

MÔ PHỎNG TIẾN ĐỘ THI CÔNG CÔNG TRÌNH BẰNG PHƯƠNG PHÁP MONTE CARLO

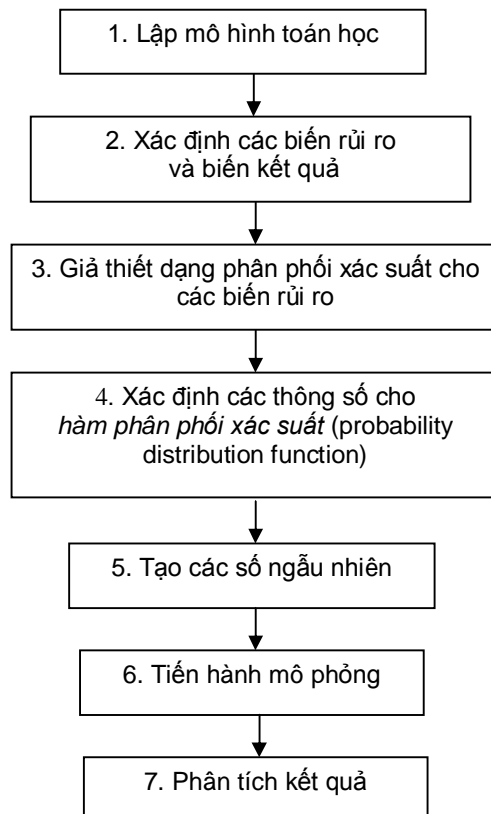
ThS. LẠI HẢI ĐĂNG, ThS. LƯU TRƯỜNG VĂN
Đại học Bách khoa Tp.HCM

1. Giới thiệu

Các dự án xây dựng thường được tiến hành dưới những điều kiện rủi ro khác nhau. Trong thực tế, các công ty xây dựng thường không lưu trữ thời gian chi tiết thực hiện công việc một cách có hệ thống để nâng cao hiệu quả dự đoán thời gian cho công trình mới. Thời gian này thường được người lập tiến độ đưa ra dựa trên kinh nghiệm và thông tin có được. Để diễn đạt thời gian này, họ thường dùng các thuật ngữ “xấp xỉ”, “hơn hay ít”, “khoảng”. Hơn nữa, nội dung diễn đạt “nằm hợp lí trong khoảng 5 và 10 ngày, nhưng có thể xảy ra nhất trong khoảng 7 hay 8 ngày”, đã chỉ ra rằng họ vừa không tin cậy vào hai khoảng ước lượng vừa có mức độ tin tưởng khác nhau cho mỗi khoảng ước lượng thời gian. Vì vậy, mô hình hóa tiến độ ngẫu nhiên sao cho có thể dễ dàng ứng dụng trong thực tế và đơn giản sẽ là mục tiêu của bài báo này. Bài báo này trình bày việc mô phỏng tiến độ thi công bằng phương pháp Monte Carlo, việc lập chương trình tin học để mô phỏng tiến độ, và áp dụng kết quả nghiên cứu vào thực tế là Dự án đầu tư xây dựng Bệnh viện mới Đại học Y Dược Tp.HCM.

2. Giới thiệu tóm tắt về mô phỏng Monte-Carlo

Mô phỏng Monte Carlo là một công cụ để phân tích các hiện tượng có chứa yếu tố rủi ro nhằm rút ra lời giải gần đúng. Nó còn được gọi là phương pháp thử nghiệm thống kê. Mô phỏng Monte-Carlo thường được sử dụng khi việc thực hiện các thí nghiệm hoặc các phương pháp tính toán bằng giải tích gặp nhiều khó khăn hoặc không thể thực hiện được, đặc biệt khi sử dụng các máy tính số và không yêu cầu những công cụ toán học phức tạp. Thực chất của mô phỏng này là lựa chọn một cách ngẫu nhiên của các biến đầu vào (risk variables) ngẫu nhiên để có một kết quả thực nghiệm của đại lượng tổng hợp cần phân tích. Quá trình đó được lặp lại nhiều lần để có một tập hợp đủ lớn các kết quả thực nghiệm. Cuối cùng xử lý thống kê để có các đặc trưng thống kê của đại lượng tổng hợp đó. Các bước tính toán, thực hiện có thể tóm tắt như sơ đồ dưới đây:



Hình 1. Quy trình mô phỏng theo phương pháp Monte-Carlo

Bước 1: Mô hình toán học

Mô hình này xác định các mối quan hệ đại số giữa các biến số hằng số. Nó là một tập hợp các công thức cho một vài biến số mà các biến này có ảnh hưởng đến kết quả

Bước 2: Xác định biến rủi ro (risk variables) và biến kết quả (result variables)

Phân tích độ nhạy sẽ được sử dụng trước khi áp dụng phân tích rủi ro để xác định những biến số quan trọng nhất trong mô hình đánh giá dự án và giúp người phân tích lựa chọn các biến số rủi ro quan trọng (những biến số này giải thích hầu hết các rủi ro của dự án).

Bước 3: Xác định các dạng phân phối của các biến số

Khi lựa chọn dạng phân phối, người ta sử dụng dạng phân phối xác suất đa trị. Các dạng phân phối xác suất cơ bản như: phân phối đều, phân phối tam giác, phân phối chuẩn, phân phối dạng bậc thang. Phân phối dạng bậc thang có ích cho những trường hợp có nhiều ý kiến chuyên gia. Một loại phân phối bậc thang đặc biệt là phân phối “bậc thang – rời rạc”, nó được dùng khi giá trị của một biến số có thể chỉ giả thiết những con số phân biệt trong một phạm vi nào đó.

Bước 4: Xác định giới hạn phạm vi của hàm phân phối xác suất

Các giới hạn phạm vi được xác định bởi các giá trị nhỏ nhất và lớn nhất. Đó là các giá trị biên mà các biến số không được vượt qua. Với những phân phối dạng tam giác hay bậc thang cũng cần xác định cụ thể những phạm vi phụ nằm bên trong hai giới hạn. Xác định các giới hạn phạm vi cho các biến số dự án là một quá trình đơn giản bằng cách thu thập và phân tích những dữ liệu có sẵn từ quá khứ của các biến rủi ro, từ đó chúng ta có thể tìm được dạng phân phối xác suất phù hợp của nó

Bước 5: Tạo ra các số ngẫu nhiên

Tìm cách phát ra hay lựa chọn một cách ngẫu nhiên kết cục của các biến ngẫu nhiên với yêu cầu việc lựa chọn phải đảm bảo cho các kết cục có thể có phân phối xác suất giống như phân phối xác suất ban đầu của các biến ngẫu nhiên. Trong thực tế, người ta thường sử dụng sẵn bảng số ngẫu nhiên hay có thể lập các chương trình phát số ngẫu nhiên để tạo ra các số đó.

Bước 6: Vận hành mô phỏng

Giai đoạn vận hành mô phỏng là công việc khó khăn nhất, mất nhiều thời gian nhất, vì thế nó được dành cho máy tính. Quá trình trên được lặp đi lặp lại cho đến khi đủ những kết quả cần thiết để xử lý thống kê. Để có được một mức độ chính xác cần thiết, cần phải thực hiện một số khá lớn những phép thử Monte-Carlo, có khi đến hàng trăm lần. Nói chung, số phép thử càng lớn, các kết cục trung bình càng ổn định. Chọn số lần mô phỏng bao nhiêu là một vấn đề phức tạp. Tuy nhiên thông thường số lần mô phỏng thường nằm trong khoảng 5.000-10.000 lần.

Bước 7: Phân tích các kết quả

Cuối cùng là phân tích và giải thích các kết quả thu được trong giai đoạn vận hành mô phỏng. Sử dụng các phép tính thống kê để xác định các đặc trưng thống kê như kỳ vọng (mean), phương sai (variance)... của đại lượng tổng hợp cần phân tích. Từ hàm phân phối xác suất tích lũy của các kết quả, người ta có thể quan sát mức độ mong đợi của kết quả dự án với từng giá trị đã cho bất kỳ. Vì vậy rủi ro của dự án thường được biểu thị qua hàm phân phối xác suất tích lũy.

3. Tính toán tiến độ theo phương pháp mô phỏng Monte-Carlo

Phần này sẽ trình bày các thủ tục tính toán theo phương pháp mô phỏng Monte Carlo nhằm phân tích tiến độ. Các thủ tục này sẽ trình bày các bước khác nhau cho việc phác họa sơ đồ mạng và ước lượng các đặc tính phân phối xác suất cho các công tác. Ngoài ra, các công thức tính toán sẽ được áp dụng nhằm phân tích thời gian thực hiện phân phối chuẩn.

Để tạo ra thời gian phân phối chuẩn, ta sẽ tiến hành theo hai bước. Đầu tiên, phát sinh các biến ngẫu nhiên phân phối đều, u_i nằm trong khoảng (0,1). Có nhiều kỹ thuật để thực hiện việc này. Một công thức tổng quát có thể được sử dụng

$$u_i = 1 / [(\pi + u_{i-1})^5] \quad (1)$$

Trong đó: $\pi = 3.14159265$

u_{i-1} : là số ngẫu nhiên được tạo ra trước hay được lựa chọn từ đầu tiên.

Phương trình trên sẽ dẫn đến kết quả một tập các số có tính chất thống kê của số ngẫu nhiên thực. Các số này sẽ xuất hiện lặp lại sau một số lần lặp nào đó.

Thông qua việc áp dụng phương pháp khởi tạo các số ngẫu nhiên phân phối đều, ta có thể tạo ra các số ngẫu nhiên phân phối chuẩn bằng cách sử dụng 2 *realization* phân phối đều có phương trình như sau :

$$\begin{aligned} x_k &= \mu_x + s * \sin t \\ s &= \sigma_x \sqrt{-2 \ln u_1} \\ t &= 2\pi u_2 \end{aligned} \quad (2)$$

Trong đó :

- x_k - realization chuẩn;
- μ_x - giá trị trung bình;
- σ_x - độ lệch chuẩn của x;
- u_1 và u_2 là hai biến ngẫu nhiên phân phối đều.

Các *realization* số ngẫu nhiên tương quan có thể sử dụng trong phân phối có điều kiện. Ví dụ thời gian thực hiện của một công tác d là phân phối chuẩn và tương quan với một biến ngẫu nhiên phân phối chuẩn thứ hai x. Biến x này có thể có thời gian thực hiện khác của công tác trên hay có thể là một nhân tố tách rời, ví dụ như ảnh hưởng của thời tiết.

Cho trước một *realization* x_k của x, phân phối có điều kiện của d vẫn là phân phối chuẩn nhưng d là một hàm của giá trị x_k . Đặc biệt, trị trung bình có điều kiện ($\mu'_d | x=x_k$) và độ lệch chuẩn ($\sigma'_d | x=x_k$) của một biến phân phối chuẩn được tính từ một realization của biến thứ hai là:

$$\begin{aligned} \{\mu'_d | x = x_k\} &= \rho_{dx} (\sigma_d / \sigma_x) (x_k - \mu_x) + \mu_d \\ \{\sigma'_d | x = x_k\} &= \sigma_d \sqrt{1 - \rho_{dx}^2} \end{aligned} \quad (3)$$

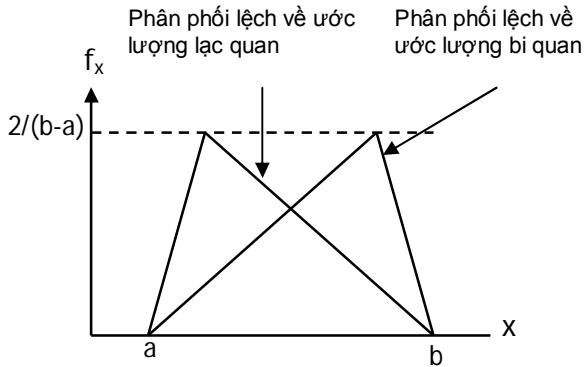
Trong đó ρ_{dx} là hệ số tương quan giữa d và x. Nếu giá trị x_k được biết trước, trị trung bình và độ lệch chuẩn có điều kiện có thể được tính toán từ phương trình (2). Giá trị realization đạt được bằng cách áp dụng phương trình (1). Hệ số tương quan chỉ ra mức độ hai biến khác nhau tương quan lẫn nhau.

Khi đã có một tập các biến phân phối ngẫu nhiên, ta có thể áp dụng thuật toán cho kế hoạch hóa tiến độ theo sơ đồ mạng CPM.

Để đơn giản hoá cách tính toán trong mô phỏng tiến độ Monte Carlo, việc sử dụng phân phối dạng tam giác sẽ thuận lợi hơn so với phân phối chuẩn Beta. Phân phối dạng tam giác có thể mạnh hơn so với phân phối chuẩn đó là không xét đến thời gian âm. Ngoài ra ta sử dụng phân phối dạng tam giác vì những lí do như sau:

- Phân phối beta không hẳn là phân phối thực của thời lượng công tác và cho đến nay, chưa có một kết quả nghiên cứu nào khẳng định điều đó. Hơn nữa việc lựa chọn loại hàm phân phối cho thời lượng công tác không phải là ở dạng phân phối xác suất mà cái chính là nó phải diễn tả được gần đúng tính chất phân phối xác suất của công việc và mục tiêu mô phỏng. Với mục đích đó, hàm phân phối dạng tam giác đều thỏa mãn các yêu cầu nói trên;
- Phân phối tam giác phù hợp với trường hợp mà thông tin về quá khứ không đầy đủ để xác định phân phối thực của công tác. Ta chỉ cần ba ước lượng thời gian: thời gian thuận lợi (a), thời gian không thuận lợi (b), và thời gian bình thường (m) là có thể diễn tả được phân phối thời lượng công việc. Do đó rất dễ đơn giản tính toán;
- Trong phương pháp mô phỏng, chỉ cần những thông tin cơ bản của phân phối tam giác nhưng thông qua quá trình mô phỏng hàng trăm lần, thì theo luật số lớn, kết quả vẫn rất gần với thực tế;

- Phân phối tam giác có khoảng giới hạn như phân phối beta. Do đó, nó phù hợp với những giới hạn về năng suất, thời gian và chi phí trong thực tế;
- Tương tự phân phối beta, hình dạng của phân phối tam giác của nó có thể méo lệch tùy theo các thời gian ước lượng. Do đó, nó diễn tả được tính chất của các yếu tố năng suất, thời gian và chi phí.



Hình 2. Phân phối thời gian thực hiện dạng tam giác

Hình trên minh họa phân phối dạng tam giác có thể lệch sang phải hay sang trái và có giới hạn xác định giống như phân phối beta. Nếu a là giới hạn dưới, b là giới hạn trên, m là giá trị khả thi nhất, thì trị trung bình và độ lệch chuẩn của phân phối dạng tam giác là:

$$\mu = \frac{a + b + m}{3} \quad (4)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{a^2 + b^2 + m^2 + ab + am + mb}{18}} \quad (5)$$

Hàm xác suất tích lũy (cumulative probability function) cho phân phối tam giác là:

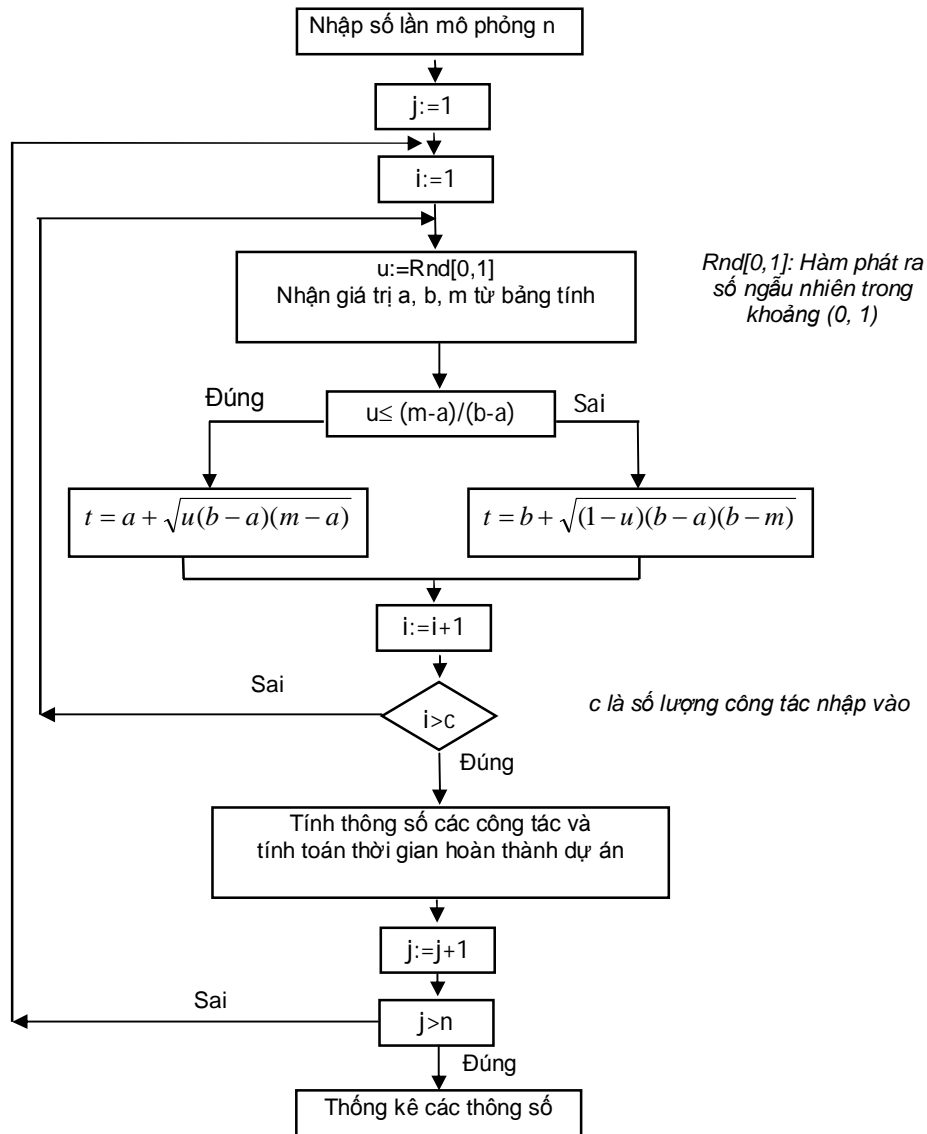
$$F(x) = \begin{cases} \frac{(x-a)^2}{(b-a)(m-a)} & \text{cho } a \leq x \leq m \\ 1 - \frac{(b-x)^2}{(b-a)(b-m)} & \text{cho } m \leq x \leq b \end{cases}$$

trong đó F(x) là xác suất mà biến ngẫu nhiên nhỏ hơn hoặc bằng giá trị x.

4. Lập trình mô phỏng Monte Carlo trên máy tính

- *Bước 1:* Nhập số công tác, số lần mô phỏng và khoảng thời gian a, m, b cho từng công tác.
- *Bước 2:* Với mỗi công tác trong mỗi lần mô phỏng, phát sinh một số ngẫu nhiên u trong khoảng [0, 1]. Từ đó tính toán giá trị xác định cho mỗi công tác.
- *Bước 3:* Với mỗi lần mô phỏng, xác định các giá trị khởi sớm, kết sớm, khởi muộn, kết muộn và dự trữ toàn phần của mỗi công tác.
- *Bước 4:* Từ các thông số của các công tác qua số lần mô phỏng, tính toán giá trị trung bình và độ lệch chuẩn của các thông số của các công tác.

Các tác giả đã lập một chương trình máy tính để xử lý bài toán mô phỏng tiến độ theo lưu đồ được biểu diễn trong hình 3 bên dưới.



Hình 3. Lưu đồ lập trình mô phỏng tự động trên máy tính

5. Áp dụng vào công trình thực tế

Để kiểm chứng kết quả nghiên cứu và hiệu lực của chương trình máy tính do nhóm tác giả thiết lập, một công trình thực tế đã được áp dụng. Đó là Dự án đầu tư xây dựng Bệnh viện mới Đại học Y Dược Tp.HCM. Công năng của một Bệnh viện phụ thuộc vào dây chuyền công nghệ hiện đại và tính chất pháp lí của cấu tạo kiến trúc. Dự án này được hình thành từ năm 1999, do có nhiều rủi ro trong quá trình thực hiện nên đến tháng 9/2005 dự án mới có thể được triển khai. Hơn nữa mặt bằng của công trình rộng và có nhiều công trình ngầm ở bên dưới. Công trình được phân nhóm loại A, cấp đặc biệt, với tổng vốn đầu tư là 450 tỷ đồng. Đây là công trình trọng điểm của Bộ Y tế, nhằm xây dựng một Bệnh viện hiện đại, mang chuẩn quốc tế ở Việt Nam. Do đó việc xác lập và mô phỏng tiến độ cho công trình này là một điều tất yếu để có thể đưa ra một tiến độ xác định. Các công tác chủ yếu được thiết lập trong mô hình như sau :

STT	Ten cong tac	CV truooc	Thoi gian
1	Bắt đầu	0	0,0,0,0
2	Bố trí công trường	1	1,1,1,1
3	Thi công cọc thử	2	1,1,1,1
4	Thời gian chờ đợi đạt cường độ của bê tông	3	3,3,3,3
5	Kiểm tra sức chịu tải của cọc	4	2,3,3,4
6	Thi công cọc nhồi và tường vây	5	13,15,15,18
7	TC tầng hầm cho tới code 0,00	6	17,20,20,23
8	TC kết cấu phần thân Block A	7	8,9,9,10
9	TC kết cấu từ 0,00 đến lầu 4 Block B	7	8,9,9,11
10	TC kết cấu từ lầu 4 đến lầu 15 Block B	9	24,26,26,27
11	Xây gạch,tô trát hoàn thiện bên ngoài Block A	8	9,10,10,12
12	Xây gạch,tô trát hoàn thiện bên ngoài từ 0,00 đến lầu 4 Block B	9	9,11,11,12
13	Xây gạch,tô trát hoàn thiện bên ngoài từ lầu 4 đến lầu 15 Block B	10,12	26,28,28,29
14	Nội thất - sàn, tường, trần thiết bị nội thất Block A	8	10,11,11,12
15	Nội thất - sàn, tường, trần thiết bị nội thất từ 0,00 đến lầu 4 Block B	9	9,11,11,13
16	Nội thất-sàn, tường, trần thiết bị nội thất từ lầu 4 đến lầu 15 Block B	10,15	26,28,28,29
17	Thi công phần MEPF và khí Y tế Block A	11,14	8,9,9,11
18	Thi công phần MEPF và khí Y tế Block B	13,16	16,18,18,20
19	Lắp đặt thang hệ thống thang máy, thang cuốn	17,18	9,10,10,11
20	Tổng kiểm tra và vận hành thử, sửa sai sót hoàn thiện để bàn giao	19	2,2,2,3
21	Kết thúc	20	0,0,0,0

Thời gian công tác được tính theo tuần. Thời gian này được thiết lập dựa trên các kinh nghiệm, trình độ thi công ở Việt Nam, sự biến động giá cả thị trường và cả định mức thời gian của các công tác.

Dựa trên các số liệu đã nhập. Các thông số của các công tác được tính toán theo mô hình SĐMM. Kết quả tính toán giữa mô hình SĐMM và Monte Carlo như sau:

STT	Khoi som	Ket som	Khoi muon	Ket muon	Du tru toan phan	PM	AI
1	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0	1	1
2	0, 0, 0, 0	1, 1, 1, 1	0, 0, 0, 0	1, 1, 1, 1	0	1	1
3	1, 1, 1, 1	2, 2, 2, 2	1, 1, 1, 1	2, 2, 2, 2	0	1	1
4	2, 2, 2, 2	5, 5, 5, 5	2, 2, 2, 2	5, 5, 5, 5	0	1	1
5	5, 5, 5, 5	7, 8, 8, 9	5, 5, 5, 5	7, 8, 8, 9	0	1	1
6	7, 8, 8, 9	20, 23, 23, 27	7, 8, 8, 9	20, 23, 23, 27	0	1	1
7	20, 23, 23, 27	37, 43, 43, 50	20, 23, 23, 27	37, 43, 43, 50	0	1	1
8	37, 43, 43, 50	45, 52, 52, 60	89, 95, 95, 102	97, 104, 104, 112	52	0	0
9	37, 43, 43, 50	45, 52, 52, 61	37, 43, 43, 50	45, 52, 52, 61	0	1	1
10	45, 52, 52, 61	69, 78, 78, 88	45, 52, 52, 61	69, 78, 78, 88	0	1	1
11	45, 52, 52, 61	54, 62, 62, 72	97, 104, 104, 112	106, 114, 114, 124	52	0	0
12	45, 52, 52, 61	54, 63, 63, 73	60, 67, 67, 76	69, 78, 78, 88	15	0.4827586	0.2330559
13	69, 78, 78, 88	95, 106, 106, 117	69, 78, 78, 88	95, 106, 106, 117	0	1	1
14	45, 52, 52, 61	55, 63, 63, 72	97, 104, 104, 112	107, 115, 115, 124	52	0	0
15	45, 52, 52, 61	54, 63, 63, 74	59, 66, 66, 75	68, 77, 77, 88	14	0.5	0.2586207
16	69, 78, 78, 88	95, 106, 106, 117	69, 78, 78, 88	95, 106, 106, 117	0	1	1
17	55, 63, 63, 72	63, 72, 72, 83	107, 115, 115, 124	115, 124, 124, 135	52	0	0
18	95, 106, 106, 117	111, 124, 124, 137	95, 106, 106, 117	111, 124, 124, 137	0	1	1
19	111, 124, 124, 137	120, 134, 134, 148	111, 124, 124, 137	120, 134, 134, 148	0	1	1
20	120, 134, 134, 148	122, 136, 136, 151	120, 134, 134, 148	122, 136, 136, 151	0	1	1
21	122, 136, 136, 151	122, 136, 136, 151	122, 136, 136, 151	122, 136, 136, 151	0	1	1

Thời gian hoàn thành dự án: 122, 136, 136, 151

Hiện ds đương đi Close

Kết quả tính toán mô phỏng Monte Carlo

STT	Khoi som	Ket som	Khoi muon	Ket muon	Du tru toan phan	Do lech chuan
1	0	0	0	0	0	0
2	0	1	0	1	0	0
3	1	2	1	2	0	0
4	2	5	2	5	0	0
5	5	8	5	8	0	0.4
6	8	23.28	8	23.28	0	0.99
7	23.28	43.25	23.28	43.25	0	1.25
8	43.25	52.23	94.57	103.56	51.32	0.4
9	43.25	52.54	43.25	52.54	0	0.61
10	52.54	78.2	52.54	78.2	0	0.6
11	52.23	62.56	104.24	114.56	52.01	0.61
12	52.54	63.22	67.52	78.2	14.98	0.61
13	78.2	105.9	78.2	105.9	0	0.61
14	52.23	63.24	103.56	114.56	51.32	0.41
15	52.54	63.55	67.24	78.26	14.71	0.81
16	78.2	105.85	78.26	105.9	0.05	0.61
17	63.24	72.55	114.56	123.88	51.32	0.63
18	105.9	123.88	105.9	123.88	0	0.8
19	123.88	133.89	123.88	133.89	0	0.43
20	133.89	136.22	133.89	136.22	0	0.24
21	136.22	136.22	136.22	136.22	0	0

Nhap vao so N:

Thoi gian hoan thanh du an: **136.22**

Do lech chuan: **4.674878E-03**

Tinh toan

Close

Danh sach

STT	Cac duong di	Thoi gian	PM	AI
1	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 17, 19, 20, 21	73, 83, 83, 97	0	0
2	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 14, 17, 19, 20, 21	74, 84, 84, 97	0	0
3	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 13, 18, 19, 20, 21	122, 136, 136, 151	1	1
4	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 16, 18, 19, 20, 21	122, 136, 136, 151	1	1
5	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 12, 13, 18, 19, 20, 21	107, 121, 121, 136	0.4827586	0.2330559
6	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 15, 16, 18, 19, 20, 21	107, 121, 121, 137	0.5	0.2586207

Từ kết quả trên ta nhận thấy có chỉ có 2 đường găng 3 và 4 (cả 2 đường này đều có chỉ số PM và AI đều bằng 1). Do đó ta chỉ cần quan tâm đến 2 đường này. Thời gian hoàn thành dự án được mô phỏng là (122, 136, 136, 151) tuần. Nếu mô phỏng bằng phương pháp Monte Carlo (số lần mô phỏng là 500 lần) thì ta có thời gian hoàn thành dự án trung bình là 136 tuần. Dựa trên bảng số liệu của kết quả mô phỏng bằng phương pháp Monte Carlo và SĐMM, ta nhận thấy các số liệu về công tác của 2 phương pháp này đều gần giống nhau. Như vậy, mô hình mô phỏng SĐMM đưa ra gần giống với mô phỏng Monte Carlo. Tuy nhiên, vẫn cần nhiều thời gian để kiểm chứng cho sự đúng đắn của mô hình SĐMM thông qua các dự án thực tế khác.

Kết quả tính toán mô phỏng thời gian hoàn thành dự án là (122, 136, 136, 151) tuần. Xác suất để hoàn thành dự án trong 142 tuần là:

Tính Xác Suất

Nhap thong so thoi gian can tinh xac suat:

Tinh toan

Ket qua qua tinh toan xac suat: 0.6

Thoat

Xác suất hoàn thành dự án với thời gian xác định 142 tuần là 60%. Như vậy không có nghĩa là thời gian hoàn thành dự án trong vòng 122 hay 151 có xác suất là 0%. Ta có thể hiểu đơn giản là xác suất tin cậy trong khoảng thời gian bị quan là 60% so với mức độ chắc chắn nhất mà dự án sẽ hoàn thành. Tuy nhiên nếu như ta coi cả 4 thông số của thời gian hoàn thành dự án có mức độ xảy ra như nhau thì khi đó tất cả các thông số nằm trong khoảng cận trên và cận dưới của thời gian hoàn thành dự án sẽ có cùng xác suất hoàn thành dự án.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Ayyub, B. M., and Hal dar, A. (1984). "Project scheduling using fuzzy set concepts.". J. Constr. Engrg. And Mgmt., ASCE.
2. Chanas, S., and Kamburowski, J. (1981). "The use of fuzzy variables in PERT." Fuzzy Sets Syst.
3. Chanas, S., and Zielinski, J. (1981). "Critical path analysis in a network with fuzzy activity times." Fuzzy Sets Syst.
4. Chung, W. F, Liang, L. "Stochastic construction time-cost trade-off analysis". Journal of Computing in Civil Engineering.
5. Dubois, D., and Prade, [6] Galvagnon, V., Dubois, D., and Fargier, H. (2000). "Fuzzy PERT in series-parallel graphs." Int. Conf on Fuzzy Systems, IEEE.
6. Gazdik, I. Fuzzy network planning. IEEE Trans. Reliability, 1983.
7. Geidel, J..Project scheduling with fuzzy data. Meth. Op. Res, 1989.
8. Hapke, M., Jaskiewicz, A., and Slovinski, R..Fuzzy project scheduling with multiple criteria. Int. Conf on Fuzzy Systems, IEEE, 1994.
9. Lor terapong, P. A fuzzy heuristic method for resource-constrained project scheduling. Proc. Mgmt., 122(4), pp.308-318, 1994.
10. Julin He. Construction project scheduling problem with uncertain resource constraints". Dept of Management, Shanghai Second Polytechnic Univ., 2002.
11. Leu, S.-S., Chen, A.T and Yang, C.H. Fuzzy optimal model for resources constrained construction scheduling. Journal of Computing in Civil Engineering, 1999.
12. E.H. Decision making of project under fuzzy information. J.Chinese Inst of Engrs, 1993.
13. Wu, R. W. K., and Hadipriono, F. C. Fuzzy Modus Ponens deduction technique for construction scheduling. J. Constr. Engrg. And Mgmt., ASCE, 1994.
14. Philippe Fortemps. Jobshop scheduling with imprecise durations : A fuzzy approach. IEEE Transaction Fuzzy Systems.