Tổng Quan
Cấu trúc dữ liệu & Giải thuật

Lecturer: Duc-Hieu Tran

Title: MSc. Computer Science

Nội dung

- Vai trò của việc tổ chức dữ liệu
- Khái niệm về Cấu trúc dữ liệu
- Khái niệm về thuật giải
- Mối quan hệ giữa Thuật giải và Cấu trúc dữ liệu
- Thiết kế Giải thuật
- Đánh giá độ phức tạp Thuật giải

Nhắc lại

- **Kỹ thuật lập trình (Programming Technique)**
  - **Giải thuật**
    - **Khái niệm**
    - **Tính chất**
  - **PTTK/lập trình hướng đối tượng**
    - **Các thành phần**
    - **Khái niệm**
    - **Tính chất**

Nhắc lại

❖Kỹ thuật lập trình (Programming Technique)

- **Giải thuật**
  - Là một **tập các chỉ dẫn** (instruction) để **hướng dẫn** máy tính đi **giải quyết** một vấn đề nào đó hoặc **thực hiện** một công việc cụ thể nào đó
  - Tính chất**: đúng đắn**, **tổng quát**, **xác định**, **hiệu quả**, **hữu hạn**
  - Ví dụ: tìm số lớn nhất giữa hai số, ra chợ mua bó rau

Nhắc lại

❖Kỹ thuật lập trình (Programming Technique)

- **PTTK/lập trình hướng đối tượng**
  - **Lớp (class)**: một **khái niệm trừu tượng** thể hiện sự **đại diện** cho một tập hợp các đối tượng có cùng chung **đặc điểm** và **hành vi**
  - ➢Ví dụ: lớp động vật có vú, lớp động vật biết bay, lớp phương tiện, lớp nhân viên, lớp sinh viên
  - **Đối tượng (object)**: một thực thể **cụ thể** trong thế giới **thực**
  - ➢Ví dụ: con mèo, con chó, con người, SV Nguyễn Văn A, con mèo tam thể, con chó bec-giê

Nhắc lại

- **Kỹ thuật lập trình (Programming Technique)**
  - **PTTK/lập trình hướng đối tượng**
    - **Khái niệm**
      - **Mô hình hóa** vấn đề/bài toán trong thế giới thực
      - Bài toán được **biểu diễn** dưới dạng một tập hợp các **đối tượng**
      - Giải quyết bài toán là đi **giải quyết** các **vấn đề của đối tượng** đó

Nhắc lại

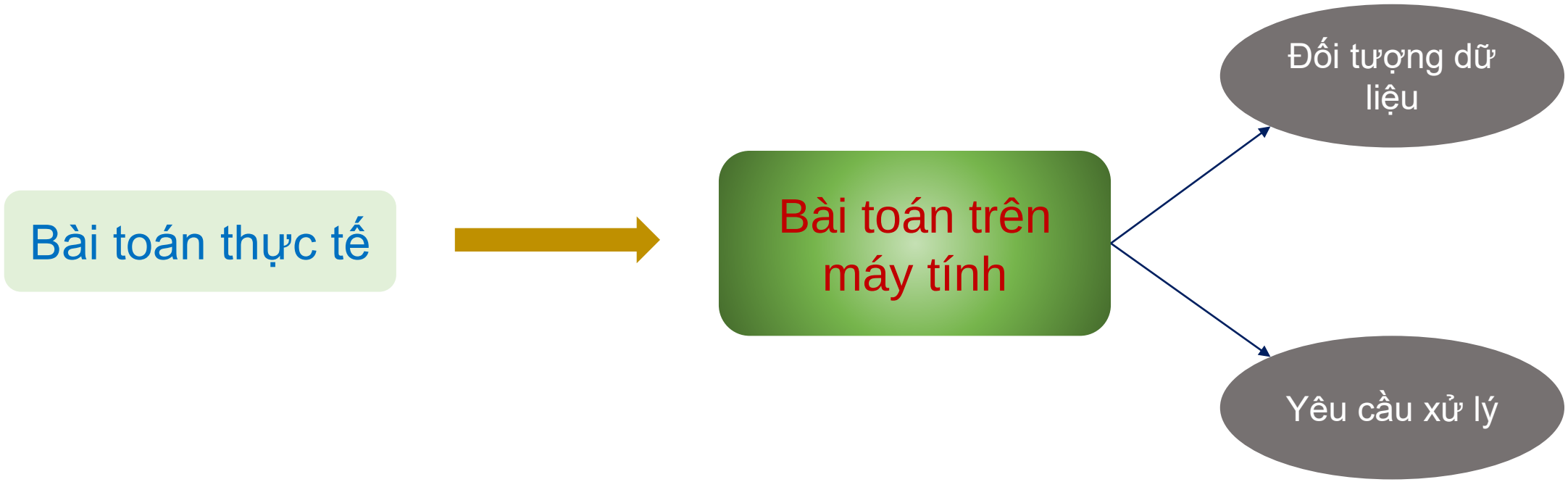
- **Kỹ thuật lập trình (Programming Technique)**
  - **PTTK/lập trình hướng đối tượng**
    - **Lớp: thành phần dữ liệu + thành phần xử lý**
      - **Thành phần dữ liệu**: mô tả/lưu trữ các đặc điểm của đối tượng → thuộc tính (property), tính chất (attribute)
      - **Thành phần xử lý**: thể hiện các hành vi, xây dựng cách thức xử lý các vấn đề của đối tượng đó → phương thức (method)

Nhắc lại

- **Kỹ thuật lập trình (Programming Technique)**
  - **PTTK/lập trình hướng đối tượng**
    - **Tính chất đặc trưng**
      - **Tính đóng gói (encapsulation)**
      - **Tính kế thừa (inheritance)**
      - **Tính đa hình (polymorphism)**
      - **Tính trừu tượng (abstraction)**

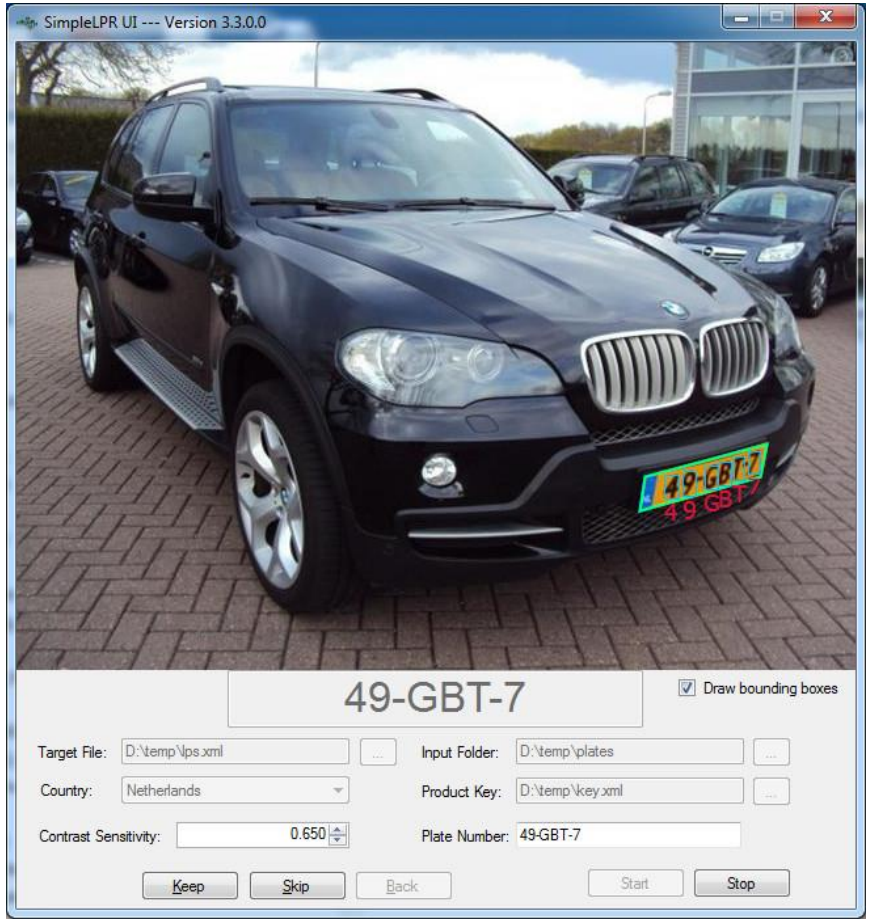
Vai trò
Tổ chức dữ liệu

Giải quyết bài toán bằng máy tính?



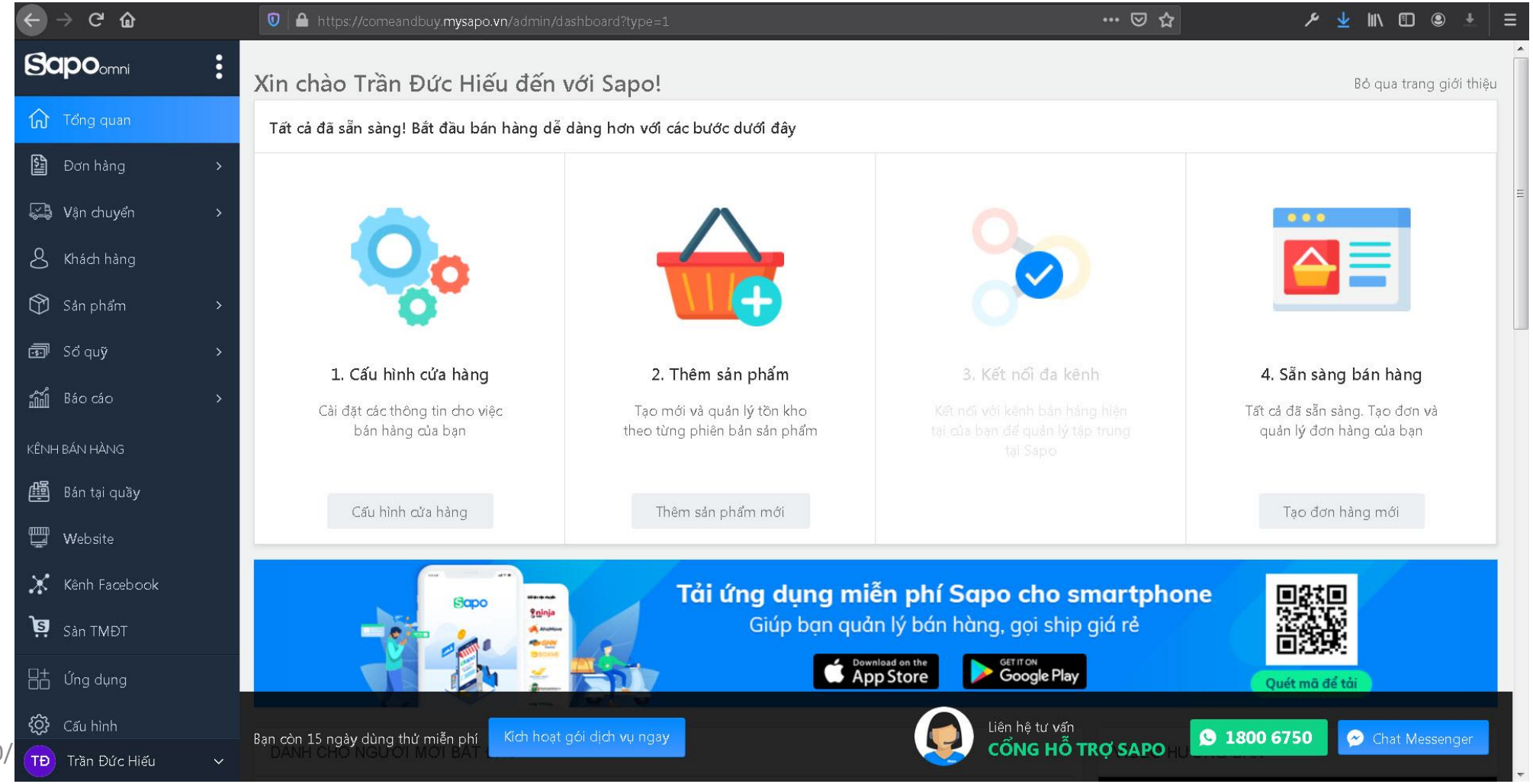
Giải quyết bài toán bằng máy tính?

❖**Ví dụ:** Xây dựng phần mềm nhận dạng biển số xe



Giải quyết bài toán bằng máy tính?

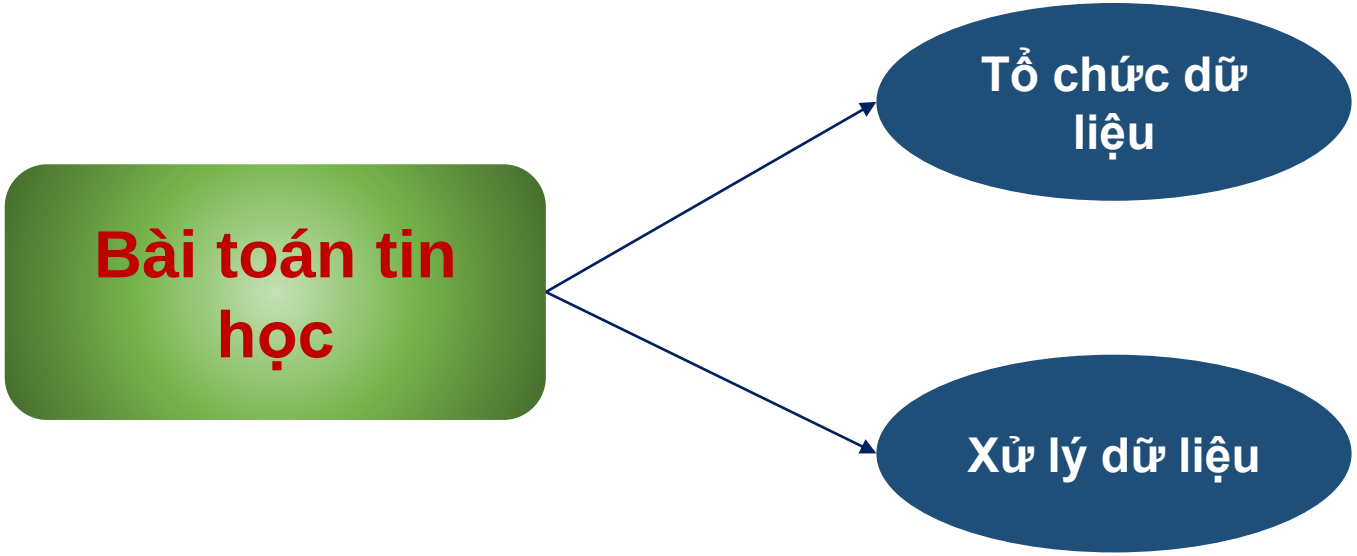
❖**Ví dụ:** Xây dựng website bán hàng trực tuyến



Giải quyết bài toán bằng máy tính?

❖**Giải quyết Bài toán Tin học ⇒ phải:**

- **Tổ chức** biểu diễn các **đối tượng** thực tế
- **Xây dựng** trình tự các thao tác **xử lý** trên các đối tượng dữ liệu đó



Giải quyết bài toán bằng máy tính?

❖Hai yếu tố tạo nên một chương trình máy tính (Niklaus Wirth, 1976)

Data Structures + Algorithms = Programs

Khái niệm
Cấu trúc dữ liệu

Dữ liệu

❖Khái niệm

- **Dữ kiện** có được do quan sát, nhận thức, thu thập
- Được **biểu diễn** dưới dạng những con số, hình ảnh, kí hiệu, kí tự, ghi chép,…

❖Đặc tính

- Phản ánh giá trị của dữ kiện trong thực tế
- Không bao hàm một ý nghĩa cụ thể

Dữ liệu

❖Ví dụ

- 8, 15, 11, 13, 9
- Saigon Heat, Singapore Slingers

Dữ liệu

❖Ví dụ

Thông tin

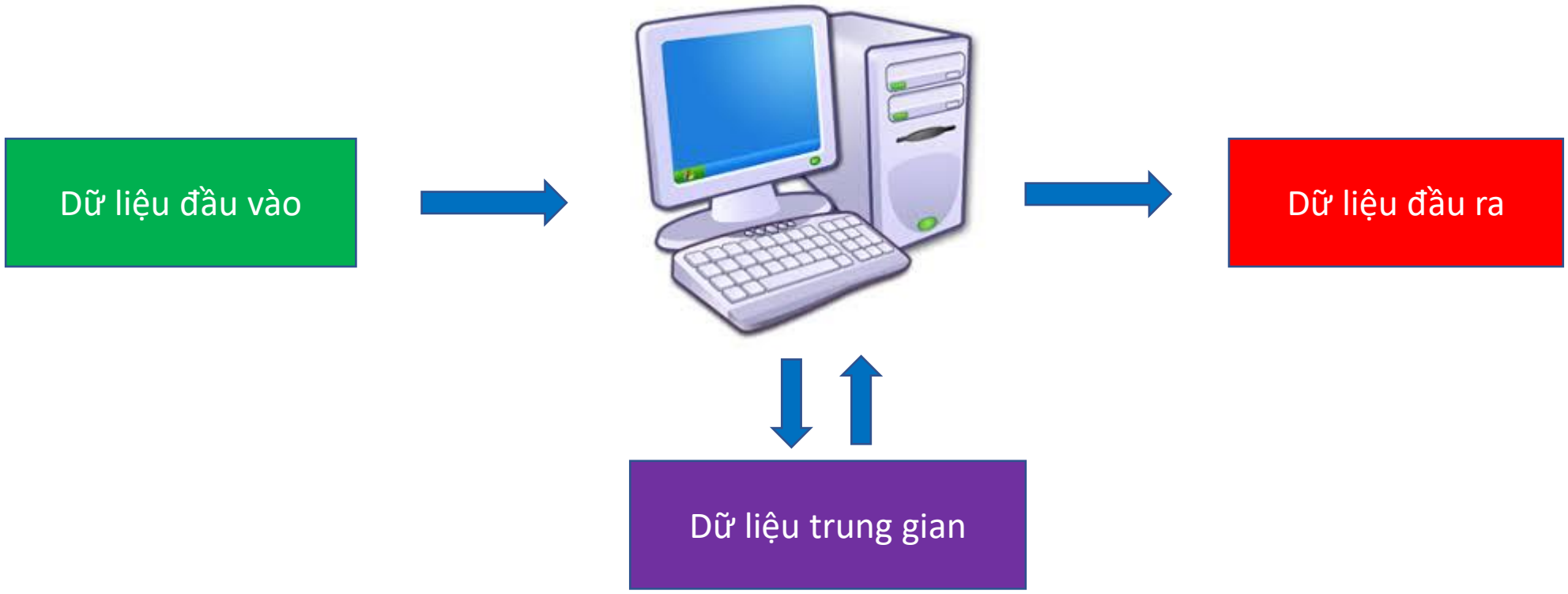
❖Khái niệm

- Một sự kết hợp của tập các **dữ liệu**
- Được **tổ chức** và **xử lý** để biểu đạt một **ý nghĩa** nào đó

❖Ví dụ

- 8, 15, 11, 13, 9, 12 và 10 là điểm số của một trận đấu bóng rổ giữa 2 đội Saigon Heat và Singapore Slingers trong khuôn khổ vòng loại VBA

Mô hình xử lý dữ liệu



Cấu trúc dữ liệu là gì?

Các cuốn sách chưa được tổ chức, sắp xếp

Các cuốn sách đã được tổ chức, sắp xếp

Cấu trúc dữ liệu

❖Khái niệm

- Là phương thức để **tổ chức**, **lưu trữ** và **truy xuất** dữ liệu một cách có **hiệu quả**

❖Xác định cấu trúc dữ liệu

- Tìm cách **biểu diễn** các **dữ liệu** của bài toán thực tế vào máy tính

Cấu trúc dữ liệu

❖**Ví dụ:** Tìm kiểu dữ liệu để lưu trữ cho các dữ liệu sau

- 452
- 63.2
- Có 3 loại Attentions: Self-attention trong encoder, attention giữa encoder-decoder, (masked) self-attention trong decoder (training)
- 34, 656, 2, 8, 19, 3, 2, 7, 8
- H
- Sinh Viên (“Nguyễn Văn A”, “21DTHXA”, “SV3482930283”, “KTLT”, 8.5)

Cấu trúc dữ liệu

❖**Ví dụ:** Tìm kiểu dữ liệu để biểu diễn cho bài toán sau

Cho một chuỗi A và một chuỗi B. Chuỗi B có độ dài bé hơn hoặc bằng chuỗi A. Hãy viết chương trình để xác định xem chuỗi B có xuất hiện trong chuỗi A hay không ? Nếu có thì hãy xuất ra vị trí xuất hiện đầu tiên của chuỗi B trong chuỗi A. Nếu không thì hãy xuất ra giá trị -1

Cấu trúc dữ liệu

❖Tiêu chuẩn của một cấu trúc dữ liệu

- Biểu diễn đầy đủ thông tin
- Phù hợp với các thao tác xử lý
- Phù hợp với điều kiện cho phép của ngôn ngữ lập trình
- Tiết kiệm tài nguyên hệ thống

Vai trò cấu trúc dữ liệu

- Cấu trúc dữ liệu (CTDL) đóng vai trò quan trọng trong việc kết hợp thuật giải để đưa ra cách giải quyết bài toán
- CTDL phải biểu diễn được đầu vào (Input) và đầu ra (Output) của bài toán
- CTDL hỗ trợ cho các thuật toán thao tác trên các đối tượng được hiệu quả hơn
- Sự lựa chọn thuật toán để giải quyết vấn đề cũng phụ thuộc rất nhiều vào CTDL được sử dụng

Ví dụ

- Một chương trình quản lý điểm thi của sinh viên cần lưu trữ các điểm số 4 môn của 3 sinh viên tương ứng như sau:

Sinh viên	Môn 1	Môn 2	Môn 3	Môn 4
SV1	7	9	5	2
SV2	5	0	9	4
SV3	6	3	7	4

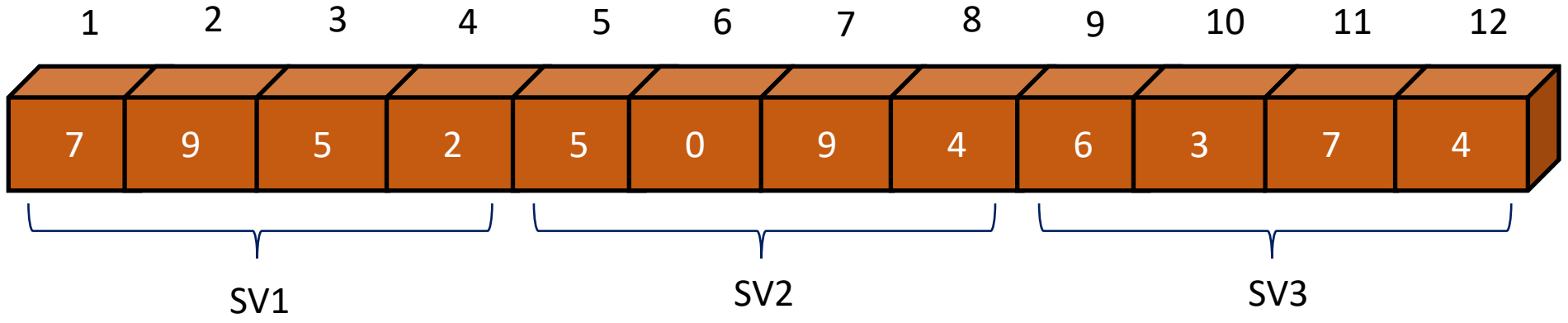
Bài toán đặt ra: biểu diễn các dữ liệu trên vào máy tính và xuất điểm số các môn học của từng sinh viên

Minh họa về cấu trúc dữ liệu

❑**Phương án 1**: sử dụng mảng 1 chiều

Có tất cả 3(SV) * 4(Môn) = 12 điểm số cần lưu trữ, do đó ta có mảng như sau:

```
int[] score = {7, 9, 5, 2, 5, 0, 9, 4, 6, 3, 7, 4};
```



⇒Muốn xác định được điểm số một môn học của sinh viên thì ta phải áp dụng công thức: Điểm số (SV_i, $Môn_j$) = score[((i – 1) * số môn) + j]

Ví dụ: Điểm số (SV2, Môn 3) = score[((2-1) * 4) + 3] = score[7] = 9

Minh họa về cấu trúc dữ liệu

❑**Phương án 2**: sử dụng mảng 2 chiều

Có tất cả 3(SV) * 4(Môn) ⇒ sử dụng mảng 3 * 4 như sau:

```
int[][] score = {{7, 9, 5, 2}, {5, 0, 9, 4}, {6, 3, 7, 4}};
```

	Cột 1	Cột 2	Cột 3	Cột 4
Dòng 1	7	9	5	2
Dòng 2	5	0	9	4
Dòng 3	6	3	7	4

⇒Muốn xác định được điểm số một môn học của sinh viên thì ta chỉ cần truy xuất đúng số dòng và số cột của phần tử trong bản:

Điểm số (SV_i, $Môn_j$) = score[i, j];

Khái niệm
Thuật Giải

Thuật Giải

- **Khái niệm**: là một tập **hữu hạn có thứ tự** các bước tác động lên **dữ liệu** để sau một số lần thực hiện sẽ cho ra **kết quả**

Đặc trưng

- Có dữ liệu **Đầu vào** (Input): nhận được dữ liệu đầu vào
- Có dữ liệu kết quả **Đầu ra** (Output): sinh được dữ liệu đầu ra
- Có tính **Chính xác / Đúng đắn** (Precision): các bước mô tả để thực hiện là đúng
- Có tính **Hữu hạn** (Finiteness): sau một số lần thực hiện, giải thuật phải kết thúc
- Có tính **Duy nhất** (Uniqueness): cùng một dữ liệu đầu phải cùng một kết quả đầu ra
- Có tính **Hiệu quả** (Efficiency): giải quyết được công việc trong thời gian cho phép
- Có tính **Tổng quát** (Generality): có thể thực hiện được với mọi dữ liệu phù hợp

Cách biểu diễn

- Ngôn ngữ tự nhiên (Natural Language)
- Lưu đồ (Flow chart)
- Mã giả (Pseudo code)
- Ngôn ngữ lập trình (Programming Language)

Mối quan hệ CTDL & GT

- Đối tượng xử lý của giải thuật chính là dữ liệu
- Với mỗi cấu trúc dữ liệu, sẽ có những giải thuật tương ứng
- Khi cấu trúc dữ liệu thay đổi, thường giải thuật cũng phải thay đổi theo

Sự cần thiết?

❑Tại sao phải sử dụng máy tính để xử lý dữ liệu?

- Nhanh hơn, chính xác hơn
- Giải quyết được nhiều bài toán đòi hỏi khối lượng tính toán cực lớn, hoặc những bài toán phức tạp với khối lượng dữ liệu lớn

➢Tuy nhiên, bài toán lớn đòi hỏi phải có máy tính hiệu quả để thực hiện

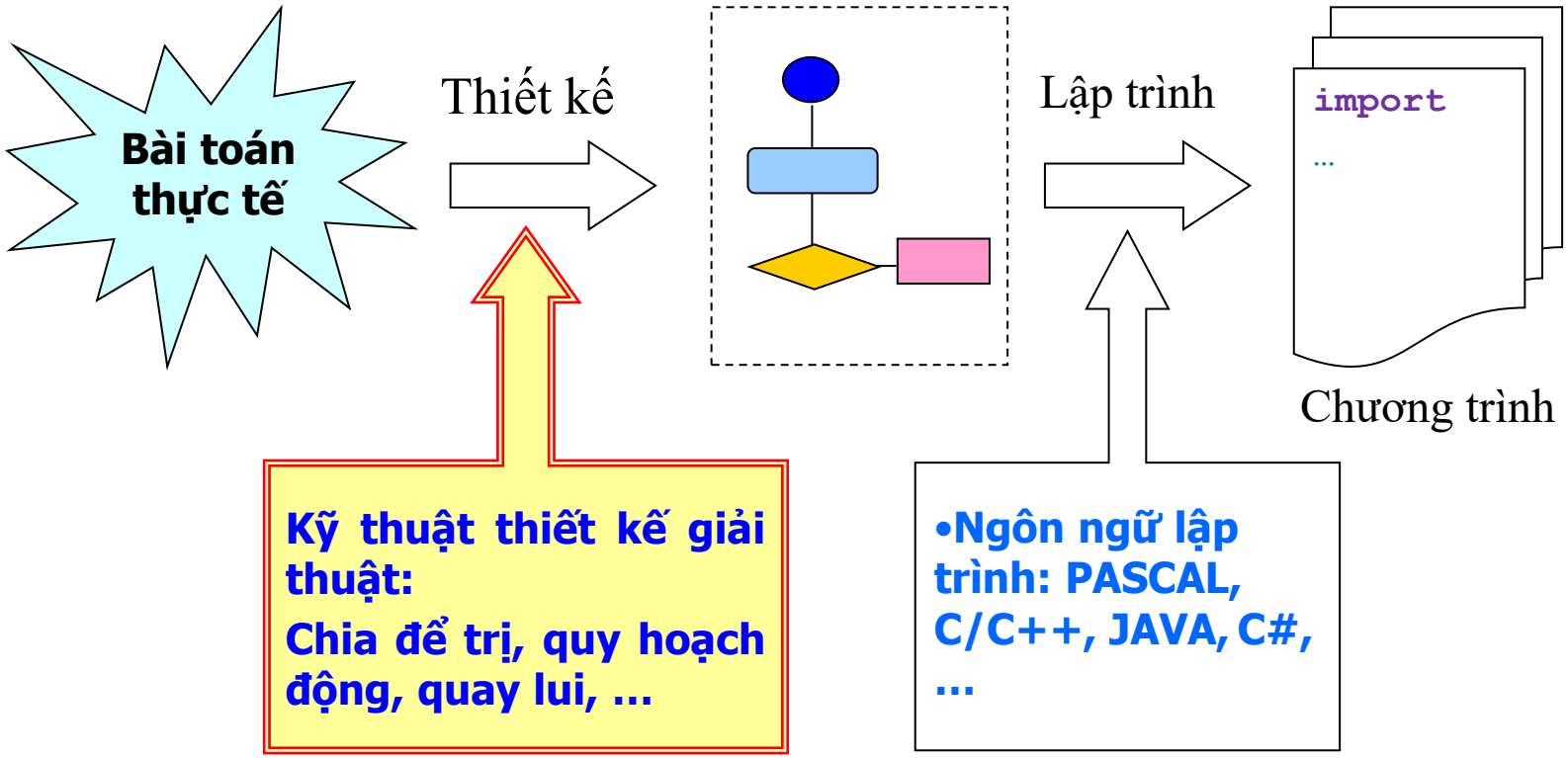
❑Phương pháp?

- Sử dụng máy tính có cấu hình mạnh ➔ chi phí cao
- Xâu dựng thuật toán xử lý hiệu quả ➔ thông minh, chi phí thấp

Thiết kế
Giải Thuật

Thiết kế giải thuật

- Từ bài toán đến chương trình



Thiết kế giải thuật

- Với một vấn đề đặt ra, làm thế nào để đưa ra thuật toán giải quyết nó?
- Chiến lược thiết kế
  - Chia để trị (divide-and-conquer)
  - Quy hoạch động (dynamic programming)
  - Quay lui (backtracking)
  - Tham lam (greedy method)
  - ...

Nguyên lý thiết kế giải thuật

❑Đi từ trên xuống (Top-Down Design)

- Phù hợp với các kĩ thuật: chia để trị, quy hoạch động, quay lui,…
- Dựa trên khái niệm đệ qui với nhiều phân nhánh
- Chia bài toán lớn thành các bài toán nhỏ
  - Nếu bài toán nhỏ đơn giản ⇒ giải trực tiếp
  - Nếu chưa giải được bài toán nhỏ ⇒ tiếp tục chia

Gộp lời giải của các bài toán con để xây dựng lời giải của bài toán ban đầu

Nguyên lý thiết kế giải thuật

- Lược đồ của nguyên lý thiết kế đi từ trên xuống (Top-Down Design)

```
DivideAndConquer (A,x)    // tìm nghiệm x của bài toán A
{
  if (A đủ nhỏ)
        Solve (A); // Giải quyết
   else {
        Chia bài toán A thành các bài toán con A1, A2,…, Am;
        for (i = 1; i <= m ; i ++)
            DivideAndConquer (Ai , xi);
        Kết hợp các nghiệm xi của các bài toán con Ai (i=1, …, m) để nhận được
        nghiệm x của bài toán A;
  }
}
```

Nguyên lý thiết kế giải thuật

❑ **Ví dụ**: Tìm phần tử lớn nhất trong một dãy có n số

- Chia dãy ban đầu thành 2 dãy A_1, A_2 có n/2 phần tử. Tìm phần tử lớn nhất trong A_1 và so sánh với phần tử lớn nhất trong A_2 ⇒ phần tử lớn nhất của dãy số
- Nếu chưa tìm được phần tử lớn nhất trong A_1 ⇒ tiếp tục chia A_1 thành 2 dãy con nhỏ hơn, …
- Nếu chưa tìm được phần tử lớn nhất trong A_2 ⇒ tiếp tục chia A_2 thành 2 dãy con nhỏ hơn…

Nguyên lý thiết kế giải thuật

❑Đi từ dưới lên (Bottom-Up Design)

- Phù hợp với các kĩ thuật: tham lam, tinh chỉnh từng bước,…
- Dựa trên khái niệm qui nạp toán học
- Cách thực hiện:
  - Đi giải quyết trực tiếp bài toán nhỏ với số lượng dữ liệu là ít nhất
  - Thêm dữ liệu vào bài toán nhỏ để mở rộng ra một chút và giải quyết
  - Tiếp tục mở rộng cho đến khi bài toán nhỏ có kích thước bằng với bài toán lớn
  - Kết quả sau cùng chính là kết quả của bài toán lớn

Nguyên lý thiết kế giải thuật

- **Ví dụ**: Tìm giá trị của phần tử lớn nhất trong một dãy có n số
  - Tìm phần tử có giá trị lớn nhất giữa [0] và [1] và đưa vào max
  - Tìm phần tử lớn nhất giữa max với [3] và đưa vào max
  - …
  - Tìm phần tử lớn nhất giữa max với [n] và đưa vào max

⇒ max chính là giá trị của phần tử lớn nhất trong dãy

Đánh giá
Độ Phức Tạp Thuật Giải

Lựa chọn Thuật giải

- Giải quyết bài toán
  - Phải đứng trước việc phải lựa chọn giải thuật nào ?
  - Dựa trên cơ sở nào để lựa chọn ?

⇒ Lựa chọn thuật giải có tính hiệu quả cao nhất

- Tính hiệu quả của thuật giải được đo đạc thông qua các tiêu chí
  - Có chi phí sử dụng tài nguyên thấp: ít tốn bộ nhớ, ít thời gian sử dụng CPU,…
  - Có thời gian thực hiện giải thuật nhanh
  - Có độ phức tạp giải thuật thấp

Tính thời gian thực hiện giải thuật

- Thời gian thực hiện giải thuật có thể đo được bằng cách lập trình
- Ví dụ: Xây dựng một chuỗi có 10000 kí tự *

```
public class StringBuilder {
    public static void main(String[] args) {
        long startTime = System.currentTimeMillis(); // Ghi nhận thời điểm bắt đầu

        // Thực hiện giải thuật
        String result = "";
        for (int i=0; i < 10000; i++)
            result = result + "*";

        long endTime = System.currentTimeMillis(); // Ghi nhận thời điểm kết thúc
        long elapsed = endTime - startTime; // Tính toán thời gian thực hiện giải thuật
    }
}
```

Tính thời gian thực hiện giải thuật

- Tuy nhiên, phương pháp thực nghiệm này có nhiều khuyết điểm:
  - Do được cài đặt bằng ngôn ngữ lập trình cụ thể nên thuật toán sẽ chịu sự hạn chế của ngôn ngữ này
  - Hiệu quả của thuật toán bị ảnh hưởng bởi trình độ của người cài đặt
  - Không chọn được bộ dữ liệu thử đặc trưng cho tất cả các trường hợp
  - Quá trình tính toán thời gian thực hiện phụ thuộc vào tốc độ xử lý của máy tính sử dụng

⇒Kết quả tính toán sẽ không đồng nhất nhau khi thay đổi một trong các yếu tố

Tính độ phức tạp giải thuật

- Là phương pháp tính số phép toán cơ bản để thực hiện giải thuật
- Phép toán cơ bản là phép toán thực hiện được trong 1 đơn vị thời gian:
  - Gán giá trị cho 1 biến. Ví dụ: int a = 1;
  - Truy xuất thành phần của 1 đối tượng. Ví du: Object.x, Object.getValue();
  - Tính một phép toán số học. Ví dụ: a + b, a * b, a – b, a / b,…
  - So sánh hai số. Ví dụ: a > b, a <= b,…
  - Truy cập một phần tử của mảng. Ví dụ: a[1], a[6], a[i],…
  - Gọi một hàm. Ví dụ: Print(); GoTo(); GetHeight();
  - Trả trị của hàm. Ví dụ: return 35; return result;

Tính độ phức tạp giải thuật

- Gọi n là kích thước đầu vào của dữ liệu
- Thời gian thực hiện của giải thuật là một hàm f(n)
- Ví dụ: thời gian chạy của 2 giải thuật

```
1  i = 1
2  loop (i <= 1000)
     1  application code
     2  i = i + 1
```

f(n) = 1000

```
1  i = 1
2  loop (i <= 1000)
     1  application code
     2  i = i + 2
```

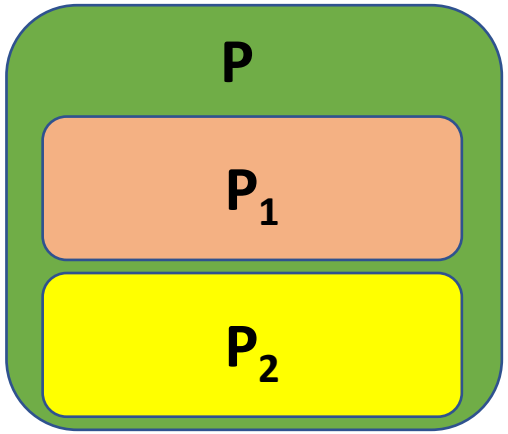
f(n) = 500

Tính độ phức tạp giải thuật

- Hàm f(n) tuân theo 2 nguyên tắc:

- **Nguyên tắc cộng**:

Nếu chương trình P gồm 2 đoạn chương trình con $P_1(f_1(n))$ và $P_2(f_2(n))$ chạy nối tiếp nhau

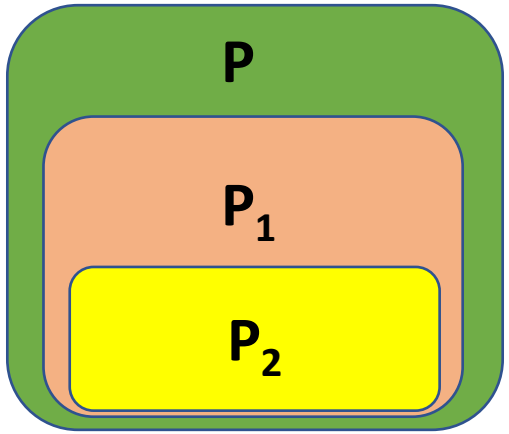


Thì độ phức tạp của P:

$$f(n) = \max(f_1(n), f_2(n))$$

- **Nguyên tắc nhân**:

Nếu chương trình P gồm 2 đoạn chương trình con $P_1(f_1(n))$ và $P_2(f_2(n))$ chạy lồng nhau

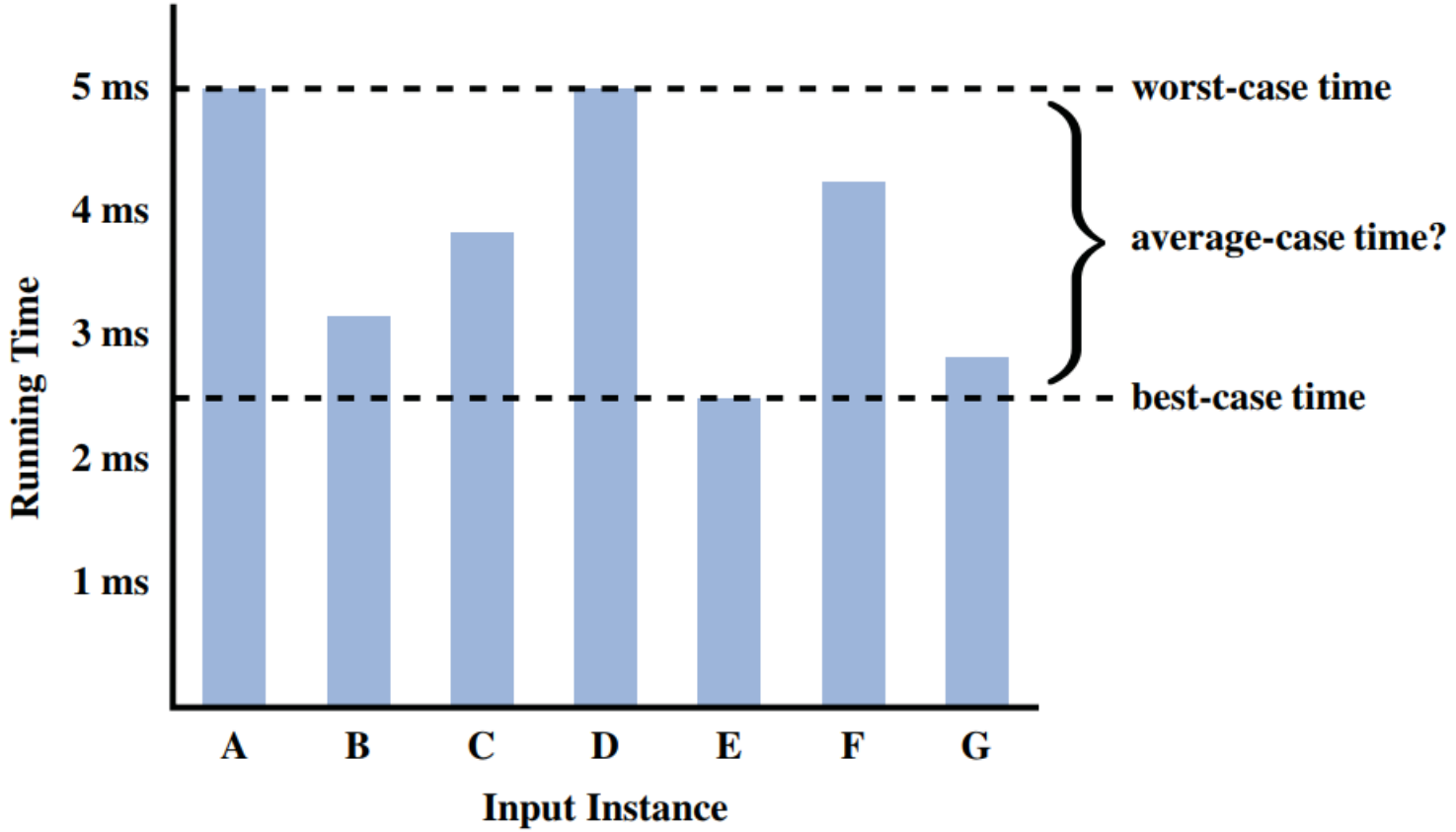


Thì độ phức tạp của P:

$$f(n) = f_1(n) * f_2(n)$$

Tính độ phức tạp giải thuật

- f(n) là một hàm phụ thuộc vào dữ liệu đầu vào nên khi dữ liệu thay đổi thì f(n) cũng thay đổi ⇒ chỉ quan tâm đến độ phức tạp của f(n) trong trường hợp xấu nhất



Tính độ phức tạp giải thuật

- Thời gian thực hiện của giải thuật cũng sẽ thay đổi khi kích thước đầu vào của dữ liệu thay đổi ⇒ chúng ta cần quan tâm đến **tốc độ tăng (rate of growth)** của hàm f(n)
- Ví dụ:
  - Giải thuật A, độ phức tạp thời gian $f_A(n)$
  - Giải thuật B, độ phức tạp thời gian $f_B(n)$
  - Khi n lớn, $f_A(n) >> f_B(n)$

  ⇒ Giải thuật A chậm hơn giải thuật B

Tính độ phức tạp giải thuật

- Để xác định độ tăng của hàm f(n) ta sử dụng khái niệm toán học Big-O để chỉ cận trên của một hàm

- **Định nghĩa**: gọi f(n) và g(n) là 2 hàm số không âm của n. Ta có độ tăng của f(n) là O(g(n)) nếu tồn tại hằng số c và n_0 sao cho $f(n) \leq c.g(n)$ $\forall n > n_0$

- **Ý nghĩa**: g(n) là tiệm cận trên của f(n)

Tính độ phức tạp giải thuật

- Ví dụ: Giả sử $f(n) = 5n^3 + 2n^2 + 13n + 6$, ta có:

$f(n) = 5n^3 + 2n^2 + 13n + 6 \leq 5n^3 + 2n^3 + 13n^3 + 6n^3 = 26n^3$

Đặt $g(n) = n^3$ thì ta có $f(n) \leq 26.g(n)\ \forall n > 1$

Nói cách khác: $f(n) = O(n^3)$

Ý nghĩa: tốc độ tăng của hàm f(n) không lớn hơn hàm $g(n) = n^3$

Tính độ phức tạp giải thuật

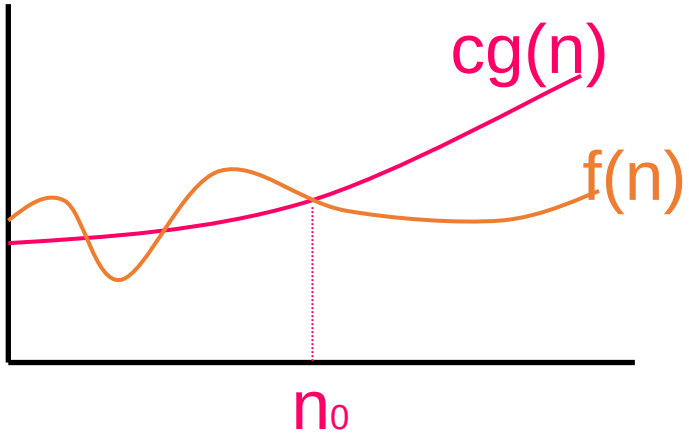
- Trong trường hợp ta tìm thấy $f(n) \geq c.g(n)$, $\forall n \geq n_0$ thì ta nói f(n) là $\Omega(g(n))$ hay g(n) là O(f(n)) (Khái niệm về Ω - Big-Omega)$\Leftrightarrow$ g(n) là tiệm cận dưới của f(n)

- Còn nếu hai hàm f(n) và g(n) tăng trưởng ở một mức độ như nhau, tức là: $c'g(n) \leq f(n) \leq c''g(n)$ thì ta nói f(n) là $\Theta(g(n))$ (f(n) là Big-Theta của g(n)) $\Leftrightarrow$ g(n) là tiệm cận của f(n)

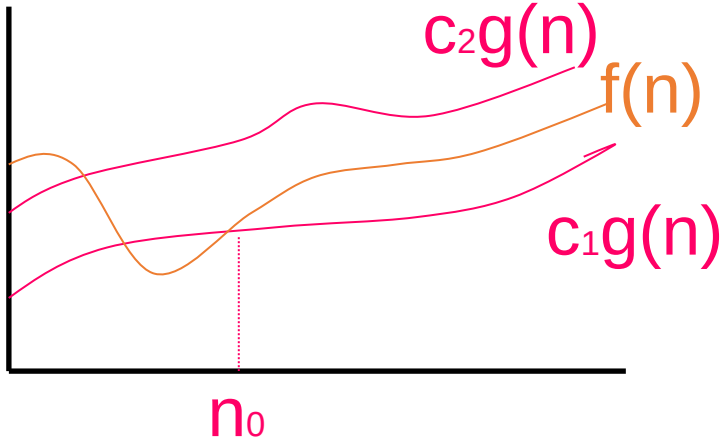
Tính độ phức tạp giải thuật

- Biểu đồ thể hiện mối tương quan của f(n) với O(g(n)), Ω(g(n)) và Θ(g(n))

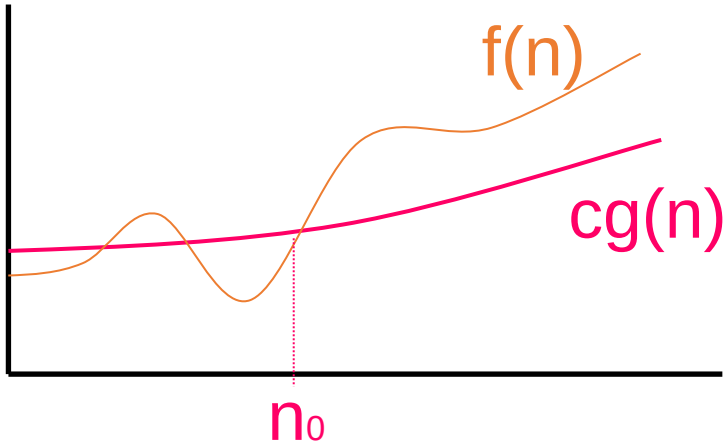
$f(n)=O(g(n))$



$f(n)=\Theta(g(n))$



$f(n)=\Omega(g(n))$



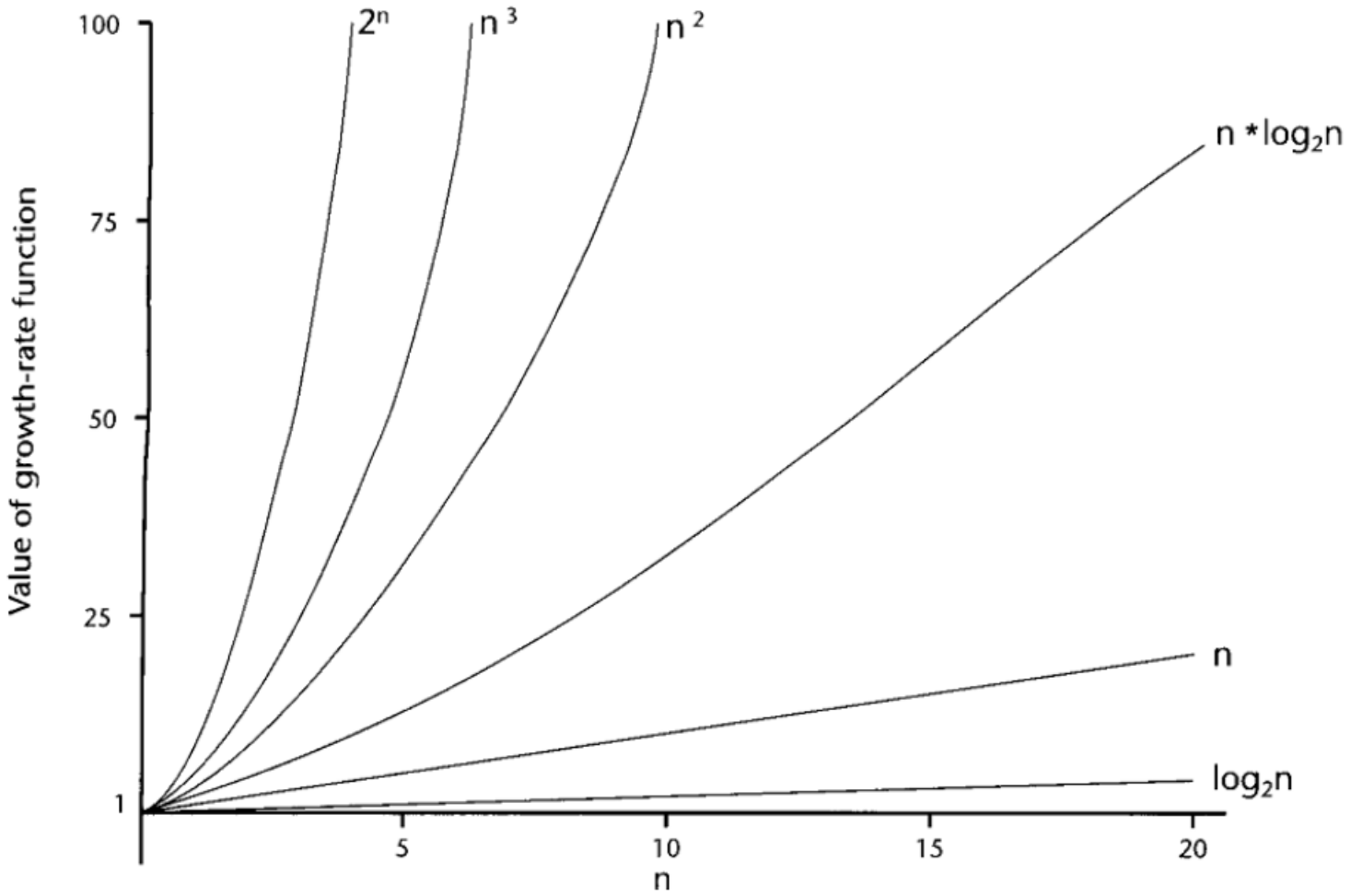
Tính độ phức tạp giải thuật

- Bảng thể hiện độ tăng của các hàm số ứng với dữ liệu đầu vào có kích thước là n

n	$\log n$	n	$n \log n$	n^2	n^3	2^n
8	3	8	24	64	512	256
16	4	16	64	256	4,096	65,536
32	5	32	160	1,024	32,768	4,294,967,296
64	6	64	384	4,096	262,144	1.84×10^{19}
128	7	128	896	16,384	2,097,152	3.40×10^{38}
256	8	256	2,048	65,536	16,777,216	1.15×10^{77}
512	9	512	4,608	262,144	134,217,728	1.34×10^{154}

Tính độ phức tạp giải thuật

- Biểu đồ thể hiện độ tăng của các hàm



Độ phức tạp tăng dần

- n! :O(n!)
- 2^n :O(2^n)
- n^3 :O(n^3)
- n^2 :O(n^2)
- $n\log_2 n$:O($n\log_2 n$)
- n :O(n)
- $\log_2 n$:O($\log_2 n$)
- Hằng số :O(c)

Bài tập

- Tính Big-O của các hàm số sau:

1/ $f(n) = 5n^4 + 3n^3 + 2n^2 + 4n + 1$

2/ $f(n) = 5n^2 + 3n\log n + 2n + 5$

(ghi chú: $\log n = \log_2 n$)

3/ $f(n) = 20n^3 + 10n\log n + 5$

4/ $f(n) = 3\log n + 2$

5/ $f(n) = 2^{n+2}$

6/ $f(n) = 2n + 100\log n$

7/ $f(n) = 2n$

8/ $f(n) = 10$

Bài tập

- Tính độ phức tạp của thuật toán sau:

```
sum = 0;
for (int i = 0; i < n; i++){
    System.out.println(sum);
    sum = sum + i;
}
```

Bài tập

- Tính độ phức tạp của thuật toán sau:

Bước 1: Gán tổng = 0. Gán i = 0.

Bước 2:

- Tăng i thêm 1 đơn vị
- Gán tổng = tổng + i

Bước 3: so sánh i với 10

- Nếu i < 10, quay lại bước 2
- Ngược lại, nếu i ≥ 10, dừng thuật toán

Gợi ý: số phép gán của thuật toán là bao nhiêu ? Số phép so sánh là bao nhiêu ?

Bài tập

- Tính độ phức tạp của thuật toán tính tổng dãy số sau:

$$S = 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{6} + \ldots + \frac{1}{n!}$$

- Cho mảng A có chứa các số nguyên, có n phần tử, giải thuật sau xác định mảng A có chứa số nguyên x hay không

```
i = 0;
while (i < n && A[i] != x)
    i++;
```

Tính độ phức tạp của giải thuật trên

Bài tập

- Cho biết độ phức tạp của các thuật toán sau:

Thuật toán 1:
```
for (i=0; i<n; i++)
    for (j=0; j<n; j++)
        k++;
```

Thuật toán 2:
```
for (i=0; i<n; i++)
    k++;
for (i=0; i<n; i++)
    for (j=0; j<n; j++)
        k++;
```

Thuật toán 3:
```
for (int i=0; i<n-1; i++)
    for (int j=0; j<i; j++)
        k += 1;
```

Bài tập

- Cho biết độ phức tạp của thuật toán sau:

```
int MaxSubSum1(const int a[], int n) {
        int maxSum=0;
        for (int i=0; i<n; i++)
                for (int j=i; j<n; j++) {
                        int thisSum=0;
                        for (int k=i; k<=j; k++)        thisSum+=a[k];
                        if (thisSum>maxSum)maxSum=thisSum;
                }
        return maxSum;
}
```

Bài tập

- Cho biết độ phức tạp của thuật toán sau:

```
int MaxSubSum4(const int a[], int n) {
   int maxSum=0, thisSum=0;
   for (int j=0; j<n; j++) {
            thisSum+=a[j];
            if (thisSum>maxSum) maxSum=thisSum;
            else if (thisSum<0) thisSum=0;
   }
   return maxSum;
}
```

Bài tập

- Cho biết độ phức tạp của thuật toán sau:

```
sum = 0;
for (j = 0; j < n; j++)
    for (k = 0; k < n*n; k++)
        sum++;
```

Hỏi & Giải đáp

"Formal education will make you a living;
self-education will make you a fortune"

Bài học kế tiếp

1. Bài toán tìm kiếm

- Tìm kiếm tuần tự
- Tìm kiếm nhị phân

2. Bài toán sắp xếp

- Giải thuật sắp xếp cơ bản
- Giải thuật sắp xếp cải tiến

Tài liệu tham khảo

➢Tài liệu môn học

- [1] Michael T. Goodrich, Roberto Tamassia, Data Structures & Algorithms in Java (6^{th} Edition)
- [2] Trần Hạnh Nhi, Dương Anh Đức, Cấu trúc dữ liệu & giải thuật, Khoa CNTT, trường ĐH KHTN ĐHQG TpHCM

➢Tài liệu tham khảo thêm

- [3] Thomas H. Cormen et al., 2009, Introduction to Algorithms, 3^{rd} Edition, ebook.
- [4] Hoàng M. L., 2002, Cấu trúc dữ liệu và giải thuật, ĐHSP Hà Nội.