Análise de Longevidade

Sandro Rigo
sandro@ic.unicamp.br

Introdução

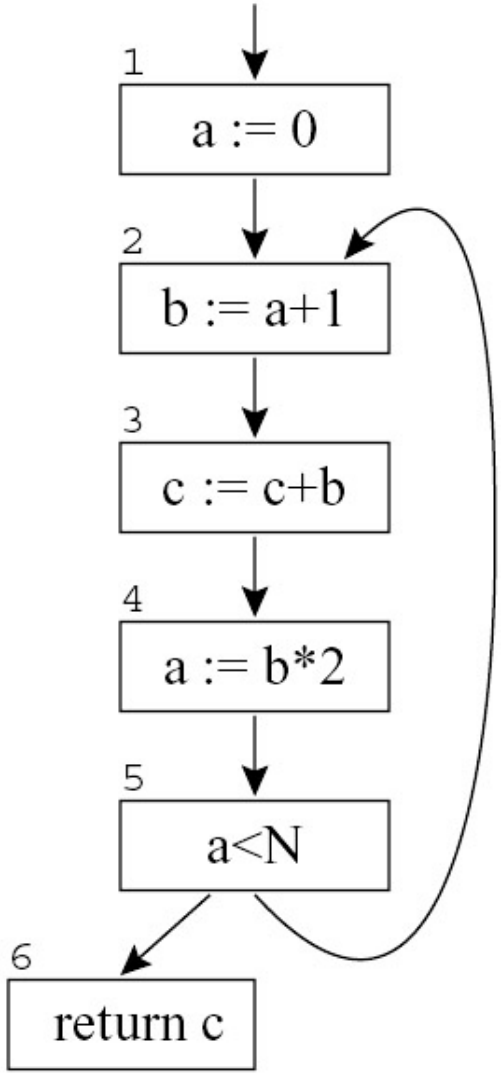
- Linguagem intermediária
  - Gerada pelo front-end considerando número infinito de registradores para temporários
- Máquinas reais têm finitos registradores
  - Para máquinas RISC, 32 é um número típico
- Dois valores temporários podem ocupar o mesmo registrador se não estão “em uso” ao mesmo tempo
  - Muitos temporários podem caber em poucos registradores
  - Os que não couberem vão para a memória (spill)

Introdução

- O compilador analisa a IR para saber quais valores estão em uso ao mesmo tempo
- Chamamos de *viva* uma variável que pode vir a ser usada no futuro
- Esta tarefa então, é conhecida como *liveness analysis*

Control Flow Graph (CFG)

$$
\begin{aligned}
& a \leftarrow 0 \\
L_1 : \; & b \leftarrow a + 1 \\
& c \leftarrow c + b \\
& a \leftarrow b * 2 \\
& \text{if } a < N \text{ goto } L_1 \\
& \text{return } c
\end{aligned}
$$

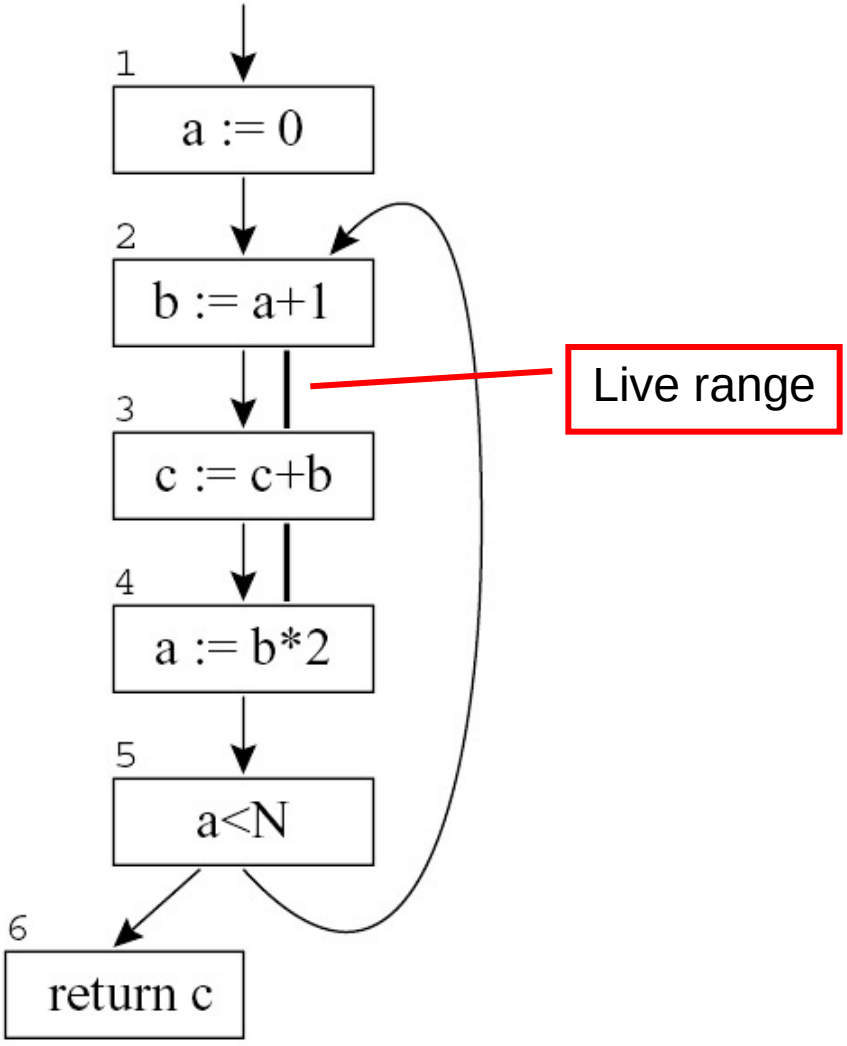


Análise de Longevidade

- *b* é usada em 4
  - Precisa estar viva na aresta 3 → 4
- *b* não é definida (atribuída) no nó 3
  - Logo, deve estar viva na aresta 2 → 3
- *b* é definida em 2
  - Logo, *b* está morta na aresta 1 → 2
  - Seu valor nesse ponto não será mais útil a ninguém
- Live range de b:
  - {2 → 3 , 3 → 4}

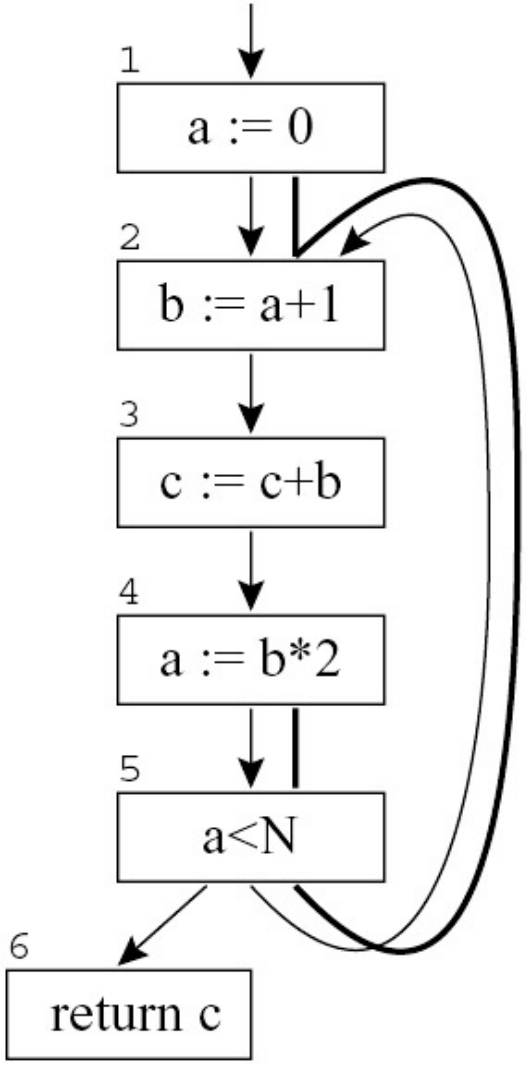
Análise de Longevidade

Como seria para a e c?



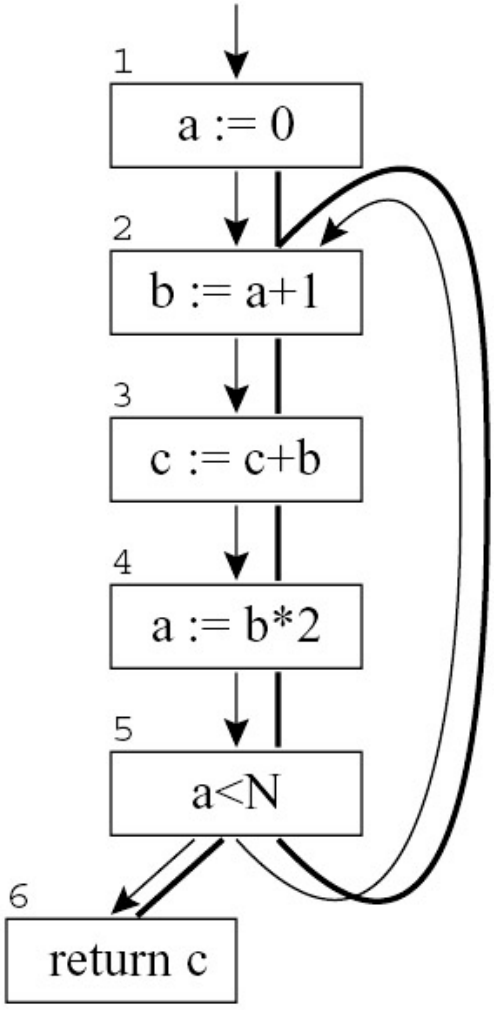
Análise de Longevidade

A: {1 → 2 , 4 → 5, 4 → 5, 5 → 2}



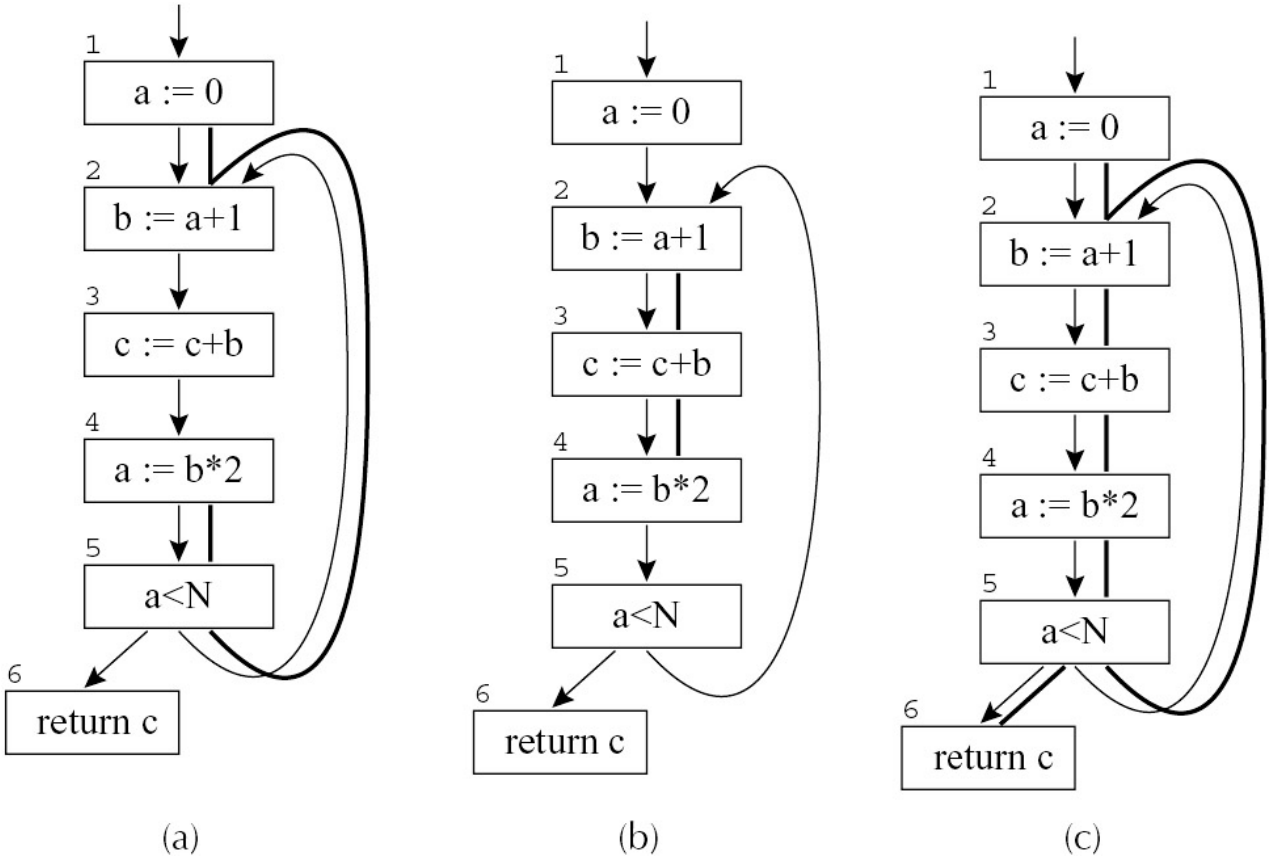
Análise de Longevidade

Alguma coisa especial sobre c?



Análise de Longevidade

- De quantos registradores preciso?



Análise de Longevidade

- É um exemplo de análise de fluxo de dados
  - Dataflow Analysis
- Terminologia:
  - Succ[n]: conjunto de nós sucessores a n
  - Pred[n]: conjunto de predecessores de n
  - Out-edges: saem para os sucessores
  - In-edges: chegam dos predecessores
  - Uma atribuição a uma variável define a mesma
  - Uma ocorrência do lado direito de uma expressão é um uso da variável

Análise de Longevidade

- Terminologia:
  - Def de uma variável é o conjunto de nós do grafo que a definem
  - Def de um nó é o conjunto de variáveis que ele define
  - Analogamente para use
- Longevidade:
  - Uma variável v está viva em uma aresta se existe uma caminho direcionado desta aresta até um uso de v, que não passa por alguma definição de v
  - Live-in: v é live-in em um nó n se v está viva em alguma in-edge de n
  - Live-out: v é live-out em n se v está viva em alguma out-edge de n

Computando Liveness

1. Se v está em *use*[*n*], então v é *live-in* em *n*.
2. Se v é *live-in* no nó *n*, então ela é *live-out* para todo *m* em *pred*[*n*].
3. Se v é *live-out* no nó *n*, e não está em *def* [*n*], então v é também *live-in* em *n*

Algoritmo

$$in[n] = use[n] \cup (out[n] - def[n])$$
$$out[n] = \bigcup_{s \in succ[n]} in[s]$$

```
for each n
    in[n] {}; out[n] {}
repeat
    for each n
        in'[n] → in[n]; out'[n] ← out[n]
        in[n] ← use[n] U (out[n] - def[n])
        out[n] ← U_{s∈succ[n]} in[s]
until in'[n] = in[n] and out'[n] = out[n]
    for all n
```

Algoritmo

- Execute o algoritmo para o grafo do exemplo anterior
- Temos como melhorar o desempenho?
- Sim:
  - Usando uma ordem melhor para os nós
  - Repare que in[i] é calculado a partir de out[i] e out[i-1] é computado a partir de in[i]
  - A convergência ocorre antes de computarmos
    - Out[i], in[i], out[i-1], ...
    - Invertendo a ordem dos nós aproveitamos mais cedo as informações!

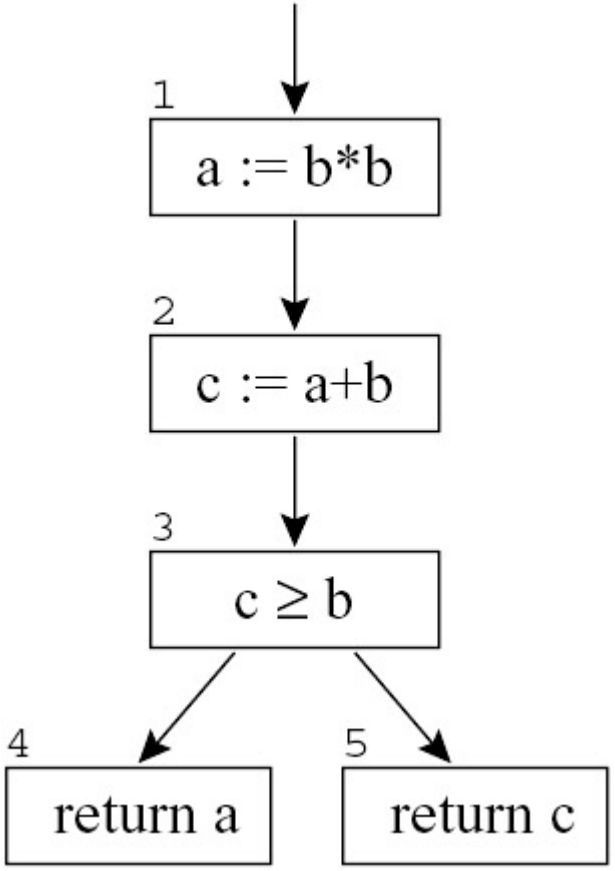
Algoritmo

- O fluxo da análise deve seguir o fluxo do liveness: backwards
- A ordenação pode ser obtida através de uma busca em profundidade
- Complexidade:
  - Pior caso: $O(N^4)$
  - Com a ordenação, na prática roda tipicamente entre $O(N)$ e $O(N^2)$

Algoritmo

- É conservativo:
  - Se uma variável pode estar viva em algum nó n, ela estará no out[n]
  - Pode haver alguma variável em out[n] que na verdade não seja realmente usada adiante
- Deve ser dessa maneira para prevenir o compilador de tornar o programa errado!

Exemplo



- Qual seria o conjunto in[4]?
- E o out[3]?
- Algo estranho?

Blocos Básicos

- Nós com apenas um predecessor e um sucessor podem ser unidos
- Teremos um grafo com menos nós
- Cada nó é um bloco básico
- Os algoritmos de dataflow funcionam mais rapidamente
- Cap. 17 mostra como adaptar as equações para trabalhar com blocos básicos

Grafo de Interferência

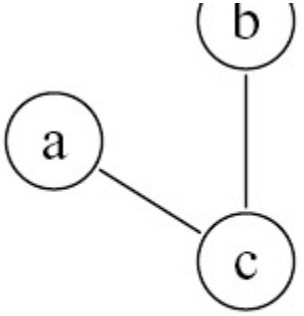
- A informação de liveness é usada para otimização
  - Alocação de registradores
- Interferência: ocorre quando a e b não podem ocupar o mesmo registrador
  - Live ranges com sobreposição
  - a não pode ser alocada a r1

Grafo de Interferência

- Representação:

	a	b	c
a			x
b			x
c	x	x	

(a) Matrix



(b) Graph

Grafo de Interferência

- MOVE: é importante não criar falsas interferências entre a fonte e destino

$$
\begin{array}{ll}
t \leftarrow s & (copy) \\
\vdots & \\
x \leftarrow \ldots s \ldots & (use\ of\ s) \\
\vdots & \\
y \leftarrow \ldots t \ldots & (use\ of\ t)
\end{array}
$$

- S e t estariam vivas após a instrução de cópia
- Devemos aproveitar o mesmo registrador

Grafo de Interferência

1. Definição de a que não seja move:
    1. Live-out = b1,…, bj
        1. Adicione as arestas (a, b1),…,(a, bj).

2. Moves a ← c:
    1. Live-out = b1,…, bj
        1. Adicione as arestas (a, b1),…,(a, bj) para os bi's que não são o mesmo que c