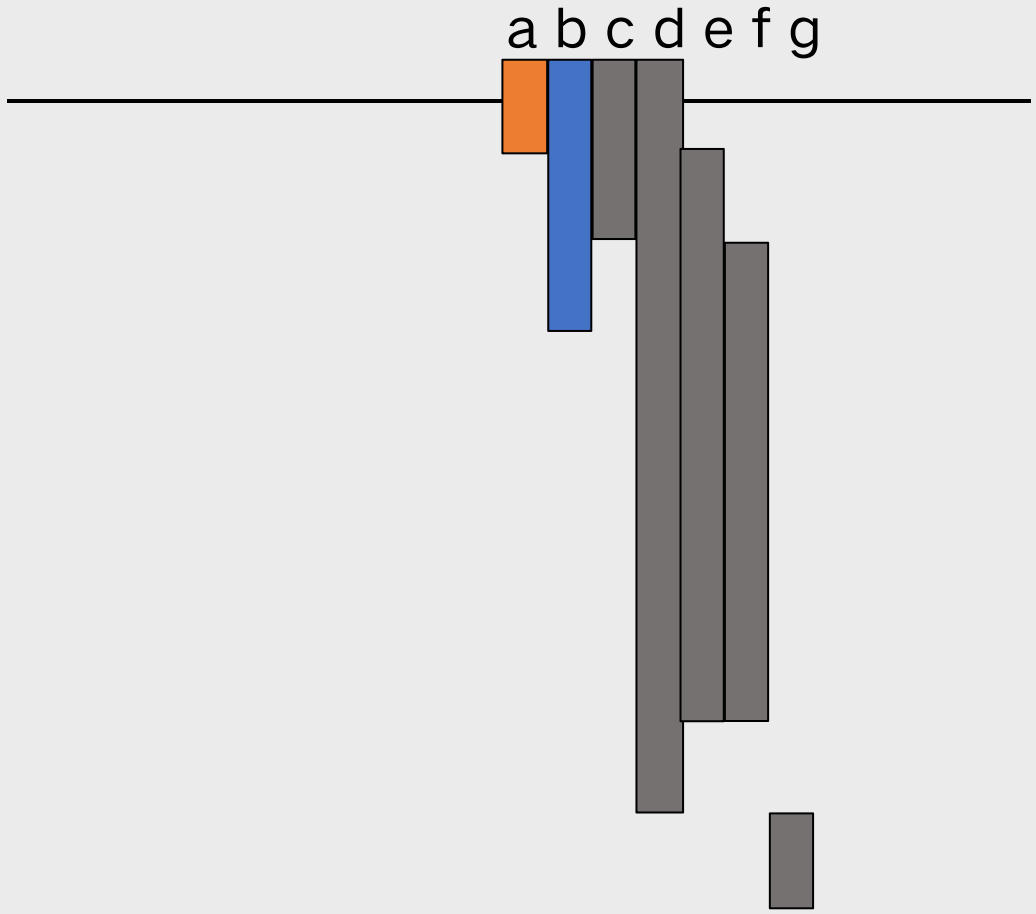
寄存器线性扫描——贪心分配策略



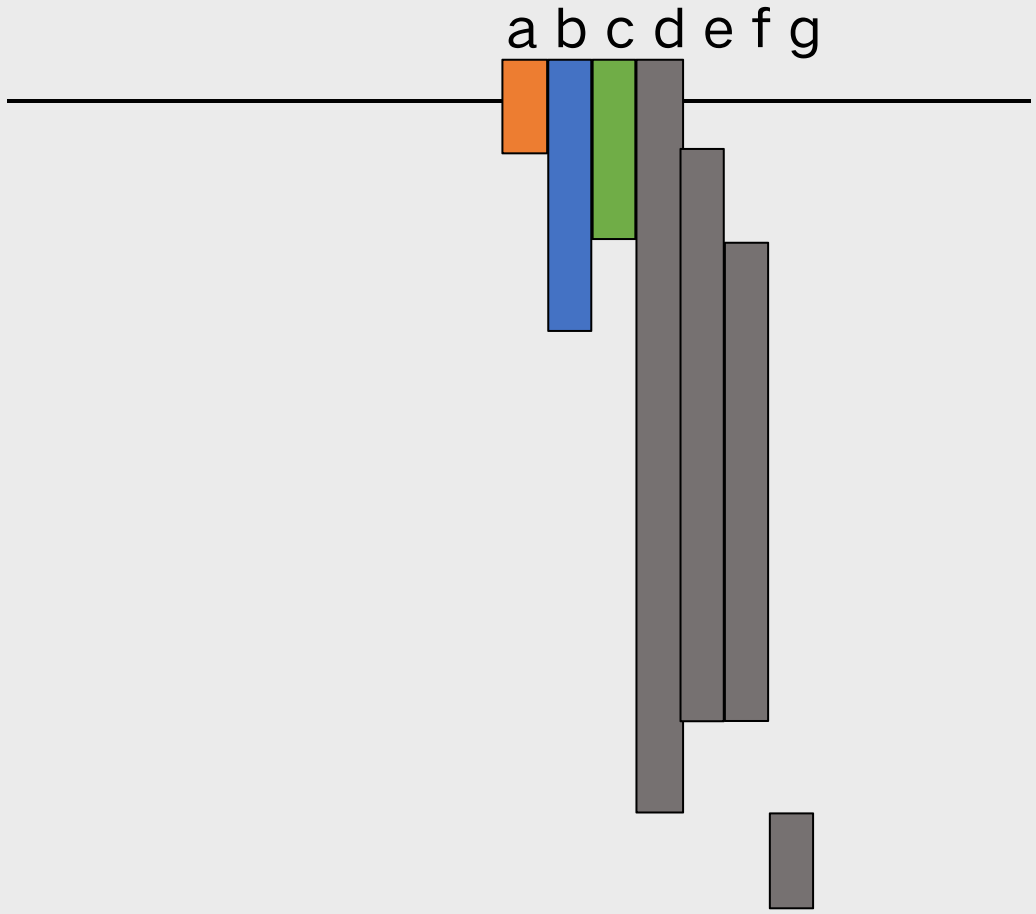
寄存器线性扫描——贪心分配策略



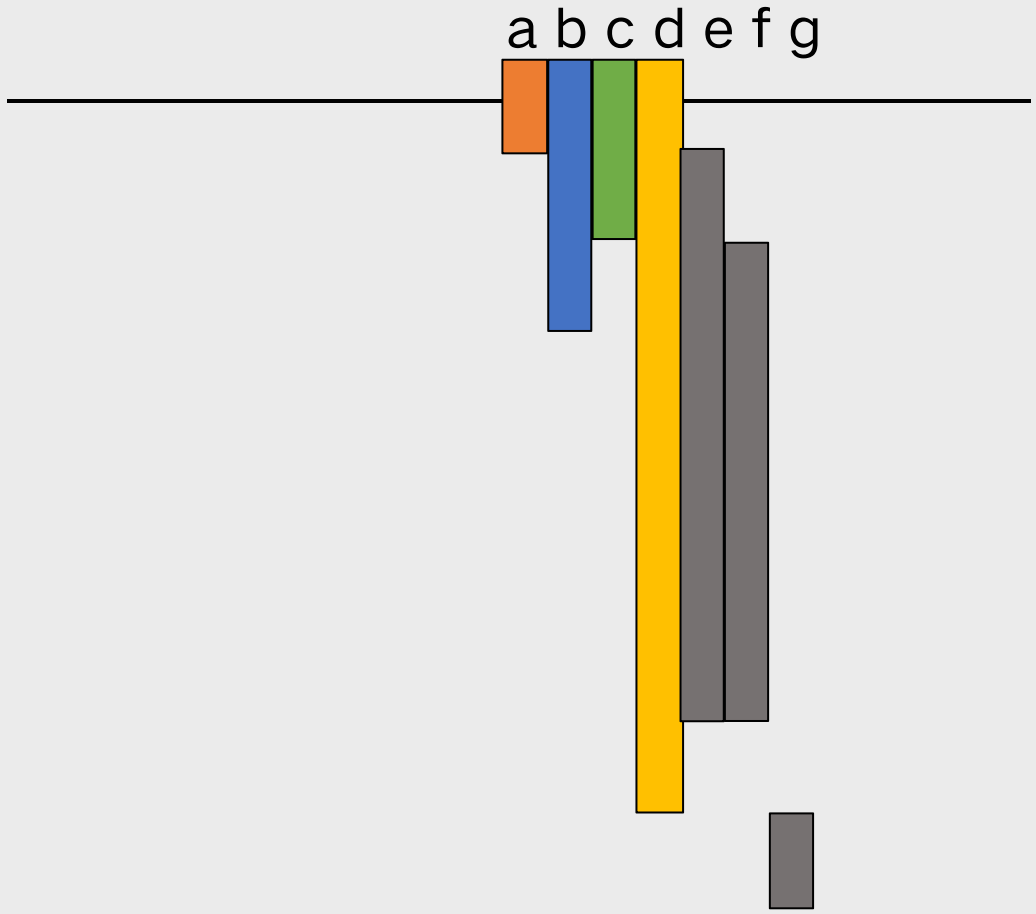
寄存器线性扫描——贪心分配策略



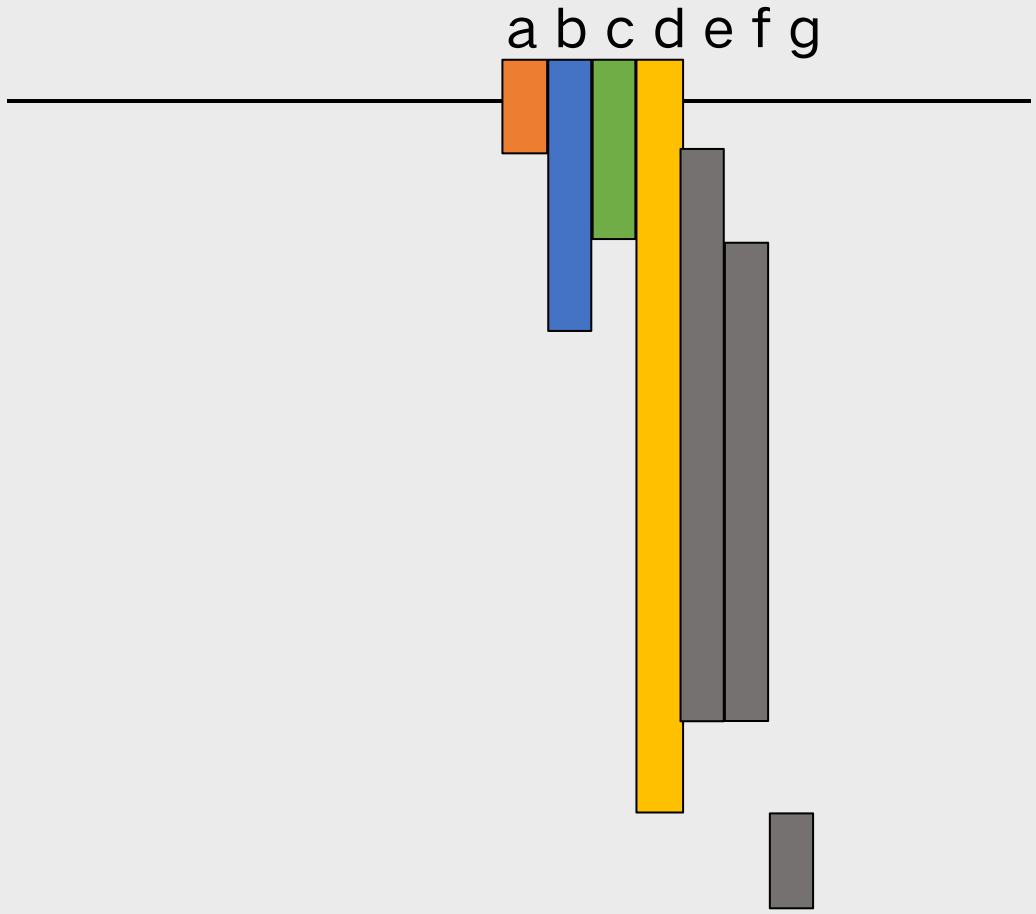
寄存器线性扫描——贪心分配策略



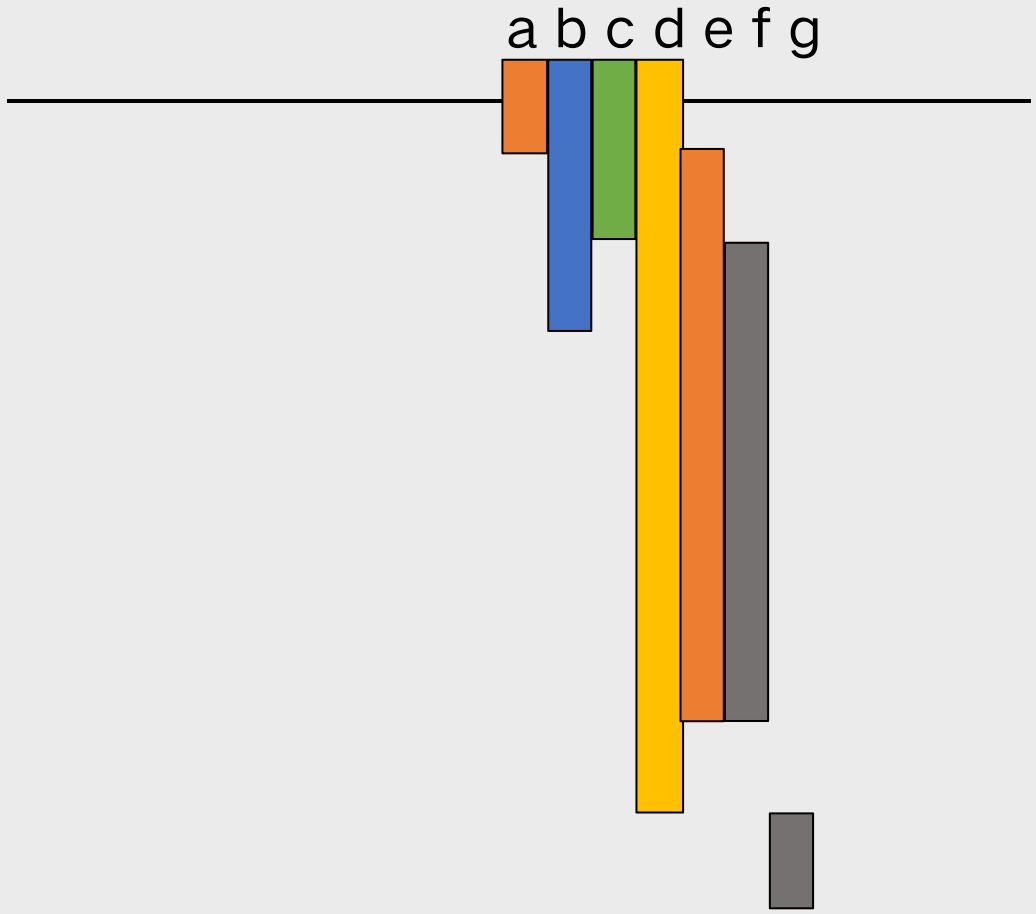
寄存器线性扫描——贪心分配策略



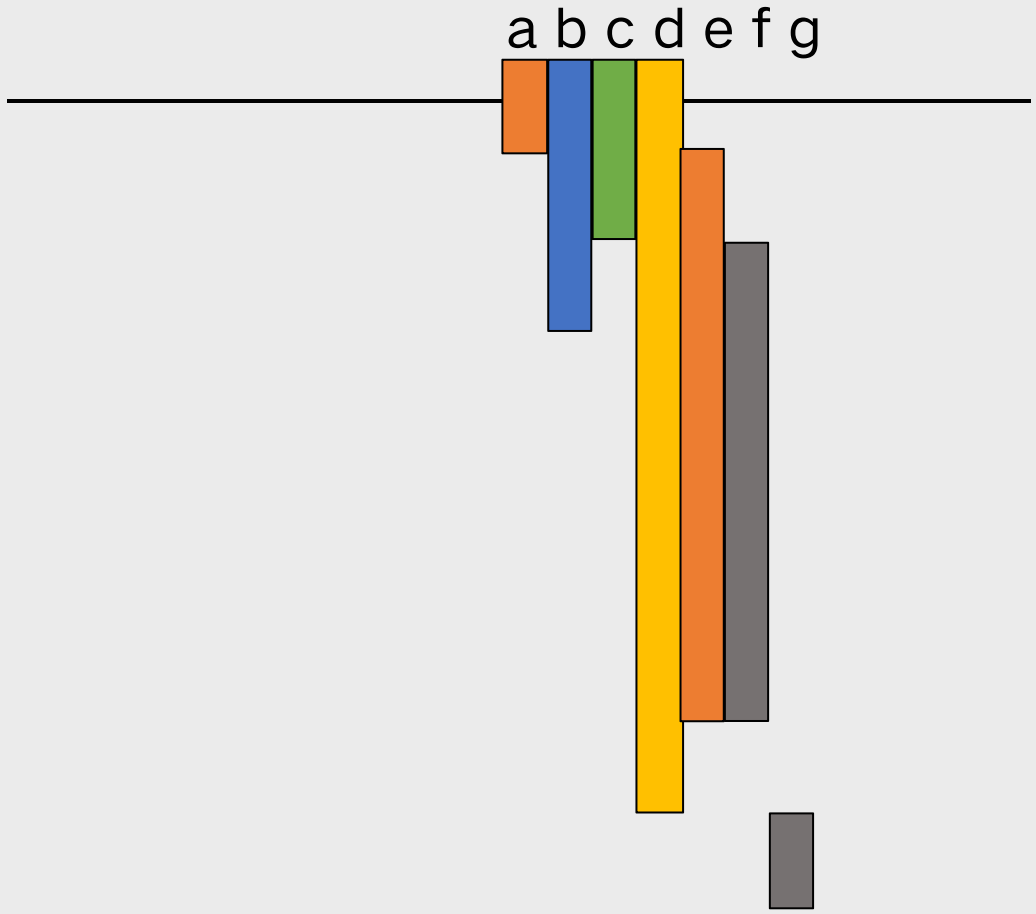
寄存器线性扫描——贪心分配策略



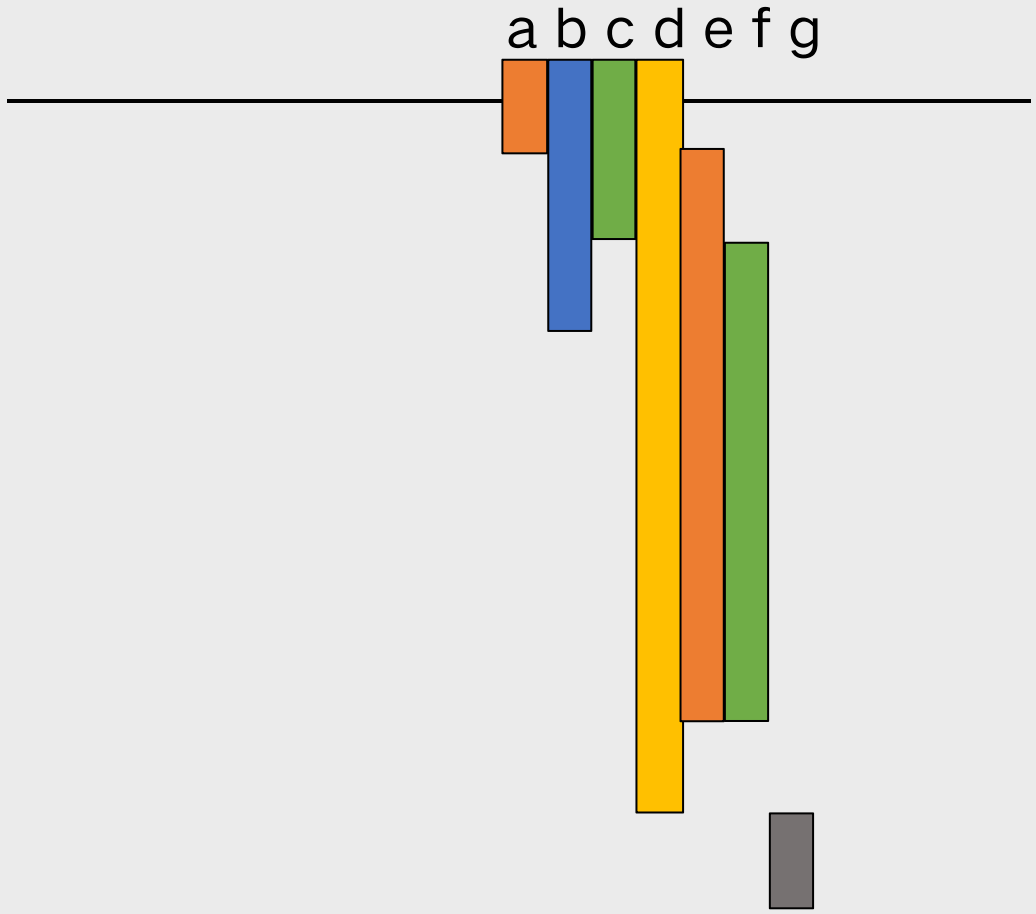
寄存器线性扫描——贪心分配策略



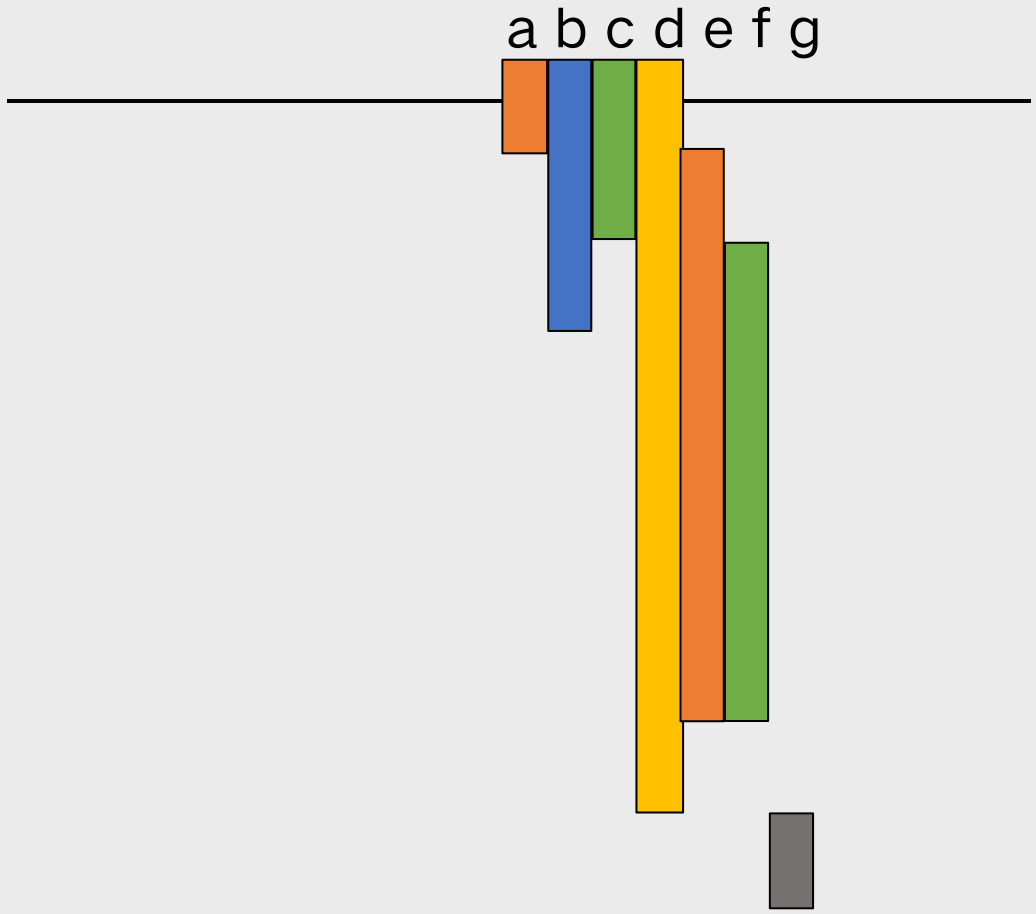
寄存器线性扫描——贪心分配策略



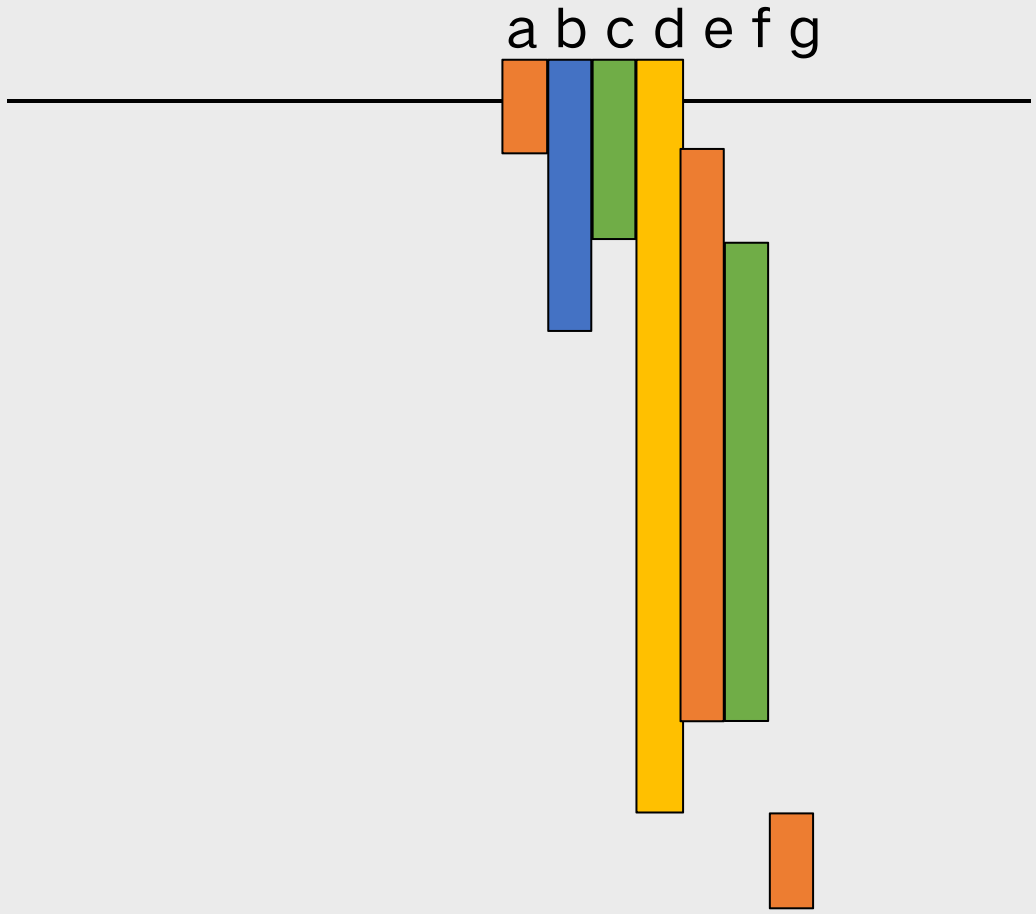
寄存器线性扫描——贪心分配策略



寄存器线性扫描——贪心分配策略



寄存器线性扫描——贪心分配策略



本节小结

- 寄存器是宝贵的计算机资源，需要合理利用和分配
- 寄存器分配主要有线性扫描和图着色两类算法
  - 前者比后者性能更好，应用更加广泛
- 线性扫描需要借助于变量存活区间的分析
  - 需要数据流分析的抽象

拓展与思考

- **延伸阅读：**
  - 线性扫描算法：
    - Linear Scan Register Allocation for the Java HotSpot™Client Compiler
  - 图着色算法：
    - Register allocation & spilling via graph coloring

一起努力
打造国产基础软硬件体系！

李 诚

国家高性能计算中心(合肥)、信息与计算机国家级实验教学示范中心

计算机科学与技术学院

2024年11月27日