

MÔ PHỎNG THỜI GIAN THỰC VÀ TRỰC QUAN CÁC QUÁ TRÌNH CÔNG NGHIỆP PHỤC VỤ ĐÀO TẠO VÀ NGHIÊN CỨU

Nghiêm Xuân Trường, Hoàng Minh Sơn
Đại học Bách Khoa Hà Nội
nxtruong-ac@mail.hut.edu.vn; hoang-m-son@mail.hut.edu.vn

Tóm tắt

Trong đào tạo và nghiên cứu lĩnh vực điều khiển quá trình công nghiệp, các phần mềm mô phỏng thời gian thực và trực quan các quá trình công nghệ đóng vai trò hết sức quan trọng. Khác với mô phỏng thuần túy toán học, việc mô phỏng thời gian thực các quá trình công nghệ thực thường phức tạp hơn rất nhiều bởi phải đồng thời đáp ứng được các yêu cầu về tính linh hoạt và khả năng sử dụng thuận tiện, tương tác và trực quan, tính thời gian thực và tư duy hướng đối tượng... Bài báo phân tích và so sánh ba phương pháp chính để thực hiện các công cụ phần mềm này: sử dụng một ngôn ngữ mô hình hóa và mô phỏng chuyên dụng (ví dụ Modelica), sử dụng một công cụ phần mềm tính toán trong kỹ thuật (ví dụ MatLab/Simulink) và sử dụng một ngôn ngữ lập trình đa năng như C/C++. Bài báo cũng giới thiệu một số gói phần mềm đã được phát triển và ứng dụng rất hiệu quả trong giảng dạy và nghiên cứu tại Bộ môn Điều khiển tự động – Khoa Điện, Đại học Bách khoa Hà Nội.

1. Mở đầu

Việc mô phỏng các hệ thống thực là một nhu cầu tất yếu, đặc biệt khi các hệ thống ngày càng trở nên phức tạp. Nhu cầu này xuất phát từ nhiều yếu tố khác nhau, tuy nhiên có thể đưa ra mấy nguyên nhân chính như sau:

- Đầu tư cho các hệ thống thực (ngay cả hệ thống thí nghiệm bán công nghiệp) thường rất cao, đặc biệt là các thiết bị dùng trong công nghiệp. Chi phí này bao gồm tiền mua thiết bị, đầu tư cho phòng ốc, chi phí vận hành, bảo dưỡng, sửa chữa,...
- Mô phỏng các hệ thống thực cho phép thực hiện việc đánh giá, kiểm tra chất lượng hệ thống trước khi áp dụng trong thực tế, nhất là với các hệ thống lớn và phức tạp.
- Mô phỏng hệ thống thực cho phép quá trình thiết kế, xây dựng và vận hành hệ thống được thực hiện linh hoạt, hiệu quả.

Xuyên suốt toàn bộ quá trình thực hiện một dự án, từ đề xuất ý tưởng thiết kế cho đến thực hiện và vận hành hệ thống thực, mô phỏng cho phép kiểm tra, đánh giá nhiều phương án khác nhau, từ đó lựa chọn được phương án thích hợp nhất. Trải qua một quá trình phát triển lâu dài, lĩnh vực mô phỏng đã có những bước tiến đáng kể. Các phần mềm mô phỏng ngày càng trở nên linh hoạt, mạnh mẽ, thân thiện và gần gũi với thế giới

2. Phân loại các phương pháp mô phỏng

Ngày nay, tất cả các hệ thống mô phỏng đều được thực hiện trên máy tính thông qua các phần mềm mô phỏng. Vì lý do thông dụng, bài báo này chỉ xem xét các phương pháp mô phỏng cũng như các phần mềm mô phỏng cho máy tính cá nhân.

Có hai phương pháp mô phỏng chính được sử dụng hiện nay là *mô phỏng tuần tự* hay *mô phỏng nhân-quả* (sequential, causal simulation), và *mô phỏng vật lý* hay *mô phỏng phi nhân-quả* (physical, non-causal simulation). Hai phương pháp này thể hiện hai hướng tiếp cận khác nhau đối với mô hình hóa hệ thống và cũng thể hiện xu hướng phát triển hiện đại của lĩnh vực mô hình hóa và mô phỏng.

2.1. Mô phỏng nhân-quả

Phương pháp mô phỏng này dựa trên cách tiếp cận nhân-quả trong mô hình hóa hệ thống. Theo đó, một hệ thống được phân tích thành một hay nhiều hệ thống con với các đầu vào, đầu ra và trạng thái. Đầu ra (“kết quả”) của một hệ thống con phụ thuộc vào trạng thái và đầu vào (“nguyên nhân”) của nó. Mỗi hệ thống con thường được mô tả bởi một hệ phương trình vi phân thường (ODE – Ordinary Differential Equation). Để tạo thành một hệ thống lớn, các hệ thống con được nối với nhau cũng theo nguyên tắc nhân-quả: mỗi đầu vào của một hệ thống con nhận kết quả từ duy nhất một đầu ra của một hệ thống con khác mà nó phụ thuộc. Như vậy, cả hệ thống là một tập hợp các hệ ODE, được sắp xếp theo một thứ tự xác định (thể hiện quan hệ nhân-quả trong hệ thống). Về cơ bản, việc mô phỏng hệ thống là giải lần lượt các hệ ODE này theo thứ tự, trong đó hệ sau có thể sử dụng kết quả của hệ trước.

Một hình thức biểu diễn của mô hình hóa nhân-quả là sơ đồ khối (block diagram). Mỗi hệ thống con, hay nói đúng hơn là *một chức năng* được biểu diễn bởi một khối đồ họa, có các đầu vào và đầu ra. Việc xây dựng một mô hình hệ thống được thực hiện bằng cách tạo ra các khối thành phần được nối với nhau bởi các đường tín hiệu. Các công cụ hỗ trợ sơ đồ khối cung cấp giao diện đồ họa và cho phép thao tác kéo-thả rất trực quan.

Mặc dù phương pháp mô phỏng nhân-quả rất hữu ích và đáp ứng được nhiều nhu cầu mô phỏng hệ thống trong thực tế, chúng vẫn có một số nhược điểm. Đáng kể nhất là việc mô phỏng theo quan hệ nhân-quả đòi hỏi phải áp đặt cách nhìn nhân-quả vào hệ thống vật lý. Cách nhìn này không cho thấy bản chất thực của hệ thống, bởi ngay cả sự phân biệt thế nào là đầu vào và thế nào là đầu ra của một hệ thống cũng phụ thuộc nhiều vào quan điểm nhìn nhận. Hơn nữa, khi ta nhìn nhận theo quan hệ vào-ra thì có nghĩa là đầu vào không bị ảnh hưởng bởi đầu ra, nhưng trong các hệ vật lý khó có một quan hệ lý tưởng như vậy. Ví dụ, trong một mạch điện với trở kháng, dòng và điện áp thì đại

2.2. Mô phỏng phi nhân-quả

Vào những năm 90 của thế kỷ trước, nhu cầu cần xây dựng những mô hình ngày càng phức tạp, kết hợp nhiều lĩnh vực khác nhau và đòi hỏi về tính linh hoạt, trực quan đã dẫn đến một sự thay đổi cơ bản về phương pháp mô hình hóa và mô phỏng. Phương pháp mô phỏng phi nhân-quả dựa trên việc mô hình hóa hệ vật lý theo các hệ con và xác định hành vi của hệ thống tại những điểm nối giữa chúng. Thông thường, mỗi hệ con sẽ đại diện cho một thiết bị hay một thành phần cơ bản của hệ thống, ví dụ như điện trở, tụ điện, động cơ, van, đường ống, bình mức,... Mỗi hệ con được mô tả bởi các phương trình cân bằng khối lượng, năng lượng, mô-men và vật chất. Tại điểm nối giữa hai hệ con cũng tồn tại một quan hệ xác định, ví dụ như điện thế hay áp suất không đổi, hay tổng các dòng triệt tiêu. Mô hình của cả hệ thống là sự kết hợp của mô hình của từng hệ con và quan hệ tại các điểm nối; nói cách khác, là sự ràng buộc lẫn nhau giữa các đại lượng theo những quy luật vật lý xác định. Như vậy, một cách tổng quát thì hệ thống sẽ được mô tả bởi các phương trình đại số vi phân (DAE – Differential Algebraic Equation) thay vì ODE. Điểm khác biệt rất cơ bản so với mô phỏng nhân quả là ở đây các hệ thống con được kết nối với nhau một cách tự nhiên giống như *quan hệ giữa các đối tượng* trong thực tế, chứ không chỉ đơn thuần chỉ là quan hệ tín hiệu vào/ra.

3. Mô phỏng quá trình công nghiệp trên máy tính

Khác với mô phỏng thuần túy toán học, việc mô phỏng các quá trình công nghệ phục vụ cho đào tạo và nghiên cứu thường phức tạp hơn và có những yêu cầu riêng. Mô phỏng các đối tượng công nghệ phải có tính tương tác và trực quan cao, dễ sử dụng, dễ hình dung, và thể hiện được rõ ràng quy trình công nghệ đó.

3.1. Các tiêu chí đánh giá

Trong bài báo này, chúng tôi sử dụng các tiêu chí chính sau đây để đánh giá một phương pháp thực hiện mô phỏng trên máy tính:

- *Tính chính xác*: đối tượng cần được mô phỏng với độ chính xác mong muốn. Để đạt được điều này, cần sử dụng các thuật toán đặc biệt trong tính toán, giải phương trình vi phân,... (tự động thay đổi bước tính, xác định điểm zero-crossing,...)
- *Khả năng mô phỏng*: mô phỏng được nhiều loại hệ thống khác nhau, do đó có thể ứng dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau với những đặc thù riêng.
- *Tính linh hoạt*: dễ dàng thay đổi, thêm bớt các thành phần mà không làm ảnh hưởng đến các thành phần khác.
- *Khả năng sử dụng lại*: do các đối tượng trong công nghiệp rất phong phú và phức tạp nên khả năng sử dụng lại các mô hình đã xây dựng sẵn rất cần thiết.

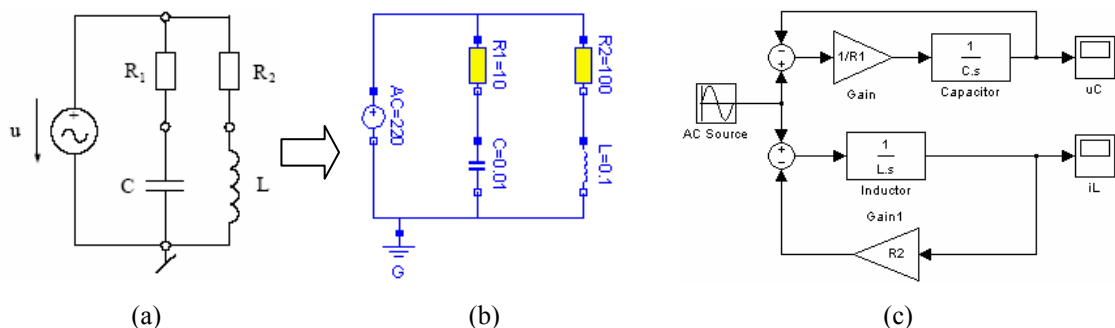
- *Tính đơn giản, trực quan*: việc xây dựng mô hình có thể được thực hiện hoàn toàn trên giao diện đồ họa, sử dụng chủ yếu các thao tác kéo-thả và đặt tham số. Đối với mô phỏng các quá trình công nghệ, khả năng biểu diễn hoạt động của hệ thống dưới dạng hình ảnh đồ họa chuyển động là cần thiết.
- *Tính thời gian thực*: khả năng thực hiện mô phỏng theo thời gian thực, có thể đòi hỏi phần cứng đặc biệt hay có thể thực hiện ngay trên máy tính thông thường.
- *Khả năng tích hợp*: khả năng giao tiếp, kết hợp với các công cụ khác (công cụ thiết kế hệ thống, công cụ lập trình cho bộ điều khiển thực,...).

3.2. Sử dụng một ngôn ngữ mô hình hóa và mô phỏng chuyên dụng

Trong quá trình phát triển của lĩnh vực mô hình hóa và mô phỏng, nhiều ngôn ngữ đã được sáng tạo ra dành riêng cho mục đích này, bao gồm những loại đa năng (sử dụng cho nhiều lĩnh vực, nhiều loại hệ thống khác nhau) và những loại chuyên dụng cho một lĩnh vực nhất định. Mục này chỉ xem xét những ngôn ngữ đa năng và dựa trên quan điểm phi nhân-quả. Để thuận tiện, ngôn ngữ Modelica được lấy làm ví dụ phân tích.

Ngôn ngữ Modelica [3,4] được phát triển bởi một nhóm các nhà khoa học ở châu Âu trong nỗ lực tạo ra một ngôn ngữ mô hình hóa và mô phỏng thống nhất và hiện đại, hướng đối tượng và phi nhân-quả. Là một ngôn ngữ hướng đối tượng, Modelica quy định mỗi loại hệ thống con, ví dụ như điện trở, tụ điện, cuộn cảm, động cơ,... và các thành phần khác như mối nối, hàm,... đều được định nghĩa là một lớp (class). Hành vi có thể được mô tả bằng các phương trình (đại số, vi phân,...) hoặc các thuật toán. Modelica hỗ trợ mô tả các hành vi dựa trên sự kiện, do đó cho phép dễ dàng mô tả các hệ thống sự kiện rời rạc và các hệ thống lai. Một lớp có thể thừa kế từ một lớp khác, qua đó cũng thừa kế tất cả các đặc điểm của lớp đó, kể cả các hành vi.

Để minh họa, công cụ phần mềm Dymola ([2], phần mềm hỗ trợ ngôn ngữ Modelica) được sử dụng để mô hình hóa mạch điện trong hình 1a. Kết quả được thể hiện trong hình 1b. Có thể thấy là mô hình rất trực quan, dễ hiểu và giống với mạch điện thực tế. Không những thế, do không phải xác định quan hệ vào-ra nên mô hình này có thể được sử dụng cho các mục đích khác nhau, dù mục đích đó là tính toán điện áp trên cuộn cảm L hay dòng điện qua nó. Đánh giá về phương pháp mô phỏng sử dụng ngôn ngữ mô hình hóa và mô phỏng chuyên dụng được tóm tắt trong bảng 1.



Hình 1: Ví dụ về mô hình xây dựng trên Modelica (b) và Simulink (c)

Bảng 1: Đánh giá phương pháp mô phỏng sử dụng ngôn ngữ mô hình hóa và mô phỏng chuyên dụng

Tính chính xác	Độ chính xác cao do hỗ trợ các thuật toán đặc biệt trong tính toán.
Khả năng mô phỏng	Có khả năng mô phỏng được nhiều loại hệ thống khác nhau. Mô tả hệ thống đúng như bản chất vật lý. Khả năng ứng dụng rộng: cơ khí, điện, năng lượng, ...
Tính linh hoạt	Tính linh hoạt cao do không phụ thuộc vào việc lựa chọn đầu vào-ra. Dễ dàng thay đổi mô hình, thêm, bớt các thành phần.
Tính sử dụng lại	Xây dựng mô hình từ các thành phần đơn lẻ có sẵn. Xây dựng mô hình mới thừa kế từ các mô hình khác. Thư viện phong phú các đối tượng xây dựng sẵn.
Tính đơn giản, trực quan	Giao diện thiết kế đồ họa thuận tiện và trực quan. Một số công cụ có khả năng biểu diễn hoạt động của hệ thống bằng hình ảnh đồ họa chuyển động (2-D hoặc 3-D) nhưng vẫn còn hạn chế.
Tính thời gian thực	Tùy thuộc từng phần mềm cụ thể. Hầu hết cho phép mô phỏng thời gian thực ngay trên máy tính thông thường hoặc kết hợp với các phần mềm chuyên dụng
Khả năng tích hợp	Tùy thuộc vào từng phần mềm cụ thể, hầu hết hỗ trợ giao tiếp với các phần mềm phổ dụng (MatLab/Simulink, Mathematica,...) hoặc kết xuất mô hình ra mã nguồn C/C++, Fortran,...

3.3. Sử dụng một công cụ phần mềm tính toán trong kỹ thuật

Các công cụ phần mềm tính toán trong kỹ thuật, ví dụ như MatLab, cung cấp một môi trường tính toán mạnh và tiện dụng cho các ứng dụng thuộc lĩnh vực kỹ thuật. Bên cạnh đó, các phần mềm này thường cung cấp khả năng mô hình hóa và mô phỏng hệ thống (ví dụ công cụ Simulink trong MatLab). Tuy nhiên, do chủ yếu dựa trên khả năng tính toán số của phần mềm, các công cụ này thường chỉ cho phép mô hình hóa hệ thống dựa trên quan hệ nhân-quả, vào-ra, trong đó động học của một hệ thống chủ yếu được mô tả bởi các phương trình vi phân thường. Thông thường, một giao diện đồ họa trực quan để xây dựng sơ đồ khối cũng được cung cấp. Trên hình 1c là mô hình xây dựng trên Simulink của mạch điện 1a. Mô hình này được xây dựng để xác định điện áp trên tụ C và dòng điện qua cuộn cảm L. Nếu mục đích mô phỏng thay đổi, ví dụ cần tính điện áp trên cuộn cảm L thay vì dòng điện, mô hình trên sẽ cần phải được xây dựng lại. Như vậy, việc xây dựng mô hình không chỉ phụ thuộc vào đối tượng mà còn phụ thuộc vào từng trường hợp ứng dụng cụ thể, làm hạn chế phần nào tính sử dụng lại của mô hình. Trong bảng 2 là tóm tắt các đánh giá về phương pháp mô phỏng này.

3.4. Sử dụng một ngôn ngữ lập trình đa năng thông thường

Bên cạnh việc sử dụng các công cụ phần mềm mô phỏng chuyên dụng, ta có thể lập trình mô phỏng hệ thống bằng các ngôn ngữ lập trình thông thường như C/C++, Fortran, Pascal, Java, ... Do các ngôn ngữ này không được thiết kế dành riêng cho mục đích mô phỏng nên phương pháp này có nhiều hạn chế. Tuy nhiên, khả năng tùy biến và tính linh hoạt thường cao vì không bị hạn chế vào những tính năng cung cấp sẵn. Trên bảng 3 là tóm tắt đánh giá về phương pháp này.

Bảng 2: Đánh giá phương pháp mô phỏng sử dụng công cụ phần mềm tính toán trong kỹ thuật

Tính chính xác	Độ chính xác cao do dựa trên khả năng tính toán của các phần mềm tính toán chuyên dụng trong kỹ thuật. Thường chỉ hỗ trợ giải phương trình vi phân thường.
Khả năng mô phỏng	Có một số hạn chế do dựa trên quan hệ nhân-quả. Phụ thuộc nhiều vào cách lựa chọn đầu vào/ra.
Tính linh hoạt	Hạn chế: cùng một đối tượng, khi sự lựa chọn đầu vào/ra thay đổi thì có thể phải xây dựng lại mô hình. Dễ dàng thay đổi mô hình, thêm, bớt các thành phần.
Tính sử dụng lại	Không có khả năng sử dụng lại một khối khác trên cơ sở thừa kế. Dễ dàng xây dựng mô hình từ các thành phần đơn lẻ có sẵn. Thư viện khối phong phú các đối tượng xây dựng sẵn.
Tính đơn giản, trực quan	Giao diện thiết kế thuận tiện và trực quan. Ít công cụ có khả năng biểu diễn hình ảnh đồ họa hoạt động của hệ thống mà người sử dụng phải tự lập trình hoặc dùng các công cụ hỗ trợ khác.
Tính thời gian thực	Tùy thuộc từng phần mềm cụ thể. Hầu hết cho phép mô phỏng thời gian thực ngay trên máy tính thông thường hoặc kết hợp với các phần mềm chuyên dụng khác (Realtime Workshop, xPC, dSpace,...).
Khả năng tích hợp	Tùy thuộc vào từng phần mềm cụ thể, hầu hết hỗ trợ giao tiếp với các phần mềm phổ biến, xuất dữ liệu sang các định dạng chuẩn, hoặc xuất mã nguồn C/C++,...

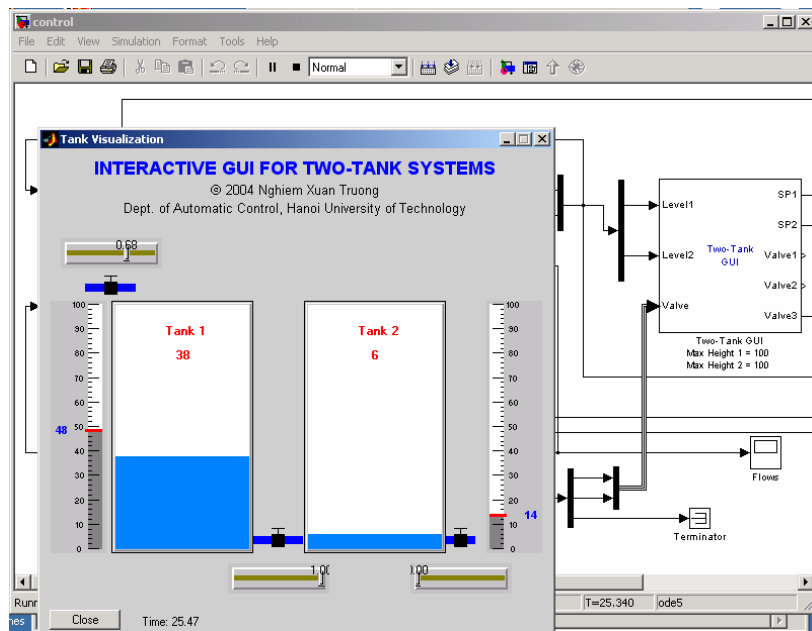
Bảng 3: Đánh giá phương pháp mô phỏng sử dụng ngôn ngữ lập trình đa năng thông thường

Tính chính xác	Phụ thuộc các thuật toán được sử dụng để tính toán, giải phương trình vi phân,... Có thể sử dụng các thư viện tính toán chất lượng cao có sẵn.
Khả năng mô phỏng	Độ linh hoạt cao, tùy ý lựa chọn phương thức mô phỏng nhân-quả hay phi nhân-quả, theo thời gian hay theo sự kiện hoặc kết hợp cả hai.
Tính linh hoạt	Không bị hạn chế bởi những tính năng cung cấp sẵn. Khó thay đổi mô hình, thêm, bớt các thành phần. Đòi hỏi phải sửa đổi mã nguồn.
Tính sử dụng lại	Tùy thuộc vào phương thức lập trình và thiết kế chương trình. Không có thư viện các đối tượng xây dựng sẵn mà phải tự xây dựng từ đầu.
Tính đơn giản, trực quan	Thường không có giao diện thiết kế đồ họa đơn giản. Tùy ý lựa chọn cách thức thể hiện nhưng phải lập trình.
Tính thời gian thực	Phải tự thực hiện bằng lập trình, khá phức tạp nhưng hiệu năng rất tốt.
Khả năng tích hợp	Tùy lựa chọn và phụ thuộc vào việc lập trình. Việc giao tiếp với các phần mềm khác có thể khó khăn.

4. Nhận xét và kết luận

Căn cứ vào những đánh giá trên, phương pháp sử dụng các ngôn ngữ mô hình hóa và mô phỏng chuyên dụng (ví dụ Modelica) tỏ ra có nhiều ưu điểm vượt trội và thích hợp cho mô phỏng các quá trình công nghiệp phục vụ mục đích nghiên cứu và thiết kế sản phẩm. Phương pháp sử dụng các ngôn ngữ lập trình đa năng thường rất phức tạp và khó

Nếu mục đích mô phỏng chủ yếu phục vụ đào tạo thì một phần mềm tính toán và mô phỏng kỹ thuật thông dụng như Matlab/Simulink tỏ ra phù hợp hơn cả. Tuy nhiên ta cần bổ sung các khối mô phỏng đối tượng công nghiệp thông dụng kết hợp giao diện đồ họa trực quan để tăng khả năng tương tác và tính thực tế cho sinh viên làm thí nghiệm. Đây cũng là xu hướng mà nhiều trường đại học trên thế giới áp dụng. Tại bộ môn Điều khiển tự động – Khoa Điện, Đại học Bách khoa Hà Nội, chúng tôi cũng đã phát triển một thư viện khối Simulink phục vụ giảng dạy và nghiên cứu. Thư viện bao gồm các khối đại diện cho các đối tượng phổ biến trong công nghiệp như bình mức, bộ trao đổi nhiệt, bình ngưng,... Trên hình 2 là ví dụ hình ảnh mô phỏng hai bình thông nhau. Bên cạnh mô hình toán học của các đối tượng, thư viện cũng cung cấp giao diện đồ họa tương tác và trực quan cho các đối tượng này. Thư viện đã tỏ ra khả năng ứng dụng rất hiệu quả phục vụ sinh viên làm thí nghiệm môn học Điều khiển quá trình.



Hình 2: Mô phỏng hai bình thông nhau với MATLAB/SIMULINK

Tài liệu tham khảo

- [1] ÅSTRÖM, K. J., H. ELMQVIST, S.E. MATTSSON (1998): *Evolution of Continuous-time Modeling and Simulation*. Proceedings of the 12th European Simulation Multiconference, ESM'98, 9-18.
- [2] ELMQVIST H. et al. (2003): *Dymola User's Manual*. www.dymola.com.
- [3] ELMQVIST H. et al. (2001): *Modeling Complex Physical Systems*. Chương 2 trong *Control of Complex Systems*, Karl Åström et al. (Editors). Springer, 2001.
- [4] MODELICA ASSOCIATION (2004): *Modelica Tutorial*. www.modelica.org.