

NGUYỄN VIỆT ĐAM

Mô phỏng
hệ thống viễn thông
và ứng dụng

Matlab

(Có kèm đĩa CD-ROM)

UYÊN
LIỆU



NHÀ XUẤT BẢN BƯU ĐIỆN

NGUYỄN VIỆT ĐÀM

Mô phỏng hệ thống viễn thông
và ứng dụng **Matlab**



NHÀ XUẤT BẢN BƯU ĐIỆN

Hà Nội - 2007

Mã số: HT 02 HM 07

LỜI NÓI ĐẦU

Mô phỏng là một quá trình bắt chước hay phỏng tạo, dùng để nghiên cứu các mối quan hệ giữa các tham số tương tác trong hệ thống. Từ quan điểm thiết kế và phân tích hiệu năng hệ thống, bằng cách dung hoà giữa tính phức tạp của hệ thống với khả năng xử lý của thiết bị, bài toán thiết kế dựa vào mô phỏng được xây dựng và áp dụng ngày càng rộng rãi trong lĩnh vực viễn thông. Thông qua mô phỏng, cho phép nghiên cứu các đặc trưng hoạt động của hệ thống phức tạp hơn, thực tế hơn so với những hệ thống không dựa trên mô phỏng, bởi lẽ các hệ thống không dựa vào mô phỏng tính phức tạp bị hạn chế để đảm bảo việc phân tích có thể kiểm soát được. Mô phỏng cho phép thay đổi một cách dễ dàng các thông số hệ thống và nhanh chóng đánh giá được các ảnh hưởng của việc thay đổi đó ở dạng hiển thị trực quan và tương tác của các kết quả mô phỏng.

Với hy vọng cung cấp cho bạn đọc những kiến thức cần thiết về phương pháp luận mô phỏng, lập mô hình mô phỏng và triển khai mô hình mô phỏng trong quá trình thiết kế tối ưu hệ thống viễn thông, Nhà xuất bản Bưu điện xuất bản cuốn sách "***Mô phỏng hệ thống viễn thông và ứng dụng Matlab***" của tác giả Nguyễn Việt Đàm, giảng viên Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông. Cuốn sách được xây dựng theo cấu trúc mô đun, thích hợp cho cả bạn đọc chỉ có nhu cầu tìm hiểu tổng quan tới các bạn đọc là các kỹ sư, cán bộ khoa học đang hoạt động trong lĩnh vực viễn thông có nhu cầu nghiên cứu chuyên sâu xử lý tín hiệu số (DSP). Với sự hỗ trợ mạnh mẽ của phần mềm Matlab, tác giả đã xây dựng nhiều hàm nhằm làm sáng tỏ các công thức toán học mang tới cái nhìn trực quan cho bạn đọc.

Cuốn sách được trình bày trong 18 chương với các nội dung cơ bản từ phương pháp luận mô phỏng, kỹ thuật mô phỏng tới các ví dụ mô phỏng hệ thống thực tế như hệ thống CDMA, FDM,... Cuốn sách còn có đĩa CD-ROM kèm theo, chứa các chương trình, hàm mô phỏng viết bằng ngôn ngữ Matlab cùng một số chuyên mục chi tiết dành cho bạn đọc cần tìm hiểu sâu hơn.

Hy vọng việc hiểu rõ các kỹ thuật, phương pháp mô phỏng khoa học sẽ hỗ trợ thiết thực cho chương trình nghiên cứu của bạn đọc đang công tác trong lĩnh vực viễn thông; các cán bộ khoa học, kỹ sư và sinh viên đang nghiên cứu, tìm hiểu và học tập

trong lĩnh vực viễn thông. Nhà xuất bản Bưu điện giới thiệu cùng bạn đọc và rất mong muốn nhận được những ý kiến góp ý để cuốn sách hoàn chỉnh hơn trong lần xuất bản sau. Mọi ý kiến xin gửi về Nhà xuất bản Bưu điện, 18 Nguyễn Du, Hà Nội; điện thoại: 04.9431283; Fax: 04.9431285.

Hà Nội, tháng 5 năm 2007

NHÀ XUẤT BẢN BƯU ĐIỆN

Chương 1

VAI TRÒ CỦA MÔ PHÒNG

1.1. Mở đầu

Mức độ phức tạp của các hệ thống truyền thông hiện đại là động lực để sử dụng mô phỏng. Tính phức tạp là do: (i) Cấu trúc phức tạp của hệ thống thông tin hiện đại; (ii) Môi trường trong đó các hệ thống này được triển khai. Yêu cầu các hệ thống truyền thông hiện đại hoạt động tốc độ cao với độ rộng băng tần hạn chế, công suất hạn chế. Các yêu cầu đối lập này dẫn đến định dạng xung, điều chế phức tạp cùng với mã hoá kiểm soát lỗi và tăng mức độ xử lý tín hiệu ở máy thu; (iii) Các yêu cầu về đồng bộ cũng trở nên chặt chẽ hơn tại tốc độ cao dẫn đến máy thu trở nên phức tạp hơn. Trong khi việc phân tích các hệ thống truyền thông tuyến tính làm việc trong môi trường kênh AWGN là đơn giản, thì hầu hết các hệ thống hiện đại làm việc trong các môi trường khắc nghiệt hơn. Các hệ thống nhiều chặng cần có các bộ khuếch đại *phi tuyến*. Các hệ thống vô tuyến tế bào thường làm việc trong môi trường nhiễu nghiêm trọng cùng với các ảnh hưởng của che chắn và đa đường gây thăng giáng tín hiệu thu. Vì vậy, các hệ thống phức tạp và các yêu cầu đối nghịch nhau dẫn đến bài toán thiết kế và phân tích không còn khả thi với các kỹ thuật truyền thống.

Sự phát triển của các máy tính số về khả năng xử lý, giá thành, tính thân thiện sử dụng... làm cho việc phân tích, thiết kế được trợ giúp bởi máy tính là rất hữu hiệu. Phát triển các gói phần mềm cho các hệ thống truyền thông hay viễn thông đã thúc đẩy việc sử dụng mô phỏng trong lĩnh vực này. Theo đó, gia tăng tính phức tạp của hệ thống đồng nghĩa với gia tăng mức độ tính toán. Trong nhiều trường hợp, khả năng tính toán phù hợp trực tiếp dẫn đến nhiều cấu trúc xử lý tín hiệu phức tạp mà tạo thành các khối chức năng của các hệ thống truyền thông hiện đại.

Tăng trưởng công nghệ máy tính cũng đồng nghĩa với tăng trưởng nhanh về lý thuyết mô phỏng. Kết quả, cần có các công cụ và các phương pháp luận để ứng dụng thành công mô phỏng cho các bài toán phân tích và thiết kế.

Động cơ thúc đẩy quan trọng dẫn đến dùng mô phỏng: (i) Là công cụ quý giá mang lại sự hiểu biết sâu sắc tính cách hệ thống; (ii) Triển khai mô phỏng phù hợp giống như thực thi một phòng thí nghiệm hệ thống; (iii) Dễ dàng đo kiểm tại các điểm khác nhau của hệ thống; (iv) Dễ dàng quản lý kiểm soát việc nghiên cứu tham số, vì các giá trị tham số như: độ rộng băng bộ lọc, SNR có thể bị thay đổi và sẽ ảnh hưởng lên hiệu năng hệ thống một cách nhanh chóng và quan sát được; (v) Dễ dàng tạo ra các dạng sóng trong miền thời gian và miền tần số như: phổ tín hiệu, biểu đồ mắt, hình sao tín hiệu cũng như các hiện tượng khác; (vi) Dễ dàng so sánh và đánh giá các kết quả.

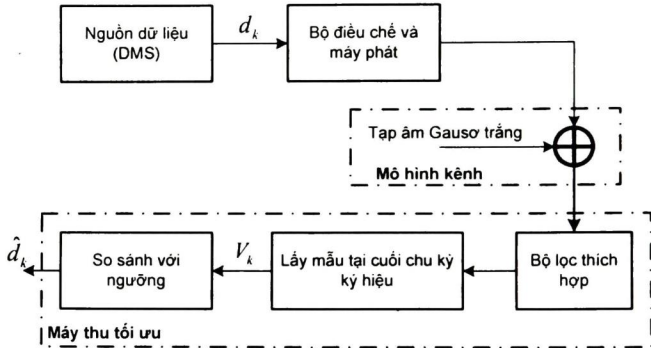
1.2. Minh họa mức độ phức tạp

Mức độ phức tạp của hệ thống truyền thông thay đổi rất rộng. Để được tường minh, ta xét ba hệ thống truyền thông với mức độ phức tạp tăng dần. Ta sẽ thấy rõ, hệ thống đầu tiên không cần thiết mô phỏng: hệ thống thứ hai việc mô phỏng không nhất thiết phải có nhưng nếu có là

hữu hiệu; hệ thống thứ ba, cần thiết phải thực hiện mô phỏng để kiểm soát quản lý nghiên cứu hiệu năng một cách chi tiết.

1.2.1. Hệ thống xử lý theo phép giải tích

Một hệ thống truyền thông đơn giản nhất được minh họa ở hình 1.1.



Hình 1.1: Hệ thống truyền thông xử lý được theo phép giải tích

Nguồn dữ liệu (DMS): Khởi nguồn dữ liệu tạo ra chuỗi các ký hiệu rời rạc d_k , được coi là các phần tử từ một thư viện ký hiệu hữu hạn. Chẳng hạn, với hệ thống truyền thông nhị phân gồm hai ký hiệu $\{0,1\}$. Ngoài ra, nguồn được coi là *không nhớ* nghĩa là ký hiệu thứ k được tạo ra từ nguồn độc lập với tất cả các ký hiệu khác được tạo ra từ nguồn đó. Nguồn dữ liệu thỏa mãn hai tính chất này được gọi là nguồn không nhớ rời rạc DMS.

Bộ điều chế và máy phát: Vai trò của bộ điều chế là sắp xếp các ký hiệu nguồn thành các dạng sóng, mỗi dạng sóng thể hiện cho mỗi ký hiệu nguồn. Chẳng hạn, hệ thống truyền thông nhị phân có hai dạng sóng có thể được tạo ra từ bộ điều chế $\{s_1(t), s_2(t)\}$. Trường hợp này, máy phát được giả định chỉ khuếch đại tín hiệu đầu ra bộ điều chế sao cho các tín hiệu từ bộ điều chế được phát xạ với năng lượng mong muốn trên bit.

Mô hình kênh: Ở dạng tổng quát, việc mô hình hóa chính xác kênh vô tuyến là phần khó nhất của hệ thống. Tuy nhiên, ở đây ta đơn giản hoá, kênh chỉ là *cộng* tạp âm vào tín hiệu truyền qua nó. Tạp âm này cũng được giả thiết rằng có mật độ phổ công suất PSD không đổi trên toàn bộ dải tần. Tạp âm thỏa mãn tính chất PSD không đổi được coi là tạp âm *trắng*. Biên độ tạp âm cũng được giả định là có hàm mật độ xác suất phân bố *Gausơ*. Kênh trong đó tạp âm là phân bố Gausơ, trắng, cộng được gọi là kênh AWGN. Nói cách khác kênh AWGN là kênh thỏa mãn ba tính chất đề cập trên.

Máy thu tối ưu: Chức năng của máy thu là quan trắc tín hiệu vào, từ quan trắc này tạo ra một ước tính \hat{d}_k của tín hiệu dữ liệu gốc d_k . Máy thu được minh họa ở hình 1.1 được xem là máy thu tối ưu vì việc thực hiện ước tính ký hiệu làm giảm thiểu xác suất lỗi P_E . Thấy rõ từ lý thuyết truyền thông số cơ bản, máy thu tối ưu cho hệ thống được mô tả ở trên (tín hiệu nhị phân

trong môi trường kênh AWGN) gồm một bộ lọc thích hợp (hoặc máy thu tương quan) thực hiện quan trắc tín hiệu trong một chu kỳ ký hiệu. Đầu ra bộ lọc thích hợp lấy mẫu tại thời điểm cuối của chu kỳ ký hiệu để tạo ra giá trị V_k , V_k là một biến ngẫu nhiên (vì kênh tác động vào tín hiệu truyền qua nó ở dạng toán tử cộng, phân bố Gauss, mọi tần số) và được so sánh với ngưỡng T . Nếu $V_k > T$, thì quyết định là ký hiệu 1, ngược lại quyết định là ký hiệu 0.

Ta coi hệ thống này là hệ thống xử lý được theo phép giải tích vì theo lý thuyết truyền thông cơ bản, việc phân tích hệ thống được thực hiện dễ dàng. Chẳng hạn, xác suất lỗi được tìm thấy là:

$$P_E = Q\left(\sqrt{k \frac{E_s}{N_0}}\right) \quad (1.1)$$

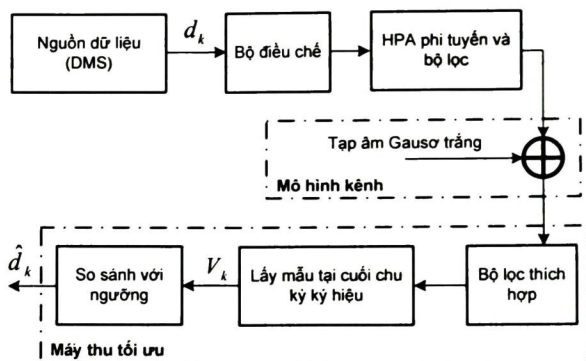
Trong đó E_s thể hiện năng lượng trung bình được tính toán trong chu kỳ ký hiệu tương ứng với tập các dạng sóng $\{s_1(t), s_2(t)\}$, và N_0 là mật độ phổ công suất một phía của tạp âm kênh cộng. Tham số k được xác định bởi tương quan của các dạng sóng $\{s_1(t), s_2(t)\}$. Ví dụ: với truyền dẫn FSK, thì dạng sóng $\{s_1(t), s_2(t)\}$ là các hình sin có tần số khác nhau và công suất bằng nhau. Giả sử tần số được chọn chính xác thì các tín hiệu này không tương quan nhau và $k = 1$. Đối với PSK, thì các tín hiệu được dùng để truyền dẫn dữ liệu được coi là hình sin có tần số và công suất bằng nhau nhưng các pha ban đầu khác nhau. Nếu sự khác nhau về pha là π radian sao cho $s_2(t) = -s_1(t)$ thì các tín hiệu đối tượng quan và $k = 2$.

Hiệu năng hệ thống: Dễ dàng xác định được hiệu năng của hệ thống được cho ở hình 1.1 bằng các kỹ thuật phân tích truyền thống. Vì vậy, ta có thể phân loại hệ thống thuộc loại hệ thống xử lý được theo phép giải tích. *Tại sao hệ thống này xử lý được theo phép giải tích?* Vì 03 lý do cơ bản sau: (i) Kênh AWGN và máy thu tuyến tính. Theo đó, vì tạp âm là Gauss và bộ lọc thích hợp là hệ thống tuyến tính, nên giá trị quyết định V_k là một biến ngẫu nhiên Gauss vì vậy ta có thể tính BER theo phép giải tích là một hàm của các tham số bộ lọc máy thu, việc xác định các giá trị của các tham số này dẫn đến BER cực tiểu. Nhiều nhân tố dẫn đến hệ thống được cho ở hình 1.1 là hệ thống xử lý được theo phép giải tích. Các nhân tố này gắn liền việc đơn giản hoá trong quá trình lập mô hình hệ thống (do các giả định hay điều kiện xét...); (ii) Nguồn dữ liệu là không nhớ (thực tế nó có thể là đúng hoặc không đúng); (iii) Giả thiết việc đồng bộ ký hiệu chính xác vì vậy biết chính xác thời điểm bắt đầu và kết thúc của các ký hiệu dữ liệu. Giả định này cho phép giá trị quyết định V_k được trích ra một cách chính xác.

Vậy mô phỏng có quan trọng trong hệ thống xử lý được theo phép giải tích không? Câu trả lời là có. Vì hệ thống được cho ở hình 1.1 sẽ là một khối cơ bản của hệ thống phức tạp hơn. Mã chương trình mô phỏng có thể được phát triển, nâng cấp cho hệ thống phức tạp hơn. Thành quả mô phỏng dễ dàng được thừa nhận vì việc phân tích hệ thống đó là dễ hiểu. Tại đây, theo yêu cầu của hệ thống trong điều kiện nghiên cứu cụ thể, để mô hình hóa hệ thống một cách chính xác cần phải biến đổi các khối nguồn dữ liệu, bộ điều chế, kênh, máy thu cho phù hợp. Ngoài ra, các phân hệ (hệ thống con) khác khi cần có thể được đưa thêm vào mô hình mô phỏng đó. Do tiếp tục nhiệm vụ phát triển mô hình mô phỏng từ hệ thống đó, nên có thể tin tưởng rằng rang điểm bắt đầu là đúng.

1.2.2. Hệ thống khó xử lý theo phép giải tích

Xét hệ thống ở mức độ phức tạp hơn. Theo đó, ta mở rộng mức độ phức tạp hệ thống hình 1.1 thành hệ thống được cho ở hình 1.2 bằng cách thêm khối khuếch đại công suất cao phi tuyến HPA và bộ lọc ở máy phát.



Hình 1.2: Hệ thống truyền thông khó xử lý theo phép giải tích

Bộ khuếch đại phi tuyến: Hiệu quả công suất của các bộ khuếch đại phi tuyến cao hơn nhiều so với bộ khuếch đại tuyến tính vì vậy thường được dùng trong môi trường công suất bị hạn chế như: các ứng dụng không gian vũ trụ, các hệ thống thông tin di động ở đó công suất pin phải được duy trì. Do tính phi tuyến gây ra méo điều chế ký sinh và tạo hài. Hậu quả làm nở rộng phổ tín hiệu vào trong khi đó bộ khuếch đại tuyến tính bảo tồn phổ tín hiệu vào. Bộ lọc làm giảm bớt hài và méo điều chế ký sinh (do tính phi tuyến gây ra) nhưng lại gây ra *tán thời* tín hiệu. Theo đó, tín hiệu được lọc này không còn bị giới hạn về thời gian so với chu kỳ ký hiệu nữa, dẫn đến giao thoa giữa các ký hiệu ISI.

Hiệu năng BER hệ thống: Hậu quả của ISI làm cho xác suất lỗi của ký hiệu thứ i phụ thuộc vào một hoặc nhiều ký hiệu trước đó. Số lượng các ký hiệu trước đó phải được tính đến trong quá trình giải điều chế ký hiệu thứ i này (lưu ý tính có nhớ của hệ thống). Cũng vậy, nếu xác suất lỗi ký hiệu thứ i phụ thuộc vào k ký hiệu trước đó thì ta tính đại lượng:

$$\Pr\{E_i | d_{i-1}, d_{i-2}, \dots, d_{i-k}\}$$

Trường hợp nhị phân, có 2^k chuỗi khác nhau có độ dài k . Nếu xác suất xuất hiện mỗi ký hiệu dữ liệu $\{0,1\}$ bằng nhau thì xác suất lỗi của ký hiệu thứ i là:

$$P_E = \frac{1}{2^k} \sum_{d_{i-k}=0}^1 \sum_{d_{i-2}=0}^1 \dots \sum_{d_{i-k}=0}^1 \Pr\{E_i | d_{i-1}, d_{i-2}, \dots, d_{i-k}\} \quad (1.2)$$

Nói cách khác, cần phải tính 2^k xác suất lỗi khác nhau, với mỗi xác suất lỗi phụ thuộc vào một trong 2^k chuỗi độ dài k trước đó và lấy trung bình k kết quả. Vì kênh được giả định là