1 - Data flow analysis

Note that I cooperated with Johan Solbakken on this task.

1.1 - Control flow graph

Below, you can see the control flow graph for the `happy_numbers` program, with the program points labeled.

1.2 - Reaching definitions

Based on this control flow graph, we can now state and solve the data flow equations for the "reaching definitions" analysis:

BEGIN

num = 1 .... L1
.... L2
if num < 83 do ——false—— L3
.... L4
    true
sum = num
stop = 0 .... L5
.... L6
if stop = 0 do ——false—— L7
.... L8
    true
tmp = sum
rem = 0
sum = 0 .... L9
.... L10
if tmp > 0 do L11
.... L12
    true   false
rem = tmp / 10
rem = tmp - rem * 10
sum = sum + rem * rem
tmp = tmp / 10 .... L13
.... L14
.... L15
——true—— if sum = 1 .... L16
stop = 1   false L17
.... L18
——true—— if sum = 4 .... L19
stop = 1   false L20
.... L21
.... L22
——true—— if sum = 1 .... L23
print num   false L24
.... L25
.... L26
num = num + 1 .... L27
.... L28
.... L29
return 0 .... L30
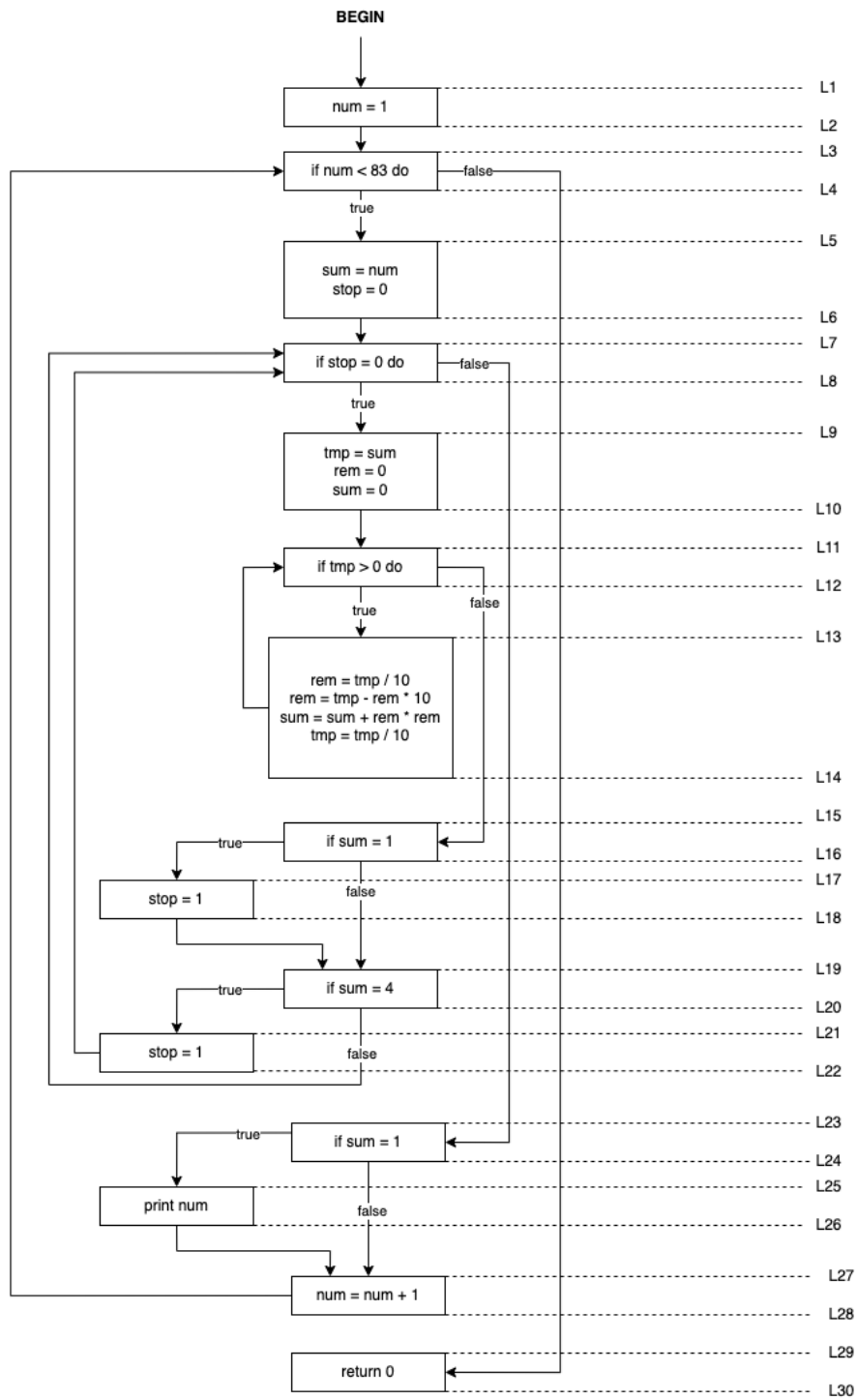
Figure 1: Control flow graph for happy_numbers

2

Data flow overview

d1: num = 1
d2: sum = num
d3: stop = 0
d4: tmp = sum
d5: rem = 0
d6: sum = 0
d7: rem = tmp / 10
d8: rem = tmp - rem * 10
d9: sum = sum + rem * rem
d10: tmp = tmp / 10
d11: stop = 1
d12: num = num + 1

L1: ()
L2: L1 U {d1}
L3: L2 U L28
L4: L3
L5: L4
L6: L5 U {d2, d3}
L7: L6 U L20 U L22
L8: L7
L9: L8
L10: L9 - {d2} U {d4, d5, d6}
L11: L10
L12: L11
L13: L12
L14: L13 - {d4, d5, d6} U {d7,d8,d9,d10} - {d7}
L15: L14
L16: L15
L17: L16
L18: L17 - {d9} U {d11}
L19: L16 U L18
L20: L19
L21: L20
L22: L21 - {d11} U {d11}
L23: L8
L24: L23
L25: L24
L26: L25
L27: L24 U L26
L28: L27 - {d1} U {d12}
L29: L4
L30: L29

Iteration 1

L1: {}
L2: {d1}
L3: {d1}
L4: {d1}
L5: {d1}
L6: {d1, d2, d3}
L7: {d1, d2, d3}
L8: {d1, d2, d3}
L9: {d1, d2, d3}
L10: {d1, d3, d4, d5, d6}
L11: {d1, d3, d4, d5, d6}
L12: {d1, d3, d4, d5, d6}
L13: {d1, d3, d4, d5, d6}
L14: {d1, d3, d8, d9, d10}
L15: {d1, d3, d8, d9, d10}
L16: {d1, d3, d8, d9, d10}
L17: {d1, d3, d8, d9, d10}
L18: {d1, d3, d8, d10, d11}
L19: {d1, d3, d8, d10, d9, d11}
L20: {d1, d3, d8, d10, d9, d11}
L21: {d1, d3, d8, d10, d9, d11}
L22: {d1, d3, d8, d10, d9, d11}
L23: {d1, d2, d3}
L24: {d1, d2, d3}
L25: {d1, d2, d3}
L26: {d1, d2, d3}
L27: {d1, d2, d3}
L28: {d2, d3, d12}
L29: {d1}
L30: {d1}

Iteration 2

L1: {}
L2: {d1}
L3: {d1, d2, d3, d12}
L4: {d1, d2, d3, d12}
L5: {d1, d2, d3, d12}
L6: {d1, d2, d3, d12}
L7: {d1, d2, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L8: {d1, d2, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L9: {d1, d2, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L10: {d1, d3, d4, d5, d6, d8, d9, d10, d11, d12}
L11: {d1, d3, d4, d5, d6, d8, d9, d10, d11, d12}
L12: {d1, d3, d4, d5, d6, d8, d9, d10, d11, d12}
L13: {d1, d3, d4, d5, d6, d8, d9, d10, d11, d12}
L14: {d1, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L15: {d1, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L16: {d1, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L17: {d1, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L18: {d1, d3, d8, d10, d11, d12}
L19: {d1, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L20: {d1, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L21: {d1, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L22: {d1, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L23: {d1, d2, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L24: {d1, d2, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L25: {d1, d2, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L26: {d1, d2, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L27: {d1, d2, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L28: {d2, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L29: {d1, d2, d3, d12}
L30: {d1, d2, d3, d12}

Iteration 3

L1: {}
L2: {d1}
L3: {d1, d2, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L4: {d1, d2, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L5: {d1, d2, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L6: {d1, d2, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L7: {d1, d2, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L8: {d1, d2, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L9: {d1, d2, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L10: {d1, d3, d4, d5, d6, d8, d9, d10, d11, d12}
L11: {d1, d3, d4, d5, d6, d8, d9, d10, d11, d12}
L12: {d1, d3, d4, d5, d6, d8, d9, d10, d11, d12}
L13: {d1, d3, d4, d5, d6, d8, d9, d10, d11, d12}
L14: {d1, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L15: {d1, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L16: {d1, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L17: {d1, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L18: {d1, d3, d8, d10, d11, d12}
L19: {d1, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L20: {d1, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L21: {d1, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L22: {d1, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L23: {d1, d2, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L24: {d1, d2, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L25: {d1, d2, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L26: {d1, d2, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L27: {d1, d2, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L28: {d2, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L29: {d1, d2, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L30: {d1, d2, d3, d8, d9, d10, d11, d12}

Iteration 4

L1: {}
L2: {d1}
L3: {d1, d2, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L4: {d1, d2, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L5: {d1, d2, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L6: {d1, d2, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L7: {d1, d2, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L8: {d1, d2, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L9: {d1, d2, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L10: {d1, d3, d4, d5, d6, d8, d9, d10, d11, d12}
L11: {d1, d3, d4, d5, d6, d8, d9, d10, d11, d12}
L12: {d1, d3, d4, d5, d6, d8, d9, d10, d11, d12}
L13: {d1, d3, d4, d5, d6, d8, d9, d10, d11, d12}
L14: {d1, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L15: {d1, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L16: {d1, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L17: {d1, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L18: {d1, d3, d8, d10, d11, d12}
L19: {d1, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L20: {d1, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L21: {d1, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L22: {d1, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L23: {d1, d2, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L24: {d1, d2, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L25: {d1, d2, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L26: {d1, d2, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L27: {d1, d2, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L28: {d2, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
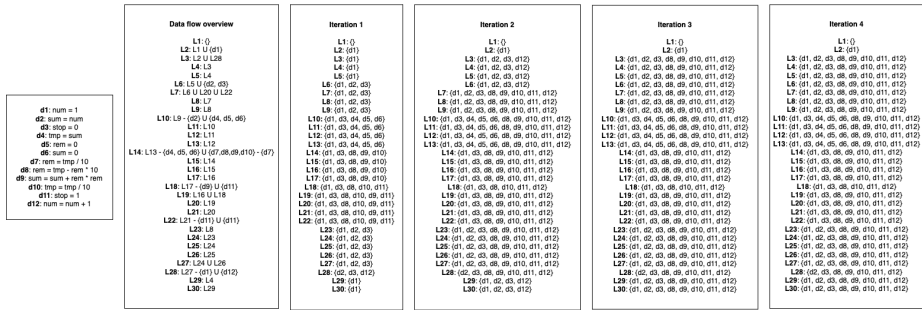L29: {d1, d2, d3, d8, d9, d10, d11, d12}
L30: {d1, d2, d3, d8, d9, d10, d11, d12}

Figure 2: Reaching definitions