



ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG VIỆT - HÀN  
Vietnam - Korea University of Information and Communication Technology

# CHƯƠNG 2

# ÔTÔMÁT HỮU HẠN



## **Nội dung**

- 1. Ôtômát hữu hạn đơn định (Deterministic Finite Automata-DFA)**
- 2. Ôtômát hữu hạn không đơn định (Non Deterministic Finite Automata-NFA)**
- 3. Sự tương đương giữa DFA và NFA**



# 1. Ôtômát hữu hạn đơn định (Deterministic finite automata–DFA)

## 1.1. Mô tả

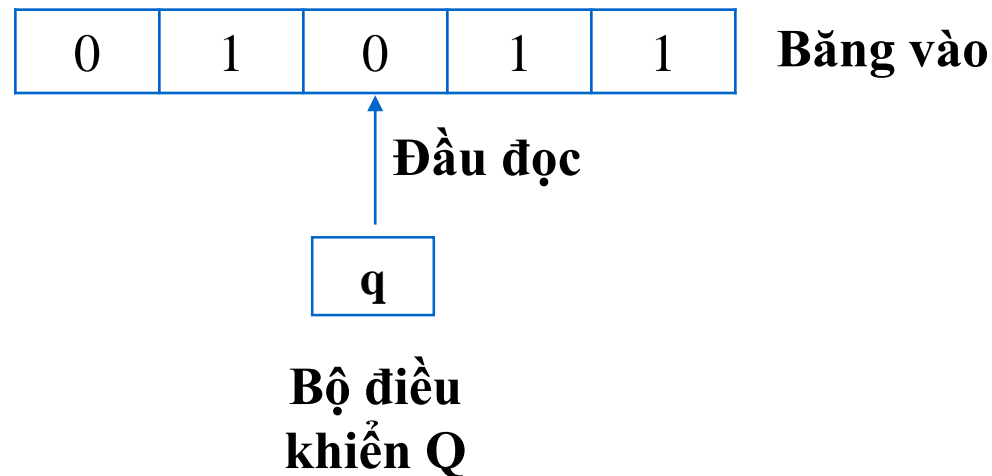
- ❑ Ôtômát hữu hạn đơn định (DFA) là một “cái máy” cho phép đoán nhận xâu.
- ❑ Một ôtômát hữu hạn đơn định gồm các thành phần:
  - **Băng vào:** được chia thành nhiều ô để ghi xâu vào, mỗi ô chứa một ký tự thuộc bảng chữ  $\Sigma$  của xâu vào;
  - **Đầu đọc:** mỗi thời điểm đọc *hay trở đến* một ô trên băng vào;
  - **Bộ điều khiển Q:** tập hợp gồm hữu hạn các trạng thái, tại mỗi thời điểm có một trạng thái được xác định  $q \in Q$ .



# 1. Ôtômát hữu hạn đơn định (Deterministic finite automata–DFA)

## 1.1. Mô tả

□ Sơ đồ minh họa





# 1. Ôtômát hữu hạn đơn định (Deterministic finite automata–DFA)

## 1.1. Mô tả

- ❑ Hoạt động của DFA được thực hiện theo từng bước.
- ❑ Mỗi bước hoạt động của DFA như sau: tùy theo trạng thái hiện hành của bộ điều khiển  $Q$  và ký tự mà đầu đọc trở đến (đang đọc), DFA sẽ chuyển sang một trạng thái mới, đồng thời đầu đọc dịch chuyển sang phải một ô; trong đó trạng thái đầu tiên ở bộ điều khiển  $Q$  là trạng thái đầu của DFA.
- ❑ Quy luật chuyển trạng thái của DFA được mô tả bởi hàm dịch chuyển  $\delta$  (transition function):

$$\delta : Q \times \Sigma \rightarrow Q$$



# 1. Ôtômát hữu hạn đơn định (Deterministic finite automata–DFA)

## 1.1. Mô tả

- ❑ Bộ điều khiển  $Q$  có một trạng thái đầu, ký hiệu  $q_0$  ( $q_0 \in Q$ ) và một tập hợp các trạng thái kết thúc *hay trạng thái cuối, trạng thái thừa nhận*, ký hiệu  $F$  ( $F \subseteq Q$ ).
- ❑ Ta nói DFA thừa nhận (đoán nhận) xâu vào  $w$  nếu xuất phát từ trạng thái đầu  $q_0$  và đầu đọc trở đến ký tự bên trái nhất của xâu  $w$ , sau một số hữu hạn bước dịch chuyển, DFA đọc xong xâu  $w$  và chuyển sang một trong các trạng thái kết thúc thuộc  $F$ .
- ❑ Tập hợp tất cả các xâu được thừa nhận bởi DFA hợp thành ngôn ngữ được thừa nhận bởi DFA đó.



# 1. Ôtômát hữu hạn đơn định (Deterministic finite automata–DFA)

## 1.2. Định nghĩa

- ❑ Một ôtômát hữu hạn đơn định (DFA)  $M$  được định nghĩa bằng một bộ gồm 5 thành phần  $Q, \Sigma, \delta, q_0, F$ , ký hiệu  $M = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$ , trong đó:
  - $Q$  là tập hợp hữu hạn các trạng thái,  $Q = \{q_0, q_1, \dots, q_n\}$ ;
  - $\Sigma$  là bảng chữ vào;
  - $\delta: Q \times \Sigma \rightarrow Q$  là hàm dịch chuyển, trong đó  $\delta$  có thể được viết dưới dạng  $\delta(q, a) = p$ , nghĩa là ôtômát đang ở trạng thái  $q$  và đọc ký tự  $a$  sẽ chuyển sang trạng thái  $p$  (với mỗi  $q$  và  $a$  thì  $p$  là duy nhất);
  - $q_0 \in Q$  là trạng thái đầu;
  - $F$  là tập hợp gồm các trạng thái kết thúc ( $F \subseteq Q$ ).



# 1. Ôtômát hữu hạn đơn định (Deterministic finite automata–DFA)

## 1.2. Định nghĩa

- Ví dụ: Cho DFA  $M_1=(Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$ , trong đó:

$$Q=\{0,1\}$$

$$\Sigma=\{a,b\}$$

$$q_0: 0$$

$$F=\{1\}$$

và hàm dịch chuyển  $\delta$ :  $\delta(0,a)=0$ ,  $\delta(0,b)=1$ ,  $\delta(1,a)=0$ ,  $\delta(1,b)=1$ .

Hay có thể định nghĩa DFA  $M_1=(\{0,1\},\{a,b\},\delta,0,\{1\})$  với hàm dịch chuyển  $\delta$ :  $\delta(0,a)=0$ ,  $\delta(0,b)=1$ ,  $\delta(1,a)=0$ ,  $\delta(1,b)=1$ .





# 1. Ôtômát hữu hạn đơn định (Deterministic finite automata–DFA)

## 1.2. Định nghĩa

- Ví dụ: Cho DFA  $M_2 = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$ , trong đó:

$$Q = \{q_0, q_1, q_2\}$$

$$\Sigma = \{0, 1\}$$

$$q_0: q_0$$

$$F = \{q_2\}$$

và hàm dịch chuyển  $\delta$ :  $\delta(q_0, 0) = q_1$ ,  $\delta(q_0, 1) = q_0$ ,  $\delta(q_1, 0) = q_1$ ,  
 $\delta(q_1, 1) = q_2$ ,  $\delta(q_2, 0) = q_2$ ,  $\delta(q_2, 1) = q_2$

Hay có thể định nghĩa DFA  $M_2 = (\{q_0, q_1, q_2\}, \{0, 1\}, \delta, q_0, \{q_2\})$  với hàm dịch chuyển  $\delta$ :  $\delta(q_0, 0) = q_1$ ,  $\delta(q_0, 1) = q_0$ ,  
 $\delta(q_1, 0) = q_1$ ,  $\delta(q_1, 1) = q_2$ ,  $\delta(q_2, 0) = q_2$ ,  $\delta(q_2, 1) = q_2$



# 1. Ôtômát hữu hạn đơn định (Deterministic finite automata–DFA)

## 1.3. Hoạt động đoán nhận xâu của DFA

- ❑ Giả sử  $w=a_1a_2...a_n$  là xâu vào.
- ❑ DFA bắt đầu với trạng thái  $q_0$ , thực hiện dịch chuyển  $\delta(q_0,a_1)$  và giả sử cho kết quả là trạng thái  $q_1$ , tức là  $\delta(q_0,a_1)=q_1$ .
- ❑ Tiếp tục, DFA đang ở trạng thái  $q_1$  và ký tự đọc tiếp theo là  $a_2$ , nên sẽ thực hiện dịch chuyển  $\delta(q_1,a_2)$  và giả sử cho kết quả là trạng thái  $q_2$ , tức là  $\delta(q_1,a_2)=q_2$ .



# 1. Ôtômát hữu hạn đơn định (Deterministic finite automata–DFA)

## 1.3. Hoạt động đoán nhận xâu của DFA

- ❑ DFA thực hiện tiếp tục như vậy cho đến khi đọc ký tự  $a_n$  sẽ chuyển sang trạng thái  $q_n$  nào đó.
- Nếu  $q_n \in F$  thì DFA thừa nhận xâu vào  $w$ ,
- Ngược lại thì DFA không thừa nhận xâu vào  $w$  (hay *xâu vào  $w$  không được thừa nhận*).
- ❑ Nếu không thể đọc xong xâu vào  $w$  (tức là đọc đến ký tự  $a_j$  với  $1 \leq j \leq n$  và hàm  $\delta(q_{j-1}, a_j)$  không xác định) thì xâu vào  $w$  không được thừa nhận.



# 1. Ôtômát hữu hạn đơn định (Deterministic finite automata–DFA)

## 1.4. Các biểu diễn khác của DFA

- ❑ Dùng **Bảng dịch chuyển** (transition table)
- ❑ Cho DFA  $M = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$
- ❑ Bảng dịch chuyển biểu diễn DFA  $M = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$  là một ma trận, trong đó:
  - Chỉ số hàng: các trạng thái thuộc  $Q$ ;
  - Chỉ số cột: các ký tự thuộc  $\Sigma$ ;
  - Giá trị tại hàng  $q$  ( $q \in Q$ ), cột  $a$  ( $a \in \Sigma$ ) là trạng thái  $p$ , sao cho  $\delta(q, a) = p$  (nếu  $\delta(q, a)$  không xác định thì để trống);
  - Trạng thái đầu được đánh dấu ‘>’ hay ‘ $\rightarrow$ ’;
  - Trạng thái kết thúc được đánh dấu ‘\*’.



# 1. Ôtômát hữu hạn đơn định (Deterministic finite automata–DFA)

## 1.4. Các biểu diễn khác của DFA

- Ví dụ: Cho DFA  $M=(Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$ , trong đó:

$$Q=\{1,2\}, \Sigma=\{a,b,c\}, q_0:1, F=\{2\}$$

và hàm dịch chuyển  $\delta$ :  $\delta(1,a)=2, \delta(2,b)=2, \delta(2,c)=2$

Biểu diễn DFA M bằng bảng dịch chuyển:

$\delta$	a	b	c
$>1$	2		
$*2$		2	2



# 1. Ôtômát hữu hạn đơn định (Deterministic finite automata–DFA)

## 1.4. Các biểu diễn khác của DFA

- ❑ Dùng **Biểu đồ dịch chuyển** (transition diagram)
- ❑ Biểu đồ dịch chuyển biểu diễn DFA  $M=(Q,\Sigma,\delta,q_0,F)$  là một đồ thị có hướng được định nghĩa như sau:
  - Mỗi trạng thái  $q \in Q$  là một nút (đỉnh) và được đặt trong vòng tròn;
  - Với mỗi trạng thái  $q \in Q$  và mỗi ký tự  $a \in \Sigma$ , sao cho  $\delta(q,a)=p \in Q$ : biểu diễn một cung đi từ nút  $q$  đến nút  $p$  và gán nhãn  $a$  (nếu có nhiều ký tự tạo ra dịch chuyển từ  $q$  đến  $p$  thì chỉ cần biểu diễn một cung gán nhãn là danh sách các ký tự đó);
  - Trạng thái bắt đầu  $q_0$  có thêm dấu ' $>$ ' hay ' $\rightarrow$ ' ở trước;
  - Trạng thái kết thúc  $q \in F$  được đặt trong vòng tròn kép.

# 1. Ôtômát hữu hạn đơn định (Deterministic finite automata–DFA)

## 1.4. Các biểu diễn khác của DFA

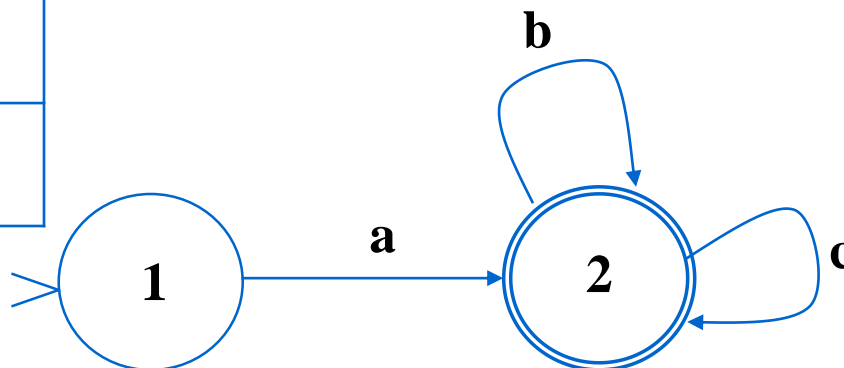
- Ví dụ: Cho DFA  $M=(Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$ , trong đó:

$$Q=\{1,2\}, \Sigma=\{a,b,c\}, q_0: 1, F=\{2\}$$

và hàm dịch chuyển  $\delta$ :  $\delta(1,a)=2, \delta(2,b)=2, \delta(2,c)=2$

Biểu diễn DFA M bằng biểu đồ dịch chuyển:

$\delta$	a	b	c
$\rightarrow 1$	2		
$*2$		2	2





# 1. Ôtômat hữu hạn đơn định (Deterministic finite automata–DFA)

## 1.5. Hàm dịch chuyển mở rộng

- ❑ Ta nhận thấy DFA đoán nhận ngôn ngữ gồm các xâu là kết quả của quá trình dịch chuyển từ trạng thái đầu đến một trong các trạng thái kết thúc.
- ❑ Để xác định ngôn ngữ được thừa nhận bởi một DFA, ta định nghĩa hàm dịch chuyển mở rộng (extended transition function)
- ❑ Hàm dịch chuyển mở rộng, ký hiệu  $\delta^*$ , nhận hai tham số là trạng thái  $q$ , xâu  $w$  và cho kết quả là trạng thái  $p$ . Tức là DFA đang ở trạng thái  $q$ , sau khi đọc xong vào  $w$  thì DFA chuyển sang trạng thái  $p$ .





# 1. Ôtômát hữu hạn đơn định (Deterministic finite automata–DFA)

## 1.5. Hàm dịch chuyển mở rộng

□ Nhận xét:

- DFA đang ở trạng thái  $q_1$  đọc xong xâu  $w=a_1a_2...a_{i-1}$  sẽ chuyển sang trạng thái  $q_i$
- Ta có:  $\delta(q_1, a_1)=q_2, \delta(q_2, a_2)=q_3, ..., \delta(q_{i-1}, a_{i-1})=q_i$
- Có thể biểu diễn dãy dịch chuyển trạng thái trên như sau:  $\delta^*(q_1, w)=q_i$
- Đặt  $w=xa_{i-1}$ , ta có  $\delta^*(q_1, w)=\delta(\delta^*(q_1, x), a_{i-1})=q_i$  (hàm dịch chuyển mở rộng).



# 1. Ôtômát hữu hạn đơn định (Deterministic finite automata–DFA)

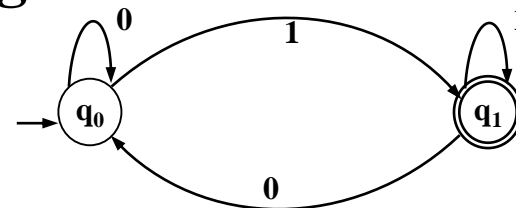
## 1.5. Hàm dịch chuyển mở rộng

- Hàm dịch chuyển mở rộng  $\delta^*$  được định nghĩa đệ quy trên độ dài của chuỗi  $w$  như sau:
  - $\delta^*(q, \epsilon) = q$  với mọi trạng thái  $q \in Q$ , tức là nếu DFA không đọc ký tự vào nào thì vẫn ở trạng thái đó (không thay đổi trạng thái)
  - $\delta^*(q, w) = \delta(\delta^*(q, x), a)$ , với  $w = xa$ ,  $x \in \Sigma^*$  và  $a \in \Sigma$ .

# 1. Ôtômát hữu hạn đơn định (Deterministic finite automata–DFA)

## 1.5. Hàm dịch chuyển mở rộng

■ Ví dụ: Cho DFA M



$$\delta^*(q_0, \varepsilon) = q_0$$

$$\delta^*(q_0, 1) = \delta^*(q_0, \varepsilon 1) = \delta(\delta^*(q_0, \varepsilon), 1) = \delta(q_0, 1) = q_1$$

$$\delta^*(q_0, 10) = \delta(\delta^*(q_0, 1), 0) = \delta(q_1, 0) = q_0$$

$$\delta^*(q_0, 101) = \delta(\delta^*(q_0, 10), 1) = \delta(q_0, 1) = q_1$$

$$\delta^*(q_0, 1011) = \delta(\delta^*(q_0, 101), 1) = \delta(q_1, 1) = q_1$$

$$\delta^*(q_0, 10110) = \delta(\delta^*(q_0, 1011), 0) = \delta(q_1, 0) = q_0$$

$$\delta^*(q_0, 101101) = \delta(\delta^*(q_0, 10110), 1) = \delta(q_0, 1) = q_1$$

Quá trình đoán nhận xâu ở trên được biểu diễn như sau:

$$q_0 101101 \Rightarrow q_1 01101 \Rightarrow q_0 1101 \Rightarrow q_1 101 \Rightarrow q_1 01 \Rightarrow q_0 1 \Rightarrow q_1 \in F.$$



# 1. Ôtômat hữu hạn đơn định (Deterministic finite automata–DFA)

## 1.5. Hàm dịch chuyển mở rộng

- Ví dụ: Cho DFA  $M=(Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$ , trong đó:

$$Q=\{1,2\}, \Sigma=\{a,b,c\}, q_0: 1, F=\{2\}$$

và hàm dịch chuyển  $\delta$ :  $\delta(1,a)=2, \delta(2,b)=2, \delta(2,c)=2$

Tìm  $\delta^*(1,abbcbbccc)$ ?



# 1. Ôtômát hữu hạn đơn định (Deterministic finite automata–DFA)

## 1.5. Hàm dịch chuyển mở rộng

□ Như vậy chuỗi  $w$  được đoán nhận bởi DFA  $M=(Q,\Sigma,\delta,q_0,F)$ , khi và chỉ khi  $\delta^*(q_0,w)=p \in F$ .

■ Ví dụ: Cho DFA  $M=(\{0,1,2,3,4\},\{a,b\},\delta,0,\{4\})$

và hàm dịch chuyển  $\delta$ :  $\delta(0,a)=1, \delta(1,b)=2, \delta(2,a)=3,$   
 $\delta(2,b)=4, \delta(3,a)=3, \delta(3,b)=4, \delta(4,b)=4$

Chuỗi  $w=abaabbb$  có được thừa nhận không?



# 1. Ôtômát hữu hạn đơn định (Deterministic finite automata–DFA)

## 1.5. Hàm dịch chuyển mở rộng

■ Ví dụ:

$$\delta^*(0, \varepsilon) = 0$$

$$\delta^*(0, a) = \delta^*(0, \varepsilon a) = \delta(\delta^*(0, \varepsilon), a) = \delta(0, a) = 1$$

$$\delta^*(0, ab) = \delta(\delta^*(0, a), b) = \delta(1, b) = 2$$

$$\delta^*(0, aba) = \delta(\delta^*(0, ab), a) = \delta(2, a) = 3$$

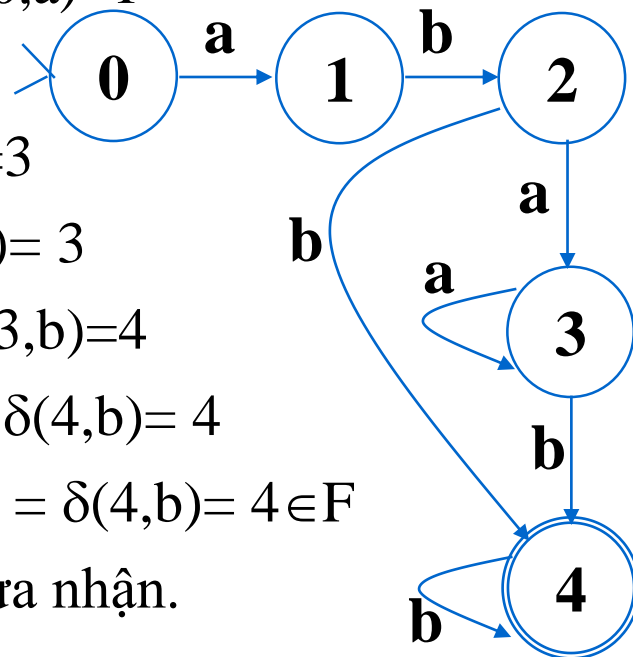
$$\delta^*(0, abaa) = \delta(\delta^*(0, aba), a) = \delta(3, a) = 3$$

$$\delta^*(0, abaab) = \delta(\delta^*(0, abaa), b) = \delta(3, b) = 4$$

$$\delta^*(0, abaabb) = \delta(\delta^*(0, abaab), b) = \delta(4, b) = 4$$

$$\delta^*(0, abaabbb) = \delta(\delta^*(0, abaabb), b) = \delta(4, b) = 4 \in F$$

Như vậy chuỗi  $w=abaabbb$  được thừa nhận.



# 1. Ôtômát hữu hạn đơn định (Deterministic finite automata–DFA)

## 1.5. Hàm dịch chuyển mở rộng

■ Ví dụ:

Ta có thể viết lại như sau:

$0abaabbb \Rightarrow 1baabbb$

$\Rightarrow 2aabbb$

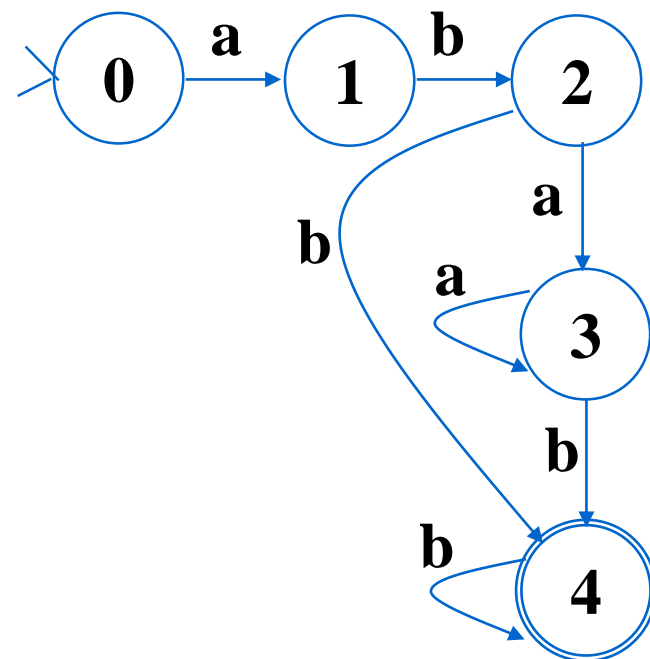
$\Rightarrow 3abbb$

$\Rightarrow 3bbb$

$\Rightarrow 4bb$

$\Rightarrow 4b$

$\Rightarrow 4 \in F.$



Như vậy chuỗi  $w$  được thừa nhận

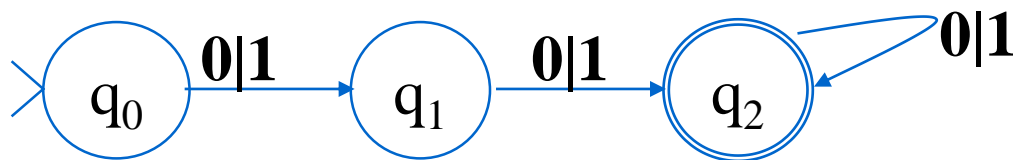
# 1. Ôtômát hữu hạn đơn định (Deterministic finite automata–DFA)

## 1.6. Ngôn ngữ được đoán nhận bởi DFA

- ❑ Cho DFA  $M = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$ .
- ❑ Ngôn ngữ được thừa nhận *hay được đoán nhận* bởi  $M$ , ký hiệu  $L(M)$ , được định nghĩa như sau:

$$L(M) = \{w \in \Sigma^* \mid \delta^*(q_0, w) = p \text{ với } p \in F\}$$

- Ví dụ: Cho DFA  $M$  được biểu diễn bằng biểu đồ dịch chuyển



Ta thấy:  $L(M) = \{w \in \{0,1\}^* \mid |w| \geq 2\}$





# 1. Ôtômát hữu hạn đơn định (Deterministic finite automata–DFA)

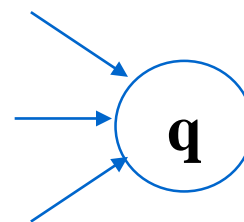
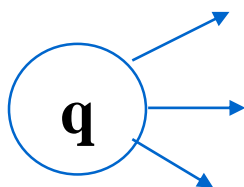
## 1.6. Ngôn ngữ được đoán nhận bởi DFA

- ❑ Cho DFA  $M = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$ .
- ❑ Ngôn ngữ  $L(M)$  được gọi là ngôn ngữ chính quy (regular language).
- ❑ Nghĩa là, ngôn ngữ được thừa nhận bởi một DFA là ngôn ngữ chính quy.

# 1. Ôtômát hữu hạn đơn định (Deterministic finite automata–DFA)

## ❑ Trạng thái không chấp nhận được

- Nút (trạng thái) không có mũi tên đi vào mà chỉ có mũi tên đi ra (trừ trạng thái bắt đầu).
- Nút (trạng thái) chỉ có mũi tên đi vào mà không có mũi tên đi ra (trừ trạng thái kết thúc)





# 1. Ôtômát hữu hạn đơn định (Deterministic finite automata–DFA)

## Bài tập

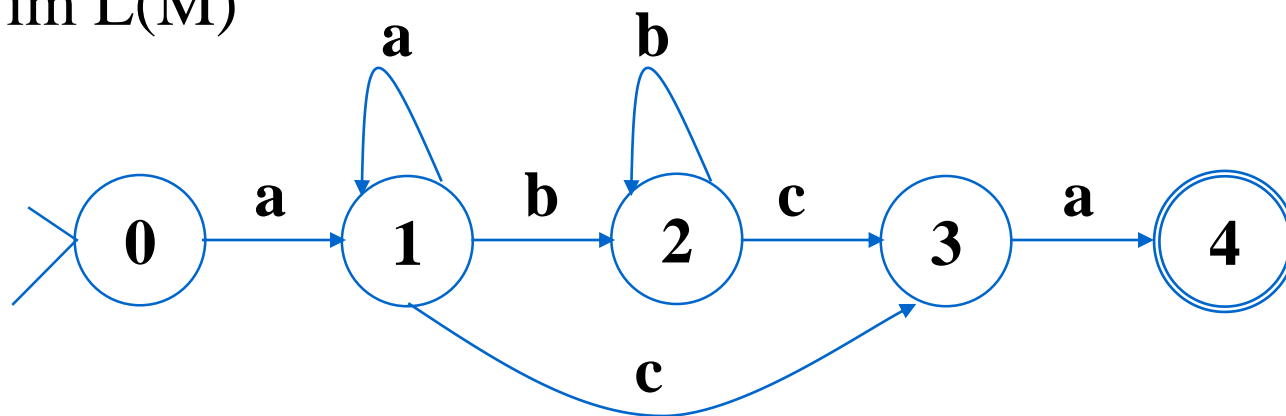
1. Cho DFA M theo biểu đồ dịch chuyển

a. Biểu diễn M bằng  $M=(Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$  và bảng dịch chuyển.

b. Kiểm tra xâu x có được đoán nhận hay không?

x: aabbca, abbbca, abbaca, aaaca

c. Tìm  $L(M)$





# 1. Ôtômát hữu hạn đơn định (Deterministic finite automata–DFA)

## Bài tập

2. Cho DFA  $M=(Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$ , trong đó:

$Q=\{q_0, q_1, q_2\}$ ,  $\Sigma=\{a,b\}$ ,  $q_0: q_0$ ,  $F=\{q_2\}$

và hàm dịch chuyển  $\delta$ :  $\delta(q_0,a)=q_0$   $\delta(q_0,b)=q_1$ ,  
 $\delta(q_1,a)=q_0$ ,  $\delta(q_1,b)=q_2$ ,  $\delta(q_2,a)=q_2$ ,  $\delta(q_2,b)=q_2$

a. Biểu diễn  $M$  bằng bảng dịch chuyển, biểu đồ dịch chuyển

b. Tìm  $L(M)$ .



# 1. Ôtômát hữu hạn đơn định (Deterministic finite automata–DFA)

## Bài tập

3. Cho DFA  $M=(Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$ , trong đó:

$Q=\{q_0, q_1, q_2\}$ ,  $\Sigma=\{0,1\}$ ,  $q_0: q_0$ ,  $F=\{q_1, q_2\}$

và hàm dịch chuyển  $\delta$ :  $\delta(q_0,0)=q_0$   $\delta(q_0,1)=q_1$ ,  
 $\delta(q_1,1)=q_2$ ,  $\delta(q_2,0)=q_2, \delta(q_2,1)=q_2$

- Biểu diễn  $M$  bằng bảng dịch chuyển, biểu đồ dịch chuyển
- Tìm  $L(M)$ .



# 1. Ôtômat hữu hạn đơn định (Deterministic finite automata–DFA)

## Bài tập

4. Xây dựng DFA M đoán nhận ngôn ngữ  $L(M)$  sau:

- $L(M) = \{0(10)^n \text{ với } n \text{ là số nguyên dương}\}$
- $L(M) = \{0^n 1^m \text{ với } n, m \text{ là số nguyên dương}\}$
- $L(M) = \{0^n 1^m \text{ với } n \text{ là số nguyên không âm, } m \text{ là số nguyên dương}\}$
- $L(M) = \{a b a^n b^m \text{ với } n, m \text{ là số nguyên dương}\}$
- $L(M) = \{a b c^n b^m \text{ với } n \text{ là số nguyên không âm, } m \text{ là số nguyên dương}\}$



# 1. Ôtômát hữu hạn đơn định (Deterministic finite automata–DFA)

## Bài tập

5. Xây dựng DFA  $M$  đoán nhận  $L(M)$  là ngôn ngữ gồm:

- Các số nhị phân
- Các số nhị phân chẵn
- Các số nhị phân lẻ
- Các số nhị phân chẵn có độ dài xâu lớn hơn 2
- Các số nguyên có dấu
- Các số nguyên không dấu
- Các số nguyên không dấu của ngôn ngữ lập trình C
- Các số thực tĩnh có dấu của ngôn ngữ lập trình C.
- Các số thực tĩnh không dấu của ngôn ngữ lập trình C.



## 2. Ôtômat hữu hạn không đơn định (Nondeterministic finite automata-NFA)

### 2.1. Định nghĩa

- Một ôtômat hữu hạn không đơn định (NFA)  $M$  được định nghĩa bằng một bộ gồm 5 thành phần  $Q, \Sigma, \delta, q_0, F$ , ký hiệu  $M = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$ , trong đó:
  - $Q$  là tập hợp hữu hạn các trạng thái,  $Q = \{q_0, q_1, \dots, q_n\}$ ;
  - $\Sigma$  là bảng chữ vào;
  - Hàm dịch chuyển  $\delta: Q \times (\Sigma \cup \{\varepsilon\}) \rightarrow$  tập các tập hợp con của  $Q$ , tức là  $\delta(q, a) = P$  với  $q \in Q$ ,  $a \in (\Sigma \cup \{\varepsilon\})$  và  $P \subseteq Q$ ; nếu  $\delta(q, a)$  không xác định thì  $\delta(q, a) = \emptyset$ .
  - $q_0 \in Q$  là trạng thái đầu;
  - $F$  là tập hợp gồm các trạng thái kết thúc ( $F \subseteq Q$ ).





## 2. Ôtômat hữu hạn không đơn định (Nondeterministic finite automata-NFA)

### 2.1. Định nghĩa

- ❑ Sự khác biệt cơ bản giữa DFA và NFA:
  - Đầu vào của hàm dịch chuyển  $\delta$ : NFA có thể đọc sâu rỗng  $\epsilon$  và dịch chuyển trạng thái, trong khi đó DFA không đọc sâu rỗng.
  - Đầu ra của hàm dịch chuyển  $\delta$ : DFA dịch chuyển sang một trạng thái duy nhất thuộc tập  $Q$ , trong khi NFA có thể dịch chuyển sang tập hợp các trạng thái là tập hợp con của  $Q$ .
  - Do đó quá trình đoán nhận sâu của DFA là duy nhất, còn quá trình đoán nhận sâu của NFA có thể không duy nhất.



## 2. Ôtômat hữu hạn không đơn định (Nondeterministic finite automata-NFA)

### 2.1. Định nghĩa

- Ví dụ: Cho NFA  $M_1 = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$ , trong đó:

$$Q = \{q_0, q_1, q_2\}$$

$$\Sigma = \{0, 1\}$$

$$q_0: q_0$$

$$F = \{q_2\}$$

và hàm dịch chuyển  $\delta$ :  $\delta(q_0, 0) = \{q_1\}$ ,  $\delta(q_0, 1) = \{q_1\}$ ,  
 $\delta(q_1, 0) = \{q_2\}$ ,  $\delta(q_1, 1) = \{q_2\}$ ,  $\delta(q_2, \epsilon) = \{q_0\}$ .

Hay có thể định nghĩa NFA  $M_1 = (\{q_0, q_1, q_2\}, \{0, 1\}, \delta, q_0, \{q_2\})$  với hàm dịch chuyển  $\delta$ :  $\delta(q_0, 0) = \{q_1\}$ ,  
 $\delta(q_0, 1) = \{q_1\}$ ,  $\delta(q_1, 0) = \{q_2\}$ ,  $\delta(q_1, 1) = \{q_2\}$ ,  $\delta(q_2, \epsilon) = \{q_0\}$ .



## 2. Ôtômat hữu hạn không đơn định (Nondeterministic finite automata-NFA)

### 2.1. Định nghĩa

- Ví dụ: Cho NFA  $M_2 = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$ , trong đó:

$$Q = \{q_0, q_1, q_2\}$$

$$\Sigma = \{0, 1\}$$

$$q_0: q_0$$

$$F = \{q_2\}$$

và hàm dịch chuyển  $\delta$ :

$$\delta(q_0, 0) = \{q_1\}, \delta(q_1, 0) = \{q_1\}, \delta(q_1, 1) = \{q_1, q_2\}$$

Hay có thể định nghĩa NFA  $M_2 = (\{q_0, q_1, q_2\}, \{0, 1\}, \delta, q_0, \{q_2\})$  với hàm dịch chuyển  $\delta$ :

$$\delta(q_0, 0) = \{q_1\}, \delta(q_1, 0) = \{q_1\}, \delta(q_1, 1) = \{q_1, q_2\}.$$



## 2. Ôtômat hữu hạn không đơn định (Nondeterministic finite automata-NFA)

### 2.2. Hoạt động đoán nhận xâu của NFA

- ❑ Giả sử  $w=a_1a_2...a_n$  là xâu vào.
- ❑ NFA sẽ bắt đầu từ trạng thái  $q_0$  và đọc ký tự  $a_1$
- ❑ Với trạng thái  $q_0$ , ký tự  $a_1$  và thực hiện hàm dịch chuyển  $\delta(q_0,a_1)=\{p_1,p_2,...,p_k\}$ , NFA xác định các trạng thái có thể tiếp theo là  $p_1,p_2,...,p_k$  và đầu đọc chuyển sang  $a_2$ .
- ❑ Tiếp tục với mỗi  $p_i \in \{p_1,p_2,...,p_k\}$  ( $1 \leq i \leq k$ ) và ký tự tiếp theo là  $a_2$ , NFA xác định tập hợp các trạng thái tiếp theo có thể chuyển sang được.



## 2. Ôtômat hữu hạn không đơn định (Nondeterministic finite automata-NFA)

### 2.2. Hoạt động đoán nhận xâu của NFA

- ❑ NFA tiếp tục như vậy cho đến khi đọc  $a_n$  (đọc hết xâu  $w$ ) thì sẽ chuyển sang tập hợp các trạng thái  $P$  nào đó. Nếu  $P \cap F \neq \emptyset$  thì NFA thừa nhận xâu vào  $w$ , ngược lại thì xâu vào  $w$  không được thừa nhận.
- ❑ Nếu tập hợp các trạng thái tiếp theo sau khi đọc  $a_j$  nào đó ( $1 \leq j \leq n$ ) là tập hợp rỗng thì NFA không thừa nhận xâu  $w$ .



## 2. Ôtômat hữu hạn không đơn định (Nondeterministic finite automata-NFA)

### 2.3. Các biểu diễn khác của NFA

- ❑ Dùng **Bảng dịch chuyển** (transition table)
- ❑ Bảng dịch chuyển biểu diễn NFA  $M=(Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$  là một ma trận, trong đó:
  - Chỉ số hàng: các trạng thái thuộc  $Q$ ;
  - Chỉ số cột: các ký tự thuộc  $\Sigma$  và  $\varepsilon$  (nếu  $\forall q \in Q, \forall a \in \Sigma: \delta(q,a) = \emptyset$  thì có thể bỏ cột  $\varepsilon$ );
  - Giá trị tại hàng  $q$  ( $q \in Q$ ), cột  $a$  ( $a \in \Sigma$ ) là tập hợp các trạng thái  $P$ , sao cho  $\delta(q,a)=P$  (nếu  $\delta(q,a)$  không xác định thì  $P$  là  $\emptyset$ );
  - Trạng thái đầu được đánh dấu ' $>$ ' hay ' $\rightarrow$ ';
  - Trạng thái kết thúc được đánh dấu '\*'.



## 2. Ôtômat hữu hạn không đơn định (Nondeterministic finite automata-NFA)

### 2.3. Các biểu diễn khác của NFA

- ❑ Dùng **Biểu đồ dịch chuyển** (transition diagram)
- ❑ Biểu đồ dịch chuyển biểu diễn NFA  $M=(Q,\Sigma,\delta,q_0,F)$  là một đồ thị được định nghĩa như sau:
  - Mỗi trạng thái  $q \in Q$  là một nút (đỉnh) và được đặt trong vòng tròn;
  - Với mỗi trạng thái  $q \in Q$  và mỗi ký tự  $a \in \Sigma$ , sao cho  $\delta(q,a)=P=\{p_1,p_2,\dots,p_k\}$ : biểu diễn một cung đi từ nút  $q$  đến các nút  $p_1,p_2,\dots,p_k$  và gán nhãn  $a$ ;
  - Trạng thái bắt đầu  $q_0$  có thêm dấu ' $>$ ' hay ' $\rightarrow$ ' ở trước;
  - Trạng thái kết thúc  $q \in F$  được đặt trong vòng tròn kép.

## 2. Ôtômat hữu hạn không đơn định (Nondeterministic finite automata-NFA)

### 2.3. Các biểu diễn khác của NFA

- Ví dụ: Cho NFA  $M_1=(Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$ , trong đó:

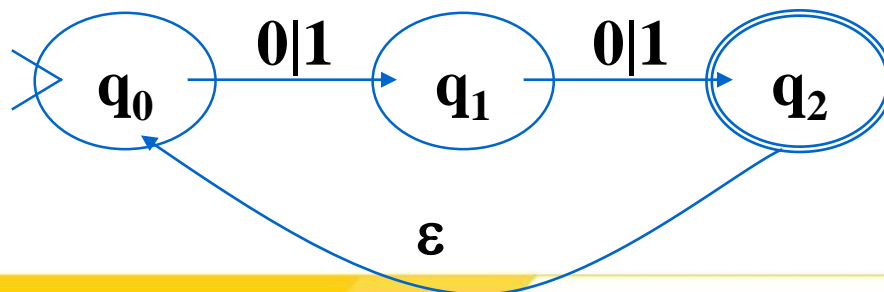
$$Q=\{q_0, q_1, q_2\}$$

$$\Sigma=\{0, 1\}$$

$$q_0: q_0$$

$$F=\{q_2\}$$

và hàm dịch chuyển  $\delta$ :  $\delta(q_0, 0)=\{q_1\}$ ,  $\delta(q_0, 1)=\{q_1\}$ ,  
 $\delta(q_1, 0)=\{q_2\}$ ,  $\delta(q_1, 1)=\{q_2\}$ ,  $\delta(q_2, \varepsilon)=\{q_0\}$ .





## 2. Ôtômat hữu hạn không đơn định (Nondeterministic finite automata-NFA)

### 2.3. Các biểu diễn khác của NFA

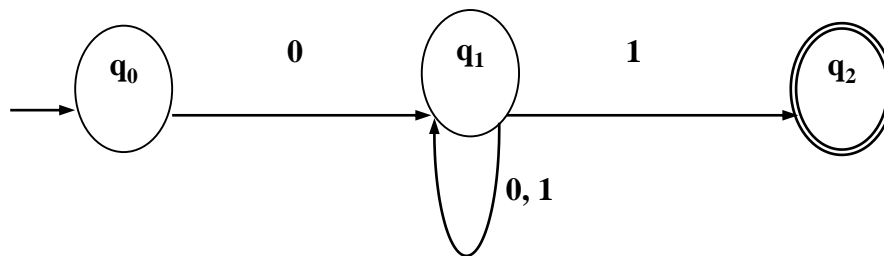
- Ví dụ: Cho NFA  $M_2 = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$ , trong đó:

$$Q = \{q_0, q_1, q_2\}$$

$$\Sigma = \{0, 1\}$$

$$q_0: q_0$$

$$F = \{q_2\}$$



và hàm dịch chuyển  $\delta$ :

$$\delta(q_0, 0) = \{q_1\}, \delta(q_1, 0) = \{q_1\}, \delta(q_1, 1) = \{q_1, q_2\}$$



## 2. Ôtômat hữu hạn không đơn định (Nondeterministic finite automata-NFA)

### 2.3. Các biểu diễn khác của NFA

■ Ví dụ: Cho NFA  $M_3=(Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$ , trong đó:

$$Q=\{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4\}$$

$$\Sigma=\{0,1\}$$

$$q_0: q_0$$

$$F=\{q_2, q_4\}$$

và hàm dịch chuyển  $\delta$ :  $\delta(q_0,0)=\{q_0, q_3\}$ ,  $\delta(q_0,1)=\{q_0, q_1\}$ ,  
 $\delta(q_1,1)=\{q_2\}$ ,  $\delta(q_2,0)=\{q_2\}$ ,  $\delta(q_2,1)=\{q_2\}$ ,  $\delta(q_3,0)=\{q_4\}$ ,  
 $\delta(q_4,0)=\{q_4\}$ ,  $\delta(q_4,1)=\{q_4\}$



## 2. Ôtômat hữu hạn không đơn định (Nondeterministic finite automata-NFA)

### 2.4. Hàm dịch chuyển mở rộng

**Định nghĩa:** Hàm dịch chuyển mở rộng  $\delta^*$  được định nghĩa đệ quy trên độ dài của xâu  $w$  như sau:

- $\delta^*(q, \varepsilon) = \{q\}$ , với mọi  $q \in Q$  (tức là nếu NFA không đọc ký tự vào nào thì sẽ không thay đổi trạng thái);
- Với  $w = xa$ ,  $x \in \Sigma^*$  và  $a \in \Sigma$ :

Giả sử  $\delta^*(q, x) = \{p_1, p_2, \dots, p_k\}$  và  $\bigcup_{i=1}^k \delta(p_i, a) = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$

thì  $\delta^*(q, w) = \delta^*(q, xa) = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$ .

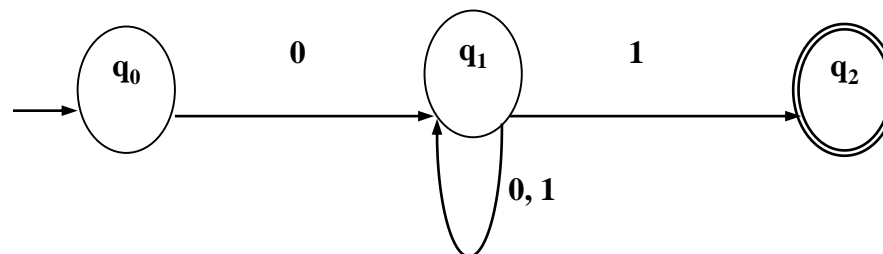


## 2. Ôtômat hữu hạn không đơn định (Nondeterministic finite automata-NFA)

### 2.4. Hàm dịch chuyển mở rộng

■ Ví dụ: Cho NFA  $M_2$

Tìm  $\delta^*(q_0, 01001) = ?$



Ta có:

$$\delta^*(q_0, \epsilon) = \{q_0\}$$

$$\delta^*(q_0, 0) = \delta^*(q_0, \epsilon 0) = \delta(\delta^*(q_0, \epsilon), 0) = \delta(q_0, 0) = \{q_1\}$$

$$\delta^*(q_0, 01) = \delta(\delta^*(q_0, 0), 1) = \delta(q_1, 1) = \{q_1, q_2\}$$

$$\delta^*(q_0, 010) = \delta(\delta^*(q_0, 01), 0) = \delta(q_1, 0) \cup \delta(q_2, 0) = \{q_1\} \cup \emptyset = \{q_1\}$$

$$\delta^*(q_0, 0100) = \delta(\delta^*(q_0, 010), 0) = \delta(q_1, 0) = \{q_1\}$$

$$\delta^*(q_0, 01001) = \delta(\delta^*(q_0, 0100), 1) = \delta(q_1, 1) = \{q_1, q_2\}$$



## 2. Ôtômat hữu hạn không đơn định (Nondeterministic finite automata-NFA)

### 2.4. Hàm dịch chuyển mở rộng

□ Như vậy xâu  $w$  được đoán nhận bởi NFA  $M=(Q,\Sigma,\delta,q_0,F)$  khi và chỉ khi  $\delta^*(q_0,w) \cap F \neq \emptyset$

□ Ví dụ:

- Theo ví dụ trước, ta có  $\delta^*(q_0,01001)=\{q_1,q_2\}$

Do  $\{q_1,q_2\} \cap F = \{q_2\} \neq \emptyset$  nên xâu 01001 được đoán nhận bởi NFA  $M_2$

- Quá trình đoán nhận xâu 01001:

$$\{q_0\}01001 \Rightarrow \{q_1\}1001 \Rightarrow \{q_1,q_2\}001 \Rightarrow \{q_1\}01 \Rightarrow \{q_1\}1 \Rightarrow \{q_1,q_2\} \cap F \neq \emptyset$$

Như vậy xâu 01001 được đoán nhận bởi NFA  $M_2$

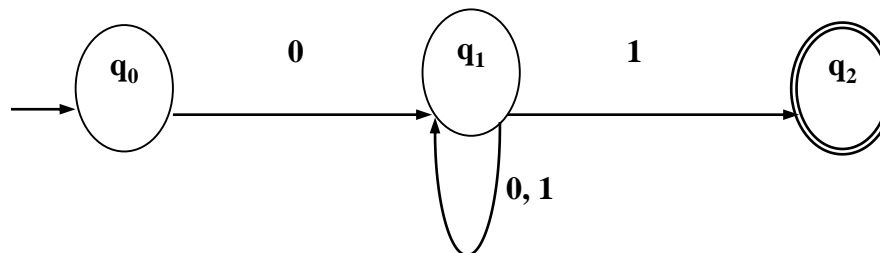
## 2. Ôtômat hữu hạn không đơn định (Nondeterministic finite automata-NFA)

### 2.5. Ngôn ngữ được đoán nhận bởi NFA

- Cho NFA  $M = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$ .
- Ngôn ngữ được đoán nhận *hay thừa nhận* bởi  $M$ , ký hiệu  $L(M)$ , được định nghĩa như sau:

$$L(M) = \{w \in \Sigma^* \mid \delta^*(q_0, w) \cap F \neq \emptyset\}$$

- Ví dụ: Cho NFA  $M_2$



$$L(M_2) = \{0w1 \mid w \in \{0,1\}^*\}$$



## 2. Ôtômat hữu hạn không đơn định (Nondeterministic finite automata-NFA)

### Bài tập

1. Cho NFA  $M_3 = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$ , trong đó:

$$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4\}$$

$$\Sigma = \{0, 1\}$$

$$q_0: q_0$$

$$F = \{q_2, q_4\}$$

và hàm dịch chuyển  $\delta$ :  $\delta(q_0, 0) = \{q_0, q_3\}$ ,  $\delta(q_0, 1) = \{q_0, q_1\}$ ,  
 $\delta(q_1, 1) = \{q_2\}$ ,  $\delta(q_2, 0) = \{q_2\}$ ,  $\delta(q_2, 1) = \{q_2\}$ ,  $\delta(q_3, 0) = \{q_4\}$ ,  
 $\delta(q_4, 0) = \{q_4\}$ ,  $\delta(q_4, 1) = \{q_4\}$

a. Biểu diễn  $M_3$  bằng bảng dịch chuyển, bằng biểu đồ dịch chuyển

b. Cho biết các xâu sau có được đoán nhận bởi  $M_3$  không:

001110, 1101, 0111011

c. Tìm  $L(M_3)$



## 2. Ôtômat hữu hạn không đơn định (Nondeterministic finite automata-NFA)

### Bài tập

2. Cho NFA  $M_4 = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$ , trong đó:

$$Q = \{q_0, q_1, q_2\}$$

$$\Sigma = \{a, b\}$$

$$q_0: q_0$$

$$F = \{q_2\}$$

và hàm dịch chuyển  $\delta$ :  $\delta(q_0, a) = \{q_0\}$ ,  $\delta(q_0, b) = \{q_0, q_1\}$ ,  
 $\delta(q_1, a) = \{q_1\}$ ,  $\delta(q_1, b) = \{q_1, q_2\}$ ,  $\delta(q_2, a) = \{q_2\}$ ,  $\delta(q_2, b) = \{q_2\}$

a. Biểu diễn  $M_4$  bằng bảng dịch chuyển, bằng biểu đồ dịch chuyển

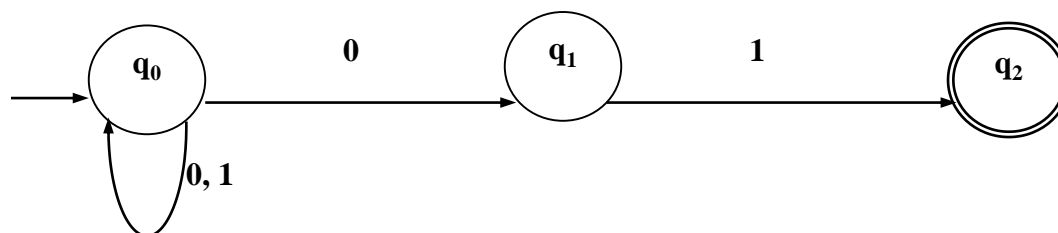
b. Tìm  $L(M_4)$



## 2. Ôtômat hữu hạn không đơn định (Nondeterministic finite automata-NFA)

### Bài tập

3. Cho NFA  $M_5$  được biểu diễn bằng biểu đồ dịch chuyển



- Biểu diễn  $M_5$  bằng  $M_5 = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$ , bằng bảng dịch chuyển
- Tìm  $L(M_5)$



## 2. Ôtômat hữu hạn không đơn định (Nondeterministic finite automata-NFA)

### Bài tập

4. Xây dựng NFA  $M$  đoán nhận  $L(M)$  là ngôn ngữ gồm:
- Các xâu trên  $\{0,1\}$  bắt đầu bằng 000 hoặc 111
  - Các xâu trên  $\{0,1\}$  kết thúc bằng 000 hoặc 1111
  - Các xâu trên  $\{0,1\}$  bắt đầu bằng 000 hoặc kết thúc bằng 1111

## 3. Sự tương đương giữa DFA và NFA

### 3.1. Xây dựng DFA từ NFA

- Bài toán:
  - Cho NFA  $M_N = (Q_N, \Sigma_N, \delta_N, q_{N0}, F_N)$
  - Xây dựng DFA  $M_D = (Q_D, \Sigma_D, \delta_D, q_{D0}, F_D)$  sao cho  $L(M_N) = L(M_D)$
- Rõ ràng  $\Sigma_D = \Sigma_N$ . Do đó để xây dựng  $M_D$  ta cần tìm  $Q_D, \delta_D, q_{D0}, F_D$
- Ta xây dựng  $M_D$  từ  $M_N$  bằng *phương pháp xây dựng tập hợp con*.

## 3. Sự tương đương giữa DFA và NFA

### 3.1. Xây dựng DFA từ NFA

□ Ta tìm  $Q_D$ ,  $\delta_D$ ,  $F_D$ , sao cho:

- Mỗi phần tử (trạng thái) của  $Q_D$  tương ứng là một tập hợp con của  $Q_N$ . Như vậy nếu  $Q_N$  có  $n$  trạng thái thì  $Q_D$  sẽ có  $2^n - 1$  trạng thái (không tính tập hợp rỗng).
- Trạng thái đầu  $q_{D0}$  của  $Q_D$  tương ứng  $\{q_{N0}\}$ . Mỗi phần tử (trạng thái kết thúc) của  $F_D$  tương ứng với tập hợp con  $S$  của  $Q_N$  sao cho  $S \cap F_N \neq \emptyset$ .
- Đối với mỗi phần tử (trạng thái)  $p$  của  $Q_D$  tương ứng tập hợp  $T \subseteq Q_N$  và mỗi ký tự  $a \in \Sigma_D$ , ta có  $\delta_D(p, a) = p'$  với  $p' \in Q_D$  và  $p'$  tương ứng là  $\bigcup_{q \in T} \delta_N(q, a)$



## 3. Sự tương đương giữa DFA và NFA

### 3.1. Xây dựng DFA từ NFA

□ Tìm  $Q_D$ ,  $\delta_D$ ,  $q_{D0}$ ,  $F_D$

- **Bước 1.** Tìm tập hợp  $\mathcal{F}$  bao gồm tất cả các tập hợp con khác rỗng  $T$  của  $Q_N$ , tức là  $\mathcal{F} = \{T \neq \emptyset \mid T \subseteq Q_N\}$ .
- **Bước 2.** Lập bảng (tương tự bảng dịch chuyển) để tìm  $\cup \delta_N(q_i, a)$  với  $q_i \in T$ ,  $a \in \Sigma_N$  đối với mỗi  $T \in \mathcal{F}$ .
- **Bước 3.** Xác định các phần tử (trạng thái) của  $Q_D$  (mỗi tập hợp  $T$  tương ứng là một phần tử của  $Q_D$ ).
- **Bước 4.** Xác định trạng thái đầu  $q_{D0}$  và tập trạng thái kết thúc  $F_D$  của  $Q_D$  ( $q_{D0}$  tương ứng  $\{q_{N0}\}$  và mỗi tập hợp  $S \in \mathcal{F}$  sao cho  $S \cap F_N \neq \emptyset$  tương ứng là một phần tử của  $F_D$ ).

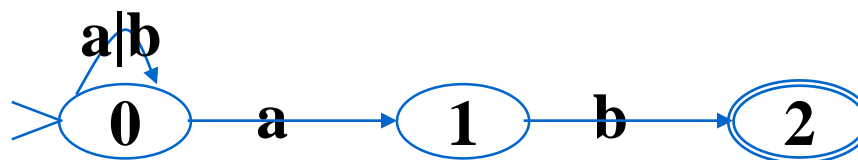
## 3. Sự tương đương giữa DFA và NFA

### 3.1. Xây dựng DFA từ NFA

□ Tìm  $Q_D$ ,  $\delta_D$ ,  $q_{D0}$ ,  $F_D$

- **Bước 5.** Tìm hàm dịch chuyển  $\delta_D$  (thay thế các tập hợp trong bảng ở Bước 2 bằng các ký hiệu trạng thái của  $Q_D$  ở Bước 3).
- **Bước 6.** Loại bỏ các trạng thái không chấp nhận được (trạng thái thừa).

□ **Ví dụ:** Hãy xây dựng DFA từ NFA sau

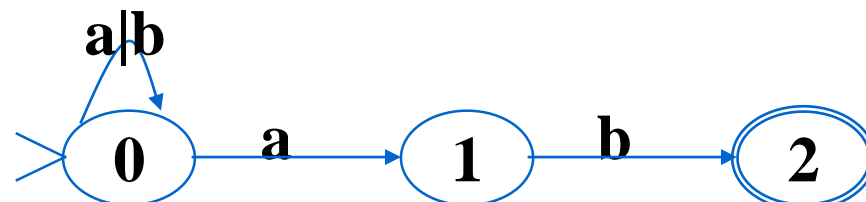


- **Bước 1.** Tìm tập hợp  $\mathcal{F}$  bao gồm tất cả các tập hợp con khác rỗng  $T$  của  $Q_N$ , tức là  $\mathcal{F} = \{T \mid T \subseteq Q_N\}$ :  
Ta có  $\mathcal{F} = \{\{0\}, \{1\}, \{2\}, \{0,1\}, \{0,2\}, \{1,2\}, \{0,1,2\}\}$

## 3. Sự tương đương giữa DFA và NFA

### 3.1. Xây dựng DFA từ NFA

■ Ví dụ:



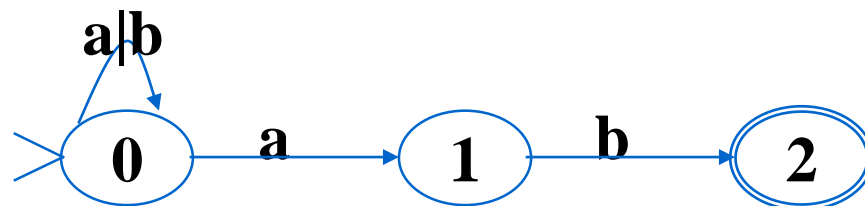
- **Bước 2.** Lập bảng (tương tự bảng dịch chuyển) để tìm  $\cup \delta_N(q_i, a)$  với  $q_i \in T$ ,  $a \in \Sigma_N$  đối với mỗi  $T \in \mathcal{F}$ :

$\cup \delta_N$	a	b
{0}	{0,1}	{0}
{1}	$\emptyset$	{2}
{2}	$\emptyset$	$\emptyset$
{0,1}	{0,1}	{0,2}
{0,2}	{0,1}	{0}
{1,2}	$\emptyset$	{2}
{0,1,2}	{0,1}	{0,2}

## 3. Sự tương đương giữa DFA và NFA

### 3.1. Xây dựng DFA từ NFA

■ Ví dụ:



• **Bước 3, Bước 4, Bước 5.** Tìm  $Q_D$ ,  $q_{D0}$ ,  $F_D$ ,  $\delta_D$ :

$\cup \delta_N$	a	b
{0}	{0,1}	{0}
{1}	$\emptyset$	{2}
{2}	$\emptyset$	$\emptyset$
{0,1}	{0,1}	{0,2}
{0,2}	{0,1}	{0}
{1,2}	$\emptyset$	{2}
{0,1,2}	{0,1}	{0,2}

$\delta_D$	a	b
$>q_0$	$q_3$	$q_0$
$q_1$		$q_2$
$*q_2$		
$q_3$	$q_3$	$q_4$
$*q_4$	$q_3$	$q_0$
$*q_5$		$q_2$
$*q_6$	$q_3$	$q_4$



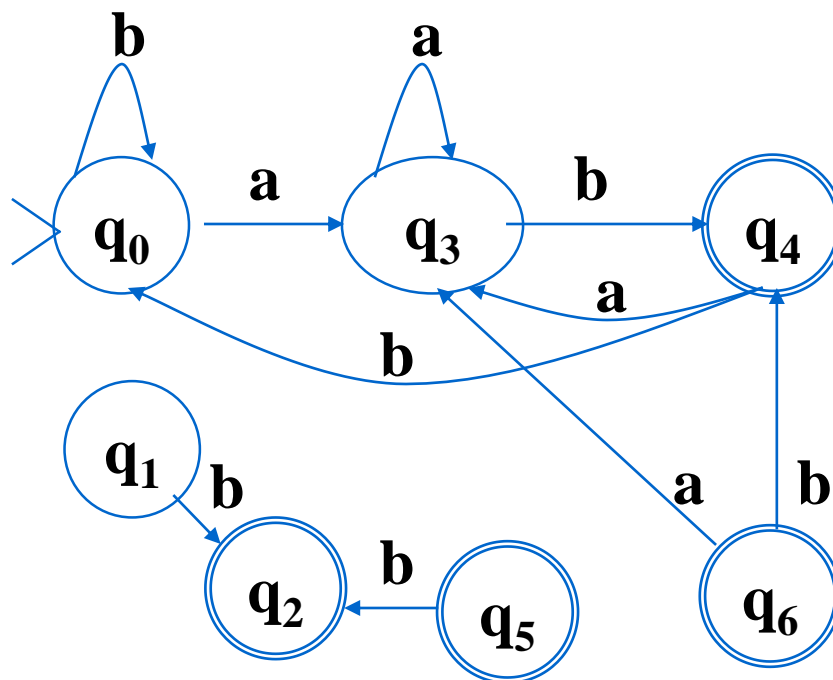
## 3. Sự tương đương giữa DFA và NFA

### 3.1. Xây dựng DFA từ NFA

■ Ví dụ:

■ Kết quả Bước 5. Tìm được DFA từ NFA đã cho:

$\delta_D$	a	b
$\rightarrow q_0$	$q_3$	$q_0$
$q_1$		$q_2$
$*q_2$		
$q_3$	$q_3$	$q_4$
$*q_4$	$q_3$	$q_0$
$*q_5$		$q_2$
$*q_6$	$q_3$	$q_4$



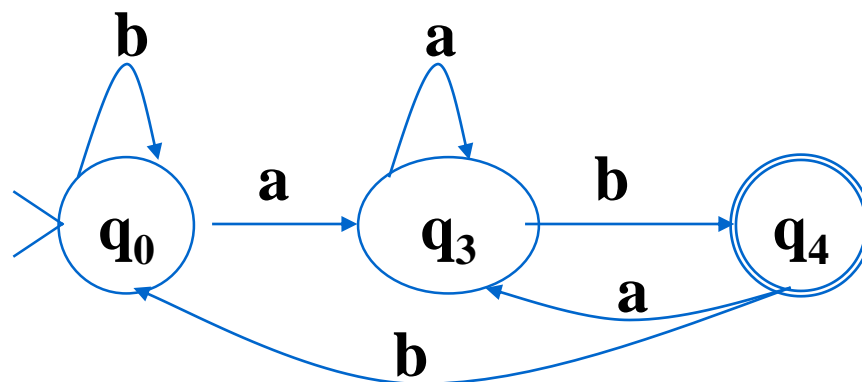
## 3. Sự tương đương giữa DFA và NFA

### 3.1. Xây dựng DFA từ NFA

#### ■ Ví dụ

- **Bước 6.** Loại bỏ các trạng thái không chấp nhận được (trạng thái thừa): Các trạng thái không chấp nhận được là  $q_1, q_2, q_5, q_6$
- Kết quả tìm được DFA từ NFA đã cho như sau:

$\delta_D$	a	b
$\rightarrow q_0$	$q_3$	$q_0$
$q_3$	$q_3$	$q_4$
$*q_4$	$q_3$	$q_0$





## 3. Sự tương đương giữa DFA và NFA

### 3.2. Định lý

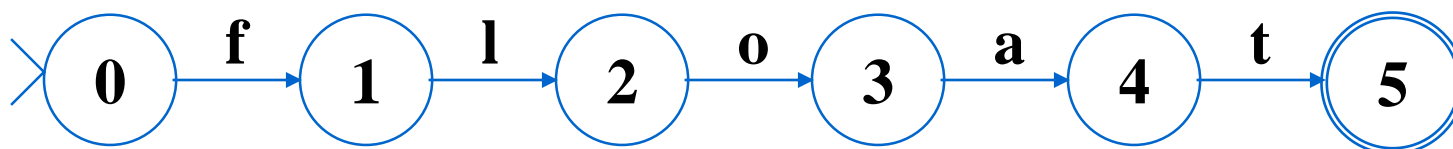
- Nếu  $M_D = (Q_D, \Sigma_D, \delta_D, q_0, F_D)$  là một DFA được xây dựng từ NFA  $M_N = (Q_N, \Sigma_N, \delta_N, q_0, F_N)$  đã cho theo phương pháp trên thì  $L(M_N) = L(M_D)$ .

## 4. Ứng dụng của ô tô máy hữu hạn

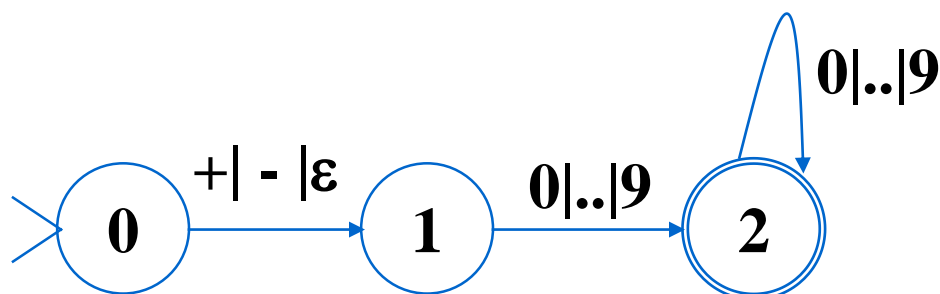
□ Tìm kiếm, đoán nhận từ khóa, số, ..., từ tổ

■ Ví dụ

- DFA đoán nhận khóa **float**

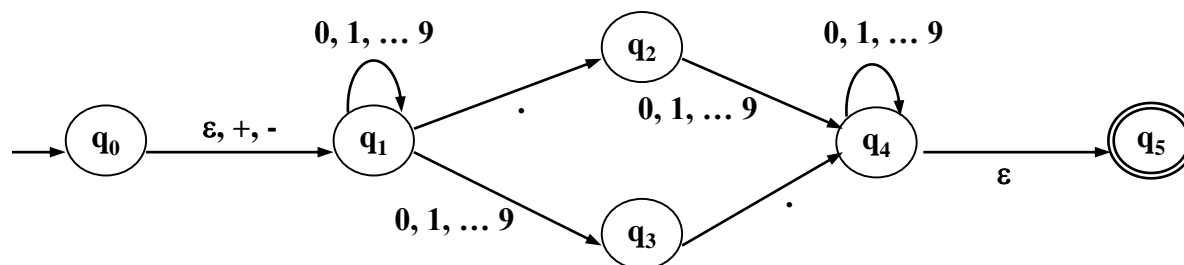


- NFA đoán nhận số nguyên



## 4. Ứng dụng của ô tô máy hữu hạn

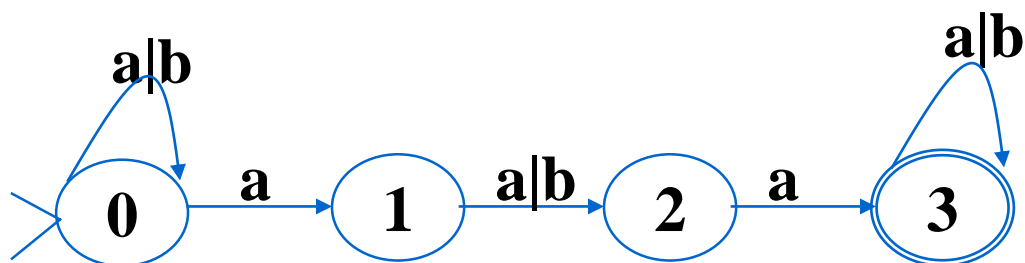
- Ví dụ: Xây dựng NFA nhận biết các số thập phân bao gồm:
  1. Một dấu + hoặc -, hoặc có thể không có dấu;
  2. Một dãy các chữ số;
  3. Một dấu chấm;
  4. Một dãy các chữ số. Dãy các chữ số này hoặc dãy các chữ số (mục 2.) có thể rỗng, tuy nhiên ít nhất một trong hai dãy các chữ số này phải khác rỗng.



### 3. Sự tương đương giữa DFA và NFA

#### Bài tập: Xây dựng DFA từ NFA

1. NFA biểu diễn bằng biểu đồ dịch chuyển



2. NFA biểu diễn bằng bảng dịch chuyển

a.

$\delta_N$	a	b	c	d
>0	{1,2}	$\emptyset$	{1}	{2}
1	$\emptyset$	{0}	{2}	{0,1}
*2	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$

b.

$\delta_N$	0	1
>0	{1,3}	{1}
*1	{2}	{1,2}
2	{3}	{0}
*3	$\emptyset$	{0}



### 3. Sự tương đương giữa DFA và NFA

#### Bài tập

1. Xây dựng NFA đoán nhận:

- Các số nhị phân có độ dài là bội số của 4.
- Các xâu 110, 101.
- Các xâu  $0(101)^+1$
- Các số nguyên lẻ ở hệ 8 của NNLT C

2. Xây dựng DFA từ các NFA ở trên.