Assignment 2

Members:

- Mussini Simone Mat. 152595 (284900@studenti.unimore.it)
- Stomeo Paride Mat. 165338 (299510@studenti.unimore.it)

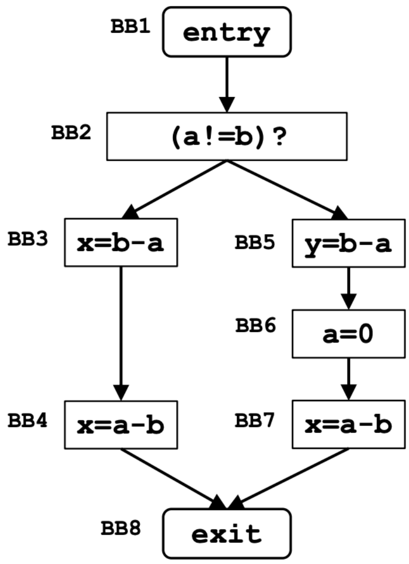
Very Busy Expression

Un'espressione è very busy in un punto p se, indipendentemente dal percorso preso da p, l'espressione viene usata prima che uno dei suoi operandi venga definito.

Un'espressione $a + b$ è very busy in un punto p se $a + b$ è valutata in tutti i percorsi da p a $exit$ e non c'è una definizione di a o b lungo tali percorsi.

Ci interessa l'insieme di espressioni disponibili (available) all'inizio del blocco B.

L'insieme dipende dai percorsi che cominciano al punto p prima di B.



Dataflow analysis framework

	Dominator analysis
Domain	Insieme di espressioni
Direction	Backward $in[B] = f_B(out[B])$ $out[B] = \wedge in[succ(B)]$
Transfer function	$f_B(x) = Gen(B) \cup (x - Kill(B))$

	Dominator analysis
Meet operator $(\wedge)$	$\cap$
Boundary condition	$in[exit] = \emptyset$
Initial interior points	$in[B] = \mathbb{U}$

Siccome il meet operator è l'intersezione devo utilizzare un initial interior points $= \mathbb{U}$.

Iterazioni CFG

	Iterazione 1		Iterazione2	
	IN[BB]	OUT[BB]	IN[BB]	OUT[BB]
BB1	$Gen(BB1) \cup (out[BB1] - kill) = \emptyset \cup \{b - a, a - b\} - \emptyset = \{a - b, b - a\}$	$in[BB2] = \{b - a, a - b\}$	$Gen(BB1) \cup (out[BB1] - kill) = \emptyset \cup \{b - a, a - b\} - \emptyset = \{a - b, b - a\}$	$in[BB2] = \{b - a, a - b\}$
BB2	$Gen(BB2) \cup (out[BB2] - kill) = \emptyset \cup \{b - a, a - b\} - \emptyset = \{b - a, a - b\}$	$in[BB3] \cap in[BB5] = \{a - b, b - a\} \cap \{b - a, a - b\} = \{a - b, b - a\}$	$Gen(BB2) \cup (out[BB2] - kill) = \emptyset \cup \{b - a, a - b\} - \emptyset = \{b - a, a - b\}$	$in[BB3] \cap in[BB5] = \{a - b, b - a\} \cap \{b - a, a - b\} = \{a - b, b - a\}$
BB3	$Gen(BB3) \cup (out[BB3] - kill) = \{b - a\} \cup (\{a - b\} - \emptyset) = \{a - b, b - a\}$	$in[BB4] = \{a - b\}$	$Gen(BB3) \cup (out[BB3] - kill) = \{b - a\} \cup (\{a - b\} - \emptyset) = \{a - b, b - a\}$	$in[BB4] = \{a - b\}$
BB4	$Gen(BB4) \cup (out[BB4] - kill) = \{a - b\} \cup (\emptyset - \emptyset) = \{a - b\}$	$in[BB8] = \emptyset$	$Gen(BB4) \cup (out[BB4] - kill) = \{a - b\} \cup (\emptyset - \emptyset) = \{a - b\}$	$in[BB8] = \emptyset$
BB5	$Gen(BB5) \cup (out[BB5] - kill) = \{b - a\} \cup (\{a - b\} - \emptyset) = \{b - a, a - b\}$	$in[BB6] = \{a - b\}$	$Gen(BB5) \cup (out[BB5] - kill) = \{b - a\} \cup (\{a - b\} - \emptyset) = \{b - a, a - b\}$	$in[BB6] = \{a - b\}$
BB6	$Gen(BB6) \cup (out[bb6] - kill) = \emptyset \cup \{a - b\} - \{b - a\} = \{a - b\}$	$in[BB7] = \{a - b\}$	$Gen(BB6) \cup (out[bb6] - kill) = \emptyset \cup \{a - b\} - \{b - a\} = \{a - b\}$	$in[BB7] = \{a - b\}$
BB7	$Gen(BB7) \cup (OUT[BB7] - kill) = \{a - b\} \cup (\emptyset - \emptyset) = \{a - b\}$	$in[BB8] = \emptyset$	$Gen(BB7) \cup (OUT[BB7] - kill) = \{a - b\} \cup (\emptyset - \emptyset) = \{a - b\}$	$in[BB8] = \emptyset$
BB8	$\emptyset$		$\emptyset$	

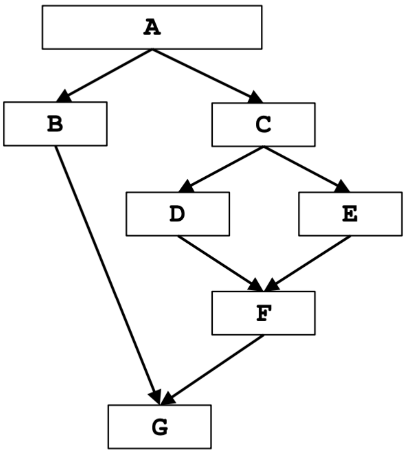
Non essendoci cambiamenti tra gli $out[]$ della prima e la seconda iterazione possiamo fermarci perché è stata raggiunta la convergenza.

Dominator Analysis

Dentro un CFG un BB x domina un altro BB y se il nodo x appare in ogni percorso del grafo che porta dal blocco $entry$ al blocco y.

Ogni BB ha un insieme DOM[B_i] dove $B_i \in$ DOM[B_j] solo se B_i domina B_j.

Un nodo stesso domina se stesso: $B_i \in$ DOM[B_i].



Dataflow analysis framework

	Dominator analysis
Domain	Insieme di basic blocks
Direction	Forward $out[B] = f_B(in[B])$ $in[B] = \wedge out[pred(B)]$
Transfer function	$f_b(x) = Gen[B] \cup in[B]$
Meet operator $(\wedge)$	$\cap$
Boundary condition	$out[entry] = \{entry\}$
Initial interior points	$out[B] = \mathbb{U}$

La scelta di una boundary condition $= out[entry] = \{entry\}$ è dovuta al fatto che è specificata la proprietà riflessiva della dominator analysis.

Nello svolgimento delle iterazioni si considera A l'$entry$ block e G l'$exit$ block.

Iterazioni CFG

	Iterazione 1		Iterazione2	
	IN[BB]	OUT[BB]	IN[BB]	OUT[BB]
A	$\emptyset$ (0000000)	{A} (1000000)	$\emptyset$ (0000000)	{A} (1000000)
B	{A} (1000000)	{A, B} (1100000)	{A} (1000000)	{A, B} (1100000)
C	{A} (1000000)	{A, C} (1010000)	{A} (1000000)	{A, C} (1010000)
D	{A, C} (1010000)	{A, C, D} (1011000)	{A, C} (1010000)	{A, C, D} (1011000)
E	{A, C} (1010000)	{A, C, E} (1010100)	{A, C} (1010000)	{A, C, E} (1010100)
F	{A, C} (1010000)	{A, C, F} (1010010)	{A, C} (1010000)	{A, C, F} (1010010)
G	{A} (1000000)	{A, G} (1000001)	{A} (1000000)	{A, G} (1000001)

Non essendoci cambiamenti tra gli $out[]$ della prima e la seconda iterazione possiamo fermarci perché è stata raggiunta la convergenza.

Constant propagation

L'obiettivo della constant propagation è quello di determinare in quali punti del programma le variabili hanno un valore costante

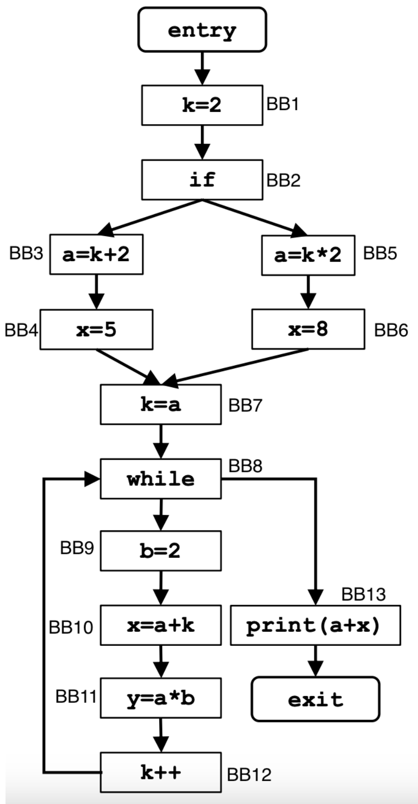
L'informazione da calcolare per ogni nodo del CFG è un insieme di coppie del tipo <variabile, valore costante>.

Se abbiamo la coppia $< x, c >$ al nodo n, significa che x è garantito avere il valore c ogni volta che n viene raggiunto durante l'esecuzione del programma.

NOTA: L'analisi di CP riesce a determinare il valore costante di espressioni binarie in cui uno o entrambi gli operandi siano delle variabili il cui valore costante sia noto:

$$\begin{gathered} w = 5 \\ x = 12 \\ y = x - 2 \rightarrow y = 10 \\ z = w + x \rightarrow z = 17 \end{gathered}$$

Tenere conto di questo aspetto nel determinare le equazioni.



Dataflow analysis framework

	Dominator analysis
Domain	Insieme di definizioni
Direction	Forward $out[B] = f_B(in[B])$ $in[B] = \wedge out[pred(B)]$
Transfer function	$f_B(x) = Gen(B) \cup (x - Kill(B))$
Meet operator $(\wedge)$	$\cap$
Boundary condition	$out[entry] = \emptyset$
Initial interior points	$out[B] = \mathbb{U}$

Iterazioni CFG

	Iterazione 1		Iterazione2		Iterazione 3	
	IN[BB]	OUT[BB]	IN[BB]	OUT[BB]	IN[BB]	OUT[BB]
BB1	$\emptyset$	$\{< k, 2 >\}$	$\emptyset$	$\{< k, 2 >\}$	$\emptyset$	$\{< k, 2 >\}$
BB2	$\{< k, 2 >\}$	$\{< k, 2 >\}$	$\{< k, 2 >\}$	$\{< k, 2 >\}$	$\{< k, 2 >\}$	$\{< k, 2 >\}$
BB3	$\{< k, 2 >\}$	$\{< a, 4 >< k, 2 >\}$	$\{< k, 2 >\}$	$\{< a, 4 >< k, 2 >\}$	$\{< k, 2 >\}$	$\{< a, 4 >< k, 2 >\}$
BB4	$\{< a, 4 >< k, 2 >\}$	$\{< a, 4 >< k, 2 >< x, 5 >\}$	$\{< a, 4 >< k, 2 >\}$	$\{< a, 4 >< k, 2 >< x, 5 >\}$	$\{< a, 4 >< k, 2 >\}$	$\{< a, 4 >< k, 2 >< x, 5 >\}$
BB5	$\{< k, 2 >\}$	$\{< a, 4 >< k, 2 >\}$	$\{< k, 2 >\}$	$\{< a, 4 >< k, 2 >\}$	$\{< k, 2 >\}$	$\{< a, 4 >< k, 2 >\}$
BB6	$\{< a, 4 >< k, 2 >\}$	$\{< a, 4 >< k, 2 >< x, 8 >\}$	$\{< a, 4 >< k, 2 >\}$	$\{< a, 4 >< k, 2 >< x, 8 >\}$	$\{< a, 4 >< k, 2 >\}$	$\{< a, 4 >< k, 2 >< x, 8 >\}$
BB7	$out[BB4] \cap out[BB6] = \{< a, 4 >< k, 2 >< z, 5 >\} \cap \{< a, 4 >< k, 2 >< x, 8 >\} = \{< a, 4 >< k, 2 >\}$	$< k, 4 > +(\{< a, 4 >, < k, 2 >\} - < k, 2 >)$ = $\{< k, 4 >, < a, 4 >\}$	$out[BB4] \cap out[BB6] = \{< a, 4 >< k, 2 >< z, 5 >\} \cap \{< a, 4 >< k, 2 >< x, 8 >\} = \{< a, 4 >< k, 2 >\}$	$< k, 4 > +(\{< a, 4 >, < k, 2 >\} - < k, 2 >)$ = $\{< k, 4 >, < a, 4 >\}$	$out[BB4] \cap out[BB6] = \{< a, 4 >< k, 2 >< z, 5 >\} \cap \{< a, 4 >< k, 2 >< x, 8 >\} = \{< a, 4 >< k, 2 >\}$	$< k, 4 > +(\{< a, 4 >, < k, 2 >\} - < k, 2 >)$ = $\{< k, 4 >, < a, 4 >\}$
BB8	$\{< k, 4 >, < a, 4 >\}$	$\{< k, 4 >, < a, 4 >\}$	$out[BB12] \cap out[BB7] = \{< k, 5 >, < a, 4 >, < b, 2 >, < x, 8 >, < y, 8 >\} \cap \{< k, 4 ><$	$\{< a, 4 >\}$	$out[BB12] \cap out[BB7] = \{< a, 4 >\} \cap \{< a, 4 >, < k, 2 >\} = \{< a, 4 >\}$	$\{< a, 4 >\}$

	Iterazione 1		Iterazione2		Iterazione 3	
			$a, 4 >\} = \{< a, 4 >\}$			
BB9	$\{< k, 4 >, < a, 4 >\}$	$\{< k, 4 >, < a, 4 >, < b, 2 >\}$	$\{< a, 4 >\}$	$\{< a, 4 >, < b, 2 >\}$	$\{< a, 4 >\}$	$\{< a, 4 >, < b, 2 >\}$
BB10	$\{< k, 4 >, < a, 4 >, < b, 2 >\}$	$\{< k, 4 >, < a, 4 >, < b, 2 >, < x, 8 >\}$	$\{< a, 4 >, < b, 2 >\}$	$\{< a, 4 >, < b, 2 >\}$	$\{< a, 4 >, < b, 2 >\}$	$\{< a, 4 >, < b, 2 >\}$
BB11	$\{< k, 4 >, < a, 4 >, < b, 2 >, < x, 8 >\}$	$\{< k, 4 >, < a, 4 >, < b, 2 >, < x, 8 >, < y, 8 >\}$	$\{< a, 4 >, < b, 2 >\}$	$\{< a, 4 >, < b, 2 >, < y, 8 >\}$	$\{< a, 4 >, < b, 2 >\}$	$\{< a, 4 >, < b, 2 >, < y, 8 >\}$
BB12	$\{< k, 4 >, < a, 4 >, < b, 2 >, < x, 8 >, < y, 8 >\}$	$\{< k, 5 >, < a, 4 >, < b, 2 >, < x, 8 >, < y, 8 >\}$	$\{< a, 4 >, < b, 2 >, < y, 8 >\}$	$\{< a, 4 >, < b, 2 >, < y, 8 >\}$	$\{< a, 4 >, < b, 2 >, < y, 8 >\}$	$\{< a, 4 >, < b, 2 >, < y, 8 >\}$
BB13	$\{< k, 4 >, < a, 4 >\}$	$\{< k, 4 >, < a, 4 >\}$	$\{< a, 4 >\}$	$\{< a, 4 >\}$	$\{< a, 4 >\}$	$\{< a, 4 >\}$

Non essendoci cambiamenti tra gli $out[]$ della seconda e la terza iterazione possiamo fermarci perché è stata raggiunta la convergenza.