

# CƠ BẢN VỀ ĐỘ PHỨC TẠP GIẢI THUẬT

- Thuật ngữ và khái niệm
- Độ phức tạp về thời gian của giải thuật
- Các ví dụ
- Một số công cụ toán học
- Kết luận và lưu ý

# THUẬT NGỮ VÀ KHÁI NIỆM

- Giải thuật là một thủ tục xác định bao gồm **một dãy hữu hạn các bước cần thực hiện** để thu được lời giải bài toán
- Một giải thuật luôn có một tập dữ liệu **đầu vào** (input) và một tập dữ liệu **đầu ra** (output) tương ứng với yêu cầu và lời giải bài toán

# THUẬT NGỮ VÀ KHÁI NIỆM



Có thể mô tả giải thuật bằng:

- Ngôn ngữ tự nhiên (Natural language)
- Mã giả (Pseudocode)
- Ngôn ngữ lập trình cấp cao (High programming languages)  
như Pascal, C/C++ vv

# THUẬT NGỮ VÀ KHÁI NIỆM

**Ví dụ:** Tìm K trong dãy  $A[1], A[2], \dots, A[n]$

Đầu vào: Số K, dãy n số  $A[1], A[2], \dots, A[n]$

Đầu ra: Một giá trị logic true hoặc false

SequentialSearch( $A[1..n], K$ )

```
1  for i ← 1 to n
2      do if A[i] = K
3          then return true
4  return false
```

# THUẬT NGỮ VÀ KHÁI NIỆM



Độ phức tạp của giải thuật là **chi phí về tài nguyên của hệ thống** (chủ yếu là thời gian, bộ nhớ, CPU, đường truyền) cần thiết để thực hiện giải thuật

# THUẬT NGỮ VÀ KHÁI NIỆM



Phân tích giải thuật (Analyzing of Algorithm) là quá trình tìm ra những đánh giá về tài nguyên cần thiết để thực hiện giải thuật

# THUẬT NGỮ VÀ KHÁI NIỆM

Độ phức tạp về thời gian của giải thuật:

- Được qui về **đếm số lệnh cần thực thi** của giải thuật
- Đó là một **hàm  $T(n)$  phụ thuộc vào kích thước  $n$  của input**
- Coi như có một máy trừu tượng (abstract machine) để thực hiện giải thuật

# ĐPT THỜI GIAN CỦA GIẢI THUẬT

- Thời gian tối thiểu để thực hiện giải thuật với kích thước đầu vào  $n$  gọi là thời gian chạy tốt nhất (best-case) của giải thuật
- Thời gian nhiều nhất để thực hiện giải thuật với kích thước đầu vào  $n$  được gọi là thời gian chạy xấu nhất (worst-case) của giải thuật
- Thời gian trung bình để thực hiện giải thuật với kích thước đầu vào  $n$  được gọi là thời gian chạy trung bình (average case) của giải thuật

# ĐPT THỜI GIAN CỦA GIẢI THUẬT

**Ví dụ** Đánh giá độ phức tạp về thời gian của giải thuật

SequentialSearch( $A[1..n]$ ,  $K$ )

```
1  for  $i \leftarrow 1$  to  $n$   
2      do if  $A[i] = K$   
3          then return true  
4  return false
```

# ĐPT THỜI GIAN CỦA GIẢI THUẬT

- **Giải** Gọi  $\alpha$ ,  $\beta$  và  $\gamma$  là thời gian thực hiện của phép gán, phép so sánh và trả về của giải thuật
  - Trường hợp **tốt nhất**: Nếu  $A[1] = K$ , thì  $T(n) = \alpha + \beta + \gamma$
  - Trường hợp **xấu nhất** : Nếu  $K \notin \{A[1], A[2], \dots, A[n]\}$  thì  $T(n) = (n+1)\alpha + n\beta + \gamma$

# ĐPT THỜI GIAN CỦA GIẢI THUẬT

## Giải

- Trường hợp **trung bình**: Gọi xác suất tìm kiếm thành công là  $p$  (xác suất không tìm thấy là  $1-p$ )
  - Nếu tìm thành công, thì tồn tại  $i$ ,  $A[i] = K$ , với  $\Pr(i) = p/n$  và thời gian là  $f(i) = i\alpha + i\beta + \gamma$
  - Nếu không tìm thấy thì thời gian là  $(n+1)\alpha + n\beta + \gamma$  và xác suất là  $1-p$

# ĐPT THỜI GIAN CỦA GIẢI THUẬT

## Giải

- Trường hợp **trung bình**: Gọi xác suất tìm kiếm thành công là  $p$  (xác không tìm thấy là  $1-p$ ) khi đó
- $$T(n) = \sum_{i=1, \dots, n} (i\alpha + i\beta + \gamma)p/n + ((n+1)\alpha + n\beta + \gamma)(1-p)$$
$$= (\alpha + \beta)(n+1)p/2 + \gamma p + ((n+1)\alpha + n\beta + \gamma)(1-p)$$
- ✓ **Lưu ý**: khi  $p=1$  (luôn tìm thấy)  $T(n) = (\alpha + \beta)(n+1)/2 + \gamma$

# ĐPT THỜI GIAN CỦA GIẢI THUẬT

Giả sử  $f$  và  $g$  là các hàm không âm đối số nguyên dương  $n$

- $f(n)$  có độ tăng (bậc) không quá  $g(n)$  và viết  $f(n) = O(g(n))$  nếu có hằng số  $c > 0$  và số nguyên dương  $N$  sao cho  $f(n) \leq cg(n)$ ,  $\forall n \geq N$
- $f(n)$  có độ tăng ít nhất là  $g(n)$  và viết  $f(n) = \Omega(g(n))$  nếu có hằng số  $c > 0$  và số nguyên dương  $N$  sao cho  $f(n) \geq cg(n)$ ,  $\forall n \geq N$
- $f(n)$  có độ tăng là  $g(n)$  và viết  $f(n) = \Theta(g(n))$  nếu  $f(n) = O(g(n))$  và  $f(n) = \Omega(g(n))$

# ĐPT THỜI GIAN CỦA GIẢI THUẬT

**Ví dụ** Xét  $T(n) = 20n^2 + 9n + 3$ .

- $T(n) \leq 20n^2 + 9n^2 + 3n^2 = 32n^2, \forall n \geq 1$  vậy

$$T(n) = O(n^2), \text{ với, } c = 32, N = 1$$

- $T(n) \geq 20n^2, \forall n \geq 1$  vậy

$$T(n) = \Omega(n^2), \text{ với, } c = 20, N = 1$$

Suy ra  $T(n) = \Theta(n^2)$

# ĐPT THỜI GIAN CỦA GIẢI THUẬT

- Nếu  $T_1(n) = O(f(n))$  và  $T_2(n) = O(g(n))$  thì
  - $T_1(n) + T_2(n) = O(\max(f(n), g(n)))$
  - $T_1(n) \cdot T_2(n) = O(f(n) \cdot g(n))$
  - $c \cdot O(f(n)) = O(f(n))$
  - $O(c) \equiv O(1)$

# ĐPT THỜI GIAN CỦA GIẢI THUẬT

- Nếu giải thuật có thời gian chạy tốt nhất (trung bình, xấu nhất) là  $T(n)$  và  $T(n) = O(g(n))$  thì ta nói thời gian chạy tốt nhất (trung bình, xấu nhất) của giải thuật có bậc (độ tăng) không quá  $g(n)$  hay thời gian chạy tốt nhất (trung bình, xấu nhất) của giải thuật là  $O(g(n))$
- ✓ Lưu ý : Phát biểu tương tự cho các ký hiệu  $\Omega$  và  $\Theta$

# ĐPT THỜI GIAN CỦA GIẢI THUẬT

## Lưu ý :

- Khi giải thuật có gian chạy là  $T(n) = O(g(n))$ , ta nói giải thuật có **độ phức tạp thuộc lớp hiệu suất (efficiency class)**  $O(g(n))$ , hay ngắn gọn **giải thuật thuộc lớp**  $O(g(n))$ , ký hiệu  $T(n) \in O(g(n))$
- **Bậc (độ tăng) của thời gian chạy càng lớn thì giải thuật càng chậm** (chẳng hạn, giải thuật có thời gian chạy  $T(n) = O(n^3)$  kém hiệu quả (chậm) hơn giải thuật có thời gian chạy  $T(n) = O(n^2)$ )
- Bỏ qua các lệnh gán chỉ số vòng lặp nếu đánh giá theo O-lớn

# ĐPT THỜI GIAN CỦA GIẢI THUẬT

- Quan hệ về độ tăng của hai hàm  $t(n)$  và  $g(n)$  thỏa mãn tính chất sau

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{t(n)}{g(n)} = \begin{cases} 0, & \text{thì } t(n) \text{ có độ tăng nhỏ hơn } g(n) \\ c, & \text{thì } t(n) \text{ có độ tăng bằng } g(n) \\ \infty, & \text{thì } t(n) \text{ có độ tăng lớn hơn } g(n) \end{cases}$$

# CÁC VÍ DỤ

- **Ví dụ 1** Viết và phân tích giải thuật tính gần đúng  $e^x$  theo khai triển  $e^x \approx 1 + x/1! + x^2/2! + \dots + x^n/n!$
- **Giải ?**

# CÁC VÍ DỤ

Exp(x, n)

1  $s \leftarrow 1$

2 **for**  $i \leftarrow 1$  **to**  $n$

3     **do**  $p \leftarrow 1$

4         **for**  $j \leftarrow 1$  **to**  $i$

5             **do**  $p \leftarrow p * x / j$

6          $s \leftarrow s + p$

7 **return**  $s$

# CÁC VÍ DỤ

Gọi  $\alpha, \gamma$  là thời gian thực hiện lệnh gán và trả về, thì

- $T(n) = \alpha + n\alpha + (1+2+\dots+n)\alpha + n\alpha + \gamma$
- $T(n) = (2n + 1)\alpha + [n(n+1)/2]\alpha + \gamma$
- $T(n) = O(n^2)$

# CÁC VÍ DỤ

Exp(x, n) - Một giải thuật hiệu quả hơn

```
1  s ← 1
2  p ← 1
3  for i ← 1 to n
4      do p ← p*x/i
5          s ← s + p
6  return s
```

# CÁC VÍ DỤ

Phân tích độ phức tạp giải thuật thứ 2

- $T(n) = 2\alpha + 2n\alpha + \gamma$
- $T(n) = 2(n + 1)\alpha + \gamma$
- $T(n) = O(n)$

# LƯU Ý

- Độ phức tạp (độ tăng) biểu diễn **theo  $O$ ,  $\Omega$ ,  $\Theta$  phụ thuộc (quyết định)** vào số lần thực hiện của lệnh (phép toán) được thực thi **nhiều lần nhất và có chi phí lớn nhất** trong giải thuật
- Các lệnh (phép toán) được thực thi **nhiều lần nhất và có chi phí lớn nhất trong giải thuật gọi là lệnh** (phép toán) **cơ bản** (basic operation)
- Vì vậy, có thể tính độ phức tạp đơn giản bằng cách chỉ xác định và đếm số lệnh cơ bản trong giải thuật

# LƯU Ý

Exp(x, n)

1 s ← 1

2 p ← 1

3 **for** i ← 1 **to** n

4     **do** p ← p \* x / i // phép toán cơ bản là phép chia

5         s ← s + p

6 **return** s

Vậy:  $T(n) = n\varepsilon = O(n)$ , trong đó  $\varepsilon$  là thời gian thực hiện của  $x/i$

# CÁC VÍ DỤ



- **Ví dụ 2** Viết và phân tích giải thuật tính giai thừa của số tự nhiên  $n$
- **Giải ?**

# CÁC VÍ DỤ

Factorial(n)

1 **if**  $n = 0$  or  $n = 1$

2       **then return** 1

3       **else if**  $n > 1$

4               **then return**  $n * \text{Factorial}(n-1)$

# CÁC VÍ DỤ

Gọi  $T(n)$  là thời gian chạy của thuật giải

$$T(n) = \begin{cases} O(1), & n=0, 1 \\ T(n-1) + O(1), & n>1 \end{cases}$$

# CÁC VÍ DỤ

$$T(n) = T(n-1) + c$$

$$= T(n-2) + c + c = T(n-2) + 2c$$

$$= T(n-3) + c + 2c = T(n-3) + 3c$$

....

$$= T(n-(n-1)) + (n-1)c = T(1) + (n-1)c = c + (n-1)c = nc$$

$$T(n) = O(n) \text{ (tương đương với giải thuật không đệ qui)}$$

# CÁC VÍ DỤ

Giả sử mỗi bước đòi hỏi  $1 \mu\text{s} = 10^{-6}\text{sec}$  thì với  $n = 100$

- $T(n) = O(n^3)$  có thời gian chạy  $T(n) \approx 100^3 \cdot 10^{-6} = 1 \text{ (sec)}$
- $T(n) = O(2^n)$  có thời gian chạy  $T(n) \approx 2^{100} \cdot 10^{-6} \text{ (sec)} =$   
 $2^{100} \cdot 10^{-6} \text{ (sec)} / (60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365) \approx 4.106 \text{ (năm)}$

# CÁC VÍ DỤ

<u>Độ phức tạp (tăng dần)</u>	<u>Tên gọi</u>
• $O(1)$	Hằng số
• $O(\lg n)$	Logarithm
• $O(n)$	Tuyến tính
• $O(n \lg n)$	$n \log n$

# CÁC VÍ DỤ

<u>Độ phức tạp (tăng dần)</u>	<u>Tên gọi</u>
• $O(n^2)$	Bậc hai
• $O(n^3)$	Bậc ba
• $O(n^m)$	Đa thức
• $O(m^n), m \geq 2$	Hàm mũ
• $O(n!)$	Giai thừa

# MỘT SỐ CÔNG CỤ TOÁN

- Phần nguyên sàn (floor), phần nguyên trần (ceiling) của số thực  $x$ , ký hiệu lần lượt  $\lfloor x \rfloor$  và  $\lceil x \rceil$ , là các số nguyên thỏa mãn  $x-1 < \lfloor x \rfloor \leq x \leq \lceil x \rceil < x+1$

# MỘT SỐ CÔNG CỤ TOÁN

- Với mọi  $x \neq 1$  thì  $\sum_{k=0, n} x^k = (x^{n+1} - 1) / (x - 1)$
- Với mọi  $|x| < 1$  thì  $\sum_{k=0, \infty} x^k = 1 / (1 - x)$

# KẾT LUẬN VÀ LƯU Ý

- Nếu bài toán có thuật giải với thời gian chạy xấu nhất là đa thức,  $O(n^m)$ , thì bài toán gọi là được giải tốt
- Nếu bài toán không có thuật giải với thời gian chạy xấu nhất là đa thức thì bài toán gọi là khó giải (intractable problem)
- Nếu bài toán khó đến mức không thể xây dựng được thuật giải thì nó được gọi là không giải được (unsolvable problem)

# KẾT LUẬN VÀ LƯU Ý

- Phân tích độ phức tạp chủ yếu dựa trên **kỹ thuật đếm và biểu diễn hệ thức truy hồi**
- Có hai phương pháp chính để giải hệ thức truy hồi: **Thay thế lặp** và **áp dụng công thức giải** (chẳng hạn định lý Master)
- Phân tích **trường hợp trung bình thường phức tạp hơn** và cần thêm các công cụ toán học như lý thuyết xác suất, hàm sinh
- Trong nhiều trường hợp **chỉ cần tính thời gian chạy xấu nhất**

# ĐỌC VÀ TÌM HIỂU Ở NHÀ



- Đọc chương 2 sách Introduction to The Design and Analysis of Algorithms của Levitin
- Đọc chương 1, 2, 3, 4 sách Introduction to Algorithms của Cormen
- Làm bài tập về nhà đã cho trong DS bài tập