

NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG CÁC HỆ THỐNG HÀNG ĐỢI

Phan Đăng Khoa⁽¹⁾, Lê Quang Minh⁽¹⁾, Nguyễn Thế Tùng⁽²⁾, Nghiêm Thị Hoa⁽³⁾

⁽¹⁾ Viện CNTT – ĐHQGHN, ⁽²⁾ Trường ĐH Công nghệ - ĐHQGHN, ⁽³⁾ Trường Trung cấp Cảnh sát Nhân dân VI

quangminh@vnu.edu.vn, tungdongt29@gmail.com

TÓM TẮT - Lý thuyết hàng đợi đã đưa ra các mô hình toán học để có thể tính toán một số tham số đặc điểm của hệ thống, tuy nhiên các mô hình toán đó thường gặp nhiều hạn chế trong việc tính toán các tham số trung gian trong quá trình hệ thống hàng đợi vận hành. Để giải quyết vấn đề đó, có thể tiếp cận theo hướng mô phỏng hoạt động của hệ thống hàng đợi thông qua một chương trình mô phỏng, các tham số của chương trình ở đầu ra sẽ cung cấp những thông tin theo khả năng và sự quan tâm của người lập trình. Trong bài báo này, chúng tôi sẽ nghiên cứu về công cụ mô phỏng GPSS và đưa ra quy trình, cách thức dùng công cụ GPSS để xây dựng mô phỏng toán học các bài toán mô phỏng hàng đợi.

Từ khóa - Lý thuyết hàng đợi, mô phỏng hệ thống hàng đợi, công cụ GPSS.

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay, bài toán “Lý thuyết hàng đợi” hay “Lý thuyết phục vụ đám đông” [1] được ứng dụng khá rộng rãi trong thực tế. Trong các hệ thống hàng đợi thường xuyên diễn ra hai quá trình: Quá trình phát sinh yêu cầu và quá trình phục vụ yêu cầu ấy. Song trong quá trình phục vụ của hệ thống, do nhiều nguyên nhân khác nhau, thường xảy ra các tình trạng sau: Quá trình phục vụ không đáp ứng được các yêu cầu đặt ra và do đó dẫn đến nhiều yêu cầu phải đợi để được phục vụ; ngược lại, có thể xảy ra tình trạng khả năng phục vụ của hệ thống vượt quá yêu cầu sử dụng dịch vụ, kết quả là hệ thống không được sử dụng hết phương tiện phục vụ. Yêu cầu đặt ra là phải đánh giá được hiệu quả hoạt động của hệ thống, tính toán hay dự báo được khả năng khả năng phát triển của hệ thống để có thể có những đầu tư một cách phù hợp để vừa nâng cao chất lượng dịch vụ, vừa tránh lãng phí do đầu tư không hợp lý.

Để giải bài toán trên, chúng ta có thể tìm kiếm và giải quyết bằng các mô hình toán học, hoặc tìm ra các giải thuật và sử dụng các ngôn ngữ lập trình truyền thống (như C++, Pascal, Java,...) để xây dựng chương trình và đưa ra các kết quả cần tìm. Tuy nhiên, việc sử dụng các công thức toán học mà lý thuyết hàng đợi cung cấp để tính toán, cũng như mô phỏng hệ thống bằng cách sử dụng các ngôn ngữ lập trình truyền thống là khá phức tạp, khó khăn, vì khi lập trình chúng ta phải quản lý các sự kiện theo một mô hình nhiều sự kiện xảy ra đồng thời và cần xây dựng các hàm ngẫu nhiên sinh các sự kiện. Do đó, có một số công cụ mô phỏng (như GPSS, Petri Nets, MatLab,...) phục vụ cho việc mô phỏng và tính toán trên các mô hình hàng đợi trở nên thuận tiện và trực quan hơn.

Ngôn ngữ lập trình GPSS (General Purpose Simulation System) [3-6] là một phần mềm dựa trên ngôn ngữ của máy tính mô phỏng dùng để mô phỏng các sự kiện rời rạc, được nhận định là hiệu quả nhất hiện nay. GPSS dự đoán các hành vi trong tương lai của các hệ thống hàng đợi. Các đối tượng của ngôn ngữ này được sử dụng tương tự như các thành phần chuẩn của một hệ thống hàng đợi, như là các yêu cầu đầu vào, các thiết bị phục vụ, hàng đợi... Với tập hợp đầy đủ các thành phần như vậy cho phép xây dựng các mô phỏng phức tạp trong khi vẫn đảm bảo những thuật ngữ thông thường của hệ thống hàng đợi.

Trong bài báo này, nhóm tác giả sẽ nghiên cứu về công cụ mô phỏng GPSS và đưa ra quy trình, cách thức dùng công cụ GPSS để xây dựng và mô phỏng toán học các bài toán hàng đợi.

II. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

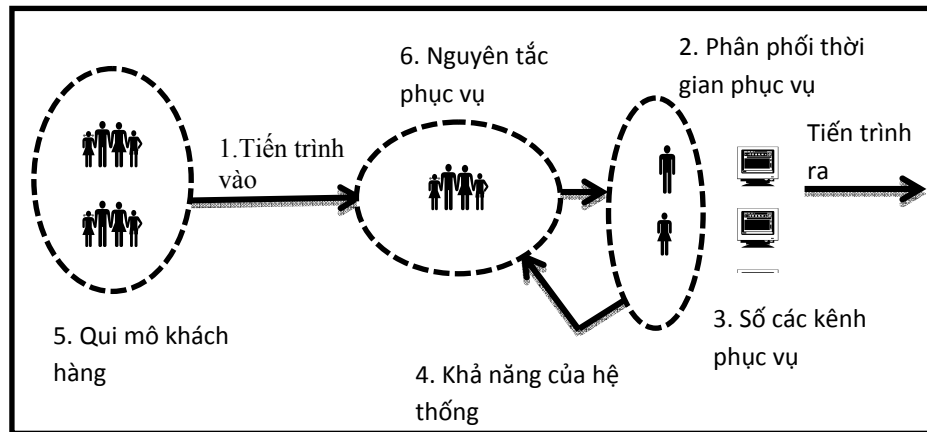
1) Lý thuyết hàng đợi

Lý thuyết hàng đợi là một nhánh của xác suất thống kê, được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau như: mạng truyền thông, hệ thống bán vé, thanh toán trong siêu thị, làm thủ tục tại sân bay,... Lý thuyết hàng đợi tập trung trả lời các câu hỏi như: trung bình thời gian đợi trong hàng đợi, trung bình thời gian phân hồi của hệ thống (thời gian đợi trong hàng đợi cộng thời gian phục vụ), nghĩa là sự sử dụng của các thiết bị phục vụ, phân phối số lượng khách hàng trong hàng đợi, phân phối khách hàng trong hệ thống.

Một hệ thống hàng đợi gồm các thành phần cơ bản sau (Hình 1):

- Tiến trình vào, tiến trình ra khỏi hệ thống;
- Phân phối thời gian phục vụ;
- Số các kênh phục vụ;

- Khả năng của hệ thống;
- Qui mô (kích thước) khách hàng;
- Nguyên tắc phục vụ.



Hình 1. Mô hình các thành phần của hệ thống hàng đợi

Vấn đề đặt ra là đối với công cụ toán học, việc các đối tượng có mức độ ưu tiên khác nhau thường sẽ chỉ được xem xét như trên cùng 1 hàng đợi có cùng một mức độ ưu tiên với những hệ số tỷ lệ để giải quyết vấn đề cạnh tranh giữa các đối tượng, để tính được tỷ lệ này là một vấn đề khó khăn với nhiều bài toán hàng đợi, vì vậy việc sử dụng công cụ mô phỏng để giải quyết là một cách tiếp cận phù hợp.

2) Ngôn ngữ mô phỏng GPSS

GPSS (*General Purpose Simulation System*) là ngôn ngữ mô phỏng các sự kiện rời rạc, được Geoffrey Gordon (IBM), phát triển chính từ những năm 1960. Với tên khai sinh là GPSS - Gordon's Programmable Simulation System sau được đổi thành GPSS - *General Purpose Simulation System* như ngày nay.

Các blocks cơ bản trong GPSS:

- Transactions: có thể xem như là một “yêu cầu”, hay một “sự kiện” trong hệ thống phục vụ đám đông;
- Facilities: có thể được hiểu là các “thiết bị”, cơ sở vật chất của hệ thống như là các máy phục vụ;
- Queues: được dùng để lưu giữ thông tin trong quá trình xử lý các “yêu cầu”;
- Built-in Probability Distributions: công cụ sinh số ngẫu nhiên, hỗ trợ sẵn các hàm cho phép tạo các số ngẫu nhiên theo các quy luật phân bố khác nhau như: Beta, Discrete Uniform, Exponential, Gamma, Poisson,...

Để khởi tạo một Transaction trong GPSS sử dụng block GENERATE:

```
GENERATE      A,B,C,D,E
```

Tham biến A xác định khoảng thời gian trung bình xuất hiện một Transaction. Nếu như khoảng thời gian này là hằng số thì tham biến B không được sử dụng, ngược lại sử dụng tham biến B để xác định độ thay đổi của khoảng thời gian này. Tham biến C xác định thời điểm xuất hiện Transaction đầu tiên. Tham biến D xác định số Transactions mà Block GENERATE sẽ tạo ra và độ ưu tiên của các Transaction được thiết lập bởi tham biến E.

Trong đó, nhóm tác giả tập trung nhấn mạnh đến điểm ưu việt của việc sử dụng ngôn ngữ mô phỏng GPSS mà nếu chúng ta không sử dụng công cụ mô phỏng thì chúng ta phải tự xây dựng bằng các ngôn ngữ lập trình thông thường một cách rất phức tạp và tốn nhiều thời gian, công sức:

1) Hỗ trợ sẵn các hàm cho phép tạo các số ngẫu nhiên theo các quy luật phân bố khác nhau:

Ví dụ:

```
.*****
;
GENERATE 1      ;cứ sau mỗi 1 tick thì có 1 “yêu cầu”- transaction
ADVANCE 5      ;thực hiện trong 5 ticks sau đó chuyển sang block khác
TERMINATE      ;yêu cầu được kết thúc
.*****
```

```

GENERATE 100,40 ;tạo transaction sau mỗi khoảng thời gian ngẫu nhiên theo
;quy luật phân bố đều trong khoảng [60;140]
;*****
GENERATE (Exponential(1,0,6.5)) ; sinh số ngẫu nhiên theo hàm mũ

```

2) Cho phép để dàng mô phỏng các bài toán có nhiều tác vụ với độ ưu tiên khác nhau:

Ví dụ:

```

GENERATE 10,5,,2 ; 5'=>15' phút có một máy hạ cánh, có độ ưu tiên 2
GENERATE 10,2,,1 ; 8'=>12' có một máy bay cất cánh, có độ ưu tiên 1

```

Nghĩa là, nếu tại một thời điểm vừa có yêu cầu máy bay hạ cánh, vừa có yêu cầu máy bay cất cánh thì đường băng sẽ ưu tiên việc cất cánh được thực hiện trước. Chúng ta sẽ hiểu kỹ hơn về vấn đề này trong bài toán ví dụ về sân bay ở phần sau của bài báo.

III. MÔ PHỎNG HỆ THỐNG HÀNG ĐỢI BĂNG CÔNG CỤ GPSS

1) Cài đặt công cụ GPSS

Để mô phỏng một hệ thống hàng đợi, đầu tiên chúng ta cần cài đặt một công cụ cho phép xây dựng chương trình trên ngôn ngữ GPSS. Có nhiều phiên bản khác nhau như GPSS World Personal Version, GPSS World Commercial Version, GPSS World Student Version,... do công ty Minuteman software (<http://www.minutemansoftware.com>) cung cấp; trong đó phiên bản GPSS World Student Version là phiên bản miễn phí; trong bài báo này các tác giả sử dụng phiên bản này để mô phỏng các hệ thống hàng đợi.

Sau khi tải phiên bản miễn phí GPSS World Student Version về, tiến hành cài đặt như các phần mềm thông thường.

Để mô phỏng một hệ thống hàng đợi, vào menu File và tạo một Project mới, chọn New model, GPSS World sẽ tạo cho chúng ta một Model. Thực hiện viết code chương trình bằng ngôn ngữ GPSS cho hệ thống, thực thi lệnh Create Simulation từ menu Command để GPSS World tiến hành biên dịch code và tạo một mô phỏng mới. Và lúc này ở menu Simulation Window sẽ xuất hiện các cửa sổ như: Blocks Window, Facilities Window, Plot Window, Queues Window,... cho phép theo dõi quá trình mô phỏng và tính toán.

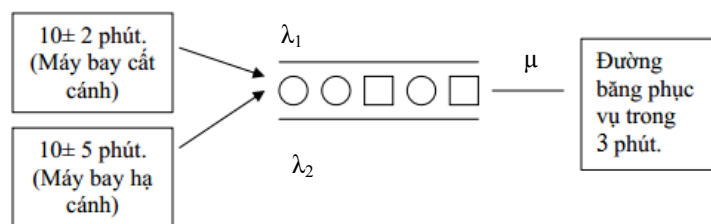
Trong menu Command có các lệnh: START, STEP, HALT, CONTINUE,... để điều khiển quá trình mô phỏng. Khi quá trình mô phỏng kết thúc theo mặc định cửa sổ báo cáo kết quả REPORT sẽ xuất hiện.

2) Sử dụng công cụ mô phỏng GPSS trong bài toán thực tế

Xét bài toán mô phỏng hoạt động tại một sân bay. Ở một sân bay, luôn luôn ưu tiên cho các máy bay cất cánh, như vậy trong trường hợp cùng một thời điểm có một máy bay muốn cất cánh và một bay muốn hạ cánh, thì đường băng sẽ dành cho máy bay cất cánh. Thời gian cho một máy bay cất cánh hoặc hạ cánh xuống đường băng mất đúng 3 phút. Cứ mỗi 10 ± 5 phút sẽ có một máy bay hạ cánh và 10 ± 2 phút thì lại có một máy bay được cất cánh. Khi hạ cánh, nếu đường băng "tự do" thì máy bay sẽ được hạ cánh, còn nếu như đường băng "bận" thì máy bay phải bay tiếp theo một vòng tròn gần sân bay, và sẽ tiếp tục đòi hỏi hạ cánh xuống sân bay đó sau thời gian đúng 4 phút. Nếu như sau 5 vòng bay trên không liên tục, mà máy bay đó vẫn không nhận được sự đồng ý cho hạ cánh, thì máy bay đó sẽ bay sang một sân bay phụ.

Mô phỏng hoạt động của sân bay trong thời gian một ngày (24 giờ). Đếm số máy bay cất cánh được, số máy bay hạ cánh được, số máy bay phải thực hiện hạ cánh ở sân bay phụ. Tính hệ số sử dụng đường băng của sân bay đó.

- Tính kết quả theo phương pháp thống kê thông thường:



Hình 2. Phân tích mô hình hệ thống hàng đợi sân bay

Theo lý thuyết hàng đợi, bài toán trên thuộc hàng đợi M/M/1, với các thông số (Hình 2):

$\lambda_1 = 1/10, \lambda_2 = 1/10, \mu = 1/3$, do đó:

• Số lượng máy bay hạ cánh thành công trong thời gian một ngày đêm: 144 (=1440 phút / 10 phút một chuyến hạ cánh)

• Số lượng máy bay cất cánh thành công trong thời gian một ngày đêm: 144 (=1440 phút / 10 phút một chuyến cất cánh)

• Hệ số sử dụng của đường băng cho việc cất cánh - hạ cánh: 60% ($\rho_1 = \lambda_1/\mu = 0,3; \rho_2 = \lambda_2/\mu = 0,3 \Rightarrow \rho = \rho_1 + \rho_2 = 0,6 = 60\%$)

Bằng phương pháp thống kê thông thường, ta không thể tính được số lượt máy bay cất cánh và hạ cánh không thành công, số lượt máy bay phải bay vòng trước khi hạ cánh thành công cũng như số lượt máy bay phải chuyển sang sân bay phụ.

• **Tính kết quả bằng công cụ mô phỏng GPSS:**

Một số câu lệnh chính:

;segment 1 – Segment miêu tả cho máy bay hạ cánh

;DOWN

;block 1

GENERATE 10,5,,1 ; 5'=>15' phút có một máy hạ cánh, có độ ưu tiên 1

;block 2

Busy TEST NE *1,5,term ;Nếu tham số 1 của kênh phục vụ hiện tại bằng 5

;thì đi tới khối term, tức là trong trường hợp này máy

;bay hạ cánh sẽ bay sang sân bay phụ

;segment 2 – Segment miêu tả cho máy bay cất cánh

;UP

GENERATE 10,2,,2 ; 8'=>12' có một máy bay cất cánh, có độ ưu tiên 2

;segment 3

GENERATE 1440 ;1440 = 60*24: nghĩa là thời gian 1 ngày đêm tính bằng phút

TERMINATE 1

Kết quả mô phỏng thu được:

- Số lượng máy bay hạ cánh trong khoảng một ngày đêm : 146
- Số lượng máy bay hạ cánh thành công trong thời gian một ngày đêm: 146
- Số lượng máy bay hạ cánh không thành công trong khoảng một ngày đêm: 0
- Số lượng máy bay hạ cánh, mà phải thực hiện chuyển bay theo đường vòng : 79
- Số lượng máy bay cất cánh trong khoảng một ngày đêm: 142
- Số lượng máy bay cất cánh thành công trong khoảng một ngày đêm: 142
- Hệ số sử dụng của đường băng cho việc cất cánh - hạ cánh: 60%

Như vậy ta thấy với phần mềm mô phỏng, kết quả tính toán cho ta số máy bay cất cánh và hạ cánh thành công có sai khác với kết quả tính toán theo lý thuyết thông thường (146 và 142 so với 144), ngoài ra còn cho ta số lượt máy bay phải bay theo đường vòng trước khi hạ cánh thành công (79 lượt).

• **Thay đổi thông số bài toán:**

- **Thay đổi thời gian mô phỏng:**

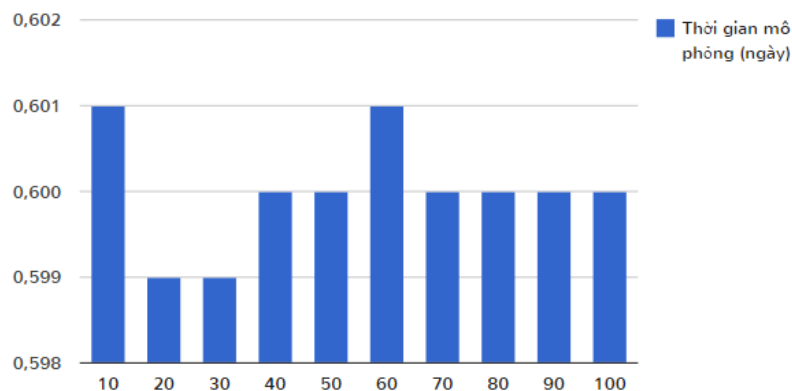
Thay vì mô phỏng hoạt động của sân bay trong khoảng thời gian 01 ngày, ta mô phỏng hoạt động của sân bay trong khoảng thời gian 10, 20, 30, ..., 100 ngày đêm để so sánh kết quả thu được (Bảng 1) (Hình 3):

Nhận xét:

Khi thay đổi thông số bài toán từ mô phỏng hoạt động của sân bay trong thời gian 01 ngày đêm sang mô phỏng hoạt động của sân bay trong các khoảng thời gian từ 10 ngày đêm đến 100 ngày đêm, ta thấy các kết quả thu được cho ta các số liệu trung gian như số lượt máy bay cất cánh và hạ cánh không thành công, số lượt máy bay phải bay vòng trước khi hạ cánh thành công cũng như số lượt máy bay phải chuyển sang sân bay phụ; và hệ số sử dụng đường băng ngày càng tiệm cận gần hơn đến kết quả tính toán theo lý thuyết thông thường.

Bảng 1. Kết quả mô phỏng

Thời gian (ngày)	Số hạ cánh	Số hạ cánh thành công	Số phải bay vòng	Số phải sang sân bay phụ	Số cất cánh thành công	Hệ số sử dụng đường băng
10	1.448	1.445	760	3	1.442	0,601
20	2.868	2.865	1.490	3	2.882	0,599
30	4.305	4.299	2.311	6	4.322	0,599
40	5.752	5.743	3.093	8	5.768	0,600
50	7.197	7.189	3.922	8	7.204	0,600
60	8.662	8.650	4.682	12	8.645	0,601
70	10.099	10.084	5.484	14	10.092	0,600
80	11.536	11.518	6.256	17	11.539	0,600
90	12.963	12.944	6.977	19	12.981	0,600
100	14.408	14.388	7.759	20	14.416	0,600



Hình 3. Đồ thị mô tả kết quả mô phỏng

○ Thay đổi thời gian phục vụ để giảm thiểu số lượt bay vòng, tiết kiệm chi phí:

Như ta đã thấy, với thời gian mô phỏng từ 10 đến 100 ngày cho ta số lượt máy bay phải bay vòng là từ 760 đến 7.749 lượt; số lượt máy bay phải chuyển sang sân bay phụ là từ 03 đến 20 lượt. Như vậy chi phí tiền xăng để máy bay bay vòng và thậm chí phải chuyển sang sân bay phụ là rất lớn.

Để giảm thiểu chi phí tiền xăng phát sinh khi máy bay phải bay vòng hay phải chuyển sang sân bay phụ, ta có thể nâng cao khả năng phục vụ, tức là có thể giảm thời gian máy bay lăn bánh trên đường băng, hoặc tăng số lượng đường băng phục vụ. Để đạt hiệu quả kinh tế, ta phải tính toán và cân đối chi phí giữa việc giảm chi phí từ giảm số lượt máy bay bay vòng với việc tăng chi phí khi nâng cao khả năng phục vụ. Phương án nào có hiệu quả kinh tế tốt hơn thì ta lựa chọn để thực hiện.

Với bài toán này, giả sử thời gian máy bay lăn bánh trên đường băng có thể giảm tối đa xuống còn 2 phút cho mỗi lượt cất cánh/hạ cánh. Nhóm tác giả thực hiện mô phỏng hoạt động của sân bay với thời gian phục vụ là 2 phút/lượt với thời gian mô phỏng tương tự để so sánh kết quả thu được (Bảng 2):

Nhận xét:

Với kết quả mô phỏng thu được, ta thấy rằng số lượt máy bay phải bay vòng đã được giảm xuống còn khoảng gần một nửa ($\approx 43\%$), và đã hoàn toàn loại bỏ số lượt máy bay phải chuyển sang sân bay phụ. Như vậy, với việc sử dụng công cụ mô phỏng ta đã có thể lựa chọn thông số đầu vào hợp lý (giảm thời gian phục vụ từ 3 phút/chuyến xuống còn 2 phút/chuyến) để loại bỏ kết quả trung gian không mong muốn (số lượt máy bay phải bay vòng và số lượt phải chuyển sang sân bay phụ) để đạt hiệu quả kinh tế cao hơn.

Bảng 2. Kết quả mô phỏng

Thời gian (ngày)	Số hạ cánh	Số hạ cánh thành công	Số phải bay vòng	Số phải sang sân bay phụ	Số cất cánh thành công	Hệ số sử dụng đường băng
10	1.448	1.448	302	0	1.442	0,401
20	2.868	2.868	648	0	2.882	0,399
30	4.305	4.305	1.004	0	4.322	0,399
40	5.752	5.752	1.337	0	5.768	0,400
50	7.197	7.197	1.693	0	7.204	0,400
60	8.662	8.662	2.031	0	8.645	0,401
70	10.099	10.099	2.378	0	10.092	0,401
80	11.536	11.536	2.720	0	11.539	0,401
90	12.963	12.963	3.049	0	12.981	0,400
100	14.408	14.408	3.394	0	14.416	0,400

IV. KẾT LUẬN

Như vậy, bằng cách sử dụng công cụ mô phỏng GPSS World, ta có thể dễ dàng hơn trong việc mô phỏng các bài toán trong thực tế, thu được các thông số mà bằng phương pháp thống kê thông thường ta không thể có được.

Với thời gian mô phỏng ít, kết quả thu được có những sai khác khá lớn so với kết quả tính toán theo lý thuyết. Khi thay đổi thông số bài toán để mô phỏng với thời gian lớn hơn, ta thấy các kết quả thu được ngày càng tiệm cận gần hơn đến các kết quả tính toán theo lý thuyết thông thường, nghĩa là công cụ mô phỏng càng phản ánh sát với thực tế.

Dựa trên các thông số trung gian đó, ta có thể điều chỉnh các giá trị đầu vào sao cho hệ thống hàng đợi hoạt động đạt hiệu suất cao nhất để có thể có những đầu tư một cách phù hợp để vừa nâng cao chất lượng dịch vụ, vừa tránh lãng phí do đầu tư không hợp lý.

Trong khuôn khổ bài báo, nhóm tác giả mới chỉ thực hiện mô phỏng với bài toán hàng đợi mô hình M/M/1 để làm nổi bật điểm ưu việt của việc sử dụng công cụ mô phỏng GPSS so với phương pháp thống kê thông thường. Tuy nhiên, hoàn toàn có thể sử dụng công cụ GPSS để mô phỏng các bài toán hàng đợi phức tạp hơn như M/M/n với các thông số đầu vào ngẫu nhiên theo các quy luật phân bố khác nhau và có nhiều độ ưu tiên phục vụ khác nhau.

V. TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Robert B.Cooper (1981) “*IntroToQueueingTheory*”, Elsevier North Holland.
- [2] Graves, Stephen C. and John D. C. Little (2008), “Little’s Law,” in: Dilip Chhed and Timothy J. Lowe, eds. *Building Intuition: Insights from Basic Operations Management Models and Principles*, (New York, NY: Springer Science+Business Media, LLC).
- [3] Alan Pilkington, Royal Holloway; University of London GPSS – Getting Started (online);
- [4] M Peter Jurkat; Short Introduction to GPSS (online)
- [5] GPSS World Reference Manual (online)
- [6] GPSS World Tutorial Manual (online)