



## Dagens tema

- **Kjøresystemer**  
(Ghezzi&Jazayeri 2.6, 2.7)
  - Innledende om semantikk
  - Operasjonell semantikk / SIMPLESEM
  - Bokholderi og minneorganisering
  - Forskjellige språkklasser

# Semantikk

Hva kan du *gjøre* med språket ditt?

## Semantikk

Hva kan du *gjøre* med språket ditt?

- En måte å svare på: gi **semantikken** til språket!  
... en beskrivelse av *hva som skjer* når programmer utføres.

## Semantikk

Hva kan du *gjøre* med språket ditt?

- En måte å svare på: gi **semantikken** til språket!  
... en beskrivelse av *hva som skjer* når programmer utføres.

Dette er langt fra trivielt!

## Semantikk

Hva kan du *gjøre* med språket ditt?

- En måte å svare på: gi **semantikken** til språket!  
... en beskrivelse av *hva som skjer* når programmer utføres.

Dette er langt fra trivielt!

For å beskrive syntaks har vi noen standard verktøyer. (BNF, syntaksdiagrammer, etc.)  
Tilsvarende orden har vi ikke for semantikk.

## Semantikk

To innfallsvinkler:

- denotasjonell semantikk
  - beskrive i forhold til en matematisk modell
  - ofte svært komplisert
- operasjonell semantikk
  - **SIMPLESEM** - en abstrakt maskin
  - gi en semantikk ved å oversette inn i SIMPLESEM

## Semantikk

To innfallsvinkler:

- denotasjonell semantikk
  - beskrive i forhold til en matematisk modell
  - ofte svært komplisert
- operasjonell semantikk
  - **SIMPLESEM** - en abstrakt maskin
  - gi en semantikk ved å oversette inn i SIMPLESEM

Vårt fokus her vil være på **minneorganisering** og **bokholderi**.  
Krav til minneorganisering sier noe om hvor *rikt* et språk er.

## Bokholderi

Det viktigste bokholderiet et kjøresystem må ta seg av, er følgende:

- Variable
  - Hvordan settes det av plass?
  - Hvordan fjernes de igjen?
  - Hvordan finner man variablene?
- Rutiner
  - Hvordan kaller man en rutine?
  - Hvordan kommer man tilbake fra en rutine?
  - Hvordan overfører man parametre?
- Blokker
  - Hvordan går man inn og ut av blokker?



## Forskjellige språkklasser

### Statiske språk – C1, C2, C2'

- minnekravet kan regnes ut før programmet kjøres, derfor kan minnet tildeles/allokeres *før* programstart
- ikke rekursjon

(FORTRAN, COBOL)

## Stakk-baserte språk – C3, C4

- minnebruk følger LIFO-/stakk-prinsipp og kan *ikke* regnes ut ved kompilering
- minnet tildeles *automatisk* ved kjøring når variable deklarerer i et skop
- minnet frigjøres når en er ute av skopet

(ALGOL 60)

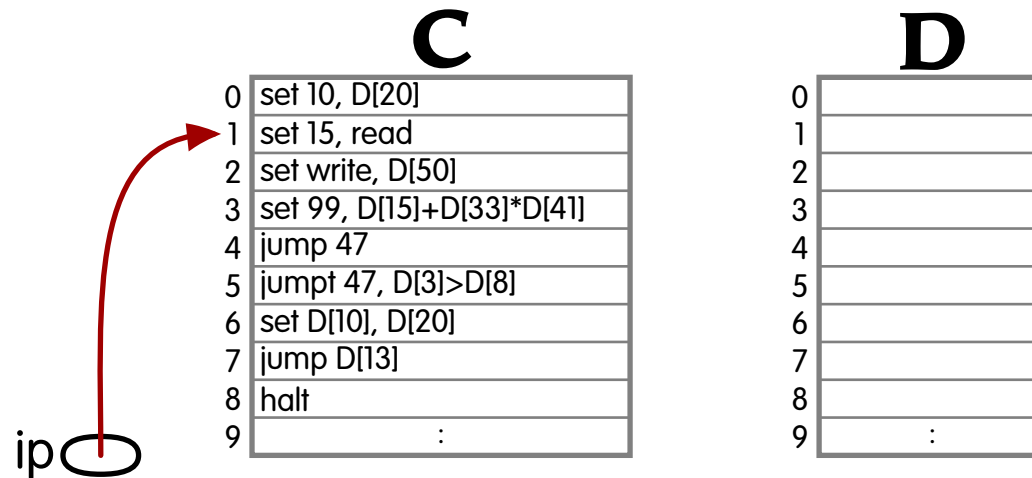
## Dynamiske språk – C5

- minnebruk mer uforutsigbart, tildeles *dynamisk* ved behov
- minnet kan ikke organiseres i en stakk
- heap

(SIMULA)

## SIMPLESEM

Maskinen **SIMPLESEM** er meget enkel:



**C** er et kodelager, adressert fra 0.

**ip** (instruksjonspeker) peker på neste instruksjon i C.

**D** er et datalager, adressert fra 0.

## **SIMPLESEM**

### **Instruksjonsløkken**

For hver instruksjon gjør **SIMPLESEM** følgende:

1. Hent neste instruksjon:  $C[ip]$ .
2. Øk ip:  $ip = ip + 1$ .
3. Utfør instruksjonen.

## SIMPLESEM

### Instruksjonene

**set** plasserer verdier i D:

```
1 set 10,D[20]
2 set 15,read
3 set write,D[50]
4 set 99,D[15]+D[33]*D[41]
5 set D[10],D[20]
```

**jump** hopper ved å sette ip.

```
1 jump 47
2 jump D[13]
```

**jumpt** hopper hvis en betingelse er sann («true»).

```
1 jumpt 47,D[3]>D[8]
```

**halt** avslutter programmet.

## Statiske språk *uten* rutiner

Språket **C1** er en særdeles forenklet form for C:

- Det finnes ingen rutiner eller blokker.
- Alle variable er følgelig globale.

Eksempel: CSH.

### Variable

Alle variable ligger i D under hele kjøringen.

## C1-eksempel - største felles multiplum

```
0 main()
1 {
2   int i, j;
3   scanf("%d%d", &i, &j);
4   while (i != j)
5     if (i > j)
6       i -= j;
7     else
8       j -= i;
9   printf("%d", i);
10 }
```

**C**

0	
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	



## C1-eksempel - største felles multiplum

# C

```

0 main()
1 {
2   int i, j;
3   scanf("%d%d", &i, &j);
4   while (i != j)
5     if (i > j)
6       i -= j;
7     else
8       j -= i;
9   printf("%d", i);
10 }
```

0	set 0, read
1	set 1, read
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	



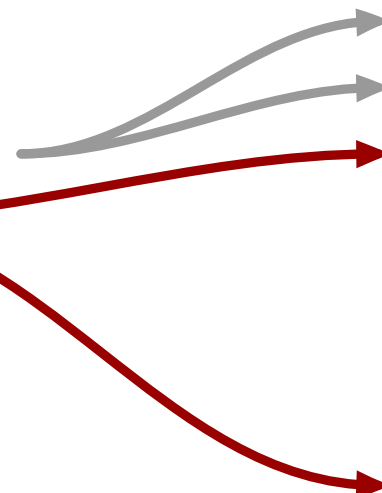
## C1-eksempel - største felles multiplum

**C**

```

0 main()
1 {
2   int i, j;
3   scanf("%d%d", &i, &j);
4   while (i != j)
5     if (i > j)
6       i -= j;
7     else
8       j -= i;
9   printf("%d", i);
10 }
```

0	set 0, read
1	set 1, read
2	jump 8, D[0]=D[1]
3	
4	
5	
6	
7	jump 2
8	
9	



## C1-eksempel - største felles multiplum

**C**

```

0 main()
1 {
2   int i, j;
3   scanf("%d%d", &i, &j);
4   while (i != j)
5     if (i > j)
6       i -= j;
7     else
8       j -= i;
9   printf("%d", i);
10 }
    
```

0	set 0, read
1	set 1, read
2	jump 8, D[0]=D[1]
3	jump 6, D[0]<=D[1]
4	
5	
6	
7	jump 2
8	
9	

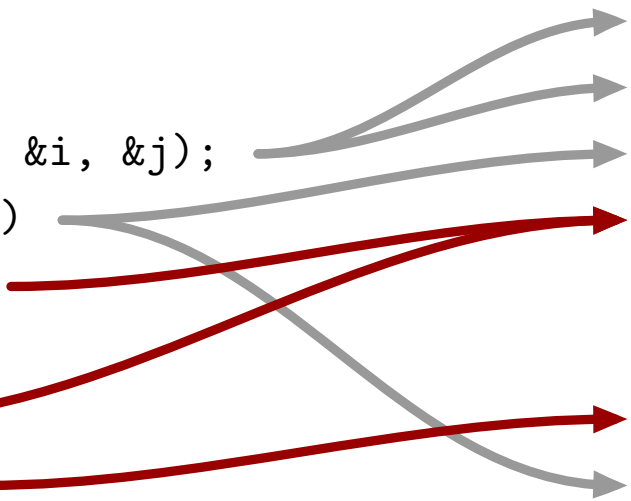
# C1-eksempel - største felles multiplum

**C**

```

0 main()
1 {
2   int i, j;
3   scanf("%d%d", &i, &j);
4   while (i != j)
5     if (i > j)
6       i -= j;
7     else
8       j -= i;
9   printf("%d", i);
10 }
    
```

0	set 0, read
1	set 1, read
2	jumpt 8, D[0]=D[1]
3	jumpt 6, D[0]<=D[1]
4	
5	
6	set 1, D[1]-D[0]
7	jump 2
8	
9	



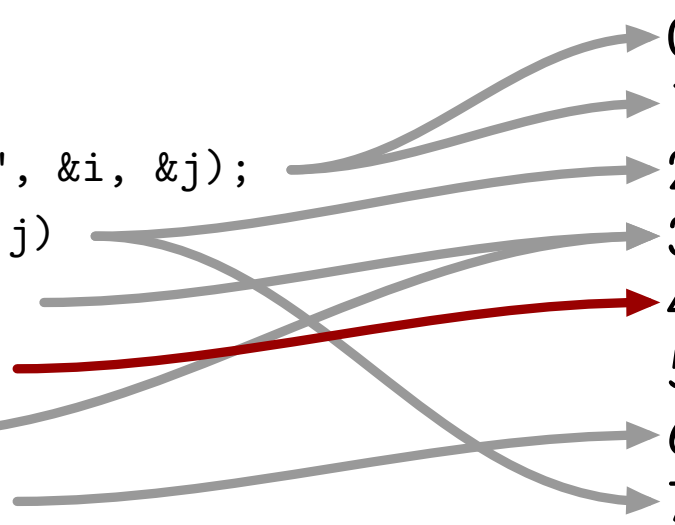
# C1-eksempel - største felles multiplum

**C**

```

0 main()
1 {
2   int i, j;
3   scanf("%d%d", &i, &j);
4   while (i != j)
5     if (i > j)
6       i -= j;
7     else
8       j -= i;
9   printf("%d", i);
10 }
```

0	set 0, read
1	set 1, read
2	jump 8, D[0]=D[1]
3	jump 6, D[0]<=D[1]
4	set 0, D[0]-D[1]
5	
6	set 1, D[1]-D[0]
7	jump 2
8	
9	



# C1-eksempel - største felles multiplum

**C**

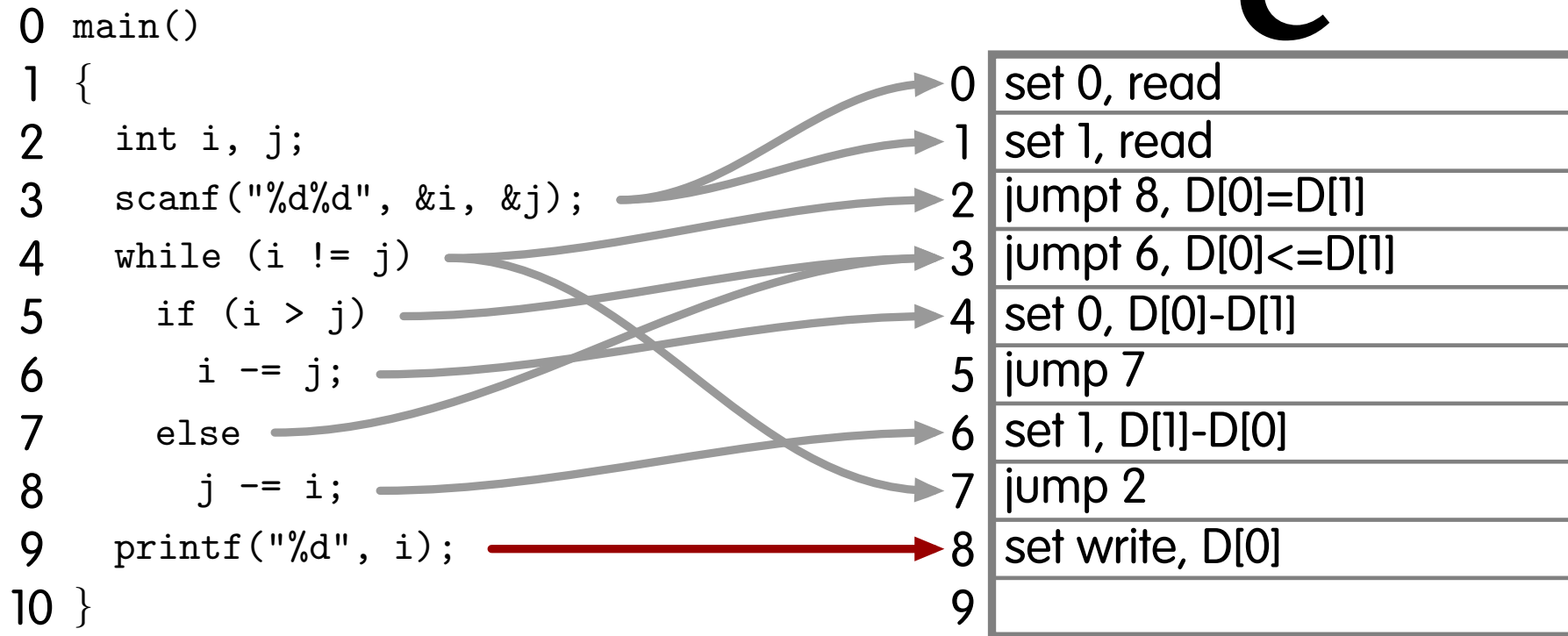
```

0 main()
1 {
2   int i, j;
3   scanf("%d%d", &i, &j);
4   while (i != j)
5     if (i > j)
6       i -= j;
7     else
8       j -= i;
9   printf("%d", i);
10 }
```

0	set 0, read
1	set 1, read
2	jumpt 8, D[0]=D[1]
3	jumpt 6, D[0]<=D[1]
4	set 0, D[0]-D[1]
5	jump 7
6	set 1, D[1]-D[0]
7	jump 2
8	
9	

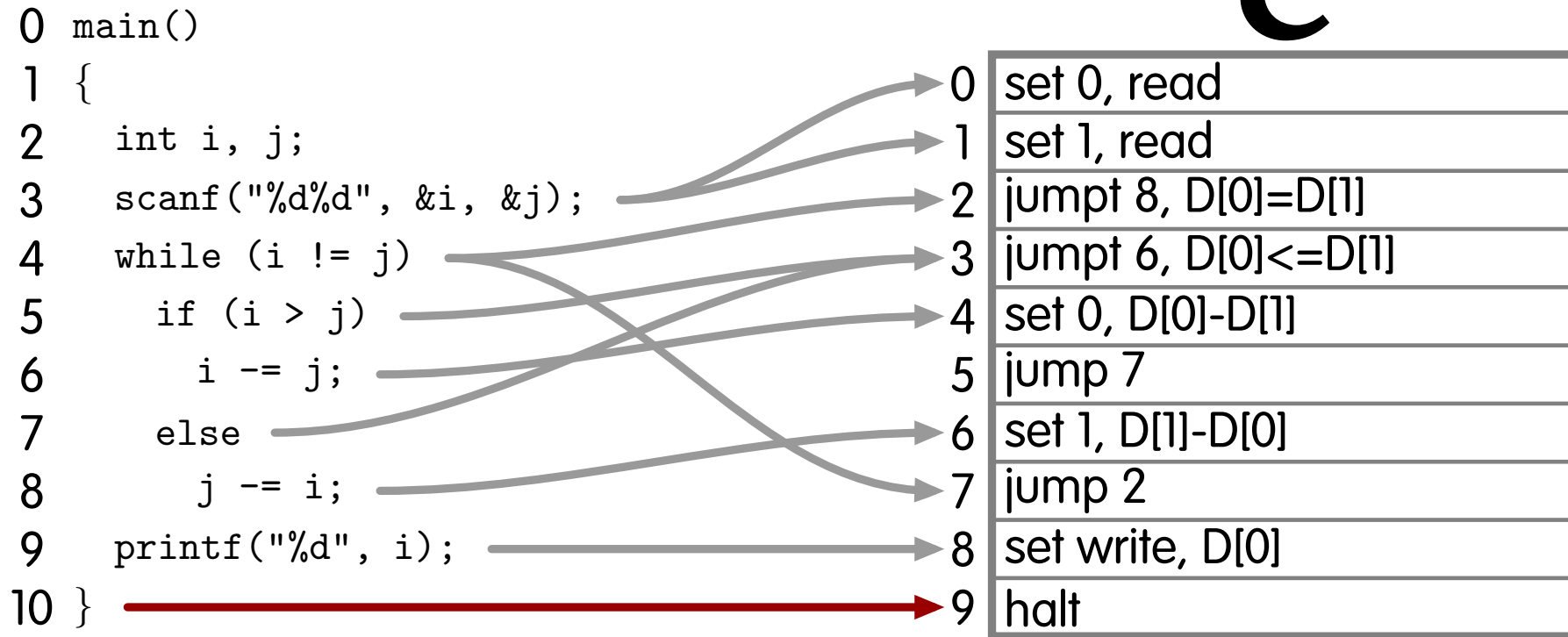
# C1-eksempel - største felles multiplum

**C**



# C1-eksempel - største felles multiplum

**C**





# C1-eksempel - største felles multiplum

## C

0	set 0, read
1	set 1, read
2	jump 8, D[0]=D[1]
3	jump 6, D[0]<=D[1]
4	set 0, D[0]-D[1]
5	jump 7
6	set 1, D[1]-D[0]
7	jump 2
8	set write, D[0]
9	halt

## D

0	(i)
1	(j)
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	

ip ○

## C1-eksempel - største felles multiplum

**C**

0	set 0, read
1	set 1, read
2	jumpt 8, D[0]=D[1]
3	jumpt 6, D[0]<=D[1]
4	set 0, D[0]-D[1]
5	jump 7
6	set 1, D[1]-D[0]
7	jump 2
8	set write, D[0]
9	halt

**D**

0	(i)
1	(j)
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	

ip ○

**C1-eksempel - største felles multiplum****C**

0	set 0, read
1	set 1, read
2	jump 8, $D[0]=D[1]$
3	jump 6, $D[0]\leq D[1]$
4	set 0, $D[0]-D[1]$
5	jump 7
6	set 1, $D[1]-D[0]$
7	jump 2
8	set write, $D[0]$
9	halt

**D**

0	12	(i)
1		(j)
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

ip ○

## C1-eksempel - største felles multiplum

# C

0	set 0, read
1	set 1, read
2	jump 8, D[0]=D[1]
3	jump 6, D[0]<=D[1]
4	set 0, D[0]-D[1]
5	jump 7
6	set 1, D[1]-D[0]
7	jump 2
8	set write, D[0]
9	halt

# D

0	12	(i)
1		(j)
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

ip ○

## C1-eksempel - største felles multiplum

**C**

0	set 0, read
1	set 1, read
2	jump 8, D[0]=D[1]
3	jump 6, D[0]<=D[1]
4	set 0, D[0]-D[1]
5	jump 7
6	set 1, D[1]-D[0]
7	jump 2
8	set write, D[0]
9	halt

**D**

0	12	(i)
1	8	(j)
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

ip ○

# C1-eksempel - største felles multiplum

**C**

0	set 0, read
1	set 1, read
2	jumpt 8, D[0]=D[1]
3	jumpt 6, D[0]<=D[1]
4	set 0, D[0]-D[1]
5	jump 7
6	set 1, D[1]-D[0]
7	jump 2
8	set write, D[0]
9	halt

**D**

0	12	(i)
1	8	(j)
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

ip ○

**C1-eksempel - største felles multiplum****C**

0	set 0, read
1	set 1, read
2	jump 8, D[0]=D[1]
3	jump 6, D[0]<=D[1]
4	set 0, D[0]-D[1]
5	jump 7
6	set 1, D[1]-D[0]
7	jump 2
8	set write, D[0]
9	halt

ip ○

**D**

0	12	(i)
1	8	(j)
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

## C1-eksempel - største felles multiplum

**C**

0	set 0, read
1	set 1, read
2	jumpt 8, D[0]=D[1]
3	jumpt 6, D[0]<=D[1]
4	set 0, D[0]-D[1]
5	jump 7
6	set 1, D[1]-D[0]
7	jump 2
8	set write, D[0]
9	halt

ip ○

**D**

0	12	(i)
1	8	(j)
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		



**C1-eksempel - største felles multiplum****C**

0	set 0, read
1	set 1, read
2	jump 8, D[0]=D[1]
3	jump 6, D[0]<=D[1]
4	set 0, D[0]-D[1]
5	jump 7
6	set 1, D[1]-D[0]
7	jump 2
8	set write, D[0]
9	halt

ip ○

**D**

0	12	(i)
1	8	(j)
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

## C1-eksempel - største felles multiplum

**C**

0	set 0, read
1	set 1, read
2	jump 8, D[0]=D[1]
3	jump 6, D[0]<=D[1]
4	set 0, D[0]-D[1]
5	jump 7
6	set 1, D[1]-D[0]
7	jump 2
8	set write, D[0]
9	halt

ip ○

**D**

0	12	(i)
1	8	(j)
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

**C1-eksempel - største felles multiplum****C**

0	set 0, read
1	set 1, read
2	jump 8, D[0]=D[1]
3	jump 6, D[0]<=D[1]
4	set 0, D[0]-D[1]
5	jump 7
6	set 1, D[1]-D[0]
7	jump 2
8	set write, D[0]
9	halt

ip ○

**D**

0	4	(i)
1	8	(j)
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

## C1-eksempel - største felles multiplum

# C

0	set 0, read
1	set 1, read
2	jumpt 8, D[0]=D[1]
3	jumpt 6, D[0]<=D[1]
4	set 0, D[0]-D[1]
5	jump 7
6	set 1, D[1]-D[0]
7	jump 2
8	set write, D[0]
9	halt

ip ○



# D

0	4	(i)
1	8	(j)
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

## C1-eksempel - største felles multiplum

# C

0	set 0, read
1	set 1, read
2	jump 8, D[0]=D[1]
3	jump 6, D[0]<=D[1]
4	set 0, D[0]-D[1]
5	jump 7
6	set 1, D[1]-D[0]
7	jump 2
8	set write, D[0]
9	halt

ip 

# D

0	4	(i)
1	8	(j)
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

## C1-eksempel - største felles multiplum

**C**

0	set 0, read
1	set 1, read
2	jump 8, D[0]=D[1]
3	jump 6, D[0]<=D[1]
4	set 0, D[0]-D[1]
5	jump 7
6	set 1, D[1]-D[0]
7	jump 2
8	set write, D[0]
9	halt

ip **D**

0	4	(i)
1	8	(j)
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

**C1-eksempel - største felles multiplum****C**

0	set 0, read
1	set 1, read
2	jumpt 8, D[0]=D[1]
3	jumpt 6, D[0]<=D[1]
4	set 0, D[0]-D[1]
5	jump 7
6	set 1, D[1]-D[0]
7	jump 2
8	set write, D[0]
9	halt

ip ○

**D**

0	4	(i)
1	8	(j)
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

## C1-eksempel - største felles multiplum

# C

0	set 0, read
1	set 1, read
2	jumpt 8, D[0]=D[1]
3	jumpt 6, D[0]<=D[1]
4	set 0, D[0]-D[1]
5	jump 7
6	set 1, D[1]-D[0]
7	jump 2
8	set write, D[0]
9	halt

# D

0	4	(i)
1	8	(j)
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

ip ○



## C1-eksempel - største felles multiplum

# C

0	set 0, read
1	set 1, read
2	jump 8, D[0]=D[1]
3	jump 6, D[0]<=D[1]
4	set 0, D[0]-D[1]
5	jump 7
6	set 1, D[1]-D[0]
7	jump 2
8	set write, D[0]
9	halt

# D

0	4	(i)
1	8	(j)
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

ip ○

## C1-eksempel - største felles multiplum

**C**

0	set 0, read
1	set 1, read
2	jump 8, D[0]=D[1]
3	jump 6, D[0]<=D[1]
4	set 0, D[0]-D[1]
5	jump 7
6	set 1, D[1]-D[0]
7	jump 2
8	set write, D[0]
9	halt

ip ○

**D**

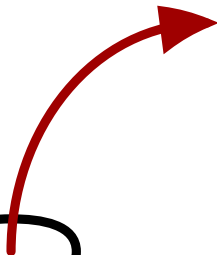
0	4	(i)
1	8	(j)
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

## C1-eksempel - største felles multiplum

**C**

0	set 0, read
1	set 1, read
2	jump 8, D[0]=D[1]
3	jump 6, D[0]<=D[1]
4	set 0, D[0]-D[1]
5	jump 7
6	set 1, D[1]-D[0]
7	jump 2
8	set write, D[0]
9	halt

ip ○

**D**

0	4	(i)
1	8	(j)
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

**C1-eksempel - største felles multiplum****C**

0	set 0, read
1	set 1, read
2	jumpt 8, D[0]=D[1]
3	jumpt 6, D[0]<=D[1]
4	set 0, D[0]-D[1]
5	jump 7
6	set 1, D[1]-D[0]
7	jump 2
8	set write, D[0]
9	halt

ip **D**

0	4	(i)
1	8	(j)
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

## C1-eksempel - største felles multiplum

# C

0	set 0, read
1	set 1, read
2	jumpt 8, D[0]=D[1]
3	jumpt 6, D[0]<=D[1]
4	set 0, D[0]-D[1]
5	jump 7
6	set 1, D[1]-D[0]
7	jump 2
8	set write, D[0]
9	halt

ip 

# D

0	4	(i)
1	4	(j)
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

# C1-eksempel - største felles multiplum

## C

0	set 0, read
1	set 1, read
2	jump 8, D[0]=D[1]
3	jump 6, D[0]<=D[1]
4	set 0, D[0]-D[1]
5	jump 7
6	set 1, D[1]-D[0]
7	jump 2
8	set write, D[0]
9	halt

ip 

## D

0	4	(i)
1	4	(j)
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

## C1-eksempel - største felles multiplum

**C**

0	set 0, read
1	set 1, read
2	jump 8, D[0]=D[1]
3	jump 6, D[0]<=D[1]
4	set 0, D[0]-D[1]
5	jump 7
6	set 1, D[1]-D[0]
7	jump 2
8	set write, D[0]
9	halt

ip ○

**D**

0	4	(i)
1	4	(j)
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

# C1-eksempel - største felles multiplum

## C

0	set 0, read
1	set 1, read
2	jumpt 8, D[0]=D[1]
3	jumpt 6, D[0]<=D[1]
4	set 0, D[0]-D[1]
5	jump 7
6	set 1, D[1]-D[0]
7	jump 2
8	set write, D[0]
9	halt

## D

0	4	(i)
1	4	(j)
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

ip ○



## C1-eksempel - største felles multiplum

**C**

0	set 0, read
1	set 1, read
2	jump 8, D[0]=D[1]
3	jump 6, D[0]<=D[1]
4	set 0, D[0]-D[1]
5	jump 7
6	set 1, D[1]-D[0]
7	jump 2
8	set write, D[0]
9	halt

ip **D**

0	4	(i)
1	4	(j)
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

## C1-eksempel - største felles multiplum

# C

0	set 0, read
1	set 1, read
2	jump 8, D[0]=D[1]
3	jump 6, D[0]<=D[1]
4	set 0, D[0]-D[1]
5	jump 7
6	set 1, D[1]-D[0]
7	jump 2
8	set write, D[0]
9	halt

ip 

# D

0	4	(i)
1	4	(j)
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

## C1-eksempel - største felles multiplum

**C**

0	set 0, read
1	set 1, read
2	jump 8, D[0]=D[1]
3	jump 6, D[0]<=D[1]
4	set 0, D[0]-D[1]
5	jump 7
6	set 1, D[1]-D[0]
7	jump 2
8	set write, D[0]
9	halt

ip **D**

0	4	(i)
1	4	(j)
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

## C1-eksempel - største felles multiplum

# C

0	set 0, read
1	set 1, read
2	jump 8, D[0]=D[1]
3	jump 6, D[0]<=D[1]
4	set 0, D[0]-D[1]
5	jump 7
6	set 1, D[1]-D[0]
7	jump 2
8	set write, D[0]
9	halt

# D

0	4	(i)
1	4	(j)
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

ip 

## Statiske språk *med* rutiner

**C2** er C1 utvidet med

- rutiner med lokale variable, men uten parametre.

(Rekursive kall er ikke tillatt.)

Tildelingen av minne kan gjøres *før* kjøring. (Statisk allokering.)

For hver variabel kan det tilordnes en adresse i D-lageret. Denne adressen kan beholdes under hele kjøringen.

## C2 i SIMPLESEM

### Aktiveringspost

Hver rutine må ha en *aktiveringspost* i D. Der ligger:

- returadressen og
- lokale variable.

Dessuten må det av og til settes av plass til en returverdi.

## C2-eksempel - oversettelse

```
0 int i = 1, j = 2, k = 3;
1
2 alpha(){
3   int i = 4, l = 5;
4   i += k+1;
5 }
6 beta(){
7   int k = 6;
8   i = j+k;
9   alpha();
10 }
11 main(){
12   beta();
13 }
```

**D**

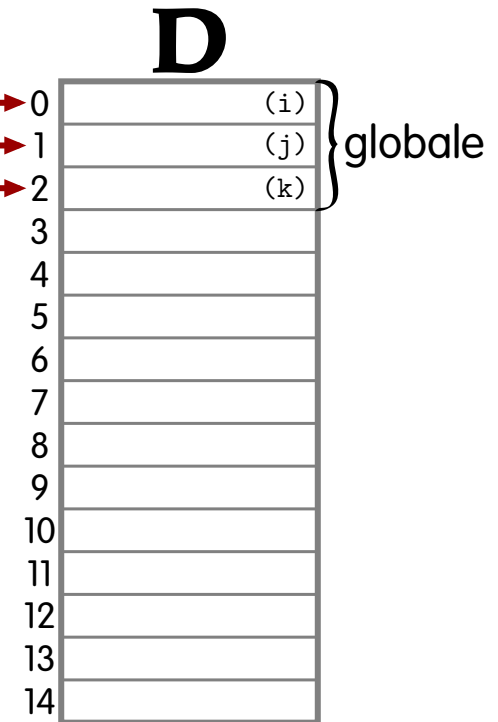
0	
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	

## C2-eksempel - oversettelse

```

0 int i = 1, j = 2, k = 3;
1
2 alpha(){
3   int i = 4, l = 5;
4   i += k+1;
5 }
6 beta(){
7   int k = 6;
8   i = j+k;
9   alpha();
10 }
11 main(){
12   beta();
13 }

```



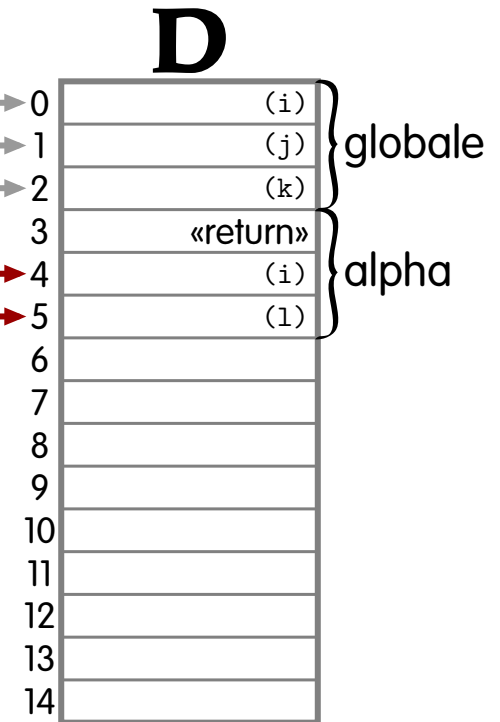


## C2-eksempel - oversettelse

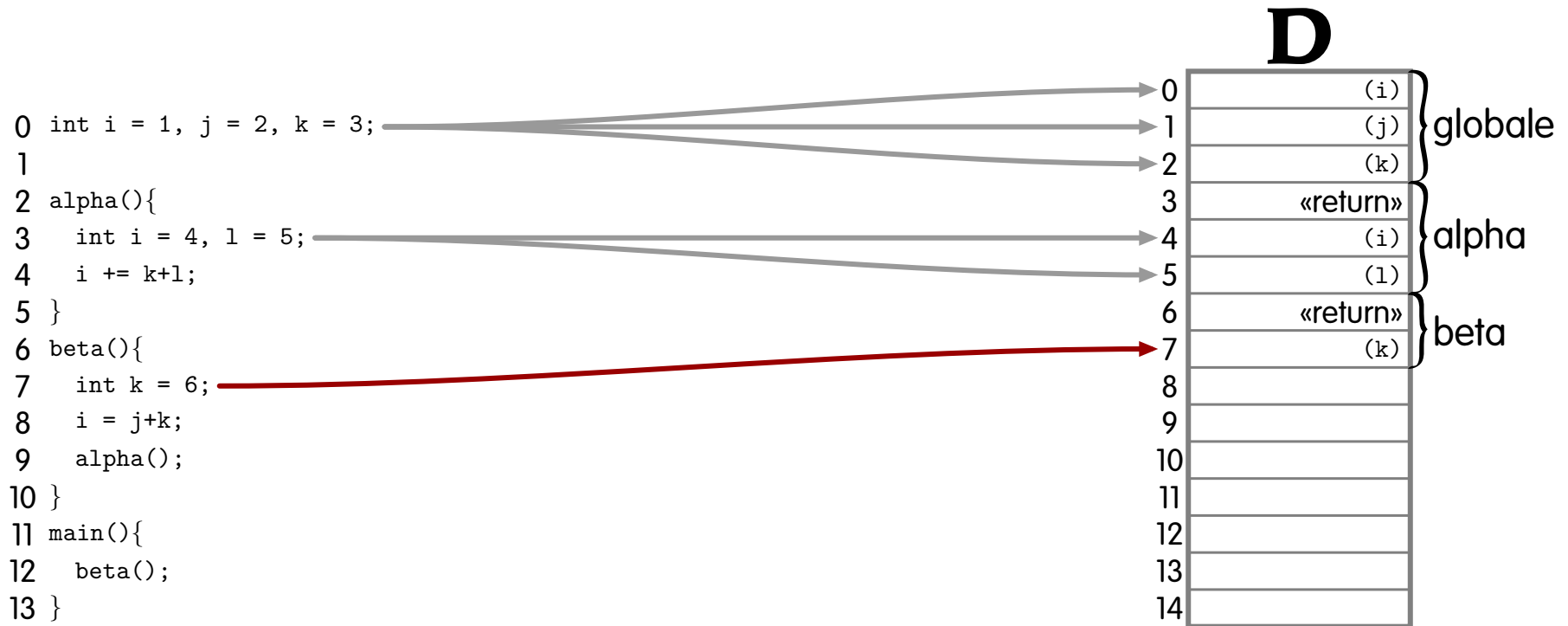
```

0 int i = 1, j = 2, k = 3;
1
2 alpha(){
3   int i = 4, l = 5;
4   i += k+1;
5 }
6 beta(){
7   int k = 6;
8   i = j+k;
9   alpha();
10 }
11 main(){
12   beta();
13 }

```



## C2-eksempel - oversettelse



## C2-eksempel - oversettelse

```

0 int i = 1, j = 2, k = 3;
1
2 alpha(){
3   int i = 4, l = 5;
4   i += k+1;
5 }
6 beta(){
7   int k = 6;
8   i = j+k;
9   alpha();
10 }
11 main(){
12   beta();
13 }

```

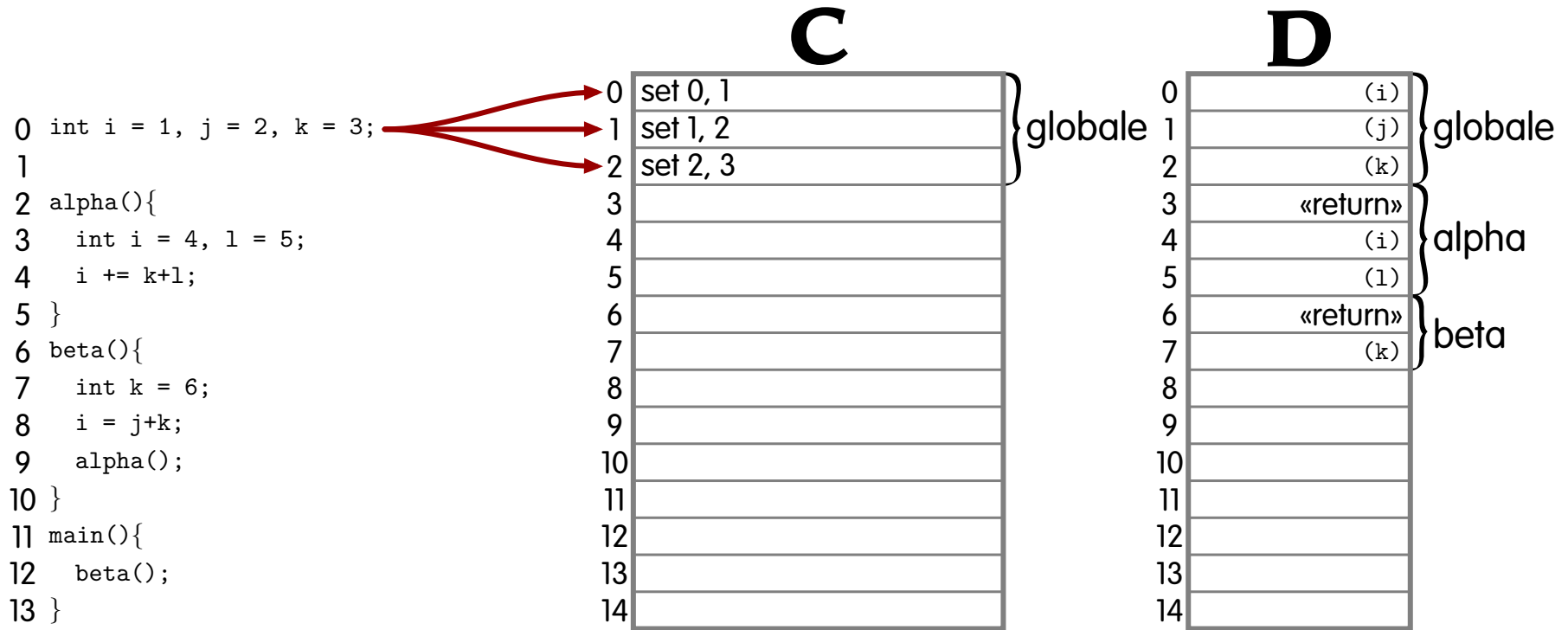
**C**

0	
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	

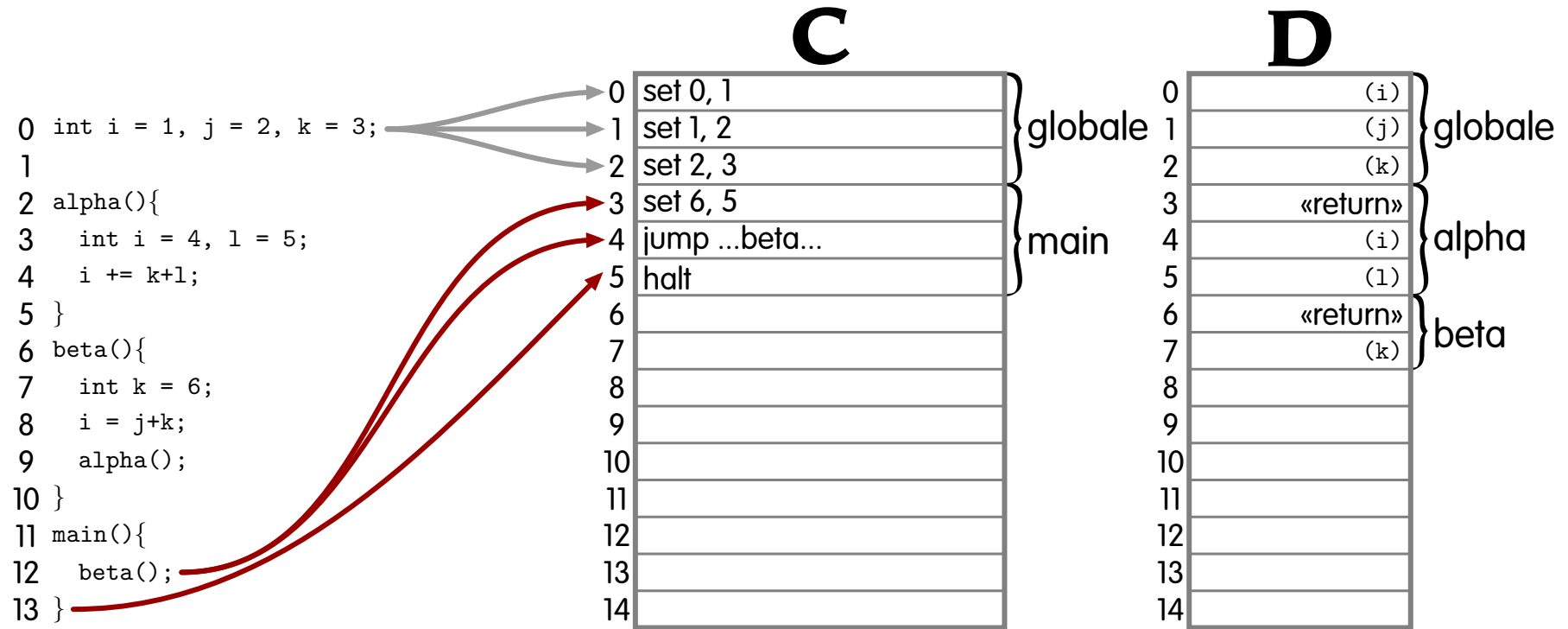
**D**

0	(i)	} globale
1	(j)	
2	(k)	
3	«return»	} alpha
4	(i)	
5	(l)	
6	«return»	} beta
7	(k)	
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		

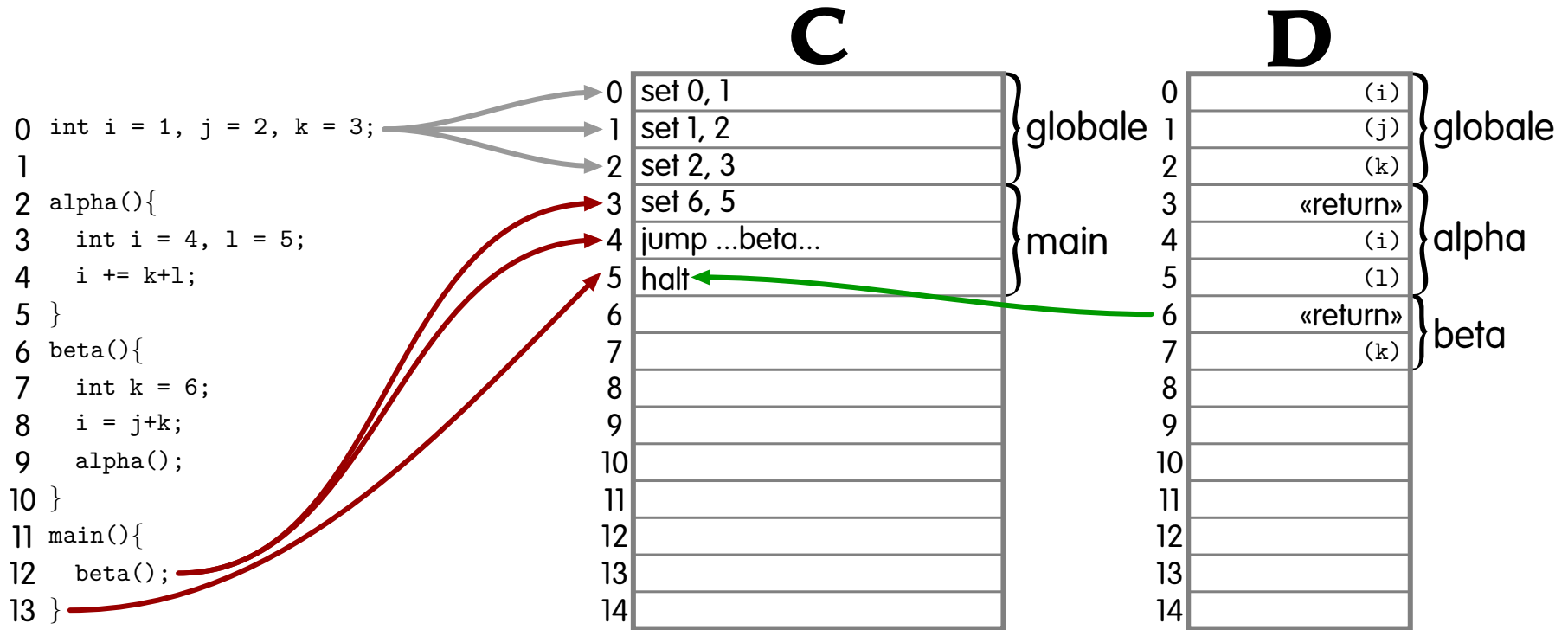
## C2-eksempel - oversettelse



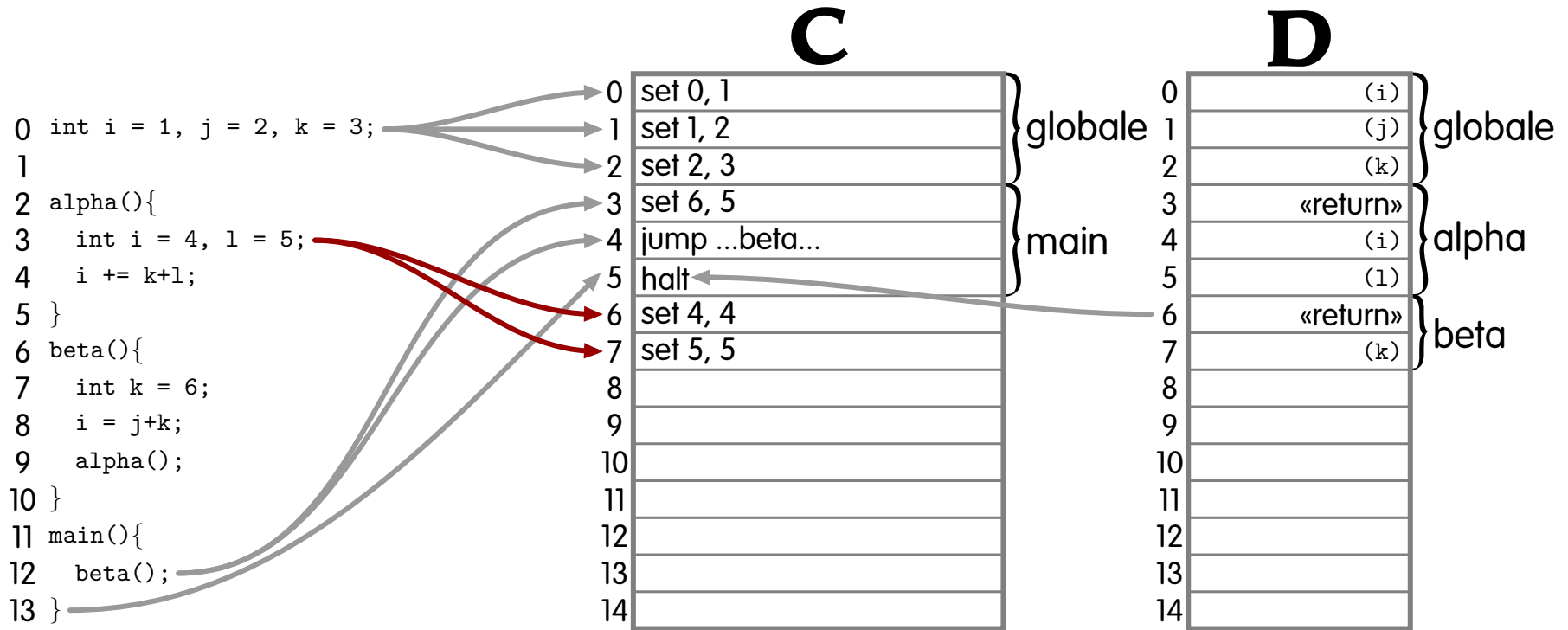
## C2-eksempel - oversettelse



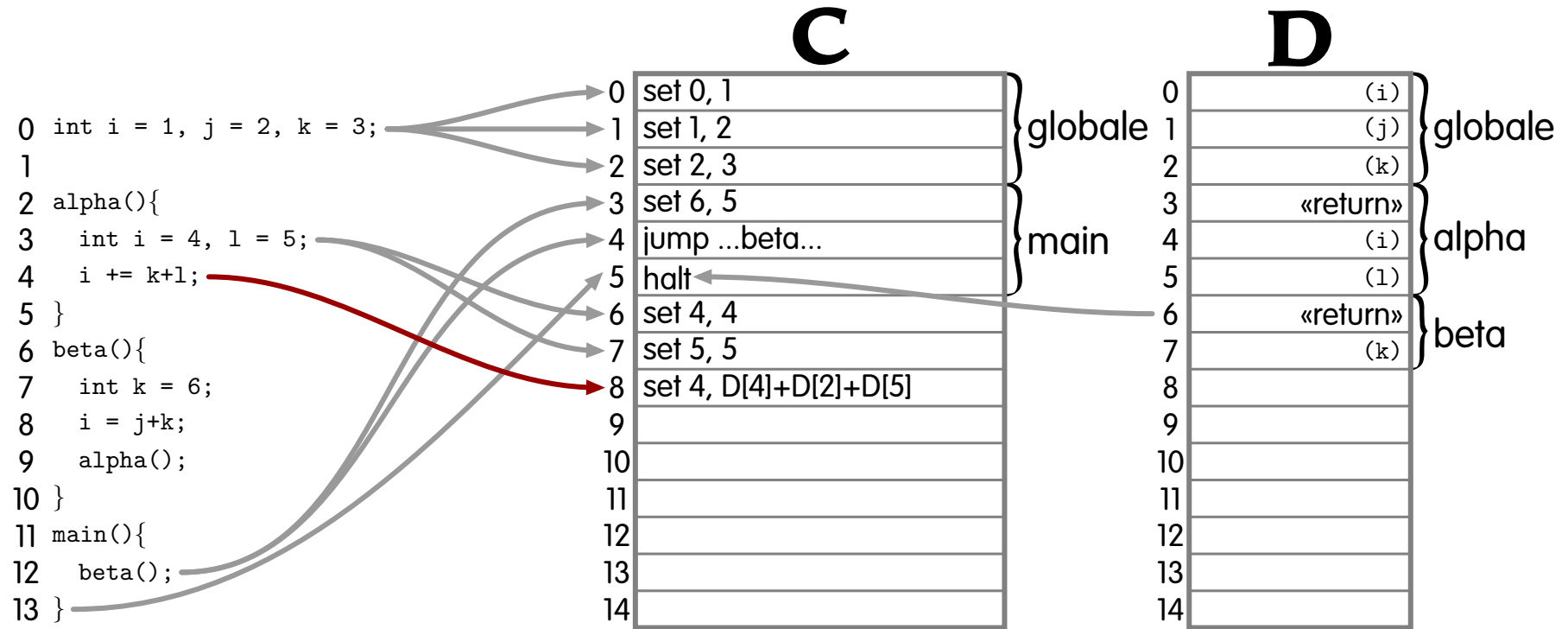
## C2-eksempel - oversettelse



## C2-eksempel - oversettelse

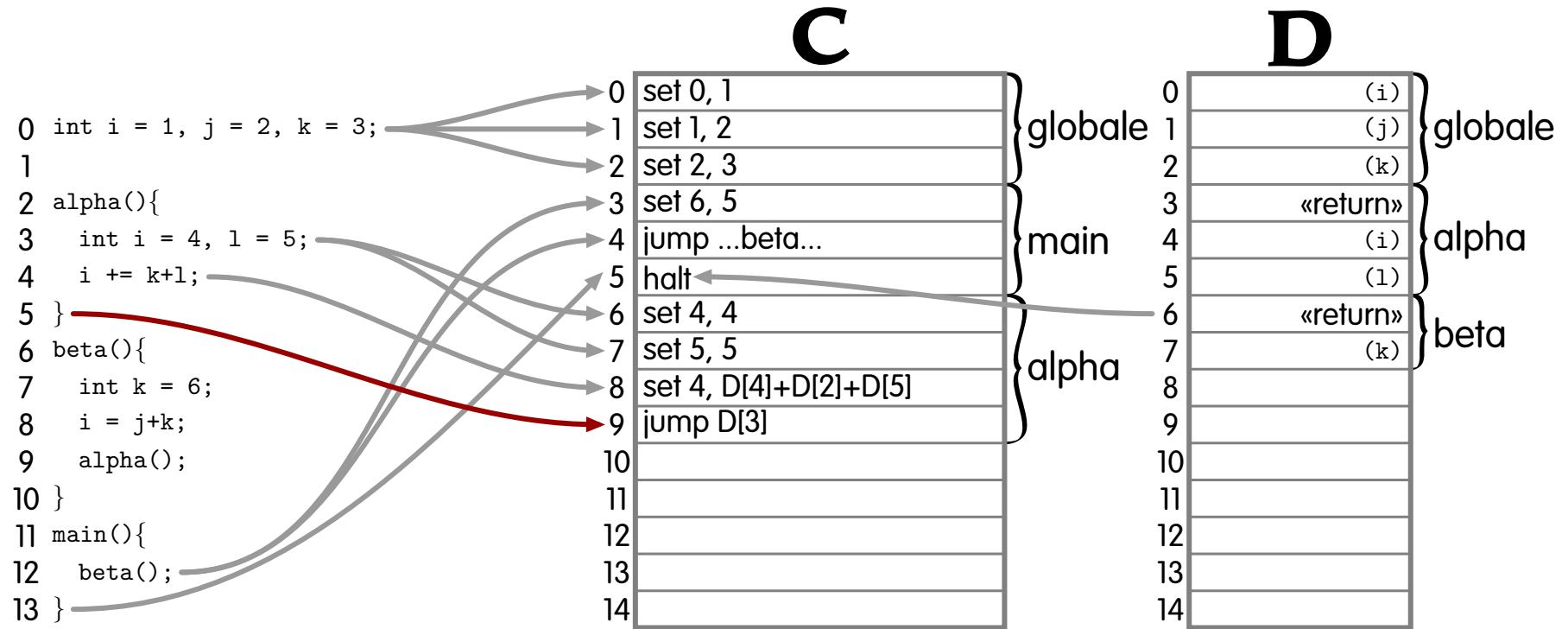


## C2-eksempel - oversettelse

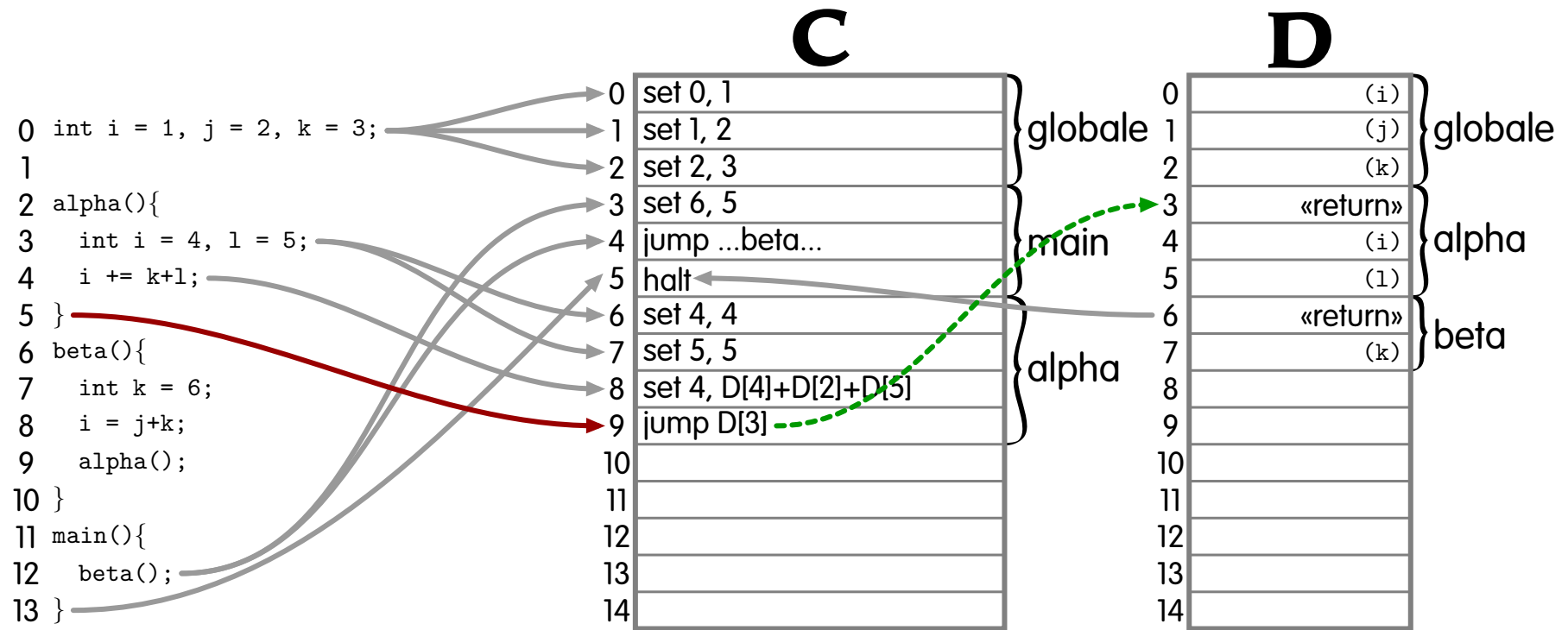




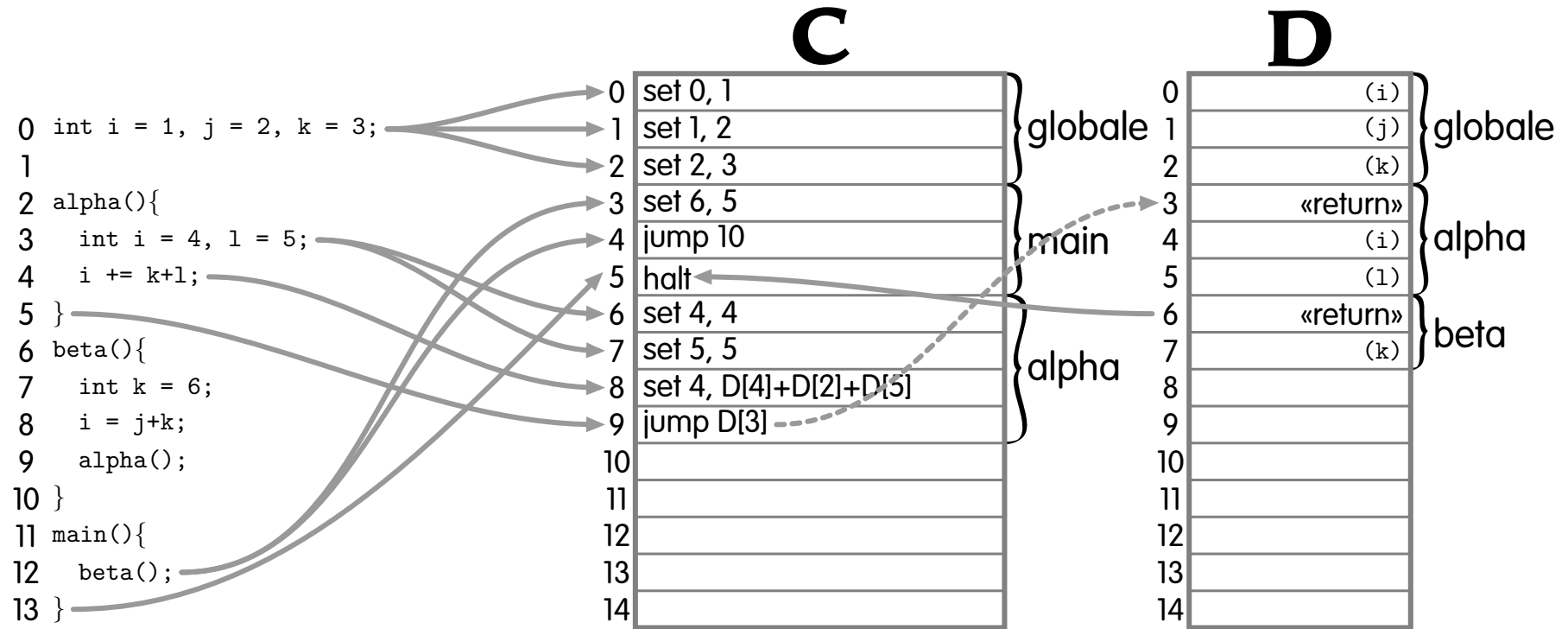
## C2-eksempel - oversettelse



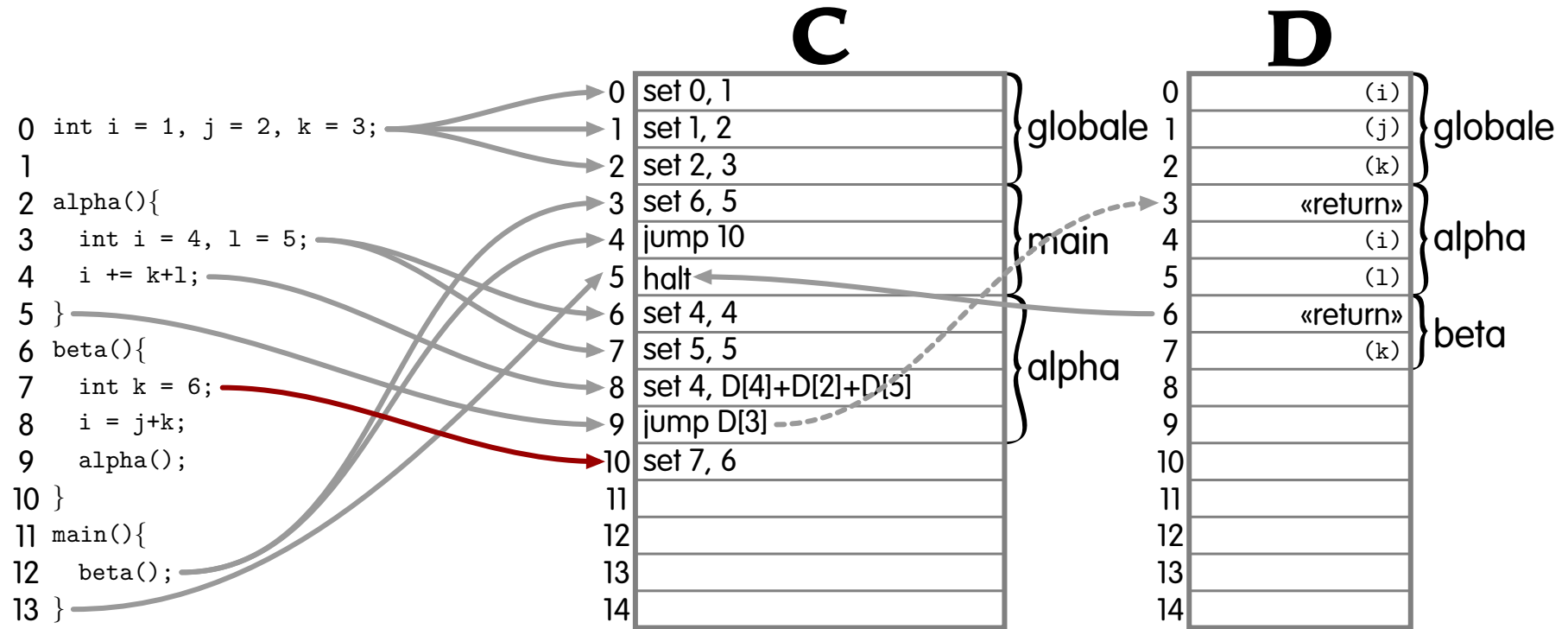
## C2-eksempel - oversettelse



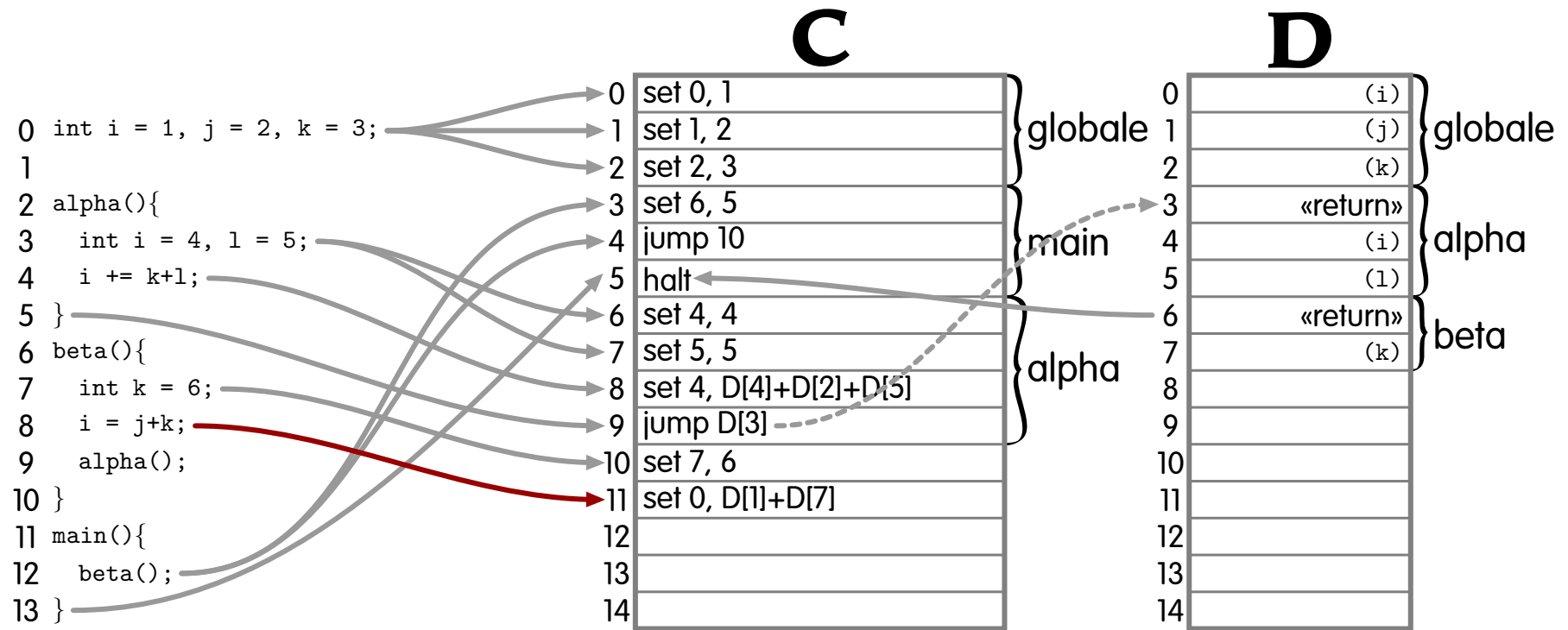
## C2-eksempel - oversettelse



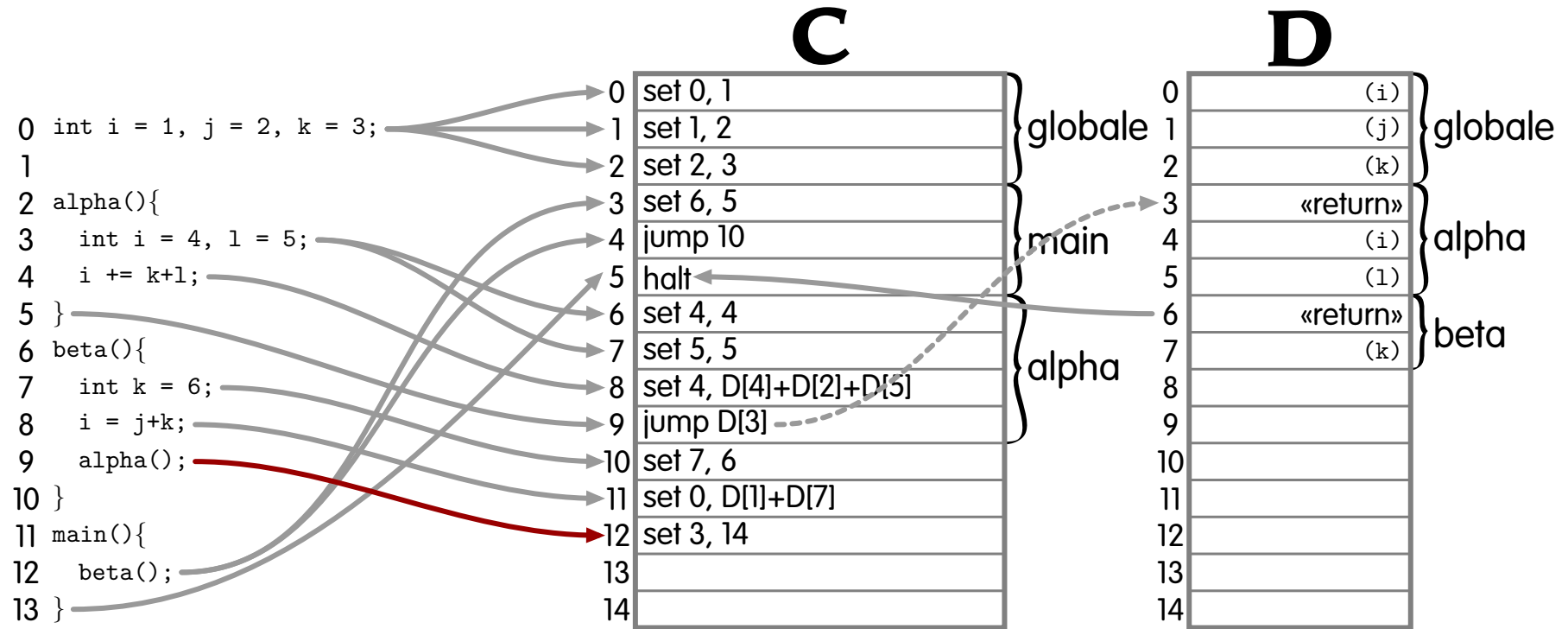
## C2-eksempel - oversettelse



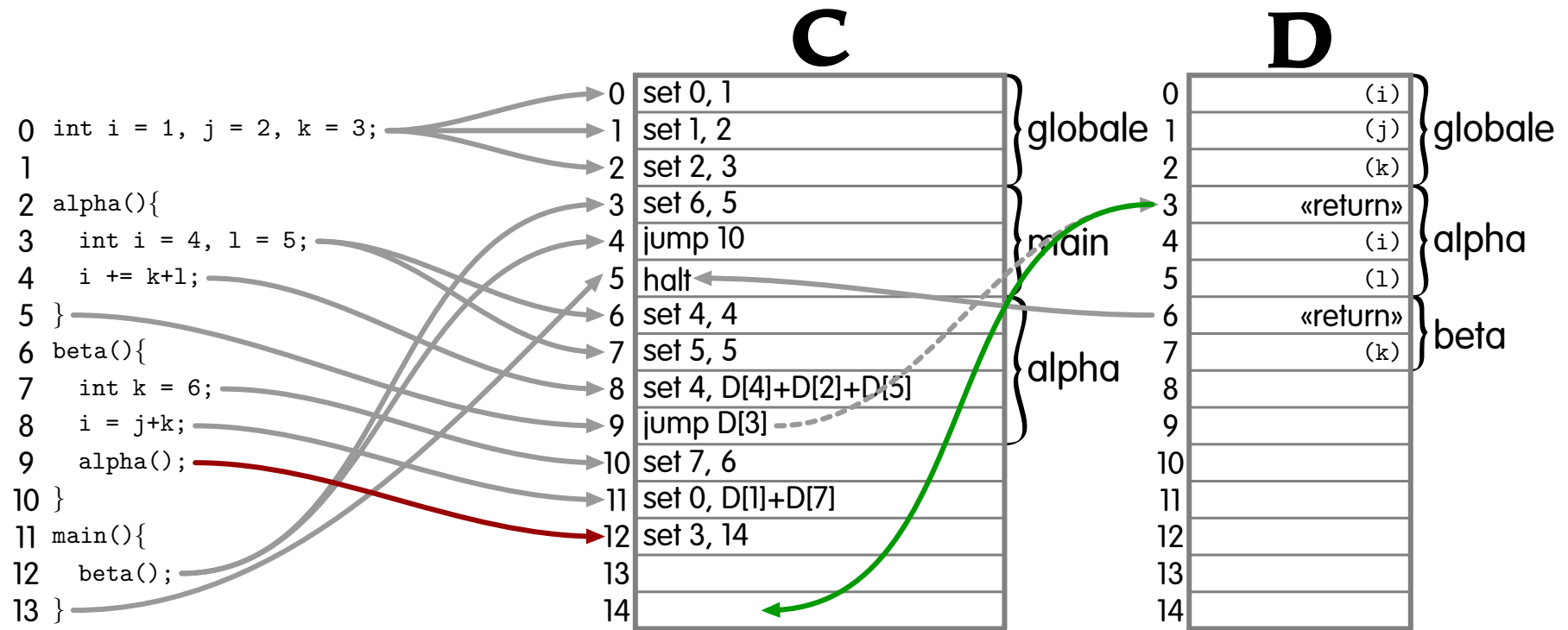
## C2-eksempel - oversettelse



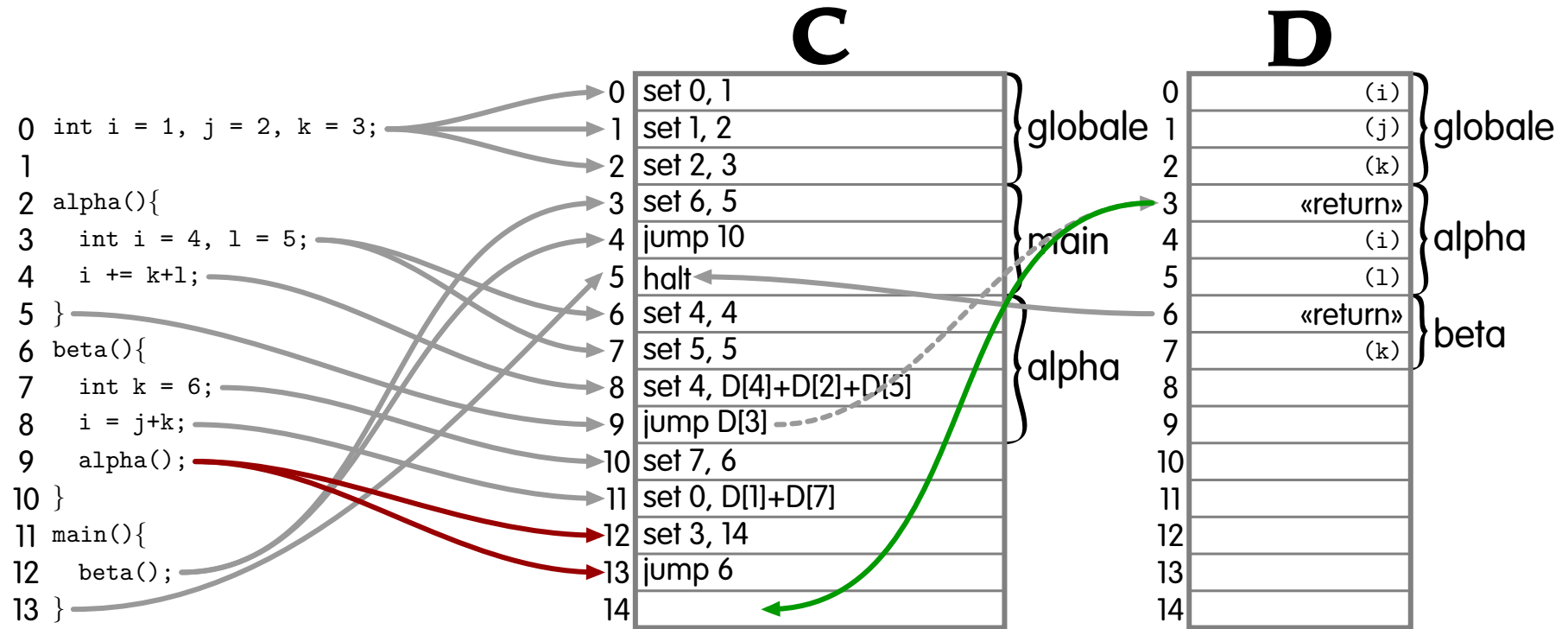
# C2-eksempel - oversettelse



## C2-eksempel - oversettelse

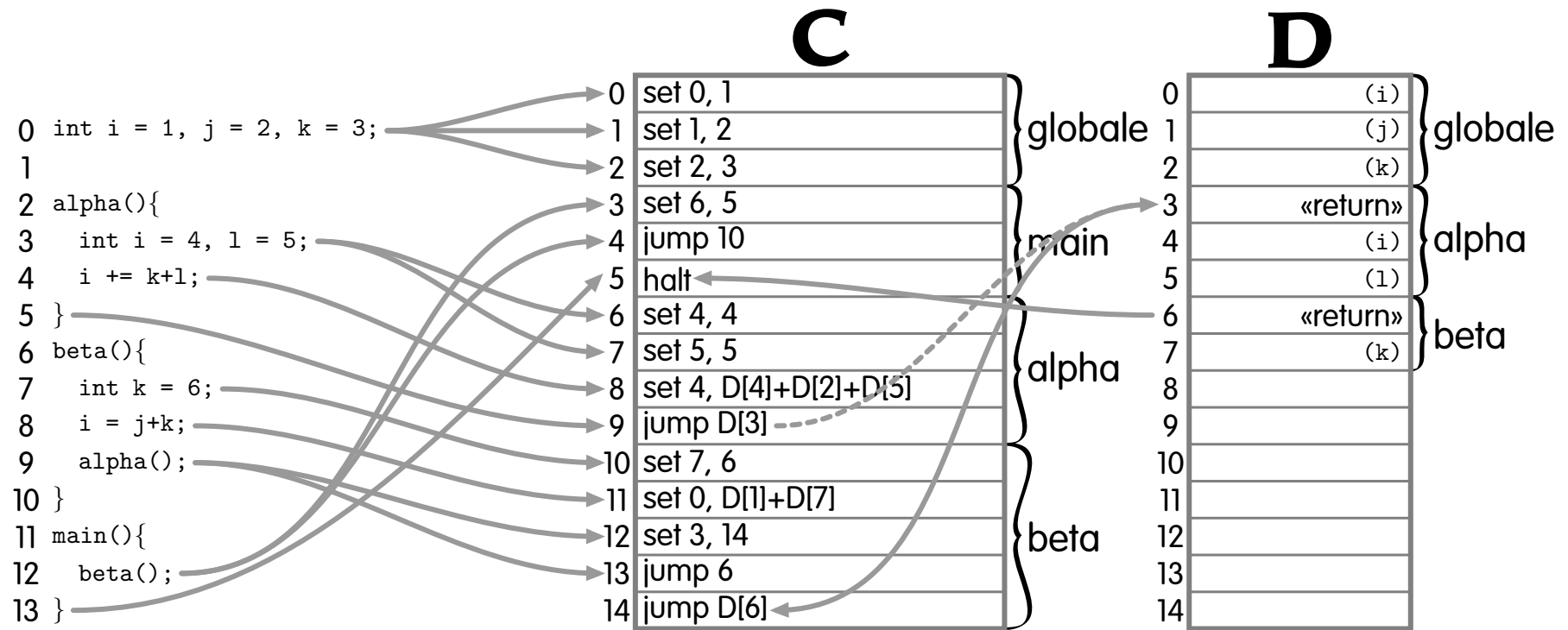


# C2-eksempel - oversettelse

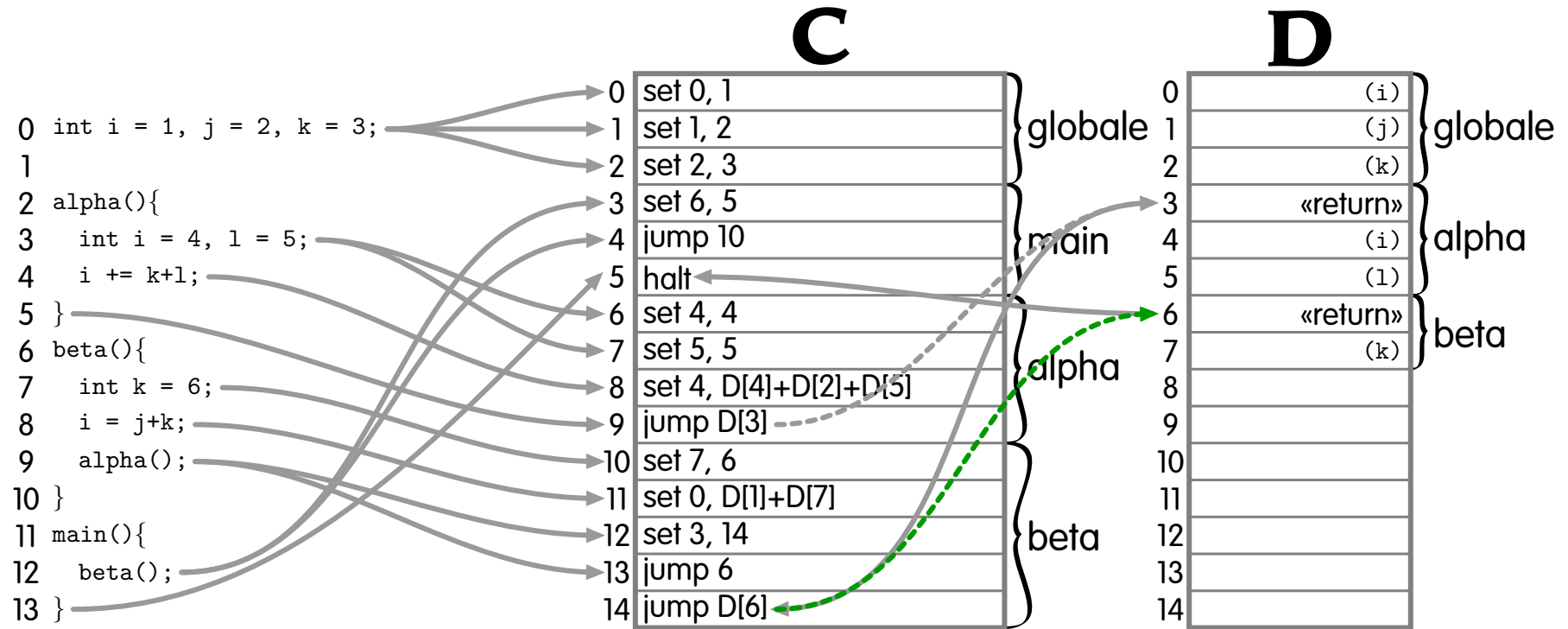




## C2-eksempel - oversettelse



## C2-eksempel - oversettelse

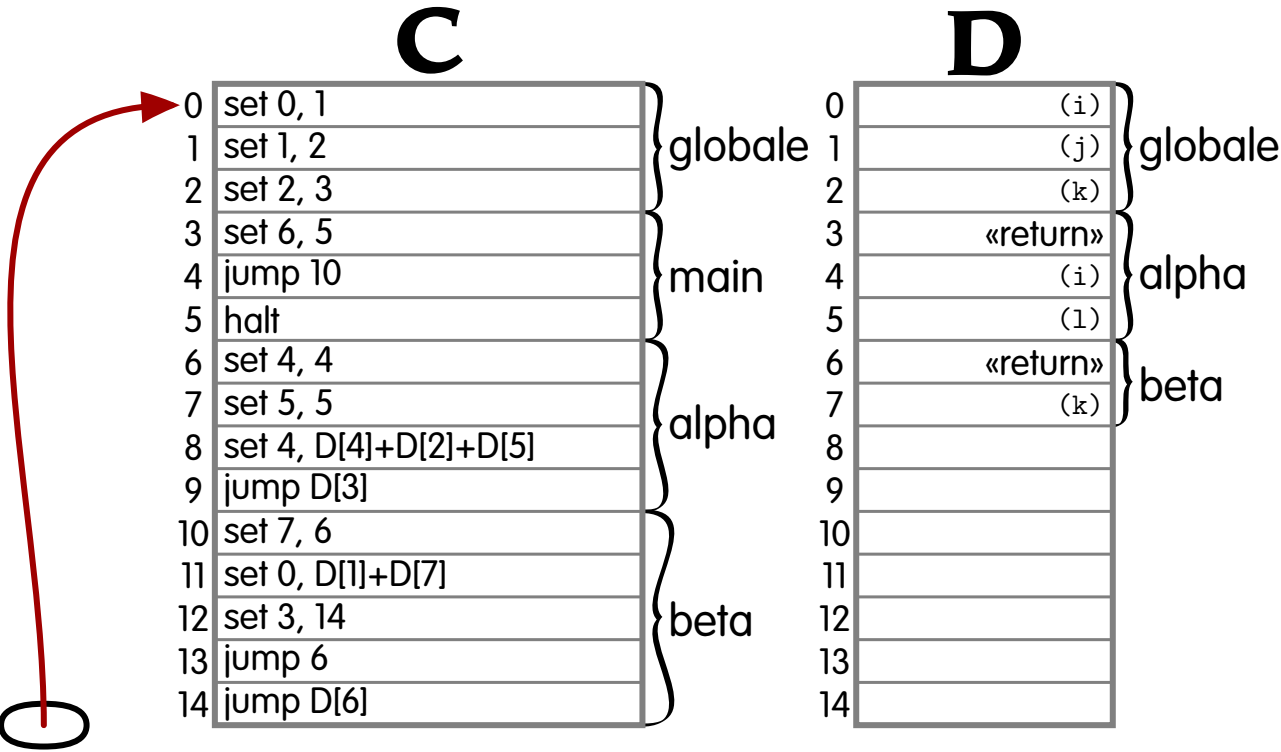


## C2-eksempel - kjøring

```

0 int i = 1, j = 2, k = 3;
1
2 alpha(){
3   int i = 4, l = 5;
4   i += k+1;
5 }
6 beta(){
7   int k = 6;
8   i = j+k;
9   alpha();
10 }
11 main(){
12   beta();
13 }
    
```

ip 

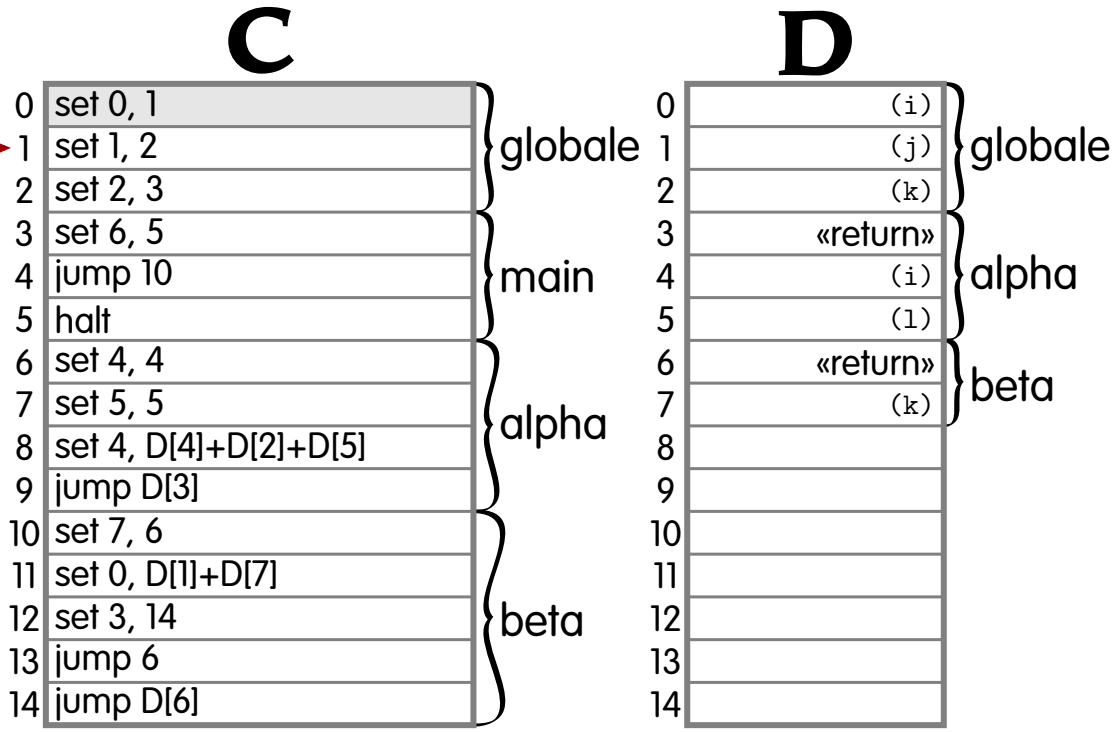


## C2-eksempel - kjøring

```

0 int i = 1, j = 2, k = 3;
1
2 alpha(){
3   int i = 4, l = 5;
4   i += k+1;
5 }
6 beta(){
7   int k = 6;
8   i = j+k;
9   alpha();
10 }
11 main(){
12   beta();
13 }
    
```

ip ○



## C2-eksempel - kjøring

```

0 int i = 1, j = 2, k = 3;
1
2 alpha(){
3   int i = 4, l = 5;
4   i += k+1;
5 }
6 beta(){
7   int k = 6;
8   i = j+k;
9   alpha();
10 }
11 main(){
12   beta();
13 }
    
```

ip 



**C**

0	set 0, 1	globale
1	set 1, 2	
2	set 2, 3	
3	set 6, 5	main
4	jump 10	
5	halt	
6	set 4, 4	alpha
7	set 5, 5	
8	set 4, D[4]+D[2]+D[5]	
9	jump D[3]	beta
10	set 7, 6	
11	set 0, D[1]+D[7]	
12	set 3, 14	
13	jump 6	
14	jump D[6]	

**D**

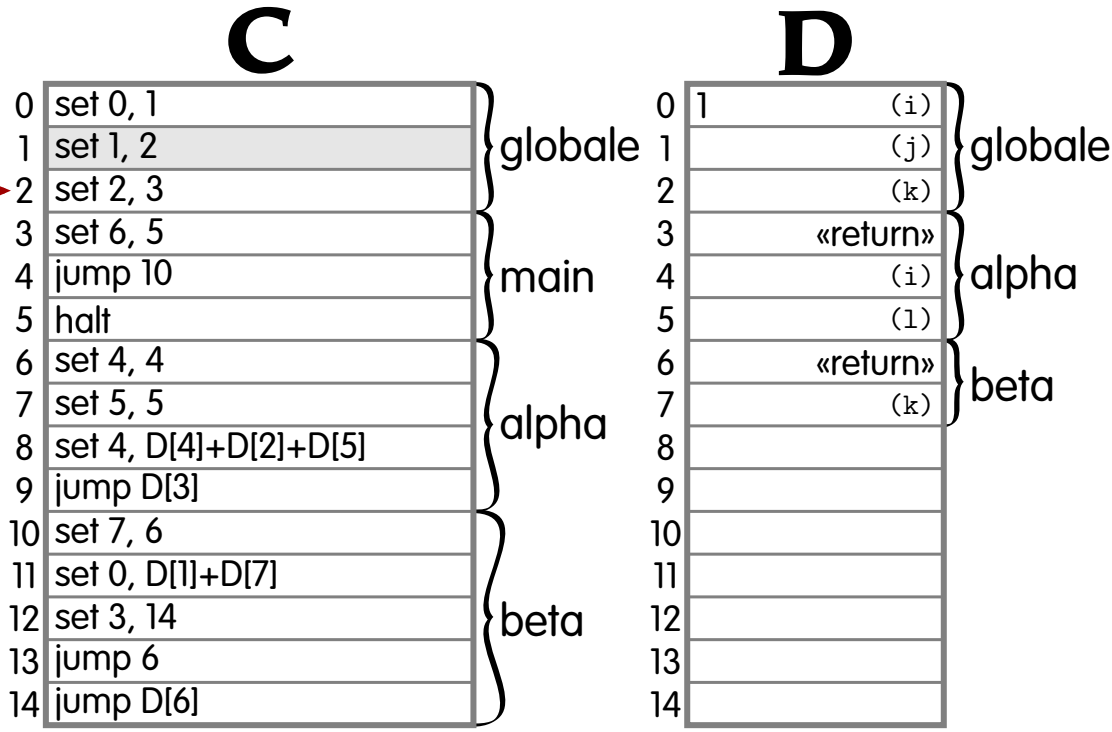
0	1	(i)	globale
1		(j)	
2		(k)	
3		«return»	alpha
4		(i)	
5		(l)	beta
6		«return»	
7		(k)	
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			

## C2-eksempel - kjøring

```

0 int i = 1, j = 2, k = 3;
1
2 alpha(){
3   int i = 4, l = 5;
4   i += k+1;
5 }
6 beta(){
7   int k = 6;
8   i = j+k;
9   alpha();
10 }
11 main(){
12   beta();
13 }
    
```

ip 



## C2-eksempel - kjøring

```

0 int i = 1, j = 2, k = 3;
1
2 alpha(){
3   int i = 4, l = 5;
4   i += k+1;
5 }
6 beta(){
7   int k = 6;
8   i = j+k;
9   alpha();
10 }
11 main(){
12   beta();
13 }
    
```

ip 



**C**

0	set 0, 1	globale
1	set 1, 2	
2	set 2, 3	
3	set 6, 5	main
4	jump 10	
5	halt	
6	set 4, 4	alpha
7	set 5, 5	
8	set 4, D[4]+D[2]+D[5]	
9	jump D[3]	beta
10	set 7, 6	
11	set 0, D[1]+D[7]	
12	set 3, 14	
13	jump 6	
14	jump D[6]	

**D**

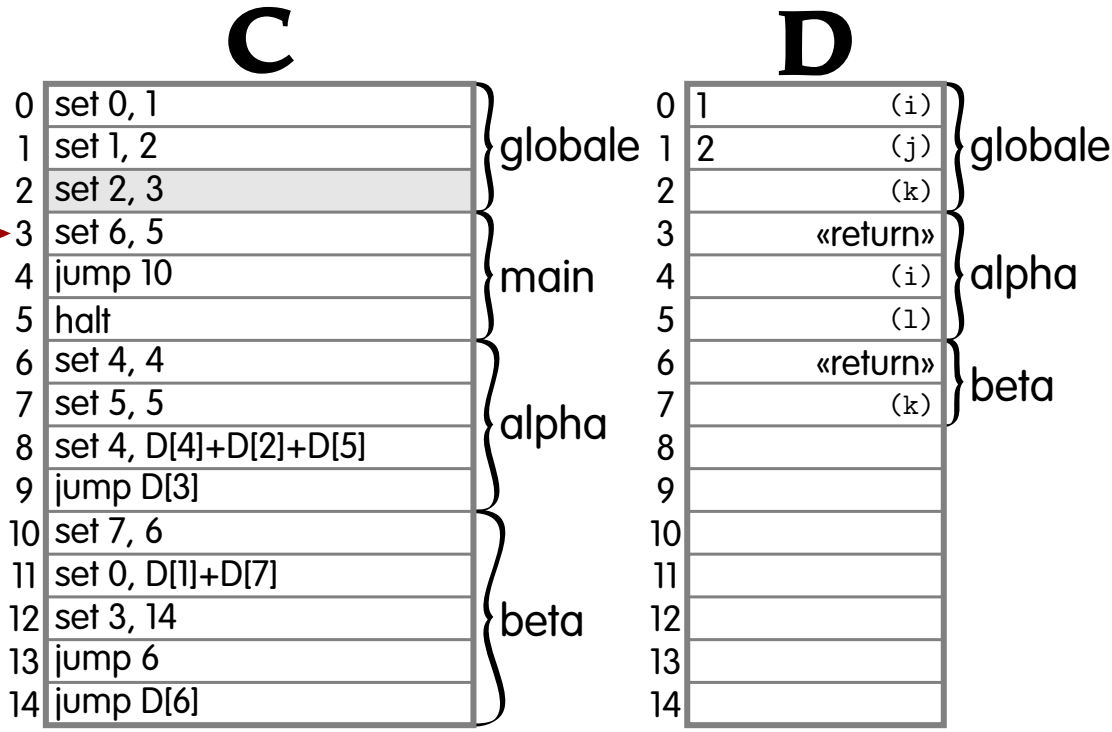
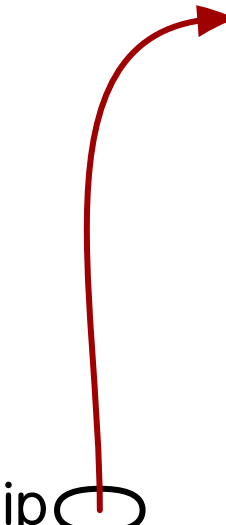
0	1	(i)	globale
1	2	(j)	
2		(k)	
3		«return»	alpha
4		(i)	
5		(l)	
6		«return»	beta
7		(k)	
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			

## C2-eksempel - kjøring

```

0 int i = 1, j = 2, k = 3;
1
2 alpha(){
3   int i = 4, l = 5;
4   i += k+1;
5 }
6 beta(){
7   int k = 6;
8   i = j+k;
9   alpha();
10 }
11 main(){
12   beta();
13 }
    
```

ip ○



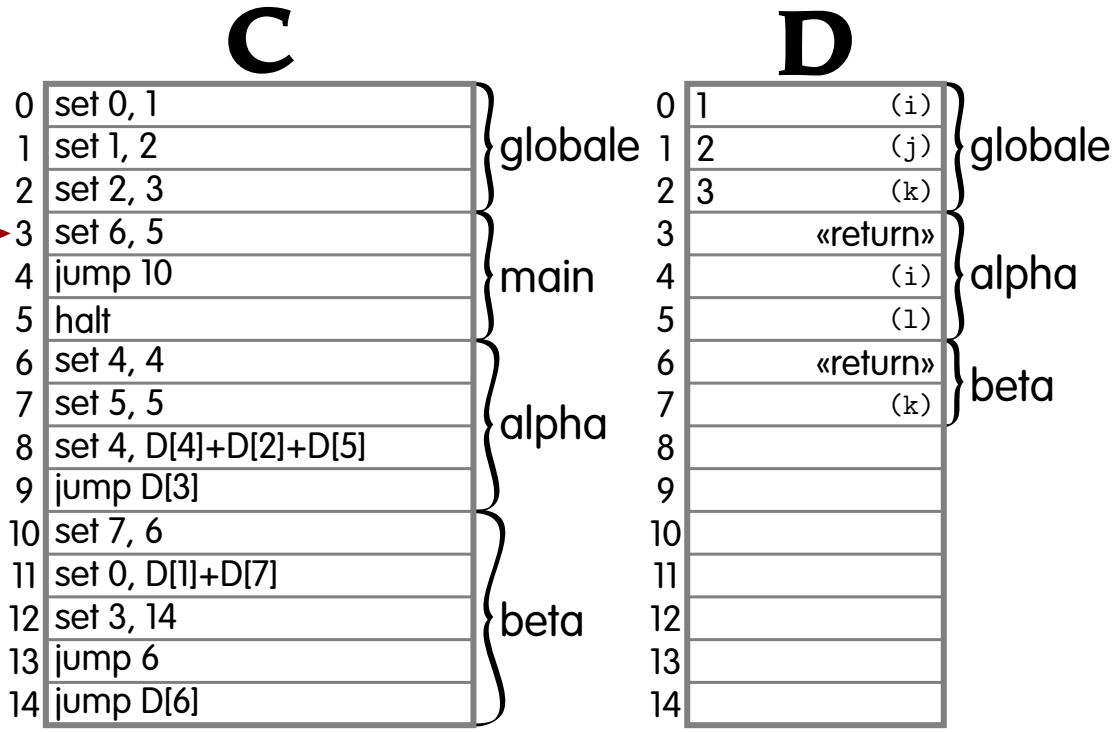
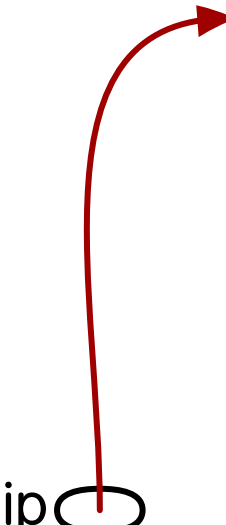


## C2-eksempel - kjøring

```

0 int i = 1, j = 2, k = 3;
1
2 alpha(){
3   int i = 4, l = 5;
4   i += k+1;
5 }
6 beta(){
7   int k = 6;
8   i = j+k;
9   alpha();
10 }
11 main(){
12   beta();
13 }
    
```

ip ○

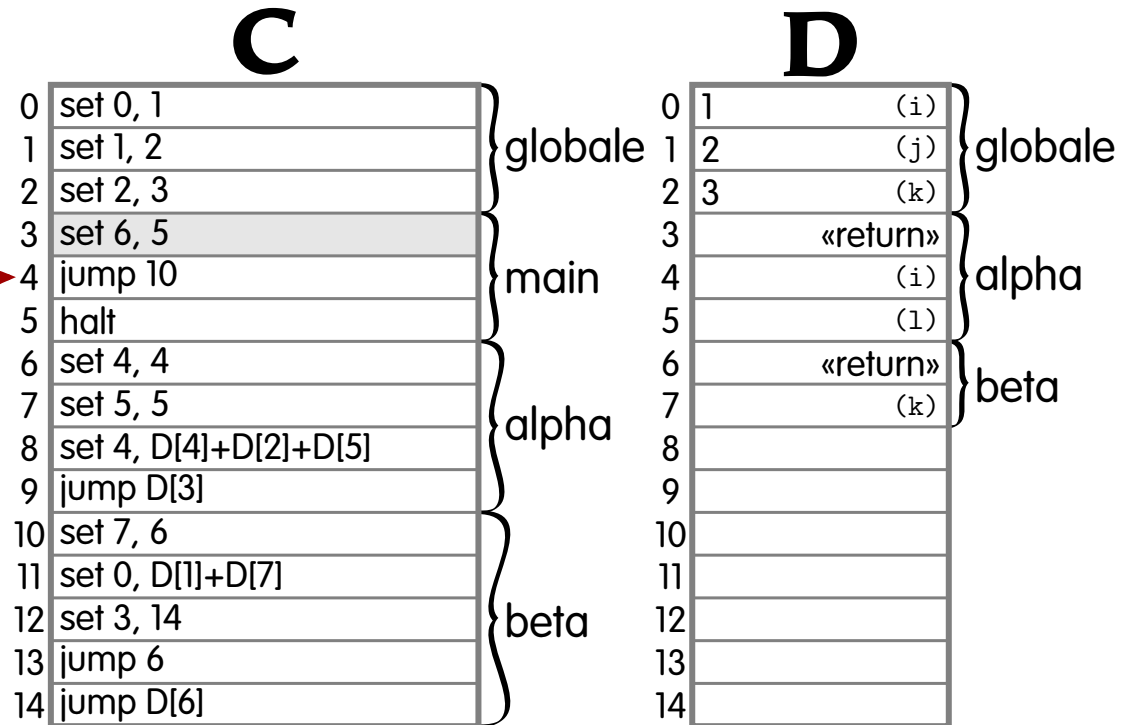


## C2-eksempel - kjøring

```

0 int i = 1, j = 2, k = 3;
1
2 alpha(){
3   int i = 4, l = 5;
4   i += k+1;
5 }
6 beta(){
7   int k = 6;
8   i = j+k;
9   alpha();
10 }
11 main(){
12   beta();
13 }
    
```

ip 

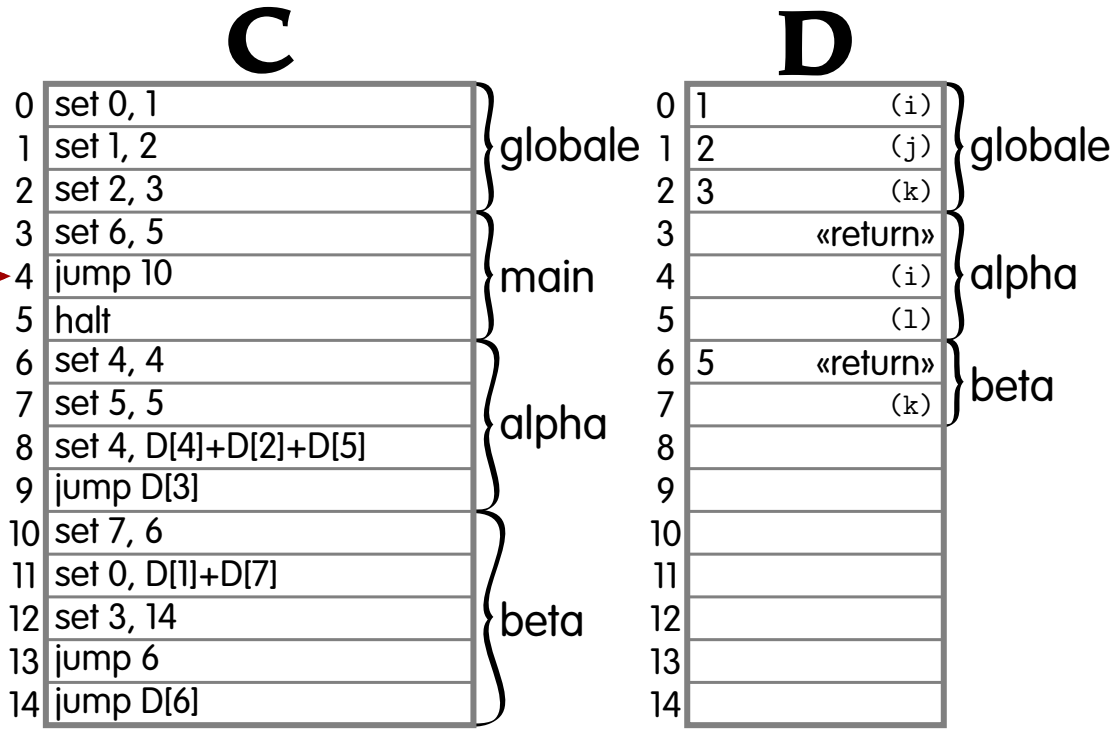


## C2-eksempel - kjøring

```

0 int i = 1, j = 2, k = 3;
1
2 alpha(){
3   int i = 4, l = 5;
4   i += k+1;
5 }
6 beta(){
7   int k = 6;
8   i = j+k;
9   alpha();
10 }
11 main(){
12   beta();
13 }
    
```

ip ○

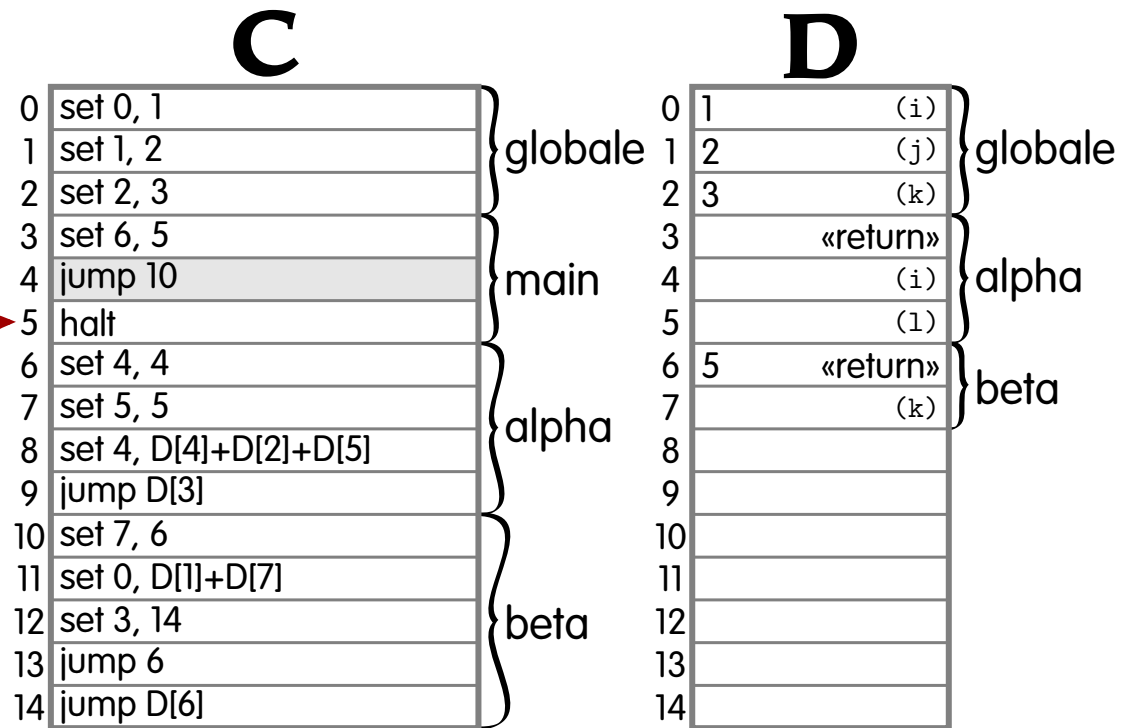


## C2-eksempel - kjøring

```

0 int i = 1, j = 2, k = 3;
1
2 alpha(){
3   int i = 4, l = 5;
4   i += k+1;
5 }
6 beta(){
7   int k = 6;
8   i = j+k;
9   alpha();
10 }
11 main(){
12   beta();
13 }
    
```

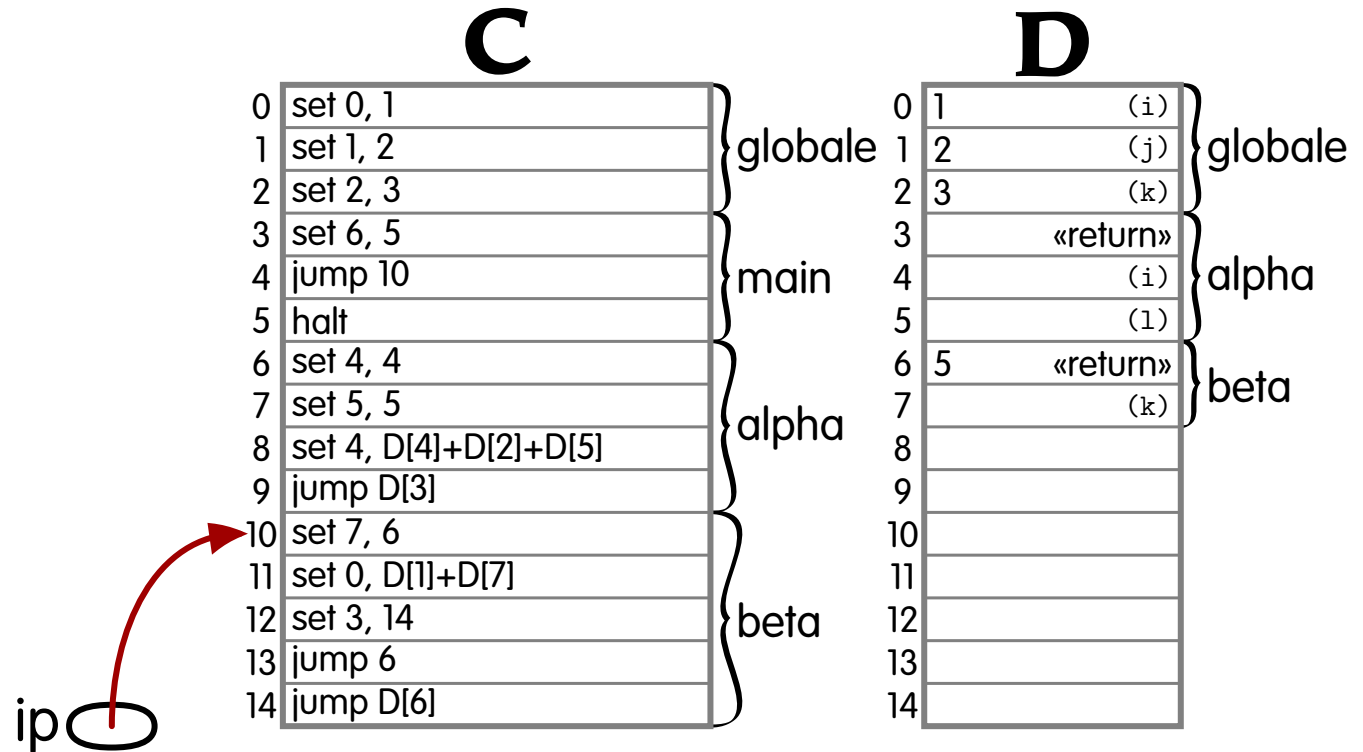
ip 



## C2-eksempel - kjøring

```

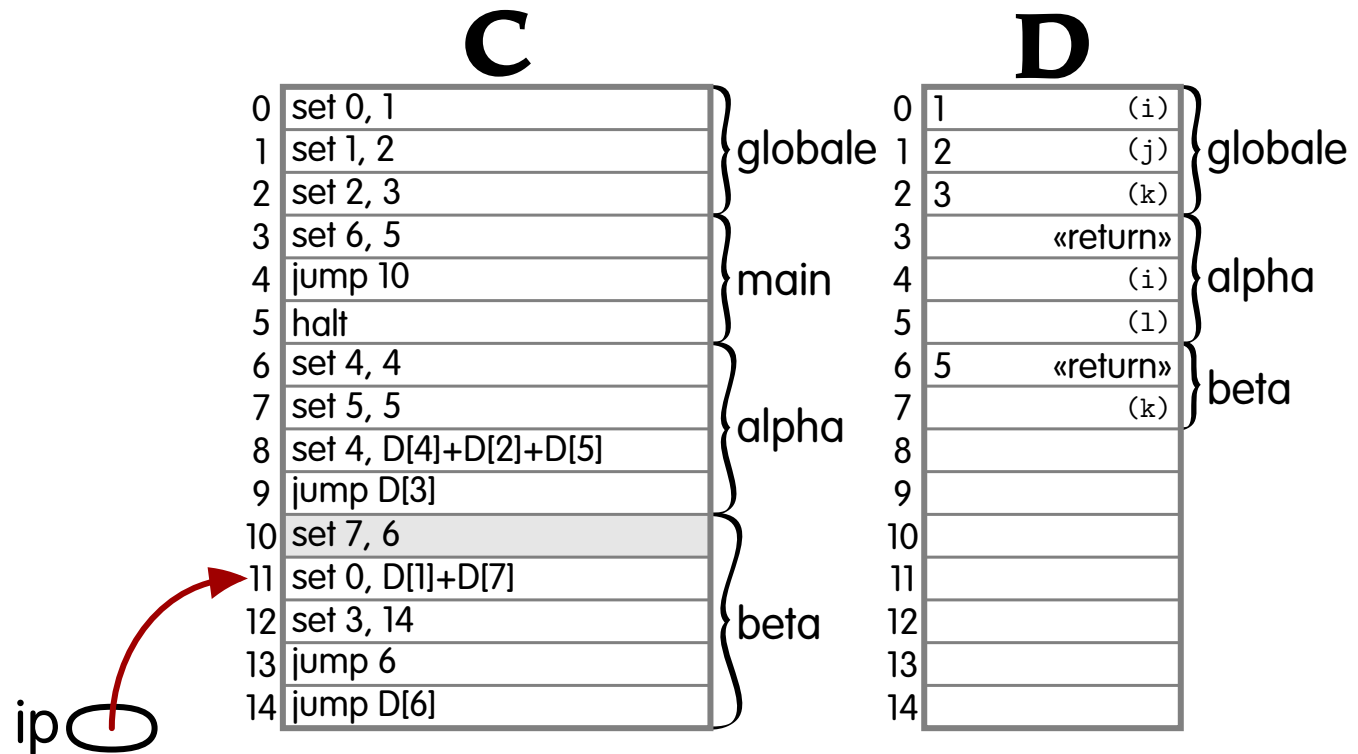
0 int i = 1, j = 2, k = 3;
1
2 alpha(){
3   int i = 4, l = 5;
4   i += k+1;
5 }
6 beta(){
7   int k = 6;
8   i = j+k;
9   alpha();
10 }
11 main(){
12   beta();
13 }
    
```



## C2-eksempel - kjøring

```

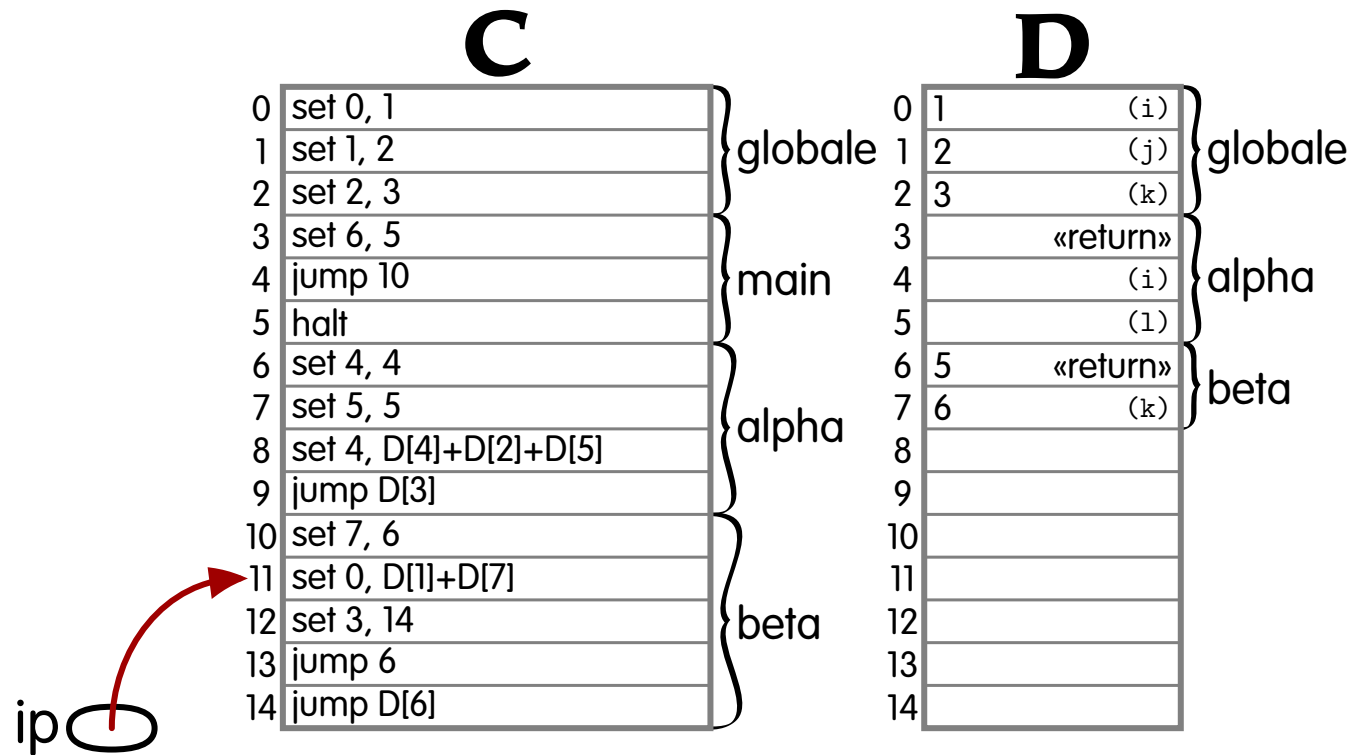
0 int i = 1, j = 2, k = 3;
1
2 alpha(){
3   int i = 4, l = 5;
4   i += k+1;
5 }
6 beta(){
7   int k = 6;
8   i = j+k;
9   alpha();
10 }
11 main(){
12   beta();
13 }
    
```



## C2-eksempel - kjøring

```

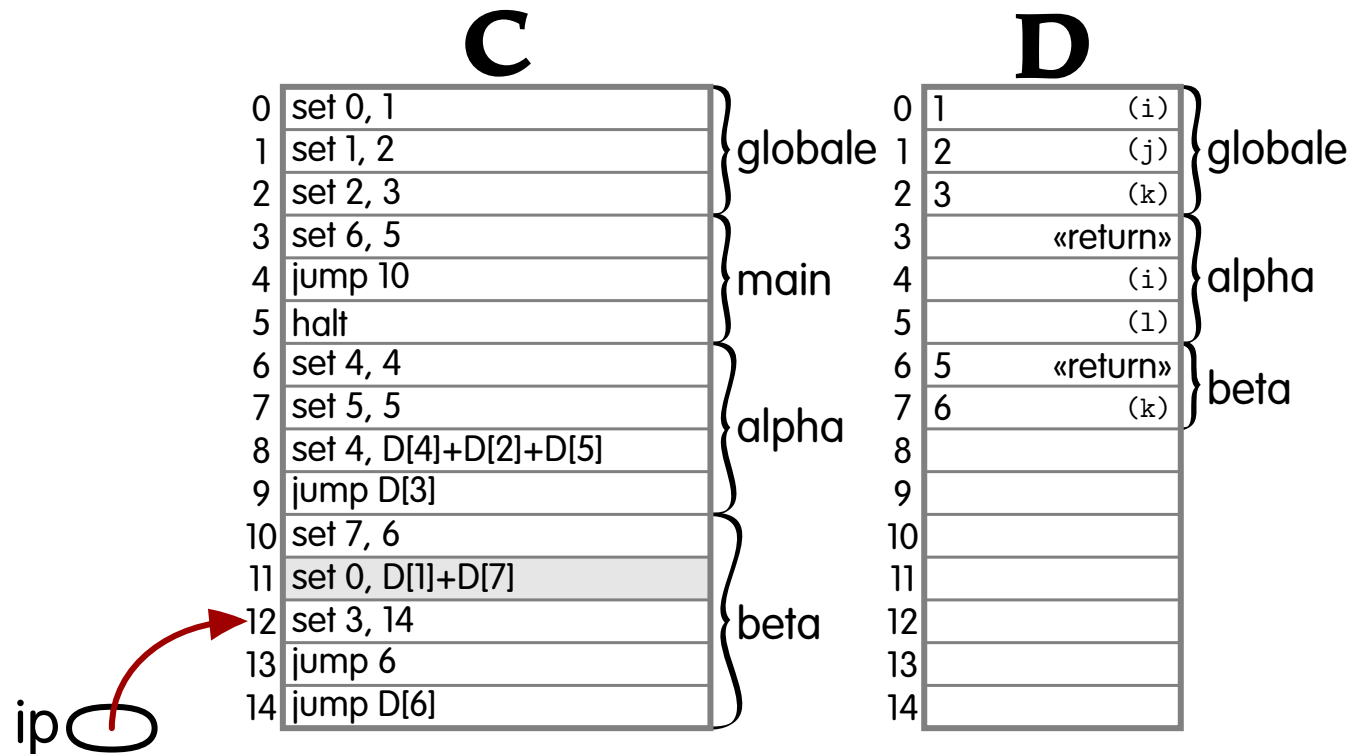
0 int i = 1, j = 2, k = 3;
1
2 alpha(){
3   int i = 4, l = 5;
4   i += k+1;
5 }
6 beta(){
7   int k = 6;
8   i = j+k;
9   alpha();
10 }
11 main(){
12   beta();
13 }
    
```



## C2-eksempel - kjøring

```

0 int i = 1, j = 2, k = 3;
1
2 alpha(){
3   int i = 4, l = 5;
4   i += k+1;
5 }
6 beta(){
7   int k = 6;
8   i = j+k;
9   alpha();
10 }
11 main(){
12   beta();
13 }
    
```

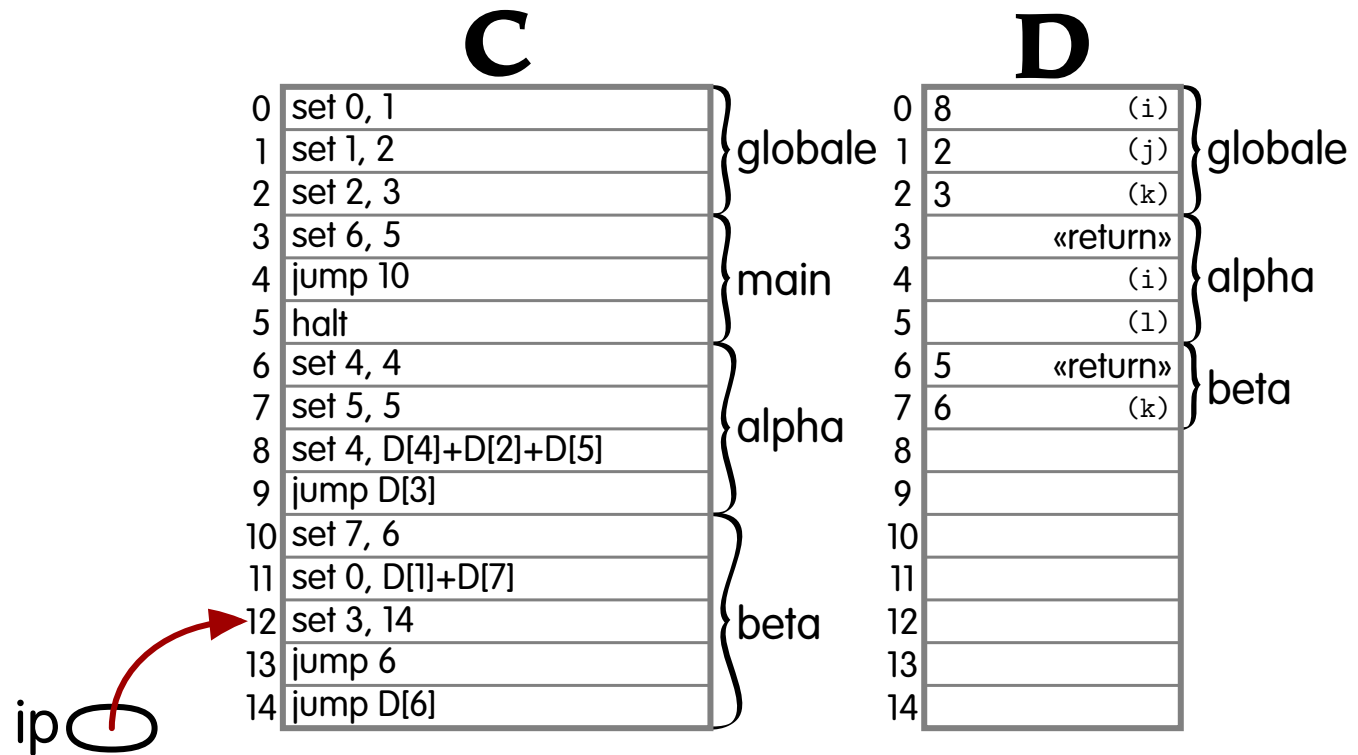




## C2-eksempel - kjøring

```

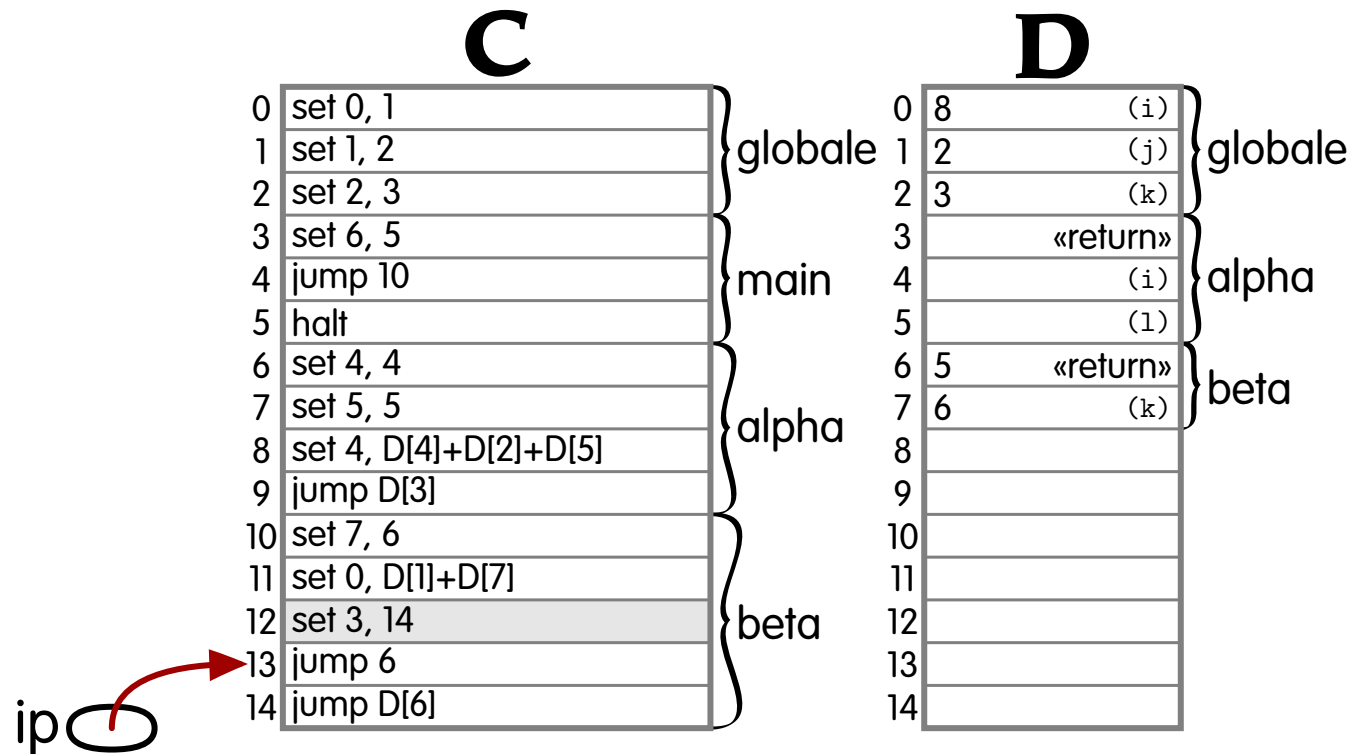
0 int i = 1, j = 2, k = 3;
1
2 alpha(){
3   int i = 4, l = 5;
4   i += k+1;
5 }
6 beta(){
7   int k = 6;
8   i = j+k;
9   alpha();
10 }
11 main(){
12  beta();
13 }
    
```



## C2-eksempel - kjøring

```

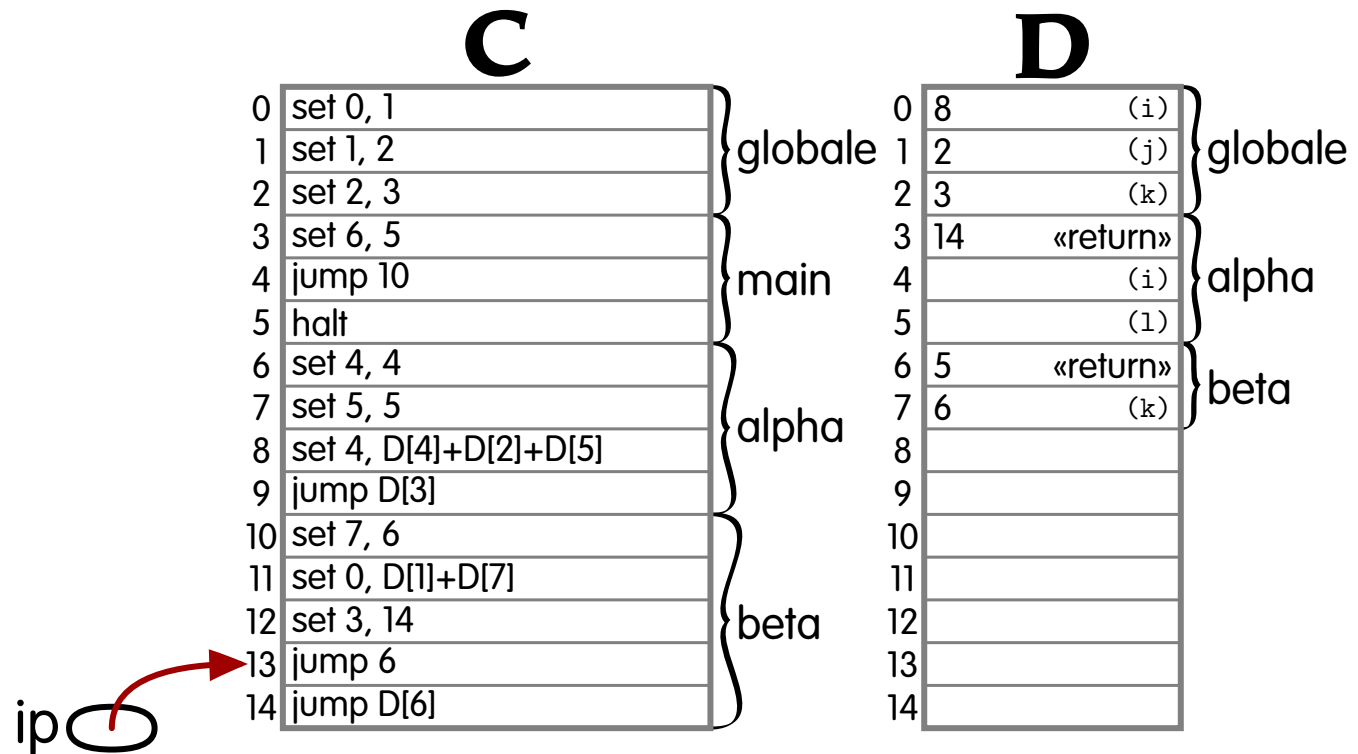
0 int i = 1, j = 2, k = 3;
1
2 alpha(){
3   int i = 4, l = 5;
4   i += k+1;
5 }
6 beta(){
7   int k = 6;
8   i = j+k;
9   alpha();
10 }
11 main(){
12  beta();
13 }
    
```



## C2-eksempel - kjøring

```

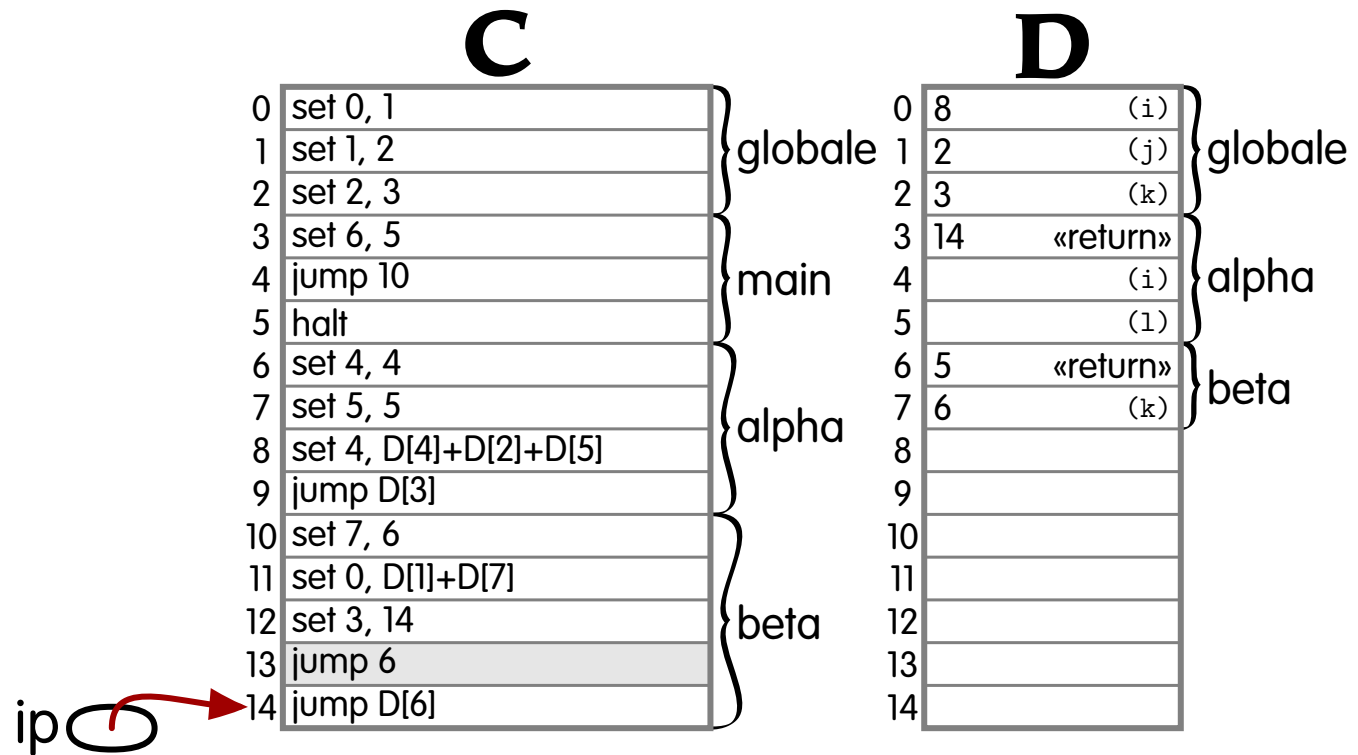
0 int i = 1, j = 2, k = 3;
1
2 alpha(){
3   int i = 4, l = 5;
4   i += k+1;
5 }
6 beta(){
7   int k = 6;
8   i = j+k;
9   alpha();
10 }
11 main(){
12   beta();
13 }
    
```



## C2-eksempel - kjøring

```

0 int i = 1, j = 2, k = 3;
1
2 alpha(){
3   int i = 4, l = 5;
4   i += k+l;
5 }
6 beta(){
7   int k = 6;
8   i = j+k;
9   alpha();
10 }
11 main(){
12   beta();
13 }
    
```

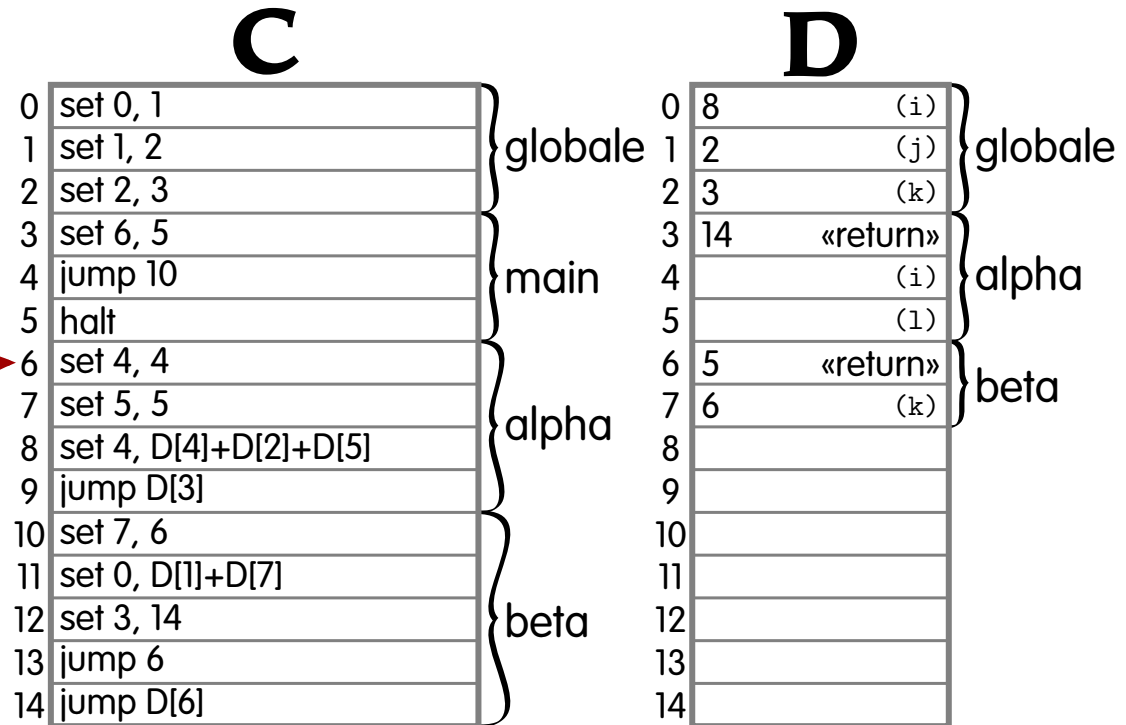


## C2-eksempel - kjøring

```

0 int i = 1, j = 2, k = 3;
1
2 alpha(){
3   int i = 4, l = 5;
4   i += k+1;
5 }
6 beta(){
7   int k = 6;
8   i = j+k;
9   alpha();
10 }
11 main(){
12   beta();
13 }
    
```

ip 

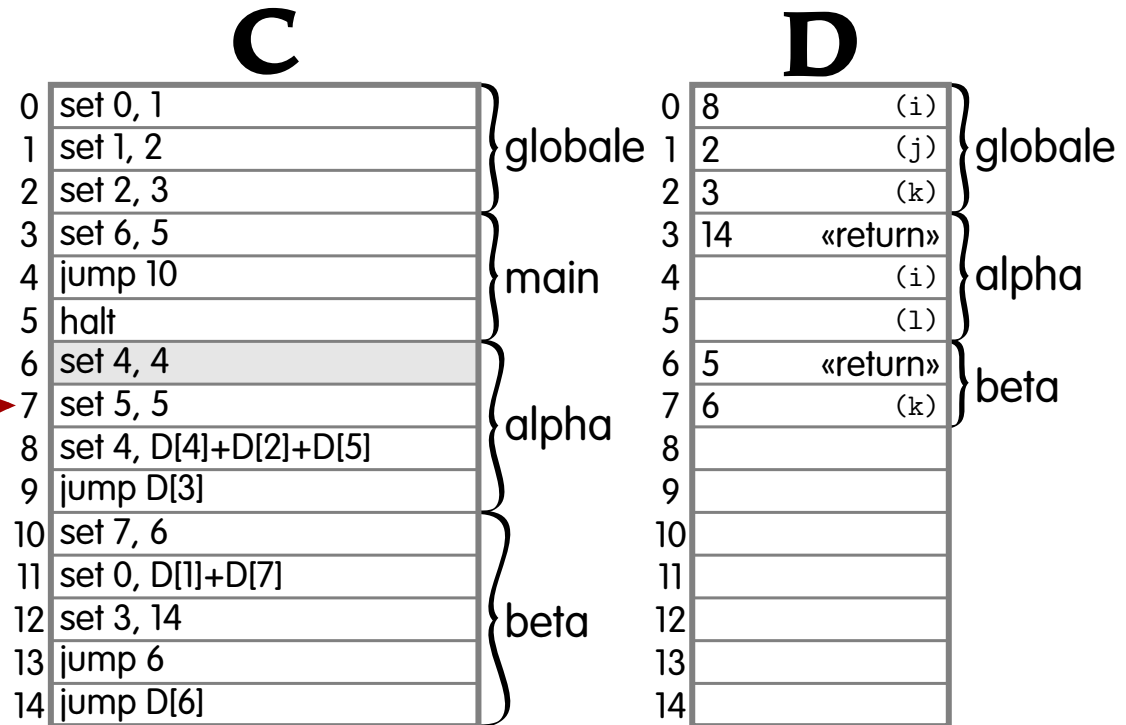


## C2-eksempel - kjøring

```

0 int i = 1, j = 2, k = 3;
1
2 alpha(){
3   int i = 4, l = 5;
4   i += k+1;
5 }
6 beta(){
7   int k = 6;
8   i = j+k;
9   alpha();
10 }
11 main(){
12   beta();
13 }
    
```

ip 

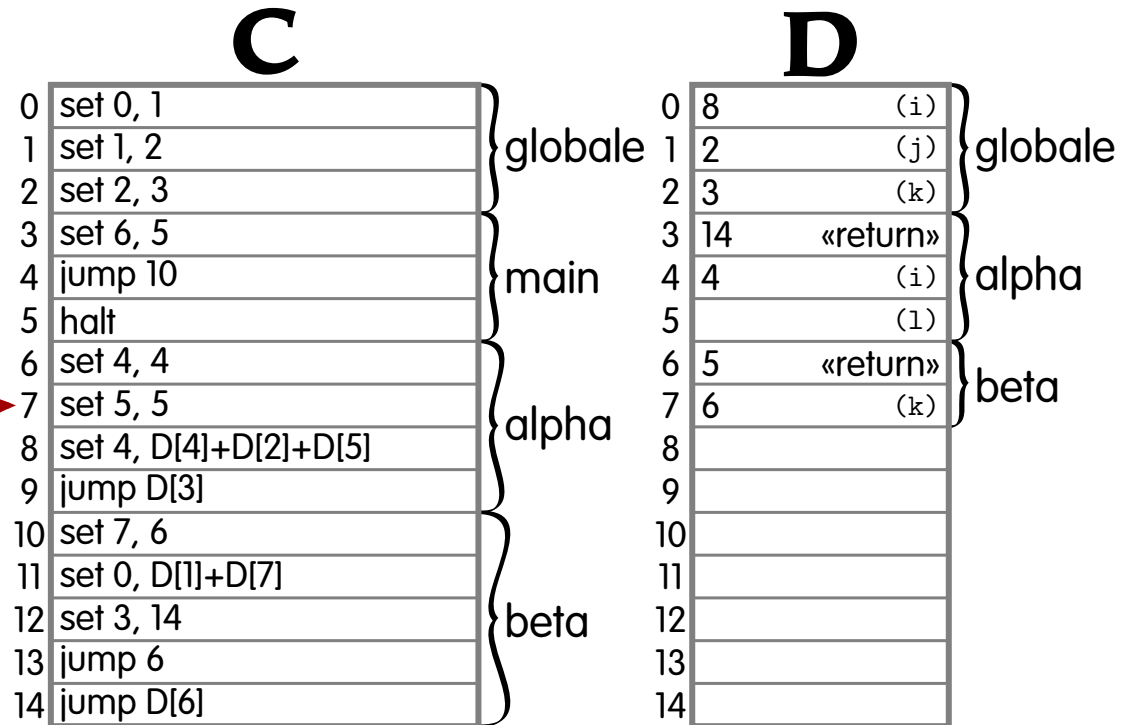


## C2-eksempel - kjøring

```

0 int i = 1, j = 2, k = 3;
1
2 alpha(){
3   int i = 4, l = 5;
4   i += k+1;
5 }
6 beta(){
7   int k = 6;
8   i = j+k;
9   alpha();
10 }
11 main(){
12   beta();
13 }
    
```

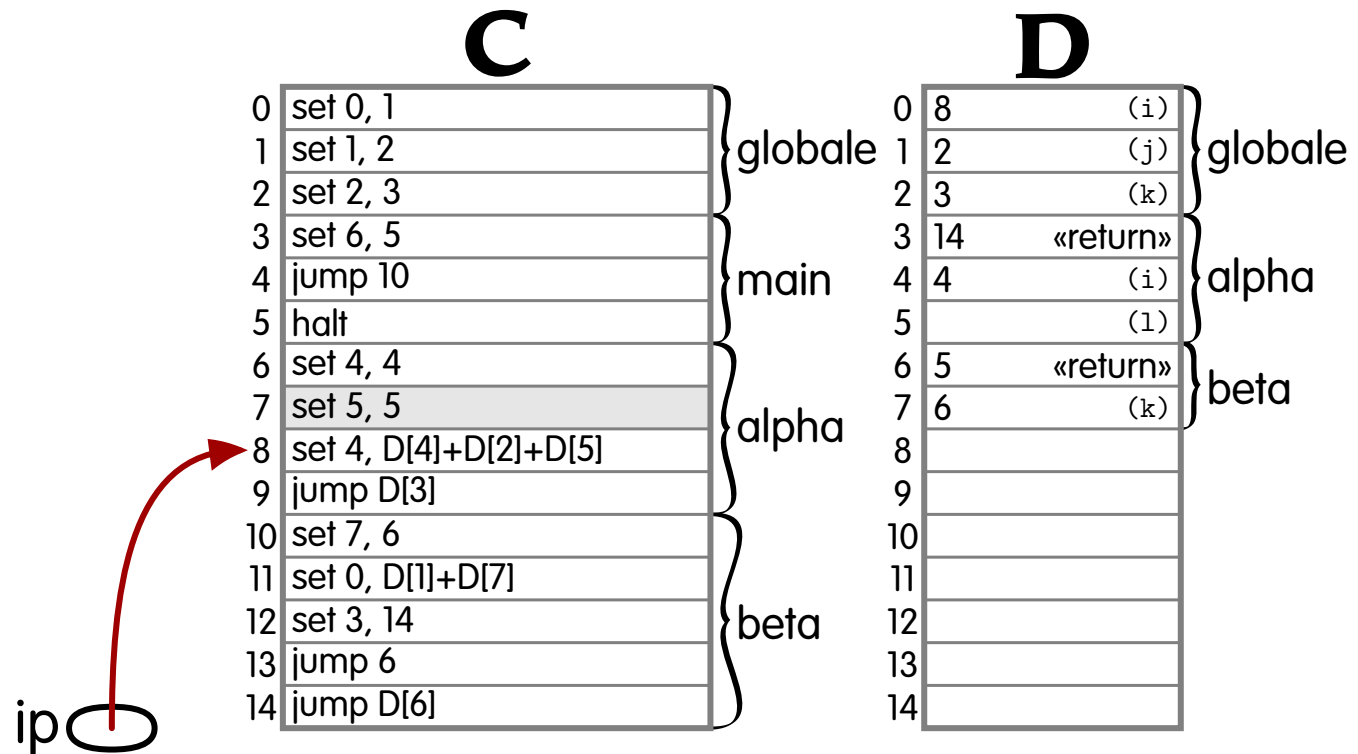
ip 



## C2-eksempel - kjøring

```

0 int i = 1, j = 2, k = 3;
1
2 alpha(){
3   int i = 4, l = 5;
4   i += k+1;
5 }
6 beta(){
7   int k = 6;
8   i = j+k;
9   alpha();
10 }
11 main(){
12   beta();
13 }
    
```



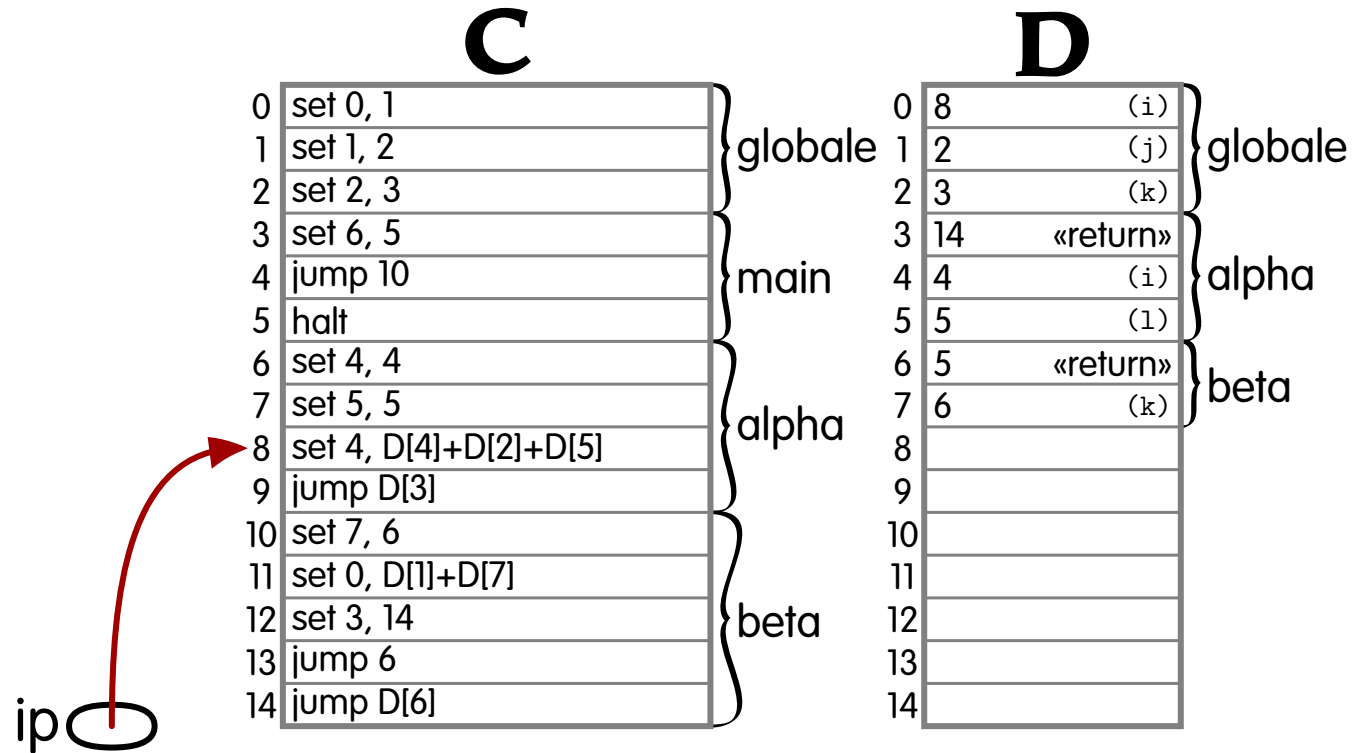


## C2-eksempel - kjøring

```

0 int i = 1, j = 2, k = 3;
1
2 alpha(){
3   int i = 4, l = 5;
4   i += k+1;
5 }
6 beta(){
7   int k = 6;
8   i = j+k;
9   alpha();
10 }
11 main(){
12   beta();
13 }
    
```

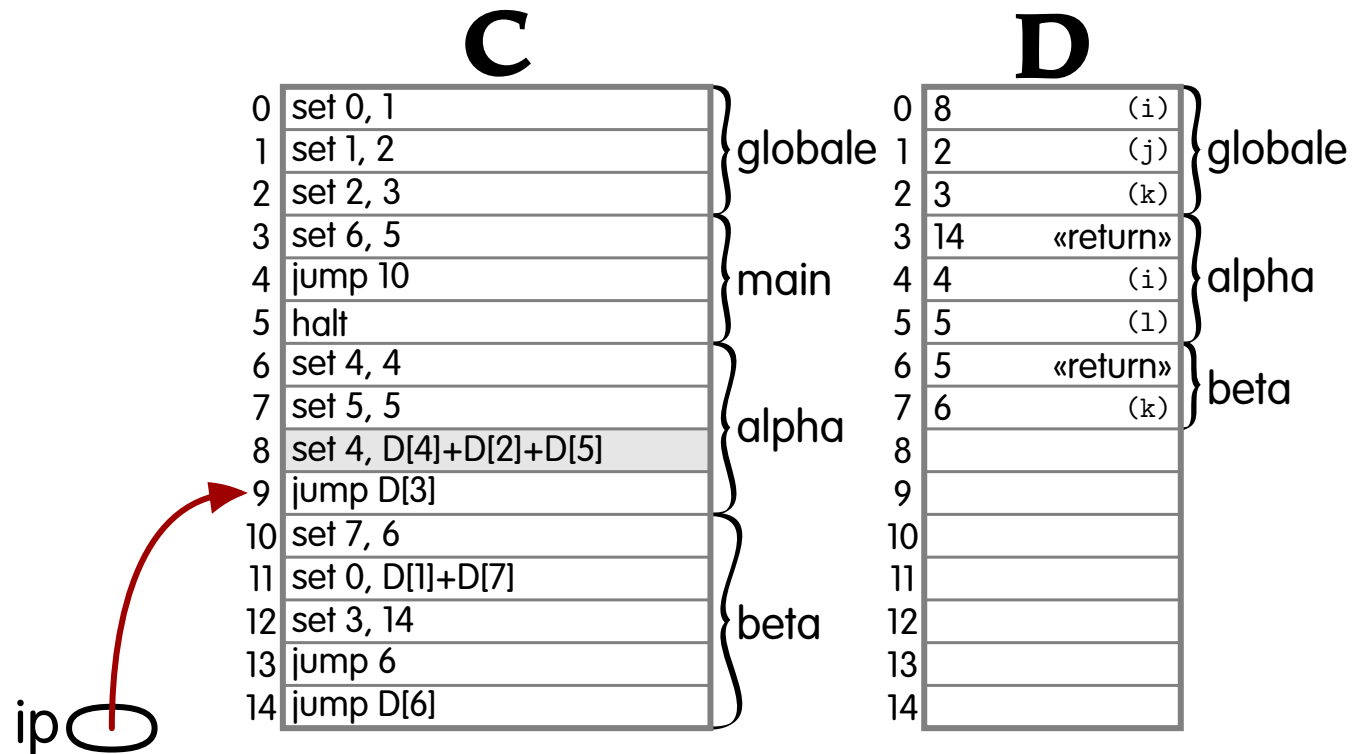
ip 



## C2-eksempel - kjøring

```

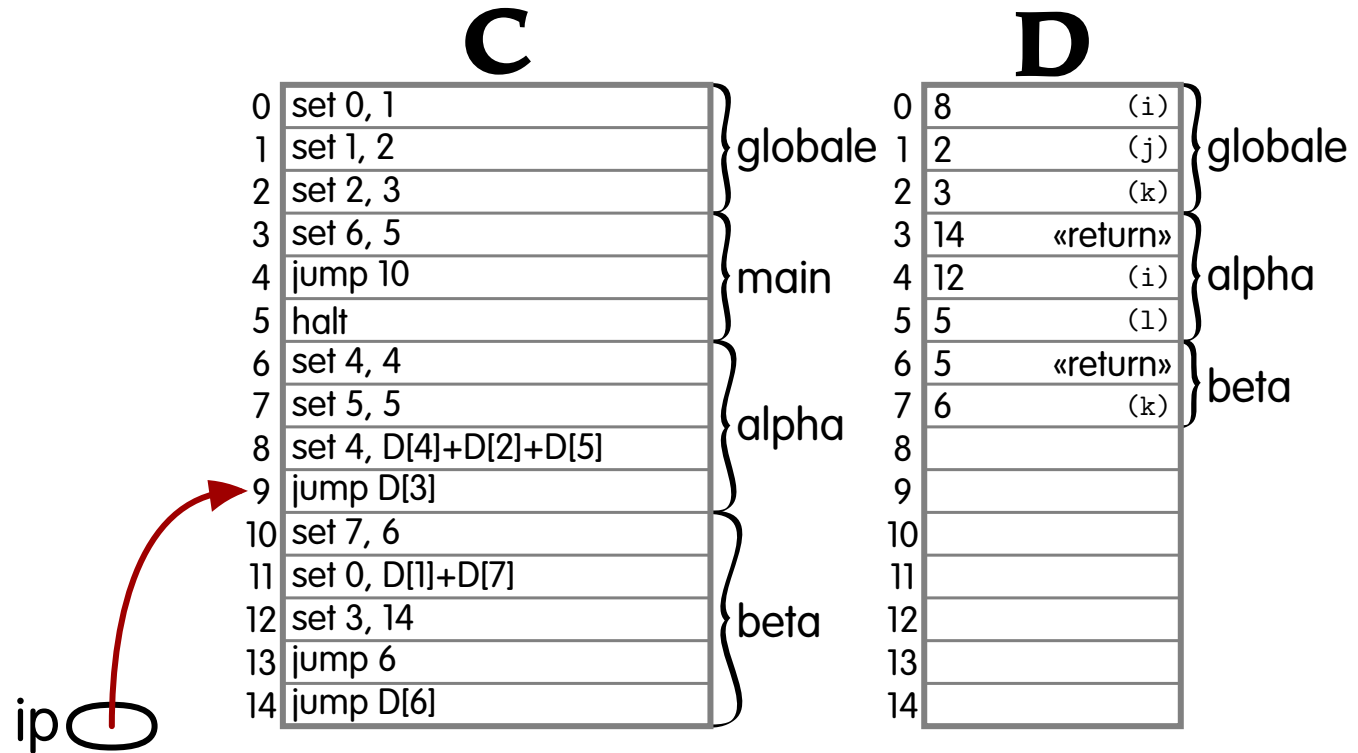
0 int i = 1, j = 2, k = 3;
1
2 alpha(){
3   int i = 4, l = 5;
4   i += k+1;
5 }
6 beta(){
7   int k = 6;
8   i = j+k;
9   alpha();
10 }
11 main(){
12   beta();
13 }
    
```



## C2-eksempel - kjøring

```

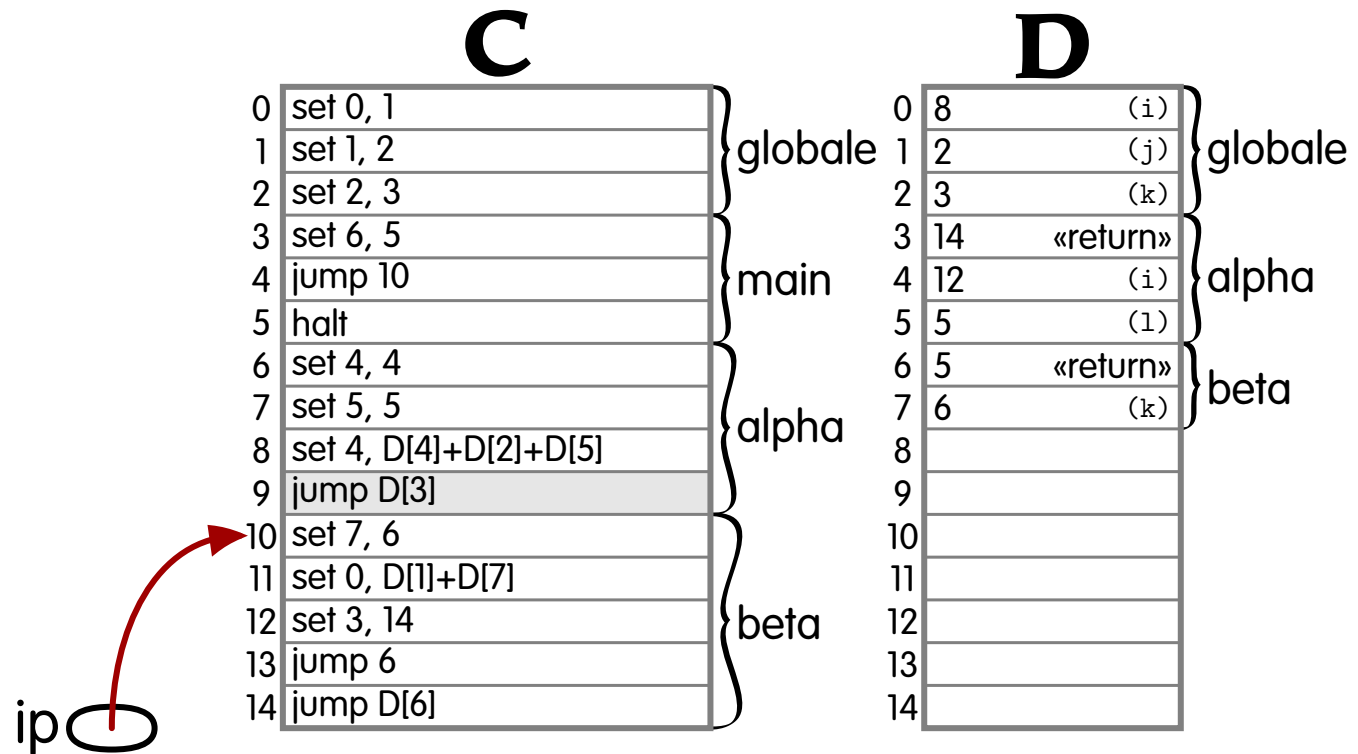
0 int i = 1, j = 2, k = 3;
1
2 alpha(){
3   int i = 4, l = 5;
4   i += k+1;
5 }
6 beta(){
7   int k = 6;
8   i = j+k;
9   alpha();
10 }
11 main(){
12   beta();
13 }
    
```



## C2-eksempel - kjøring

```

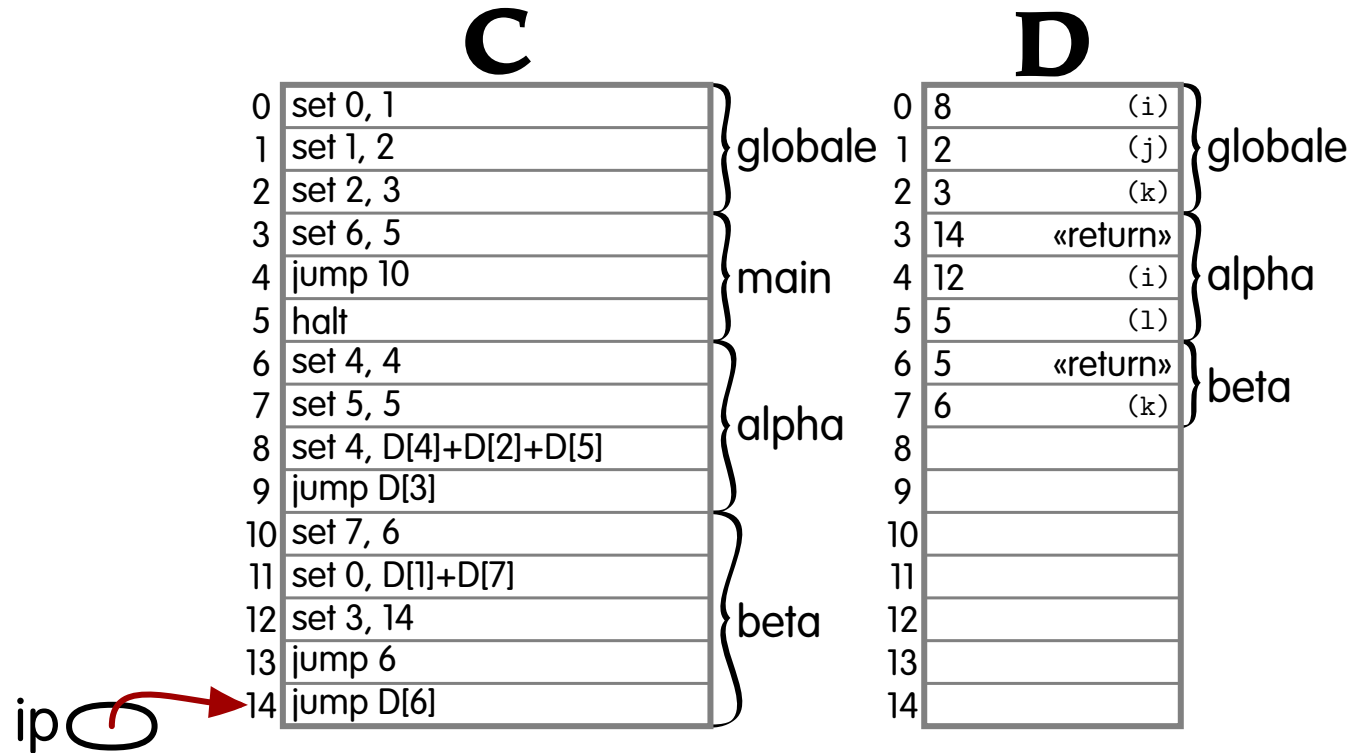
0 int i = 1, j = 2, k = 3;
1
2 alpha(){
3   int i = 4, l = 5;
4   i += k+1;
5 }
6 beta(){
7   int k = 6;
8   i = j+k;
9   alpha();
10 }
11 main(){
12   beta();
13 }
    
```



## C2-eksempel - kjøring

```

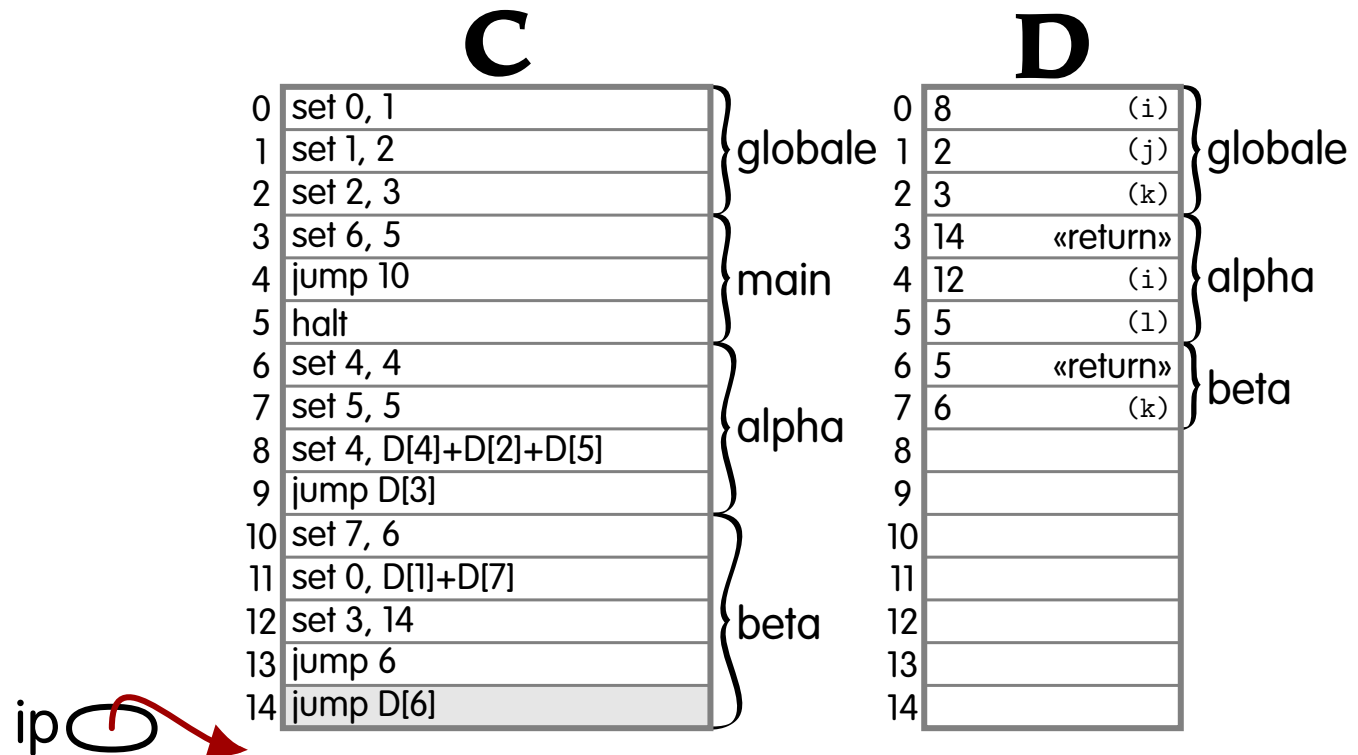
0 int i = 1, j = 2, k = 3;
1
2 alpha(){
3   int i = 4, l = 5;
4   i += k+1;
5 }
6 beta(){
7   int k = 6;
8   i = j+k;
9   alpha();
10 }
11 main(){
12   beta();
13 }
    
```



## C2-eksempel - kjøring

```

0 int i = 1, j = 2, k = 3;
1
2 alpha(){
3   int i = 4, l = 5;
4   i += k+1;
5 }
6 beta(){
7   int k = 6;
8   i = j+k;
9   alpha();
10 }
11 main(){
12   beta();
13 }
    
```

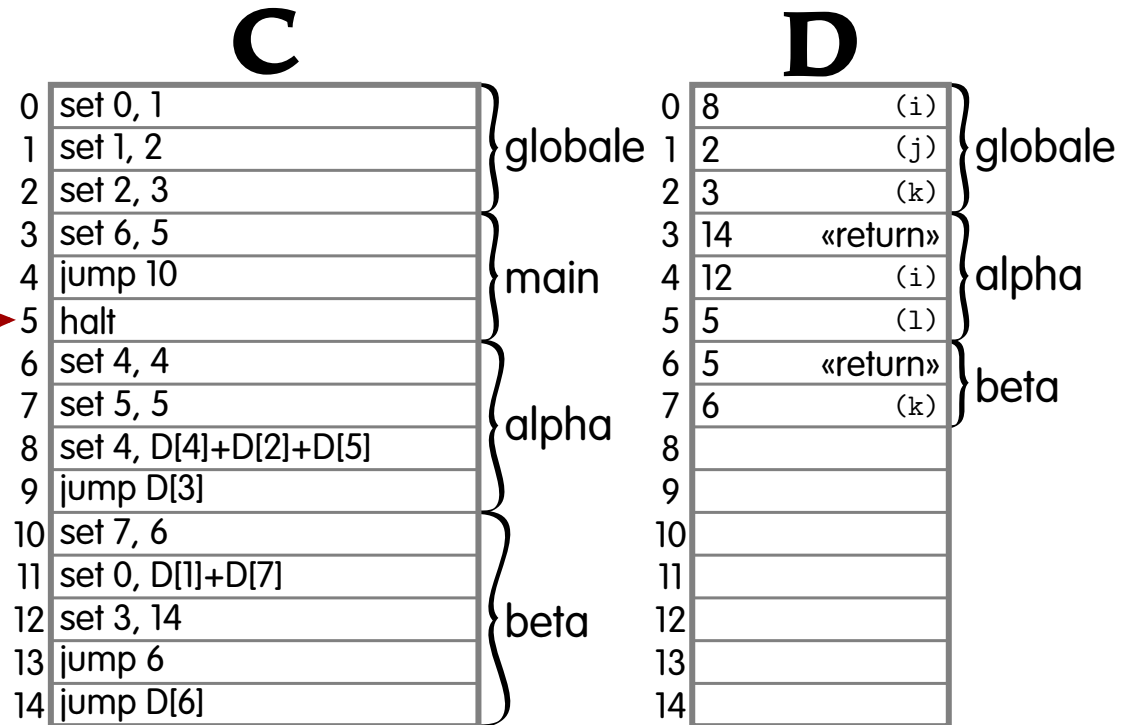


## C2-eksempel - kjøring

```

0 int i = 1, j = 2, k = 3;
1
2 alpha(){
3   int i = 4, l = 5;
4   i += k+1;
5 }
6 beta(){
7   int k = 6;
8   i = j+k;
9   alpha();
10 }
11 main(){
12   beta();
13 }
    
```

ip 



# Språk med separat kompilering

Språket **C2'** er C2 med muligheter for separat kompilering:

**Fil 1:**

```
1 int i = 1, j = 2, k = 3;
2 extern beta();
3
4 main(){
5     beta();
6 }
```

**Fil 2:**

```
1 extern int k;
2
3 alpha(){
4     int i = 4, l = 5;
5     i += k+l;
6 }
```



**Fil 3:**

```
1 extern int i, j;  
2 extern alpha();  
3  
4 beta(){  
5     int k = 6;  
6     i = j+k;  
7     alpha();  
8 }
```

Da vet ikke kompilatoren hvilke adresser i C og D som er ledige.

Den kjenner heller ikke adressene til eksterne funksjoner og variable.

## Relokerbar kode

Løsningen er å la hver rutine bruke adresser fra 0 samt legge ved *relokeringsinformasjon*. Så kan linkerens endre koden.

## Språk med rekursive rutiner

Språket **C3** er C2 utvidet med

- muligheten til å kalle rutiner rekursivt.

Eksempler: C, PASCAL.

### Problem

Hver rutines aktiveringspost kan forekomme 0 eller flere ganger.

### Løsning

Legg aktiveringspostene på stakken. LIFO-disiplin!

Hver aktiveringspost må inneholde en peker til forrige aktiveringspost. Denne kalles *dynamisk link*.

## Implementasjon

Ved implementasjon må vi også ha:

**D[0]** inneholder en peker **current** til nåværende aktiveringspost,  
og

**D[1]** har en peker **free** til første frie lokasjon på stakken.

Lokale variable kan nå aksesserer som

$D[0] + \text{tillegg}$

## Et eksempel

En rekursiv fakultetsfunksjon kan skrives slik. Merk: vi har fortsatt ikke parametre.

```
1 int n;
2
3 int fact(){
4     int loc;
5     if (n > 1) {
6         loc = n--;
7         return loc * fact();
8     } else {
9         return 1;
10    }
11 }
12
13 main(){
14     scanf("%d", &n);
15     if (n >= 0)
16         printf("%d", fact());
17     else
18         printf("Datafeil!");
19 }
```