PHÂN TÍCH ĐỘ TRỄ CỦA LƯU LƯỢNG CBR TRONG MẠNG ATM

Tran Cong Hung (**Post & Telecommunication Institute** of **Technology**, Viet Nam)
E-mail : conghung@ptithcm.edu.vn

Pham Minh Ha (**Hanoi University** of **Technology**, Viet Nam)

E-mail : pmha@mail.hut.edu.vn

Tóm tắt: *Bài báo này chúng tôi so sánh hiệu quả của các giải thuật phân phối độ trễ đối với lưu lượng có tốc độ bit cố định trong một bộ đa hợp ATM được mô hình hoá dưới dạng một hàng đợi nD/D/1. Đặc biệt, bài này chúng tôi cũng đề xuất một giải thuật với độ phức tạp thực hiện là $O(n^2)$ trong đó n là số nguồn tín hiệu thoại được ghép đồng thời tại bộ đa hợp. Ngoài ra, độ phức tạp thực hiện của giải thuật có thể giảm xuống còn O(n) với n có giá trị lớn. Bài này đưa ra một công thức tiệm cận có độ phức tạp thực hiện độc lập với n và trong thực tế có thể thực hiện tốt với các tham số có giá trị trong phạm vi khá rộng. Kết quả xấp xỉ được kiểm tra và đánh giá trên hàng đợi M/D/1. Kết quả nghiên cứu này có ứng dụng quan trọng trong việc thiết kế các bộ đệm. Yêu cầu về bộ đệm có sự độc lập tương đối đối với các tiêu chuẩn thiết kế (xác suất rớt mạch) để cho khi có sự thiếu chính xác trong đo đạc và dự báo lưu lượng thì sự thiếu chính xác này cũng sẽ không dẫn đến việc thiết kế sai.*

I.GIỚI THIỆU

Bước vào kỷ nguyên truyền thông băng rộng, ATM được xem như một phương thức cơ bản để chuyển tín hiệu thoại, video, dữ liệu trên cùng một hệ thống tích hợp duy nhất. Tín hiệu thoại số (không áp dụng các cơ chế loại bỏ khoảng lặng) và tín hiệu video (đối với các bộ mã hoá có tốc độ cố định) sẽ tạo ra các dòng lưu lượng có tốc độ bit liên tục (CBR) theo nghĩa các tế bào của từng dòng lưu lượng sẽ xuất hiện sau các khoảng thời gian cố định. Loại lưu lượng này cũng được tạo ra khi dữ liệu của các hệ thống chuyển mạch kênh được chuyển đi quá giang trên mạng băng rộng. Đối với từng dòng lưu lượng, khoảng cách xuất hiện giữa các tế bào liên tiếp nhau là cố định, nhưng khi xét tổng hợp của nhiều dòng lưu lượng (ví dụ tại ngõ vào của một nút chuyển mạch ATM) thì thời điểm xuất hiện của mỗi tế bào là một quá trình ngẫu nhiên. Do tính chất tuần tự của lưu lượng, nên khi một tế bào của một dòng nào đó bị trễ thì các tế bào kế tiếp của cùng dòng lưu lượng cũng sẽ bị trễ tương ứng. Lưu lượng thoại và video có yêu cầu rất chặt chẽ về độ trễ, rung pha trên mạng. Vấn đề này càng đặc biệt quan trọng khi lưu lượng của mạng chuyển mạch kênh được chuyển đi quá giang trên mạng gói, bởi vì sự mất gói hoặc trễ quá lớn sẽ gây mất đồng bộ giữa hai hệ thống đầu cuối. Cũng chính vì lý do này mà khi thiết kế, các giới hạn về độ trễ, rung pha, mất gói và kích thước bộ đệm tại từng nút mạng là những vấn đề rất quan trọng. Cũng cần lưu ý rằng ngoài tín hiệu thoại và video, lưu lượng CBR cũng được tạo ra từ các nguồn dữ liệu có điều chỉnh tốc độ.

Bài này xây dựng mô hình một bộ đa hợp cho các dòng lưu lượng CBR để xác định chính xác sự phân phối thời gian chờ của mỗi tế bào qua hàng đợi nD/D/1. Các giả thiết của mô hình như sau:

1- Mô hình này mô phỏng dòng lưu lượng gồm n nguồn đang hoạt động đồng thời, mỗi nguồn đều độc lập với nguồn kia và khoảng cách tế bào trong một nguồn là một đơn vị. Do có n nguồn độc lập nhau, nên trong mỗi nguồn, tế bào đầu tiên có thể được tạo ra ở một thời điểm bất kỳ trong khoảng từ 0 đến 1. Nếu tế bào đầu tiên của một nguồn xuất hiện tại thời điểm t ($0 < t < 1$) thì thời điểm xuất hiện tế bào thứ k của nguồn này sẽ là $(k-1) + t$, với $k \geq 2$.

2- Nguồn lưu lượng tổng hợp này được đưa vào bộ đa hợp, hoạt động theo cơ chế vào trước ra trước. Thời gian phục vụ cho một tế bào là D đơn vị thời gian. Kết thúc phục vụ khi tế bào được đưa lên môi trường truyền dẫn.

3- Tốc độ xuất hiện dịch vụ là n và thời gian phục vụ cho mỗi lần xuất hiện là D, do đó thời gian chiếm dụng hệ thống là nD, tham số này được đặt tên là ρ. Với hai giá trị n và ρ là đã đủ để biểu diễn mô hình trong trường hợp này.

Nhiều tác giả đã giải quyết bài toán này với các giải thuật có độ phức tạp thực hiện $O(n^2)$ hoặc thậm chí $O(n^3)$. Và khi với n lớn ($n \geq 100$), việc thực thi giải thuật đã trở nên khó khăn. Bài này trình bày một phương pháp cải tiến dựa trên phương pháp của Ramamurthy và Sengupta [4], đồng thời đề xuất một giải thuật mới có độ phức tạp thực hiện $O(n^2)$. Với việc áp dụng định lý giới hạn trung tâm, độ phức tạp của giải thuật có thể giảm còn O(n) đối với n lớn.

Năm 1990, Sengupta [5] đã tìm ra biến đổi Laplace-Stieltjes (LST)[1] của phân phối trễ trong hàng đợi nD/G/1 và phân tích tiệm cận của hàng nD/D/1. Cả hai kết quả này đã góp phần quan trọng trong việc giải quyết vấn đề của bài này. Thứ nhất, có thể xác định các thời điểm của phân phối trễ một cách dễ dàng bằng cách tính đạo hàm của biến đổi Laplace-Stieltjes (LST) của hàm phân phối trễ. Thứ hai, giải pháp tiệm cận (khi $n \to \infty$ và $\rho \to 1$ sao cho $\sqrt{n}\,(1-\rho) \to c$ với c là một hằng số lớn hơn 0) có thể được dùng để tính xấp xỉ một cách đơn giản với độ phức tạp độc lập với n. Phương thức xấp xỉ này cho kết quả rất tốt với phạm vi giá trị tham số khá rộng. Một ứng dụng thực tế của các kết quả này là việc tính phân phối trễ có thể thực hiện một cách tức thời theo thời gian thực, đặc biệt trong các bài toán tối ưu với quy mô lớn hoặc dùng trong giải thuật điều khiển chấp nhận kết nối (CAC), tránh tắt nghẽn khi dữ liệu đưa vào mạng ATM. Đồng thời, kết quả của phép xấp xỉ này cũng cho phép quan sát các quan hệ giữa các tham số một cách dễ dàng hơn.

Điều quan tâm chính của bài này là vấn đề tính phân phối trễ, một yếu tố rất quan trọng trong thiết kế bộ đệm trong các thiết bị ATM. Mặc dù theo lý thuyết, có một giới hạn trên đối với độ trễ chuyển mạch tuy nhiên giới hạn này hiếm khi đạt đến, hay nói cách khác, yêu cầu bộ đệm theo lý thuyết để đạt mức gián đoạn cuộc gọi là 10^{-6} sẽ tương đương với mức gián đoạn là 0 trong thực tế. Hơn nữa, kích thước bộ đệm không phụ thuộc nhiều vào các tiêu chuẩn thiết kế.

Phần còn lại của bài này được chia thành 2 phần, phần II trình bày giải thuật chính xác và các phương thức xấp xỉ dựa trên phân tích tiệm cận và kết quả của hàng đợi M/D/1. Phần III trình bày các kết quả số và ứng dụng của chúng trong bài toán thiết kế bộ đệm.

II.CÁC PHƯƠNG PHÁP GIẢI QUYẾT VẤN ĐỀ

Trong phần này, phân phối trễ đối với một tế bào ngẫu nhiên được trình bày theo mô hình ở phần I. Gọi W là thời gian chờ của tế bào đang khảo sát, ta có $P_n(x) = P(W \leq x)$. ở 3 mục con kế tiếp, phân phối này sẽ được thể hiện theo 3 cách khác nhau. Cách thứ nhất theo phương pháp chính xác, cách thứ hai xấp xỉ hoá dựa trên phân tích tiệm cận và cách thứ 3 xấp xỉ dựa trên kết quả của hàng đợi M/D/1. Chúng ta sẽ nghiên cứu trình bày cách xác định phân phối trễ trong trường hợp số cuộc gọi đồng thời (n) biến thiên ngẫu nhiên.

A.Phương pháp chính xác:

Định lý sau đây sẽ cho phép tính hàm phân phối thời gian chờ của tế bào:

Với $0 < x < (n-1)D$, ta có:

$$P_n(x) = \sum_{k=0}^{n-1} \frac{(n-1)!}{(n-1-k)!}(1-(n-1-k)D)D^k F_k(x) \qquad (1)$$

Trong đó :

$$F_k(x) = \sum_{j=0}^{k}(-1)^j \frac{1}{j!(k-j)!}\left\{\left[\left(\frac{x}{D}-j\right)^{+}\right]^{k} - j^k\right\} \quad (2)$$

Chứng minh:

Từ định lý 1 của Sengupta [5], biến đổi LST của P_n (x) được cho bởi:

$$\sum_{k=0}^{n-1}\frac{(n-1)!}{(n-1-k)!}(1-(n-1-k)D)D^k\left[\frac{1-e^{-sD}}{sD}\right]^k \quad (3)$$

Nhận xét rằng $[(1 - e^{-sD})/sD]^k$ là biến đổi LST của tổng k biến ngẫu nhiên đồng nhất độc lập trong khoảng (0,D). Gọi $f_k(x)$ là hàm mật độ xác suất của biến ngẫu nhiên. ta có:

$$f_k(x) = \frac{1}{D(k-1)!}\sum_{j=0}^{k}(-1)^j\binom{k}{j}\left[\left(\frac{x}{D}-j\right)^{+}\right]^{k-1}$$

Kết hợp những phát biểu ở trên để rút ra hàm phân phối như sau:

$$F_k(x) = \int_0^x f_k(u)du = \frac{1}{k!}\sum_{j=0}^{k}(-1)^j\binom{k}{j}\left\{\left[\left(\frac{x}{D}-j\right)^{+}\right]^{k} - j^k\right\} \quad (*)$$

Ta thấy rằng phát biểu (*) hoàn toàn giống phát biểu (2). Định lý đã được chứng minh.

Từ đó có thể dễ dàng tìm được hai moment (độ trễ trung bình và độ lệch chuẩn) của phân phối P_n (x) bằng cách lấy vi phân của (3). Ta có:

$$w_n^1 = \frac{D}{2}\sum_{k=1}^{n-1}\frac{(n-1)!D^k}{(n-1-k!)} \quad \text{và}$$

$$w_n^2 = \frac{D^2}{2}\sum_{k=1}^{n-1}\frac{(n-1)!D^k}{(n-1-k!)}(2k-2/3)$$

Chú ý rằng biến đổi LST của P_n (x) được biểu diễn dưới dạng tổng hợp các tổng của các biến ngẫu nhiên trong phương trình (3). Với định lý giới hạn trung tâm, thì phân phối F_k (x)đối với k lớn có thể được xấp xỉ hóa dùng phân phối chuẩn với cùng giá trị trung bình và phương sai. Giá trị trung bình và phương sai của F_k (x) là kD/2 và $kD^2/12$. Giải thuật cho định lý 1 có độ phức tạp thực hiện là $O(n^2)$. Tuy nhiên đối với n lớn thì độ phức tạp có thể giảm xuống còn O(n) nếu sử dụng định lý giới hạn trung tâm để xấp xỉ hoá.

B.Phương pháp tiệm cận:

Sengupta [5] đã chứng minh rằng nếu $n \to \infty$ và $\rho \to 1$ sao cho $\sqrt{n}(1-\rho) \to c$ với $c > 0$ thì:

$P_n(y\sqrt{n}) \to 1-\exp(-2y^2/D^2 - 2cy/D)$

Thay $y\sqrt{n}$ bởi x và thay c bởi $\sqrt{n}(1-\rho)$, đồng thời chú ý rằng $\rho = nD$, ta được:

$$P_n(x) \approx 1-\exp[-2x^2/D\rho - 2(1-\rho)x/D] \quad (4)$$

Công thức này vẫn đúng khi n lớn và ρ tiến gần đến 1. Hai moment của phân phối là :

$$w_n^1 = \frac{\sqrt{\rho D}}{2}.\frac{1-\Phi((1-\rho)\sqrt{n})}{\phi((1-\rho)\sqrt{n})}$$ và

$$w_n^2 = \frac{\rho D}{2} - \rho(1-\rho)w_n^1$$

Trong đó ϕ và Φ là hàm mật độ chuẩn và hàm phân phối chuẩn. Chú ý rằng thời gian tính là độc lập với n.

C.Kết quả của hàng đợi M/D/1:

Ta đã biết rằng nếu $n \to \infty$ và ρ được giữ cố định thì phân phối P_n (x/D) mô tả chính xác phân phối thời gian chờ trong hàng đợi M/D/1 với mật độ sử dụng là ρ và thời gian phục vụ là 1. Để tìm hàm phân phối này, giả sử θ là một số dương thoả

$e^{\theta} = 1+\theta/\rho$, và định nghĩa $K_+(s) = \rho(e^{-s}-e^{-\rho})/(\rho-s)$ với

$$\Gamma = \frac{2(K_+(0)-K_+(\phi))}{K_+(-\phi)-K_+(\phi)}$$

Khi đó:

$$P_n(x) = \begin{cases} 1-\dfrac{\Gamma_\rho}{\rho+\phi}e^{\rho(x/D-1)} & \text{Nếu } x < D \\ 1-\Gamma e^{-\phi x/D} & \text{Nếu } x \geq D \end{cases}$$

Hai moment của phân phối P_n (x) theo M/D/1 như sau:

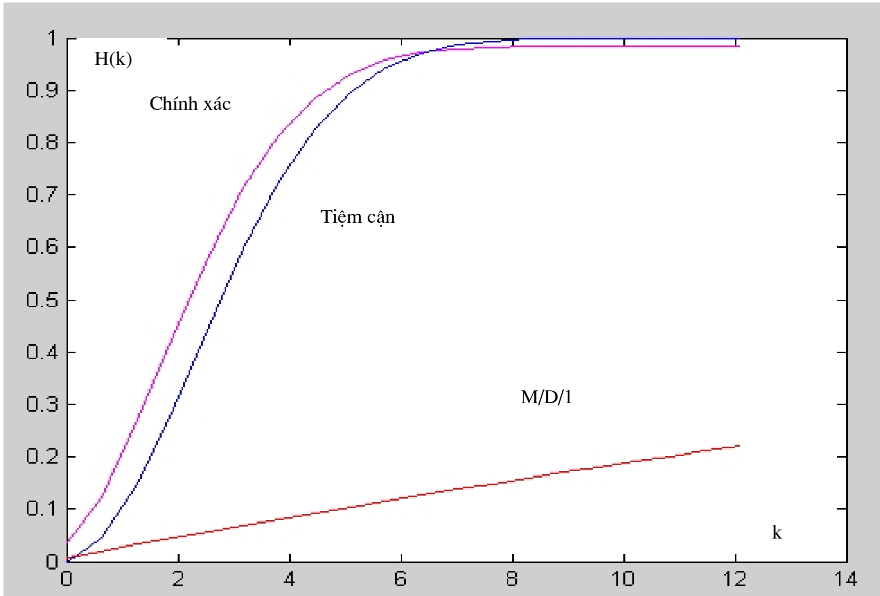
$$w_n^1 = \frac{\rho D}{2(1-\rho)} \quad \text{và} \quad w_n^2 = \frac{\rho D^2(2+\rho)}{6(1-\rho)^2}$$

Giống như phương pháp tiệm cận, thời gian tính các giá trị này là độc lập với n.

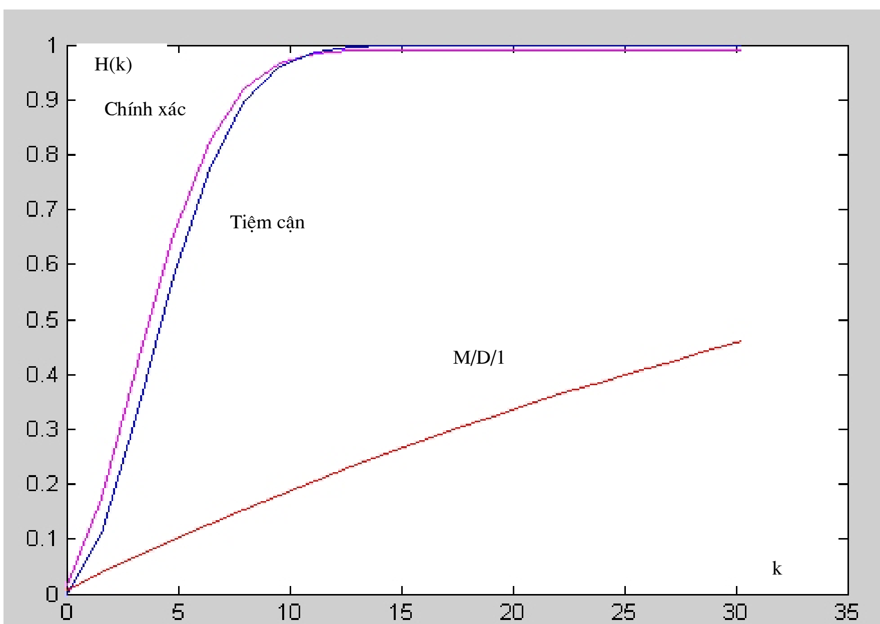
III.KẾT QUẢ SỐ

Trong hình 1 và hình 2, chúng ta đã so sánh kết quả các phương pháp với giá trị n bằng 24 và 60 ứng với ρ = 0.99. Trong các hình này, chúng ta thấy rằng phân phối trễ được biểu diễn bằng số tế bào. ở đây, H(k) = P_n (x) và k=xn/ρ. Biểu diễn phân phối trễ bằng số tế bào có ưu điểm là các giá trị này có liên hệ trực tiếp với bài toán thiết kế bộ đệm. Hai điều ghi nhận được từ các hình vẽ này là: 1) phương pháp hàng đợi M/D/1 cho ra phân phối trễ thấp đáng kể và 2) phương pháp tiệm cận cho ra kết quả rất gần với kết quả chính xác.

Trong bảng 1 và bảng 2, chúng ta biểu diễn giá trị trung bình và độ lệch chuẩn theo số tế bào của cùng giá trị nhưng với ρ biến thiên từ 0.3 đến 0.99. Từ bảng này có thể dễ dàng thấy rằng kết quả của phương pháp hàng đợi M/D/1 rất ít được dùng khi tần suất sử dụng lên đến trên 80%. Tuy nhiên kết quả này lại rất tốt khi tần suất sử dụng vừa phải. Trong khi đó phương pháp tiệm cận lại cho kết quả rất tốt khi tần suất sử dụng cao hơn 80%.



Hình 1: Phân phối trễ trong trường hợp n=24 và ρ = 0.99 (diễn đạt bằng số tế bào)



Hình 2: Phân phối trễ trong trường hợp n=60 và ρ = 0.99 (diễn đạt bằng số tế bào)

Giá trị trung bình và độ lệch chuẩn của phân phối trễ với n=24 và 60, tính theo đơn vị số tế bào được tính toán cho kết quả như bảng 1 và bảng 2.

ρ	chính xác		M/D/1		tiệm cận	
	trung bình	lệch chuẩn	trung bình	lệch chuẩn	trung bình	lệch chuẩn
0.99	0.0959	0.0133	2.0419	8.3947	0.1218	0.0192
0.98	0.0914	0.0124	1.0004	2.0289	0.1161	0.0177
0.95	0.0794	0.0099	0.3760	0.2927	0.1010	0.0140
0.90	0.0628	0.0068	0.1687	0.0612	0.0810	0.0096
0.80	0.0394	0.0031	0.0667	0.0104	0.0541	0.0047
0.70	0.0246	0.0014	0.0340	0.0030	0.0373	0.0024
0.60	0.0151	0.0006	0.0187	0.0010	0.0262	0.0012
0.50	0.0090	0.0003	0.0104	0.0004	0.0184	0.0006
0.40	0.0050	0.0001	0.0056	0.0001	0.0127	0.0003
0.30	0.0025	0.0000	0.0027	0.0000	0.0083	0.0001

Bảng 1: Giá trị trung bình và độ lệch chuẩn của phân phối trễ với n=24 , tính theo đơn vị số tế bào

ρ	chính xác		M/D/1		tiệm cận	
	trung bình	lệch chuẩn	trung bình	lệch chuẩn	trung bình	lệch chuẩn
0.99	0.0652	0.0059	0.8167	1.3431	0.0754	0.0074
0.98	0.0609	0.0053	0.4002	0.3246	0.0704	0.0066
0.95	0.0498	0.0039	0.1504	0.0468	0.0579	0.0048
0.90	0.0363	0.0023	0.0675	0.0098	0.0431	0.0029
0.80	0.0202	0.0008	0.0267	0.0017	0.0261	0.0012
0.70	0.0117	0.0003	0.0136	0.0005	0.0170	0.0005
0.60	0.0068	0.0001	0.0075	0.0002	0.0115	0.0002
0.50	0.0039	0.0001	0.0042	0.0001	0.0079	0.0001
0.40	0.0021	0.0000	0.0022	0.0000	0.0053	0.0001
0.30	0.0010	0.0000	0.0011	0.0000	0.0035	0.0000

Bảng 2: Giá trị trung bình và độ lệch chuẩn của phân phối trễ với n=60 , tính theo đơn vị số tế bào

IV. KẾT LUẬN

Lưu lượng có tốc độ bit liên tục (hay cố định), tạo ra bởi các hệ thống dầu cuối trên mạng chuyển mạch kênh cũng như các nguồn thoại và video tốc độ cố định khác sẽ chiếm một phần rất quan trọng trong mạng băng rộng. Loại lưu lượng này có đặc diểm là yêu cầu các tham số hiệu suất rất chặt chẽ. Phần trên trình bày quá trình phát triển một mô hình phân tích cho một bộ đa hợp tế bào trên mạng ATM cho loại lưu lượng CBR để tìm phân phối trễ đối với loại lưu lượng này. Bài viết cũng đã trình bày phương pháp xấp xỉ hoá với độ phức tạp thực hiện độc lập với số đầu vào của bộ đa hợp. Phương pháp này cho kết quả tốt với các tham số có giá trị trong phạm vi rộng và có thể được dùng để tính toán và đưa ra kết quả tức thời theo thời gian thực.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Leonard Kleinrock, Professor Computer Science Department School of Engineering and Applied Science University of California, Los Angeles, "Queueing Systems , Volume I: Theory", A wiley-Interscience Publication, 1976. Printed in the USA.

[2] Leonard Kleinrock, Professor Computer Science Department School of Engineering and Applied Science University of California, Los Angeles, "Queueing Systems , Volume II: Computer Applications",. A wiley-Interscience Publication, 1976. Printed in the USA.

[3] Kluwer Academic Publishers, "Queueing Systems Theory and Applications", Volume 41, 2002, Manufactured in The Netherlands.
http://ebooks.kluweronline.com/Default.asp

[4] G.Ramamurthy and B.Sengupta, "Delay analysis of a packet voice Multiplexer by the ∑Di/D/1 queue", IEEE Transactions on pages: 1107-1114, Jul 1991, vol.39, issue:7.

[5] B.Sengupta, "A queue with superposition of arrival streams with an application to packet voice technology", The Netherlands: North-Holland, 1990, pp.53-60.

Author's Profile

TRAN CONG HUNG was born in VietNam in 1961

He received the B.E in electronic and Telecommunication engineering with first class honors from HOCHIMINH university of technology in VietNam, 1987.

He received the B.E in informatics and computer engineering from HOCHIMINH university of technology in VietNam, 1995.

He received the master of engineering degree in telecommunications engineering course from postgraduate department HaNoi university of technology in VietNam, 1998.

He is a Ph.D.student at postgraduate department Hanoi university of technology in VietNam. His main reseach areas are B – ISDN performance parameters and measuring methods.

Currenthy, he is a lecturer, deputy head of Faculty of Information Technology II and head of section Network & Data Transmission in Post and Telecom Institute of Technology (PTIT), in HOCHIMINH City, VietNam.