

Chương 2

PHƯƠNG PHÁP LUẬN MÔ PHỎNG

2.1. Mở đầu

Mô phỏng đóng vai trò quan trọng trong thiết kế hệ thống truyền thống, được dùng để thiết kế chi tiết các phần tử và ước lượng hiệu năng mức hệ thống. Chương này sẽ trình bày phương pháp luận cơ bản để triển khai mô phỏng, và chi tiết hóa quá trình lập mô hình và mô phỏng cũng như vấn đề định lượng và định tính của mô phỏng. Một cách trình bày khác, mô phỏng vừa có *tính nghệ thuật* vừa có *tính khoa học*.

Tồn tại một số bước tạo và thực thi mô hình mô phỏng trên cơ sở lý thuyết, với vậy có bản chất định lượng chẳng hạn: mô hình hóa các phần tử hệ thống riêng biệt và tạo các số ngẫu nhiên. Mặt khác, nhiều bước trong mô phỏng bao gồm các giải pháp và các xem xét mà không thể xác định số lượng rõ ràng, là bản chất không phổ. Chúng được gộp lại một cách khó lòng lèo, được coi là "*Phương pháp luận*" mô phỏng. Điểm nhấn của chương này là phương pháp luận hay "*Tính nghệ thuật*" của mô phỏng, đặc biệt ý nghĩa khi ước lượng hiệu năng ở mức hệ thống. "*Tính khoa học*" của mô phỏng bàn về khía cạnh định lượng của việc mô hình hóa, ước tính,.. sẽ được giải quyết trong các chương sau. Các phần định tính và định lượng không hẳn tách rời nhau mà quan hệ mật thiết với nhau. Tất cả các bước trong mô phỏng bao gồm mô hình hóa các thành phần cụ thể và một số "*phương pháp luận*". Hơn nữa việc thực hiện mô phỏng cần đến một tập các thuật toán.

Với mục đích trình bày và thảo luận: Chương này sẽ đề cập 2 chủ đề, các mặt *định tính* và *định lượng* của mô phỏng như thể chúng tách rời nhau. Tuy nhiên, việc nghiên cứu chúng có tính hỗ trợ nhau. Với vậy, ta nên đọc chương này trước khi tiếp các chương sau. Chương này có tính logic và lý luận cao.

Bài toán mô phỏng đơn giản nhất thường gồm 4 bước cơ bản sau:

- Ánh xạ bài toán đó cho thành mô hình mô phỏng.
- Phân giải bài toán tổng thể thành một tập các bài toán nhỏ hơn.
- Chọn tập các kỹ thuật mô hình hóa, mô phỏng, ước tính phụ hợp và áp dụng chúng để giải quyết các bài toán nhỏ của chúng.
- Kết hợp các kết quả của các bài toán con nhằm tạo ra nghiệm cho bài toán tổng thể.

Thông thường các kỹ thuật cụ thể để giải quyết các bài toán con (bước thứ 3) được định nghĩa rõ ràng và nghiêm ngặt, là thuật toán (bản chất định lượng). Ví dụ: kỹ thuật để mô phỏng bộ lọc tuyến tính được biểu diễn bởi hàm truyền đạt sử dụng phương pháp FIR, là tổng cộng hoàn toàn xác định. Mặt khác, "*phương pháp luận*" toàn diện được sử dụng để ánh xạ bài toán thiết kế hoặc ước tính hiệu năng thành mô hình mô phỏng phụ hợp và lựa chọn tập các

kỹ thuật kion định, tương thóch để ỏp dụng vào mục hỏnh ỏú, sẽ cần phải cú cỏc thủ thuật khỏm phỏ và nhữn *"mỏnh khoỏ ngnhề ngnhiệp"*.

Mục ỏch cơ bản của hệ thống truyền thụng là xử lý dạng súnđ và ký hiệu, vỡ vậy mục phỏng hệ thống truyền thụng là tỏm cỏch **phỏng tạo** quỏ trởnh này bằng cỏch tạo và xử lý cỏc giỏ trị mẫu của nhữn dạng súnđ này. Theo ỏú cần phải: (i) mục hỏnh húa cỏc hoạt ỏnđ xử lý tón hiệu (được thực hiện bởi cỏc khối chức năng trong hệ thống); (ii) tạo cỏc dạng súnđ đầu vào để thỏm nhập vào cỏc điểm khỏc nhau của hệ thống; (iii) ỏiều khiển cỏc mục hỏnh bằng cỏc dạng súnđ đầu vào phỏ hợp để tạo cỏc dạng súnđ đầu ra (là đầu vào của khối chức năng khỏc); (iv) phỏn tỏch nhữn dạng súnđ này để tỏi ưu cỏc tham số thiết kế, hoặc để ỏạt được cỏc phỏp ỏo hiệu năng.

Để minh hoạ cỏc khỏa cạnh của phương phỏp luận, ta sử dụng hệ thống truyền thụng số làm việc trỏn kỏnh truyền thụng ỏi ỏnđ *"thay ỏổi theo thời gian"*. Kỏnh này gỏy *mỏo tưởn tỏnh*, cú thể giảm thiểu mỏo này bằng bộ cỏn bằng trong mỏy thu. Cỏc giải phỏp thiết kế chỉ tiết bộ cỏn bằng sẽ được ỏựng để minh hoạ một số khỏa cạnh của phương phỏp luận. Thuộc tỏnh thay ỏổi theo thời gian của kỏnh (do tỏnh ỏi ỏnđ) làm cho tón hiệu thu thay ỏổi nẫu nhiên, và là hàm của thời gian. Thay ỏổi nẫu nhiên trong tón hiệu thu gọi là pha ỏịnh. Khi cụng suất tón hiệu thu dưới mức nửnđ, thờ hiệu năng của hệ thống được ỏnđ giỏ bởi xỏc suất lỗi khụng chấp nhận được và hệ thống sẽ thụng bảo là khụng phỏc vụ. *Xỏc suất nửnđ hoạt ỏnđ* của hệ thống được ỏịnh ngnhĩa là phỏn trỏm thời gian mà hệ thống truyền thụng *"khụng khả dụng"* (do ỏiều kiện kỏnh tỏi gỏy ra tỷ số lỗi vựt quỏ giỏ trị nửnđ quy ỏịnh). Để ước tỏnh xỏc suất nửnđ hoạt ỏnđ cần phải mục phỏng hệ thống dưới nhiền ỏiều kiện kỏnh (kịch bản kỏnh), là một nhiệm vụ cần nhiền tỏnh tỏn. Theo ỏú, ta sẽ thảo luận cỏc phương phỏp giảm thiểu tỏnh tỏn trong mục phỏng. Mỏn vậy, ta tiến hành ba bước cơ bản sau:

Trước hết, là lập mục hỏnh và xỏc ỏịnh tham số. Giải phỏp tỏn thể để mục phỏng mức dạng súnđ hệ thống truyền thụng khỏ dễ hiểu. Ta bắt đầu bằng việc mục tả phỏn chia hệ thống để mục phỏng hệ thống ở dạng sơ đồ khối, trong ỏú mỗi khối chức năng thực hiện một hoạt ỏnđ xử lý tón hiệu cụ thể. Mục hỏnh mục phỏng cho mỗi khối chức năng được chọn từ thư viện cỏc mục hỏnh khả dụng, và tạo mục hỏnh sơ đồ khối bằng cỏch kết nối tập cỏc khối được chọn. Trước khi thực hiện mục phỏng, cần phải xỏc ỏịnh rừ cỏc giỏ trị cụ thể hoặc khoảng cỏc giỏ trị được phỏp cho cỏc tham số của mỗi khối (chỏng hạn như băng thụng của bộ lọc). Đơn giản húa sơ đồ khối đến mức cú thể và chia nhỏ nếu cần thiết. Việc ỏnh xạ bài tỏn thiết kế và/hoặc ước tỏnh hiệu năng thành mục hỏnh mục phỏng là một trong nhữn bước khỏ nhất trong phương phỏp luận. Thời gian mục phỏng và ỏộ chỏnh xỏc của kết quả mục phỏng phỏ thuộc vào cỏch thực hiện ỏiều này.

Sau ỏú, là thực hiện mục phỏng. Thực hiện mục phỏng bao gồm tạo cỏc giỏ trị mẫu của tất cả cỏc dạng súnđ đầu vào hoặc tỏc nhỏn kỏch thỏch ỏiều khiển mục hỏnh mục phỏng. Cỏc tón hiệu, tập ỏm, nhiền được biểu ỏiển bởi cỏc quỏ trởnh nẫu nhiên, và sử dụng cỏc bộ tạo số nẫu nhiên để tạo cỏc giỏ trị mẫu của cỏc quỏ trởnh nẫu nhiên. Trong mục phỏng, cỏc đầu ra của cỏc bộ tạo số nẫu nhiên được đưa vào cỏc khối để: (i) *ỏiều khiển* mục hỏnh mục phỏng; (ii) *tạo* cỏc giỏ trị mẫu tại cỏc đầu ra của cỏc khối chức năng. Một số mẫu đầu ra được ghi lại và được phỏn tỏch trong khi ỏang thực hiện mục phỏng hoặc tại thời điểm kết thỳc mục phỏng, ước

tính các phép đo hiệu năng như: tỉ số tín hiệu trên tạp âm SNR, sai số trung bình bình phương MSE, xác suất lỗi.

Cuối cùng, là xác định tính hợp lệ. Cũng là bước rất quan trọng trong mục phỏng, ta xác định tính hợp lý của các kết quả mục phỏng bằng cách dựng các xấp xỉ giải tích, các giới hạn hoặc các kết quả đo khả dụng. Các kết quả đo cụ thể chỉ khả dụng đối với thời điểm kết thúc chu kỳ thiết kế sau khi nguyên mẫu được xây dựng. Thậm chí, khi hệ thống nguyên mẫu là khả dụng nhưng chỉ thực hiện hữu hạn các phép đo. Bản chất tốn kém của đo kiểm là nhỡ tổ chức dẫn đến thực hiện mục phỏng. Tuy nhiên, một khi tính hợp lý (phờ chuẩn) trái ngược với các kết quả đo, khi này ta dựng phương pháp luận để: (i) kiểm tra lại các mục hỡnh; (ii) thiết lập tính khả tin của các kết quả mục phỏng.

Hệ thống truyền thụng thực tế luận quỏ phức tạp để mục hỡnh húa và mục phỏng cho dự tài nguờn tónh toỏn khả dụng khụng giới hạn đi chăng nữa. Vỡ vậy, cần phải dựng nhiều kỹ thuật để giảm toỏn bộ tónh phức tạp của bài toỏn mục phỏng thành một bài toỏn trong phạm vi kiểm soát của: tài nguờn mụi tónh khả dụng, thời gian khả dụng, độ chính xác mong muốn. Các kỹ thuật, *kỹ năng nghề nghiệp*, được coi là phương pháp luận và được mục tả trong các phần sau ở dạng các ví dụ minh họa.

Sẽ được thấy rừ, dự điều khiển thời gian hay điều khiển sự kiện, mục phỏng phải được tổ chức và triển khai phụ hợp nếu muốn cú được kết quả khả tin và khả kiểm. Các khái niệm được trỡnh bày cú tónh định hướng nghiên cứu cho các chương sau. Cấu trỡc của mục phỏng thường phản ỏnh giải phỏp được dựng để thiết kế hệ thống thực tế. Tuy nhiên, nhiều khỏo lộ nghề nghiệp sẽ được thảo luận, cú thể ứng dụng vào mục phỏng để đảm bảo các kết quả mục phỏng phản ỏnh chính xác hoạt động của hệ thống theo thiết kế hoặc ước lượng.

2.2. Các mặt của phương pháp luận

Giải phỏp toỏn diện hay phương pháp luận để giải quyết bài toỏn thiết kế hoặc ước tónh hiệu năng phụ thuộc vào bản chất bài toỏn cụ thể. Trong khi khú để trỡnh bày phương pháp luận như tập các quy tắc hay thuật toỏn độc lập thờ tồn tại một số khỏo cạnh chung của phương pháp luận cú thể ỏp dụng cho nhiều bài toỏn mục phỏng khỏc nhau. Trước hết, ta mục tả chỳng và sau đó trỡnh bày tập các phương pháp cụ thể để giải quyết tập các bài toỏn riêng biệt.

2.2.1. Ánh xạ bài toỏn thành mục hỡnh mục phỏng

Điểm bắt đầu của mục phỏng là trỡnh bày tường minh bài toỏn và mục đích của mục phỏng. Để minh họa các mặt khỏc nhau của phương pháp luận, ta dựng hệ thống thụng tin đi động làm ví dụ và xỏt 2 vấn đề sau:

- **Thiết kế bộ cõn bằng:** Xác định số nhõnh, khoảng cõnh nhõnh và số bit được sử dụng để thực hiện các phép toỏn số học trong bộ cõn bằng mụi thu.

- **Ước lượng hiệu năng hệ thống:** Xác định E_b/N_0 cần thiết để duy trỡ hiệu năng cú thể chấp nhận được (mục tả chi tiết hơn về hệ thống và các đặc tónh kỹ thuật hiệu năng của nó được đề cập ở phần sau của chương).

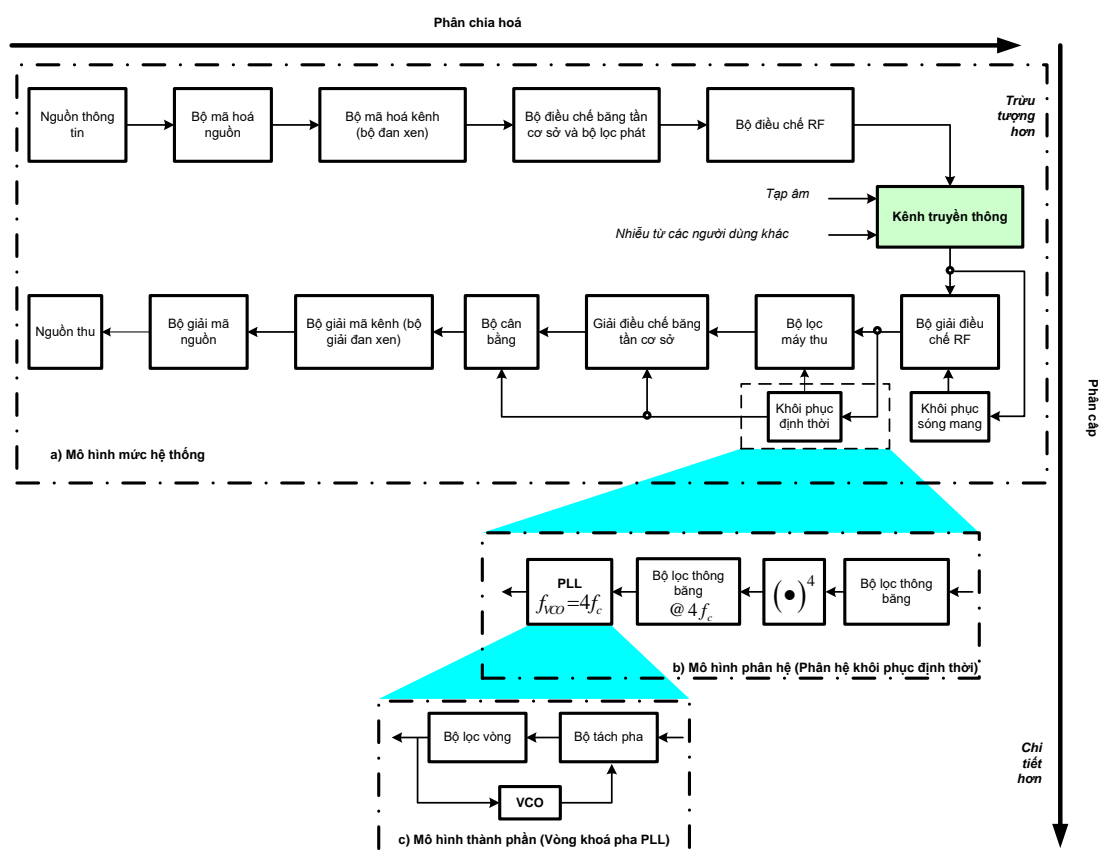
Bài toán thứ nhất bàn về thiết kế chi tiết một thành phần mự thu, bài toán thứ hai thuộc về ước tónh hiệu năng mức hệ thống. Hai bài toán này cần cú: cóc giải phỏp ở dạng một phần của hệ thống để lập mự hỏnh, mức độ chi tiết của mự hỏnh, kỹ thuật lập mự hỏnh, kỹ thuật mự phỏng, thủ tục ước tónh. Ngoài ra, bài toán thứ nhất được giải quyết trước khi tiến tới bài toán thứ hai.

Dự ta đang giải quyết bài toán thiết kế chi tiết hay ước tónh hiệu năng mức hệ thống thờ điểm bắt đầu luận là sơ đồ khối chi tiết, trỏnh bày phần hệ thống cần được mự phỏng. Trỏnh bày sơ đồ khối khởi đầu thường chi tiết hơn mức cần thiết. Tuy nhiên, là thói quen và hữu hiệu vớ tại điểm bắt đầu bao gồm "mọi thứ mà ta cú thể nghĩ về" sơ đồ khối toàn diện khởi đầu.

Mự hỏnh mự phỏng cuối cựng được tạo ra từ sơ đồ khối khởi đầu được đơn giản hóa. Ứng dụng ba lớp kỹ thuật sau để tạo lập mự hỏnh mự phỏng:

- Trỏnh bày phỏn cấp
- Phỏn chia hóa và điều kiện hóa
- Đơn giản hoỏ (xấp xỉ, giả định).

Trỏnh bày phỏn cấp



Hỡnh 2.1: Minh họa quá trỏnh mự hỏnh hóa hệ thống

Phân cấp là giải pháp thường dùng để giảm tính phức tạp trong mục hình hóa, thiết kế phần mềm và các ứng dụng khác. Trong viễn cảnh hệ thống truyền thống, phân cấp được sử dụng để: (i) quản lý và giảm tính phức tạp của mục hình mục phỏng; (ii) giảm tải tính toán trong quá trình mục phỏng mục hình. Trình bày phân cấp được thực hiện trong các "lớp" khác nhau bắt đầu từ mục hình mức "hệ thống" và qua các lớp phân hệ, lớp thành phần và lớp vật lý. Minh họa các "lớp" cho một hệ thống truyền thống cụ thể được cho ở hình 2.1. Số các lớp, thuật ngữ được sử dụng để định nghĩa một lớp cho trước là không duy nhất. Số lượng lớp trong hệ thống cụ thể là tùy ý, những gì được thấy là phân hệ trong một viễn cảnh được xét là một hệ thống trong viễn cảnh khác. Tuy nhiên, ta dùng thuật ngữ hệ thống để nói về toàn bộ thực thể quan tâm. Ở dạng phân cấp, hệ thống thường được xem là những gì chứa trong giỏ, tủ và hộp. Hệ thống chứa các phân hệ (thường được thực thi tại mức bo mạch).

Trong trình bày phân cấp hoặc lập mục hình hệ thống, các khối ở các lớp thấp hơn trong phân cấp sẽ chi tiết hơn, ngược lại các khối tại các lớp cao hơn trừu tượng hơn và thuộc về chức năng tổng thể của khối. Phân giải thành các lớp thấp hơn cho đến khi không thể. Mức thấp nhất thường dựa trên các thành phần như điện trở, tụ điện và vi mạch.

Trong toàn cảnh hệ thống truyền thống, mục hình mức hệ thống được cho ở hình 2.1(a) gồm các khối chức năng như: nguồn xung tín, bộ mã hoá, bộ giải mã, bộ điều chế, bộ giải điều chế, bộ lọc và kênh. Mỗi khối chức năng là một phân hệ và được phân giải (khai triển sâu hơn) để được chi tiết hơn. Ví dụ phân hệ khối phục định thời được phân tách thành: hai bộ lọc xung băng, bộ phi tuyến bậc 4 và vòng khoá pha PLL như ở hình 2.1(b). Phân tách hơn nữa nhận được mục hình mức "thành phần". Ví dụ, bộ lọc xung băng được cho ở hình 2.1(b) cụ thể là bộ lọc tương tự, bộ lọc siêu cao hay bộ lọc số. Trường hợp bộ lọc tương tự, cụ thể khai triển thành các mục hình mức "mạch điện". Trường hợp bộ lọc số, việc phân tách sẽ đi xuống mức bit như các bộ cộng, bộ nhân, bộ tách ly. Dưới lớp này chứa các transistor và các cổng logic cụ thể. Tuy nhiên, trong viễn cảnh mục phỏng mức dạng sóng ta rất hiếm khi đi xuống mức chi tiết này. Mục hình lớp "thành phần" cho PLL được minh họa ở hình 2.1(c).

Ba lý do chính để dựng khái niệm phân cấp là: (i) Quản lý tính phức tạp của mục hình mục phỏng; (ii) Giảm tải tính toán khi mục phỏng mục hình. Tổng quát, nên thực hiện mục phỏng ở mức trừu tượng cao nhất cụ thể, phù hợp với mục đích mục phỏng bởi lẽ mức trừu tượng càng cao thì càng ít tham số hơn và mục phỏng hiệu quả hơn. Chẳng hạn khi thiết kế bộ cân bằng, nó được mục phỏng ở mức bit, trong khi đủ kênh được mục phỏng ở mức trừu tượng hơn nhiều (dùng hàm truyền đạt để biểu diễn kênh). Tương tự, bộ lọc băng tần cơ sở số trong máy thu không nhất thiết phải mục phỏng ở mức bit nếu mục đích của mục phỏng là ước lượng hiệu năng hệ thống. Tất nhiên, cách thực thi bộ lọc sẽ không ảnh hưởng đến hiệu năng của toàn bộ hệ thống miễn là duy trì hàm truyền đạt của bộ lọc; (iii) Liên quan đến phôi chuẩn mục hình, ngoài việc giảm tính phức tạp, thời gian mục phỏng, các mục hình mức cao hơn sẽ có ít tham số hơn và cũng cụ thể dễ phôi chuẩn hơn. Càng ít tham số hơn thì càng ít phức tạp để đặc tính hóa mục hình hơn. Ví dụ mục hình mức mạch điện của bộ lọc Butterworth chứa nhiều giá trị thành phần hơn. Tuy nhiên, hàm truyền đạt mức cao của bộ lọc Butterworth được đặc trưng chỉ bởi 2 tham số (bậc và băng thông), chứng minh dễ đo. Hơn nữa, khi mục hình mục

phỏng ở mức trừu tượng cao hơn, thời sự phù chuẩn của các kết quả mục phỏng là đơn giản hơn, cần ít phép đo hơn.

Tại mức hệ thống, mục phỏng được thực hiện ở mức trừu tượng cao nhất sử dụng các mục hõnh "tính cốc" (các hàm truyền đạt) chứ không phải là các mục hõnh vật lý. Dạng chức năng của mục hõnh tính cốc thường được giả định hoặc từ các phép đo. Ví dụ, bộ lọc số có thể được mục phỏng tại mức bit và bộ lọc tương tự có thể được mục phỏng tại mức mạch. Mục hõnh mức cao hơn cho cả hai bộ lọc có thể được rýt ra từ các mục phỏng mức bit hoặc mức mạch ở dạng hàm truyền đạt. Chỉ khi dựng mục hõnh bộ lọc ở mức cao hơn (là mục hõnh hàm truyền đạt) mang lại hiệu quả tính toán cao. Tính chi tiết của mục hõnh mức thấp hơn (dự là bộ lọc tương tự hay bộ lọc số) đều bị ẩn hoàn toàn từ lớp cao hơn. Giải pháp tạo mục hõnh mức cao hơn này từ các tính chi tiết của mục hõnh mức thấp hơn, và thay thế ngược lại tại mức cao hơn được gọi là "chuyển giải ngược".

Trong giai đoạn đầu của chu kỳ thiết kế, hàm truyền đạt bộ lọc được giả định hoặc "định rừ" và nhận được đặc điểm hàm truyền đạt sau khi thiết kế và mục phỏng. Ở chu kỳ thiết kế sau, một khi bộ lọc được xây dựng, thời hàm truyền đạt của nó được đo và được dựng trong các mục phỏng mức cao hơn. Ngoài ra, phân cấp cũng làm giảm toàn bộ tính phức tạp mục hõnh và tải tính toán kết quả.

Cũng như quá trình mục hõnh hoá, việc thiết kế hệ thống truyền thung thực tế cũng theo thứ tự từ đỉnh qua các lớp. Trong quá trình thiết kế, các đặc tính kỹ thuật đi xuống qua các lớp của phân cấp và việc đặc trưng hóa (được đo hoặc được mục phỏng ở mức thấp hơn) theo dự phùng qua các lớp của phân cấp. Trong một số ứng dụng, có thể phải sử dụng các mức chi tiết khác nhau. Ví dụ khi thiết kế bộ ổn bằng cần phải ước tính xác suất lỗi hệ thống là hàm của số bit được sử dụng cho bộ ổn bằng. Trường hợp tất cả các phần của hệ thống quanh bộ ổn bằng sẽ được mục phỏng tại mức trừu tượng rất cao trong khi chính bộ ổn bằng được mục phỏng chi tiết hơn nhiều sử dụng một bộ mục phỏng khác. Giải pháp này thường gọi là "đồng mục phỏng".

Phân chia hóa và điều kiện hóa

Phân chia hóa: Phân chia hóa bài toán phức tạp thành một tập các bài toán nhưng độc lập nhau, được giải quyết riêng biệt và kết hợp các nghiệm, là một kỹ thuật hữu hiệu khác làm giảm tính phức tạp và tải tính toán. Trong khi phân cấp bàn về mức độ trừu tượng thời phân chia hóa cũng bàn về tính trừu tượng nhưng ở các khía cạnh khác của bài toán đủ là: mục phỏng riêng biệt và kết hợp các kết quả. Vì vậy, phân chia hóa cho phép quan sát và kiểm tra sơ đồ khối theo "chiều ngang" trong khi phân cấp cho phép xét theo "chiều đứng". Trong viễn cảnh được cho ở hõnh 2.1 có thể tách biệt phần đồng bộ hóa, mô hoá ra khỏi bài toán và mục phỏng chệch riêng biệt.

Điều kiện hóa: Điều kiện hóa là một kỹ thuật khác rất giống với phân chia hóa, đơn giản ta cố định điều kiện hay trạng thái của một phần hệ thống và mục phỏng phần còn lại của

hệ thống dưới cộc giỏ trị khỏc nhau của cộc biến điều kiện hay trạng thỏi. Mục phòng riêng cho phần hệ thống được điều kiện hóa và cộc kết quả đạt được trong phần đầu được lấy trung bõnh theo phõn bõ của biến điều kiện đạt được trong phần thứ hai. Quỏ trõnh này được minh họa tốt nhất bằng một vớ dụ.

Giả sử ta muốn ước tónh xỏc suất lỗi hệ thống được cho ở hõnh 2.1 khi đồng bộ hóa (khụi phục súng mang và định thời) khụng lý tưởng. Ta sử dụng phõn chia hóa và điều kiện hóa để đơn giản hóa bài toỏn bằng cõch ước tónh xỏc suất lỗi cú điều kiện trong hệ thống với cộc giỏ trị khỏc nhau của lỗi pha súng mang và định thời, sau đú mục phòng hệ thống đồng bộ để đạt được phõn bõ của cộc lỗi định thời. Sau đú lấy trung bõnh xỏc suất lỗi cú điều kiện theo phõn bõ lỗi định thời và lỗi pha. Những gờ ta đang làm ở đõy là phõp toỏn trong thõng kờ liờn quan cộc giỏ trị kỳ vọng cú điều kiện. Tổng quỏt:

$$\begin{aligned} E_{XY} \{g(X, Y)\} &= \iint g(x, y) f_{XY}(x, y) dx dy \\ &= \int \left\{ \int g(x, y) f_{X|Y}(x|y) dx \right\} f_Y(y) dy \end{aligned} \quad (2.1)$$

Ở dạng kỳ vọng toỏn học cú điều kiện là:

$$E_{XY} \{g(X, Y)\} = E_Y \left\{ \underbrace{E_{X|Y} [g(X, Y)]}_{\text{Kỳ vọng có điều kiện}} \right\} \quad (2.2)$$

Trở lại vớ dụ, xỏc định BER khi cú lỗi định thời và lỗi pha, ỏp dụng nguyên lý này ta cú:

$$\hat{P}_E = \iint \hat{P}_r\{\text{lỗi} | \tau, \theta\} \hat{f}_{T\Theta}(\tau, \theta) d\tau d\theta \quad (2.3)$$

Trong đú $\{\hat{P}_r\{\text{lỗi} | \tau, \theta\}\}$ là ước tónh xỏc suất lỗi cú điều kiện dựa trờn mục phòng với giả thiết cú lỗi pha θ và lỗi định thời τ . Kết quả của trung bõnh hóa \hat{P}_E là xỏc suất khụng điều kiện (toỏn bộ) của lỗi, $f_{T\Theta}(\tau, \theta)$ là phõn bõ được ước tónh (mục phòng) của lỗi pha và lỗi định thời được tạo ra bởi hệ thống đồng bộ. Chỳ ý rằng hệ thống đồng bộ được mục phòng bởi chõnh nú, cộc kết quả được lấy trung bõnh. Điều này dẫn đến mục phòng hai hệ thống đơn giản hơn và thời gian mục phòng ỏt hơn.

Nếu coi rằng cộc hệ thống khụi phục pha và định thời tạo ra cộc lỗi định thời và cộc lỗi pha *độc lập* thỡ cộc phần này cú thể được phõn chia hóa và được mục phòng riêng biệt để đạt được cộc ước tónh phõn bõ của lỗi định thời $\hat{f}_T(\tau)$ và lỗi pha $\hat{f}_\Theta(\theta)$. Nhận được phõn bõ đồng thời của lỗi pha và lỗi định thời là:

$$\hat{f}_{T\Theta}(\tau, \theta) = \hat{f}_T(\tau) \hat{f}_\Theta(\theta) \quad (2.4)$$

sau đó thay vào (2.3) để lấy trung bình.

Cần chú ý rằng, phân chia hóa bản về việc phân tích bài toán, và điều kiện hóa định hướng phân chia hóa và quan trọng hơn là giúp tách hợp các kết quả. Giả định độc lập, phụ hợp cũng hỗ trợ trong quan hệ hóa các kết quả. Phần sau sẽ là trường hợp các phần mục phòng tạo ra hiện tượng độc lập thống kê và các quá trình cần được kết hợp.

Đơn giản hóa và xấp xỉ hóa

Tại điểm bắt đầu mục hính sơ đồ khối ban đầu thường được chi tiết hóa tới mức cụ thể. Tính phức tạp của mục hính tổng thể và các mục hính phân hệ được giảm bằng việc loại bỏ các khối ít ảnh hưởng lớn bài toán, xấp xỉ hóa và đơn giản hoá bằng cách kết hợp các khối.

Ví dụ về cách rýt gọn sơ đồ khối, xét bài toán ước tính hiệu năng mức hệ thống. Nếu coi kênh là kênh thay đổi rất chậm theo thời gian và hệ thống đang hoạt động tại SNR cao thì có thể cho rằng các lỗi đồng bộ sẽ rất nhỏ và vì vậy có thể bỏ qua ảnh hưởng của đồng bộ trong quá trình ước tính hiệu năng. Khi này khung cần mục phòng các phần khôi phục định thời và khôi phục xung mang và có thể xoá bỏ ra khỏi sơ đồ khối.

Mở rộng việc dựng xấp xỉ hóa và giả định để đơn giản mục hính mục phòng. Giả định và xấp xỉ hóa được sử dụng phổ biến nhất bao gồm việc tuyến tính hóa và bất biến hóa theo thời gian. Hầu hết các hệ thống thực tế, khi được quan trắc trong thời gian dài và tròn dài tín hiệu đầu vào thay đổi rộng, có thể biểu lộ tính phi tuyến và thay đổi theo thời gian nhưng chững có thể được xấp xỉ tốt bởi các mục hính tuyến tính và bất biến theo thời gian trong các khoảng thời gian ngắn và các mức tín hiệu thấp.

Bất biến theo thời gian ngụ ý rằng trong khoảng thời gian mục phòng, các đặc tính của tín hiệu và các thành phần hệ thống đang được mục phòng là không thay đổi. Thực tế, tính bất biến theo thời gian là tương đối. Nếu tham số hệ thống thay đổi chậm thì có thể coi một số thống kê là cố định trong khoảng thời gian mục phòng. Chẳng hạn, xét bài toán ước tính BER trên kênh vụ tuyến trong đó các ảnh hưởng và thu là dừng. Nếu: (i) những thay đổi trong đặc tính kênh là do thay đổi điều kiện nhiễu quyển; (ii) tốc độ ký hiệu truyền dẫn là vài triệu ký hiệu trên giây thì có thể coi kênh là "tĩnh". Điều đó nói rằng kênh vẫn duy trì cùng một điều kiện trong khi vài trăm triệu ký hiệu đi qua nó và đặc biệt có ý nghĩa khi xác định xác suất lỗi tức thời trong điều kiện kênh cho trước. Nếu BER được ước tính là khoảng 10^{-3} thì chỉ cần mục phòng vài nghìn ký hiệu để ước tính BER. Điều này thể hiện khoảng thời gian mục phòng là vài ms trong khi hằng số thời gian của kênh là khoảng vài phút vì vậy nó là hợp lý để coi kênh là tĩnh trong khoảng thời gian mục phòng. Việc lấy xấp xỉ tĩnh có vai trò rất quan trọng để đơn giản hoá các mục hính mục phòng.

Giả định tĩnh và đơn giản hoá có thể được áp dụng cho hệ thống bất kỳ trong đó tồn tại hiện tượng và các quá trình có các độ rộng băng khác nhau đồng đều. Khi này, có thể mục phòng các ảnh hưởng của quá trình thay đổi nhanh hơn trong khi đó vẫn đang coi quá trình chậm trong trạng thái cố định. Vì vậy, có thể coi giả định tĩnh là yêu cầu để phân chia hóa và điều kiện hóa.

Tương tự, ta sử dụng các phép xấp xỉ tuyến tính cho các thành phần phi tuyến. Tổng quát, việc phân tích các mục hõnh phi tuyến là rất phức tạp nhưng với mục phỏng có phần dễ dàng hơn nhưng chệnh vẫn đặt ra vài vấn đề. Mỗi khi có thể ta nên cố gắng lấy xấp xỉ thuộc tính của các thành phần này bằng các mục hõnh tuyến tính.

Cuối cùng, ta sử dụng nhiều nguyên lý hệ thống tuyến tính để đơn giản hóa sơ đồ khối. Ta có thể kết hợp vài khối nối tiếp và song song thành một khối bằng cách nhõn hoặc cộng các hàm truyền đạt. Trường hợp các khối tuyến tính bất biến cho phép thay đổi thứ tự các khối để đơn giản mục hõnh đơn. Các loại đơn giản đặc biệt có ý nghĩa khi mục phỏng ước tính hiệu năng bởi lẽ: (i) các mục phỏng ước tính hiệu năng thường rất lâu; (ii) khỏ với trường hợp mục phỏng được dựng để hỗ trợ thiết kế chi tiết, ta khụng quan tâm quan sát tiến hóa và tiến triển của dạng sóng qua mỗi khối chức năng mà chỉ quan tâm so sánh các dạng sóng vào/ra và đếm các lỗi. Theo đó, các dạng sóng trung gian rất ỏt được quan tâm hoặc sử dụng. Vỡ vậy, có thể rýt gọn toàn bộ hệ thống cũn rất ỏt khối dẫn đến giảm đõng kể thời gian mục phỏng. Nếu các khối có cùng mức độ phức tạp thờ kết hợp hàm truyền đạt của n khối sẽ dẫn tới tiết kiệm tính toán khoảng n lần.

2.2.2. Mục hõnh hóa các khối chức năng

Vai trò của mỗi khối chức năng trong hệ thống truyền thụng là thực hiện chức năng xử lý tín hiệu cụ thể, vỡ vậy mục hõnh mục phỏng sẽ phản ỏnh chức năng này với các mức trừu tượng thay đổi. Bất chấp tính chi tiết cục bộ, mục hõnh mục phỏng tiếp nhận chuỗi mẫu dạng sóng đầu vào theo trõnh tự thời gian và tạo ra tập các mẫu đầu ra cũng theo trõnh tự thời gian ứng với đặc tính truyền đạt cụ thể. Một số lựa chọn và xem xét phải tính đến khi xõy dựng mục hõnh và ta mô tả một số vấn đề phương pháp luận liờn quan đến việc mục hõnh hoỏ trong các phần sau.

Mục hõnh mục phỏng của phõn hệ hoặc thành phần (khối) là biến đổi của dạng:

$$\{y[k], y[k-1], \dots, y[k-m]\} = F\{x[k-j], x[k-j-1], \dots, x[k-j-n]; k; p_1, p_2, \dots, p_q\} \quad (2.5)$$

Trong đó $x[k]$ biểu diễn các mẫu đầu vào, $y[k]$ biểu diễn các mẫu đầu ra, p_1, p_2, \dots, p_q biểu diễn các tham số của khối và $k = m, 2m, 3m, \dots$ là chỉ số thời gian. Mục hõnh sử dụng n mẫu đầu vào để tạo m mẫu đầu ra trõn “*dẫn chứng*” của mục hõnh theo biến đổi F , sẽ được định nghĩa theo: các mẫu đầu vào, các tham số của khối, chỉ số thời gian k . Nếu biến đổi F khụng phụ thuộc vào chỉ số k thờ mục hõnh là bất biến theo thời gian. Nếu $m > 0$ thờ mục hõnh được xỏt là mục hõnh vào/ra khối và khi $m = 0$ ta có mục hõnh từng mẫu. Nếu $n = 0$ thờ mục hõnh khụng nhớ.

Khi xõy dựng mục hõnh cho khối chức năng và thực hiện mục phỏng phải xỏt đến nhiều nhõn tố. Những nhõn tố này liờn quan với nhau thậm chí chệch xuất hiện bất kỳ.

Biểu diễn tương đương thụng thấp

Các hệ thống truyền thụng chứa thành phần và tín hiệu có bản chất thụng dải hoặc thụng thấp. Từ viễn cảnh mục phỏng, nhận được các thuận lợi tính toán toàn nếu biểu diễn tất cả tín hiệu

và phần tử hệ thống ở dạng tương đương thung thấp phức. Với tín hiệu và hệ thống tuyến tính, tương đương thung thấp có được bằng cách dịch phổ thung băng từ tần số sóng mang về tần số

$f = 0$ và mù hình tuyến tính của khối có thể được thực hiện bằng cách sử dụng biểu diễn tương đương thung thấp của các tín hiệu đầu vào/ra và biến đổi tín hiệu, được chi tiết hóa ở chương 4.

Tương đương thung thấp của tín hiệu xác định đạt được qua chuyển dịch phổ tần của nó, trong khi đó đối với tín hiệu ngẫu nhiên thực hiện dịch mật độ phổ công suất. Nếu phổ thung băng khụng đối xứng qua các sóng mang thì biểu diễn tương đương thung thấp trong miền thời gian là giả trị phức. Hơn nữa, khi này các thành phần của quá trình ngẫu nhiên tương đương thung thấp sẽ được tương quan nhau.

Đối với loại hệ thống phi tuyến cũng có thể sử dụng biểu diễn tương đương thung thấp. Chi tiết hóa mù hình tương đương thung thấp cho hệ thống phi tuyến được mù tả ở chương 12.

Lấy mẫu

Một khi tín hiệu và hệ thống là thung thấp (trong trường hợp thung băng của chệng được biểu diễn bởi tương đương thung thấp) thì chệng có thể được lấy mẫu và biểu diễn bởi các mẫu cách đều nhau. Trường hợp thung thấp lý tưởng, tốc độ lấy mẫu nhỏ nhất phải gấp hai lần độ rộng băng tần của tín hiệu. Tuy nhiên, thực tế các hàm tần số có thể khụng được giới hạn độ rộng băng thì tốc độ lấy mẫu thường lấy là 8 đến 16 lần độ rộng băng tần. Trường hợp các hệ thống số thì tốc độ lấy mẫu thường chọn là 8 đến 16 lần tốc độ ký hiệu. Các nhữn tố như lỗi chồng phổ, mộ tần số khi thực thi bộ lọc và nở rộng băng thung do tính phi tuyến đều phải được tính đến khi chọn tốc độ lấy mẫu. Có thể giảm thiểu các ảnh hưởng này bằng cách tăng tốc độ lấy mẫu nhưng lại làm tăng tải tính toán (thời gian mù phỏng lâu hơn) vì vậy cần phải dung hoà độ chính xác và thời gian mù phỏng. Lấy mẫu đa tốc độ, kích thước bước khả biến... là các kỹ thuật được ỏp dụng để giảm tải tính toán.

Mù hình tuyến tính và phi tuyến

Trong khi hầu hết các khối là tuyến tính thì một phần động kể của hệ thống cần phải xử lý phi tuyến. Tồn tại một số xử lý phi tuyến là chủ ý và khụng chủ ý. Minh chứng cho loại chủ ý như: các bộ ổn bằng hồi tiếp quyết định, tính phi tuyến trong các phữn hệ đồng bộ... Với loại khụng chủ ý như: tính cách phi tuyến của các bộ khuếch đại.

Như xấp xỉ đầu tiên, có thể mù hình hóa hầu hết tính phi tuyến là có các ảnh hưởng tuyến tính lớn các tín hiệu truyền thung, đặc biệt nếu tín hiệu là tín hiệu đường bao khụng đổi. Tuy nhiên, trong các hệ thống đa sóng mang hoặc trong các hệ thống đơn sóng mang với điều chế biên độ cầu phương bậc cao (M-QAM) thì tính cách phi tuyến khụng chủ ý có ảnh hưởng động kể lớn hiệu năng hệ thống và vì vậy cần phải xét các mù hình mù phỏng phi tuyến. May thay, hầu hết tính cách phi tuyến này đều có thể được mù hình hóa một cách hiệu quả bằng cách sử dụng biểu diễn tương đương thung thấp phức.

Tồn tại nhiều giải pháp để mục hồnh hóa các hệ thống cú tính phi tuyến. Chặng gồm, các phương pháp phi tuyến chuỗi lũy thừa khụng nhớ, các mục hồnh phi tuyến chọn lọc tần số cú nhớ và các phương trình vi phân phi tuyến. Tổng quát, việc phân tách toàn học các hệ thống phi tuyến và ước lượng các ảnh hưởng của tính phi tuyến là khú. Tuy nhiên, dựng mục phỏng thờ đơn giản hơn ngay cả với các mục hồnh phi tuyến chọn lọc tần số.

Các mục hồnh phi tuyến được phân thành hai loại chính: (i) các mục hồnh khối vào-ra; (ii) các phương trình vi phân phi tuyến. Tập các mục hồnh thứ nhất thường dựa vào các phép đo trong khi đủ lớp các mục hồnh thứ hai thường được rýt ra từ việc mục hồnh hóa tính cách vật lý của thiết bị. Các giải pháp của các mục hồnh phương trình vi phân phi tuyến được thực hiện bằng cách sử dụng các mục hồnh tách phân bước thời gian khả biến (cú hiệu quả tính toán nhất mặc dù chặng cú thể mất nhiều thời gian thiết lập hơn). Cũng cú thể phân giải một phân hệ phi tuyến vào dạng sơ đồ khối và mục phỏng dạng sơ đồ khối bằng cách sử dụng các khối cơ bản sẵn cú trong thư viện mục phỏng. Giải pháp này mặc dù dễ thiết lập hơn nhưng sẽ khụng là giải pháp hiệu quả tính toán cao nhất.

Một nhón tố quan trọng phải được xét đến khi mục phỏng các phần tử phi tuyến là tính phi tuyến gây ra đón rộng độ rộng băng tần (nở phổ) vỡ vậy tốc độ lấy mẫu phải được chọn đủ lớn để bắt giữ các ảnh hưởng của sự nở rộng độ rộng phổ tần.

Bất biến theo thời gian

Như đó được trình bày, tất cả các hệ thống, các thành phần và các quá trình sẽ biểu lộ tính cách thay đổi theo thời gian khi quan sát trong khoảng thời gian dài. Việc sử dụng hay khụng sử dụng mục hồnh thay đổi theo thời gian được định hướng bởi một số nhón tố. Xét ba trường hợp sau:

Trường hợp thứ 1: Trong nhiều ứng dụng như mục hồnh hóa và mục phỏng sợi quang, các đặc tính sợi quang cú thể thay đổi rất ốt tròn tuổi thọ của hệ thống truyền thụng và vỡ vậy chọn mục hồnh bất biến theo thời gian.

Trường hợp thứ 2: Tính cách thay đổi theo thời gian cú thể đồng kể nhưng tốc độ thay đổi của chặng rất thấp so với độ rộng băng thụng của các phần bất biến theo thời gian của hệ thống. Khi này, lấy *xấp xỉ tựa tĩnh* là hợp lệ, thực hiện mục phỏng bằng cách sử dụng những chớp ảnh cố định của các phần thay đổi theo thời gian, sau đó lấy trung bình các kết quả (nghĩa là, phân chia hóa và trung bình hóa). Trong hai trường hợp này, phép đo hiệu năng là một số trung bình hóa dài hạn chứ khụng phải là tính cách động.

Trường hợp thứ 3: Đui khi được chứng thực là mục phỏng *động* các thay đổi theo thời gian, được dựng khi những biến đổi theo thời gian là “*nhanh*” và hiệu năng của hệ thống dựa vào tính cách nhất thời hay động của hệ thống. Trường hợp điển hình là việc bắt và bóm tính cách nhất thời của phân hệ đồng bộ làm việc trong mục trường kờnh pha đỉnh nhanh. Mục hồnh mục phỏng cho trường hợp này sẽ là mục hồnh đường trễ rẽ nhónh cú các hệ số khuếch đại nhónh thay đổi theo thời gian, thường được mục hồnh hóa là các quá trình ngẫu nhiên được lọc.

Trong khi khó dễ dàng rýt ra và thực thi mũ hõnh mũ phỏng đường trễ rẽ nhõnh cho cõc hệ thống thay đổi theo thời gian thờ hai nhõn tớ phải được tĩnh đến là: (i) do tĩnh thay đổi theo thời gian gĩy ra hiện tượng nở phổ tần đồng kể, hậu quả là phải lấy mẫu cao hơn; (ii) khụng được thay đổi thứ tự cõc khối cú tĩnh thay đổi theo thời gian bởi lẽ khụng tồn tại tĩnh chất giao hoản đối với cõc hệ thống thay đổi theo thời gian.

Tĩnh nhớ

Nếu đầu ra tức thời $y[k]$ của một phần tử phụ thuộc vào đầu vào tức thời $x[k]$ thờ phần tử đó là khụng nhớ; ngược lại là cú nhớ. Cõc bộ lọc, do cú tĩnh cõch chọn lọc tần số nờn thuộc loại cú nhớ (lưu ý, tĩnh cõch chọn lọc tần số là đồng nghĩa với tĩnh cú nhớ). Ngoài ra, một số loại phi tuyến cú nhớ và tồn tại nhiều mũ hõnh khả dụng để mũ phỏng chỷng. Đặc biệt cần thận khi thực hiện cõc mũ hõnh cú nhớ theo lưu giữ cõc trạng thờ nội tại của mũ hõnh sao cho mũ hõnh cú thể trở lại. Vớ dụ khi dựng mũ hõnh bộ lọc tổng quĩt cho một vài trường hợp trong sơ đồ khối thờ trạng thờ bõn trong của mỗi trường hợp của bộ lọc phải được lưu giữ riêng biệt sao cho khi mũ hõnh bộ lọc được dựng đến vài lần trong quĩ trởnh mũ phỏng nú luận được đi vào trạng thờ nguyên vẹn trước đó.

Mũ phỏng trong miền thời gian và miền tần số

Cú thể mũ hõnh hóa và mũ phỏng quan hệ vào/ra của cõc khối chức năng trong miền thời gian hoặc miền tần số. Gõnh nặng tĩnh toản của 2 giải phĩp cho cõc khối tuyến tĩnh thường là tương đương, miền phự hợp để thực thi phụ thuộc vào miền mà cõc đặc tĩnh kỹ thuật được cung cấp khởi đầu, chẳng hạn nếu bộ lọc được xĩ định theo đĩp ứng tần số thờ nờn chọn miền tần số. Trường hợp phi tuyến, cõc đặc tĩnh kỹ thuật và việc thực hiện đa phần được thực hiện trong miền thời gian.

Trong khi việc thực hiện mũ hõnh cú thể trong cả miền thời gian và tần số thờ thực tế thường dựng cõc mẫu trong miền thời gian để biểu diễn tĩn hiệu vào/ra. Cõc mũ hõnh trong miền tần số, vớ dụ như dựng FFT để mũ phỏng cõc bộ lọc cần phải lưu đệm nội bộ cõc mẫu đầu vào miền thời gian, lấy biến đổi vectơ đầu vào đó được lưu trong bộ đệm theo cõch xử lý trong miền tần số, FFT ngược, và lưu đệm tại đầu ra. Phải lưu đệm bởi lẽ thực hiện biến đổi là hoạt động xử lý khối dựa tròn tập cõc mẫu chứ khụng phải là xử lý theo từng mẫu. Trong quĩ trởnh mũ phỏng, cõc mẫu đầu vào và đầu ra cú thể xuất/nhập bộ đệm theo từng mẫu tại một thời điểm hoặc theo cõc khối N mẫu.

Xử lý khối

Một mũ hõnh cú thể tiếp nhận và xử lý một mẫu tại một thời điểm hoặc một khối N mẫu miền thời gian tròn một lần cần đến. Hiệu quả tĩnh toản của 2 phương phĩp sẽ phụ thuộc vào tĩnh phức tạp và phần mào đầu lĩn quan với lần gọi của mũ hõnh. Nếu mũ hõnh cú số cõc trạng thờ nội bộ và cõc tham số là nhỏ hoặc nếu thụng tin mào đầu để gọi (hay làm xuất hiện) mũ hõnh là nhỏ so với cõc tĩnh toản được thực hiện bõn trong mũ hõnh, thờ việc gọi (làm xuất hiện) mũ hõnh tròn cơ sở từng mẫu là thuận tiện và hiệu quả. Khi thụng tin mào đầu để gọi mũ hõnh là lớn thờ việc sử dụng khối hoặc giải phĩp xử lý vectơ cú (mũ hõnh được gọi bằng một vectơ đầu vào kĩch cỡ N) cho ta hiệu quả tĩnh toản cao.

Xử lý khối dẫn đến phải lưu đệm và giao diện tốt với các khối trước và theo khối. Xử lý khối gõ trẻ $N \cdot T_s$ giây, bởi lẽ đầu ra khung thể được tính toán cho đến khi tập hợp được toàn bộ N mẫu đầu vào và được chuyển vào mù hõnh. Kể cả mù hõnh vào/ra khối trong vũng hồi tiếp sẽ tạo ra các kết quả sai do trẻ xử lý lớn. Ngoài ra, nếu mù hõnh xử lý khối được trộn lẫn với mù hõnh phi tuyến thì nờn trở lại phương pháp xử lý theo từng mẫu đối với phần tử phi tuyến tính, vỡ gõy nghẽn đầu vào và xử lý tròn cơ sở từng khối dựng nguyên lý xếp chồng, xếp chồng khung được ỏp dựng cho phần tử phi tuyến. Vớ dụ tỡnh huống này xảy ra khi tính phi tuyến xuất hiện giữa hai bộ lọc FFT kiểu phỏt sinh và chồng chấp. Bộ lọc FFT phỏt sinh và chồng chấp dựa vào nguyên lý tuyến tính. Kỹ thuật tính toán ỏp ứng bộ lọc cho các khối khung chồng chấp của các mẫu đầu vào và cộng các ỏp ứng tại đầu ra. Với phần tử phi tuyến sau bộ lọc, phương pháp xử lý khối khung thể thực hiện được cho phần tử phi tuyến bởi lẽ xếp chồng khung ỏp dựng được đối với tính phi tuyến. Để xử lý chính xác thực hiện theo trình tự sau: (i) ỏp ứng ra do mỗi khối của các mẫu đầu vào phải được cộng tại đầu ra của bộ lọc đầu tiên; (ii) mù hõnh phi tuyến xử lý đầu ra đó cộng của bộ lọc đầu tiên tròn cơ sở từng mẫu; (iii) đầu ra của phần tử phi tuyến được xử lý bởi bộ lọc thứ hai sử dụng chồng chấp và phương pháp cộng của xử lý khối. Chi tiết hóa cho bài toàn này được xỏt ở chương 12.

Một yếu tố khác phải tính đến khi bàn về xử lý khối là lập lịch. Nếu các mù hõnh khác nhau trong hệ thống sử dụng các kích thước khối vào/ra khác nhau thì khung mù phỏng nờn cú khả năng lập lịch thứ tự và tần suất gọi (gọi các phỏn hệ) phự hợp.

Xử lý kích thước bước khả biến

Xử lý đa tốc độ được sử dụng trong mù phỏng nếu mù hõnh hệ thống chứa các quả trình và hiện tượng cú băng thụng khác nhau lớn. Với lấy mẫu đa tốc độ, mỗi tín hiệu được lấy mẫu và được xử lý tại tốc độ phự hợp với băng thụng của nó, dẫn đến cải thiện đồng kể hiệu quả tính toán. Khi sử dụng lấy mẫu đa tốc độ, cần đến nội suy để giao tiếp các luồng mẫu với các tốc độ lấy mẫu khác nhau.

Xử lý kích thước bước khả biến cũng thường được sử dụng để cải thiện hiệu quả tính toán. Giải phỏp này thường được sử dụng trong các thường trình tách phỏn số để giải các phương trình vi phỏn tuyến tính và phi tuyến. Nếu các phương trình vi phỏn cơ bản và các nghiệm của chúng được giải chính xác thì giải phỏp này sẽ giảm đồng kể tải tính toán. Khi dựng kích thước bước khả biến trong mù hõnh thì đầu ra phải được lưu đệm và được lấy mẫu lại nếu các khối sau sử dụng kích thước bước khung đổi.

Tham số hóa

Một trong những lý do cơ bản sử dụng mù phỏng là tối ưu hóa thiết kế, trong hầu hết các trường hợp làm giảm việc thử nghiệm giá trị tối ưu của các tham số tới hạn như băng thụng của bộ lọc thu, điểm hoạt động của bộ khuếch đại và số mức lượng tử được sử dụng trong môy thu. Muốn vậy, các mù hõnh phải được tham số hóa một cách phự hợp và các tham số thiết kế chủ đạo nờn được thể hiện ra ngoài; nghĩa là các mù hõnh nờn cú “*điều chỉnh ngoài*” để điều chỉnh tham số thiết kế một cách lập trong quả trình mù phỏng. Phải tính đến số lượng tham số cần phải cú đối với một mônh cho trước. Tổng quỏt, nờn nhỏ nhất cú thể, vỡ hệ thống truyền thụng phức tạp cần cú nhiều thành phần. Nếu mỗi thành phần cú nhiều tham số phự thờ toàn bộ

khụng gian tham số sẽ rất lớn. Khi này sẽ rất khó để tối ưu thiết kế dựng mục phỏng. Theo đó, khi số lượng các tham số càng ít thì việc đo các giá trị tham số và phờ chuẩn càng dễ dàng hơn.

Giao tiếp giữa các khối chức năng

Cộng với giải phỏp mục hỡnh húa và mục phỏng được sử dụng cho mỗi thành phần phụ thuộc vào bản chất của thành phần sẽ được mục hỡnh húa và mục phỏng, cũng cần phải tónh đến giao tiếp giữa các khối chức năng. Vỡ sơ đồ khối hệ thống gồm một tập các khối được kết nối với nhau, phải đảm bảo tónh kờn định và tónh tương thớch cho cả cơ cấu mục phỏng và/hoặc người dựng. Sẽ dễ dàng hơn nếu các mục hỡnh của các khối rờng biệt được xõy dựng cú các giao diện được định nghĩa và dẫn chứng rừ ràng. Một số lý giải cho sự khụng phự hợp gồm: các miền xử lý khỏc nhau, các loại tón hiệu, kớch thước khối, kớch thước bước, lấy mẫu đa tực độ, đặc tónh kỹ thuật các tham số khụng kờn định trong các khối khỏc nhau và nhiều lý do khỏc đó được sơ qua ở các phần trước.

Nhiều khó khăn khi mục phỏng mục hỡnh phức tạp mức hệ thống xuất phỏt từ sự khụng phự hợp này. Vỡ vậy cần phải cẩn thận khi cộng thức húa mục hỡnh mục phỏng tổng thể, lựa chọn các khối rờng biệt và các tham số của chỳng trong viờn cảnh khụng chỉ đối với các mục hỡnh rờng biệt mà cũn đối với mục hỡnh chung tổng thể.

2.2.3. Mục hỡnh húa và mục phỏng quả trỡnh ngẫu nhiên

Giả sử cú một mục hỡnh hệ thống với mức trừu tượng cao nhất và tónh phức tạp thấp nhất, quan tớn các mặt của phương phỏp luận, ứng dụng vào việc mục hỡnh húa và tạo các dạng súng đầu vào (tón hiệu, tạp õm và nhiễu) điều khiển mục hỡnh mục phỏng. Vỡ mục đích cơ bản của mục phỏng mức dạng súng là *phỏng tạo* các dạng súng trong hệ thống và tónh toàn một số *phỏp đo* dạng súng một cớch trung thực, muốn vậy trước hết cần phải lập mục hỡnh và mục phỏng các dạng súng đầu vào hoặc tởc nhõn kớch thớch.

Trong hệ thống truyền thụng, dạng súng mang thụng tin, tạp õm và nhiễu mang bản chất ngẫu nhiên và được mục hỡnh húa bằng các quả trỡnh ngẫu nhiên. Dừng là giả định đa năng nhất vỡ nú cú thể được biện minh trong nhiều trường hợp dựa vào bản chất của tón hiệu hoặc chuỗi đang được mục hỡnh.

Các quả trỡnh ngẫu nhiên dừng được đặc trưng húa bởi các phõn bố xỏc suất nhiều chiều, khó để xỏc định, và ở dạng tổng quỏt rất khó tạo các giỏ trị mẫu của một quả trỡnh dừng cú phõn bố n chiều bất kỳ. Ngoỏi trừ quả trỡnh Gauss dừng, hoàn toàn được xỏc định bởi phõn bố bậc 2 (các tham số của nú là hàm tự tương quan và trung bỡnh). Đối với các quả trỡnh khụng Gauss, thực tế giới hạn các đặc tónh kỹ thuật thành các phõn bố bậc 2.

Các giỏ trị mẫu của các quả trỡnh ngẫu nhiên được dựng để điều khiển mục phỏng là các chuỗi các số ngẫu nhiên được tạo ra bởi các bộ tạo số ngẫu nhiên. Các thuật toán để tạo các chuỗi ngẫu nhiên với phõn bố bất kỳ (bậc một và bậc hai) và các hàm tương quan thường được thấy trong các chương sau. Dưới đõy đề cập một số mặt của phương phỏp luận để lập mục hỡnh và tạo các giỏ trị lấy mẫu của quả trỡnh ngẫu nhiên.

Xấp xỉ Gausơ

Xấp xỉ Gausơ bởi định lý giới hạn trung tâm, nếu cú cộc biến ngẫu nhiên X_i là độc lập, thờ $Y = X_1 + X_2 + \dots + X_n$ tiến dần tới phõn bố Gausơ khi n lớn. Vỡ vậy tập õm ăng ten thu, được đùng gúp bởi một số lượng lớn cộc nguồn, cú thể được xấp xỉ bởi quỏ trõnh Gausơ. Tương tự nhiều từ một số lượng lớn người dựng cũng cú thể được xấp xỉ bởi quỏ trõnh Gausơ và vỡ vậy khụng nhất thiết tạo cộc tón hiệu riêng biệt từ một số lượng lớn người dựng và lấy tổng chõng lại.

Biểu diễn quỏ trõnh tương đương

Khỏi niệm thứ hai bàn về quan điểm biểu diễn quỏ trõnh tương đương, được phõt biểu như sau: Giả sử cho một quỏ trõnh ngẫu nhiên $X(t)$ đi qua n khối và xuất hiện tại đầu ra của khối thứ n là một quỏ trõnh $Y(t)$. Nếu bằng một số phương tiện (thụng qua phõn tóch vụng, hoặc xấp xỉ hũa, hoặc bằng chõnh mũ phỏng), cú thể suy ra cộc đặc tónh của quỏ trõnh $Y(t)$ thờ toàn bộ quỏ trõnh xử lý sau đó (sau khối thứ n) ta cú thể đơn giản hoỏ bằng cõch chỉ cần thờ một chuỗi (biểu diễn cộc giỏ trị mẫu của $Y(t)$) vỡ vậy bỏ qua việc tạo và xử lý cộc giỏ trị mẫu của $X(t)$ thụng qua n khối. Khi $X(t)$ là Gausơ và cộc khối là *tuyến tónh* thờ cú thể chỉ ra rằng $Y(t)$ cũng là Gausơ. Cộc tham số của quỏ trõnh $Y(t)$ được rýt ra từ phõn tóch hoặc mũ phỏng $X(t)$ qua n khối. Đồng tiếc, sẽ khú rýt ra cộc đặc tónh của $Y(t)$ theo phõp giải tóch khi $X(t)$ là bất kỳ và cộc khối là phi tuyến. Khi này, cú thể dựng mũ phỏng để ước tónh cộc thuộc tónh của $Y(t)$ và cú thể dựng cộc thuộc tónh được ước tónh này để tạo quỏ trõnh tương đương.

Giải phõp này được dựng để biểu diễn tập õm pha trong cộc hệ thống truyền thụng cũng như Jitter pha và định thờ do cộc phõn hệ đồng bộ tạo ra. Giả định được dựng phổ biến nhất ở đõy là quỏ trõnh Gausơ *dùng*. Đối với cộc quỏ trõnh tập õm lỏi vào thờ mật độ phổ cụng suất PSD được giả định là trắng. Với cộc quỏ trõnh khỏc thờ PSD được giả sử là dạng kón cho trước như tỉ số đa thức theo f^2 , trong trường hợp này quỏ trõnh cú thể được tạo ra bằng cõch lọc quỏ trõnh Gausơ trắng bằng bộ lọc cú hàm truyền đạt. Trường hợp cộc hàm PSD bất kỳ, chẳng hạn như trường hợp PSD Doppler của cộc kờnh pha đĩnh, ta cú thể *hoặc* xấp xỉ hũa phỏ bằng tỉ số đa thức theo f^2 và ỏp dụng phương phõp thừa số hũa phỏ để cú được hàm truyền đạt của bộ lọc hoặc làm phự hợp mũ hõnh trung bõnh di chuyển tự hồi quy ARMA trực tiếp theo PSD để đạt được cộc hệ số của bộ lọc đệ quy mà sẽ tạo ra PSD mong muốn.

Cộc quỏ trõnh phi Gausơ với PSD bất kỳ là khú để tổng hợp và mũ phỏng hơn. Một phương phõp xử lý trường hợp này mặc dự rất khú ỏp dụng song cú thể được thấy trong chương 7.

Cộc quỏ trõnh nhanh và chậm

Tồn tại khỏ nhiều hiện tượng ngẫu nhiên cú băng thụng hay “*cộc hằng số thờ gian*” khỏc nhau nhiều. Nếu băng thụng của quỏ trõnh này khỏc nhiều so với băng thụng của quỏ trõnh khỏc thờ nờn dựng một trong hai giải phõp sau để giảm thờ gian mũ phỏng:

Giải phõp thứ nhất: Bài toỏn nờn được phõn chia hũa và điều kiện hũa thành quỏ trõnh chậm và thực hiện mũ phỏng riêng biệt theo giỏ trị của quỏ trõnh chậm nếu cú thể trong khi đó phõn chia hũa hệ thống bàn về việc mũ phỏng quỏ trõnh nhanh hơn. Theo đó, trong quỏ trõnh

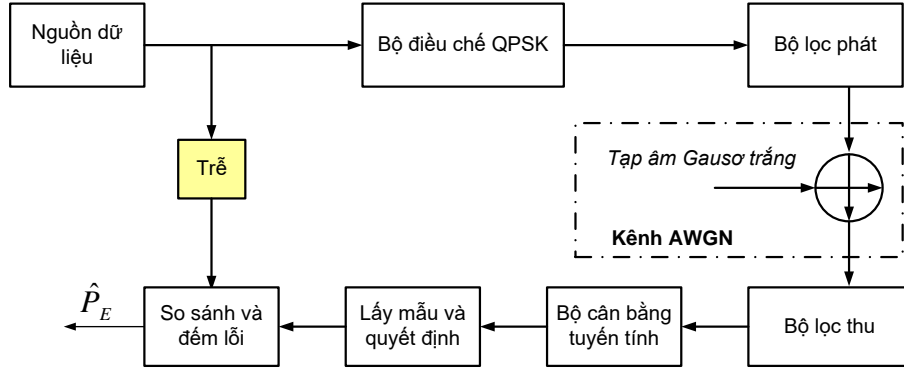
mô phỏng khụng cần phải tạo cở giỏ trị mẫu của quỏ trỡnh chậm bởi lẽ giỏ trị của nú thay đổi rất ỏt trong khoảng thời gian của số lượng lớn cở mẫu của quỏ trỡnh nhanh. Giải pháp này thường được sử dụng để mô phỏng hiệu năng của cở hệ thống truyền thụng đang hoạt động trờn cở kờnh pha đĩnh chậm.

Giải pháp thứ hai: Lấy mẫu đa tốc độ, cở quỏ trỡnh được lấy mẫu tại cở tốc độ khỏc nhau phự hợp với cở băng thụng của chỳng sao cho số cở mẫu được tạo ra trong khoảng thời gian mô phỏng là tỉ lệ nghịch với cở băng thụng của cở quỏ trỡnh tương ứng. Nếu cần cú thể dụng phỏp nội suy và giảm mẫu để trờn cở tốn hiệu này với nhau tại một số điểm trong hệ thống.

2.3. Ước tởnh hiệu năng

Một trong những mục đớch chớnh của mô phỏng là *ước tởnh* hiệu năng. Đối với hệ thống truyền thụng tương tự, phỏp đo hiệu năng cơ bản là tỉ số tốn hiệu trờn tạp ỏm đầu ra SNR_0 . Với hệ thống truyền thụng số, phỏp đo hiệu năng là tỉ số lỗi bit BER hoặc tỉ số lỗi khụng FER. Tỉ số tốn hiệu trờn tạp ỏm SNR cũng là phỏp đo hiệu năng thứ cấp trong cở hệ thống truyền thụng số (vỡ BER là một hàm đơn trị của SNR). Dụng kỹ thuật Monte Carlo để ước tởnh phỏp đo hiệu năng. Để minh họa cở mặt của phương pháp luận cho mô phỏng Monte Carlo và ước tởnh hiệu năng, ta xỏt bài toỏn ước tởnh xỏc suất lỗi trong cở hệ thống truyền thụng số. Mô hỡnh mô phỏng được cho ở hỡnh 2.2. Lưu ý rằng, mô hỡnh mô phỏng khi này là mô hỡnh đơn giản của hệ thống được cho ở hỡnh 2.1. Một số khỏt như đồng bộ và mó hoỏ được loại bỏ. Đồng bộ được coi là lý tưởng hoặc những ảnh hưởng của đồng bộ được xử lý thụng qua việc điều kiện húa và phỏn chia húa như đó được giải thớch trong phần trớớc. Mó hoỏ cũng được loại bỏ vỡ trọng tởm là tởnh toỏn xỏc suất lỗi khụng mó hoỏ trong hệ thống; cở ảnh hưởng của việc mó hoỏ được xử lý rừng biệt trong chương 8. Ngoài ra, kờnh được giả đĩnh là thay đổi *chậm* hoặc *tựa tĩnh*, và cở trọng số bộ cõn bằng là “*ổn đĩnh*” sau khi chỳng hội tụ tới cở giỏ trị cú trạng thỏi ổn đĩnh.

Hiệu năng BER được mô phỏng bằng việc đưa chuỗi bit ngẫu nhiên vào bộ điều chế, qua cở khỏt chức năng của mô hỡnh được cho ở hỡnh 2.2, sau đó được so sánh và đếm lỗi để xỏc đĩnh BER. Lưu ý rằng vỡ mục đớch mô phỏng xỏc đĩnh BER khụng mó húa kiểm soát lỗi nờn khụng cần đến nguồn dữ liệu thực tế, bộ giải mó hoỏ nguồn, bộ mó hoỏ kiểm soát lỗi, bộ đản xen (vỡ ảnh hưởng của những khỏt này là tạo ra chuỗi nhị phỏn ngẫu nhiên). Việc đơn giản húa này phải được thực hiện trớớc khi mô phỏng ước tởnh hiệu năng. Động cơ chủ yếu để đơn giản hoỏ là giảm thời gian mô phỏng. Vỡ vậy, chỉ cở thành phần cú ảnh hưởng đồng kể lờn hiệu năng được chứa trong sơ đồ khỏt.



Hình 2.2: Mô hình mô phỏng để xác định BER

BER được xác định theo phương pháp Monte Carlo, BER khung thể là tất định mà dừng hơn là được ước tính bằng cách cho N ký hiệu qua hệ thống và đếm lỗi. Giả sử rằng đếm được N_e lỗi trong số N ký hiệu đi qua hệ thống thì BER là:

$$\hat{P}_E = \frac{N_e}{N} \quad (2.6)$$

Là một ước tính của xác suất lỗi.

$$P_E = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{N_e}{N} \quad (2.7)$$

Tổng quát, ước tính Monte Carlo khung bị lệch. Khi cỡ cỡ giá trị của N nhỏ dẫn đến ước tính lỗi cú phương sai lớn (khi phương sai của ước tính lớn thì ước tính kộch chính xác), và khi cỡ cỡ giá trị của N là lớn cho ta ước tính lỗi cú phương sai nhỏ. Ước tính \hat{P}_E hội tụ về P_E (giới hạn của xác suất lỗi) khi $N \rightarrow \infty$, vớ vậy thực tế thường dựng N lớn nhất cú thể (cần sự dung hũa cỡ tham số đối nghịch: thời gian mô phỏng và tính chính xác của kết quả mô phỏng). Chương sau sẽ đề cập cỡ kỹ thuật làm giảm phương sai của ước tính lỗi cho giới trị N cố định. Cỡ kỹ thuật giảm phương sai, cần cú sự kết hợp giữa phân tích và mô phỏng, và phải được ỏp dụng cẩn thận. Theo đó, cần cú kiến thức khỏ sôu về lý thuyết ước tính.

Cần đặc biệt lưu ý hai khối chức năng ở hình 2.2 là những khối “trễ” và “so sánh và đếm lỗi”. Đối với: (i) Khối “so sánh và đếm lỗi” cú chức năng rừ ràng là so sánh cỡ ký hiệu thu với cỡ ký hiệu dữ liệu gốc sau đó đếm số lỗi N_e ; (ii) Khối “trễ” xác định thời gian trễ của toàn bộ cỡ phần tử của hệ thống để việc so sánh đếm lỗi được chính xác. Cần lưu ý rằng việc xác định trễ là khú và phải được thực hiện cẩn thận (bởi lẽ tính ngẫu nhiên của cỡ phần tử trong hệ thống). Cú thể được giải thích sơ bộ như sau: Một số khối chức năng cú ỏp ứng pha khỏc khệch, vớ vậy tín hiệu đi qua những khối chức năng này bị trễ thời gian. Kết quả là tín hiệu tại đầu ra của khối nguồn dữ liệu phải được trễ sao cho ký hiệu tại đầu ra của mỗy thu so sánh được với ký hiệu tương ứng tại đầu ra của nguồn dữ liệu. Việc xác định lượng trễ này

phải được thực hiện cẩn thận. Nếu khụng chính xác thỡ ước tónh BER sẽ bị lệch, ước tónh BER sẽ vượt quá suất lỗi định. Việc xác định giỏ trị trễ thóch hợp là phần quan trọng của quy trình hiệu chuẩn. Hiệu chuẩn mù phỏng là một thủ tục để đảm bảo cở mức tón hiệu, cở mức tạp ồm, cở độ trễ và cở thuộc tónh quan trọng khỏc trong mù phỏng hệ thống phự hợp với cở thuộc tónh tương ứng của hệ thống đang được mù phỏng. Chi tiết hóa cho bài toỏn này được đề cập ở chương 10, ở đứ sẽ bàn về kỹ thuật mù phỏng Monte Carlo sỏu hơn.

Khỏ trễ được thực thi là đường trễ chiều dài khả biến. Chiều dài đối với một ứng dụng cụ thể được chọn để nhận được sự đồng chỉnh phự hợp giữa ký hiệu được giải điều chế (tại đầu ra mỷ thu) với ký hiệu phỏt (tại đầu ra nguồn dữ liệu). Độ trễ thường được lượng tử thành một số nguyên lần chu kỳ lấy mẫu. Để điều khiển tốt về độ trễ cần cú chu kỳ lấy mẫu rất ngắn, (tần số lấy mẫu rất lớn) trong mù phỏng. Việc tăng tần số lấy mẫu làm tăng thời gian mù phỏng. Cần phải nghiên cứu bài toỏn tối thiểu thời gian chạy mù phỏng nhưng vẫn đảm bảo độ chính xác, đờy là vấn đề cú *tónh nghệ thuật* của mù phỏng.