Project 4

Group Members:

- Owen Rotenberg
- Tyler Tran
- Jason Luu
- Jesse Dawson

Which Member Did What Work:

- Owen Rotenberg:
  Visualized an idea about how our control flow would work and the best way of putting it into code. Got us started on how to approach and start the program off. As well as, providing code and insight on ways to use the test case information for making iterations of Reaching Definition Analysis.
- Tyler Tran:
  Established operations for how to pick up specific information for accessing leaders and making sure it can be used for other operations. As well as, implementing some logic to divide and construct them into basic blocks. Also helped in the development of Live Variable Analysis and getting it to run according to the idea.
- Jason Luu:
  Focused on implementing operations to construct the CFG itself and utilizing the information acquired by the accessing of leaders and basic blocks to get it to work properly. Came up with some system logic to help in the performance of Reaching Definition Analysis.
- Jesse Dawson:
  In charge of documentation and code reviews. Contributed features and specific logic to Live Variable Analysis, making sure it runs according to standards. And implementing methods to access lines based on numbers and sanitizing instructions. Additionally, worked on how to process test cases and getting it to display accurately.

Programming Language Used:

- Python (Optimization.py)

Design considerations for block formation and data-flow analysis:

Block Formation:

- **Leader Identification Method:**
  - Leaders can be identified by:
    - First Statement

        - Targets of jump statements
        - Following of jump statements
    - These conditions make sure that basic blocks are properly divided according to the leading statements they're under.
    - Traverses the test case files identifying leaders and forming a new block based on a leader that has been found, as well as gathering instructions into the correct blocks.

- **Constructing Basic Blocks:**
    - A new block is formed starting with a leader with statements placed in order until the next leader is confirmed.
    - Ensures that each block has one leader and one exit.
    - It makes the CFG more straightforward in that we know where everything goes.
    - Iterates through instructions making a block starting at each leader until the program ends.

- **Block Mapping**
    - Maintains a mapping of line numbers to block IDs.
    - Reason for use:
        - When CFG is being built, jumps need to map to the target.
        - Ensures proper predecessor and successor relationships.
    - Associates each statement to the line number it belongs to.

- **Handling Edge Cases**
    - Guarantees that the last block is added even if it doesn't end in a jump, as well as, managing empty blocks smoothly.
    - Reason for use:
        - If a leader is the last statement it can end in an empty block, which should be prevented.
        - Program may end without a jump, so the last block must be explicitly added. :
    - Checks for remaining instructions in a block after the loop and adds them as the final block.

Data Flow Analysis:

- **Iterative Approach:**
    - Use of fixed-point iteration to ensure convergence.
    - Convergence confirms that the final IN/OUT set represents all possible paths.

    - Reaching Definitions Analysis and Live Variable analysis use a while loop with a changed flag.

- **Reaching Definitions Analysis**
    - Uses definition handling, which treats each assignment as a definition.
    - Utilizes GEN and KILL sets, allowing definitions to be generated within a block and definitions being able to be overwritten.
    - IN = ∪OUT[predecessors] and OUT = GEN ∪ (IN - KILL)) used to propagate forward definitions.
    - Ensures definitions propagate along possible execution paths.

- **Live Variable Analysis**
    - Identify uses before definitions which include array indices
    - Inputs USE/DEF sets and propagates backward.
    - Works against the flow of execution.

External Resources Utilized:

GeeksforGeeks - Defaultdict in Python

Programiz - Python File Handling

No AI resources were utilized in the production of any work for this project.

Input:

Test Case 1:

test1.txt

```
(1) i = n
(2) if i < 2 then goto (32)
(3) jmax = 1
(4) j = 2
(5) if j > 1 then goto (16)
(6) T1 = j - 1
(7) T2 = T1 * 4
(8) T3 = x[T2]
(9) T4 = jmax - 1
(10) T5 = T4 * 4
(11) T6 = x[T5]
(12) if T3 <= T6 then goto (14)
(13) jmax = j
(14) j = j + 1
(15) goto (5)
(16) if jmax = i then goto (30)
(17) T7 = i - 1
(18) T8 = T7 * 4
(19) T9 = x[T8]
(20) temp = T9
(21) T10 = jmax - 1
(22) T11 = T10 * 4
(23) T12 = x[T11]
(24) T13 = i - 1
(25) T14 = T13 * 4
(26) x[T14] = T12
(27) T15 = jmax - 1
(28) T16 = T15 * 4
(29) x[T16] = temp
(30) i = i - 1
(31) goto (2)
(32) return
```

Test Case 2:

test2.txt

```
(1) i = 1
(2) j = 1
(3) T1 = 10 * i
(4) T2 = T1 + j
(5) T3 = 8 * T2
(6) T4 = T3 - 88
(7) a[T4] = 0.0
(8) j = j + 1
(9) if j <= 10 goto (3)
(10) i = i + 1
(11) if i <= 10 goto (2)
(12) i = 1
(13) T5 = i - 1
(14) T6 = 88 * T5
(15) a[T6] = 1.0
(16) i = i + 1
(17) if i <= 10 goto (13)
```

Test Case 3:

test3.txt

```
(1) i = m - 1
(2) j = n
(3) T1 = 4 * n
(4) v = a[T1]
(5) i = i + 1
(6) T2 = 4 * i
(7) T3 = a[T2]
(8) if T3 < v goto (5)
(9) j = j - 1
(10) T4 = 4 * j
(11) T5 = a[T4]
(12) if T5 > v goto (9)
(13) if i >= j goto (23)
(14) T6 = 4 * i
(15) x = a[T6]
(16) T7 = 4 * i
(17) T8 = 4 * j
(18) T9 = a[T8]
(19) a[T7] = T9
(20) T10 = 4 * j
(21) a[T10] = x
(22) goto (5)
(23) T11 = 4 * i
(24) x = a[T11]
(25) T12 = 4 * i
(26) T13 = 4 * n
(27) T14 = a[T13]
(28) a[T12] = T14
(29) T15 = 4 * n
(30) a[T15] = x
```

Output:

Test case 1:

```
================================================================================================================
================================================================================================================

=== Test Case: test1.txt ===

Control Flow Graph:
Basic Block 1: [(1, 'i = n')]
  Successors: ['Basic Block 2']
Basic Block 2: [(2, 'if i < 2 then goto (32)')]
  Successors: ['Basic Block 11', 'Basic Block 3']
Basic Block 3: [(3, 'jmax = i - 1'), (4, 'j = 2')]
  Successors: ['Basic Block 4']
Basic Block 4: [(5, 'if j > i then goto (16)')]
  Successors: ['Basic Block 8', 'Basic Block 5']
Basic Block 5: [(6, 'T1 = j - 1'), (7, 'T2 = T1 * 4'), (8, 'T3 = x[T2]'), (9, 'T4 = jmax - 1'), (10, 'T5 = T4 * 4'), (11, 'T6 = x[T5]'), (12, 'if T3 <= T6 then goto (14)')]
  Successors: ['Basic Block 7', 'Basic Block 6']
Basic Block 6: [(13, 'jmax = j')]
  Successors: ['Basic Block 7']
Basic Block 7: [(14, 'j = j + 1'), (15, 'goto (5)')]
  Successors: ['Basic Block 4']
Basic Block 8: [(16, 'if jmax = i then goto (30)')]
  Successors: ['Basic Block 10', 'Basic Block 9']
Basic Block 9: [(17, 'T7 = i - 1'), (18, 'T8 = T7 * 4'), (19, 'T9 = x[T8]'), (20, 'temp = T9'), (21, 'T10 = jmax - 1'), (22, 'T11 = T10 * 4'), (23, 'T12 = x[T11]'), (24, 'T13 = i - 1'), (25, 'T14 = T13 * 4'), (26, 'x[T14] = T12'), (27, '
T15 = jmax - 1'), (28, 'T16 = T15 * 4'), (29, 'x[T16] = temp')]
  Successors: ['Basic Block 10']
Basic Block 10: [(30, 'i = i - 1'), (31, 'goto (2)')]
  Successors: ['Basic Block 2']
Basic Block 11: [(32, 'return')]
  Successors: []

Definitions:
d1: i at line 1 (i = n)
d2: jmax at line 3 (jmax = i)
d3: j at line 4 (j = 2)
d4: T1 at line 6 (T1 = j - 1)
d5: T2 at line 7 (T2 = T1 * 4)
d6: T3 at line 8 (T3 = x[T2])
d7: T4 at line 9 (T4 = jmax - 1)
d8: T5 at line 10 (T5 = T4 * 4)
d9: T6 at line 11 (T6 = x[T5])
d10: jmax at line 13 (jmax = j)
d11: j at line 14 (j = j + 1)
d12: T7 at line 17 (T7 = i - 1)
d13: T8 at line 18 (T8 = T7 * 4)
d14: T9 at line 19 (T9 = x[T8])
d15: temp at line 20 (temp = T9)
d16: T10 at line 21 (T10 = jmax - 1)
d17: T11 at line 22 (T11 = T10 * 4)
d18: T12 at line 23 (T12 = x[T11])
d19: T13 at line 24 (T13 = i - 1)
d20: T14 at line 25 (T14 = T13 * 4)
d21: x[T14] at line 26 (x[T14] = T12)
d22: T15 at line 27 (T15 = jmax - 1)
d23: T16 at line 28 (T16 = T15 * 4)
d24: x[T16] at line 29 (x[T16] = temp)
d25: i at line 30 (i = i - 1)
```

```
Forward Flow Analysis:

Iteration 1:
Basic Block 1: IN = {}, OUT = {d1}
Basic Block 2: IN = {d1, d25}, OUT = {d1, d25}
Basic Block 3: IN = {d1, d25}, OUT = {d1, d2, d25, d3}
Basic Block 4: IN = {d1, d11, d2, d25, d3}, OUT = {d1, d11, d2, d25, d3}
Basic Block 5: IN = {d1, d11, d2, d25, d3}, OUT = {d1, d11, d2, d25, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}
Basic Block 6: IN = {d1, d11, d2, d25, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d1, d10, d11, d25, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}
Basic Block 7: IN = {d1, d10, d11, d2, d25, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d1, d10, d11, d2, d25, d4, d5, d6, d7, d8, d9}
Basic Block 8: IN = {d1, d11, d2, d25, d3}, OUT = {d1, d11, d2, d25, d3}
Basic Block 9: IN = {d1, d11, d2, d25, d3}, OUT = {d1, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3}
Basic Block 10: IN = {d1, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3}, OUT = {d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3}
Basic Block 11: IN = {d1, d25}, OUT = {d1, d25}

Iteration 2:
Basic Block 1: IN = {}, OUT = {d1}
Basic Block 2: IN = {d1, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3}, OUT = {d1, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3}
Basic Block 3: IN = {d1, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3}, OUT = {d1, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3}
Basic Block 4: IN = {d1, d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d1, d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3,
d4, d5, d6, d7, d8, d9}
Basic Block 5: IN = {d1, d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d1, d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3,
d4, d5, d6, d7, d8, d9}
Basic Block 6: IN = {d1, d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d1, d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3, d4,
d5, d6, d7, d8, d9}
Basic Block 7: IN = {d1, d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d1, d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3, d4,
d5, d6, d7, d8, d9}
Basic Block 8: IN = {d1, d11, d2, d25, d3}, OUT = {d1, d11, d2, d25, d3}
Basic Block 9: IN = {d1, d11, d2, d25, d3}, OUT = {d1, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3}
Basic Block 10: IN = {d1, d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3, d4,
 d5, d6, d7, d8, d9}
Basic Block 11: IN = {d1, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3}, OUT = {d1, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3}

Iteration 3:
Basic Block 1: IN = {}, OUT = {d1}
Basic Block 2: IN = {d1, d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d1, d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3,
d4, d5, d6, d7, d8, d9}
Basic Block 3: IN = {d1, d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d1, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3, d4, d5, d6
, d7, d8, d9}
Basic Block 4: IN = {d1, d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d1, d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3,
d4, d5, d6, d7, d8, d9}
Basic Block 5: IN = {d1, d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d1, d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3,
d4, d5, d6, d7, d8, d9}
Basic Block 6: IN = {d1, d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d1, d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3, d4,
d5, d6, d7, d8, d9}
Basic Block 7: IN = {d1, d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d1, d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3,
d4, d5, d6, d7, d8, d9}
Basic Block 8: IN = {d1, d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d1, d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3,
d4, d5, d6, d7, d8, d9}
Basic Block 9: IN = {d1, d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d1, d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3,
d4, d5, d6, d7, d8, d9}
Basic Block 10: IN = {d1, d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3, d4,
 d5, d6, d7, d8, d9}
Basic Block 11: IN = {d1, d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d1, d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3,
 d4, d5, d6, d7, d8, d9}
```

```
Iteration 4:
Basic Block 1: IN = {}, OUT = {d1}
Basic Block 2: IN = {d1, d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d1, d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3,
d4, d5, d6, d7, d8, d9}
Basic Block 3: IN = {d1, d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d1, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3, d4, d5, d6
, d7, d8, d9}
Basic Block 4: IN = {d1, d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d1, d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3,
d4, d5, d6, d7, d8, d9}
Basic Block 5: IN = {d1, d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d1, d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3,
d4, d5, d6, d7, d8, d9}
Basic Block 6: IN = {d1, d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d1, d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3, d4,
d5, d6, d7, d8, d9}
Basic Block 7: IN = {d1, d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d1, d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3,
d4, d5, d6, d7, d8, d9}
Basic Block 8: IN = {d1, d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d1, d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3,
d4, d5, d6, d7, d8, d9}
Basic Block 9: IN = {d1, d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d1, d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3,
d4, d5, d6, d7, d8, d9}
Basic Block 10: IN = {d1, d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3, d4,
 d5, d6, d7, d8, d9}
Basic Block 11: IN = {d1, d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d1, d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d2, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d3,
 d4, d5, d6, d7, d8, d9}
Convergence reached after 4 iterations.
```

```
Backward Flow Analysis:

Iteration 1:
Basic Block 1: IN = {n}, OUT = {i}
Basic Block 2: IN = {i}, OUT = {}
Basic Block 3: IN = {}, OUT = {j}
Basic Block 4: IN = {T1, T2, T3, T4, T5, T6, goto, i, j, jmax, then}, OUT = {T1, T2, T3, T4, T5, T6, goto, i, j, jmax, then}
Basic Block 5: IN = {T1, T2, T3, T4, T5, T6, goto, j, jmax, then}, OUT = {j}
Basic Block 6: IN = {j}, OUT = {}
Basic Block 7: IN = {T1, T2, T3, T4, T5, T6, goto, i, jmax, then}, OUT = {T1, T2, T3, T4, T5, T6, goto, i, j, jmax, then}
Basic Block 8: IN = {T10, T11, T12, T13, T15, T7, T8, T9, goto, i, jmax, temp, then}, OUT = {T10, T11, T12, T13, T15, T7, T8, T9, i, jmax, temp}
Basic Block 9: IN = {T10, T11, T12, T13, T15, T7, T8, T9, i, jmax, temp}, OUT = {}
Basic Block 10: IN = {}, OUT = {i}
Basic Block 11: IN = {}, OUT = {}

Iteration 2:
Basic Block 1: IN = {n}, OUT = {i}
Basic Block 2: IN = {i}, OUT = {}
Basic Block 3: IN = {T1, T2, T3, T4, T5, T6, goto, i, then}, OUT = {T1, T2, T3, T4, T5, T6, goto, i, j, jmax, then}
Basic Block 4: IN = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, j, jmax, temp, then}, OUT = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, j, jmax, temp, then}
Basic Block 5: IN = {T1, T2, T3, T4, T5, T6, goto, i, j, jmax, then}, OUT = {T1, T2, T3, T4, T5, T6, goto, i, j, jmax, then}
Basic Block 6: IN = {T1, T2, T3, T4, T5, T6, goto, i, j, then}, OUT = {T1, T2, T3, T4, T5, T6, goto, i, jmax, then}
Basic Block 7: IN = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, jmax, temp, then}, OUT = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, j, jmax, temp, then}
Basic Block 8: IN = {T10, T11, T12, T13, T15, T7, T8, T9, goto, i, jmax, temp, then}, OUT = {T10, T11, T12, T13, T15, T7, T8, T9, i, jmax, temp}
Basic Block 9: IN = {T10, T11, T12, T13, T15, T7, T8, T9, i, jmax, temp}, OUT = {}
Basic Block 10: IN = {}, OUT = {i}
Basic Block 11: IN = {}, OUT = {}

Iteration 3:
Basic Block 1: IN = {n}, OUT = {i}
Basic Block 2: IN = {T1, T2, T3, T4, T5, T6, goto, i, then}, OUT = {T1, T2, T3, T4, T5, T6, goto, i, then}
Basic Block 3: IN = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, temp, then}, OUT = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, j, jmax, temp, then}
Basic Block 4: IN = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, j, jmax, temp, then}, OUT = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, j, jmax, temp, then}
Basic Block 5: IN = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, j, jmax, temp, then}, OUT = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, j, jmax, temp, then}
Basic Block 6: IN = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, j, temp, then}, OUT = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, jmax, temp, then}
Basic Block 7: IN = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, jmax, temp, then}, OUT = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, j, jmax, temp, then}
Basic Block 8: IN = {T10, T11, T12, T13, T15, T7, T8, T9, goto, i, jmax, temp, then}, OUT = {T10, T11, T12, T13, T15, T7, T8, T9, i, jmax, temp}
Basic Block 9: IN = {T10, T11, T12, T13, T15, T7, T8, T9, i, jmax, temp}, OUT = {}
Basic Block 10: IN = {T1, T2, T3, T4, T5, T6, goto, then}, OUT = {T1, T2, T3, T4, T5, T6, goto, i, then}
Basic Block 11: IN = {}, OUT = {}

Iteration 4:
Basic Block 1: IN = {T1, T2, T3, T4, T5, T6, goto, n, then}, OUT = {T1, T2, T3, T4, T5, T6, goto, i, then}
Basic Block 2: IN = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, temp, then}, OUT = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, temp, then}
Basic Block 3: IN = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, temp, then}, OUT = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, j, jmax, temp, then}
Basic Block 4: IN = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, j, jmax, temp, then}, OUT = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, j, jmax, temp, then}
Basic Block 5: IN = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, j, jmax, temp, then}, OUT = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, j, jmax, temp, then}
Basic Block 6: IN = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, j, temp, then}, OUT = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, jmax, temp, then}
Basic Block 7: IN = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, jmax, temp, then}, OUT = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, j, jmax, temp, then}
Basic Block 8: IN = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, jmax, temp, then}, OUT = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, jmax, temp, then}
Basic Block 9: IN = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, jmax, temp, then}, OUT = {T1, T2, T3, T4, T5, T6, goto, then}
Basic Block 10: IN = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, temp, then}, OUT = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, temp, then}
Basic Block 11: IN = {}, OUT = {}
```

```
Iteration 5:
Basic Block 1: IN = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, n, temp, then}, OUT = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, temp, then}
Basic Block 2: IN = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, temp, then}, OUT = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, temp, then}
Basic Block 3: IN = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, temp, then}, OUT = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, j, jmax, temp, then}
Basic Block 4: IN = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, j, jmax, temp, then}, OUT = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, j, jmax, temp, then}
Basic Block 5: IN = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, j, jmax, temp, then}, OUT = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, j, jmax, temp, then}
Basic Block 6: IN = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, j, temp, then}, OUT = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, jmax, temp, then}
Basic Block 7: IN = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, jmax, temp, then}, OUT = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, j, jmax, temp, then}
Basic Block 8: IN = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, jmax, temp, then}, OUT = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, jmax, temp, then}
Basic Block 9: IN = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, jmax, temp, then}, OUT = {T1, T2, T3, T4, T5, T6, goto, then}
Basic Block 10: IN = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, temp, then}, OUT = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, temp, then}
Basic Block 11: IN = {}, OUT = {}

Iteration 6:
Basic Block 1: IN = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, n, temp, then}, OUT = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, temp, then}
Basic Block 2: IN = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, temp, then}, OUT = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, temp, then}
Basic Block 3: IN = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, temp, then}, OUT = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, j, jmax, temp, then}
Basic Block 4: IN = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, j, jmax, temp, then}, OUT = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, j, jmax, temp, then}
Basic Block 5: IN = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, j, jmax, temp, then}, OUT = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, j, jmax, temp, then}
Basic Block 6: IN = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, j, temp, then}, OUT = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, jmax, temp, then}
Basic Block 7: IN = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, jmax, temp, then}, OUT = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, j, jmax, temp, then}
Basic Block 8: IN = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, jmax, temp, then}, OUT = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, jmax, temp, then}
Basic Block 9: IN = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, jmax, temp, then}, OUT = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, temp, then}
Basic Block 10: IN = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, temp, then}, OUT = {T1, T10, T11, T12, T13, T15, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, goto, i, temp, then}
Basic Block 11: IN = {}, OUT = {}
Convergence reached after 6 iterations.
```

```
Control Flow Graph:
B1: [(1, 'i = n')]
  Successors: ['B2']
B2: [(2, 'if i < 2 then goto (32)')]
  Successors: ['B11', 'B3']
B3: [(3, 'jmax = i'), (4, 'j = 2')]
  Successors: ['B4']
B4: [(5, 'if j > 1 then goto (16)')]
  Successors: ['B8', 'B5']
B5: [(6, 'T1 = j - 1'), (7, 'T2 = T1 * 4'), (8, 'T3 = x[T2]'), (9, 'T4 = jmax - 1'), (10, 'T5 = T4 * 4'), (11, 'T6 = x[T5]'), (12, 'if T3 <= T6 then goto (14)')]
  Successors: ['B7', 'B6']
B6: [(13, 'jmax = j')]
  Successors: ['B7']
B7: [(14, 'j = j + 1'), (15, 'goto (5)')]
  Successors: ['B4']
B8: [(16, 'if jmax = i then goto (30)')]
  Successors: ['B10', 'B9']
B9: [(17, 'T7 = i - 1'), (18, 'T8 = T7 * 4'), (19, 'T9 = x[T8]'), (20, 'temp = T9'), (21, 'T10 = jmax - 1'), (22, 'T11 = T10 * 4'), (23, 'T12 = x[T11]'), (24, 'T13 = i - 1'), (25, 'T14 = T13 * 4'), (26, 'x[T14] = T12'), (27, 'T15 = jmax - 1'), (28, 'T16 = T15 * 4'), (29, 'x[T16] = temp')]
  Successors: ['B10']
B10: [(30, 'i = i - 1'), (31, 'goto (2)')]
  Successors: ['B2']
B11: [(32, 'return')]
  Successors: []
```

Test Case 2:

```
================================================================================================================
================================================================================================================

=== Test Case: test2.txt ===

Control Flow Graph:
Basic Block 1: [(1, 'i = 1')]
  Successors: ['Basic Block 2']
Basic Block 2: [(2, 'j = 1')]
  Successors: ['Basic Block 3']
Basic Block 3: [(3, 'T1 = 10 * i'), (4, 'T2 = T1 + j'), (5, 'T3 = 8 * T2'), (6, 'T4 = T3 - 88'), (7, 'a[T4] = 0.0'), (8, 'j = j + 1'), (9, 'if j <= 10 goto (3)')]
  Successors: ['Basic Block 3', 'Basic Block 4']
Basic Block 4: [(10, 'i = i + 1'), (11, 'if i <= 10 goto (2)')]
  Successors: ['Basic Block 2', 'Basic Block 5']
Basic Block 5: [(12, 'i = 1')]
  Successors: ['Basic Block 6']
Basic Block 6: [(13, 'T5 = i - 1'), (14, 'T6 = 88 * T5'), (15, 'a[T6] = 1.0'), (16, 'i = i + 1'), (17, 'if i <= 10 goto (13)')]
  Successors: ['Basic Block 6']

Definitions:
d1: i at line 1 (i = 1)
d2: j at line 2 (j = 1)
d3: T1 at line 3 (T1 = 10 * i)
d4: T2 at line 4 (T2 = T1 + j)
d5: T3 at line 5 (T3 = 8 * T2)
d6: T4 at line 6 (T4 = T3 - 88)
d7: x[T4] at line 7 (a[T4] = 0.0)
d8: j at line 8 (j = j + 1)
d9: i at line 10 (i = i + 1)
d10: i at line 12 (i = 1)
d11: T5 at line 13 (T5 = i - 1)
d12: T6 at line 14 (T6 = 88 * T5)
d13: x[T6] at line 15 (a[T6] = 1.0)
d14: i at line 16 (i = i + 1)

Forward Flow Analysis:

Iteration 1:
Basic Block 1: IN = {}, OUT = {d1}
Basic Block 2: IN = {d1, d9}, OUT = {d1, d2, d9}
Basic Block 3: IN = {d1, d2, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d1, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}
Basic Block 4: IN = {d1, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}
Basic Block 5: IN = {d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d10, d3, d4, d5, d6, d7, d8}
Basic Block 6: IN = {d10, d11, d12, d13, d14, d3, d4, d5, d6, d7, d8}, OUT = {d11, d12, d13, d14, d3, d4, d5, d6, d7, d8}

Iteration 2:
Basic Block 1: IN = {}, OUT = {d1}
Basic Block 2: IN = {d1, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d1, d2, d3, d4, d5, d6, d7, d9}
Basic Block 3: IN = {d1, d2, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d1, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}
Basic Block 4: IN = {d1, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}
Basic Block 5: IN = {d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d10, d3, d4, d5, d6, d7, d8}
Basic Block 6: IN = {d10, d11, d12, d13, d14, d3, d4, d5, d6, d7, d8}, OUT = {d11, d12, d13, d14, d3, d4, d5, d6, d7, d8}

Iteration 3:
Basic Block 1: IN = {}, OUT = {d1}
Basic Block 2: IN = {d1, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d1, d2, d3, d4, d5, d6, d7, d9}
Basic Block 3: IN = {d1, d2, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d1, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}
Basic Block 4: IN = {d1, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}
Basic Block 5: IN = {d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d10, d3, d4, d5, d6, d7, d8}
Basic Block 6: IN = {d10, d11, d12, d13, d14, d3, d4, d5, d6, d7, d8}, OUT = {d11, d12, d13, d14, d3, d4, d5, d6, d7, d8}
Convergence reached after 3 iterations.
```

```
Backward Flow Analysis:

Iteration 1:
Basic Block 1: IN = {}, OUT = {}
Basic Block 2: IN = {(3), T1, T2, T3, goto, i}, OUT = {(3), T1, T2, T3, goto, i, j}
Basic Block 3: IN = {(2), (3), T1, T2, T3, goto, i, j}, OUT = {(2), (3), T1, T2, T3, goto, i, j}
Basic Block 4: IN = {(2), (3), T1, T2, T3, goto, i}, OUT = {(3), T1, T2, T3, goto, i}
Basic Block 5: IN = {(13), T5, goto}, OUT = {(13), T5, goto, i}
Basic Block 6: IN = {(13), T5, goto, i}, OUT = {(13), T5, goto, i}

Iteration 2:
Basic Block 1: IN = {(3), T1, T2, T3, goto}, OUT = {(3), T1, T2, T3, goto, i}
Basic Block 2: IN = {(2), (3), T1, T2, T3, goto, i}, OUT = {(2), (3), T1, T2, T3, goto, i, j}
Basic Block 3: IN = {(2), (3), T1, T2, T3, goto, i, j}, OUT = {(2), (3), T1, T2, T3, goto, i, j}
Basic Block 4: IN = {(13), (2), (3), T1, T2, T3, T5, goto, i}, OUT = {(13), (2), (3), T1, T2, T3, T5, goto, i}
Basic Block 5: IN = {(13), T5, goto}, OUT = {(13), T5, goto, i}
Basic Block 6: IN = {(13), T5, goto, i}, OUT = {(13), T5, goto, i}

Iteration 3:
Basic Block 1: IN = {(2), (3), T1, T2, T3, goto}, OUT = {(2), (3), T1, T2, T3, goto, i}
Basic Block 2: IN = {(2), (3), T1, T2, T3, goto, i}, OUT = {(2), (3), T1, T2, T3, goto, i, j}
Basic Block 3: IN = {(13), (2), (3), T1, T2, T3, T5, goto, i, j}, OUT = {(13), (2), (3), T1, T2, T3, T5, goto, i, j}
Basic Block 4: IN = {(13), (2), (3), T1, T2, T3, T5, goto, i}, OUT = {(13), (2), (3), T1, T2, T3, T5, goto, i}
Basic Block 5: IN = {(13), T5, goto}, OUT = {(13), T5, goto, i}
Basic Block 6: IN = {(13), T5, goto, i}, OUT = {(13), T5, goto, i}

Iteration 4:
Basic Block 1: IN = {(2), (3), T1, T2, T3, goto}, OUT = {(2), (3), T1, T2, T3, goto, i}
Basic Block 2: IN = {(13), (2), (3), T1, T2, T3, T5, goto, i}, OUT = {(13), (2), (3), T1, T2, T3, T5, goto, i, j}
Basic Block 3: IN = {(13), (2), (3), T1, T2, T3, T5, goto, i, j}, OUT = {(13), (2), (3), T1, T2, T3, T5, goto, i, j}
Basic Block 4: IN = {(13), (2), (3), T1, T2, T3, T5, goto, i}, OUT = {(13), (2), (3), T1, T2, T3, T5, goto, i}
Basic Block 5: IN = {(13), T5, goto}, OUT = {(13), T5, goto, i}
Basic Block 6: IN = {(13), T5, goto, i}, OUT = {(13), T5, goto, i}

Iteration 5:
Basic Block 1: IN = {(13), (2), (3), T1, T2, T3, T5, goto}, OUT = {(13), (2), (3), T1, T2, T3, T5, goto, i}
Basic Block 2: IN = {(13), (2), (3), T1, T2, T3, T5, goto, i}, OUT = {(13), (2), (3), T1, T2, T3, T5, goto, i, j}
Basic Block 3: IN = {(13), (2), (3), T1, T2, T3, T5, goto, i, j}, OUT = {(13), (2), (3), T1, T2, T3, T5, goto, i, j}
Basic Block 4: IN = {(13), (2), (3), T1, T2, T3, T5, goto, i}, OUT = {(13), (2), (3), T1, T2, T3, T5, goto, i}
Basic Block 5: IN = {(13), T5, goto}, OUT = {(13), T5, goto, i}
Basic Block 6: IN = {(13), T5, goto, i}, OUT = {(13), T5, goto, i}

Iteration 6:
Basic Block 1: IN = {(13), (2), (3), T1, T2, T3, T5, goto}, OUT = {(13), (2), (3), T1, T2, T3, T5, goto, i}
Basic Block 2: IN = {(13), (2), (3), T1, T2, T3, T5, goto, i}, OUT = {(13), (2), (3), T1, T2, T3, T5, goto, i, j}
Basic Block 3: IN = {(13), (2), (3), T1, T2, T3, T5, goto, i, j}, OUT = {(13), (2), (3), T1, T2, T3, T5, goto, i, j}
Basic Block 4: IN = {(13), (2), (3), T1, T2, T3, T5, goto, i}, OUT = {(13), (2), (3), T1, T2, T3, T5, goto, i}
Basic Block 5: IN = {(13), T5, goto}, OUT = {(13), T5, goto, i}
Basic Block 6: IN = {(13), T5, goto, i}, OUT = {(13), T5, goto, i}
Convergence reached after 6 iterations.
```

Test Case 3:

```
=== Test Case: test3.txt ===

Control Flow Graph:
Basic Block 1: [(1, 'i = m - 1'), (2, 'j = n'), (3, 'T1 = 4 * n'), (4, 'v = a[T1]')]
  Successors: ['Basic Block 2']
Basic Block 2: [(5, 'i = i + 1'), (6, 'T2 = 4 * i'), (7, 'T3 = a[T2]'), (8, 'if T3 < v goto (5)')]
  Successors: ['Basic Block 2', 'Basic Block 3']
Basic Block 3: [(9, 'j = j - 1'), (10, 'T4 = 4 * j'), (11, 'T5 = a[T4]'), (12, 'if T5 > v goto (9)')]
  Successors: ['Basic Block 3', 'Basic Block 4']
Basic Block 4: [(13, 'if i >= j goto (23)')]
  Successors: ['Basic Block 6', 'Basic Block 5']
Basic Block 5: [(14, 'T6 = 4 * i'), (15, 'x = a[T6]'), (16, 'T7 = 4 * i'), (17, 'T8 = 4 * j'), (18, 'T9 = a[T8]'), (19, 'a[T7] = T9'), (20, 'T10 = 4 * j'), (21, 'a[T10] = x'), (22, 'goto (5)')]
  Successors: ['Basic Block 2']
Basic Block 6: [(23, 'T11 = 4 * i'), (24, 'x = a[T11]'), (25, 'T12 = 4 * i'), (26, 'T13 = 4 * n'), (27, 'T14 = a[T13]'), (28, 'a[T12] = T14'), (29, 'T15 = 4 * n'), (30, 'a[T15] = x')]
  Successors: []

Definitions:
d1: i at line 1 (i = m - 1)
d2: j at line 2 (j = n)
d3: T1 at line 3 (T1 = 4 * n)
d4: v at line 4 (v = a[T1])
d5: i at line 5 (i = i + 1)
d6: T2 at line 6 (T2 = 4 * i)
d7: T3 at line 7 (T3 = a[T2])
d8: j at line 9 (j = j - 1)
d9: T4 at line 10 (T4 = 4 * j)
d10: T5 at line 11 (T5 = a[T4])
d11: T6 at line 14 (T6 = 4 * i)
d12: x at line 15 (x = a[T6])
d13: T7 at line 16 (T7 = 4 * i)
d14: T8 at line 17 (T8 = 4 * j)
d15: T9 at line 18 (T9 = a[T8])
d16: x[T7] at line 19 (a[T7] = T9)
d17: T10 at line 20 (T10 = 4 * j)
d18: x[T10] at line 21 (a[T10] = x)
d19: T11 at line 23 (T11 = 4 * i)
d20: x at line 24 (x = a[T11])
d21: T12 at line 25 (T12 = 4 * i)
d22: T13 at line 26 (T13 = 4 * n)
d23: T14 at line 27 (T14 = a[T13])
d24: x[T12] at line 28 (a[T12] = T14)
d25: T15 at line 29 (T15 = 4 * n)
d26: x[T15] at line 30 (a[T15] = x)
```

```
Forward Flow Analysis:

Iteration 1:
Basic Block 1: IN = {}, OUT = {d1, d2, d3, d4}
Basic Block 2: IN = {d1, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d2, d3, d4, d5, d6, d7}, OUT = {d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d2, d3, d4, d5, d6, d7}
Basic Block 3: IN = {d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d2, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}
Basic Block 4: IN = {d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}
Basic Block 5: IN = {d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}
Basic Block 6: IN = {d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d10, d11, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d26, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}

Iteration 2:
Basic Block 1: IN = {}, OUT = {d1, d2, d3, d4}
Basic Block 2: IN = {d1, d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d2, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d2, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}
Basic Block 3: IN = {d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d2, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}
Basic Block 4: IN = {d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}
Basic Block 5: IN = {d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}
Basic Block 6: IN = {d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d10, d11, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d26, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}

Iteration 3:
Basic Block 1: IN = {}, OUT = {d1, d2, d3, d4}
Basic Block 2: IN = {d1, d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d2, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d2, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}
Basic Block 3: IN = {d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d2, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}
Basic Block 4: IN = {d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}
Basic Block 5: IN = {d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}
Basic Block 6: IN = {d10, d11, d12, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}, OUT = {d10, d11, d13, d14, d15, d16, d17, d18, d19, d20, d21, d22, d23, d24, d25, d26, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9}
Convergence reached after 3 iterations.
```

```
Backward Flow Analysis:

Iteration 1:
Basic Block 1: IN = {(5), T1, T2, T3, goto, m, n}, OUT = {(5), T2, T3, goto, i, v}
Basic Block 2: IN = {(5), (9), T2, T3, T4, T5, goto, i, j, v}, OUT = {(5), (9), T2, T3, T4, T5, goto, i, j, v}
Basic Block 3: IN = {(23), (9), T4, T5, goto, i, j, v}, OUT = {(23), (9), T4, T5, goto, i, j, v}
Basic Block 4: IN = {(23), T11, T13, T14, T6, T8, T9, goto, i, j, n, x}, OUT = {T11, T13, T14, T6, T8, T9, i, j, n, x}
Basic Block 5: IN = {(5), (9), T2, T3, T4, T5, T6, T8, T9, goto, i, j, v, x}, OUT = {(5), (9), T2, T3, T4, T5, goto, i, j, v}
Basic Block 6: IN = {T11, T13, T14, i, n, x}, OUT = {}

Iteration 2:
Basic Block 1: IN = {(5), (9), T1, T2, T3, T4, T5, goto, m, n}, OUT = {(5), (9), T2, T3, T4, T5, goto, i, j, v}
Basic Block 2: IN = {(23), (5), (9), T2, T3, T4, T5, goto, i, j, v}, OUT = {(23), (5), (9), T2, T3, T4, T5, goto, i, j, v}
Basic Block 3: IN = {(23), (9), T11, T13, T14, T4, T5, T6, T8, T9, goto, i, j, n, v, x}, OUT = {(23), (9), T11, T13, T14, T4, T5, T6, T8, T9, goto, i, j, n, v, x}
Basic Block 4: IN = {(23), (5), (9), T11, T13, T14, T2, T3, T4, T5, T6, T8, T9, goto, i, j, n, v, x}, OUT = {(5), (9), T11, T13, T14, T2, T3, T4, T5, T6, T8, T9, goto, i, j, n, v, x}
Basic Block 5: IN = {(23), (5), (9), T2, T3, T4, T5, T6, T8, T9, goto, i, j, v, x}, OUT = {(23), (5), (9), T2, T3, T4, T5, goto, i, j, v}
Basic Block 6: IN = {T11, T13, T14, i, n, x}, OUT = {}

Iteration 3:
Basic Block 1: IN = {(23), (5), (9), T1, T2, T3, T4, T5, goto, m, n}, OUT = {(23), (5), (9), T2, T3, T4, T5, goto, i, j, v}
Basic Block 2: IN = {(23), (5), (9), T11, T13, T14, T2, T3, T4, T5, T6, T8, T9, goto, i, j, n, v, x}, OUT = {(23), (5), (9), T11, T13, T14, T2, T3, T4, T5, T6, T8, T9, goto, i, j, n, v, x}
Basic Block 3: IN = {(23), (5), (9), T11, T13, T14, T2, T3, T4, T5, T6, T8, T9, goto, i, j, n, v, x}, OUT = {(23), (5), (9), T11, T13, T14, T2, T3, T4, T5, T6, T8, T9, goto, i, j, n, v, x}
Basic Block 4: IN = {(23), (5), (9), T11, T13, T14, T2, T3, T4, T5, T6, T8, T9, goto, i, j, n, v, x}, OUT = {(23), (5), (9), T11, T13, T14, T2, T3, T4, T5, T6, T8, T9, goto, i, j, n, v, x}
Basic Block 5: IN = {(23), (5), (9), T11, T13, T14, T2, T3, T4, T5, T6, T8, T9, goto, i, j, n, v, x}, OUT = {(23), (5), (9), T11, T13, T14, T2, T3, T4, T5, T6, T8, T9, goto, i, j, n, v, x}
Basic Block 6: IN = {T11, T13, T14, i, n, x}, OUT = {}

Iteration 4:
Basic Block 1: IN = {(23), (5), (9), T1, T11, T13, T14, T2, T3, T4, T5, T6, T8, T9, goto, m, n, x}, OUT = {(23), (5), (9), T11, T13, T14, T2, T3, T4, T5, T6, T8, T9, goto, i, j, n, v, x}
Basic Block 2: IN = {(23), (5), (9), T11, T13, T14, T2, T3, T4, T5, T6, T8, T9, goto, i, j, n, v, x}, OUT = {(23), (5), (9), T11, T13, T14, T2, T3, T4, T5, T6, T8, T9, goto, i, j, n, v, x}
Basic Block 3: IN = {(23), (5), (9), T11, T13, T14, T2, T3, T4, T5, T6, T8, T9, goto, i, j, n, v, x}, OUT = {(23), (5), (9), T11, T13, T14, T2, T3, T4, T5, T6, T8, T9, goto, i, j, n, v, x}
Basic Block 4: IN = {(23), (5), (9), T11, T13, T14, T2, T3, T4, T5, T6, T8, T9, goto, i, j, n, v, x}, OUT = {(23), (5), (9), T11, T13, T14, T2, T3, T4, T5, T6, T8, T9, goto, i, j, n, v, x}
Basic Block 5: IN = {(23), (5), (9), T11, T13, T14, T2, T3, T4, T5, T6, T8, T9, goto, i, j, n, v, x}, OUT = {(23), (5), (9), T11, T13, T14, T2, T3, T4, T5, T6, T8, T9, goto, i, j, n, v, x}
Basic Block 6: IN = {T11, T13, T14, i, n, x}, OUT = {}

Iteration 5:
Basic Block 1: IN = {(23), (5), (9), T1, T11, T13, T14, T2, T3, T4, T5, T6, T8, T9, goto, m, n, x}, OUT = {(23), (5), (9), T11, T13, T14, T2, T3, T4, T5, T6, T8, T9, goto, i, j, n, v, x}
Basic Block 2: IN = {(23), (5), (9), T11, T13, T14, T2, T3, T4, T5, T6, T8, T9, goto, i, j, n, v, x}, OUT = {(23), (5), (9), T11, T13, T14, T2, T3, T4, T5, T6, T8, T9, goto, i, j, n, v, x}
Basic Block 3: IN = {(23), (5), (9), T11, T13, T14, T2, T3, T4, T5, T6, T8, T9, goto, i, j, n, v, x}, OUT = {(23), (5), (9), T11, T13, T14, T2, T3, T4, T5, T6, T8, T9, goto, i, j, n, v, x}
Basic Block 4: IN = {(23), (5), (9), T11, T13, T14, T2, T3, T4, T5, T6, T8, T9, goto, i, j, n, v, x}, OUT = {(23), (5), (9), T11, T13, T14, T2, T3, T4, T5, T6, T8, T9, goto, i, j, n, v, x}
Basic Block 5: IN = {(23), (5), (9), T11, T13, T14, T2, T3, T4, T5, T6, T8, T9, goto, i, j, n, v, x}, OUT = {(23), (5), (9), T11, T13, T14, T2, T3, T4, T5, T6, T8, T9, goto, i, j, n, v, x}
Basic Block 6: IN = {T11, T13, T14, i, n, x}, OUT = {}
Convergence reached after 5 iterations.
```