Bài 12
Tối ưu mã

- Yêu cầu
  - Chương trình sau khi tối ưu phải tương đương
  - Tốc độ thực hiện trung bình tăng
  - Hiệu quả đạt được tương xứng với công sức bỏ ra
- Có thể tối ưu mã vào lúc nào
  - Mã nguồn: do người lập trình (giải thuật)
  - Mã trung gian: Dễ thực hiện nhất
  - Mã đích: Khó phát hiện các cấu trúc có thể tối ưu hơn mã trung gian, phụ thuộc phiên bản Assembly.

Các mức độ tối ưu mã trung gian

- Tối ưu cục bộ (peephole optimization):
  - Một cửa sổ rất nhỏ nhìn vào chương trình và trượt theo code của chương trình
  - Nếu tìm thấy một cấu trúc có thể thay thế thì thay bằng đoạn mã hiệu quả hơn.

- Tối ưu trong khối cơ sở: Chương trình được chia thành những đoạn code mà các lệnh được thực hiện theo thứ tự tuyến tính. Được coi là mức cao hơn tối ưu cục bộ

- Tối ưu trên đồ thị: toàn bộ chương trình được biểu diễn thành một đồ thị định hướng mà các đỉnh chính là các khối cơ bản. Có thể coi đây là mức tổng quát nhất trong quá trình tối ưu mã.

Tối ưu cục bộ

- Kỹ thuật để cải tiến mã trung gian một cách cục bộ.
- Một phương pháp để cải tiến chương trình trung gian (TG) bằng cách xem xét một dãy lệnh trong mã TG và thay thế chúng bằng những đoạn mã ngắn hơn và hiệu quả hơn.
- Việc áp dụng chiến lược tối ưu này có thể sinh ra mã phù hợp với chiến lược tối ưu khác, do vậy quá trình tối ưu có thể lặp lại một số lần.
- Phương pháp đơn giản nhưng khá hiệu quả
- Kỹ thuật này cũng có thể áp dụng cho mã đích

Các xu hướng tối ưu cục bộ

- Loại bỏ lệnh dư thừa
- Thông tin dòng điều khiển
- Giản lược biểu thức đại số
- Sử dụng các đặc trưng ngôn ngữ

Tối ưu cục bộ

- **Tính toán trong thời gian dịch: Khi gặp một biến có giá trị hằng và có thể tính toán để thay thế việc sử dụng biến bằng hằng**

  Constant folding

  `x := 32 + 32` trở thành `x := 64`

  Constant propagation

  ```
  x := 32
  y := x + x        trở thành   x := 64
  ```

- **Mã không đến được**

  ```
  goto L2
  x := x + 1
  ```
  ← Không cần

- **Tối ưu dòng điều khiển**

  `goto L1` trở thành `goto L2`

  ...

  `L1: goto L2` ← Không cần nếu không còn lệnh sau L2

Tối ưu cục bộ

- **Giản lược biểu thức đại số** : Loại bỏ các lệnh không có tác dụng

```
x := x + 0
x := x * 1      ← Không cần
x := x - 0
x := x / 1
```

- **Mã chết**

```
x := 32  ← x không được dùng trong những lệnh tiếp theo
```

```
y := x + y      → y := y + 32
```

- **Giảm chi phí tính toán : Thay phép toán có chi phí lớn bằng phép toán có chi phí thấp hơn (nếu có)**

```
x := x * 2      → x := x + x
```

→ x := x << 1

Khối cơ bản (basic block)

Chuỗi các lệnh kế tiếp nhau trong đó dòng điều khiển đi vào lệnh đầu tiên của khối và ra ở lệnh cuối cùng của khối mà không bị dừng hoặc rẽ nhánh.

Ví dụ

```
t1 := a * a
t2 := a * b
t3 := 2 * t2
t4 := t1 + t2
t5 := b * b
t6 := t4 + t5
```

Giải thuật phân chia các khối cơ bản

Input: Dãy lệnh ba địa chỉ.

Output: Danh sách các khối cơ bản với mã lệnh ba địa chỉ của từng khối

Phương pháp:

1. Xác định tập các lệnh đầu (leader), của từng khối cơ bản

   i) Lệnh đầu tiên của chương trình là lệnh đầu.

   ii) Bất kỳ lệnh nào là đích nhảy đến của các lệnh GOTO có hoặc không có điều kiện là lệnh đầu

   iii) Bất kỳ lệnh nào đi sau lệnh GOTO có hoặc không có điều kiện là lệnh đầu

2. Với mỗi lệnh đầu, khối cơ bản bao gồm nó và tất cả các lệnh tiếp theo không phải là lệnh đầu hay lệnh kết thúc chương trình

Tối ưu trong từng khối cơ bản

- Loại bỏ biểu thức con chung
- Tính toán các giá trị hằng trong thời gian dịch
- Copy Propagation
- Loại mã chết…

Ví dụ

(1) prod := 0
(2) i := 1
(3) t1 := 4 * i
(4) t2 := a[t1]
(5) t3 := 4 * i
(6) t4 := b[t3]
(7) t5 := t2 * t4
(8) t6 := prod + t5
(9) prod := t6
(10) t7 := i + 1
(11) i := t7
(12) if i<=20 goto (3)

- Lệnh (1) là lệnh đầu theo quy tắc i,
- Lệnh (3) là lệnh đầu theo quy tắc ii
- Lệnh sau lệnh (12) là lệnh đầu theo quy tắc iii.
- Các lệnh (1)và (2) tạo nên khối cơ bản thứ nhất.
- Lệnh (3) đến (12) tạo nên khối cơ bản thứ hai.

Loại biểu thức con chung

Ví dụ: Lệnh mã nguồn: a[i+1] = b[i+1]

t1 = i + 1	t1 = i + 1	
t2 = b[t1]	t2 = b[t1]	
t3 = i + 1	t3 = i + 1	← *Không cần*
a[t3] = t2	a[t1] = t2	

Truyền hằng (Constant Propagation)

i là hằng

```
i = 4
t1 = i+1
t2 = b[t1]
a[t1] = t2
```

```
i = 4
t1 = 5
t2 = b[t1]
a[t1] = t2
```

```
i = 4
t1 = 5
t2 = b[5]
a[5] = t2
```

Mã nhận được:

```
i = 4
t2 = b[5]
a[5] = t2
```

Copy Propagation

- t2 = t1 ;
- t3 = t2 * t1;
- t4 = t3 ;
- t5 = t3 * t2 ;
- c = t5 + t4 ;

- t3 = t1 * t1 ;
- t5 = t3 * t1 ;
- c = t5 + t3 ;

Tối ưu trên đồ thị dòng điều khiển (CFG - Control Flow Graph)

- Vấn đề cần quan tâm
  - Loại bỏ biểu thức con chung
  - Truyền hằng
  - Loại mã chết
  - Loại những dư thừa cục bộ…
- Ứng dụng một phương pháp tối ưu dẫn đến việc tạo ra những đoạn mã có thể ứng dụng phương pháp tối ưu khác.

Mã ba địa chỉ của Quick Sort

1	i = m - 1
2	j = n
3	t_1 =4 * n
4	v = a[t_1]
5	i = i + 1
6	t_2 = 4 * i
7	t_3 = a[t_2]
8	if t_3 < v goto (5)
9	j = j – 1
10	t_4 = 4 * j
11	t_5 = a[t_4]
12	if t_5 > v goto (9)
13	if i >= j goto (23)
14	t_6 = 4 * i
15	x = a[t_6]

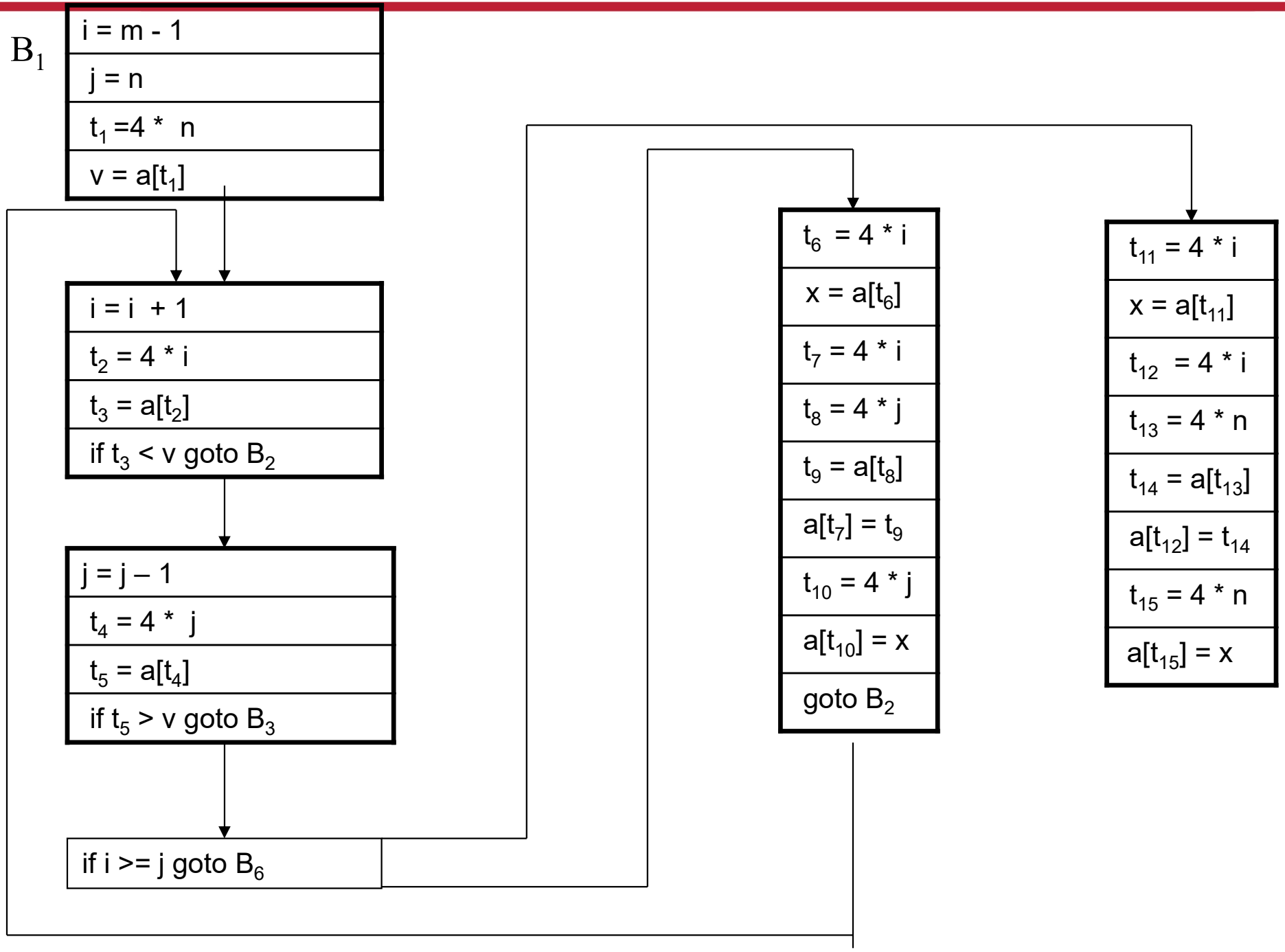
16	t_7 = 4 * I
17	t_8 = 4 * j
18	t_9 = a[t_8]
19	a[t_7] = t_9
20	t_{10} = 4 * j
21	a[t_{10}] = x
22	goto (5)
23	t_{11} = 4 * I
24	x = a[t_{11}]
25	t_{12} = 4 * i
26	t_{13} = 4 * n
27	t_{14} = a[t_{13}]
28	a[t_{12}] = t_{14}
29	t_{15} = 4 * n
30	a[t_{15}] = x

Xác định khối cơ bản

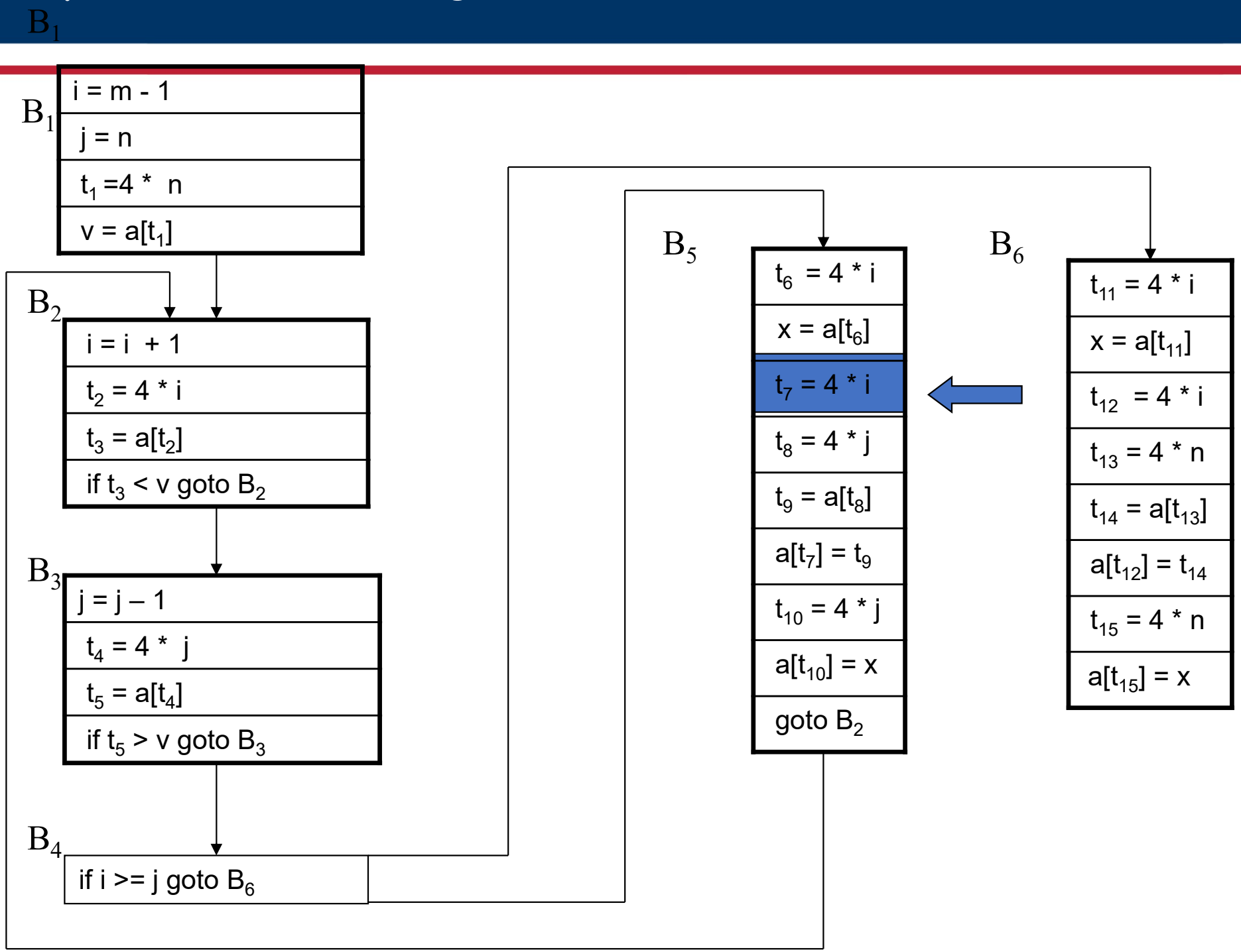
1	i = m - 1
2	j = n
3	t_1 =4 * n
4	v = a[t_1]
5	i = i + 1
6	t_2 = 4 * i
7	t_3 = a[t_2]
8	if t_3 < v goto (5)
9	j = j – 1
10	t_4 = 4 * j
11	t_5 = a[t_4]
12	if t_5 > v goto (9)
13	if i >= j goto (23)
14	t_6 = 4 * i
15	x = a[t_6]

16	t_7 = 4 * I
17	t_8 = 4 * j
18	t_9 = a[t_8]
19	a[t_7] = t_9
20	t_{10} = 4 * j
21	a[t_{10}] = x
22	goto (5)
23	t_{11} = 4 * i
24	x = a[t_{11}]
25	t_{12} = 4 * i
26	t_{13} = 4 * n
27	t_{14} = a[t_{13}]
28	a[t_{12}] = t_{14}
29	t_{15} = 4 * n
30	a[t_{15}] = x

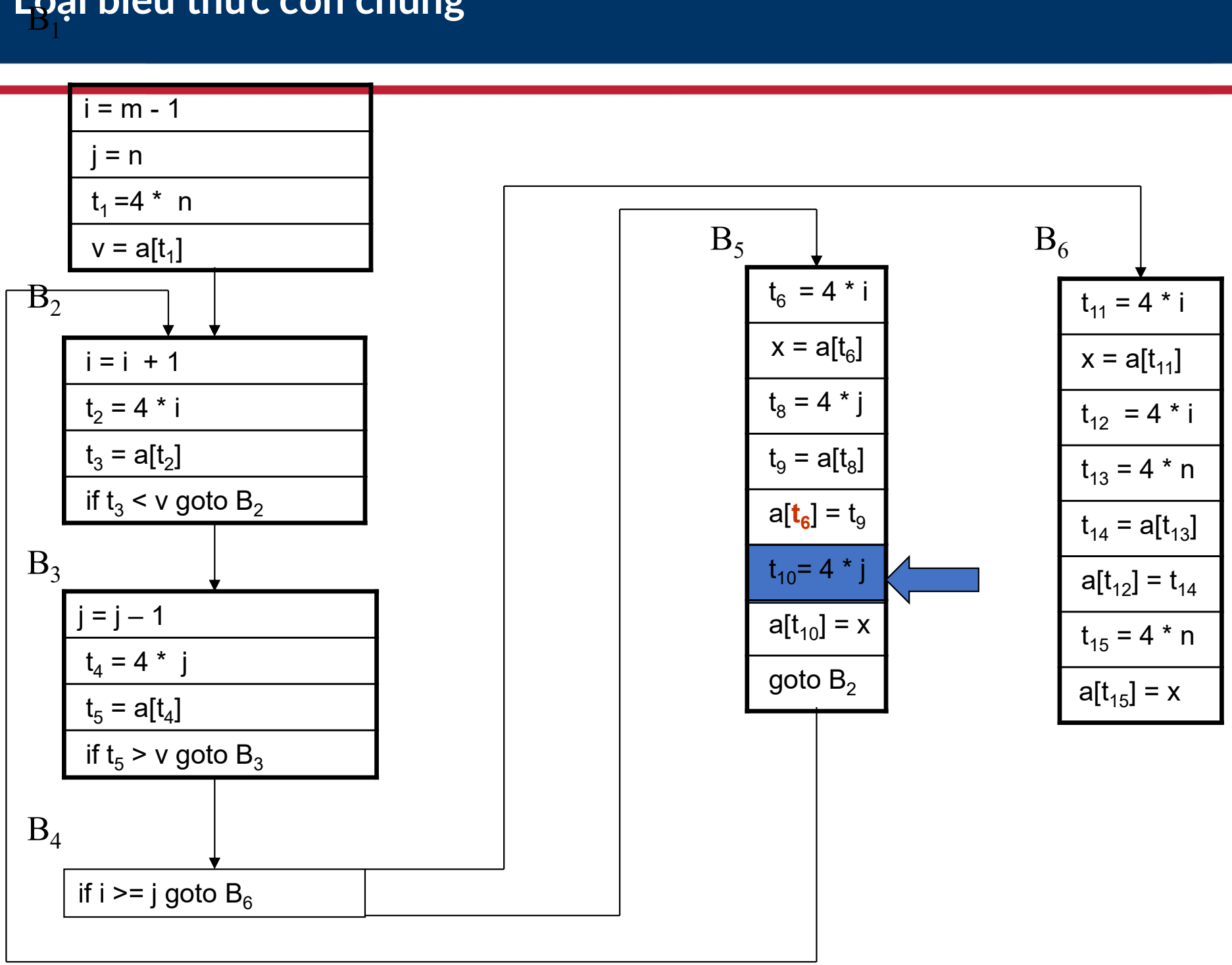
Đồ thị dòng điều khiển (Control Flow Graph – CFG)



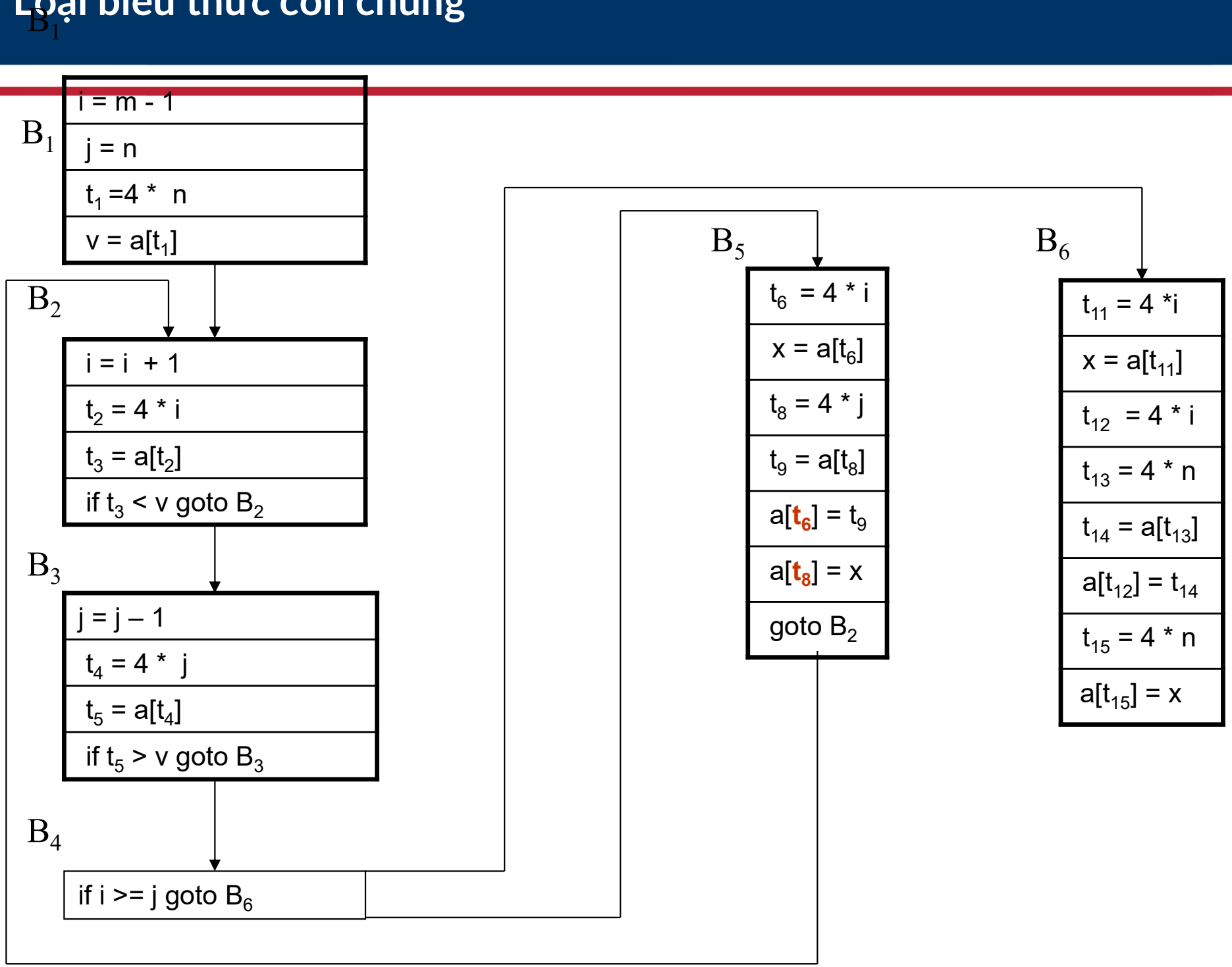
Loại biểu thức con chung



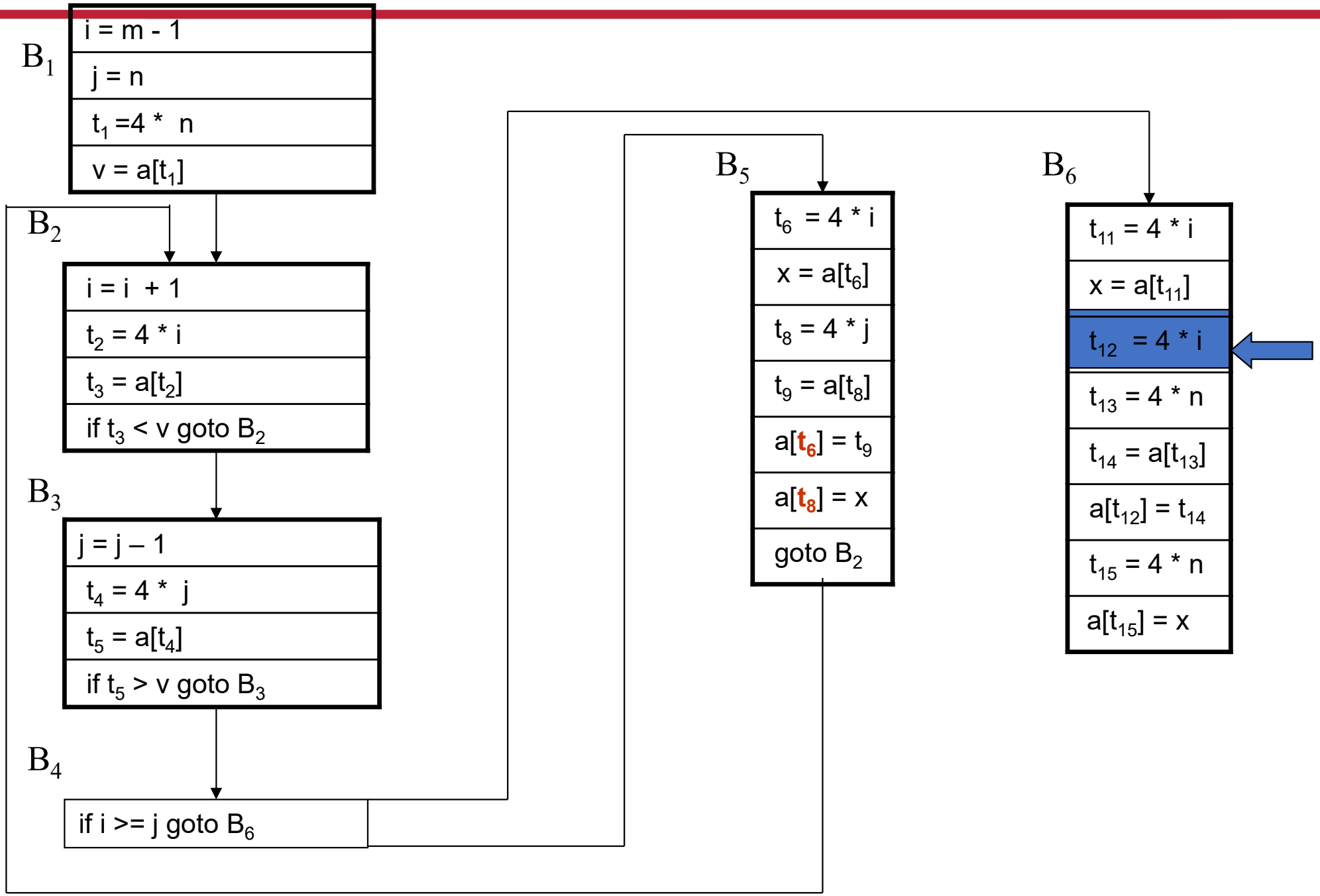
Loại biểu thức con chung



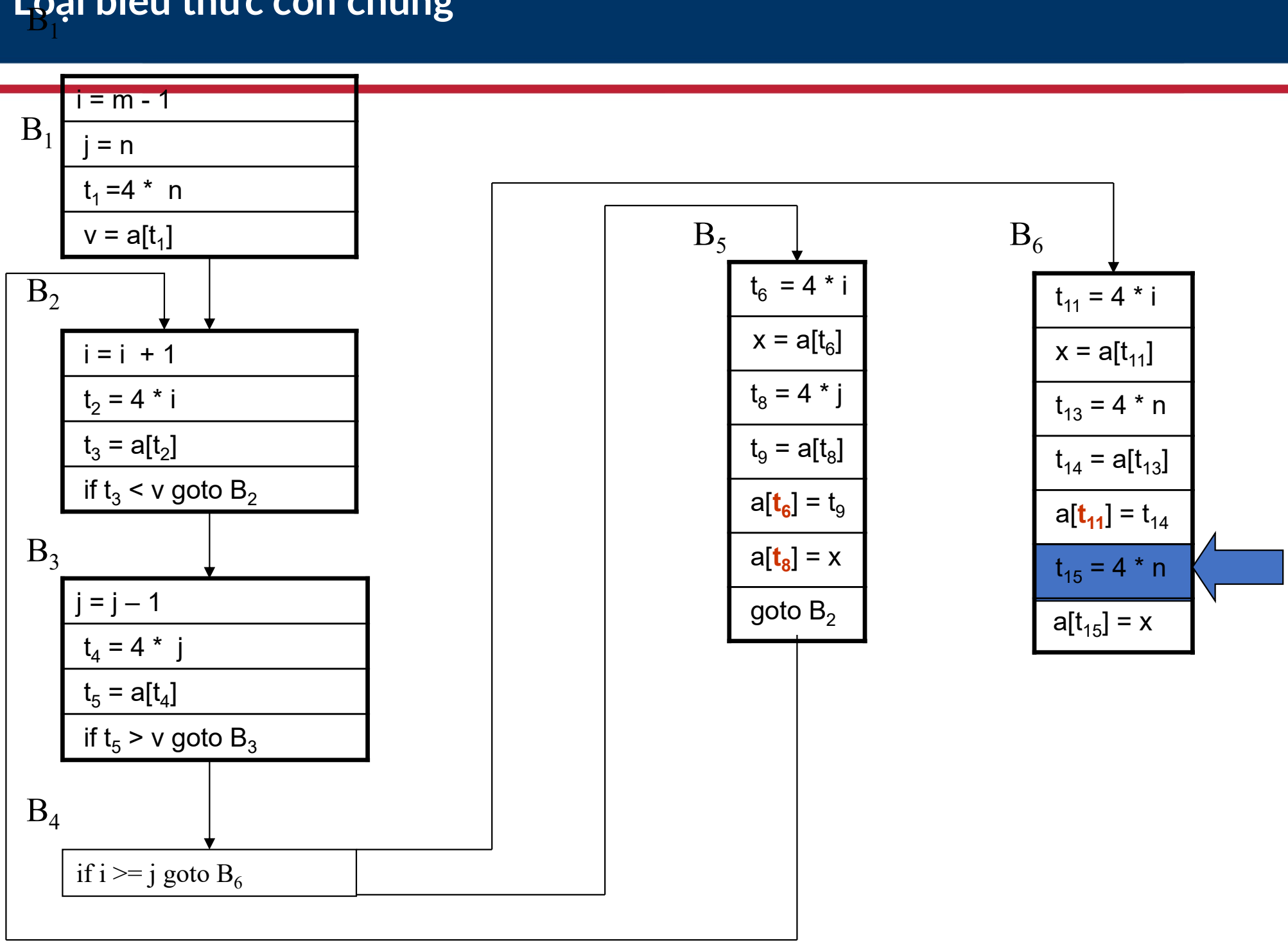
Loại biểu thức con chung



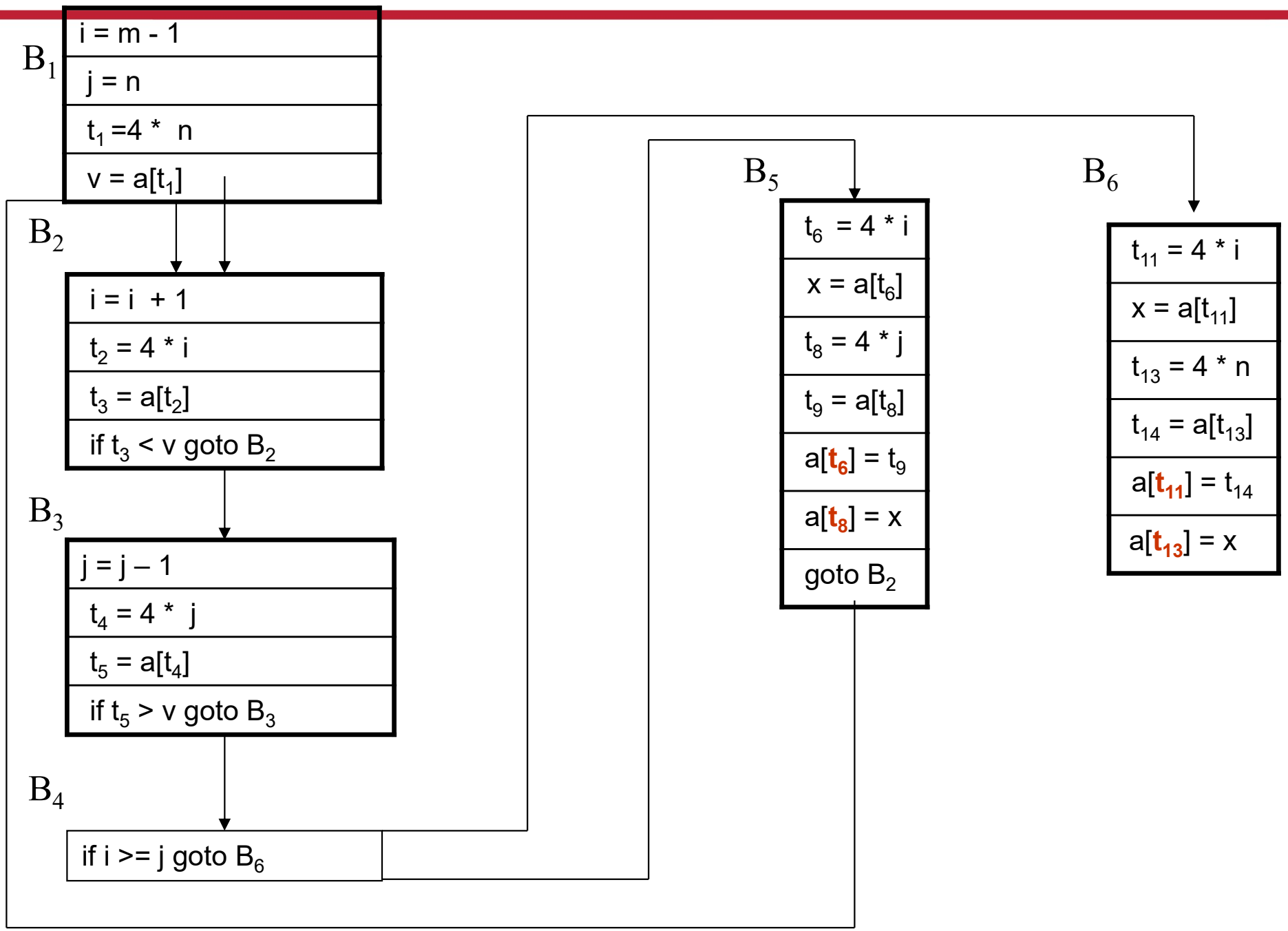
Loại biểu thức con chung



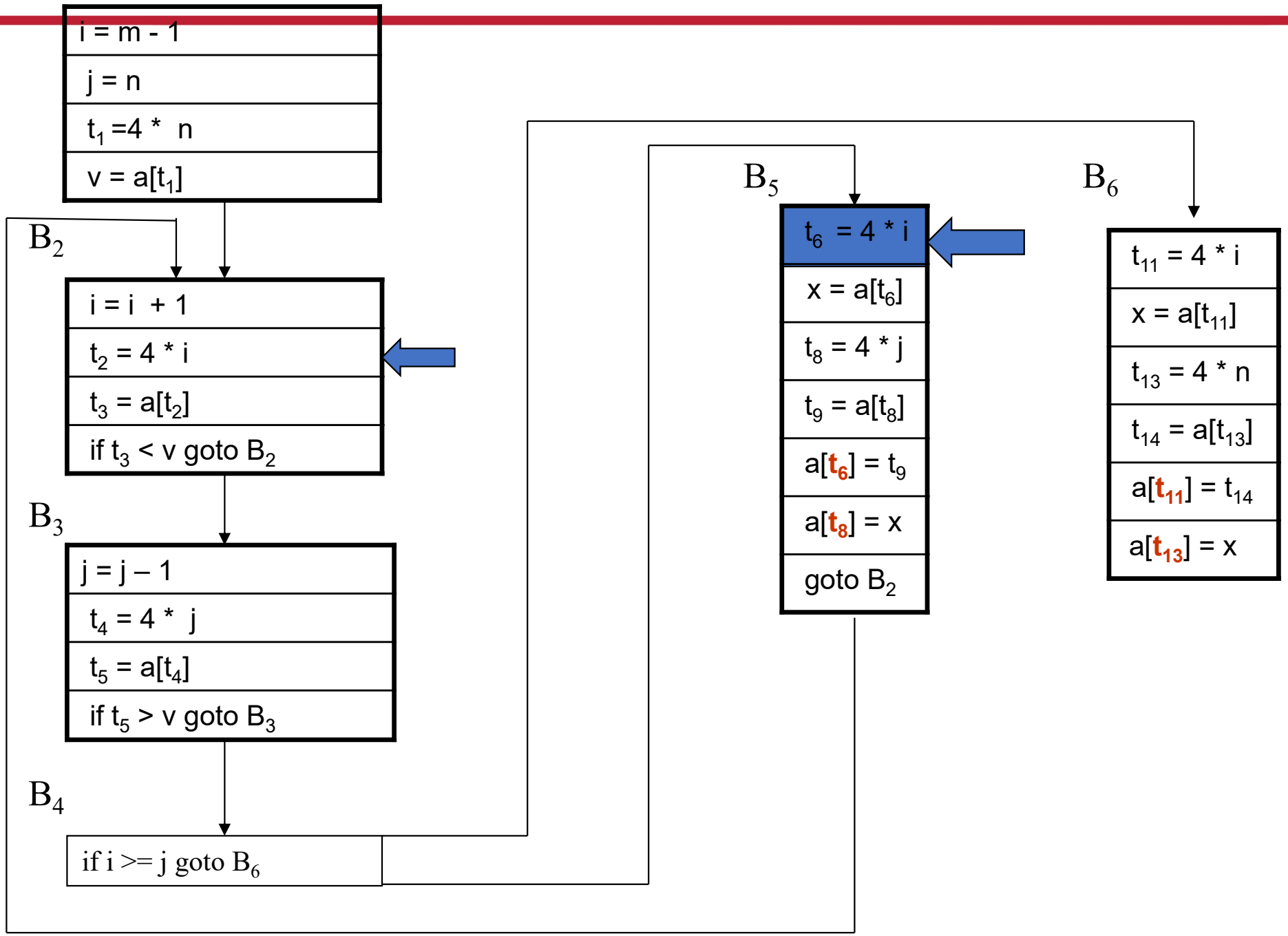
Loại biểu thức con chung



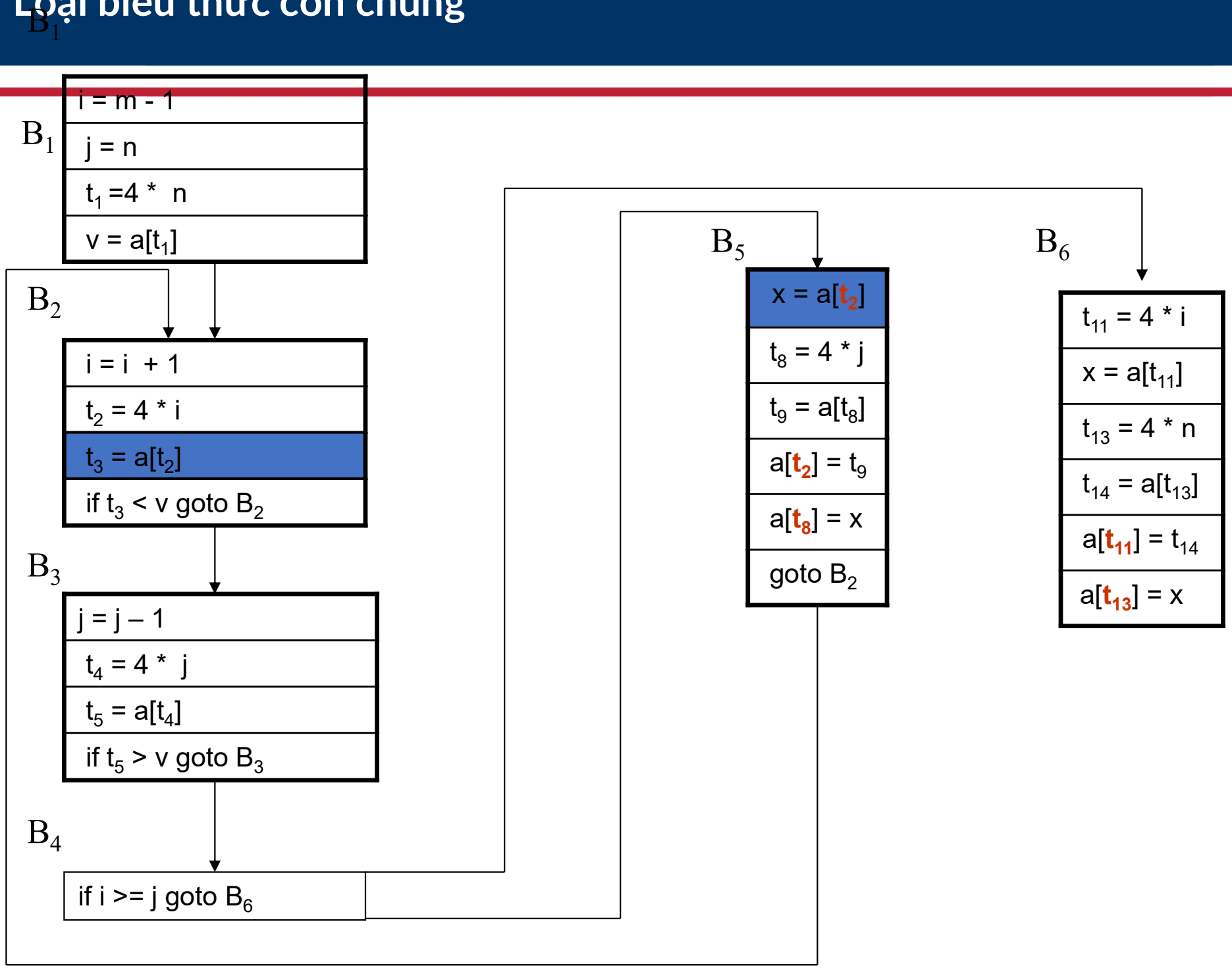
Loại biểu thức con chung



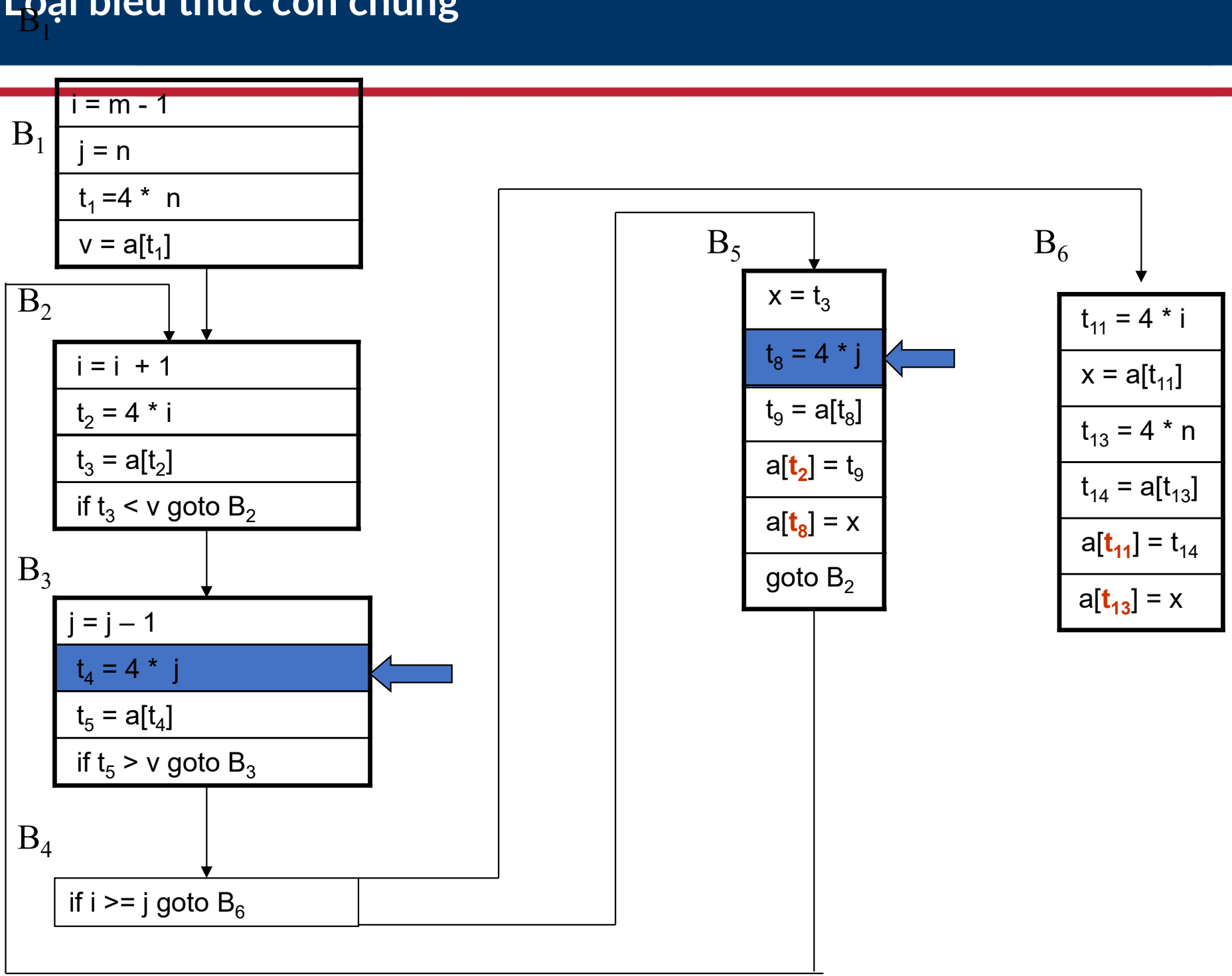
Loại biểu thức con chung



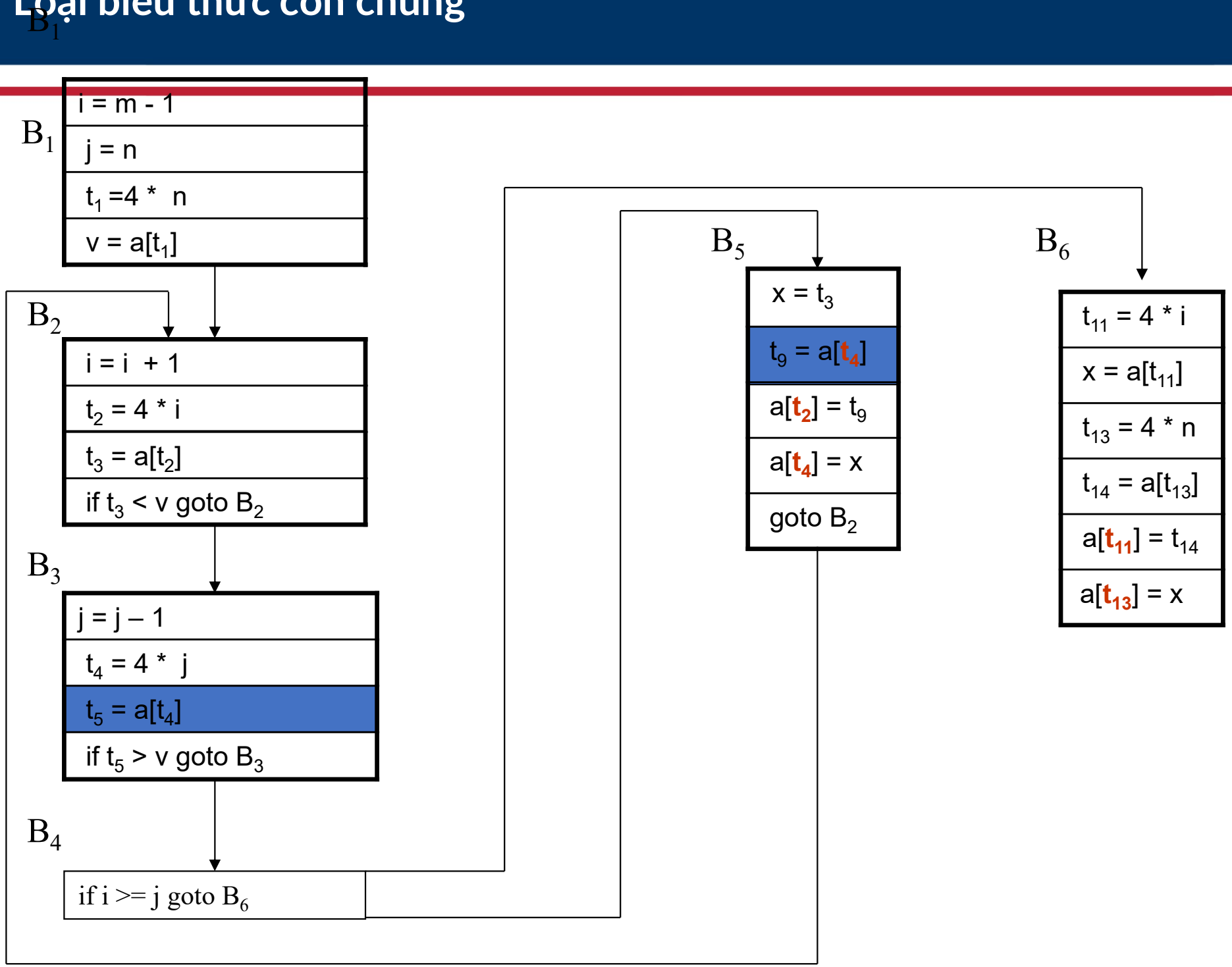
Loại biểu thức con chung



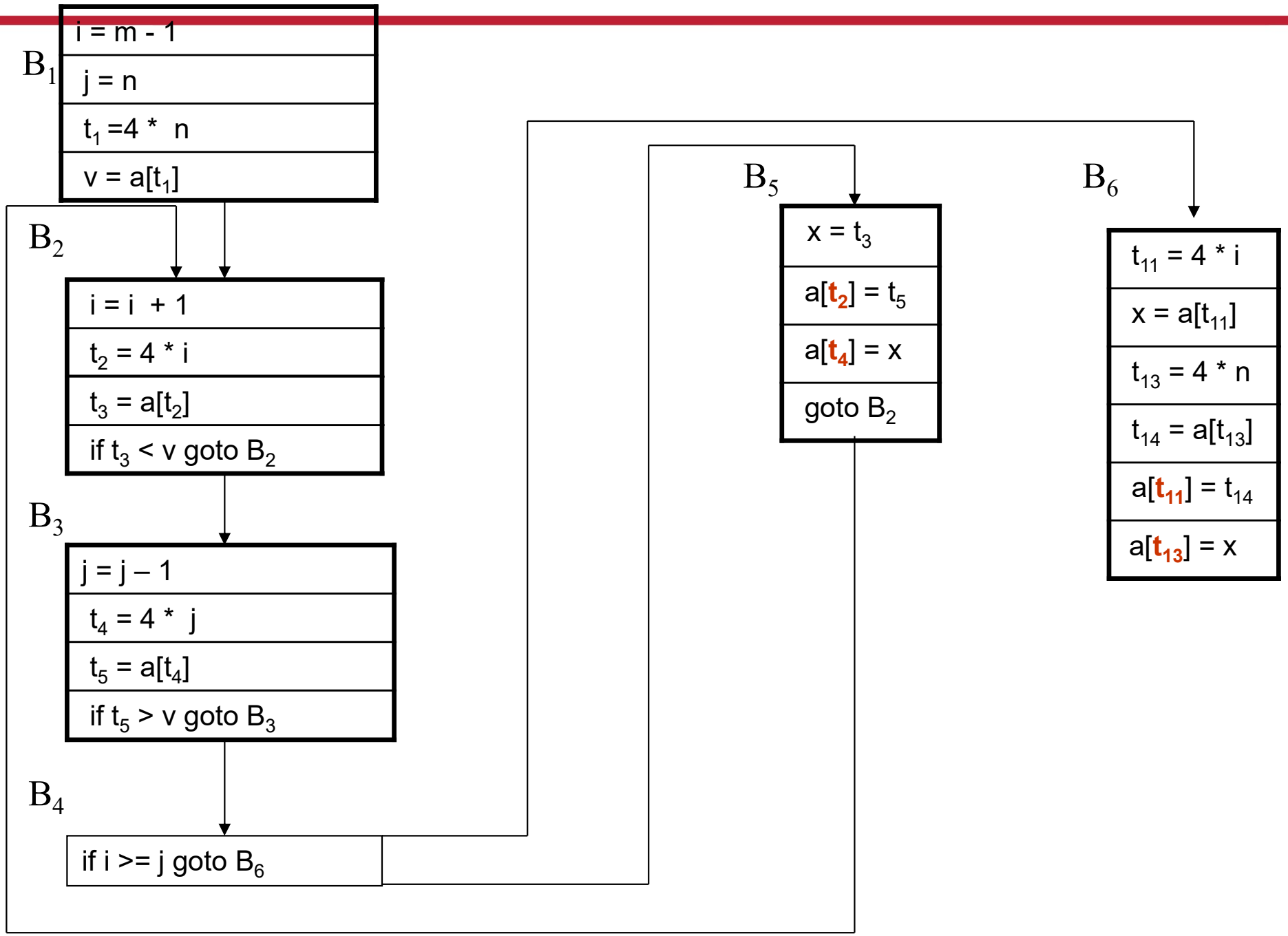
Loại biểu thức con chung



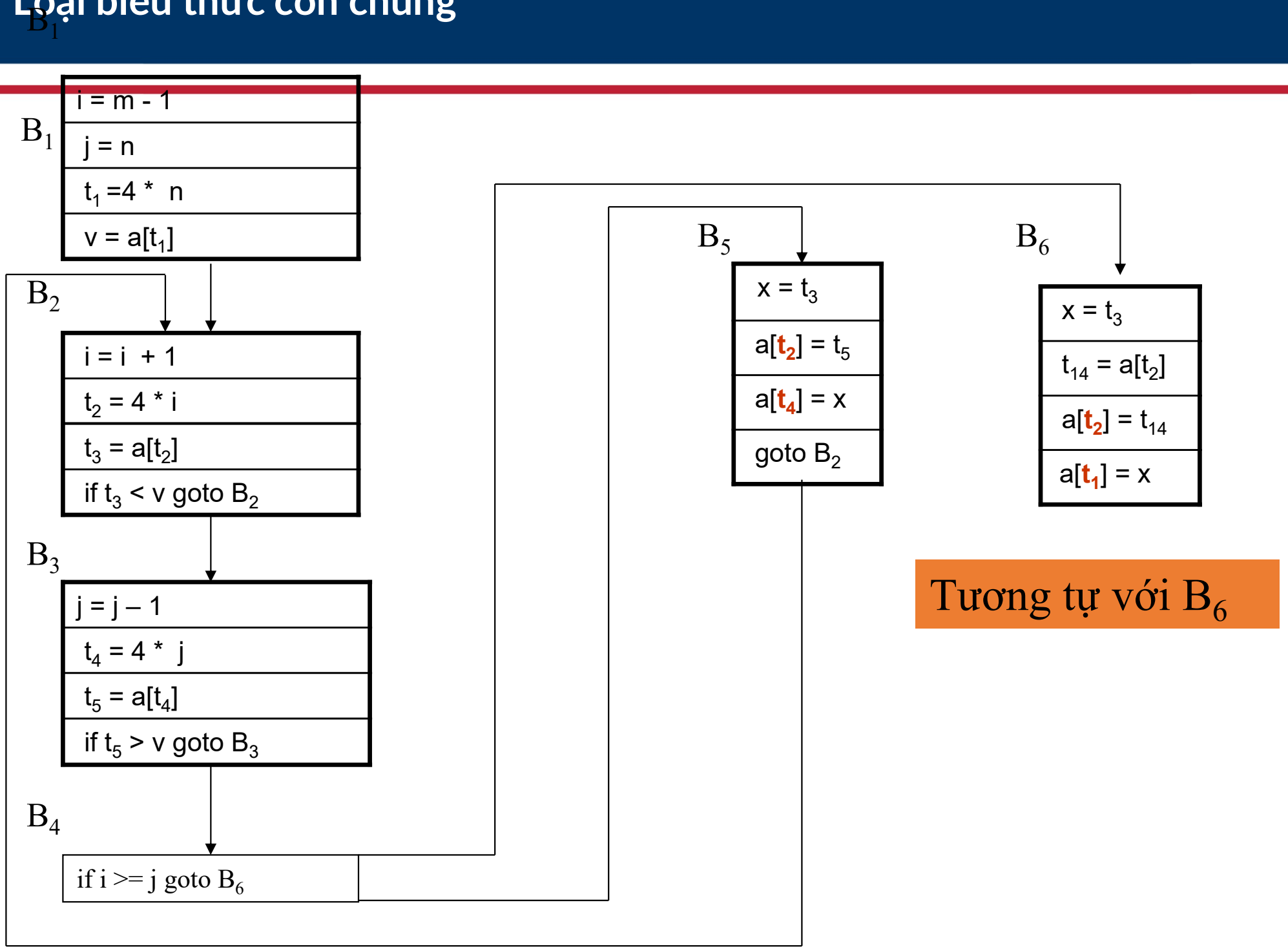
Loại biểu thức con chung



Loại biểu thức con chung

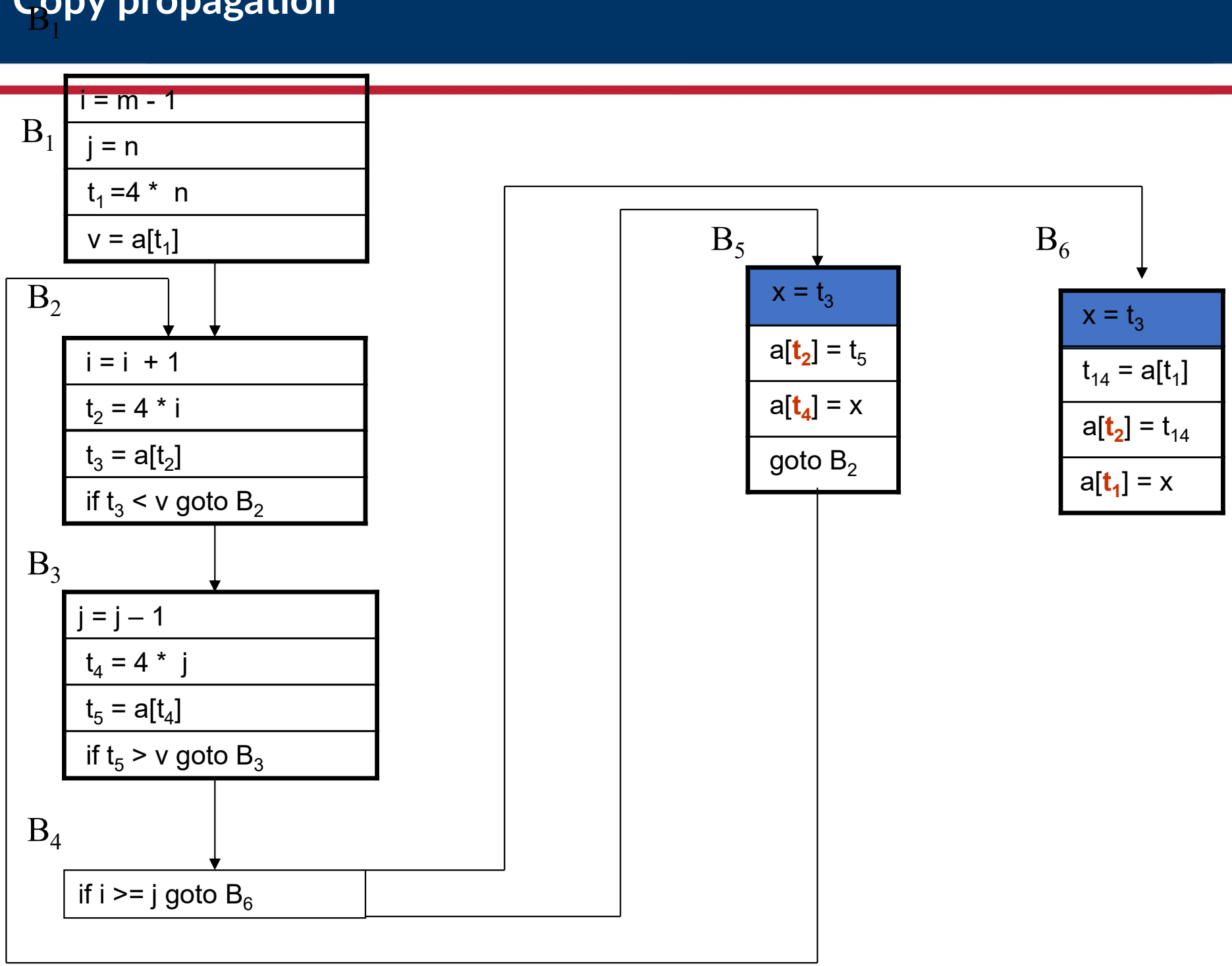


Loại biểu thức con chung

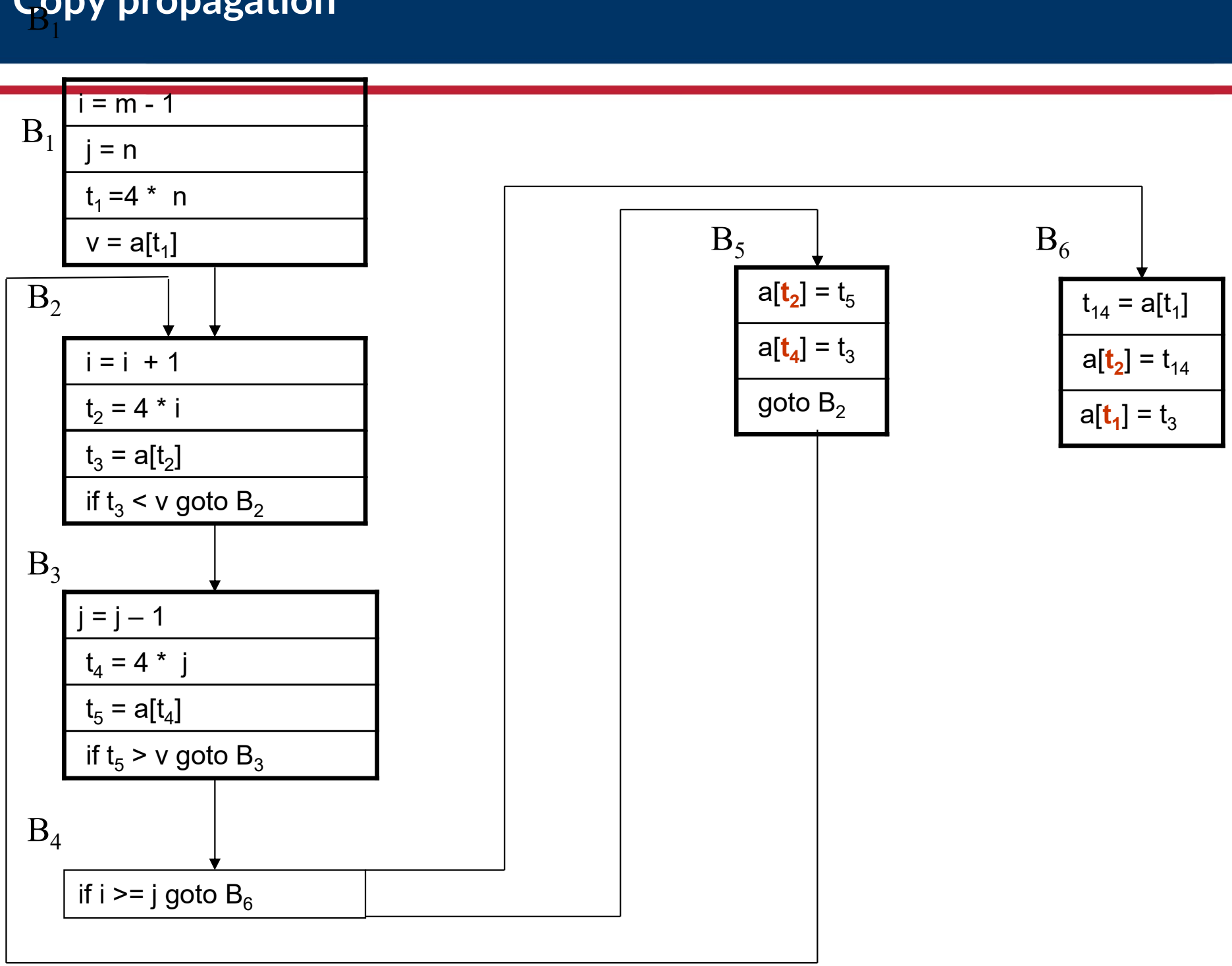


Tương tự với B_6

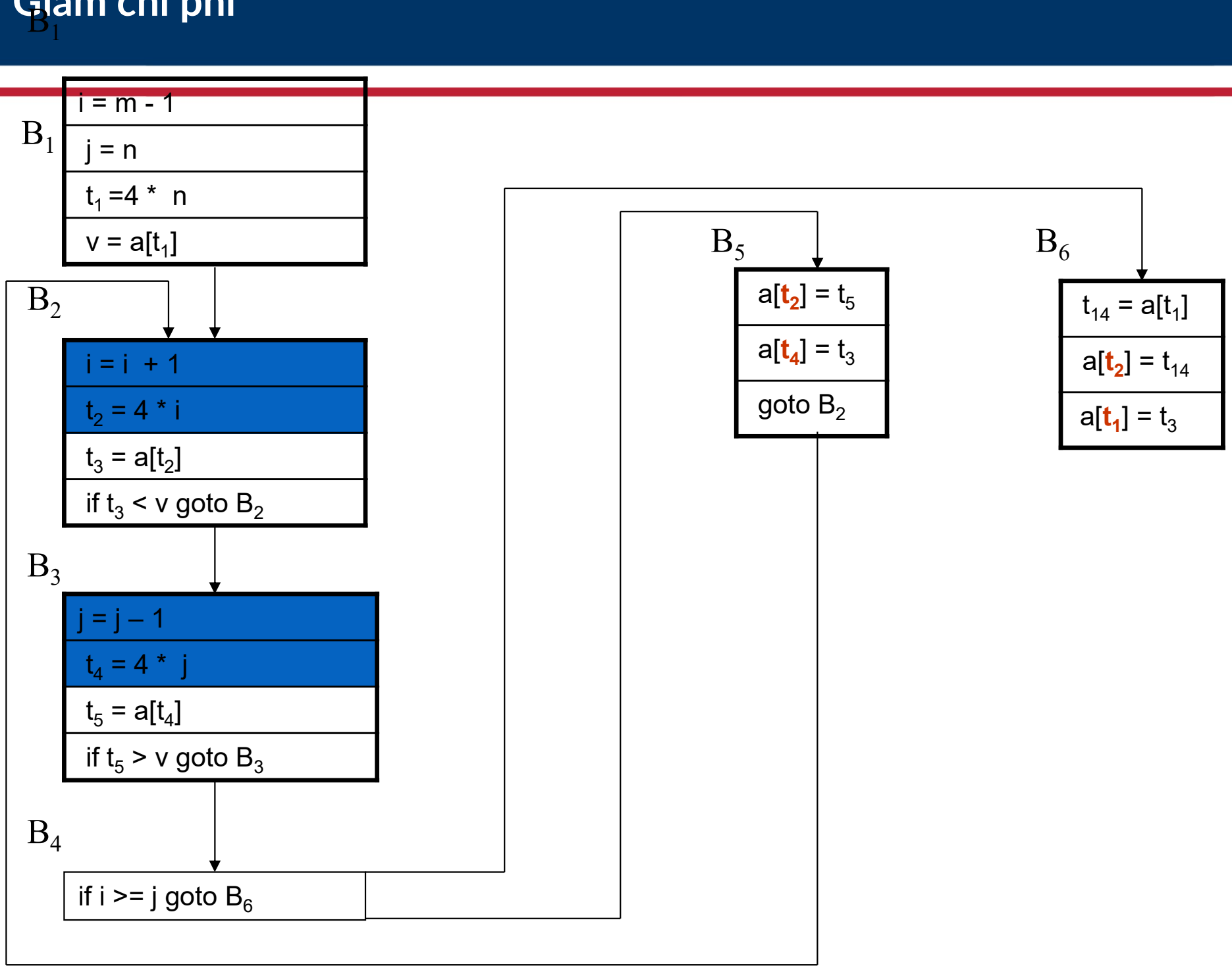
Copy propagation



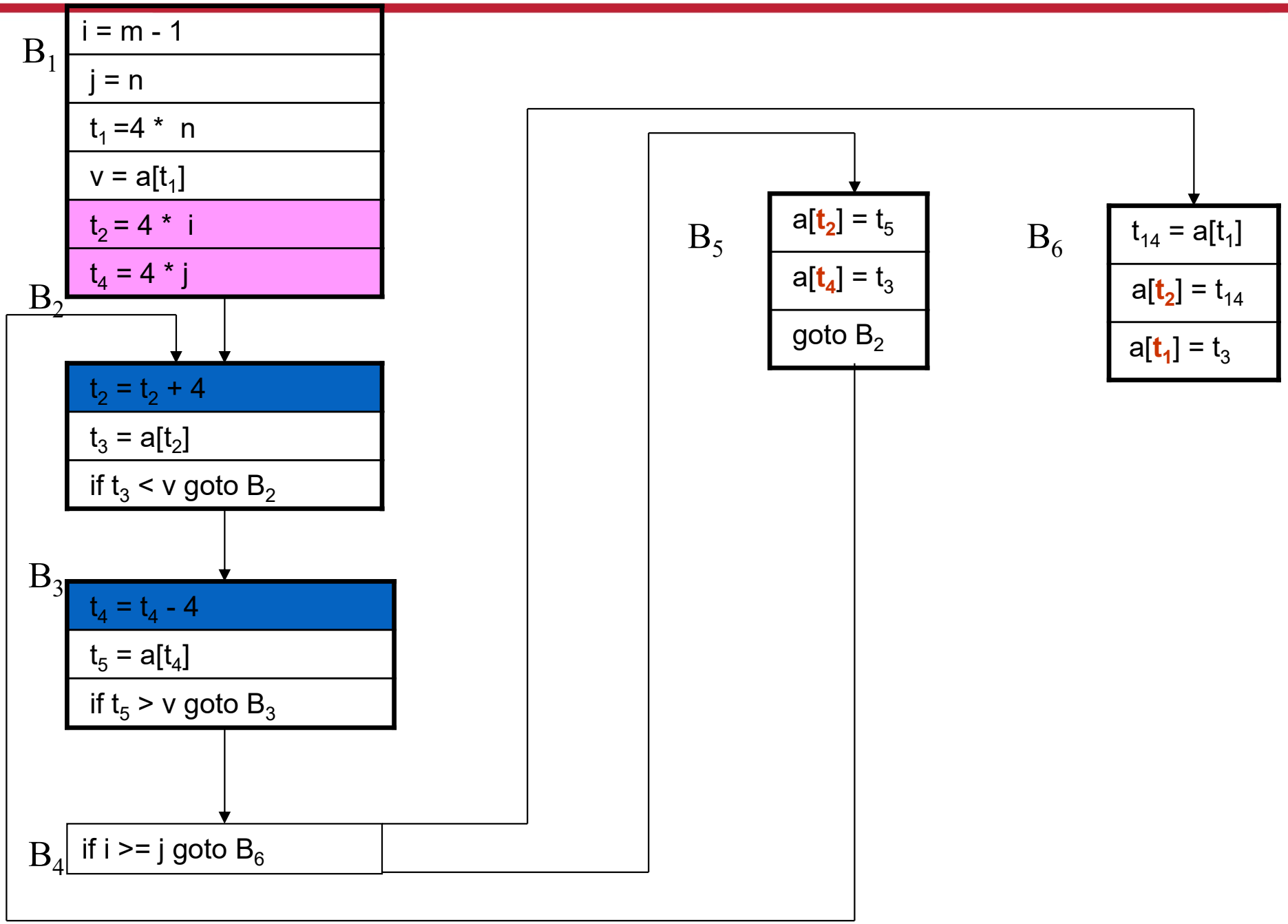
Copy propagation



Giảm chi phí


B1
i = m - 1
j = n
t1 =4 * n
v = a[t1]
B2
i = i + 1
t2 = 4 * i
t3 = a[t2]
if t3 < v goto B2
B3
j = j – 1
t4 = 4 * j
t5 = a[t4]
if t5 > v goto B3
B4
if i >= j goto B6
B5
a[t2] = t5
a[t4] = t3
goto B2
B6
t14 = a[t1]
a[t2] = t14
a[t1] = t3

Giảm chi phí


B1
i = m - 1
j = n
t1 =4 * n
v = a[t1]
t2 = 4 * i
t4 = 4 * j
B2
t2 = t2 + 4
t3 = a[t2]
if t3 < v goto B2
B3
t4 = t4 - 4
t5 = a[t4]
if t5 > v goto B3
B4
if i >= j goto B6
B5
a[t2] = t5
a[t4] = t3
goto B2
B6
t14 = a[t1]
a[t2] = t14
a[t1] = t3