机器无关代码优化
Part5：基本块内的优化

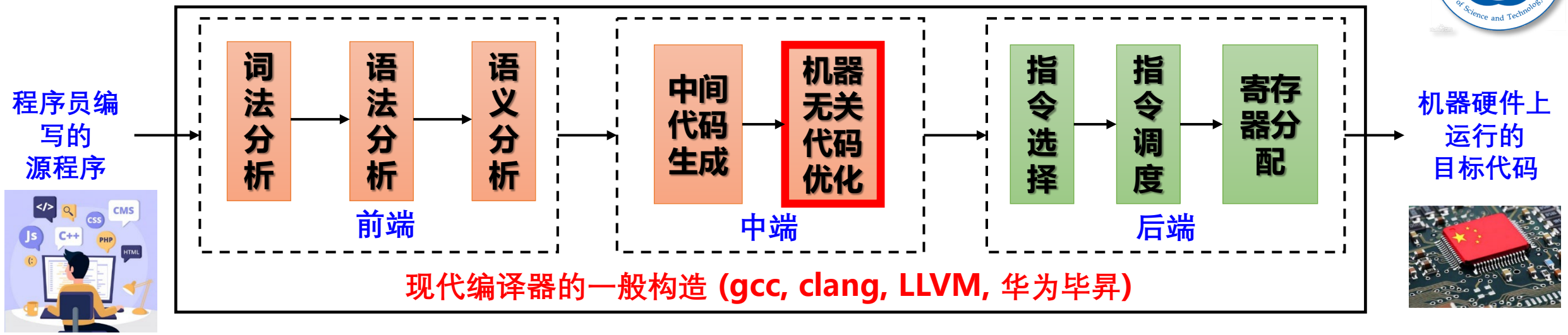
李 诚

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25日

本节提纲



- **基本块的DAG表示**
- **优化的基本方法**
  - 删除局部公共子表达式、删除死代码
  - 代数恒等式的使用、数组引用的表示
- **从DAG到基本块的重组**

优化的实现方式

- **局部视角-基本块的优化**
  - DAG表示
- **全局视角-跨基本块的优化**
  - 数据流分析
- **全局视角-跨函数的优化**

基本块的DAG(有向无环图)表示

- **基本块DAG的构造方式**
  - 每个变量有一个对应的DAG结点表示其初值
  - 每条语句s都对应一个内部结点N
    - 结点N的标号是s中的运算符
    - 有一组变量被关联到N，表示s是在此基本块中最晚对这些变量定值的语句
    - N的子结点是基本块中在s之前，最后一个对s所使用的某个运算分量进行定值的语句对应的结点。如果某个运算分量在基本块中在s之前没有被定值，则这个分量对应的子结点就是其初始值对应的结点，用下标0区分
  - 某些结点是输出结点，在出口处活跃

基本块的DAG(有向无环图)表示

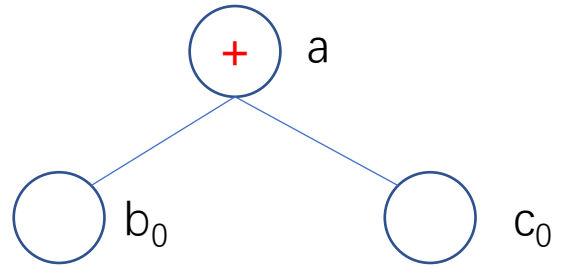
考虑如下基本块：

a = b + c

b = a – d

c = b + c

d = a - d



- **每个变量有一个对应的DAG结点表示其初值**
- **每条语句s都对应一个内部结点N**
  - 结点N的标号是s中的运算符
  - 有一组变量被关联到N，表示s是在此基本块中最晚对这些变量定值的语句
  - N的子结点是基本块中在s之前，最后一个对s所使用的某个运算分量进行定值的语句对应的结点。如果某个运算分量在基本块中在s之前没有被定值，则这个分量对应的子结点就是其初始值对应的结点，用下标0区分

基本块的DAG(有向无环图)表示

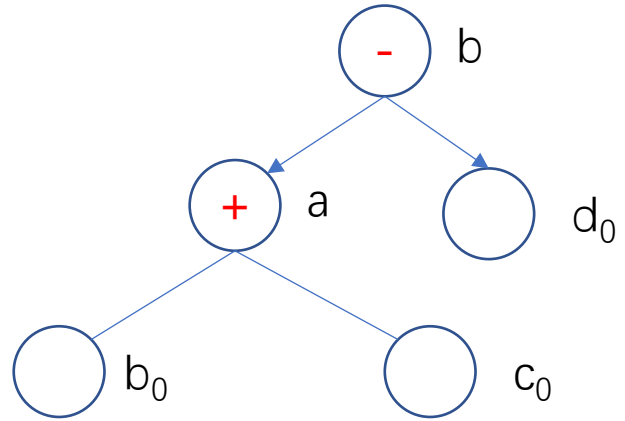
考虑如下基本块：

a = b + c

b = a – d

c = b + c

d = a - d



- **每个变量有一个对应的DAG结点表示其初值**
- **每条语句s都对应一个内部结点N**
  - 结点N的标号是s中的运算符
  - 有一组变量被关联到N，表示s是在此基本块中最晚对这些变量定值的语句
  - N的子结点是基本块中在s之前，最后一个对s所使用的某个运算分量进行定值的语句对应的结点。如果某个运算分量在基本块中在s之前没有被定值，则这个分量对应的子结点就是其初始值对应的结点，用下标0区分

基本块的DAG(有向无环图)表示

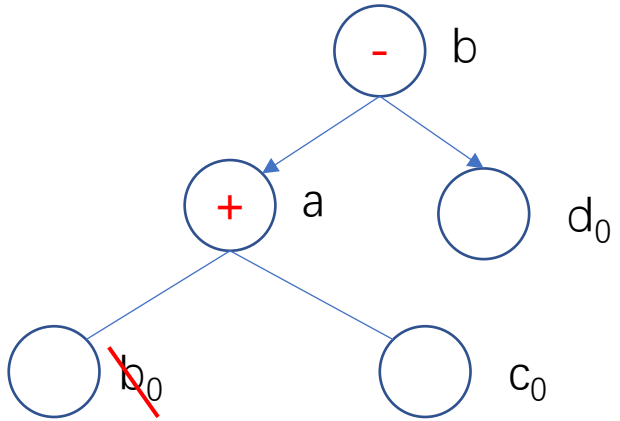
考虑如下基本块：

a = b + c

b = a – d

c = b + c

d = a - d



- **每个变量有一个对应的DAG结点表示其初值**
- **每条语句s都对应一个内部结点N**
  - 结点N的标号是s中的运算符
  - 有一组变量被关
  - N的子结点是基
  - 定值的语句对应的结点。如果某个运算分量在基本块中在s之前没有被定值，则这个分量对应的子结点就是其初始值对应的结点，用下标0区分

注1：在为语句x= y+z构造结点N的时候，如果x已经被关联到某结点M上，那么需要从M的关联变量中删除变量x

基本块的DAG(有向无环图)表示

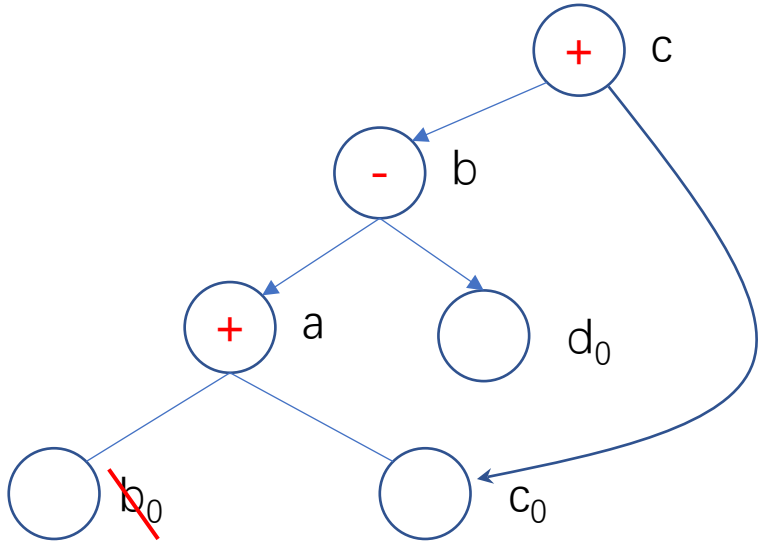
考虑如下基本块：

a = b + c

b = a – d

c = b + c

d = a - d



- **每个变量有一个对应的DAG结点表示其初值**
- **每条语句s都对应一个内部结点N**
  - 结点N的标号是s中的运算符
  - 有一组变量被关联到N，表示s是在此基本块中最晚对这些变量定值的语句
  - N的子结点是基本块中在s之前，最后一个对s所使用的某个运算分量进行定值的语句对应的结点。如果某个运算分量在基本块中在s之前没有被定值，则这个分量对应的子结点就是其初始值对应的结点，用下标0区分

基本块的DAG(有向无环图)表示

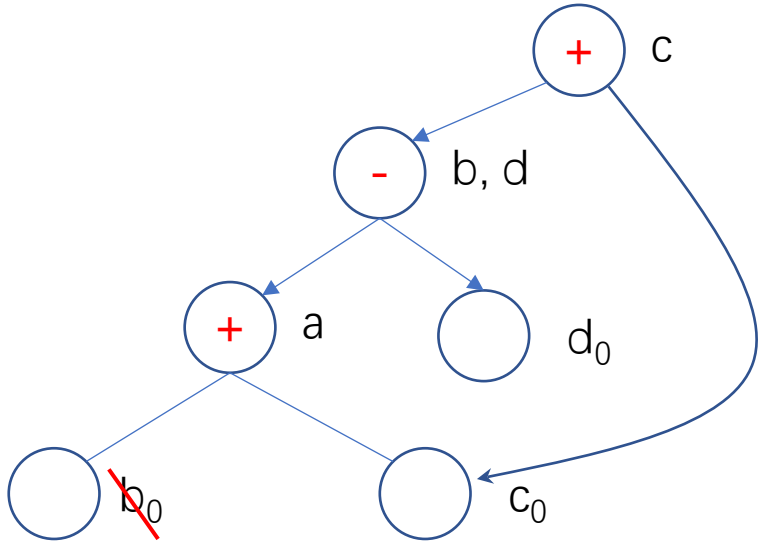
考虑如下基本块：

a = b + c

b = a – d

c = b + c

d = a - d



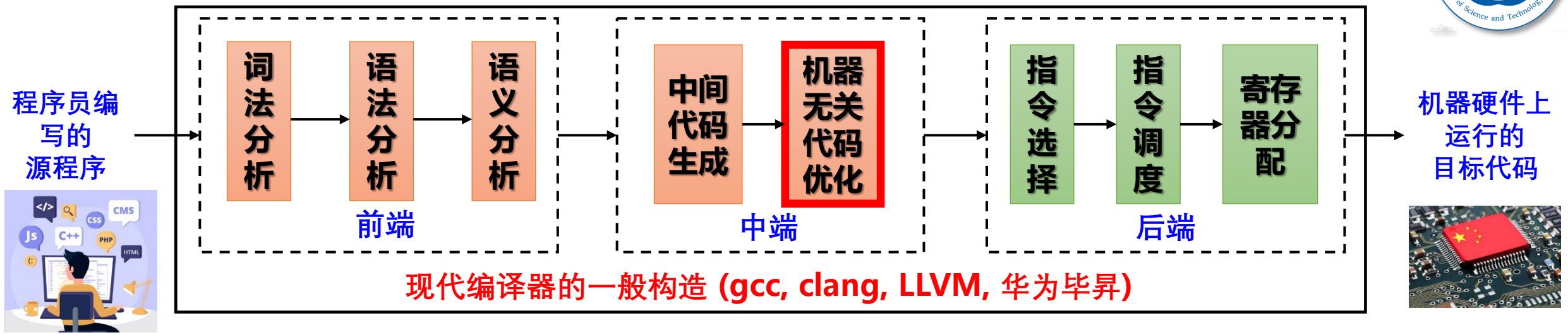
- **每个变量有一个对应的DAG结点表示其初值**
- **每条语句s都对应一个内部结点N**
  - 结点N的标号是s中的运算符
  - 有一组变量被
  - N的子结点是

注2：对于x=y+z语句，可对y+z进行值编码，并在该基本快DAG中查询是否已经存在一个结点表示y+z，如果有，就不需要在DAG中加入新的结点，而是在已存在的结点的关联变量中增加x

语句

行定值的语句对应的结点。如果某个运算分量在基本块中在s之前没有被定值，则这个分量对应的子结点就是其初始值对应的结点，用下标0区分

本节提纲



- 基本块的DAG表示
- **优化的基本方法**
  - 删除局部公共子表达式、删除死代码
  - 代数恒等式的使用、数组引用的表示
- **从DAG到基本块的重组**

删除局部公共子表达式

考虑如下基本块：

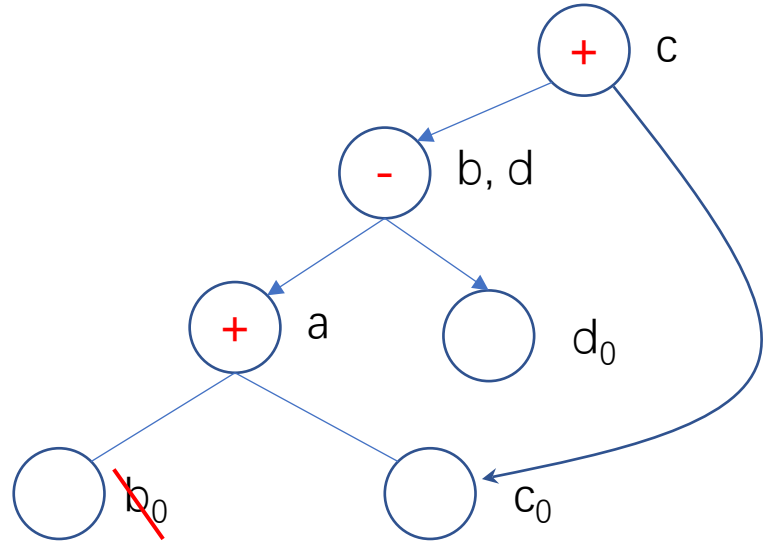
a = b + c

b = a – d

c = b + c

d = a - d

假设b在基本块出口处不活跃



a = b + c

d = a – d

c = d + c

删除局部公共子表达式

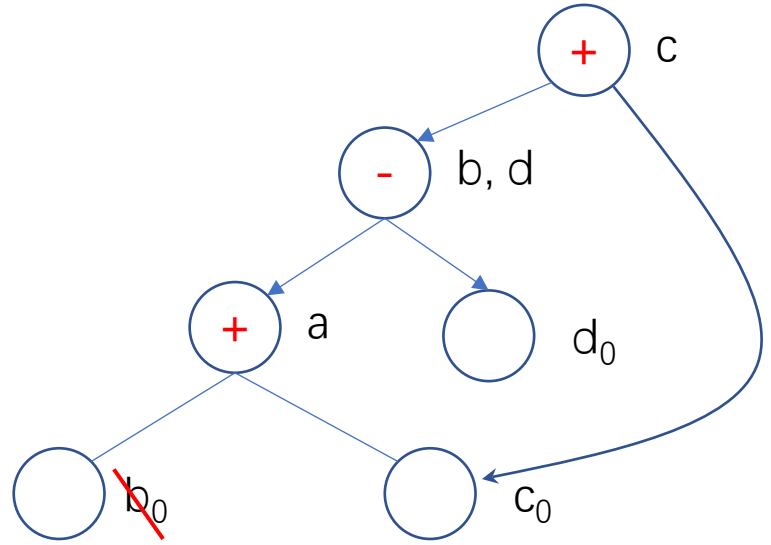
- 当完成基本块优化后，就可以根据优化得到的DAG生成新的等价的三地址代码
- 如果结点有多个关联的活跃变量，就必须引入复制语句，为每个变量赋予正确的值

删除局部公共子表达式

考虑如下基本块：

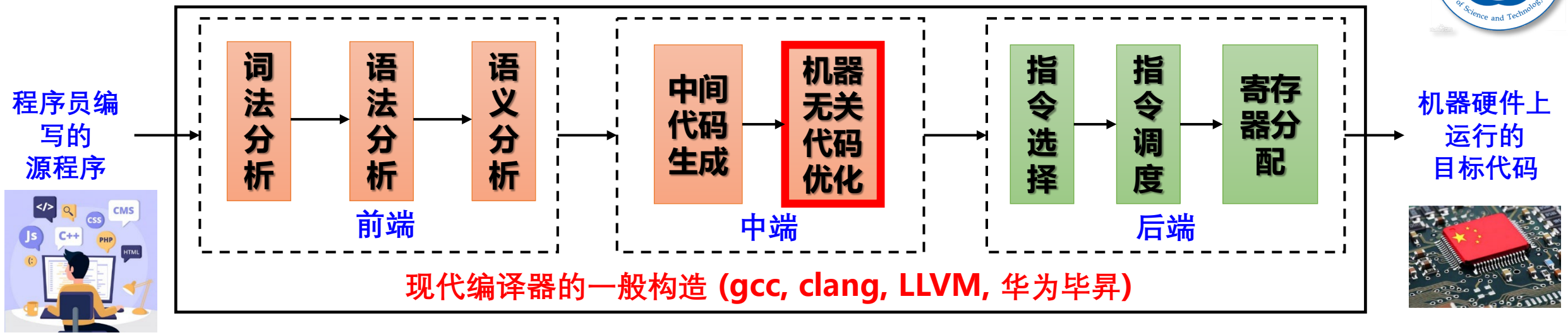
a = b + c
b = a – d
c = b + c
d = a - d

假设b和d在基本块出口处都活跃



a = b + c
d = a – d
b = d
c = d + c

本节提纲



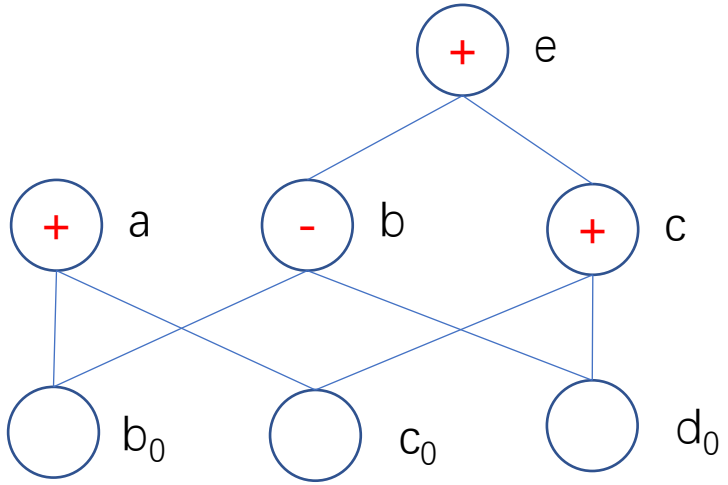
- 基本块的DAG表示
- **优化的基本方法**
  - 删除局部公共子表达式、删除死代码
  - 代数恒等式的使用、数组引用的表示
- **从DAG到基本块的重组**

DAG与删除死代码

- **活跃变量是指其值可能会在以后被使用的变量**
- **在DAG上删除死代码，可进行如下操作**
  - 1.删除所有没有关联活跃变量的根结点
  - 2.重复1操作

考虑如下基本块：

a = b + c
b = b – d
c = c + d
e = b + c



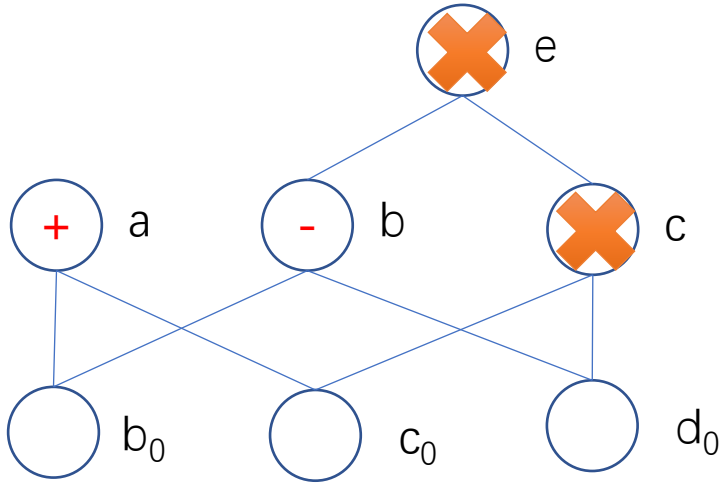
假设a和b是活跃变量，但c和e不是

DAG与删除死代码

- **活跃变量是指其值可能会在以后被使用的变量**
- **在DAG上删除死代码，可进行如下操作**
  - 1.删除所有没有关联活跃变量的根结点
  - 2.重复1操作

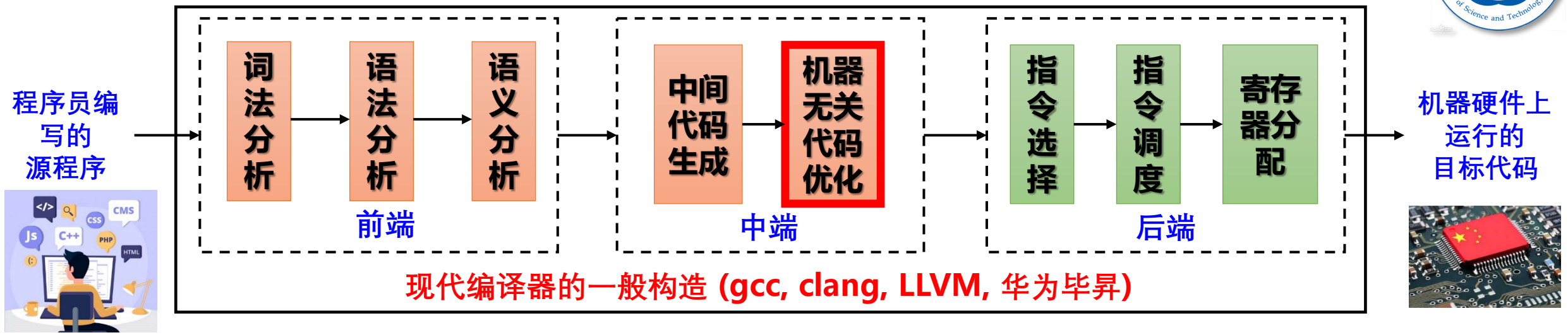
考虑如下基本块：

a = b + c
b = b – d
c = c + d
e = b + c



假设a和b是活跃变量，但c和e不是

本节提纲



- 基本块的DAG表示
- **优化的基本方法**
  - 删除局部公共子表达式、删除死代码
  - 代数恒等式的使用、数组引用的表示
- **从DAG到基本块的重组**

代数恒等式的使用

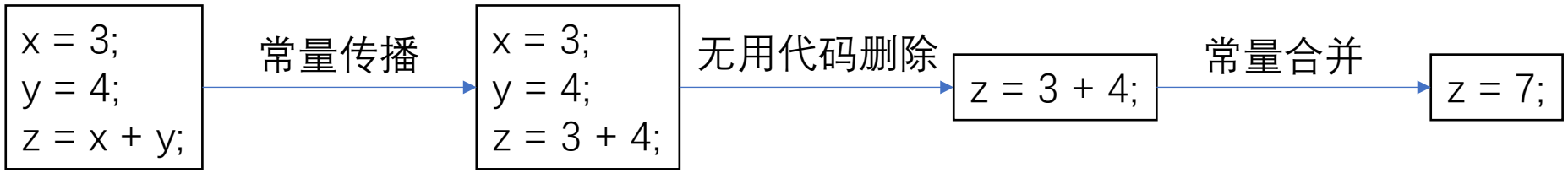
- $x + 0 = 0 + x = x$
- $x - 0 = x$
- $x * 1 = 1 * x = x$
- $x / 1 = x$
- **相关的计算可以消除**

代数恒等式的使用

- **局部强度消减**
  - $x^2 = x * x$
  - $2 * x = x + x$
  - $x / 2 = x * 0.5$

代数恒等式的使用

- **常量合并（constant folding）：计算常量表达式的值**



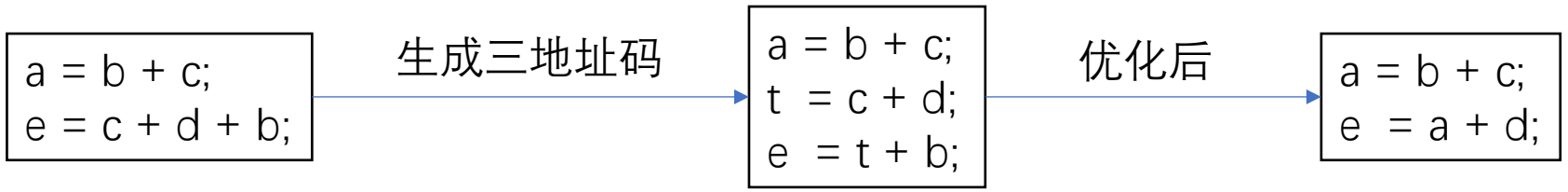
- **常量来源**
  - 程序员编写的，比如magic number
  - 宏定义展开后带来的，这种情况在大型工程文件中非常普遍
  - 在程序优化过程中由其它的优化技术带来的常数

代数恒等式的使用

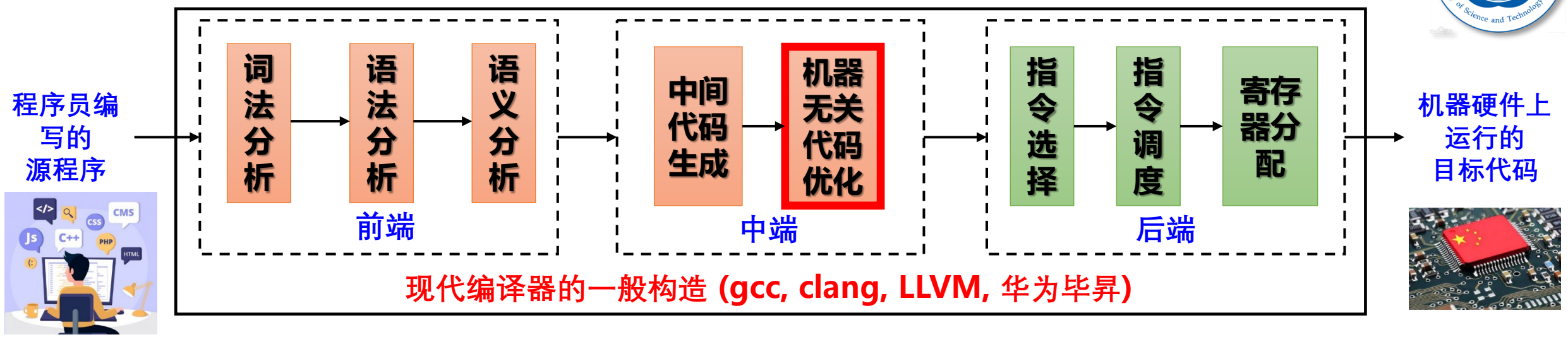
- **交换律**
  - x * y = y * x
  - 识别可用表达式时，这两者等价，需要考虑两种情况

代数恒等式的使用

- **交换律**
  - x * y = y * x
  - 识别可用表达式时，这两者等价，需要考虑两种情况
- **结合律**



本节提纲



- 基本块的DAG表示
- 删除局部公共子表达式
- 删除死代码
- **数组引用的表示**
- **从DAG到基本块的重组**

数组引用的表示

考虑如下基本块：

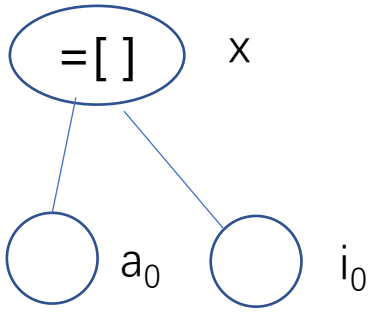
x = a[i]

a[j] = y

z = a[i]

在构造DAG时，如何避免将a[i]误判为公共子表达式

- 对于形如x=a[i]的三地址指令创建一个运算符为=[ ]的结点
- 该结点的子结点为a和i
- 该结点的关联变量是x



数组引用的表示

考虑如下基本块：

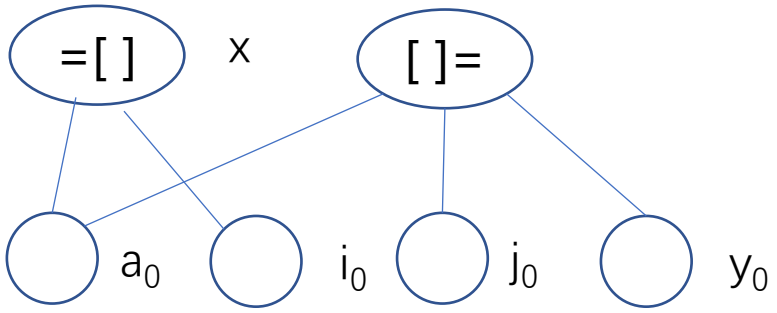
x = a[i]

a[j] = y

z = a[i]

在构造DAG时，如何避免将a[i]误判为公共子表达式

- 对于形如a[j]=y的三地址指令创建一个运算符为[ ]=的结点
- 该结点的子结点为a, j和y
- 该结点没有关联变量



数组引用的表示

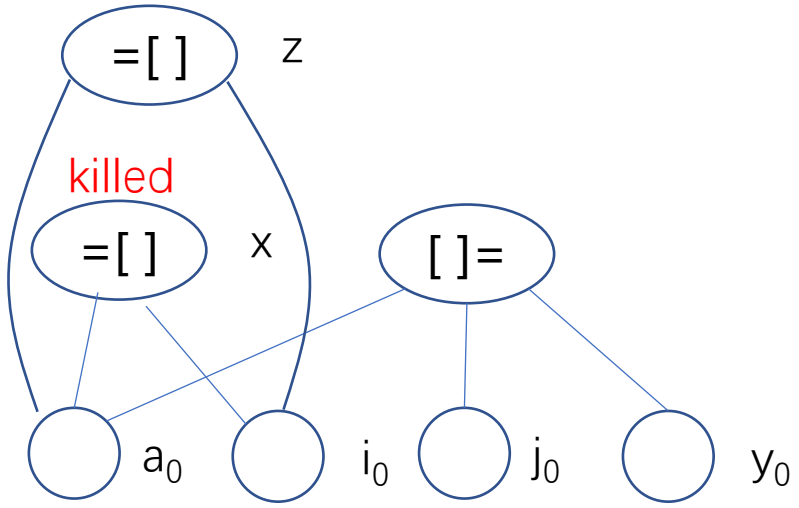
考虑如下基本块：

x = a[i]

a[j] = y

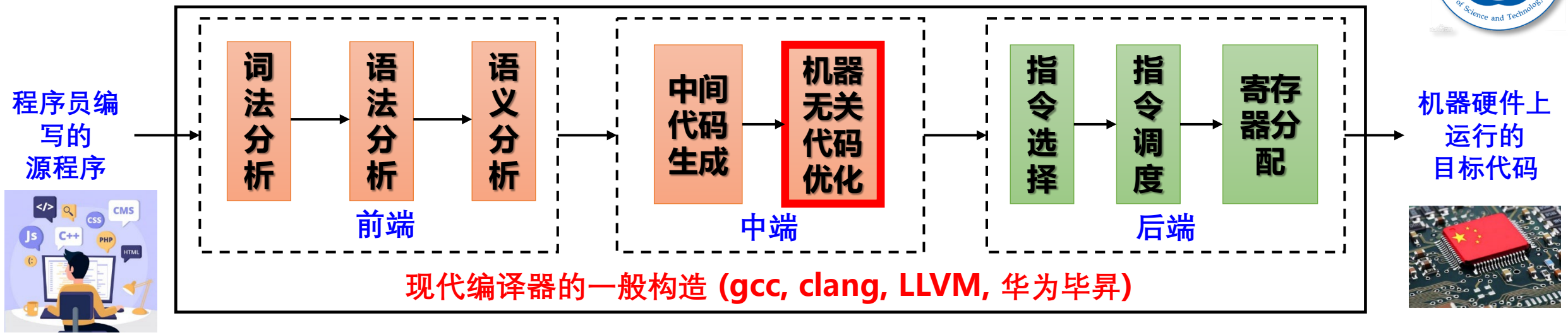
z = a[i]

在构造DAG时，如何避免将a[i]误判为公共子表达式



- 对于形如a[j]=y的三地址指令创建一个运算符为[ ]=的结点
- 该结点的子结点为a, j和y
- 该结点没有关联变量
- 该结点将杀死所有已经建立的、其值依赖于a_0的结点
- 被杀死的结点不能再关联定值变量，也就不能成为公共子表达式

本节提纲



- 基本块的DAG表示
- 删除局部公共子表达式
- 删除死代码
- 数组引用的表示
- **从DAG到基本块的重组**

从DAG到基本块的重组

- **当完成基本块优化后，就可以根据优化得到的DAG生成新的等价的三地址代码**
- **对每个具有若干关联定值变量的结点，构造一个三地址指令来计算其中某个变量的值**
  - 倾向于把计算得到的结果赋给一个在基本块出口处活跃的变量(如果没有全局活跃变量的信息作为依据，就要假设所有变量在基本块出口处活跃，不包含编译器为处理表达式而生成的临时变量)
  - 如果结点有多个附加活跃变量，必须用复制语句

从DAG到基本块的重组—举例

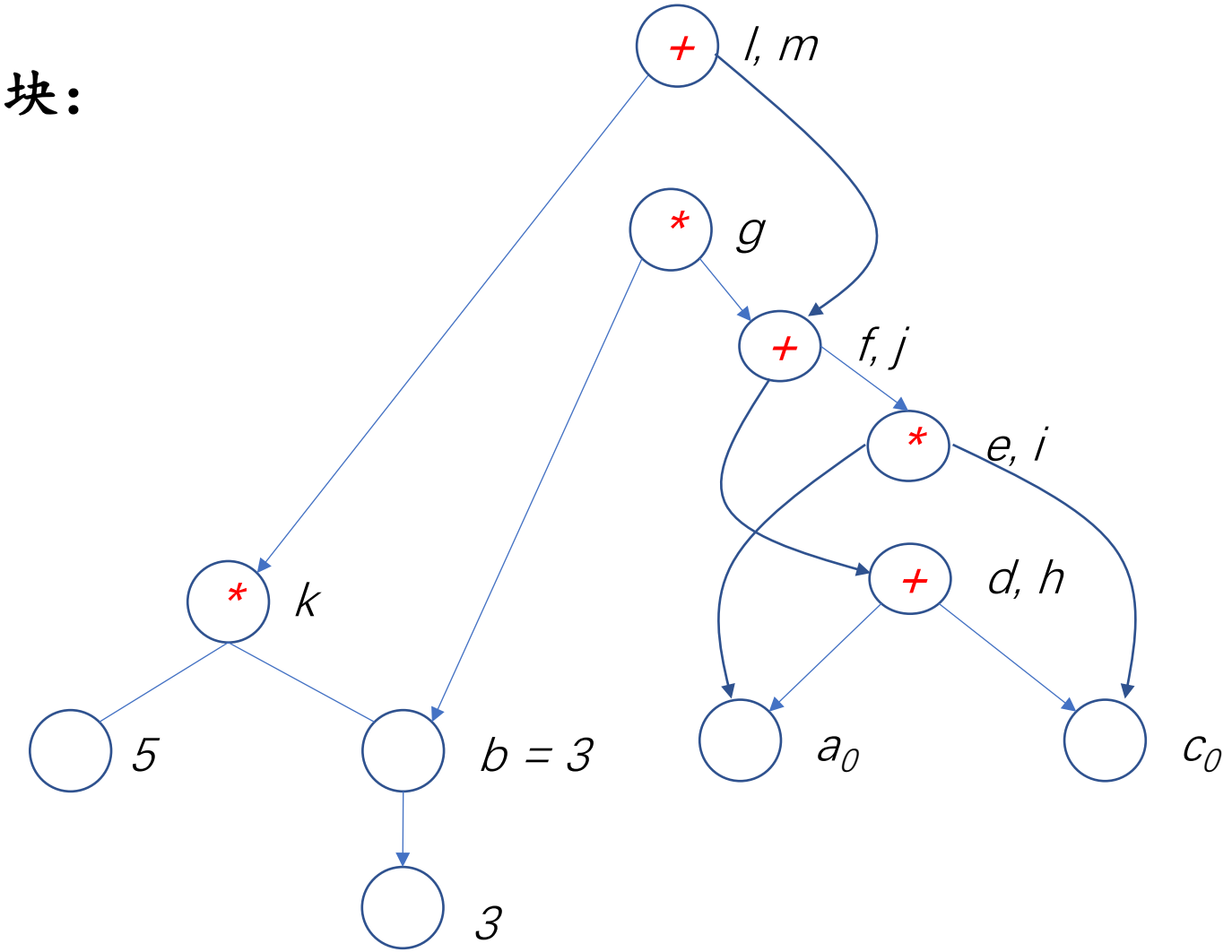
考虑如下基本块：

```
b = 3
d = a + c
e = a * c
f = e + d
g = b * f
h = a + c
i = a * c
j = h + i
k = b * 5
l = k + j
m = l
```

从DAG到基本块的重组—举例

考虑如下基本块：

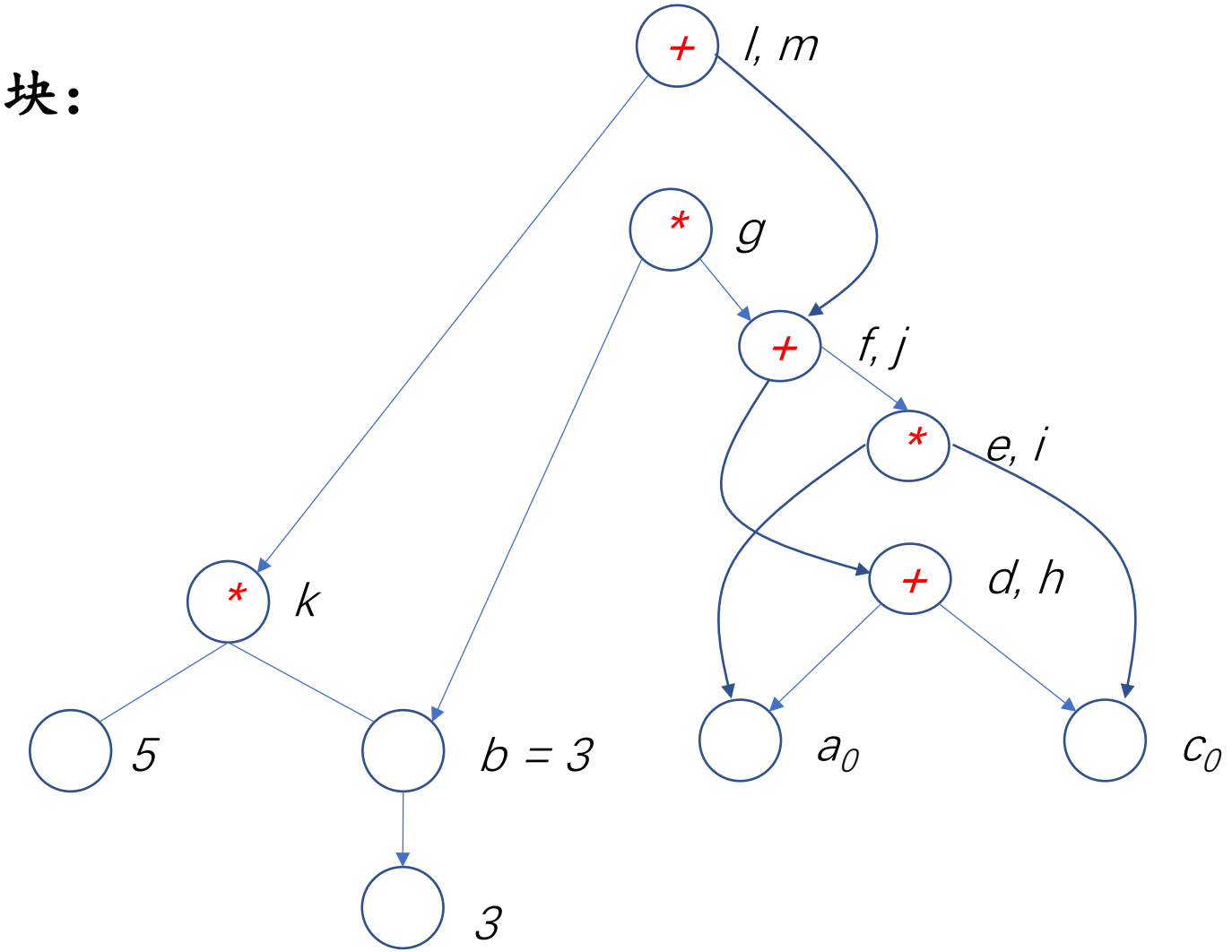
b = 3
d = a + c
e = a * c
f = e + d
g = b * f
h = a + c
i = a * c
j = h + i
k = b * 5
l = k + j
m = l



从DAG到基本块的重组—举例

考虑如下基本块：

b = 3
d = a + c
e = a * c
f = e + d
g = b * f
h = a + c
i = a * c
j = h + i
k = b * 5
l = k + j
m = l

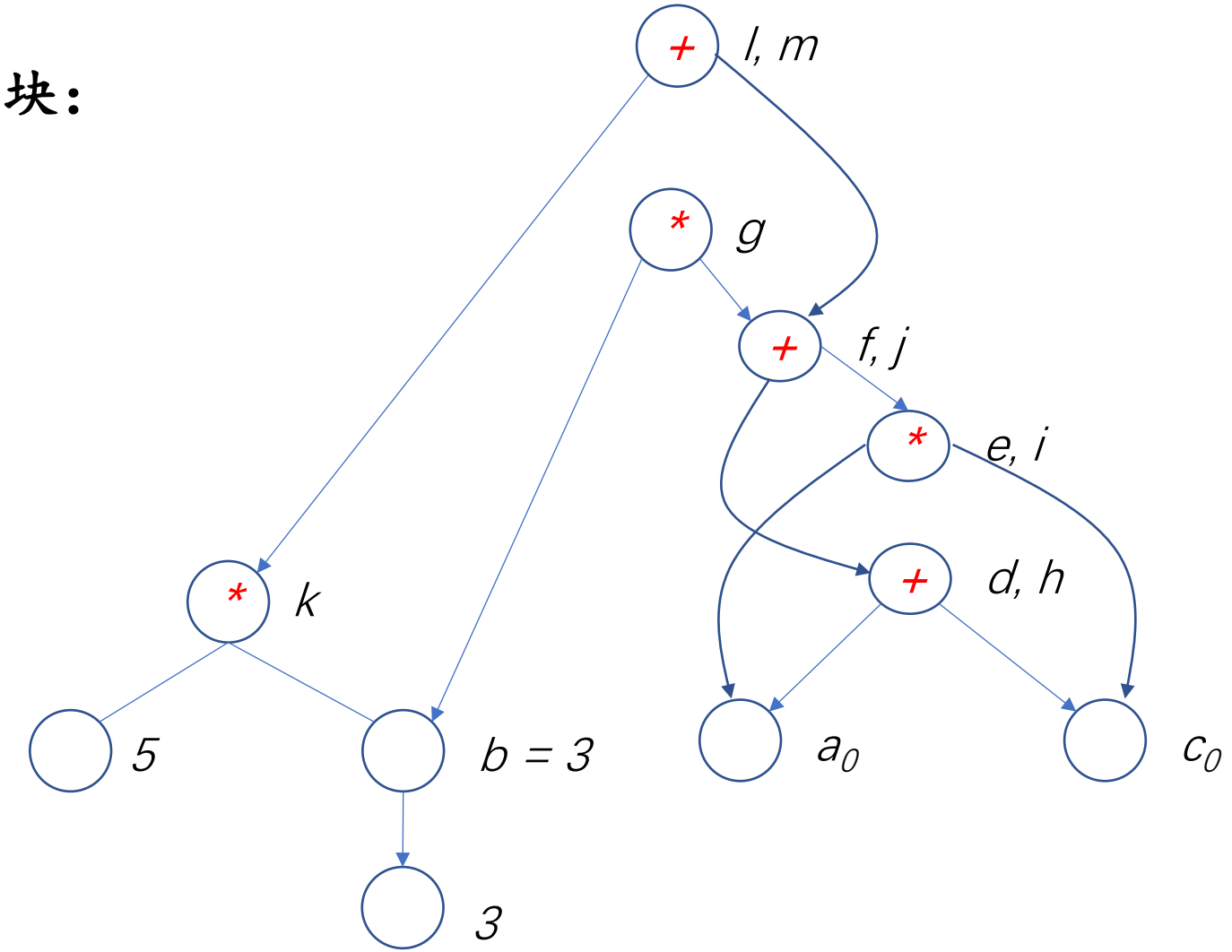


假设基本块结束时仅有/是活跃的

从DAG到基本块的重组—举例

考虑如下基本块：

b = 3
d = a + c
e = a * c
f = e + d
g = b * f
h = a + c
i = a * c
j = h + i
k = b * 5
l = k + j
m = l

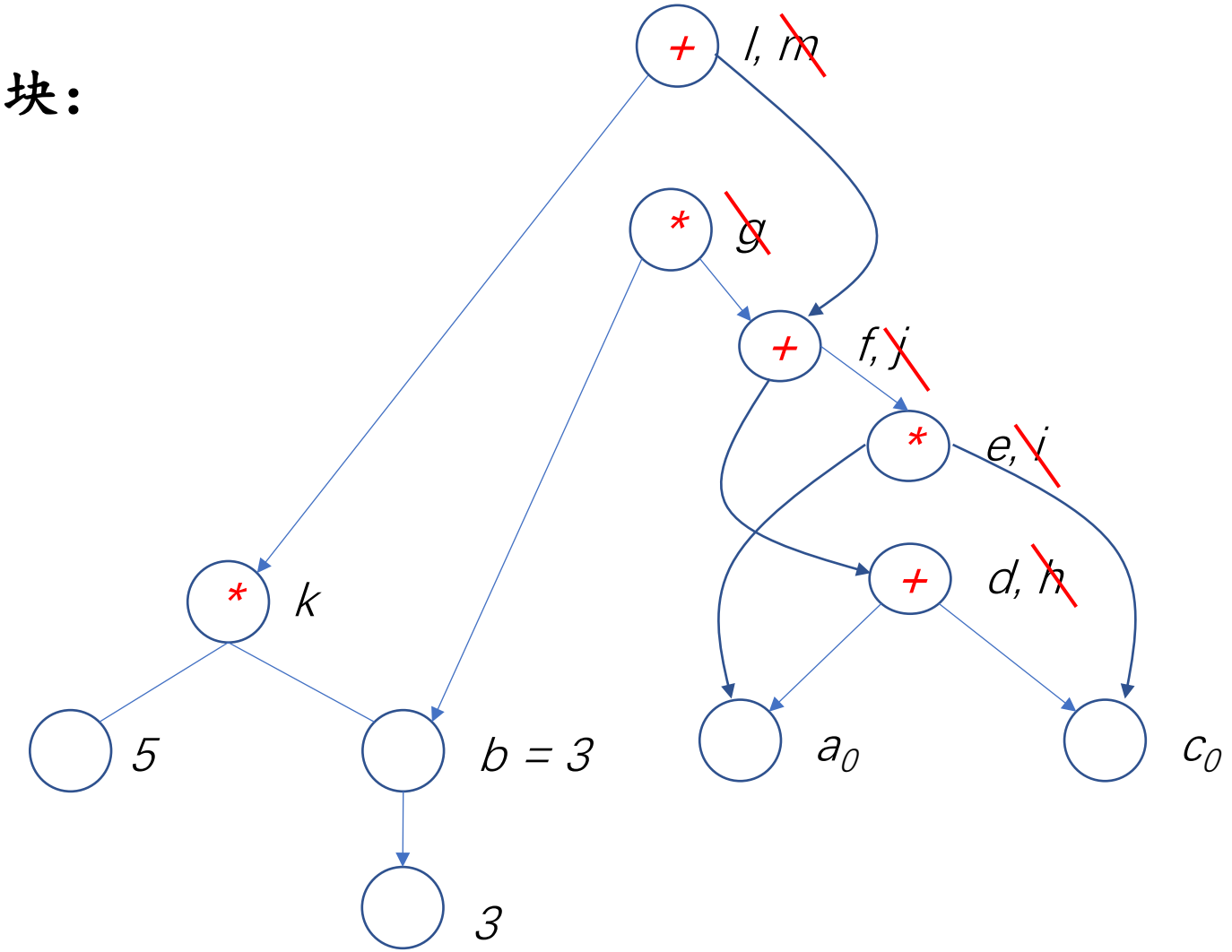


假设基本块结束时仅有/是活跃的

从DAG到基本块的重组—举例

考虑如下基本块：

b = 3
d = a + c
e = a * c
f = e + d
g = b * f
h = a + c
i = a * c
j = h + i
k = b * 5
l = k + j
m = l

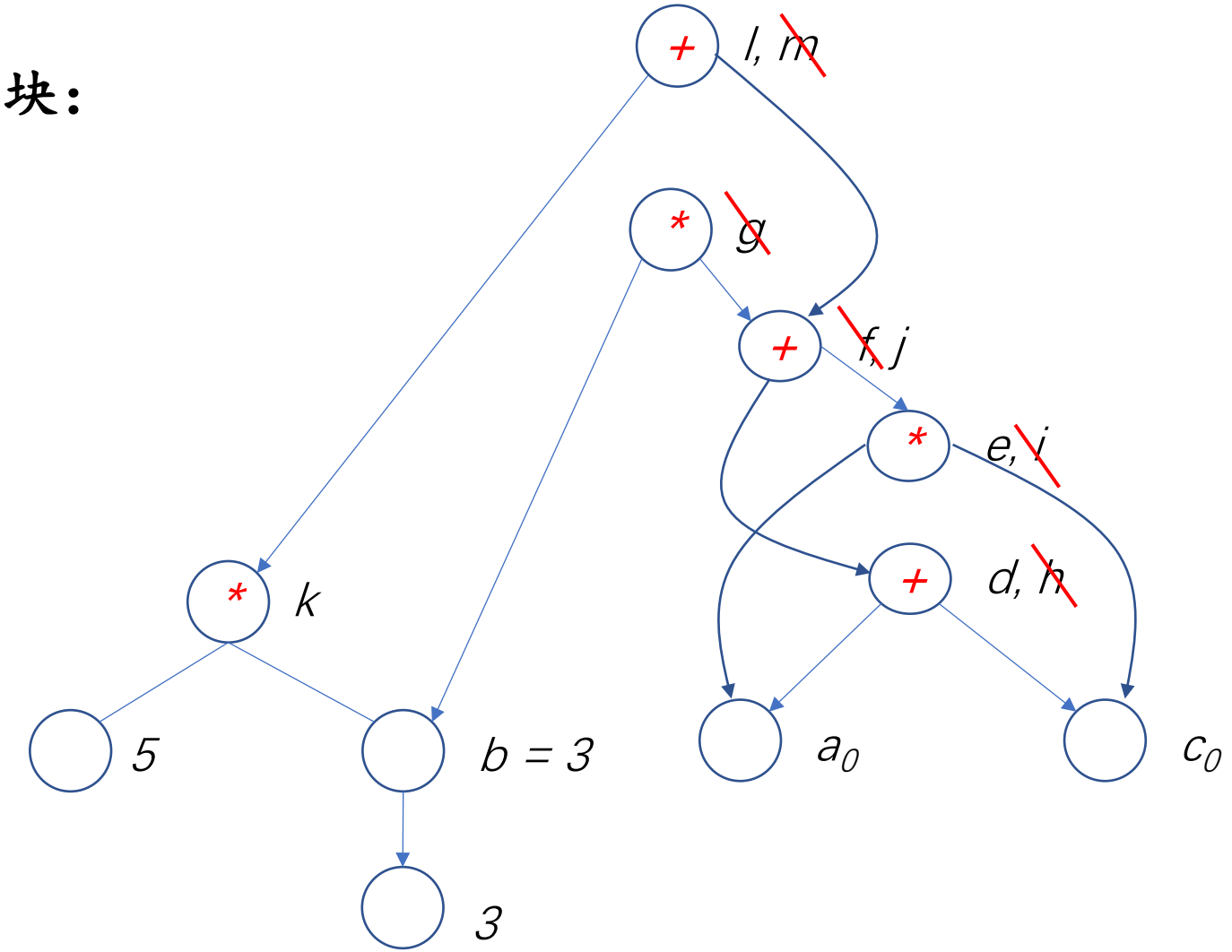


假设基本块结束时仅有/是活跃的

从DAG到基本块的重组—举例

考虑如下基本块：

b = 3
d = a + c
e = a * c
f = e + d
g = b * f
h = a + c
i = a * c
j = h + i
k = b * 5
l = k + j
m = l



优化后的序列

d = a + c
e = a * c
j = e + d
l = 15 + j

假设基本块结束时仅有*l*和*j*是活跃的

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25日