ỨNG DỤNG LÝ THUYẾT XÍCH MARKOV TRONG QUẢN LÝ VÀ BẢO TRÌ CÁC CÔNG TRÌNH GIAO THÔNG

ThS. Nguyễn Đình Thạo
Giảng viên trường Đại học Giao thông Vận tải
Bộ môn Đường Ôtô & Sân bay, khoa Công trình

Tóm tắt

Quản lý tài sản nói chung và quản lý cơ sở hạ tầng giao thông giao thông vận tải nói riêng luôn là một nhiệm vụ quan trọng và khó khăn đối với các cá nhân và tập thể sở hữu. Quá trình khai thác, quản lý các công trình giao thông thường diễn ra trong thời gian dài, công trình chịu tác động của nhiều nhân tố phức tạp. Thông thường, quá trình này được bắt đầu sau khi kết thúc công tác xây dựng công trình. Chính trong quá trình này những lợi ích do công trình mang lại mới xuất hiện để hoàn trả dần khoản kinh phí rất lớn đã bỏ ra xây dựng công trình. Để một dự án có hiệu quả thì đòi hỏi cơ quan quản lý khai thác công trình phải xác định được chiến lược phù hợp cùng với các phương án bảo trì tối ưu nhằm kéo dài tuổi thọ công trình, giảm tối đa chi phí vòng đời LCC (Life Cycle Cost) để đạt lợi ích cao nhất. Những chiến lược, phương án này sẽ được lựa chọn căn cứ vào kết quả dự báo quá trình suy giảm chất lượng hay xuống cấp của công trình trong suốt thời gian khai thác. Trong phạm vi bài báo này tác giả đề cập đến một phương pháp dự đoán quá trình xuống cấp của đường dựa vào phân tích thông kê các thông tin, số liệu thu thập đánh giá trạng thái của công trình. Giới thiệu tóm tắt về lý thuyết xích Markov và trình bày ví dụ áp dụng chính là nội dung của bài báo này.

ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong quá trình quản lý các công trình giao thông, việc đưa ra các quyết định đối với công tác bảo trì cũng cải tạo, nâng cấp các kết cấu đó phải căn cứ vào trạng thái làm việc của nó tại thời điểm hiện tại và tương lai. Trạng thái hiện tại của kết cấu được xác định bằng cách tiến hành các phép đo thực tế và dĩ nhiên là sự chính xác của các số liệu thu được này sẽ phụ thuộc vào công nghệ đo mà chúng ta sử dụng. Tuy nhiên, khi nghiên cứu trạng thái của kết cấu đó trong tương lai nhằm xây dựng các chương trình, hoạt cảnh quản lý bảo trì ngắn hạn, trung hạn và dài hạn thì đòi hỏi phải chúng ta phải tiến hành công tác dự báo tình trạng của kết cấu trong các thời điểm nhất định trong tương lai. Tùy thuộc vào mục đích, yêu cầu của công tác dự báo mà ta có thể áp dụng các mô hình dự báo như : (1). *Mô hình vật lý ; (2). Mô hình phân tích thống kê và (3). Mô hình kết hợp.* Để áp dụng mô hình vật lý, ta phải thiết lập các mô hình thí nghiệm thực mô phỏng trạng thái làm việc của kết cấu trong tương lai nhờ các thí nghiệm kiểu "tăng *tốc*" *(accelerated test)* để thu thập các thông tin cần thiết sau đó đưa vào sơ đồ tính, đánh giá trạng thái và điều kiện làm việc của kết cấu. Rõ ràng với các mô hình mô phỏng càng giống với điều kiện làm việc thực tế của kết cấu trong tương lai thì kết quả dự tính càng chính xác; tuy nhiên áp dụng mô hình vật lý đòi hỏi chi phí rất lớn cũng như thời gian thực hiện lâu dài. Do đó trong thực tế hầu hết các nước đều áp dụng các mô hình phân tích thống kê để dự báo tình trạng kết cấu phục vụ công tác quản lý bảo trì. Lý do thứ nhất là tính đơn giản, không đòi hỏi phải trang bị các mô hình thí nghiệm mô phỏng phức tạp, chi phí lớn. Trong công tác quản lý bảo trì, cơ quan quản lý theo định kỳ phải điều tra, khảo sát, thu thập các thông tin về kết cấu công trình mà mình chịu trách nhiệm quản lý. Chính các thông tin thu thập trên sẽ được dùng trong các mô hình phân tích thống kê để thực hiện việc dự báo trạng thái của kết cấu trong thời gian tới sẽ diễn ra như thế nào. Ngoài ra, các mô hình phân tích thống kê này còn có thể áp dụng cho tất cả các

loại kết cấu công trình khác nhau và có thể thường xuyên được cải tiến cho phù hợp hơn bằng việc bổ sung thêm các tập số liệu thu thập được.

I. XÍCH MARKOV

1.1. Vài nét giới thiệu về A.A.Markov

Andrei Andreevitch Markov (1856 - 1922) là nhà Toán học, Vật lý nổi tiếng người Nga; Viện sỹ Viện hàn lâm khoa học Peterburg (1986). Năm 1974, A.A.Markov vào học tại khoa Toán - Lý trường Đại học Tổng hợp Peterburg. Năm 1878, A.A.Markov tốt nghiệp trường Đại học Tổng hợp Peterburg với học vị Phó Tiến sỹ. Năm 1880, A.A.Markov bảo vệ thành công luận án Tiến sỹ và trở thành giảng viên trường Đại học Tổng hợp Peterburg và được nhà trường phong tặng danh hiệu Giáo sư công huân năm 1905. Trong cuộc đời làm khoa học của mình ông đã cống hiến nhiều công trình khoa học quan trọng. Đặc biệt là tập các công trình được ông công bố vào giai đoạn 1906 - 1912 đã đặt cơ sở cho một trong những sơ đồ tổng quát của các quá trình tự nhiên mà có thể nghiên cứu bằng các phương pháp của giải tích toán học. Về sau, sơ đồ này được gọi là xích Markov và đã lập ra một bước phát triển mới cho Lý thuyết xác suất - đó là Lý thuyết các quá trình ngẫu nhiên, có vai trò rất lớn trong khoa học hiện đại. Để ghi nhớ những đóng góp lớn lao của A.A.Markov, Viện hàn lâm Khoa học Liên Xô đã công bố một giải thưởng mang tên A.A.Markov dành cho những công trình xuất sắc về Toán học. Tên của A.A.Markov được đặt làm tên cho một miệng núi lửa trên mặt trăng.

1.2. Định nghĩa xích Markov

Khi nghiên cứu sự tiến triển theo thời gian của một hệ nào đó như: hệ gồm tập hợp kết cấu mặt đường trên các đoạn đường khác nhau, hệ là tập hợp các kết cấu mặt cầu trên những cây cầu khác nhau,... người nghiên cứu phải nắm được đặc tính tiến triển (thay *đổi trạng thái, chất lượng) của hệ để từ* đó dự đoán được tính chất của hệ trong tương lai. Gọi X(t) là vị trí của hệ tại thời điểm t. Tập hợp các giá trị có thể có của hệ được gọi là không gian trạng thái:

$$S = \{s_0, s_1, \dots\}$$

Tại thời điểm hiện tại t, trạng thái của hệ là s_i và trước thời điểm t (trong quá khứ), hệ ở một trạng thái nào đó. Bài toán đặt ra là tại thời điểm T trong tương lai (T > t) thì hệ sẽ ở trạng thái s_j với xác suất là bao nhiêu? Nếu xác suất này chỉ phụ thuộc vào các tham số t, T, s_i, s_j thì rõ ràng sự tiến triển của hệ trong tương lai chỉ phụ thuộc vào hiện tại và độc lập với quá khứ. Đó là tính Markov và hệ có tính chất như vậy được gọi là hệ có tính Markov.

Không gian trạng thái S của X(t) là tập hợp các giá trị của X(t). Nếu X(t) có tính Markov và S là đếm được *(đánh số được)* thì X(t) được gọi là xích Markov. Khi nghiên cứu hệ tại các thời điểm cụ thể, t = 0, 1, 2,..., thì X(t) được gọi là xích Markov với thời gian rời rạc. Khi nghiên cứu hệ trong khoảng thời gian liên tục, $t \in [0, \infty)$ thì X(t) được gọi là xích Markov với thời gian liên tục.

Về mặt toán học, xích Markov được định nghĩa như sau: ta nói rằng X(t) có tính Markov nếu điều kiện sau được thỏa mãn:

$$Pr\{X_{n+1} = s_j | X_0 = s_0 \cap X_1 = s_1 \cap \dots \cap X_{n-1} = s_{n-1} \cap X_n = s_i\}$$
$$= Pr\{X_{n+1} = s_j | X_n = s_i\}$$

Với mọi n và $s_0, s_1, \dots, s_{n-1}, s_i, s_j \in S$ thỏa mãn:

$$Pr\{X_0 = s_0 \cap X_1 = s_1 \cap \dots \cap X_{n-1} = s_{n-1} \cap X_n = s_i\} > 0$$

và n là thời điểm hiện tại, n+1 là thời điểm trong tương lai, (0, 1, ..., n-1) là các thời điểm trong quá khứ. Quá trình tiến triển của hệ như vậy gọi là *quá trình Markov thuần nhất*. Một quá trình Markov thuần nhất được gọi là *xích Markov thuần nhất* nếu điều kiện sau được thỏa mãn:

$$Pr\{X_{n+1} = s_j | X_n = s_i\} = Pr\{X_{m+1} = s_j | X_m = s_i\}$$

với mọi m, n và với bất kỳ s_i, s_j nào thỏa mãn

$Pr\{X_n = s_i\} > 0$ và $Pr\{X_m = s_j\} > 0$.

Đặt: $p_{ij} = Pr\{X_{n+1} = s_j | X_n = s_i\}$

với: $Pr\{X_n = s_i\} > 0$

$P_{ij} \geq 0$ với $\forall (s_i, s_j) \in S$

$\sum_{s_j \in S} p_{ij} = 1$ với $\forall s_i \in S$

p_{ij} là xác suất có điều kiện để hệ ở trạng thái s_i vào thời điểm *n* và đến thời điểm *n+1* sẽ chuyển sang trạng thái s_j. Ta gọi P_{ij} là xác suất chuyển *(trạng thái)* của hệ sau một bước. Như vậy tập hợp P_{ij} sẽ thiết lập thành một ma trận ta gọi là ma trận xác suất chuyển P *(ma trận chuyển)* như sau:

$$P = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1j} \cdots \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2j} \cdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{i1} & p_{i2} & \cdots & p_{ij} \cdots \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \ddots \end{pmatrix}$$

Để nghiên cứu sự biến chuyển theo thời gian của xích Markov ta cần thiết lập trạng thái ban đầu của xích đặc

trưng bằng véc-tơ xác suất trạng thái ban đầu *(véc–tơ trạng thái ban đầu)*. Véc-tơ trạng thái ban đầu chính là phân phối xác suất của tập hợp các trạng thái của xích Markov tại thời điểm ban đầu khi nghiên cứu xích. Do đó, một véc-tơ trạng thái với *r* phần tử là một véc-tơ hàng có các phần tử không âm và tổng của chúng bằng 1. Nếu gọi π là véc-tơ trạng thái ban đầu đặc trưng cho trạng thái ban đầu của xích Markov, phần tử thứ i của véc-tơ π chính là xác suất mà xích bắt đầu ở trạng thái s_i. Như vậy xác suất để xích Markov ở trạng thái s_i sau *n* bước chuyển chính là phần tử thứ i của véc-tơ trạng thái $\pi^{(n)}$ sau:

$\pi^{(1)} = \pi P$, với $n = 1$

$\pi^{(2)} = \pi^{(1)} P = (\pi P) P = \pi P^{(2)}$, với $n = 2$

$\pi^{(3)} = \pi^{(2)} P = (\pi^{(1)} P) P = \pi P^{(3)}$, với $n = 3$

...

$\pi^{(n)} = \pi P^{(n)}$, trường hợp tổng quát sau n bước chuyển.

Trong đó:

π : véc-tơ trạng thái ban đầu

P : ma trận xác suất chuyển

$\pi^{(n)}$: véc-tơ trạng thái sau n bước chuyển

II. VÍ DỤ ÁP DỤNG XÍCH MARKOV TRONG DỰ BÁO CHẤT LƯỢNG ĐƯỜNG

2.1. Bài toán

Giả sử một đơn vị quản lý đường được giao nhiệm vụ quản lý 100 đoạn đường khác nhau. Hàng năm, đơn vị quản lý có nhiệm vụ khảo sát thu thập các thông tin về con đường để đánh giá chất lượng đường từ đó lập kế hoạch bảo trì cho phù hợp. Trên cơ sở tổng hợp các số liệu và thông tin, từng đoạn đường được phân loại theo 4 trạng thái quy ước như sau:

(1). Trạng thái ①: đường chất lượng *tốt*

(2). Trạng thái ②: đường chất lượng *khá*

(3). Trạng thái ③: đường chất lượng *trung bình*

(4). Trạng thái ④: đường chất lượng *xấu*

Căn cứ vào các tập số liệu có được từ điều tra, khảo sát tình trạng các đoạn đường trong hai năm *(năm 2006 và năm 2007)*, đơn vị quản lý đã tiến hành đánh giá xếp loại đường và tổng hợp kết quả như *Bảng 1* sau:

Bảng 1. Tổng hợp kết quả phân loại đường sau hai năm điều tra, khảo sát thu thập số liệu

Trạng thái	Số đoạn đường	
	Năm 2006	Năm 2007 (*)
①	55	45
②	30	32
③	12	16
④	3	7
Tổng	100	100

(*): giả sử năm 2007 là năm hiện tại.

Yêu cầu đặt ra là từ số liệu có được trên, dự đoán sự xuống cấp *(thay đổi trạng thái của đường)* trong tương lai và xác định thời gian để tất cả các đoạn đường trên đều đạt trạng thái ④ *(trạng thái xấu)* trong điều kiện đơn vị quản lý không thực hiện công tác bảo trì, sửa chữa nào. Giả sử rằng trong thời gian một năm, sự xuống cấp của đường diễn ra không quá một cấp *(trạng thái)*.

2.2. Giải bài toán theo xích Markov

Rõ ràng là quá trình xuống cấp của các đoạn đường trên là một quá trình ngẫu nhiên có tính Markov. Như vậy, ta có thể xây dựng được một xích Markov như sau:

- Tập hợp các trạng thái của xích Markov:

S = {1, 2, 3, 4}

- Ma trận chuyển P được xây dựng dựa vào số liệu trong *Bảng 1*.

- Véc-tơ trạng thái ban đầu: coi năm hiện tại *(năm 2007)* là năm bắt đầu của xích Markov, ta xác định được véc-tơ trạng thái ban đầu π như sau:

$$\pi = \left(\frac{45}{100}, \frac{32}{100}, \frac{16}{100}, \frac{7}{100} \right)$$

$$\pi = (0.45,\ 0.32,\ 0.16,\ 0.07)$$

Như vậy ở năm bắt đầu của xích, xác suất số con đường có chất lượng *tốt, khá, trung bình* và *xấu* tương ứng là 0.45, 032, 0.16, 0.07.

(Dễ dàng kiểm tra được tổng các phần tử của véc tơ trạng thái ban đầu π bằng 1).

Thiết lập ma trận chuyển P của xích

Từ số liệu trong *Bảng 1*, ta lập được bảng tổng hợp số đoạn đường chuyển từ trạng thái này sang trạng thái khác như *Bảng 2*. Rõ ràng là với điều kiện thực hiện công tác

bảo trì đường như trên, ta dễ dàng xác định được:

$p_{ij} = Pr\{X_{n+1} = s_j | X_n = s_i\} = 0$ với $s_i > s_j$

$p_{ii} = Pr\{X_{n+1} = s_i | X_n = s_i\} = 1$ với s_i = max(S)=4

Bảng 2. Bảng tổng hợp số đoạn đường chuyển trạng thái (xuống cấp)

Trạng thái	①	②	③	④	Tổng
①	45	10	0	0	55
②	0	22	8	0	30
③	0	0	8	4	12
④	0	0	0	3	3
Tổng	45	32	16	7	100

Căn cứ vào bảng tổng hợp trên, ta dễ dàng xác định được ma trận chuyển P dưới dạng bảng như *Bảng 3*:

Bảng 3. Bảng ma trận chuyển P

Trạng thái	①	②	③	④
①	0.82	0.18	0	0
②	0	0.73	0.27	0
③	0	0	0.67	0.33
④	0	0	0	1

hoặc viết dưới dạng chính tắc:

$$P = \begin{pmatrix} 0.82 & 0.18 & 0 & 0 \\ 0 & 0.73 & 0.27 & 0 \\ 0 & 0 & 0.67 & 0.33 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Tính toán dự báo trạng thái của các đoạn đường trong tương lai.

Như vậy, quá trình biến chuyển trạng thái hay suy giảm chất lượng của 100 đoạn đường mà đơn vị quản lý đã được mô tả bằng một xích Markov xác định bởi: *(1). tập hợp các trạng thái S; (2). véc–tơ trạng thái ban đầu π và (3). ma trận chuyển P.* Từ những tính chất của xích Markov, ta đánh giá được sự xuống cấp của các đoạn đường trên nhờ việc xác định trạng thái của đường tại các thời điểm trong tương lai tương ứng với trạng thái của xích Markov tại các bước chuyển nhất định. Chọn các thời điểm cần dự báo trong tương lai lần lượt là 1, 2, 3, 4, 5, 10, 20, 30, ... năm tính từ năm hiện tại *(năm 2007)* và kéo dài đến khi nào tất cả các đoạn đường trên đều bị xuống cấp đến trạng thái ④ *(trạng thái xấu)*. Như vậy các véc-tơ trạng thái được xác định như sau:

$\pi^{(0)} = \pi$ (0.450 , 0.320 , 0.160 , 0.070)

$\pi^{(1)} = \pi P$ = (0.368 , 0.316 , 0.192 , 0.123)

$\pi^{(2)} = \pi P^{(2)}$ = (0.301 , 0.299 , 0.212 , 0.187)

$\pi^{(3)} = \pi P^{(3)}$ = (0.246 , 0.274 , 0.221 , 0.258)

$\pi^{(4)} = \pi P^{(4)}$ = (0.202 , 0.246 , 0.221 , 0.332)

$\pi^{(5)} = \pi P^{(5)}$ = (0.165 , 0.217 , 0.213 , 0.405)

$\pi^{(10)} = \pi P^{(10)}$ = (0.060 , 0.101 , 0.130 , 0.709)

$\pi^{(20)} = \pi P^{(20)}$ = (0.008 , 0.021 , 0.026 , 0.945)

$\pi^{(30)} = \pi P^{(30)}$ = (0.001 , 0.002 , 0.006 , 0.991)

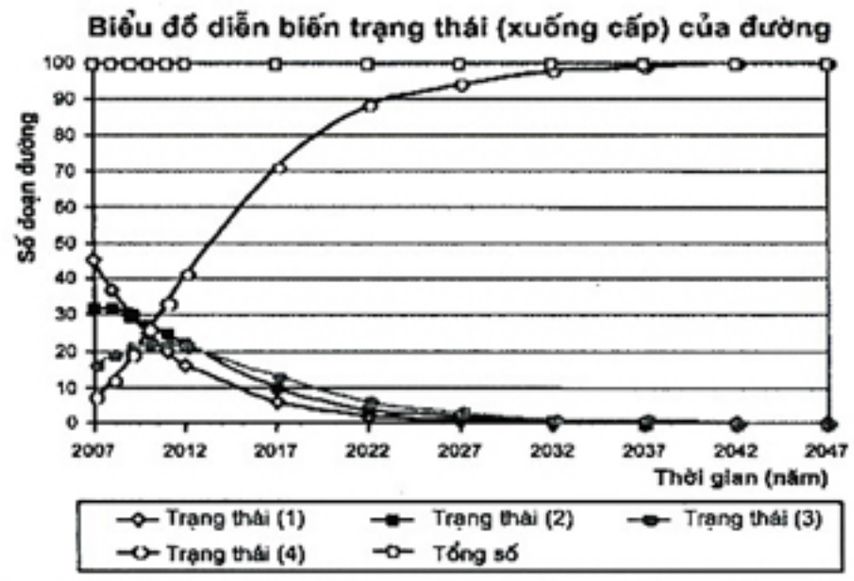
$\pi^{(40)} = \pi P^{(40)}$ = (0.000 , 0.000 , 0.000 , 1.000)

Từ véc-tơ trạng thái của xích Markov xác định được tại các thời điểm trong tương lai ta tính toán được số đoạn đường ở vào mỗi trạng thái tương ứng với các thời điểm đó và tổng hợp trong *Bảng 4* sau.

Bảng 4. Tổng hợp kết quả dự báo trạng thái của các đoạn đường

Trạng thái		①	②	③	④
Số đoạn đường trong năm	2007	45	32	16	7
	2008	37	32	19	12
	2009	30	30	21	19
	2010	25	27	22	26
	2011	20	25	22	33
	2012	16	22	21	41
	2017	6	10	13	71
	2027	1	2	3	94
	2037	0	0	1	99
	2047	0	0	0	100

Diễn biến quá trình xuống cấp của các đoạn đường được thể hiện trong toán đồ *Hình 1*.



Hình 1. Biểu đồ diễn biến quá trình xuống cấp của đường

Ở thời điểm hiện tại *(năm 2007)* qua khảo sát đánh giá ta xác định được tỉ lệ các đoạn đường chất lượng xấu chỉ có 7%. Tuy nhiên do không tiến hành các công tác bảo trì, sửa chữa đường nên các con đường này bị xuống cấp rất nhanh và theo dự báo, chỉ 5 năm sau *(2012)* tỉ lệ đường xấu đã tăng lên đến 41%. Sau 10 năm nữa *(2017)* tỉ lệ đường xấu đã chiếm 71% tổng số con đường và cũng theo kết quả dự báo sau 30 năm nữa *(2037)* sẽ có 99.1% số con đường trong tổng số có chất lượng xấu. Khi đó, để tiếp tục sử dụng các con đường trên thì cần một nguồn kinh phí rất lớn khôi phục cải tạo lại đường vì gần như tất cả các đoạn đường đều đã bị xuống cấp rất trầm trọng.

Rõ ràng là căn cứ vào những kết qủa dự báo trên, cơ quan quản lý đường sẽ nắm được diễn biến quá trình suy giảm chất lượng hoặc xuống cấp của chính những con đường mà mình đang quản lý. Từ đó các chiến lược quản lý bảo trì cả hệ thống các đoạn đường cũng như các công tác quản lý bảo trì cụ thể đối với từng con đường sẽ được đưa ra. Với nhiều phương án đưa ra, cơ quan quản lý sẽ lựa chọn cho mình được phương án được coi là tối ưu nhất thỏa mãn các hàm mục tiêu trong đó hàm mục tiêu quan trọng nhất là chi phí vòng đời LCC *(Life Cycle Cost)* nhỏ nhất.

$$LCC_i = min$$

$$\sum_{i=1}^{n} LCC_i = min$$

Trong đó:

i : đoạn đường đang nghiên cứu

n : tổng số các đoạn đường trong hệ thống

Xác định tuổi thọ còn lại của đường

Trong quá trình quản lý khai thác đường, việc xác định tuổi thọ còn lại của đường có ý nghĩa rất quan trọng. Xác định tuổi thọ còn lại của đường chính là chỉ ra được thời gian phục vụ còn lại của đường trước khi chất lượng của đường suy giảm đến ngưỡng giới hạn quy định nào đó. Thông tin này đặc biệt có ý nghĩa trong việc đánh giá hiệu quả đầu tư cũng như lợi ích thu được từ dự án, nhất là đối với các chủ đầu tư dự án như dự án B.O.T hoặc các nhà đầu tư như các nhà đầu tư trái phiếu công trình,... Với mục tiêu đạt được lợi ích lớn nhất từ dự án, các nhà quản lý và nhà đầu tư sẽ cùng tìm ra được phương án quản lý, khai thác bảo trì công trình của mình một cách tốt nhất để kéo dài thời gian phục vụ.

Dựa vào các mô hình dự báo ta có thể xác định được tuổi thọ còn lại của cả hệ thống gồm nhiều đoạn đường như trên. Giả sử đối với hệ thống gồm 100 đoạn đường khác nhau trên, trạng thái giới hạn về chất lượng của đường được quy định là trạng thái ④. Điều đó có nghĩa là tuổi thọ còn lại của cả hệ thống đường được tính đến thời điểm trước khi tất cả các đoạn đường chuyển sang trạng thái ④. Lặp lại quá trình tính toán véc-tơ trạng thái của xích Markov trên theo công thức $\pi^{(n)} = \pi P^{(n)}$, ta xác định được $\pi^{(40)} = (0, 0, 0, 1)$. Như vậy, theo mô hình dự báo, sau 40 năm nữa *(năm 2047)*, xác suất các đoạn đường chất lượng *tốt* (ở trạng thái ①), *khá (ở trạng thái ②), trung bình (ở trạng thái ③) và xấu (ở trạng thái ④)* tương ứng là 0, 0, 0 và 1. Khi đó tất cả 100 đoạn đường trong hệ thống đều ở trạng thái ④.

Theo lý thuyết xích Markov một trạng thái s_i nhất định của xích Markov nào đó được gọi là trạng thái hấp thụ *(Absorbing state)* nếu nó được giữ không đổi khi tăng số bước chuyển *(ví dụ $p_{ii} = 1$)*. Một xích Markov gọi là hấp thụ *(Absorbing Markov chain)* nếu nó có ít nhất một trạng thái hấp thụ. Như vậy, với xích Markov mà ta đang nghiên cứu thì trạng thái ④ được gọi là trạng thái hấp thụ và xích bị hấp thụ sau 40 bước chuyển.

Từ lập luận trên ta xác định được tuổi thọ còn lại trung bình của cả hệ thống đường trên là 40 năm. Tuy nhiên thông tin quan trọng hơn, cần thiết hơn không phải chỉ là tuổi thọ của cả hệ thống mà chính là tuổi thọ của từng con đường trong hệ thống mạng lưới đường đó. Vận dụng các mô hình dự báo, ta hoàn toàn có thể xác định được thông tin trên.

Tại thời điểm hiện tại *(năm 2007)*, tổng số đoạn đường chất lượng tốt (ở trạng thái ①), *khá (ở trạng thái ②), trung bình (ở trạng thái ③) và xấu (ở trạng thái ④)* tương ứng là 45, 32, 16 và 7. Bài toán đặt ra ở đây là từ mô hình dự báo hãy dự tính tuổi thọ còn lại của 45 con đường chất lượng tốt, 32 con đường chất lượng khá, 16 con đường chất lượng trung bình trước khi chúng chuyển sang trạng thái ④.

Như vậy, ta cần thiết lập 3 xích Markov tương ứng cho loại đường *tốt, khá, trung bình* và có các đặc điểm như sau:

- Tập hợp các trạng thái của xích Markov:

$$S = \{1, 2, 3, 4\}$$

- Ma trận chuyển P:

$$P = \begin{pmatrix} 0.82 & 0.18 & 0 & 0 \\ 0 & 0.73 & 0.27 & 0 \\ 0 & 0 & 0.67 & 0.33 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

- Véc-tơ trạng thái ban đầu: coi năm hiện tại *(năm 2007)* là năm bắt đầu của xích Markov, ta xác định được ba véc-tơ trạng thái ban đầu như sau:

$$\pi_1 = (1 \ , \ 0 \ , \ 0 \ , \ 0)$$

$$\pi_2 = (0 \ , \ 1 \ , \ 0 \ , \ 0)$$

$$\pi_3 = (0 \ , \ 0 \ , \ 1 \ , \ 0)$$

Lần lượt xác định các véc-tơ trạng thái tương ứng của 3 xích Markov theo công thức:

$\pi_1^{(n)} = \pi_1 P^{(n)}$: áp dụng với xích Markov của đường chất lượng tốt.

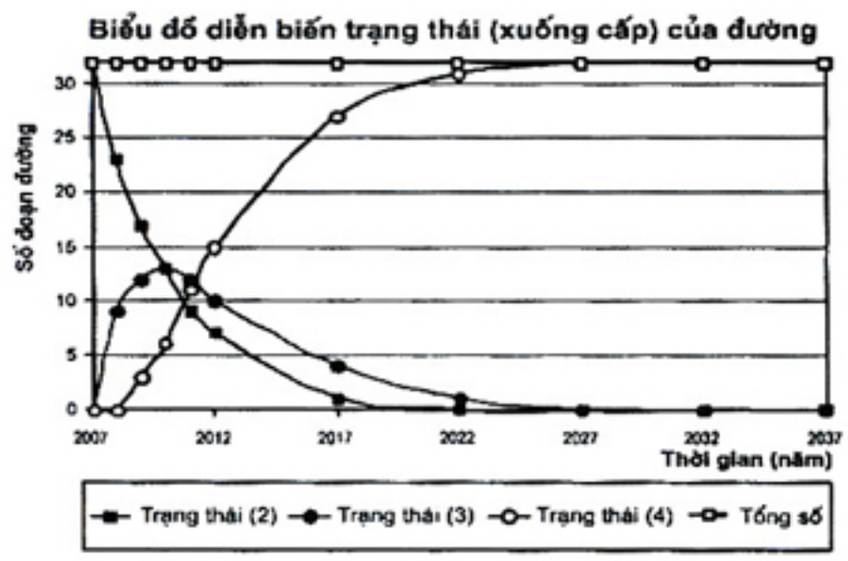
$\pi_2^{(n)} = \pi_2 P^{(n)}$: áp dụng với xích Markov của đường chất lượng khá.

$\pi_3^{(n)} = \pi_3 P^{(n)}$: áp dụng với xích Markov của đường chất lượng trung bình.

Tính toán tương tự như trên, ta lập được các bảng tổng hợp kết quả dự báo trạng thái của các đoạn đường và biểu đồ diễn biến quá trình xuống cấp của đường tương ứng cho 3 loại đường trên như sau.

Bảng 5. Tổng hợp kết quả dự báo trạng thái của các đoạn đường chất lượng tốt ở năm hiện tại

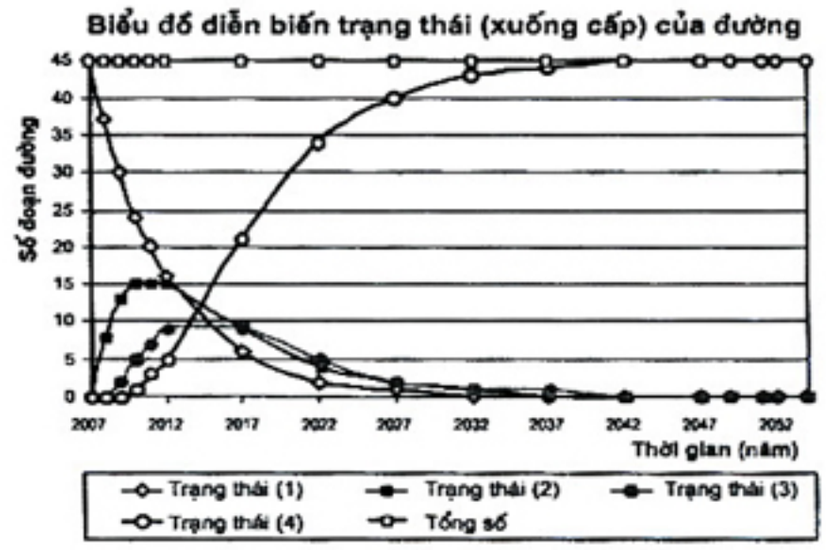
Trạng thái		①	②	③	④
Số đoạn đường trong năm	2007	45	0	0	0
	2008	37	8	0	0
	2009	30	13	2	0
	2010	24	15	5	1
	2011	20	15	7	3
	2012	16	15	9	5
	2017	6	9	9	21
	2027	1	2	2	40
	2037	0	0	1	44
	2047	0	0	0	45
	2052	0	0	0	45
	2054	0	0	0	45



Hình 2. Biểu đồ diễn biến quá trình xuống cấp của đường chất lượng tốt ở năm hiện tại

Bảng 6. Tổng hợp kết quả dự báo trạng thái của các đoạn đường chất lượng khá ở năm hiện tại

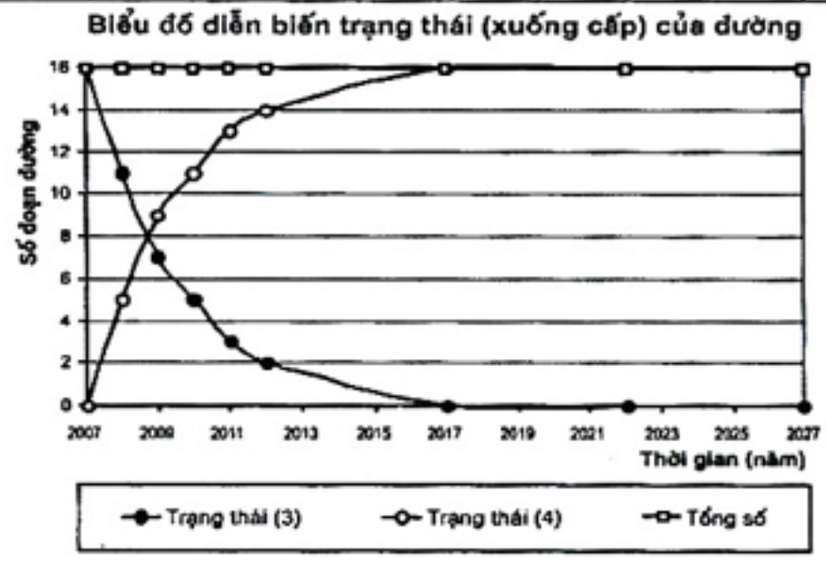
Trạng thái		①	②	③	④
Số đoạn đường trong năm	2007	0	32	0	0
	2008	0	23	9	0
	2009	0	17	12	3
	2010	0	13	13	6
	2011	0	9	12	11
	2012	0	7	10	15
	2017	0	1	4	27
	2027	0	0	0	32
	2037	0	0	0	32



Hình 3. Biểu đồ diễn biến quá trình xuống cấp của đường chất lượng khá ở năm hiện tại

Bảng 7. Tổng hợp kết quả dự báo trạng thái của các đoạn đường chất lượng trung bình ở năm hiện tại

Trạng thái		①	②	③	④
Số đoạn đường trong năm	2007	0	0	16	0
	2008	0	0	11	5
	2009	0	0	7	9
	2010	0	0	5	11
	2011	0	0	3	13
	2012	0	0	2	14
	2017	0	0	0	16
	2022	0	0	0	16
	2027	0	0	0	16



Hình 4. Biểu đồ diễn biến quá trình xuống cấp của đường chất lượng trung bình ở năm hiện tại

Tổng hợp kết quả tính, ta xác định được véc-tơ trạng thái của 3 xích Markov khi xích ở trạng thái hấp thụ như sau:

$\pi_1^{(47)} = (0\ ,\ 0\ ,\ 0\ ,\ 1)$

$\pi_1^{(30)} = (0\ ,\ 0\ ,\ 0\ ,\ 1)$

$\pi_3^{(20)} = (0\ ,\ 0\ ,\ 0\ ,\ 1)$

Như vậy nếu căn cứ vào tính toán trên thì tuổi thọ còn lại của các con đường chất lượng tốt, *khá, trung bình* tương ứng là 47, 30 và 20 năm. Tuy nhiên, nếu ta quan sát biểu đồ diễn biến quá trình xuống cấp của các con đường trên *Hình 2, 3, 4* thì có thể đánh giá tuổi thọ còn lại tương ứng của 3 loại đường trên khoảng 30, 20 và 10 năm.

Cũng từ các biểu đồ trên ta thấy rằng tốc độ xuống cấp hoặc suy giảm chất lượng của những con đường trên là phát triển *"có gia tốc"*, tức là khi chất lượng đường càng thấp thì tốc độ xuống cấp càng nhanh: thời gian để một nửa số đoạn đường sẽ xuống cấp, chuyển từ trạng thái này sang trạng thái kia khoảng *4, 2.4* và *1.8 năm* tương ứng với đường có chất lượng tại thời điểm xuất phát là *tốt, khá* và *trung bình*. Điều này giúp khẳng định lại vai trò rất quan trọng của công tác bảo trì đường là làm chậm tốc độ xuống cấp của đường.

III. KẾT LUẬN

Việc dự báo quá trình xuống cấp có ý nghĩa rất quan trọng đối với công tác quản lý hiệu quả các tài sản nói chung và quản lý kết cấu hạ tầng giao thông nói riêng. Nhờ các mô hình dự báo, các cơ quan quản lý đường có thể tiết kiệm được đáng kể nguồn ngân sách bằng việc đưa ra các quyết định đúng đắn cho công tác bảo trì, cải tạo kết cấu trong suốt quá trình khai thác sử dụng.

Ở mức độ mạng lưới đường, việc dự báo đặc tính làm việc của đường có ý nghĩa lớn cho việc xây dựng chiến lược quản lý bảo trì phù hợp cho cả hệ thống; đặt thứ tự ưu tiên cho các dự án khác nhau và cấp phát nguồn ngân sách cũng như các nguồn lực khác một cách hợp lý. Ở mức độ từng dự án, việc dự báo trên lại đóng vai trò quan trọng trong việc lập kế hoạch bảo trì, cải tạo đường một cách phù hợp.

Hiện nay ở nước ta, trong công tác quản lý bảo trì mạng lưới đường đã bước đầu áp dụng những mô hình dự báo sự xuống cấp của đường như mô hình dự báo trong Chương trình HDM4. Tuy nhiên, sự hư hỏng của kết cấu công trình là một quá trình diễn biến phức tạp, thay đổi phụ thuộc vào nhiều nhân tố, trong đó có những nhân tố rất khó xác định cũng như khó lượng hóa được các tác động của chúng. Do đó, cần thiết phải nghiên cứu để xây dựng được các mô hình dự báo thực sự phù hợp với điều kiện thực tế của từng tuyến đường ở Việt Nam. Trên cơ sở đó, chúng ta có thể thực hiện tốt công tác dự báo quá trình xuống cấp đồng thời giúp việc thiết lập tham số cho các mô hình hiện có như HDM4 một cách phù hợp hơn. Phân tích thống kê và áp dụng lý thuyết xích Markov là một hướng phù hợp ❑

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. TS. Nguyễn Cao Văn (chủ biên), TS. Trần Thái Ninh, Lý thuyết xác suất và thống kê *toán (2002), NXB Giáo dục.*

[2]. Kiyoshi KOBAYASHI, Yoshitane TSUDA, Kiyoyuki KAITO, Kazuya AOKI, *Estimating Markovian Transition Probabilities for Bridge Deterioration Forecasting.*

[3]. Kiyoshi KOBAYASHI, *Lectures in Hanoi Summer School 2006 on Road Infrastructure Asset Management.*

[4]. Nguyễn Đình Thạo, Lecture in Hanoi *Summer School 2006 on Road Infrastructure Asset Management.v*

[5]. Eugene A. Feinberg, Adam Shwartz, *Handbook of Markov Decision Processes* (2002), Kluwer Academic Publishers.

[6]. *HDM4 Manuals*, Volume 1, Volume 2, Volume 3.

Cầu Vòm thép đơn (40m + 122m + 47m) tại Colombus Hoa Kỳ