

Giới thiệu về tính toán song song

Đỗ Thanh Nghị
dtngghi@cit.ctu.edu.vn

Nội dung

- Giới thiệu
- Mô hình lập trình song song
- Giao diện MPI

Nội dung

- Giới thiệu
- Mô hình lập trình song song
- Giao diện MPI

Yêu cầu về tính toán

- Giới thiệu
- Mô hình lập trình song song
- Giao diện MPI

- Nhiều vấn đề trong thực tiễn
 - Yêu cầu về tốc độ tính toán
 - Xử lý và tính toán dữ liệu khổng lồ
 - Mô phỏng, dự báo thời tiết, thiên văn, sinh học, etc
 - Máy tính đơn: cần nhiều thời gian
 - Máy tính song song (nhiều CPU), PC cluster (nhóm máy tính), Grid (lưới): thực hiện song song trên nhiều CPU => tăng tốc (thời gian tính toán ngắn)

Nhu cầu về tính toán

- Giới thiệu
- Mô hình lập trình song song
- Giao diện MPI

- Dự báo thời tiết toàn cầu
 - Dữ liệu càng lớn => dự báo càng chính xác
 - Phân tích và xử lý hàng Petabytes dữ liệu
 - Yêu cầu tính toán khổng lồ
 - Máy tính đơn: gần như không có khả năng thực hiện
 - Máy tính song song: chi phí cao
 - PC cluster, Grid: chi phí thấp

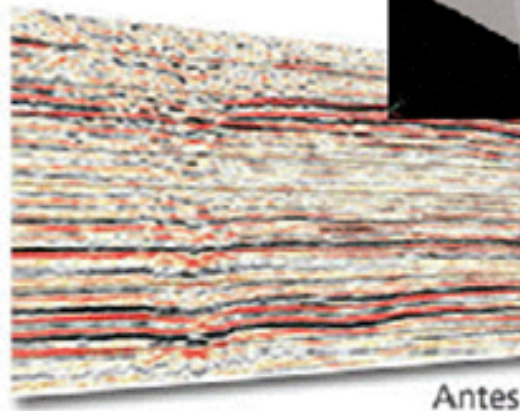
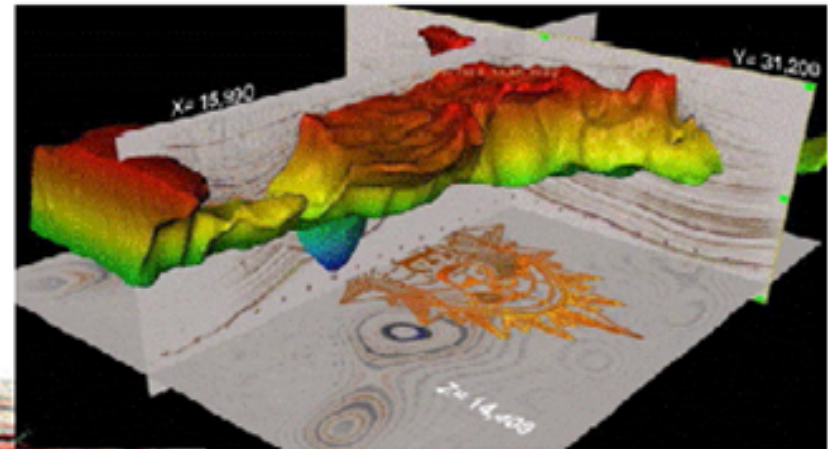
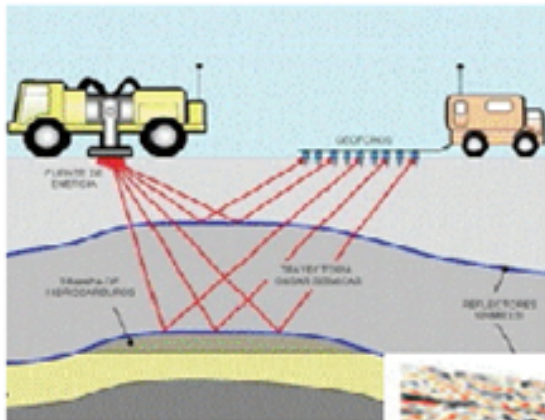
(1): 1 Kb = 1000 bytes, 1 Mb = 1000² bytes, 1 Gb = 1000³ bytes, 1 Tb = 1000⁴ bytes,
1 Pb = 1000⁵ bytes, 1 Eb = 1000⁶ bytes, 1 Zb = 1000⁷ bytes, 1 Yb = 1000⁸ bytes

Nhu cầu về tính toán

- Giới thiệu
- Mô hình lập trình song song
- Giao diện MPI

■ Công nghiệp khai thác mỏ

- ▣ Thăm dò địa chấn: dữ liệu lớn, giải thuật phức tạp
- ▣ Mô phỏng mỏ: nghiên cứu tác động quá trình khai thác

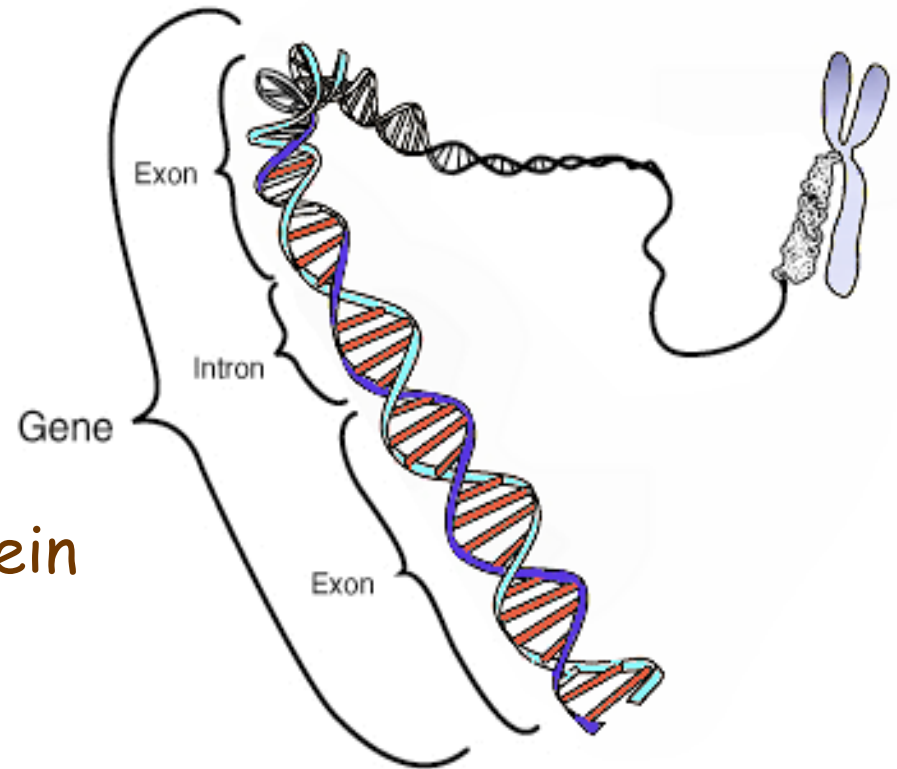


Nhu cầu về tính toán

■ Sinh tin học

- ▣ Bắt cặp trình tự
- ▣ Bắt cặp cấu trúc protein
- ▣ Dự đoán cấu trúc protein
- ▣ Dự đoán biểu hiện gen
- ▣ Tương tác protein - protein

- Giới thiệu
- Mô hình lập trình song song
- Giao diện MPI



Nhu cầu về tính toán

- Giới thiệu
- Mô hình lập trình song song
- Giao diện MPI

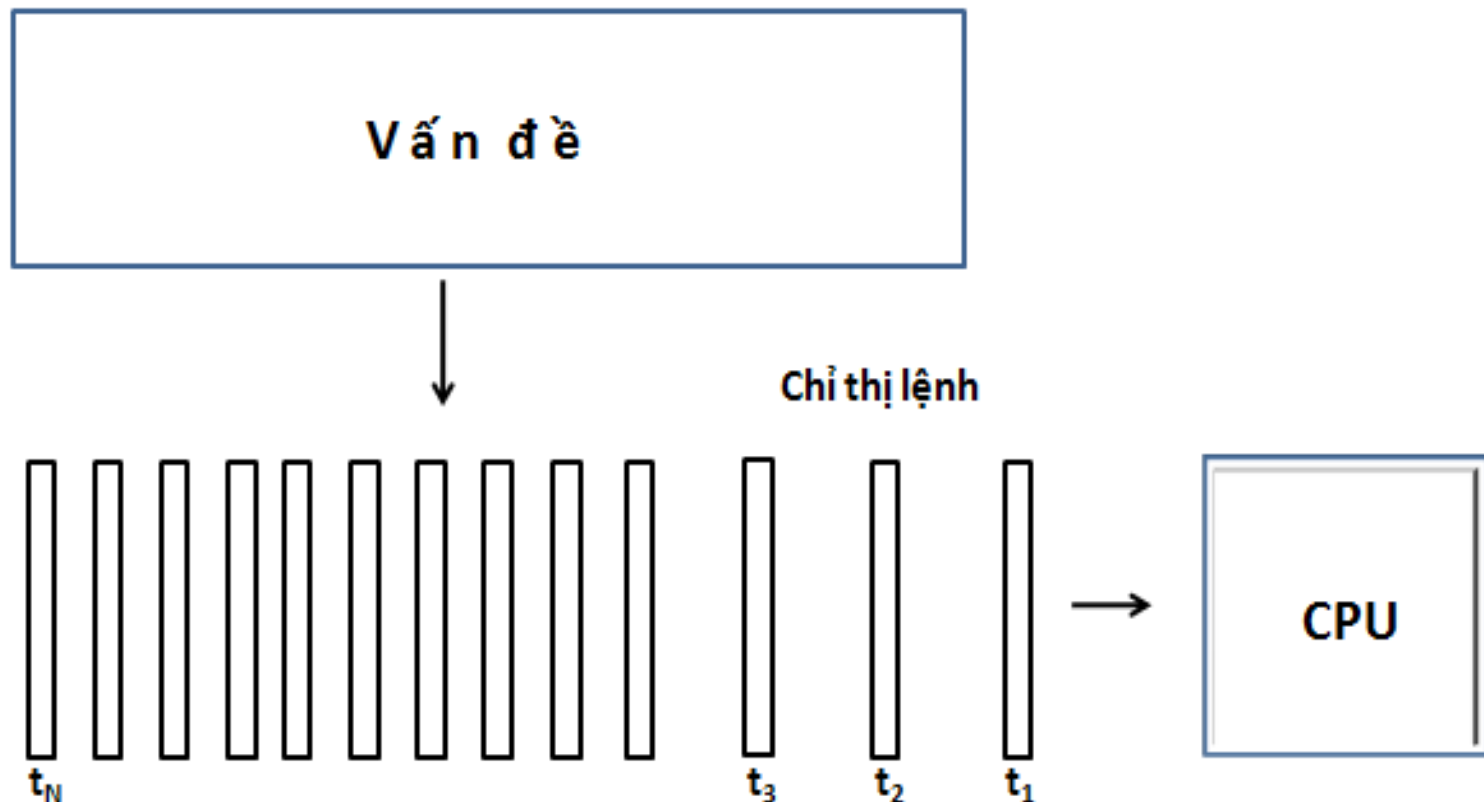
- Khám phá tri thức và khai thác dữ liệu
 - Khám phá tri thức quan trọng từ kho dữ liệu khổng lồ
 - Phát hiện quan trọng trong khoa học
 - Dự báo chính xác về thời tiết và các thảm họa tự nhiên
 - Xác định được nguyên nhân và phương pháp điều trị các căn bệnh hiểm nghèo
 - Dự báo dịch hại
 - Nhận dạng
 - Tìm kiếm thông tin
 - Tự tổ chức lưu trữ thông tin

Tính toán tuần tự

- Giới thiệu
- Mô hình lập trình song song
- Giao diện MPI

■ Nhiều vấn đề trong thực tiễn

- Phức tạp, yêu cầu về tốc độ tính toán
- Tính toán tuần tự (1 CPU): cần nhiều thời gian

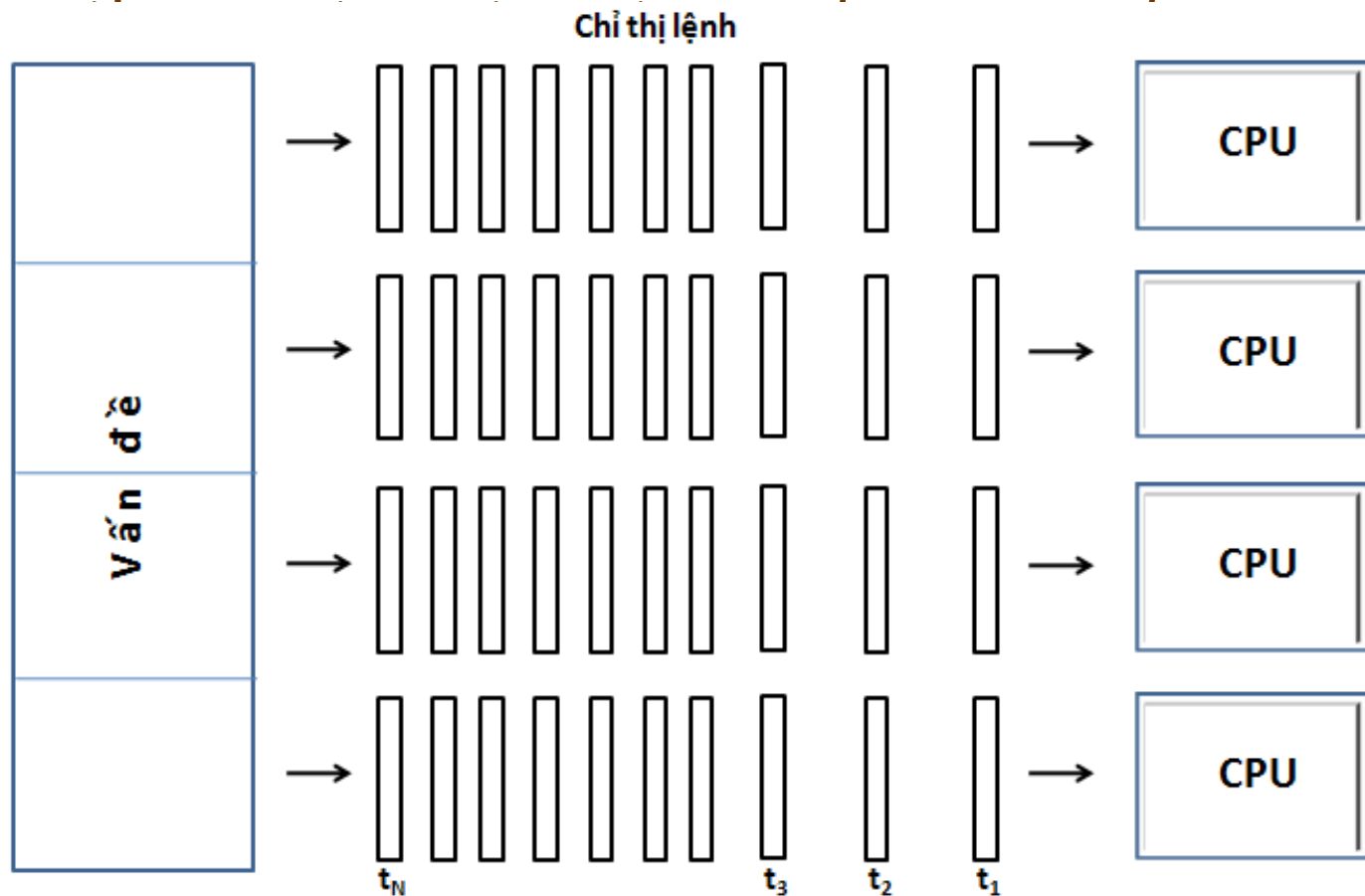


Tính toán song song

- Giới thiệu
- Mô hình lập trình song song
- Giao diện MPI

■ Tính toán song song trên nhiều CPU

- ▣ Vấn đề được chia thành nhiều phần tương đối độc lập và được thực hiện đồng thời: tăng tốc tính toán



Tính toán song song

- Giới thiệu
- Mô hình lập trình song song
- Giao diện MPI

- Quá trình tính toán gồm nhiều tiến trình được kích hoạt đồng thời và cùng tham gia giải quyết một bài toán / vấn đề trên hệ thống có nhiều bộ xử lý

Tại sao tính toán song song?

- Yêu cầu của người dùng:
 - Cần thực hiện một khối lượng công việc lớn
 - Thời gian xử lý phải nhanh
- Yêu cầu thực tiễn:
 - Không thể tạo một máy tính với tài nguyên bộ nhớ và khả năng tính toán vô hạn
 - Hiện đang có rất nhiều bài toán mà xử lý tuần tự không thể đáp ứng được
 - Việc tính toán trên hệ thống có nhiều CPU sẽ nhanh hơn trên hệ thống có 1 CPU
 - Tính toán song song sẽ giải quyết được bài toán lớn, phức tạp

- Giới thiệu
- Mô hình lập trình song song
- Giao diện MPI

Tài nguyên tính toán song song

- Một máy tính đơn có nhiều bộ xử lý
- Nhiều máy tính được kết nối mạng
- Một siêu máy tính có nhiều bộ đa xử lý
- Phần cứng chuyên biệt
 - Field-Programmable Gate Array (FPGA)
 - Bộ xử lý đa năng của card đồ họa (GPU)
- Hoặc có thể là sự kết hợp của các loại thiết bị như trên

- Giới thiệu
- Mô hình lập trình song song
- Ứng dụng MPI

Hình thức tính toán song song

- Tính toán song song:
 - Song song cấp bit
 - Song song cấp lệnh (ngôn ngữ LT)
 - Song song dữ liệu
 - Song song tác vụ (chương trình con)

PC cluster

- Giới thiệu
- Mô hình lập trình song song
- Giao diện MPI



PC cluster

- Giới thiệu
- Mô hình lập trình song song
- Giao diện MPI

■ PC cluster

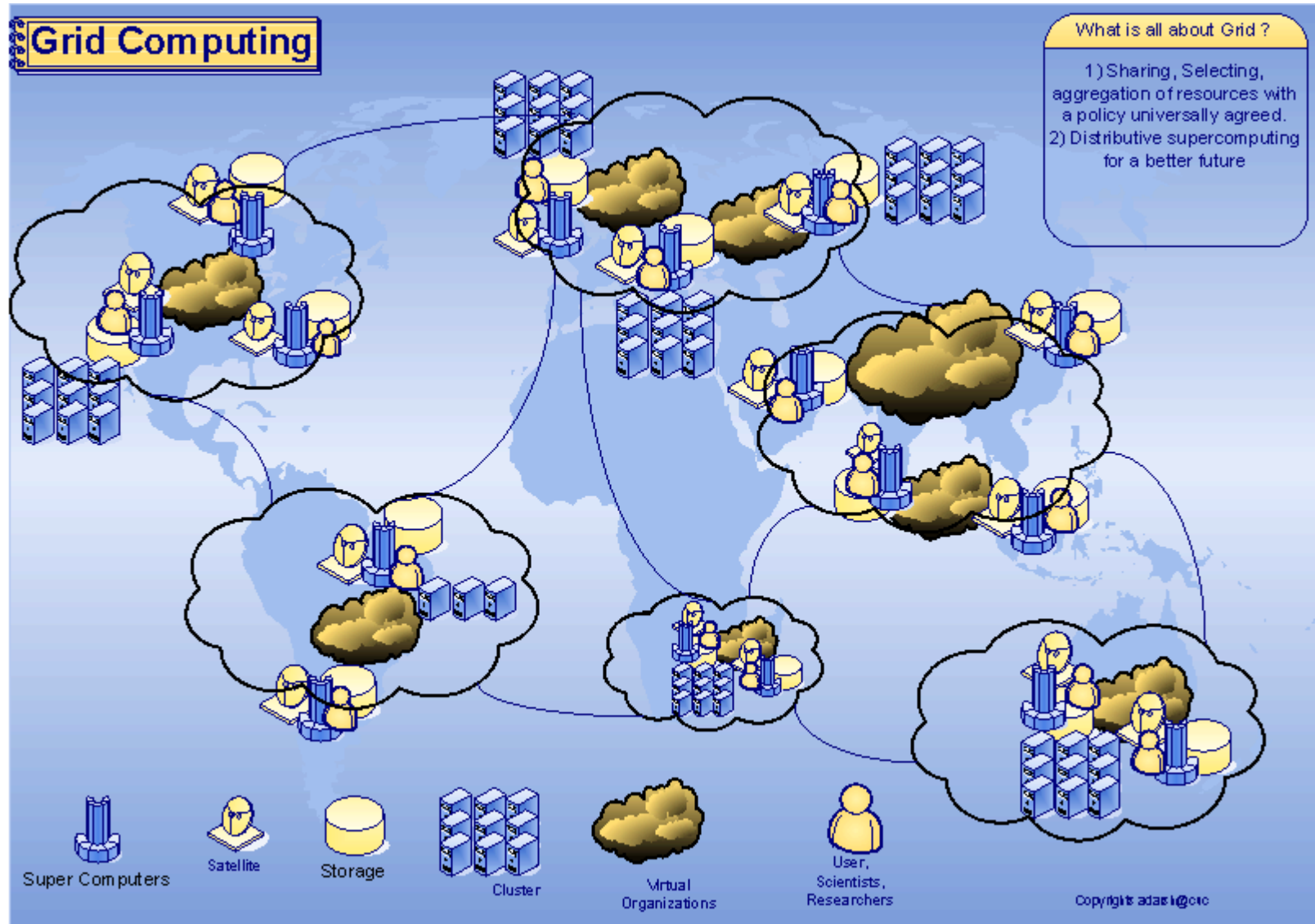
- Nhóm các nút tính toán (chẳng hạn như PC)
- Mỗi nút chạy hệ điều hành của riêng nó
- Được nối kết cục bộ (tốc độ cao)
- Được xem như một "siêu" máy tính đơn

■ Đặc trưng của PC cluster

- Sử dụng các microprocessor: chi phí thấp
- Mạng tốc độ cao
- Khả năng chịu đựng hỏng hóc
- Phần mềm tính toán phân tán với hiệu năng cao
- Giao diện MPI: quản lý tính toán trên cluster

Lưới (Grid)

- Giới thiệu
- Mô hình lập trình song song
- Giao diện MPI



Lưới (Grid)

- Giới thiệu
- Mô hình lập trình song song
- Giao diện MPI

■ Giới thiệu về lưới

- Tập hợp các tài nguyên đa dạng
- Siêu máy tính, PC clusters, hệ thống lưu trữ
- Được nối kết tốc độ cao
- Chia sẻ
- Phân tán
- Đa dạng: hệ điều hành, hệ thống tập tin
- Được xem như một "siêu" máy tính đơn
- Khả năng chịu đựng hỏng hóc
- Phần mềm tính toán phân tán với hiệu năng cao
- Giao diện MPI: quản lý tính toán trên cluster

Lưới (Grid)

- Giới thiệu
- Mô hình lập trình song song
- Giao diện MPI

■ Khái niệm

- Ứng dụng: nhiều công việc thực thi song song trên nhiều máy tính khác nhau của lưới
- Đăng ký sử dụng tài nguyên
- Lập lịch: người dùng đề xuất hay hệ thống tự tìm tài nguyên thích hợp
- Hệ thống phân công việc đến các tài nguyên như lịch đã lập
- Hệ thống quản lý: theo dõi tài nguyên sẵn dùng, trạng thái hiện tại của công việc, người dùng
- An ninh: chứng thực, xác thực, đăng nhập

Lưới (Grid)

- Giới thiệu
- Mô hình lập trình song song
- Giao diện MPI

■ Lợi ích

- Tiết kiệm thời gian và tài nguyên
- Thực thi một chương trình song song trên nhiều máy tính khác nhau
- Tận dụng tài nguyên nhàn rỗi trên mạng: CPU, đĩa
- Tài nguyên ảo: tận dụng tất cả tài nguyên không đồng nhất
- Cân bằng tải sử dụng tài nguyên
- Độ tin cậy: khả năng chịu đựng hỏng hóc
- Chi phí thấp
- Dễ bảo trì, quản lý

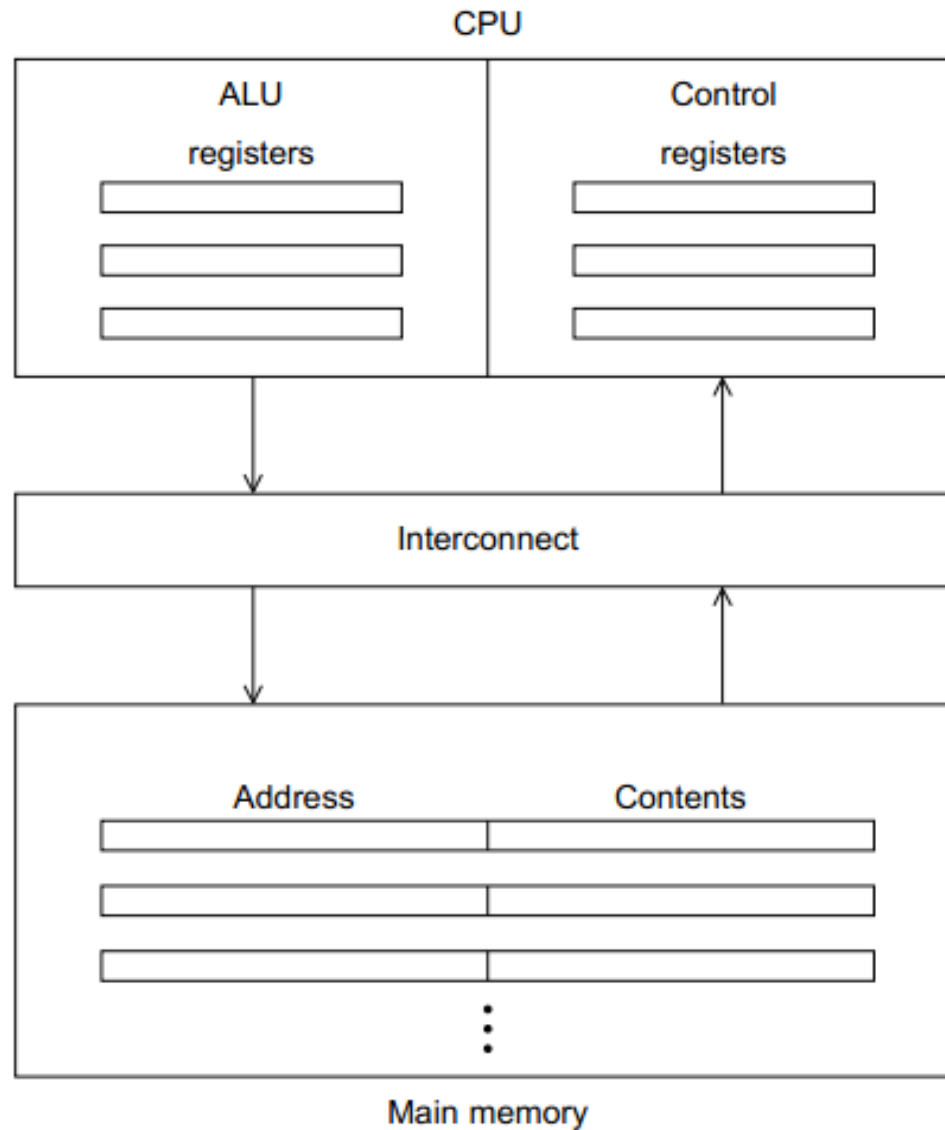
Nội dung

- Giới thiệu
- Các mô hình tính toán song song
- Giao diện MPI

Kiến trúc phần cứng

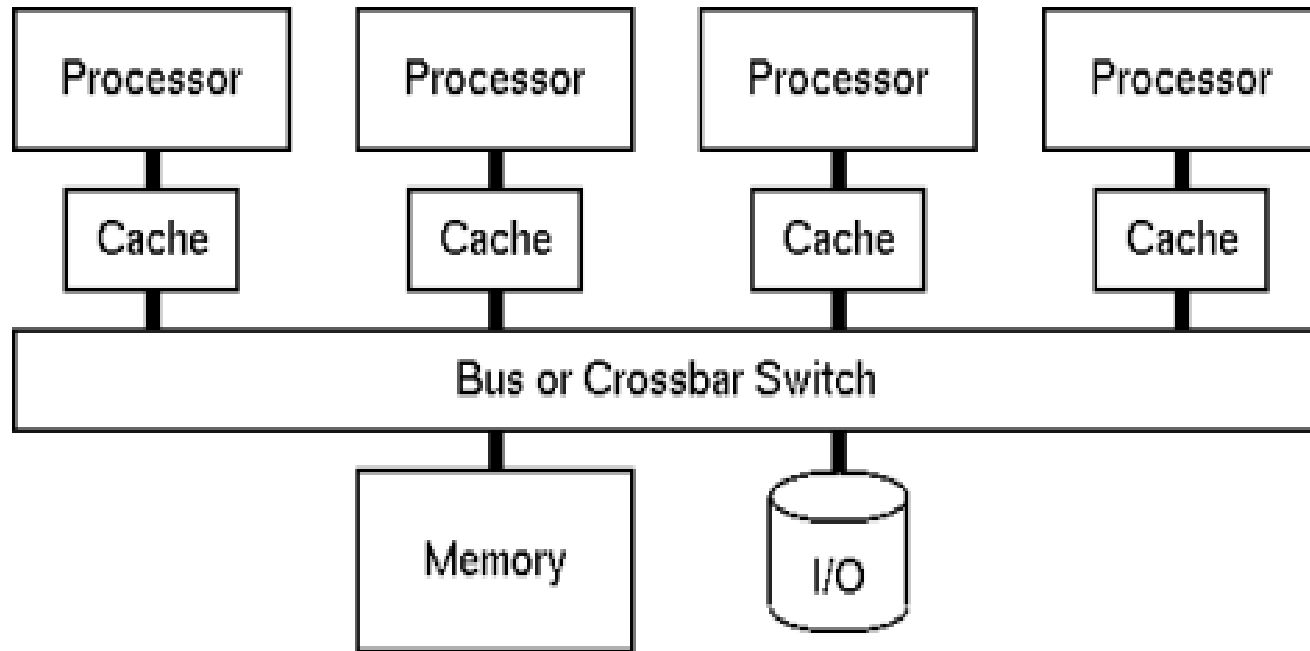
Mô hình von Neumann

- Giới thiệu
- Mô hình lập trình song song
- Giao diện MPI



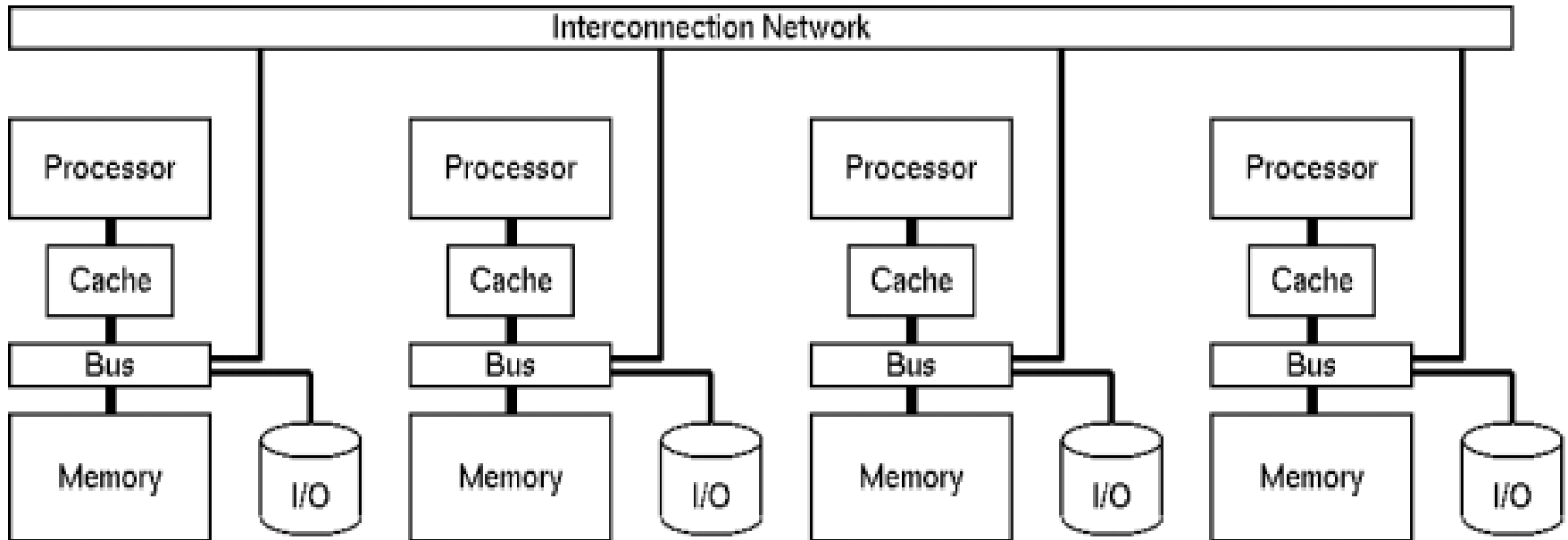
Kiến trúc phần cứng Symmetric Multiprocessor (SMP)

- Giới thiệu
- Mô hình lập trình song song
- Giao diện MPI



Kiến trúc phần cứng Massively Parallel Processors (MPP)

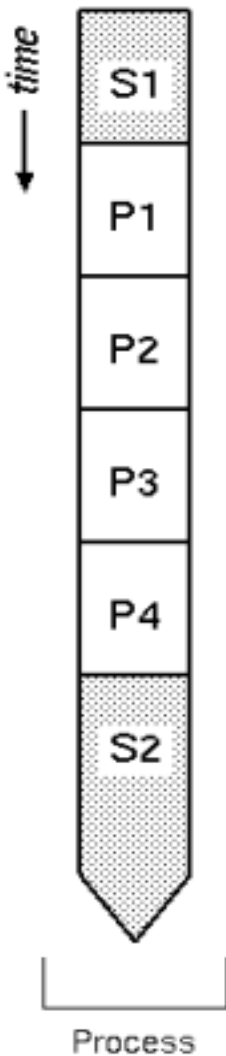
- Giới thiệu
- Mô hình lập trình song song
- Giao diện MPI



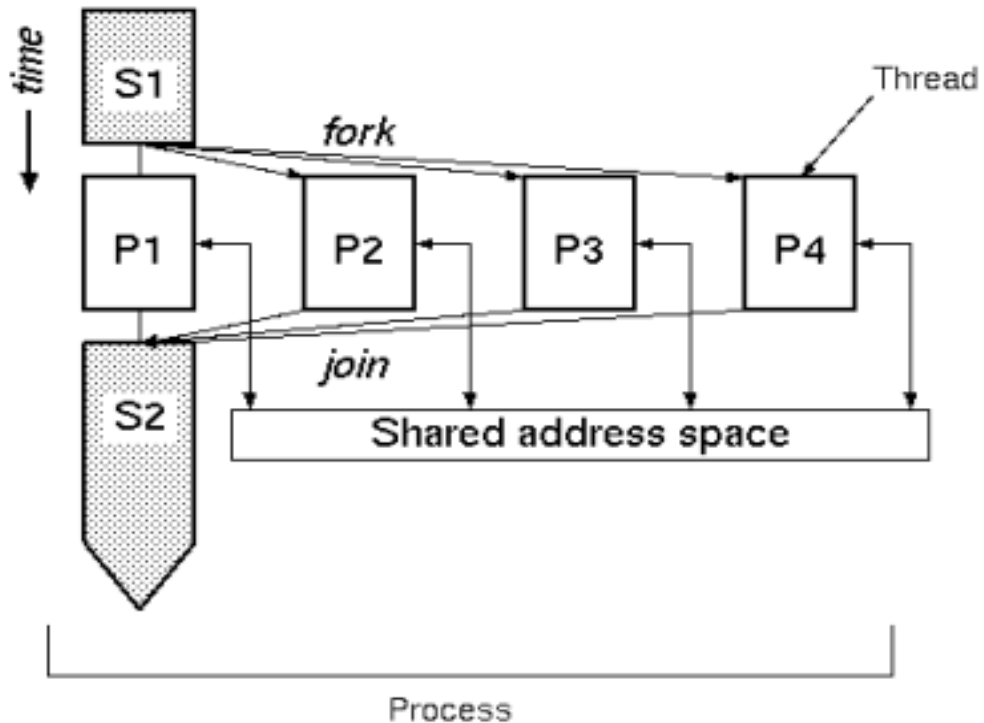
Mô hình lập trình (SMP)

- Giới thiệu
- Mô hình lập trình song song
- Giao diện MPI

Single thread



Multi-thread

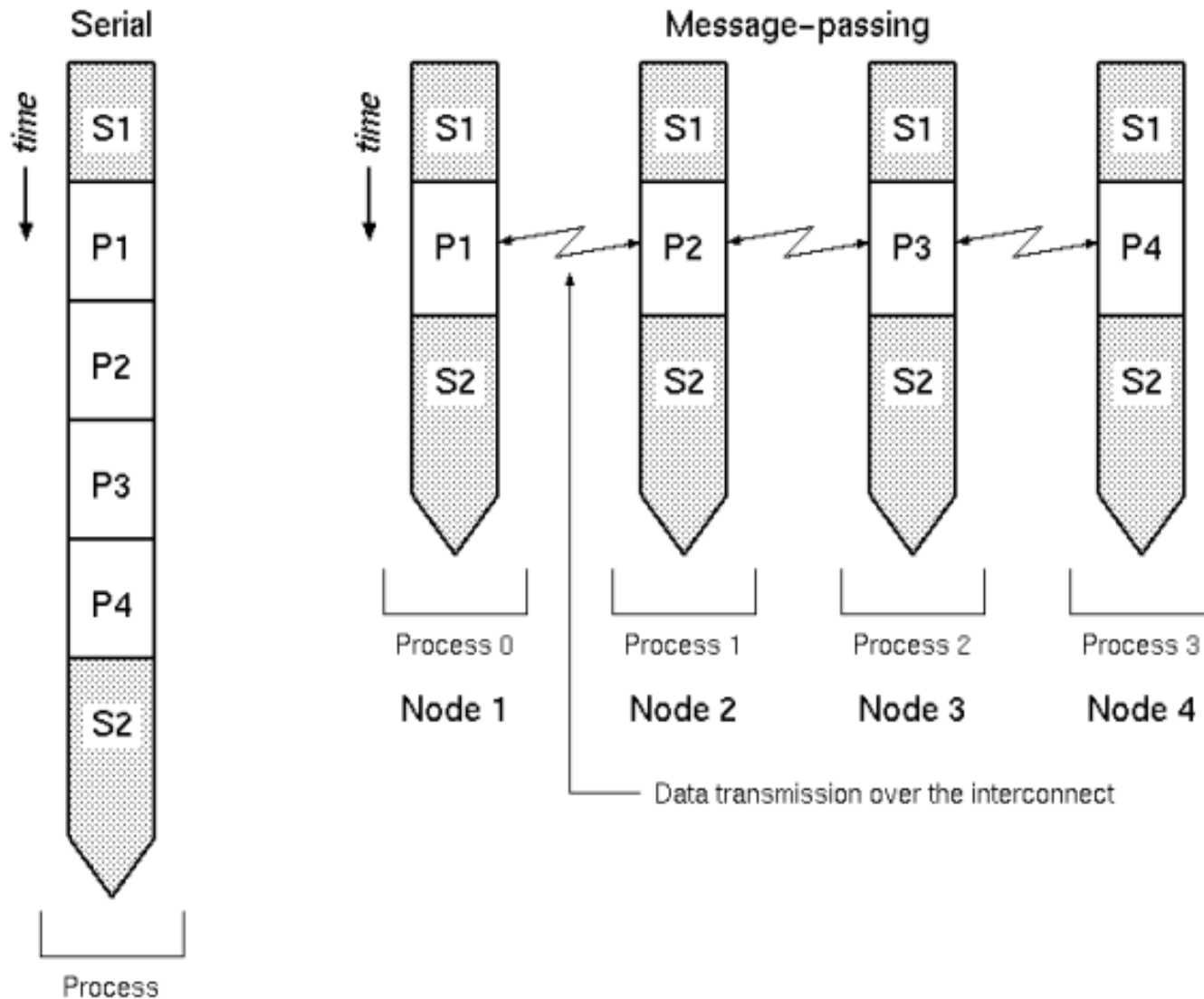


Mô hình lập trình (simple MPP)

■ Giới thiệu

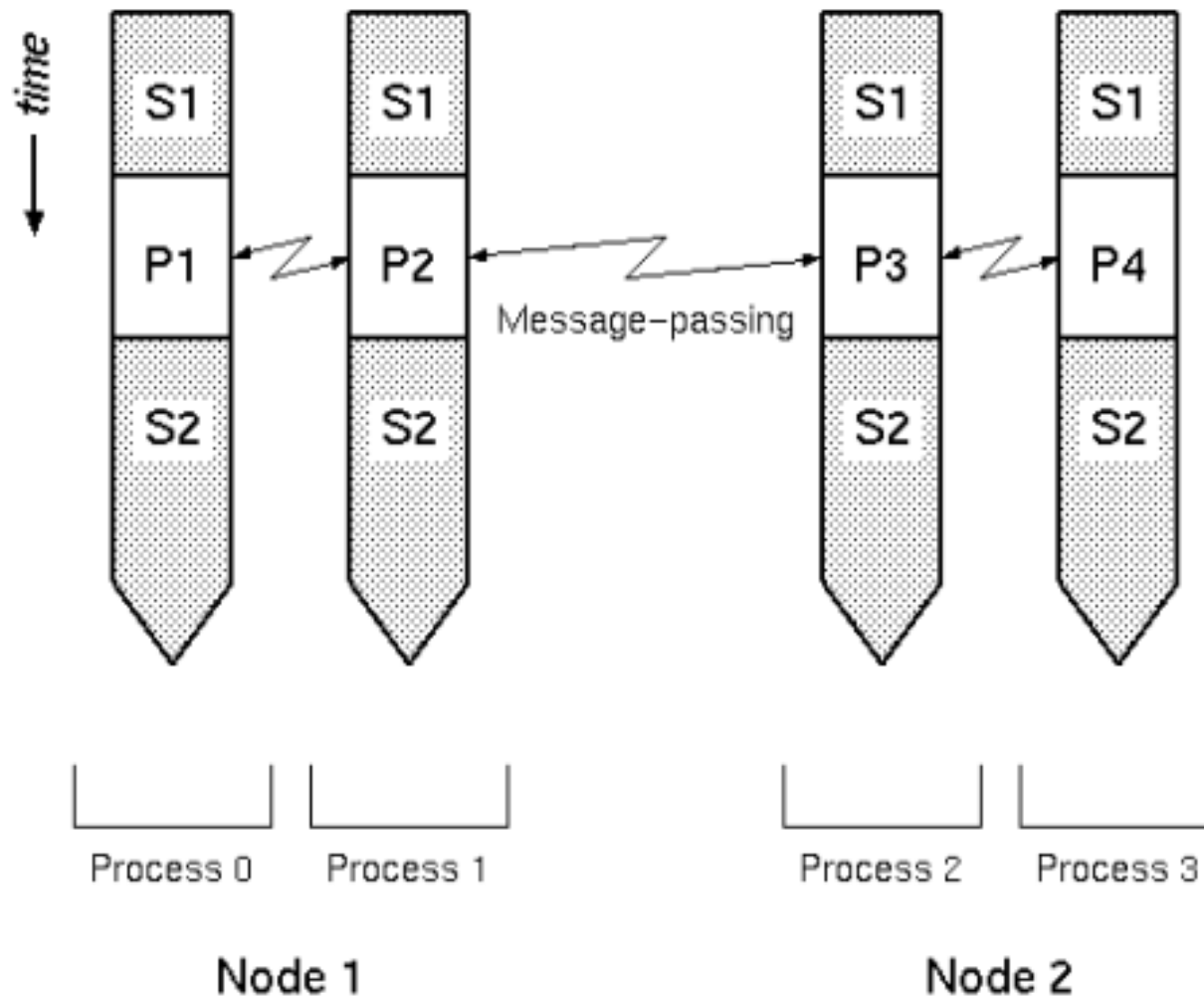
■ Mô hình lập trình song song

■ Giao diện MPI



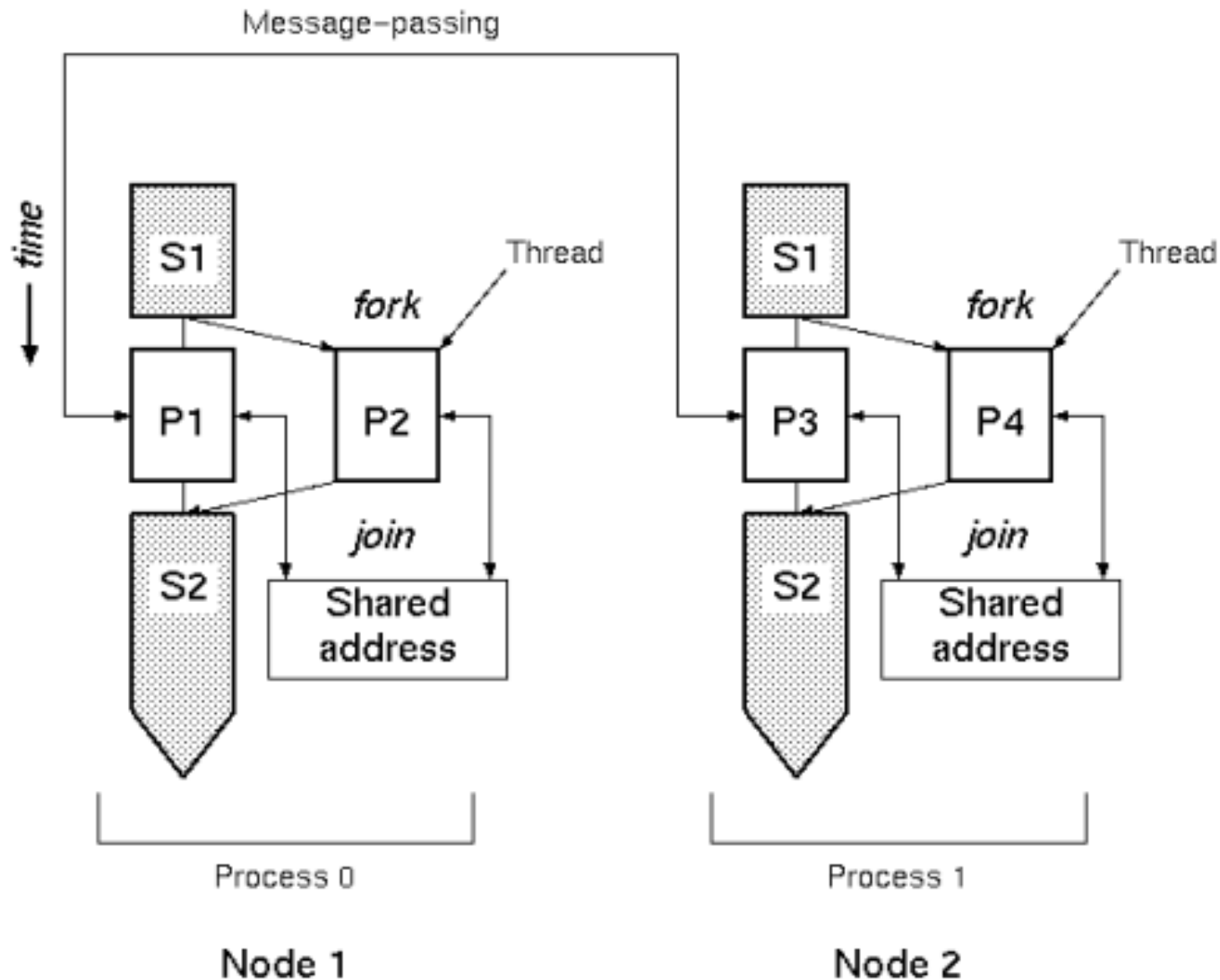
Mô hình lập trình (hybrid MPP)

- Giới thiệu
- Mô hình lập trình song song
- Giao diện MPI



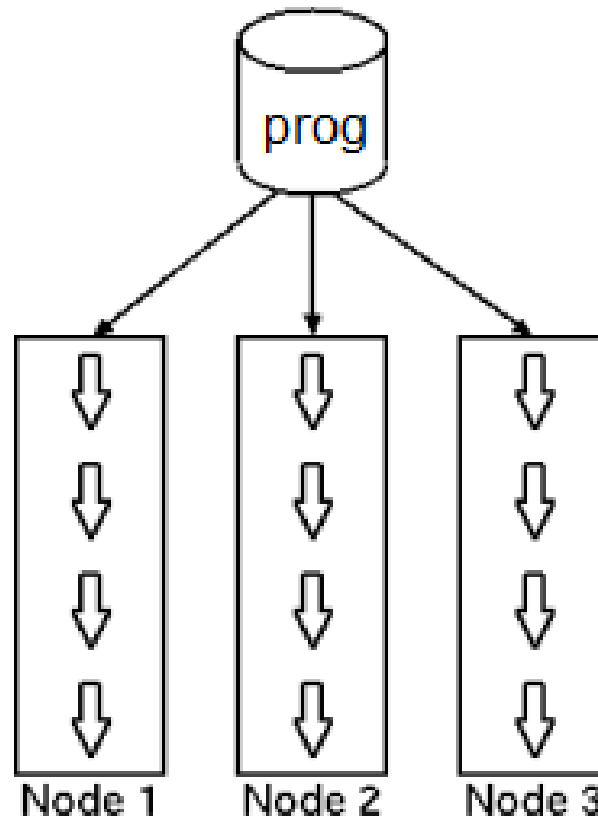
Mô hình lập trình (hybrid MPP)

- Giới thiệu
- Mô hình lập trình song song
- Giao diện MPI



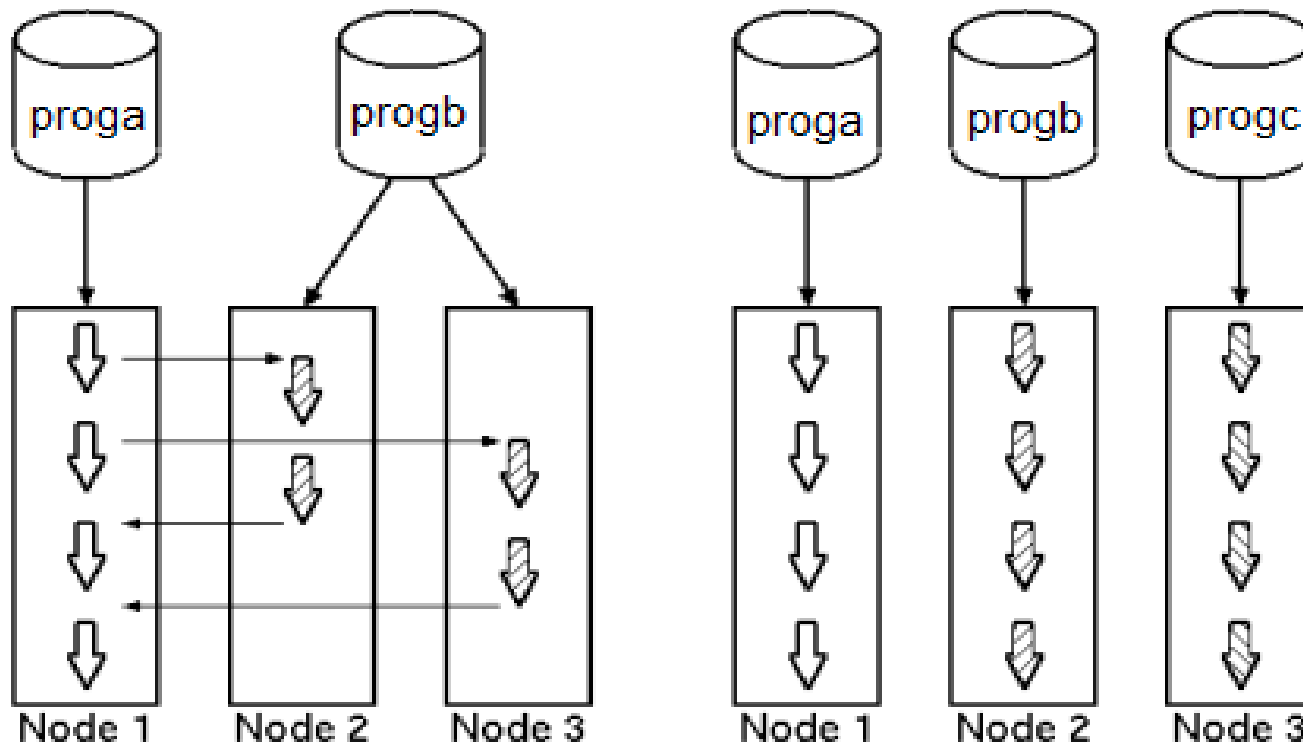
Mô hình lập trình (SPMD)

- Giới thiệu
- Mô hình lập trình song song
- Giao diện MPI



Mô hình lập trình (MPMD)

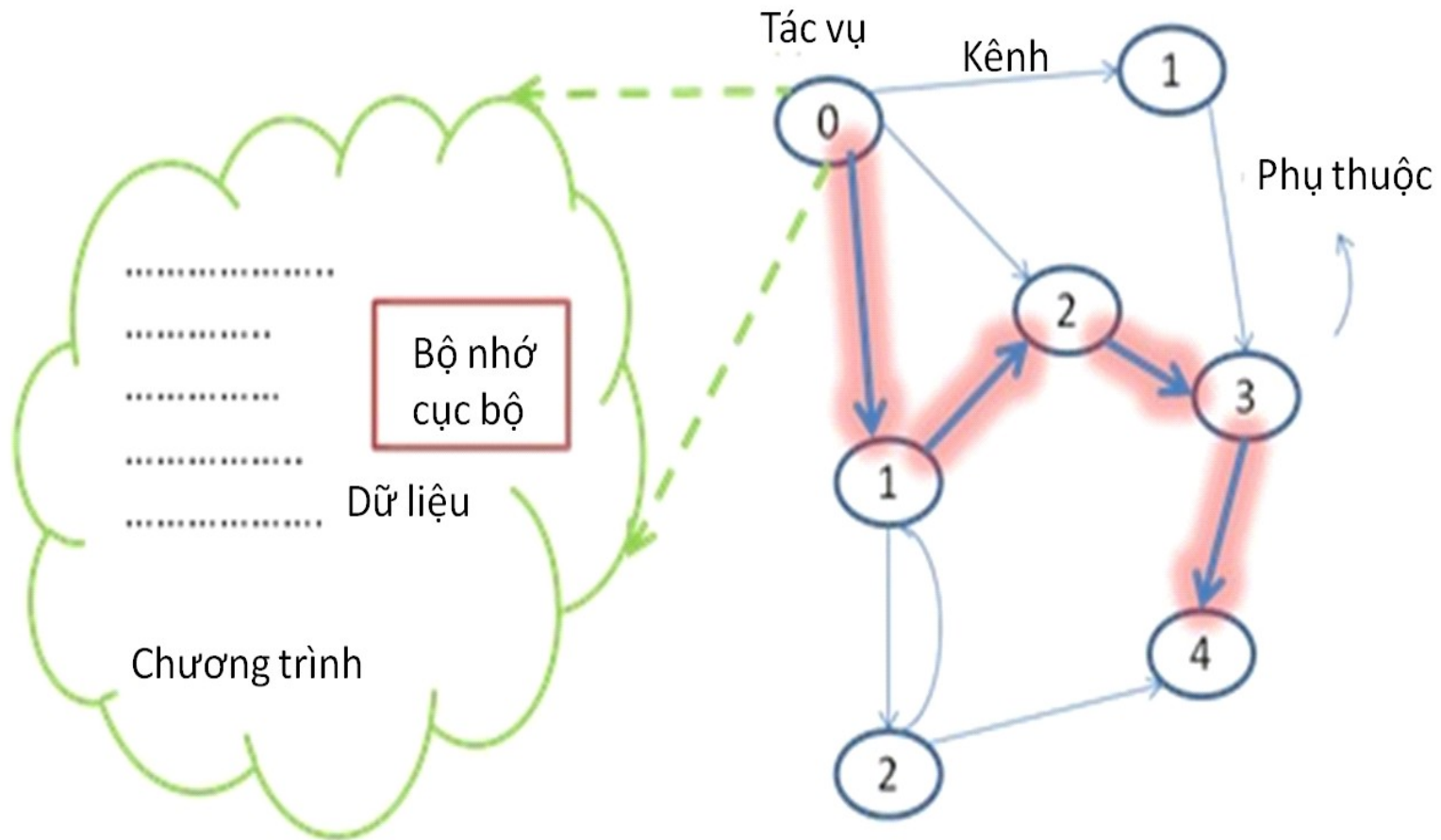
- Giới thiệu
- Mô hình lập trình song song
- Giao diện MPI



Thiết kế giải thuật song song

- Giới thiệu
- Mô hình lập trình song song
- Giao diện MPI

■ Mô hình tác vụ/kênh: đồ thị có hướng



Thiết kế giải thuật song song

- Giới thiệu
- Mô hình lập trình song song
- Giao diện MPI

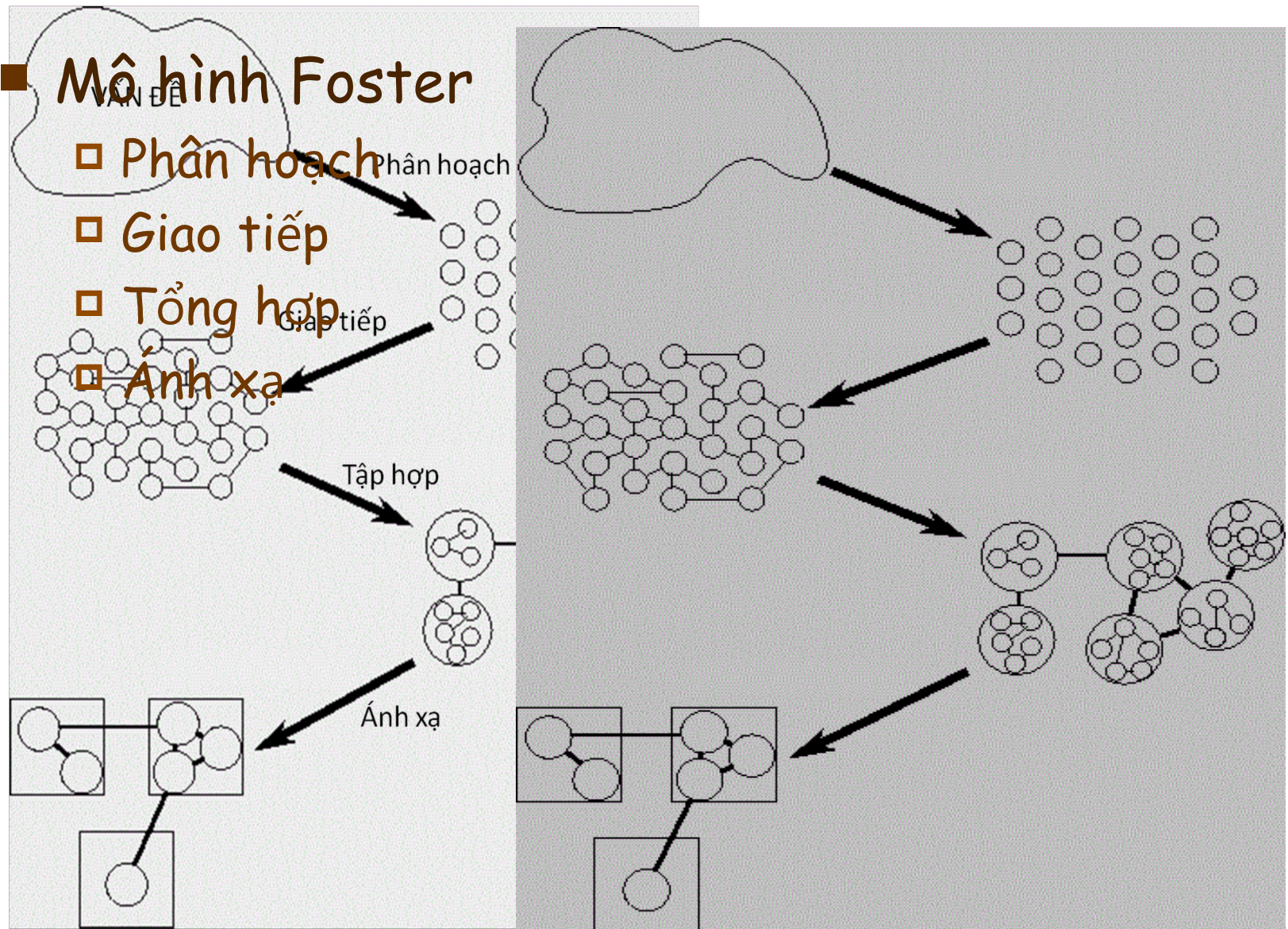
■ Mô hình Foster

■ Phân hoạch

■ Giao tiếp

■ Tổng hợp

■ Ánh xạ



- Giới thiệu
- Mô hình lập trình song song
- Giao diện MPI

Thiết kế giải thuật song song

■ Phân hoạch

- Dữ liệu
- Chức năng tính toán
- $\# \text{tác vụ} \geq \# \text{bộ xử lý}$
- Giảm thiểu dư thừa trong tính toán và lưu trữ
- Tác vụ nguyên thủy có kích thước gần bằng nhau
- $\# \text{tác vụ}$ là hàm tăng theo kích thước vấn đề

- Giới thiệu
- Mô hình lập trình song song
- Giao diện MPI

Thiết kế giải thuật song song

■ Giao tiếp

- Thao tác giao tiếp truyền nhận dữ liệu phải được cân bằng giữa các tác vụ
- Mỗi tác vụ giao tiếp với số ít các tác vụ láng giềng
- Các tác vụ có thể thực hiện giao tiếp truyền nhận dữ liệu đồng thời
- Các tác vụ có thể thực hiện các chức năng tính toán đồng thời

- Giới thiệu
- Mô hình lập trình song song
- Giao diện MPI

Thiết kế giải thuật song song

- Tổng hợp
 - Tăng tính cục bộ
 - Chi phí tính toán vs chi phí giao tiếp
 - Nhân bản dữ liệu đủ nhỏ
 - Các tác vụ thu được sau tổng hợp có chi phí tính toán và giao tiếp truyền thông tương tự
 - #Số lượng tác vụ cần giảm nhỏ nhất có thể nhưng phải lớn hơn hoặc bằng số lượng bộ xử lý, không gây ra mất cân bằng tải
 - Cần thỏa hiệp giữa việc thực hiện đồng thời và chi phí thông tin liên lạc
 - Cần dung hòa giữa sự tổng hợp và chi phí cho việc thay đổi mã chương trình tuần tự hiện có

Thiết kế giải thuật song song

■ Ánh xạ

- Xác định được nơi mà mỗi tác vụ thực thi
- Hiệu quả của 2 thiết kế: ánh xạ một tác vụ cho mỗi bộ xử lý, ánh xạ nhiều tác vụ cho mỗi bộ xử lý
- Hiệu quả của cấp phát động và tĩnh các tác vụ trên các bộ xử lý
- Khi sử dụng mô hình cân bằng tải tập trung, chúng ta cần xem xét tác vụ quản lý có bị tình trạng nghẽn cổ chai hay không?

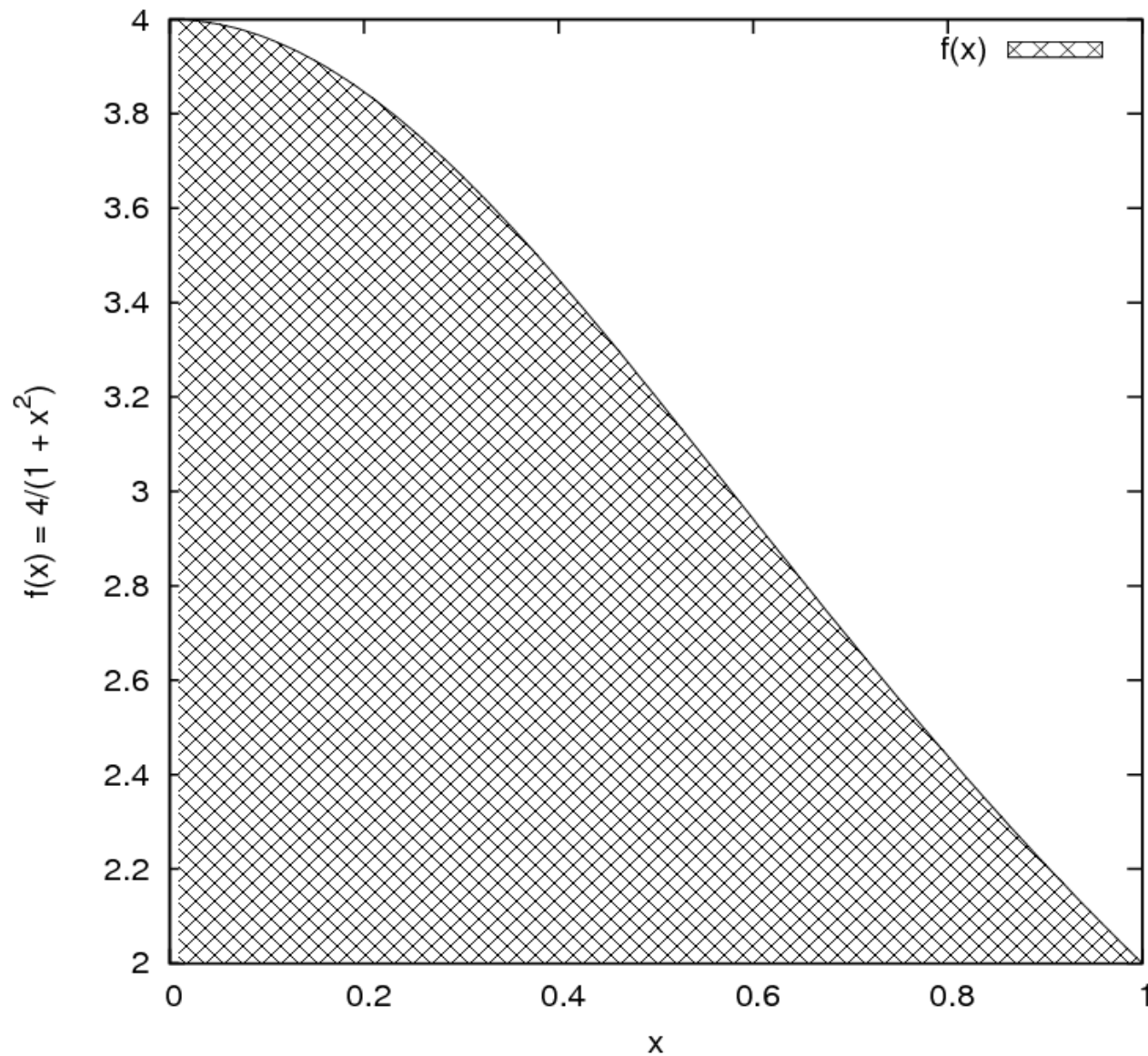
Tính số PI

- Giới thiệu
- Mô hình lập trình song song
- Giao diện MPI

$$\int_0^1 \frac{4}{1+x^2} dx = 4 \times \arctan(1) = \pi$$

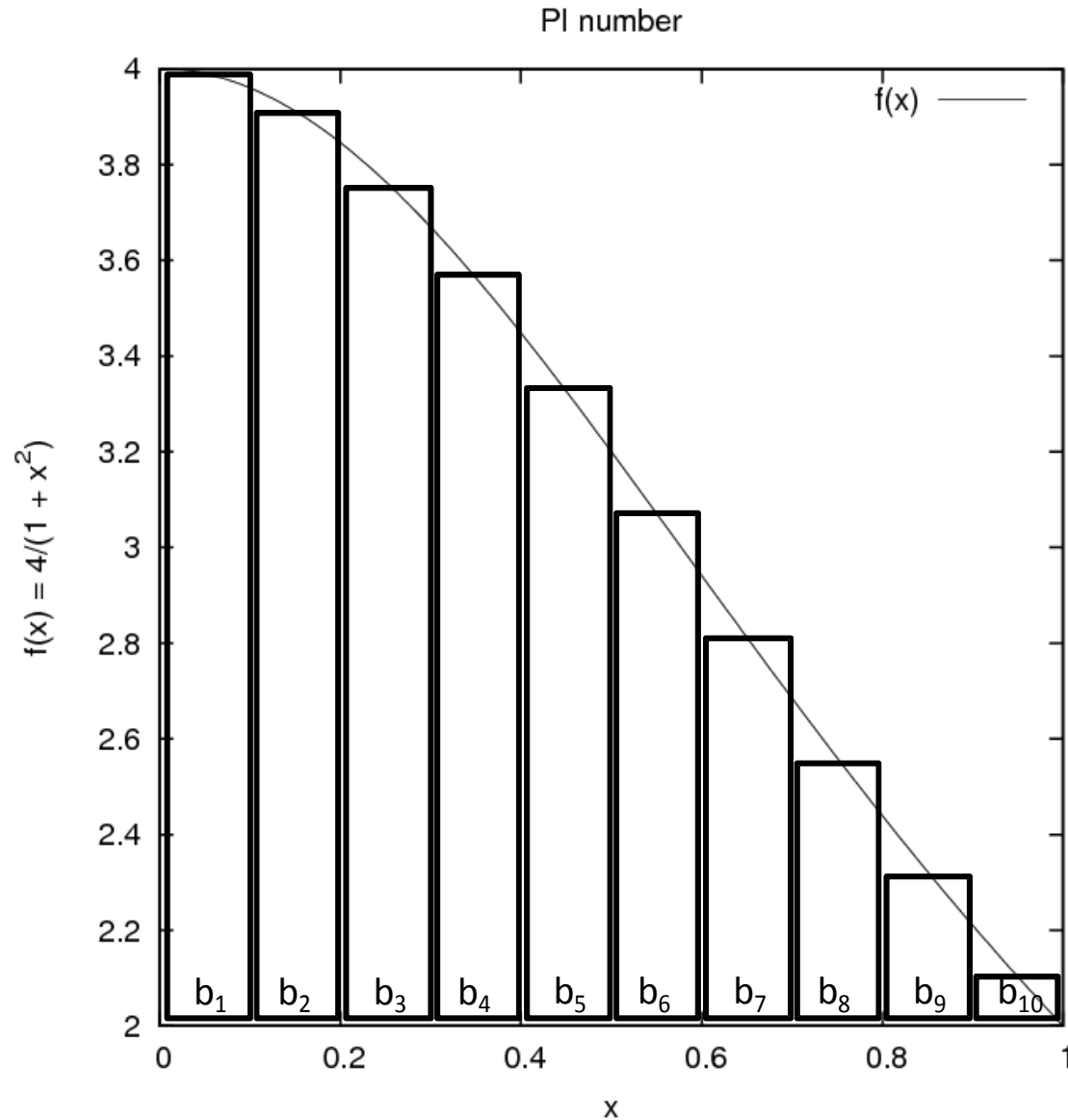
Tính số PI

- Giới thiệu
- Mô hình lập trình song song
- Giao diện MPI



Tính số PI

- Giới thiệu
- Mô hình lập trình song song
- Giao diện MPI



Tính số PI

- Giới thiệu
- Mô hình lập trình song song
- Giao diện MPI

■ Mô hình Foster

- Phân hoạch: k hình chữ nhật $\Rightarrow k$ tác vụ
- Giao tiếp: truyền kết quả $\Rightarrow$ tổng
- Tổng hợp: $k \geq np$ bộ xử lý
- Ánh xạ: cân bằng tải giữa np bộ xử lý

Hiệu năng tính toán

- Giới thiệu
- Mô hình lập trình song song
- Giao diện MPI

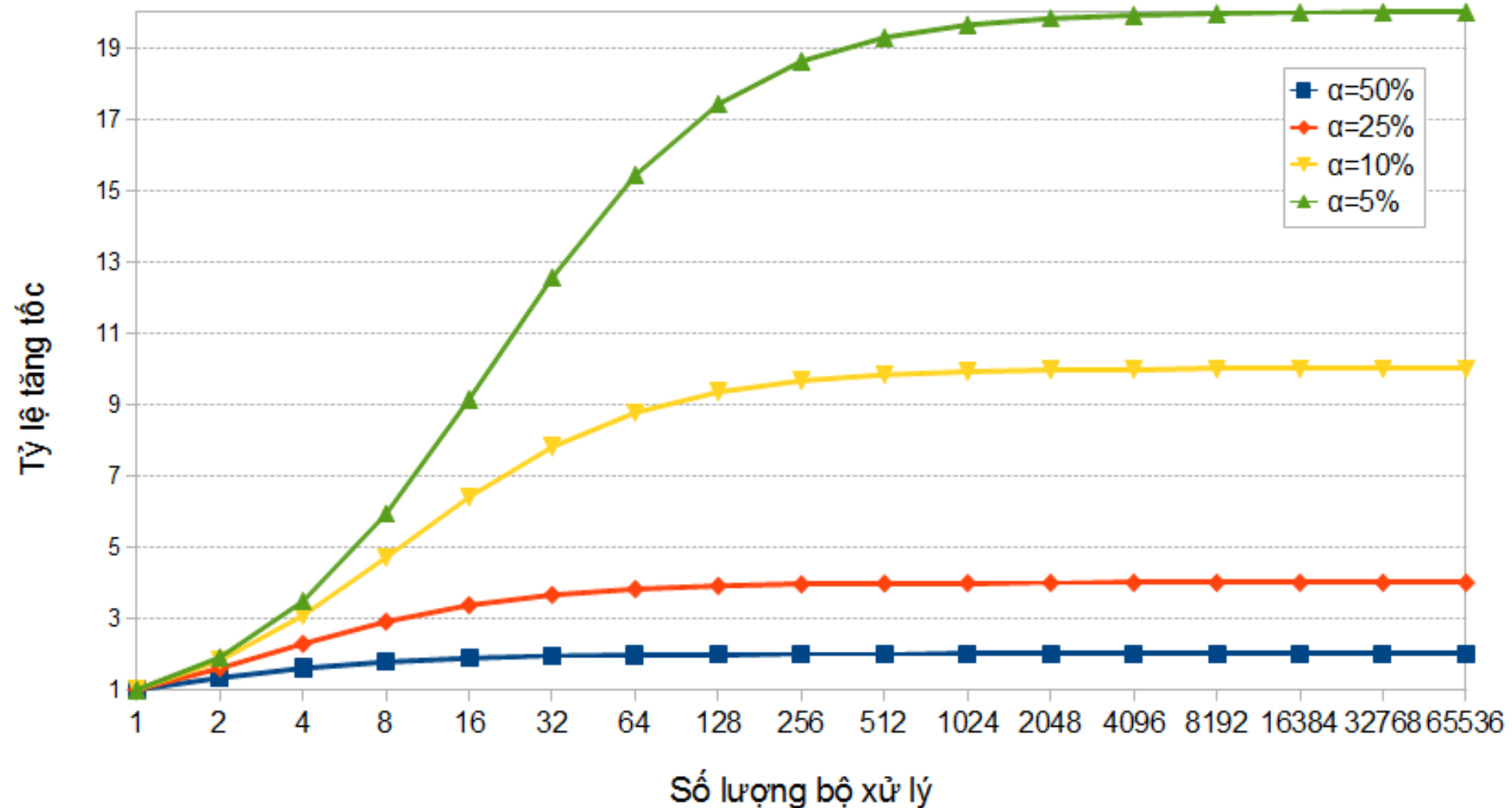
- Định luật Gene Amdahl
 - α : tỷ lệ thực thi tuần tự
 - np : số lượng bộ xử lý
 - Khả năng tăng tốc tối đa S

$$S = \lim_{np \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{\frac{1-\alpha}{np} + \alpha} \right) = \frac{1}{\alpha}$$

Hiệu năng tính toán

- Giới thiệu
- Mô hình lập trình song song
- Giao diện MPI

Định luật Amdahl

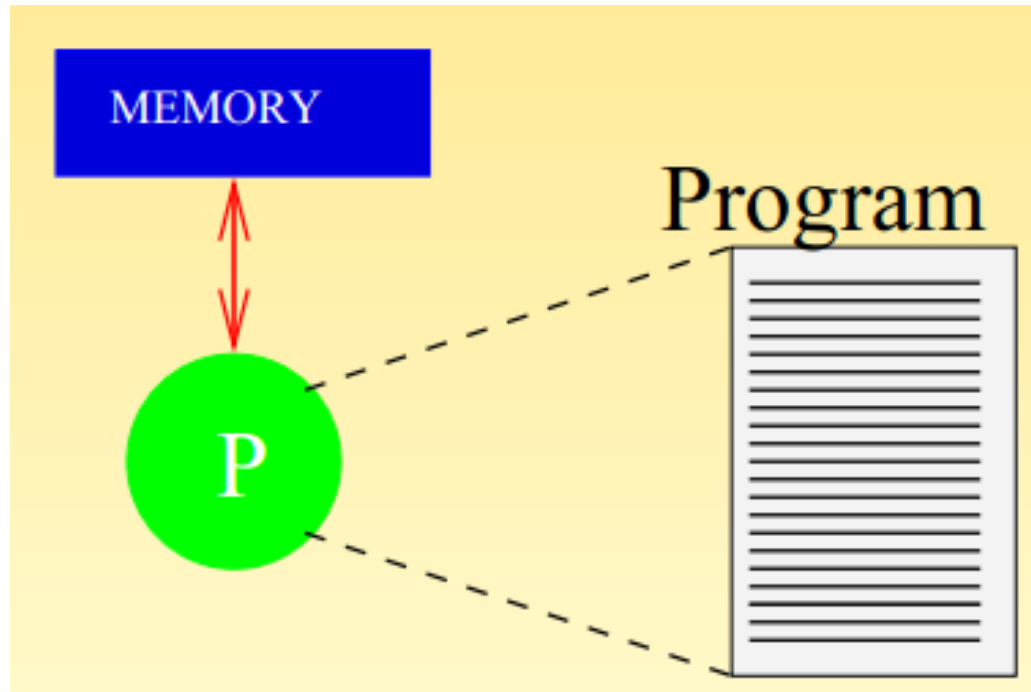


Nội dung

- Giới thiệu
- Mô hình tính toán song song
- **Giao diện MPI**

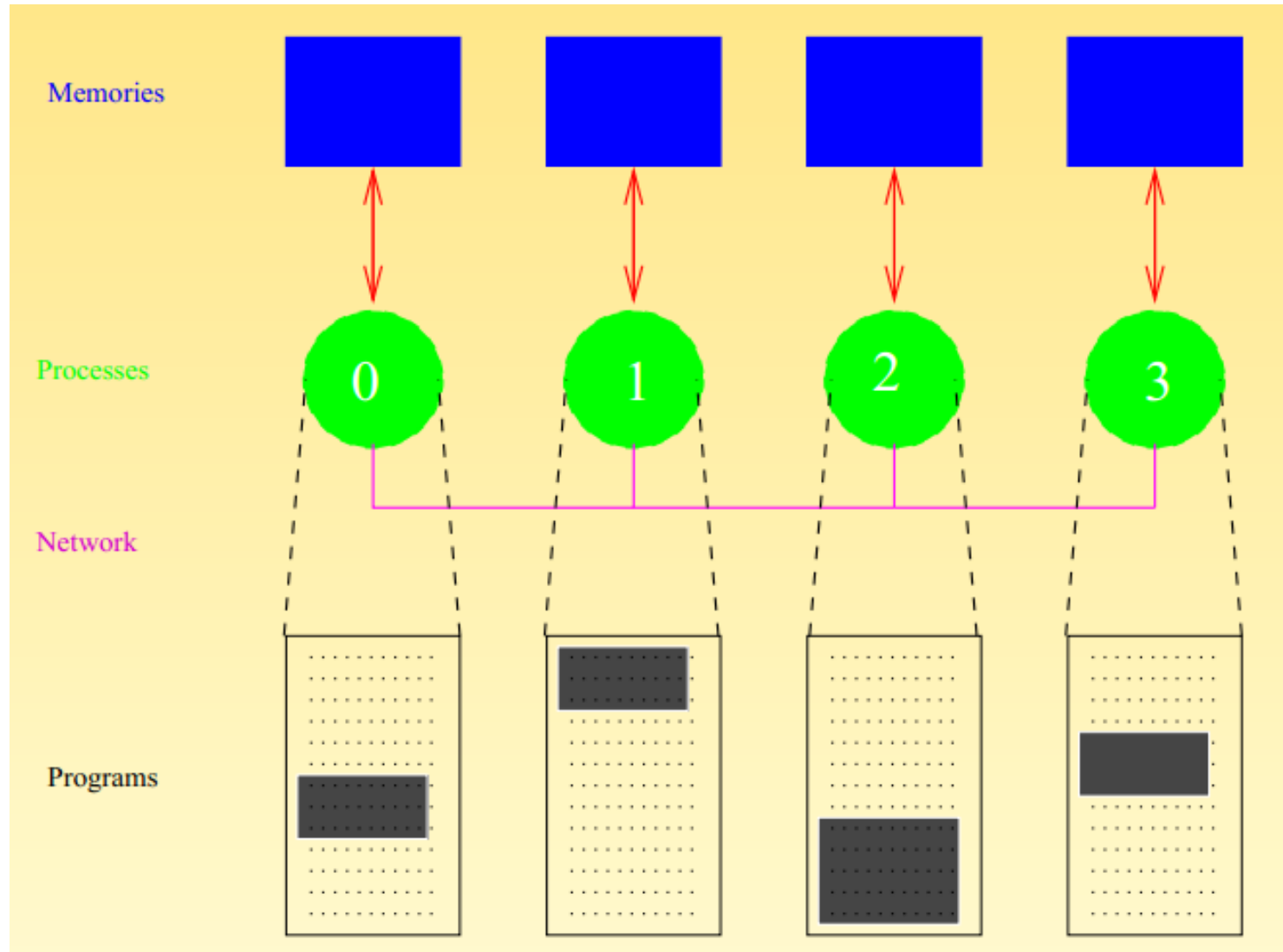
Mô hình chương trình tuần tự

- Giới thiệu
- Mô hình lập trình song song
- Giao diện MPI



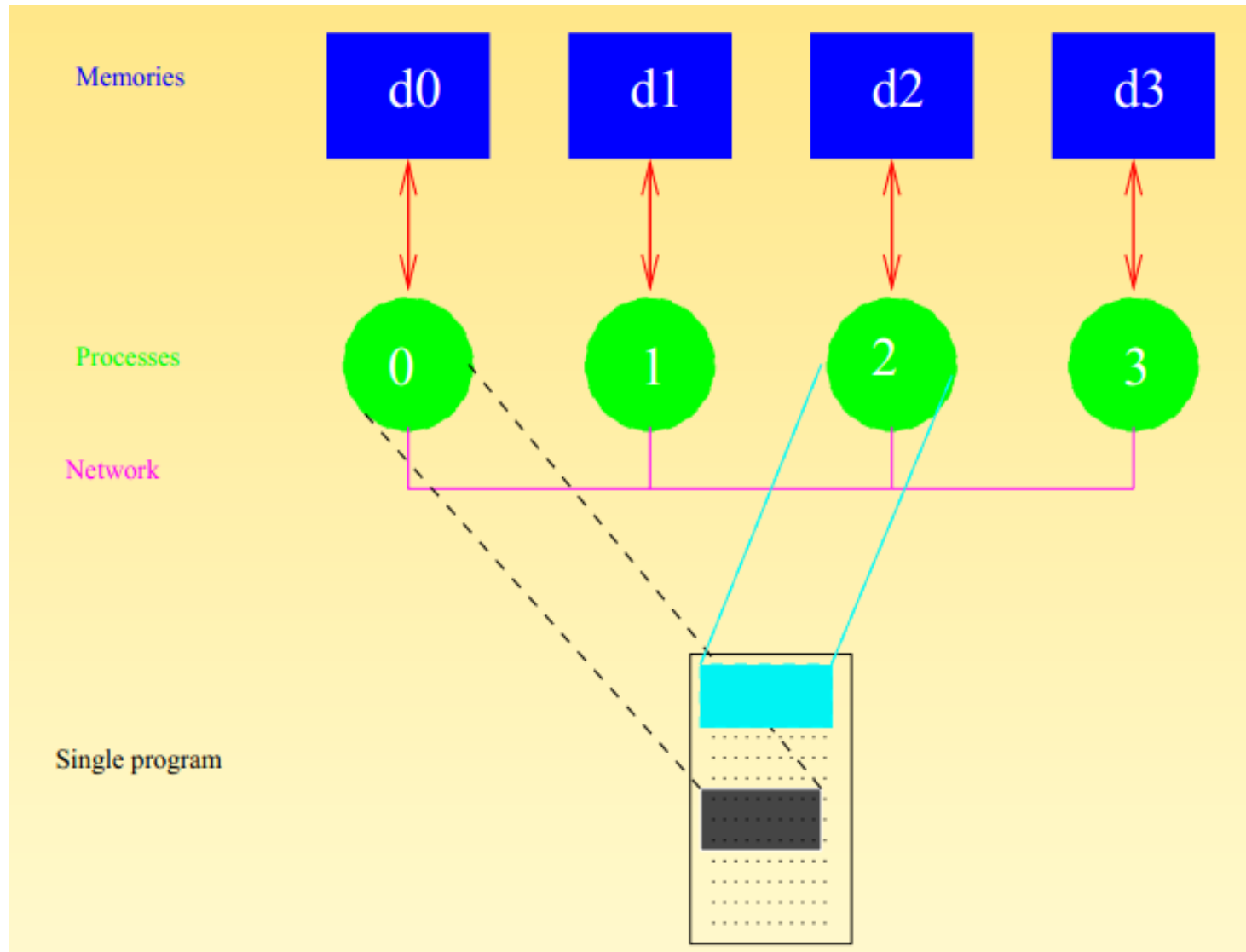
Mô hình chương trình chuyển thông điệp

- Giới thiệu
- Mô hình lập trình song song
- Giao diện MPI



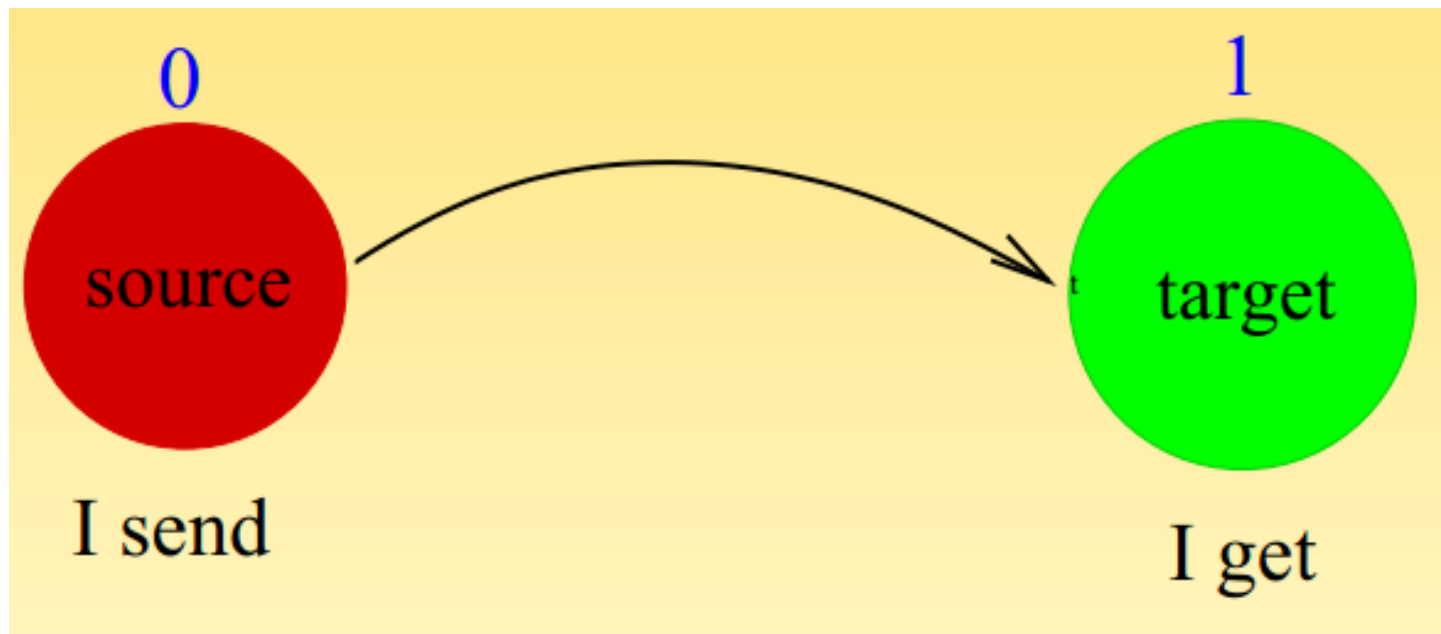
Mô hình chương trình chuyển thông điệp (SPMD)

- Giới thiệu
- Mô hình lập trình song song
- Giao diện MPI



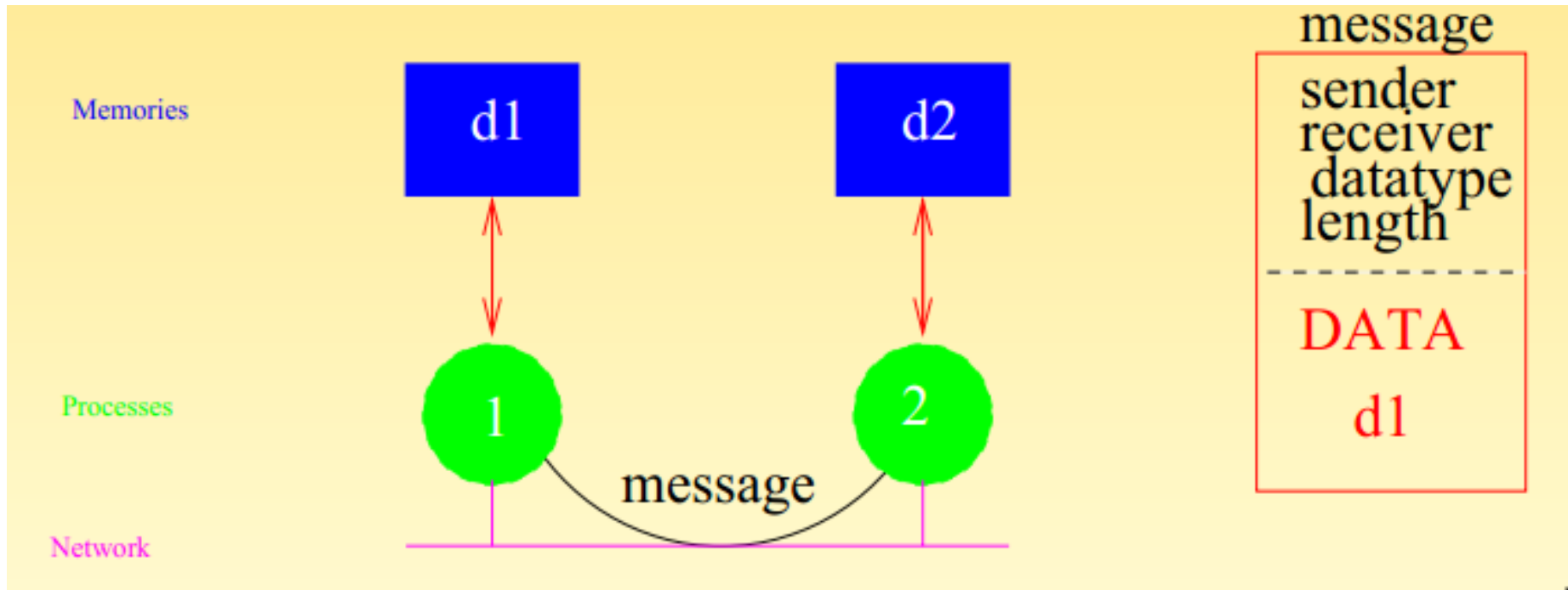
Chuyển thông điệp

- Giới thiệu
- Mô hình lập trình song song
- Giao diện MPI



Chuyển thông điệp

- Giới thiệu
- Mô hình lập trình song song
- Giao diện MPI



Giao diện MPI (Message Passing Interface)

- Giới thiệu
- Mô hình lập trình song song
- Giao diện MPI

■ Giao diện MPI

- Không phải là trình biên dịch
- Không phải là sản phẩm
- Đặc tả chuẩn cho thư viện chuyển thông điệp
- Sử dụng cho các máy tính song song, PC cluster, mạng hỗn tạp
- Phát triển thư viện phần mềm song song
- Truy xuất phần cứng song song

Lịch sử phát triển MPI

- Giới thiệu
- Mô hình lập trình song song
- Giao diện MPI

■ Giao diện MPI

- Version 1.0 (06/1994): 40 tổ chức, tập đoàn, công ty (IBM, Intel, Cray, TMC, etc) tham gia định nghĩa thư viện hàm MPI
- Version 1.1 (06/1995), 1.2 (1997): thay đổi nhỏ về tính nhất quán về tên hàm
- Version 2.0 (07/1997): bổ sung thêm quản lý tiến trình động, kết nối, vào/ra song song, etc.
- Version 2.1 (06/2008): hoàn chỉnh MPI 2.0
- Version 3 (2012): hỗ trợ tốt hơn many-core, máy tính song song

Giao diện MPI

- Giới thiệu
- Mô hình lập trình song song
- Giao diện MPI

- Giao diện MPI quản lý
 - Môi trường thực thi các tiến trình
 - Nối kết điểm tới điểm (point-point)
 - Nối kết tập hợp (communication collective)
 - Nhóm các tiến trình, kết nối
 - Truyền thông điệp theo topo

Giao diện MPI

- Giới thiệu
- Mô hình lập trình song song
- Giao diện MPI

■ Giao diện MPI

- Trong thực tế, là các hàm C/C++, các chương trình con Fortran
- Ba thư viện: MPICH-2, OpenMPI, LAM-MPI

■ MPI đơn giản

- Nhiều chương trình song song được viết chỉ với 6 hàm cơ bản

■ MPI đầy đủ

- Thư viện hỗ trợ 125 hàm
- Có thể sử dụng mà không cần thiết phải nắm hết tất cả về thư viện

Tài liệu tham khảo

1. Argonne National Lab. MPICH2 : High-performance and Widely Portable MPI. 2012.
<http://www.mcs.anl.gov/research/projects/mpich2/>.
2. P. Pacheco. *An Introduction to Parallel Programming*. Morgan Kaufmann, 2011.
3. William Gropp. Tutorial on MPI: The Message-Passing Interface. 1995.
4. Đỗ Thanh Nghị, Nguyễn Văn Hòa, Đỗ Hiệp Thuận. *Lập trình song song*. NXB Đại học Cần thơ, 2014.

Cám ơn

