Big-O Blue

LECTURE 10

BELLMAN-FORD ALGORITHM

Phạm Nguyễn Sơn Tùng

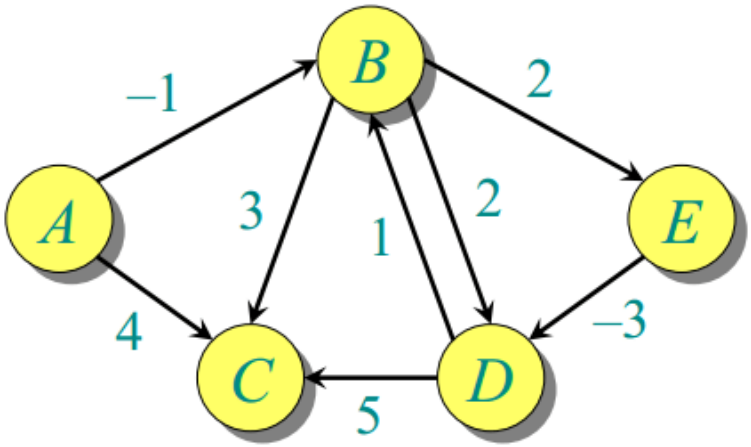
Email: sontungtn@gmail.com

Bellman-Ford

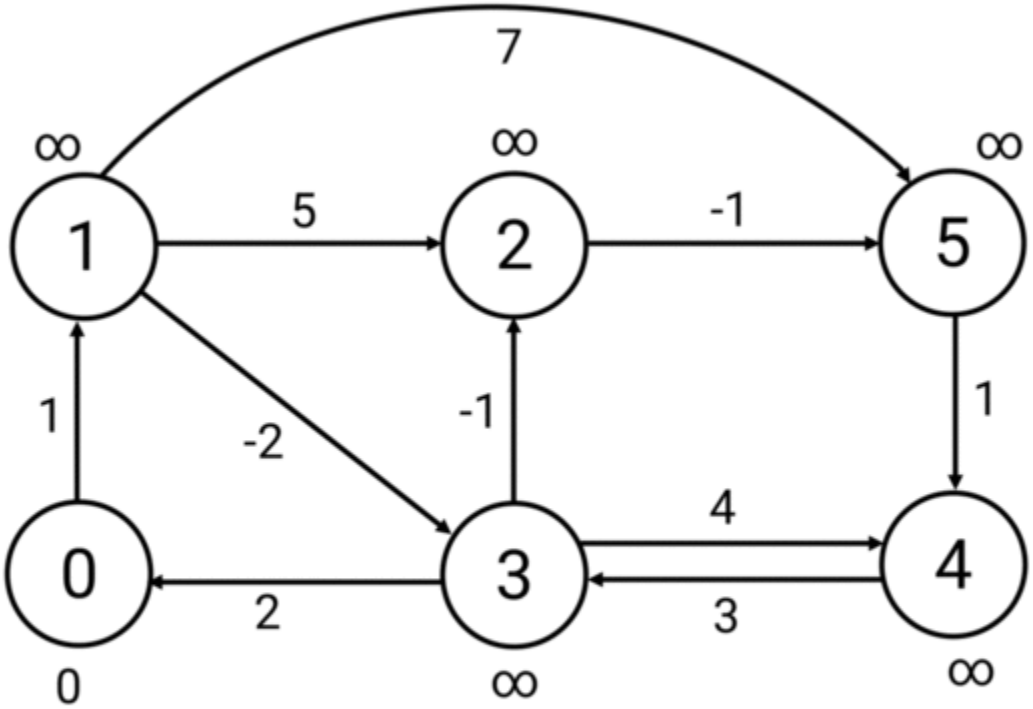
Thuật toán **Bellman-Ford** là thuật toán tìm đường đi có chi phí nhỏ nhất từ **một đỉnh** đến **tất cả các đỉnh** còn lại trong đồ thị có hướng hoặc vô hướng, có trọng số (trọng số có thể dương **hoặc âm**).

Độ phức tạp: **O (E . V)**

- **E (Edges)** là số lượng cạnh của đồ thị.
- **V (Vertices)** là số lượng đỉnh của đồ thị.

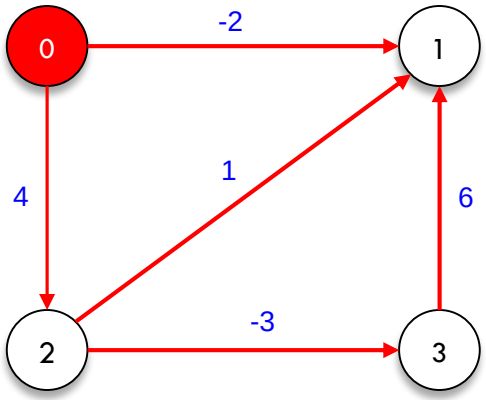


Mô phỏng cách chạy thuật toán



Ý tưởng của thuật toán

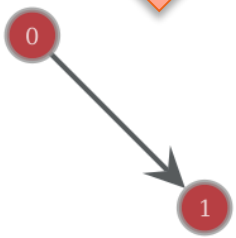
Xuất phát từ một đỉnh bất kỳ. Duyệt qua **toàn bộ cạnh** đồ thị.



So sánh chi phí đường đi hiện tại với đường đi trong bảng chi phí (nếu nhỏ hơn thì cập nhật)

Đỉnh	0	1	2	3
Chi phí	0	∞	∞	∞

Lưu vết.



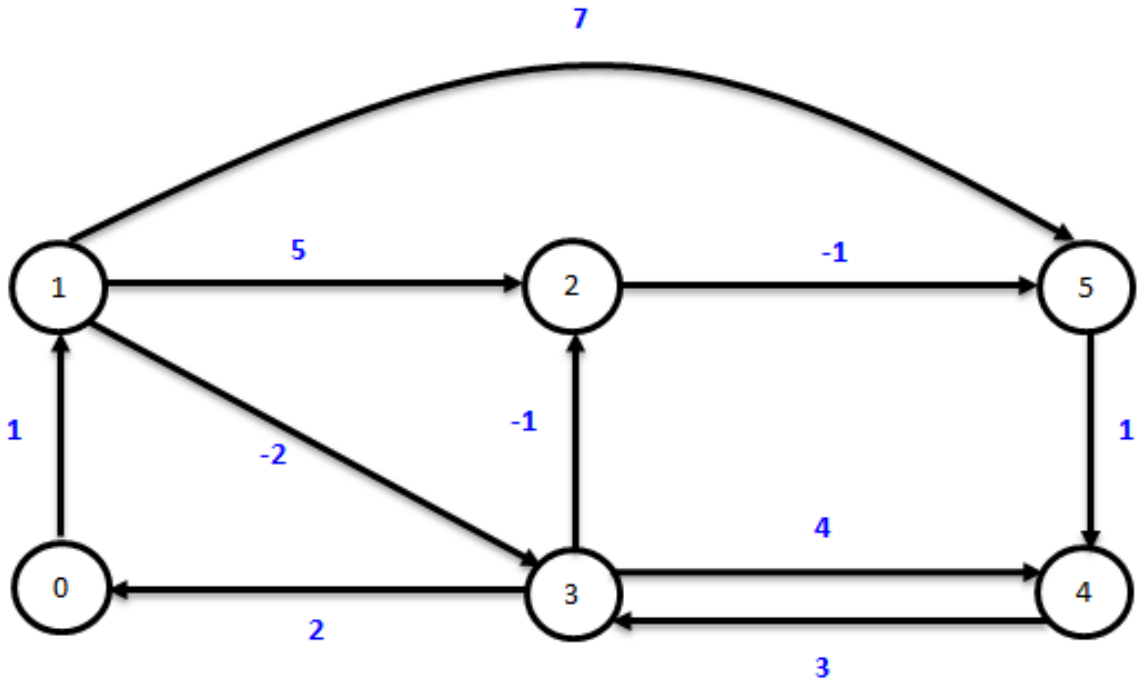
Đỉnh cha	0	1	2	3
Lưu vết	-1	0	-1	-1

Quay lại tiếp tục duyệt lại toàn bộ cạnh đồ thị.

➔ Duyệt qua **V – 1** lần thì dừng. Xuất kết quả bài toán.

Bài toán minh họa

Cho đồ thị **có hướng** như hình vẽ. Tìm đường đi **ngắn nhất (chi phí nhỏ nhất)** từ **đỉnh 0** đến **tất cả** các đỉnh khác.



Edge List

```
6 10
0  1  1
1  2  5
1  3 -2
1  5  7
2  5 -1
3  0  2
3  2 -1
3  4  4
4  3  3
5  4  1
```

Bước 0: Chuẩn bị dữ liệu (1)

Chuyển danh sách cạnh vào **graph**.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
(0, 1, 1)	(1, 2, 5)	(1, 3, -2)	(1, 5, 7)	(2, 5, -1)	(3, 0, 2)	(3, 2, -1)	(3, 4, 4)	(4, 3, 3)	(5, 4, 1)

Trong đó, mỗi phần tử bao gồm:

- source: đỉnh đầu.
- target: đỉnh đích.
- weight: trọng số.

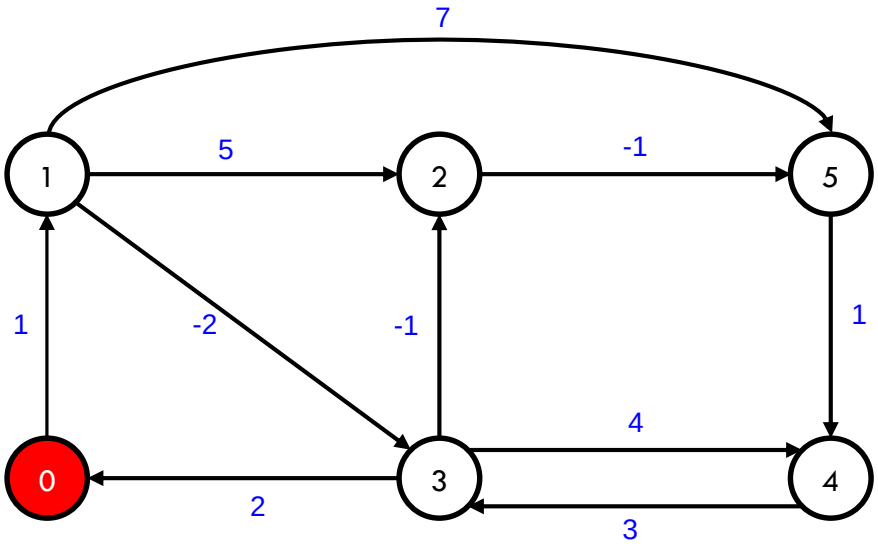
Mảng chứa chi phí đường đi **dist**.

Đỉnh	0	1	2	3	4	5
Chi phí	∞	∞	∞	∞	∞	∞

Mảng lưu vết đường đi **path**.

Đỉnh cha	0	1	2	3	4	5
Lưu vết	-1	-1	-1	-1	-1	-1

Bước 0: Chuẩn bị dữ liệu (2)



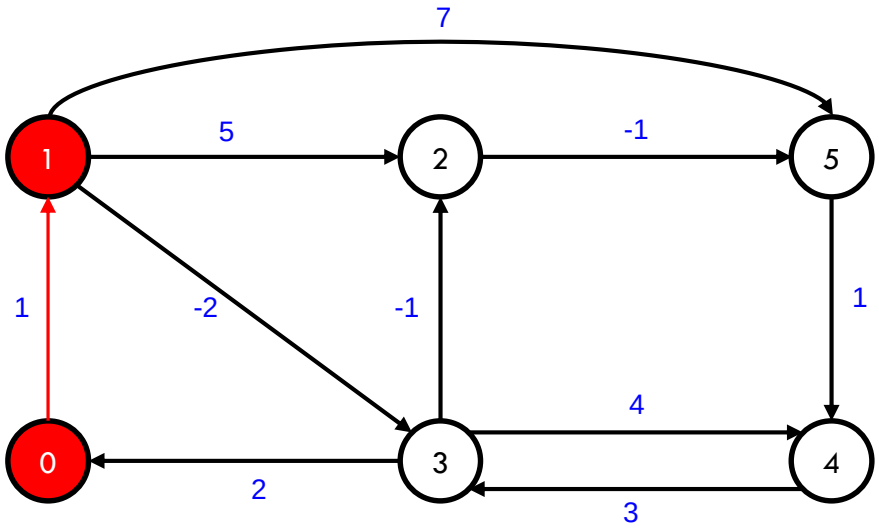
Gán chi phí cho đỉnh bắt đầu đi (đỉnh 0): **dist[0] = 0**

Đỉnh	**0**	1	2	3	4	5
Chi phí	**0**	∞	∞	∞	∞	∞

BƯỚC 1

CHẠY VÒNG LẶP DUYỆT QUA DANH SÁCH CẠNH LẦN 1

Bước 1: Chạy thuật toán (j=0)



0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
(0, 1, 1)	(1, 2, 5)	(1, 3, -2)	(1, 5, 7)	(2, 5, -1)	(3, 0, 2)	(3, 2, -1)	(3, 4, 4)	(4, 3, 3)	(5, 4, 1)

dist

Đỉnh	0	1	2	3	4	5
Chi phí	0	∞	∞	∞	∞	∞

Lấy cạnh đầu tiên của **graph** (u = 0, v = 1, w = 1) để xem xét:

- Nếu chi phí tại **dist[u] khác** ∞ (0 khác ∞) ✓
- Và chi phí **dist[u] + w < dist[v]** (0 + 1 < ∞) ✓

➔ **Cập nhật dist[v] = dist[u] + w = 1.**

Bước 1: Chạy thuật toán (j=0)

Cập nhật dist[v] = dist[u] + w = 0 + 1 = 1.

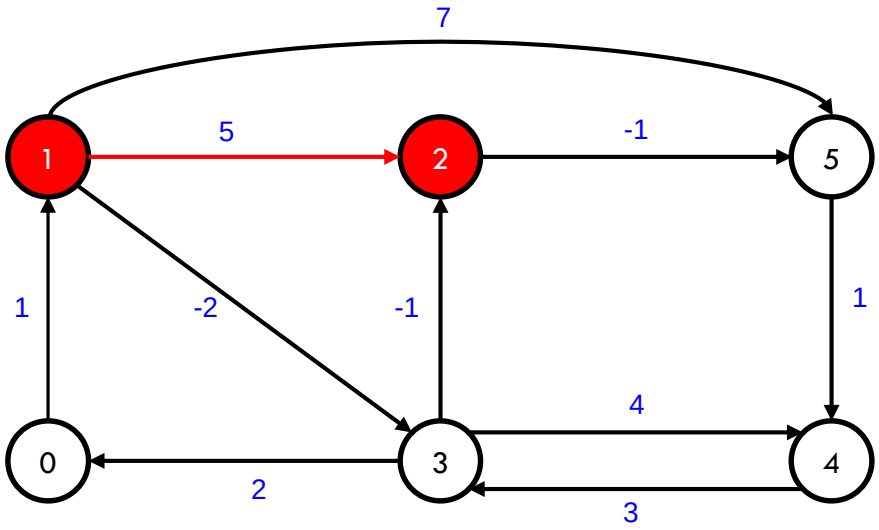
Cập nhật chi phí đỉnh đang xét (đỉnh 1) **dist[1] = 1**.

Đỉnh	0	**1**	2	3	4	5
Chi phí	0	**1**	∞	∞	∞	∞

Xét cạnh (0, 1) → cập nhật giá trị mảng lưu vết **path[1] = 0**.

Đỉnh cha	0	**1**	2	3	4	5
Lưu vết	-1	**0**	-1	-1	-1	-1

Bước 1: Chạy thuật toán (j=1)



0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
(0, 1, 1)	(1, 2, 5)	(1, 3, -2)	(1, 5, 7)	(2, 5, -1)	(3, 0, 2)	(3, 2, -1)	(3, 4, 4)	(4, 3, 3)	(5, 4, 1)

dist

Đỉnh	0	1	2	3	4	5
Chi phí	0	1	∞	∞	∞	∞

Lấy cạnh tiếp theo của **graph** (u = 1, v = 2, w = 5) để xem xét:

- Nếu chi phí tại **dist[u] khác** ∞ (1 khác ∞) ✓
- Và chi phí **dist[u] + w < dist[v]** (1 + 5 < ∞) ✓

➔ **Cập nhật dist[v] = dist[u] + w = 6.**

Bước 1: Chạy thuật toán (j=1)

Cập nhật dist[v] = dist[u] + w = 1 + 5 = 6.

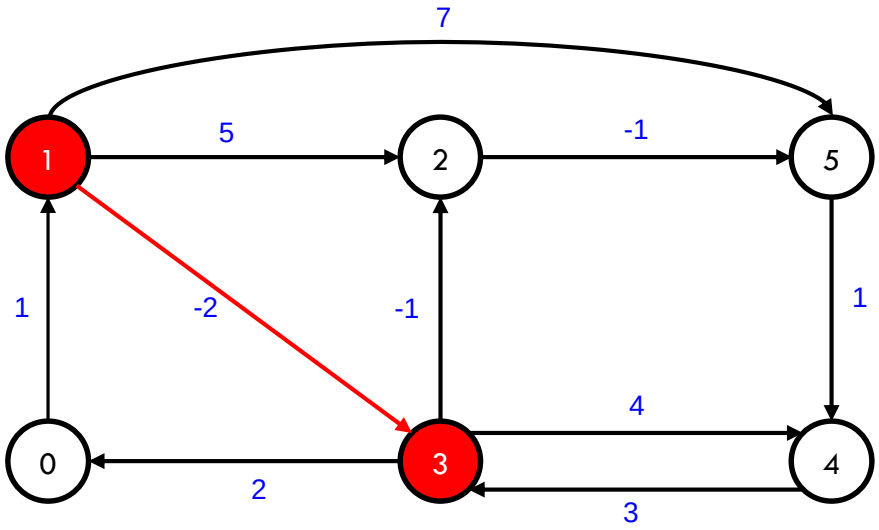
Cập nhật chi phí đỉnh đang xét (đỉnh 2) **dist[2] = 6**.

Đỉnh	0	1	**2**	3	4	5
Chi phí	0	1	**6**	∞	∞	∞

Xét cạnh (1, 2) → cập nhật giá trị mảng lưu vết **path[2] = 1**.

Đỉnh cha	0	1	**2**	3	4	5
Lưu vết	-1	0	**1**	-1	-1	-1

Bước 1: Chạy thuật toán (j=2)



0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
(0, 1, 1)	(1, 2, 5)	(1, 3, -2)	(1, 5, 7)	(2, 5, -1)	(3, 0, 2)	(3, 2, -1)	(3, 4, 4)	(4, 3, 3)	(5, 4, 1)

dist

Đỉnh	0	1	2	3	4	5
Chi phí	0	1	6	∞	∞	∞

Lấy cạnh tiếp theo của **graph** (u = 1, v = 3, w = -2) để xem xét:

- Nếu chi phí tại **dist[u] khác** ∞ (1 khác ∞) ✓
- Và chi phí **dist[u] + w < dist[v]** (1 + (-2) < ∞) ✓

➔ **Cập nhật dist[v] = dist[u] + w = -1.**

Bước 1: Chạy thuật toán (j=2)

Cập nhật dist[v] = dist[u] + w = 1 + (-2) = -1.

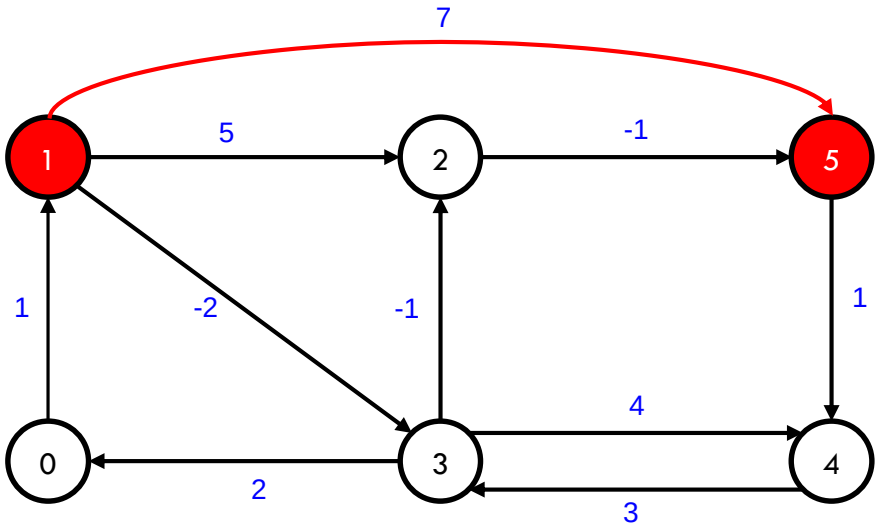
Cập nhật chi phí đỉnh đang xét (đỉnh 3) **dist[3] = -1**.

Đỉnh	0	1	2	**3**	4	5
Chi phí	0	1	6	**-1**	∞	∞

Xét cạnh (1, 3) → cập nhật giá trị mảng lưu vết **path[3] = 1**.

Đỉnh cha	0	1	2	**3**	4	5
Lưu vết	-1	0	1	**1**	-1	-1

Bước 1: Chạy thuật toán (j=3)



0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
(0, 1, 1)	(1, 2, 5)	(1, 3, -2)	(1, 5, 7)	(2, 5, -1)	(3, 0, 2)	(3, 2, -1)	(3, 4, 4)	(4, 3, 3)	(5, 4, 1)

dist

Đỉnh	0	1	2	3	4	5
Chi phí	0	1	6	-1	∞	∞

Lấy cạnh tiếp theo của **graph** (u = 1, v = 5, w = 7) để xem xét:

- Nếu chi phí tại **dist[u] khác** ∞ (1 khác ∞) ✓
- Và chi phí **dist[u] + w < dist[v]** (1 + 7 < ∞) ✓

➔ **Cập nhật dist[v] = dist[u] + w = 8.**

Bước 1: Chạy thuật toán (j=3)

Cập nhật dist[v] = dist[u] + w = 1 + 7 = 8.

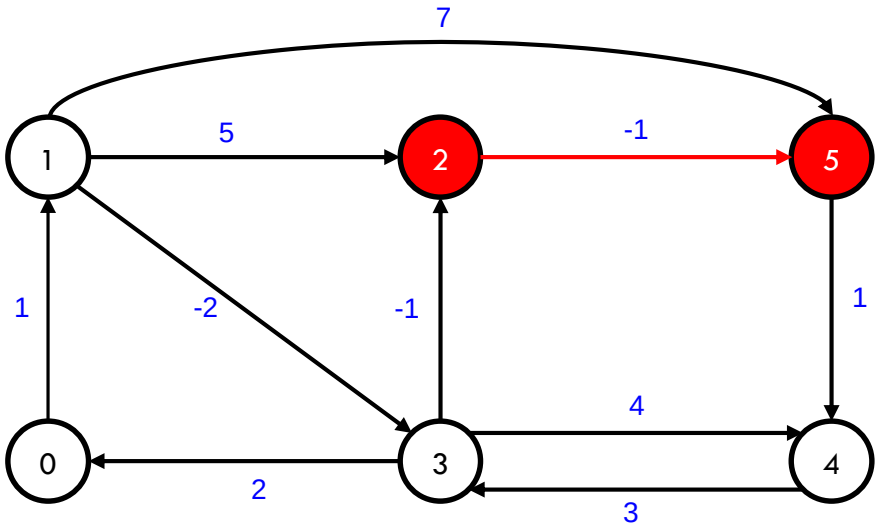
Cập nhật chi phí đỉnh đang xét (đỉnh 5) **dist[5] = 8**.

Đỉnh	0	1	2	3	4	**5**
Chi phí	0	1	6	-1	∞	**8**

Xét cạnh (1, 5) → cập nhật giá trị mảng lưu vết **path[5] = 1**.

Đỉnh cha	0	1	2	3	4	**5**
Lưu vết	-1	0	1	1	-1	**1**

Bước 1: Chạy thuật toán (j=4)



0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
(0, 1, 1)	(1, 2, 5)	(1, 3, -2)	(1, 5, 7)	(2, 5, -1)	(3, 0, 2)	(3, 2, -1)	(3, 4, 4)	(4, 3, 3)	(5, 4, 1)

dist

Đỉnh	0	1	**2**	3	4	5
Chi phí	0	1	**6**	-1	∞	8

Lấy cạnh tiếp theo của **graph** (u = 2, v = 5, w = -1) để xem xét:

- Nếu chi phí tại **dist[u] khác** ∞ (6 khác ∞) ✓
- Và chi phí **dist[u] + w < dist[v]** (6 + (-1) < 8) ✓

➔ **Cập nhật dist[v] = dist[u] + w = 5.**

Bước 1: Chạy thuật toán (j=4)

Cập nhật dist[v] = dist[u] + w = 6 + -1 = 5.

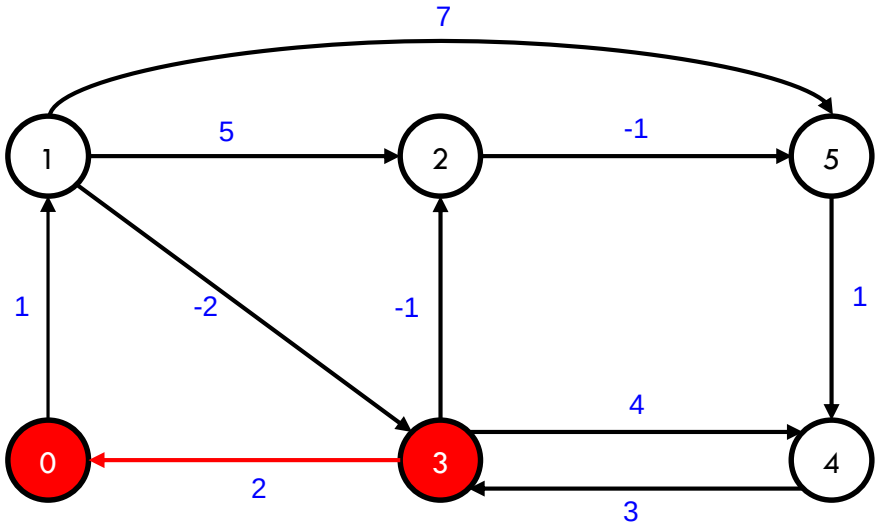
Cập nhật chi phí đỉnh đang xét (đỉnh 5) **dist[5] = 5**.

Đỉnh	0	1	2	3	4	**5**
Chi phí	0	1	6	-1	∞	**5**

Xét cạnh (2, 5) → cập nhật giá trị mảng lưu vết **path[5] = 2**.

Đỉnh cha	0	1	2	3	4	**5**
Lưu vết	-1	0	1	1	-1	**2**

Bước 1: Chạy thuật toán (j=5)



0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
(0, 1, 1)	(1, 2, 5)	(1, 3, -2)	(1, 5, 7)	(2, 5, -1)	(3, 0, 2)	(3, 2, -1)	(3, 4, 4)	(4, 3, 3)	(5, 4, 1)

dist

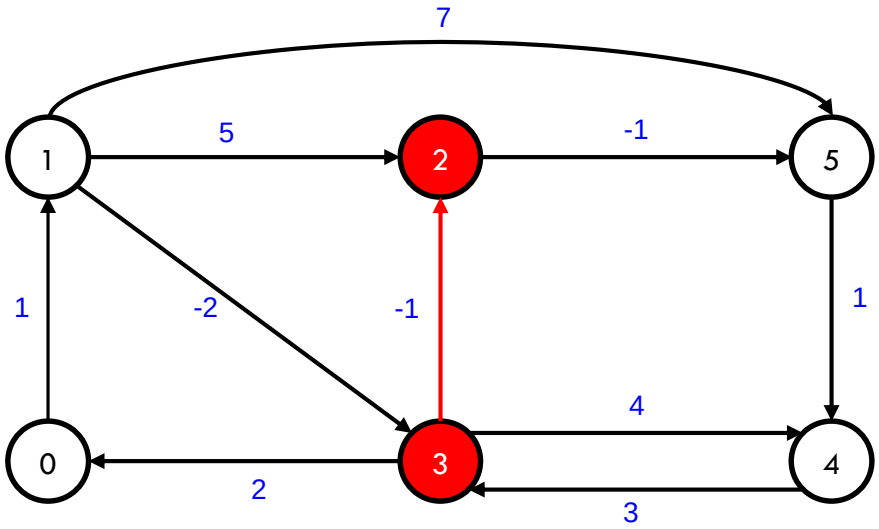
Đỉnh	0	1	2	**3**	4	5
Chi phí	0	1	6	**-1**	∞	5

Lấy cạnh tiếp theo của **graph** (u = 3, v = 0, w = 2) để xem xét:

- Nếu chi phí tại **dist[u] khác** ∞ (-1 khác ∞) ✓
- Và chi phí **dist[u] + w < dist[v]** ((-1) + 2 > 0) ✗

➔ **Không cập nhật.**

Bước 1: Chạy thuật toán (j=6)



0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
(0, 1, 1)	(1, 2, 5)	(1, 3, -2)	(1, 5, 7)	(2, 5, -1)	(3, 0, 2)	(3, 2, -1)	(3, 4, 4)	(4, 3, 3)	(5, 4, 1)

dist

Đỉnh	0	1	2	**3**	4	5
Chi phí	0	1	6	**-1**	∞	5

Lấy cạnh tiếp theo của **graph** (u = 3, v = 2, w = -1) để xem xét:

- Nếu chi phí tại **dist[u] khác** ∞ (-1 khác ∞) ✓
- Và chi phí **dist[u] + w < dist[v]** ((-1) + (-1) < 6) ✓

➔ **Cập nhật dist[v] = dist[u] + w = -2.**

Bước 1: Chạy thuật toán (j=6)

Cập nhật dist[v] = dist[u] + w = -1 + -1 = -2.

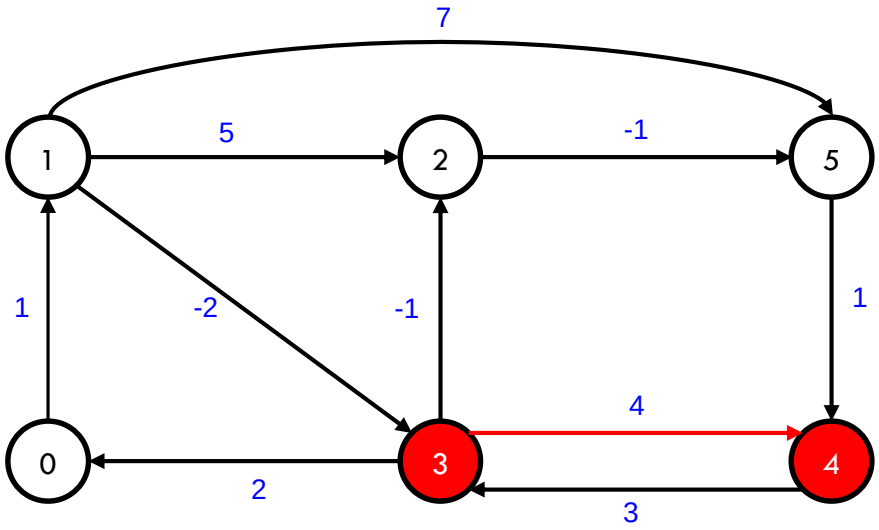
Cập nhật chi phí đỉnh đang xét (đỉnh 2) **dist[2] = -2**.

Đỉnh	0	1	**2**	3	4	5
Chi phí	0	1	**-2**	-1	∞	5

Xét cạnh (3, 2) → cập nhật giá trị mảng lưu vết **path[2] = 3**.

Đỉnh cha	0	1	**2**	3	4	5
Lưu vết	-1	0	**3**	1	-1	2

Bước 1: Chạy thuật toán (j=7)



0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
(0, 1, 1)	(1, 2, 5)	(1, 3, -2)	(1, 5, 7)	(2, 5, -1)	(3, 0, 2)	(3, 2, -1)	(3, 4, 4)	(4, 3, 3)	(5, 4, 1)

dist

Đỉnh	0	1	2	**3**	4	5
Chi phí	0	1	6	**-1**	∞	5

Lấy cạnh tiếp theo của **graph** (u = 3, v = 4, w = 4) để xem xét:

- Nếu chi phí tại **dist[u] khác** ∞ (-1 khác ∞) ✓
- Và chi phí **dist[u] + w < dist[v]** ((-1) + 4 < ∞) ✓

➔ **Cập nhật dist[v] = dist[u] + w = 3.**

Bước 1: Chạy thuật toán (j=7)

Cập nhật dist[v] = dist[u] + w = -1 + 4 = 3.

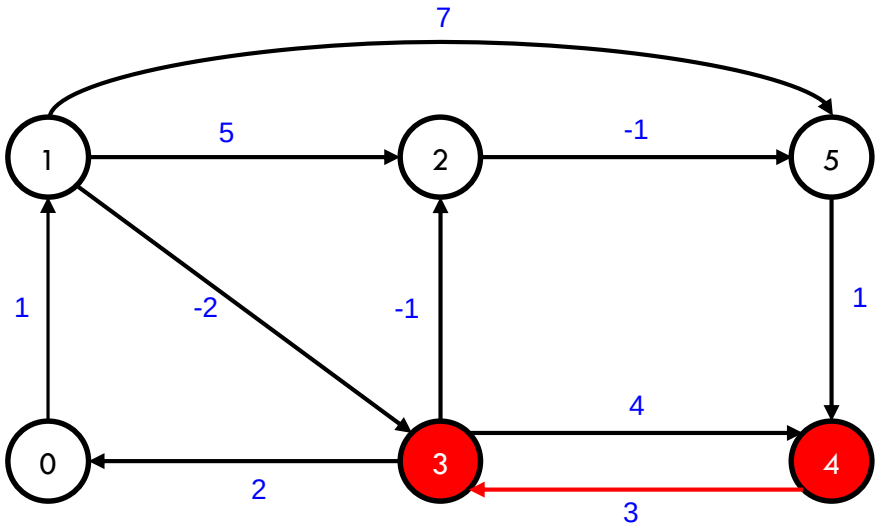
Cập nhật chi phí đỉnh đang xét (đỉnh 4) **dist[4] = 3**.

Đỉnh	0	1	2	3	**4**	5
Chi phí	0	1	-2	-1	**3**	5

Xét cạnh (3, 4) → cập nhật giá trị mảng lưu vết **path[4] = 3**.

Đỉnh cha	0	1	2	3	**4**	5
Lưu vết	-1	0	3	1	**3**	2

Bước 1: Chạy thuật toán (j=8)



0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
(0, 1, 1)	(1, 2, 5)	(1, 3, -2)	(1, 5, 7)	(2, 5, -1)	(3, 0, 2)	(3, 2, -1)	(3, 4, 4)	(4, 3, 3)	(5, 4, 1)

dist

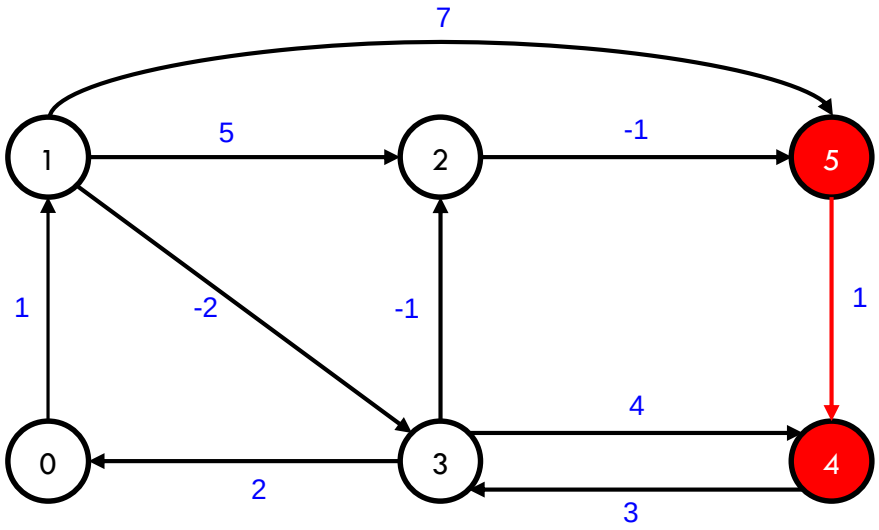
Đỉnh	0	1	2	3	**4**	5
Chi phí	0	1	-2	-1	**3**	5

Lấy cạnh tiếp theo của **graph** (u = 4, v = 3, w = 3) để xem xét:

- Nếu chi phí tại **dist[u] khác** ∞ (3 khác ∞) ✓
- Và chi phí **dist[u] + w < dist[v]** (3 + 3 > -1) ✗

➔ **Không cập nhật.**

Bước 1: Chạy thuật toán (j=9)



0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
(0, 1, 1)	(1, 2, 5)	(1, 3, -2)	(1, 5, 7)	(2, 5, -1)	(3, 0, 2)	(3, 2, -1)	(3, 4, 4)	(4, 3, 3)	(5, 4, 1)

dist

Đỉnh	0	1	2	3	4	**5**
Chi phí	0	1	-2	-1	3	**5**

Lấy cạnh tiếp theo của **graph** (u = 5, v = 4, w = 1) để xem xét:

- Nếu chi phí tại **dist[u] khác** ∞ (5 khác ∞) ✓
- Và chi phí **dist[u] + w < dist[v]** (5 + 1> 3) ✗

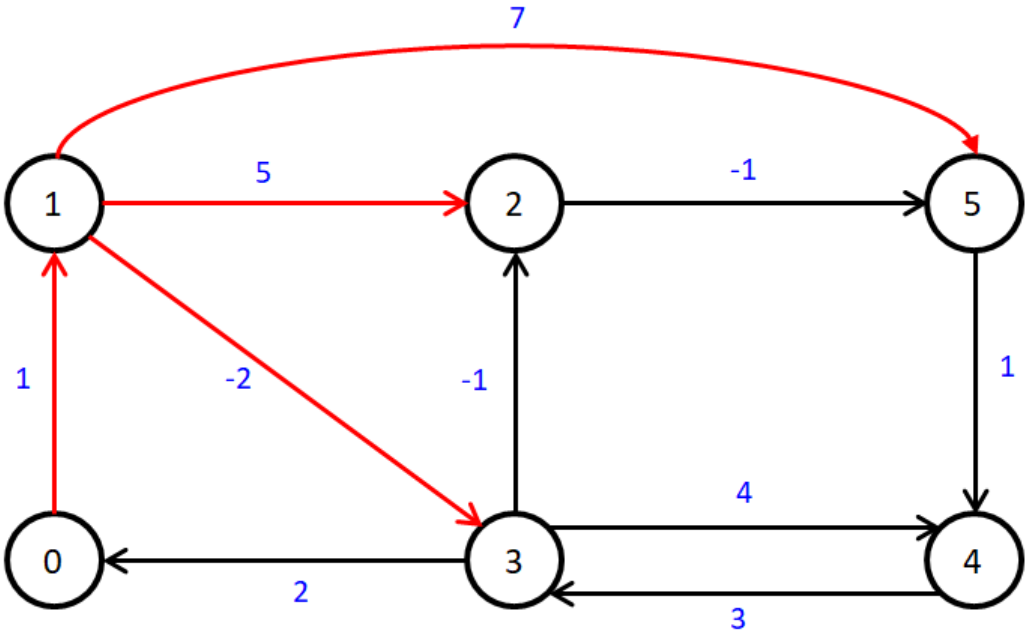
➔ **Không cập nhật.**

BƯỚC 2

CHẠY VÒNG LẶP DUYỆT QUA DANH SÁCH CẠNH LẦN 2

Bước 2: Chạy thuật toán

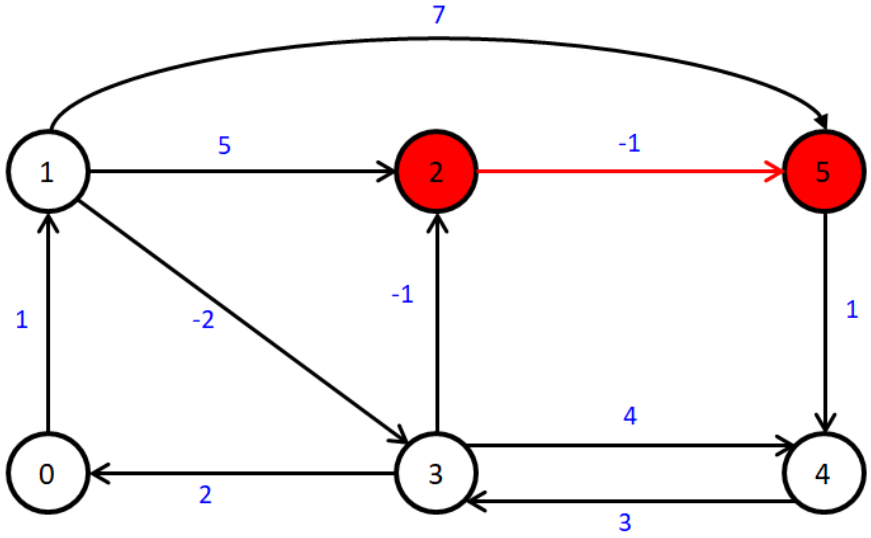
Tương tự như bước 1. Chạy vòng lặp lần lượt với **j=0, j=1, j=2, j=3**.



0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
(0, 1, 1)	(1, 2, 5)	(1, 3, -2)	(1, 5, 7)	(2, 5, -1)	(3, 0, 2)	(3, 2, -1)	(3, 4, 4)	(4, 3, 3)	(5, 4, 1)

➔ **Không cập nhật.**

Bước 2: Chạy thuật toán (j=4)



0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
(0, 1, 1)	(1, 2, 5)	(1, 3, -2)	(1, 5, 7)	(2, 5, -1)	(3, 0, 2)	(3, 2, -1)	(3, 4, 4)	(4, 3, 3)	(5, 4, 1)

dist

Đỉnh	0	1	**2**	3	4	5
Chi phí	0	1	**-2**	-1	3	5

Lấy cạnh tiếp theo của **graph** (u = 2, v = 5, w = -1) để xem xét:

- Nếu chi phí tại **dist[u] khác** ∞ (-2 khác ∞) ✓
- Và chi phí **dist[u] + w < dist[v]** ((-2) + (-1) < 5) ✓

➔ **Cập nhật dist[v] = dist[u] + w = -3.**

Bước 2: Chạy thuật toán (j=4)

Cập nhật dist[v] = dist[u] + w = (-2) + (-1) = -3.

Cập nhật chi phí đỉnh đang xét (đỉnh 5) **dist[5] = -3**.

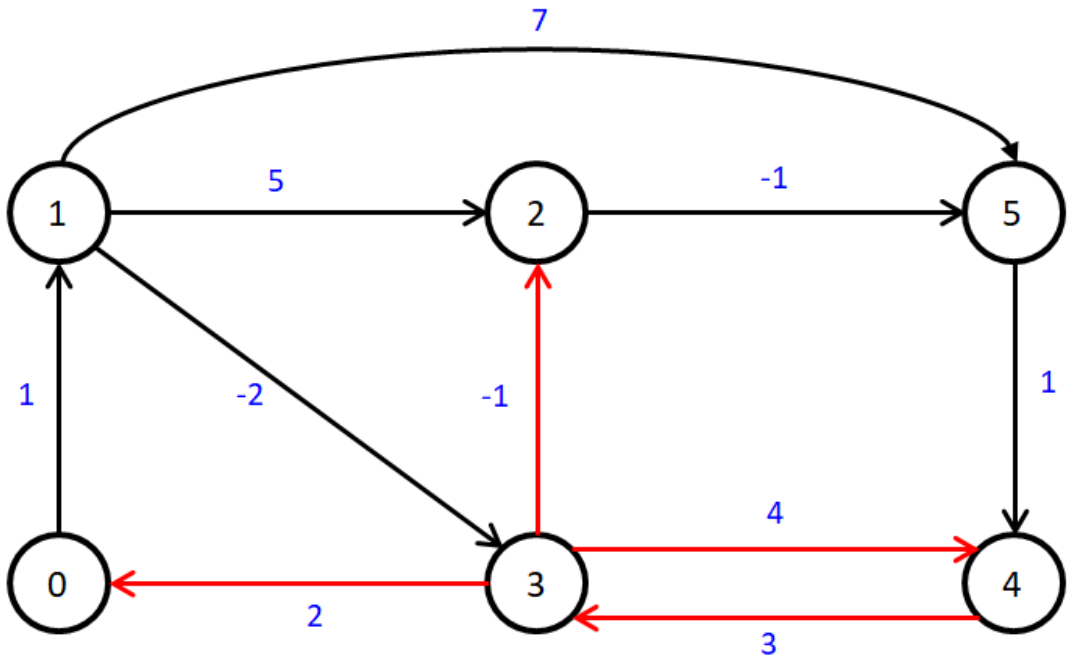
Đỉnh	0	1	2	3	4	**5**
Chi phí	0	1	-2	-1	3	**-3**

Xét cạnh (2, 5) → cập nhật giá trị mảng lưu vết **path[5] = 2**.

Đỉnh cha	0	1	2	3	4	**5**
Lưu vết	-1	0	3	1	3	**2**

Bước 2: Chạy thuật toán

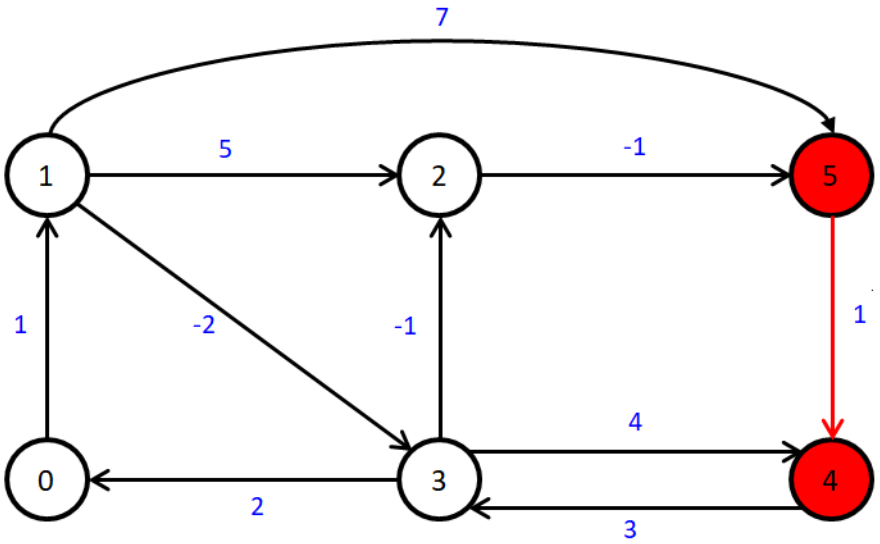
Tương tự như bước 1. Chạy vòng lặp lần lượt với **j=5, j=6, j=7, j=8**.



0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
(0, 1, 1)	(1, 2, 5)	(1, 3, -2)	(1, 5, 7)	(2, 5, -1)	(3, 0, 2)	(3, 2, -1)	(3, 4, 4)	(4, 3, 3)	(5, 4, 1)

➔ **Không cập nhật.**

Bước 2: Chạy thuật toán (j=9)



0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
(0, 1, 1)	(1, 2, 5)	(1, 3, -2)	(1, 5, 7)	(2, 5, -1)	(3, 0, 2)	(3, 2, -1)	(3, 4, 4)	(4, 3, 3)	(5, 4, 1)

dist

Đỉnh	0	1	2	3	4	**5**
Chi phí	0	1	-2	-1	3	**-3**

Lấy cạnh tiếp theo của **graph** (u = 5, v = 4, w = 1) để xem xét:

- Nếu chi phí tại **dist[u] khác** ∞ (-3 khác ∞) ✓
- Và chi phí **dist[u] + w < dist[v]** ((-3) + 1< 3) ✓

➔ **Cập nhật dist[v] = dist[u] + w = -2.**

Bước 2: Chạy thuật toán (j=9)

Cập nhật dist[v] = dist[u] + w = (-3) + 1 = -2.

Cập nhật chi phí đỉnh đang xét (đỉnh 4) **dist[4] = -2**.

Đỉnh	0	1	2	3	**4**	5
Chi phí	0	1	-2	-1	**-2**	-3

Xét cạnh (5, 4) → cập nhật giá trị mảng lưu vết **path[4] = 5**.

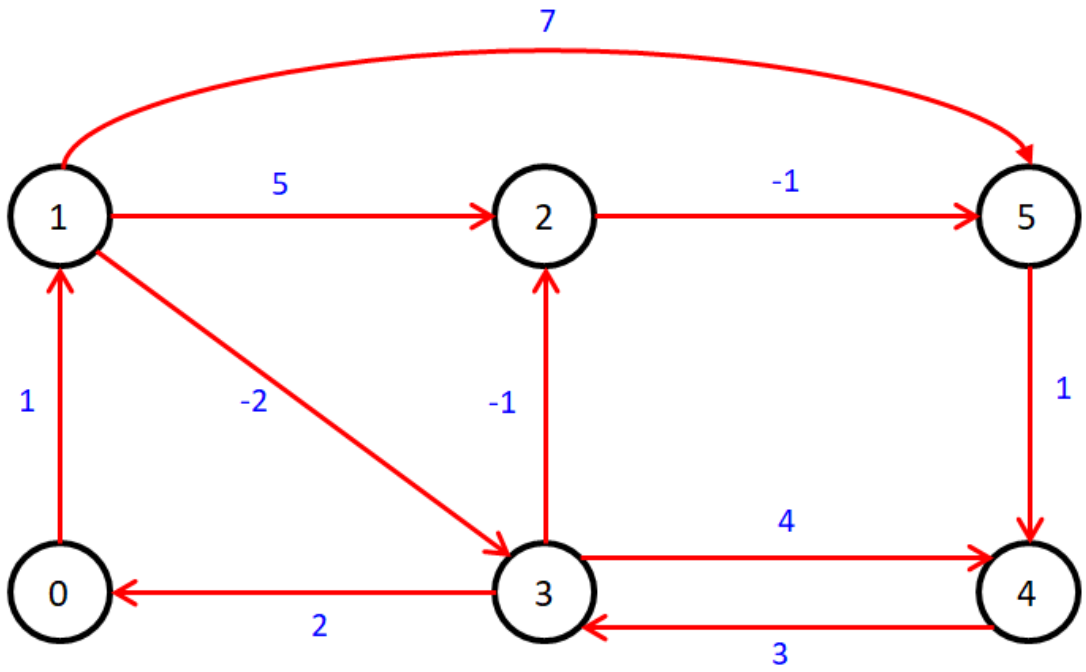
Đỉnh cha	0	1	2	3	**4**	5
Lưu vết	-1	0	3	1	**5**	2

BƯỚC 3

CHẠY VÒNG LẶP DUYỆT QUA DANH SÁCH CẠNH LẦN 3

Bước 3: Chạy thuật toán

Tương tự như bước 1. Chạy vòng lặp lần lượt **từ j=0 đến j=9.**



0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
(0, 1, 1)	(1, 2, 5)	(1, 3, -2)	(1, 5, 7)	(2, 5, -1)	(3, 0, 2)	(3, 2, -1)	(3, 4, 4)	(4, 3, 3)	(5, 4, 1)

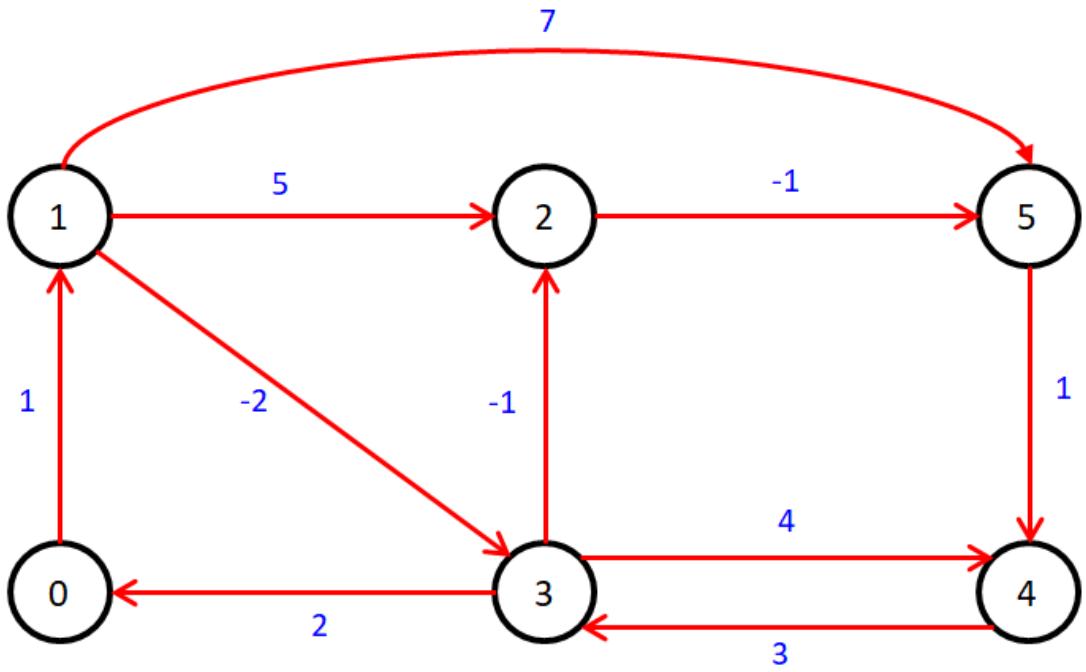
➔ **Không cập nhật.**

BƯỚC 4

CHẠY VÒNG LẶP DUYỆT QUA DANH SÁCH CẠNH LẦN 4

Bước 4: Chạy thuật toán

Tương tự như bước 1. Chạy vòng lặp lần lượt **từ j=0 đến j=9.**



0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
(0, 1, 1)	(1, 2, 5)	(1, 3, -2)	(1, 5, 7)	(2, 5, -1)	(3, 0, 2)	(3, 2, -1)	(3, 4, 4)	(4, 3, 3)	(5, 4, 1)

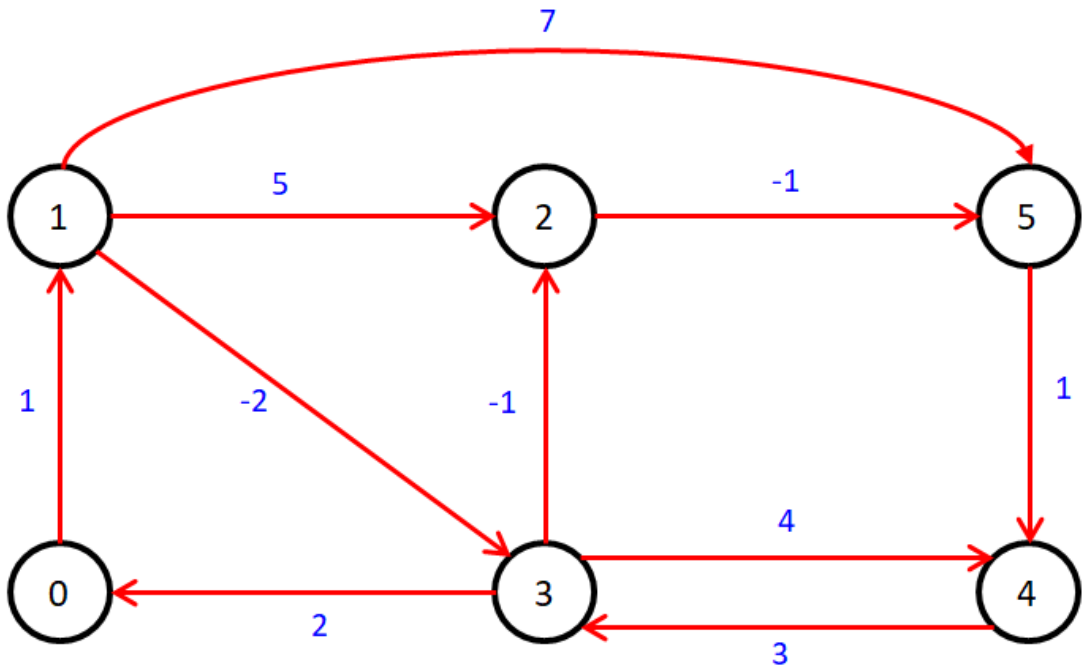
➔ **Không cập nhật.**

BƯỚC 5

CHẠY VÒNG LẶP DUYỆT QUA DANH SÁCH CẠNH LẦN 5

Bước 5: Chạy thuật toán

Tương tự như bước 1. Chạy vòng lặp lần lượt **từ j=0 đến j=9.**



0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
(0, 1, 1)	(1, 2, 5)	(1, 3, -2)	(1, 5, 7)	(2, 5, -1)	(3, 0, 2)	(3, 2, -1)	(3, 4, 4)	(4, 3, 3)	(5, 4, 1)

➔ **Không cập nhật.**

Dừng thuật toán và in ra đường đi

Tìm đường đi ngắn nhất từ 0 đến 4.

path

Đỉnh cha	0	1	2	3	**4**	5
Lưu vết	-1	0	3	1	**5**	2

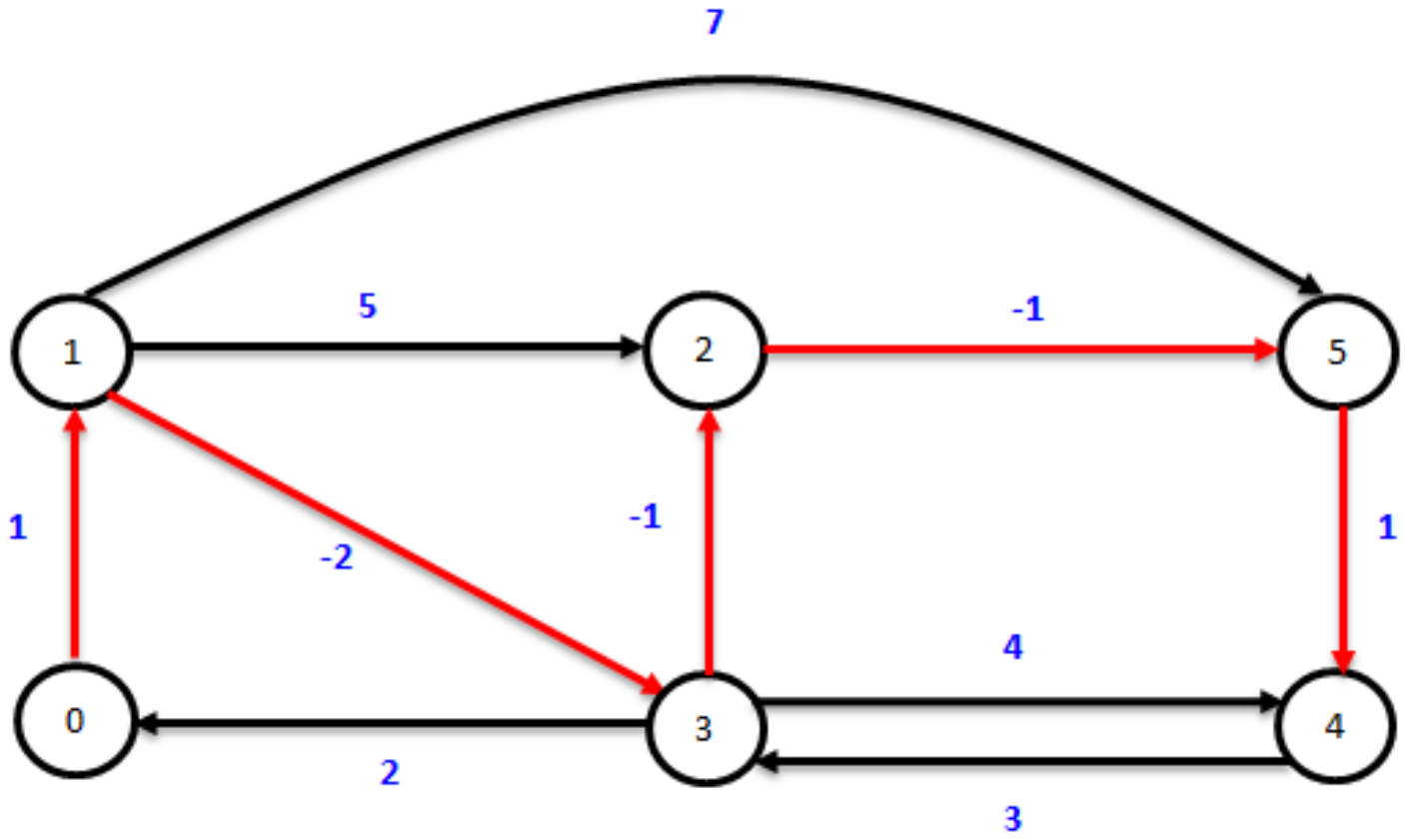
dist

Đỉnh	0	1	2	3	**4**	5
Chi phí	0	1	-2	-1	**-2**	-3

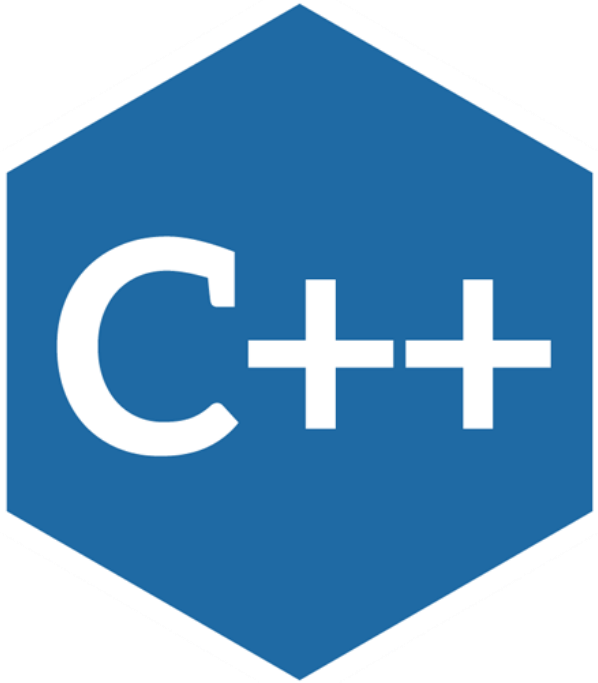
0 → 1 → 3 → 2 → 5 → 4
Chi phí: -2

Đường đi trên đồ thị

0 → 1 → 3 → 2 → 5 → 4
Chi phí: -2



MÃ NGUỒN MINH HỌA BẰNG C++



Source Code Bellman-Ford

Khai báo thư viện và các biến toàn cục:

```cpp
#include <iostream>
#include <vector>
using namespace std;
#define MAX 105
const int INF = 1e9;
struct Edge
{
    int source;
    int target;
    int weight;
};
vector<int> dist(MAX, INF);
vector<Edge> graph;
int n, m;
vector<int> path(MAX, -1);
```

Source Code Bellman-Ford

Thuật toán chính Bellman-Ford (part 1)

```
16. bool BellmanFord(int s)
17. {
18.     int u, v, w;
19.     dist[s] = 0;
20.     for (int i = 1; i <= n - 1; i++)
21.     {
22.         for (int j = 0; j < m; j++)
23.         {
24.             u = graph[j].source;
25.             v = graph[j].target;
26.             w = graph[j].weight;
27.             if (dist[u] != INF && (dist[u] + w < dist[v])) {
28.                 dist[v] = dist[u] + w;
29.                 path[v] = u;
30.             }
31.         }
32.     }
    // to be continued
```

Source Code Bellman-Ford

Thuật toán chính Bellman-Ford (part 2)

```
//Để đảm bảo không tồn tại chu trình âm thì bellman-ford mới tìm được đường đi.
33.     for (int i = 0; i < m; i++)
34.     {
35.         u = graph[i].source;
36.         v = graph[i].target;
37.         w = graph[i].weight;
38.         if (dist[u] != INF && (dist[u] + w < dist[v]))
39.             return false;
40.      }
41.      return true;
42. }
```

Source Code Bellman-Ford

```cpp
int main()
{
    int s, t, u, v, w;
    cin >> n >> m;
    for (int i = 0; i < m; i++)
    {
        cin >> u >> v >> w;
        graph.push_back(Edge(u, v, w));
    }
    s = 0; t = 4;
    bool res = BellmanFord(s);
    if (res == false)
        cout << "Graph contains negative weight cycle" << endl;
    else
        cout << dist[t] << endl;
    return 0;
}
```

MÃ NGUỒN MINH HỌA BẰNG PYTHON

Source Code Bellman-Ford

Khai báo thư viện và các biến toàn cục:

```python
INF = 10**9
MAX = 105

class Edge:
    def __init__(self, source, target, weight):
        self.source = source
        self.target = target
        self.weight = weight

dist = [INF for _ in range(MAX)]
path = [-1 for _ in range(MAX)]
graph = []
```

Source Code Bellman-Ford

```
13. def BellmanFord(s):
14.     dist[s] = 0
15.     for i in range(1, n):
16.         for j in range(m):
17.             u = graph[j].source
18.             v = graph[j].target
19.             w = graph[j].weight
20.             if (dist[u] != INF) and (dist[u] + w < dist[v]):
21.                 dist[v] = dist[u] + w
22.                 path[v] = u
23.     for i in range(m):
24.         u = graph[i].source
25.         v = graph[i].target
26.         w = graph[i].weight
27.         if (dist[u] != INF) and (dist[u] + w < dist[v]):
28.             return False
29.     return True
```

Source Code Bellman-Ford

Hàm main.

```
30. if __name__ == '__main__':
31.     n, m = map(int, input().split())
32.     for i in range(m):
33.         u, v, w = map(int, input().split())
34.         graph.append(Edge(u, v, w))
35.     s, t = 0, 4
36.     res = BellmanFord(s)
37.     if not res:
38.         print("Graph contains negative weight cycle")
39.     else:
40.         print(dist[t])
```

MÃ NGUỒN MINH HỌA BẰNG JAVA

Source Code Bellman-Ford

Class Edge

```java
import java.util.Arrays;
import java.util.Scanner;
class Edge {
    public int source;
    public int target;
    public int weight;

    public Edge(int source, int target, int weight) {
        this.source = source;
        this.target = target;
        this.weight = weight;
    }
}
```

Source Code Bellman-Ford

```
14. public class Main {
15.     private static final int INF = (int)1e9;
16.     private static final int MAX = 105;
17.     private static int[] dist = new int[MAX];
18.     private static Edge[] graph;
19.     private static int n, m;
20.     private static int[] path = new int[MAX];
21.     private static boolean BellmanFord(int s) {
22.         int u, v, w;
23.         dist[s] = 0;
24.         for (int i = 1; i <= n - 1; i++) {
25.             for (int j = 0; j < m; j++) {
26.                 u = graph[j].source;
27.                 v = graph[j].target;
28.                 w = graph[j].weight;
29.                 if (dist[u] != INF && dist[u] + w < dist[v]) {
30.                     dist[v] = dist[u] + w;
31.                     path[v] = u;
32.                 }
33.             }
34.         }
    // to be continued
```

Source Code Bellman-Ford

Thuật toán chính Bellman-Ford (part 2)

```
// kiểm tra chu trình âm
35.         for (int i = 0; i < m; i++) {
36.             u = graph[i].source;
37.             v = graph[i].target;
38.             w = graph[i].weight;
39.             if (dist[u] != INF && dist[u] + w < dist[v]) {
40.                 return false;
41.             }
42.         }
43.         return true;
44.     }
```

Source Code Bellman-Ford

Hàm main (part 1)

```
45.     public static void main(String[] args) {
46.         Scanner sc = new Scanner(System.in);
47.         n = sc.nextInt();
48.         m = sc.nextInt();
49.         graph = new Edge[m];
50.         Arrays.fill(dist, INF);
51.         Arrays.fill(path, -1);
52.         int u, v, w;
53.         for (int i = 0; i < m; i++) {
54.             u = sc.nextInt();
55.             v = sc.nextInt();
56.             w = sc.nextInt();
57.             graph[i] = new Edge(u, v, w);
58.         }
    // to be continued
```

Source Code Bellman-Ford

Hàm main (part 2)

```
59.             int s = 0, t = 4;
60.             boolean res = BellmanFord(s);
61.             if (!res) {
62.                 System.out.println("Graph contains negative weight cycle");
63.             }
64.             else {
65.                 System.out.println(dist[t]);
66.             }
67.         }
68.     }
```

Hỏi đáp