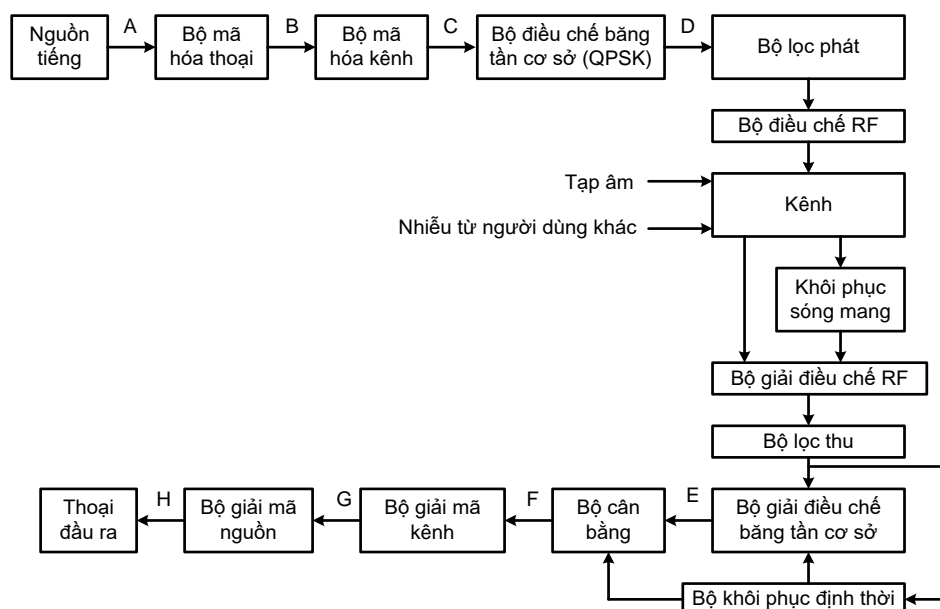


Chương 11

PHƯƠNG PHÁP LUẬN MÔ PHỎNG HỆ THỐNG VÔ TUYẾN

11.1. Mở đầu

Trong chương này ta minh hoạ các khía cạnh của phương pháp luận nhằm ước tính hiệu năng hệ thống truyền thông vô tuyến làm việc trong môi trường kênh *pha đỉnh chậm*. Ta bắt đầu từ sơ đồ khối hệ thống được cho ở hình 11.1.



Hình 11.1: Mô hình mô phỏng mức hệ thống

Giả sử thiết kế hệ thống gần như hoàn thiện và các khía cạnh sau đây của thiết kế đã được hoàn tất:

1. Tín hiệu thoại là nguồn tín hiệu được mã hoá bởi mã hoá dự đoán tuyến tính tạo ra tốc độ bit đầu ra là 9600 bit/s.
2. Mã hóa kiểm soát lỗi dùng bộ lập mã chập tỷ lệ 1/3 và giải mã quyết định cứng (hoặc giải mã quyết định mềm với 8 mức lượng tử).
3. Dùng các bộ lọc loại SQRC 50%.
4. Dùng bộ cân bằng bình phương trung bình tuyến tính (LMS) đồng bộ 9 nhánh.
5. Điều chế QPSK với giải điều chế nhất quán tại máy thu.

Kênh được giả định là kênh đa đường "2 tia" với pha đỉnh chậm (chậm so với tốc độ ký hiệu sao cho kênh được xem là tựa tĩnh). Theo đó, quan hệ vào/ra của kênh được cho bởi:

$$\tilde{y}(t) = \tilde{a}_1(t)\tilde{x}(t - \tau_1(t)) - \tilde{a}_2(t)\tilde{x}(t - \tau_2(t)) \quad (11.1)$$

Trong đó $\tilde{x}(t)$ và $\tilde{y}(t)$ là các đầu vào/ra phức (thông thấp), $\tilde{a}_1(t)$ và $\tilde{a}_2(t)$ trình bày suy hao phức của 2 thành phần đa đường có trễ $\tau_1(t)$ và $\tau_2(t)$. Các suy hao phức được mô hình hóa là các quá trình dừng độc lập và độ rộng băng thông (tốc độ thay đổi) của các quá trình này được coi là nhỏ so với tốc độ ký hiệu. Các suy hao phức được mô hình hóa bởi hai quá trình Gausơ phức độc lập (đường bao Rayleigh) và trễ được coi là phân bố đều (kênh này sẽ được triển khai chi tiết ở chương 14).

Các đặc tính kênh thay đổi ngẫu nhiên là hàm của thời gian. Vì vậy, công suất tín hiệu thu và mức độ gây méo tín hiệu do kênh sẽ ảnh hưởng lên hiệu năng hệ thống, cũng sẽ thay đổi theo thời gian. Khi suy hao tín hiệu và méo là nhỏ, thì hiệu năng hệ thống sẽ rất tốt ngược lại thì hiệu năng hệ thống sẽ giảm đáng kể. Số đo hiệu năng toàn bộ trong hệ thống là chất lượng thoại đầu ra.

Mục đích của mô phỏng là ước lượng hiệu năng hệ thống khi được đo bởi số đo chất lượng thoại V , nó là hàm của E_b/N_0 và cần phải tính toán giá trị E_b/N_0 để duy trì xác suất ngừng hoạt động nhỏ hơn 2% tại mức ngưỡng phẩm chất chất lượng thoại là 3. Tại đây trình bày chi tiết toàn bộ giải pháp được dùng để ước tính xác suất ngừng hoạt động là hàm của E_b/N_0 .

11.2. Tốc độ lấy mẫu và đơn giản hoá mức hệ thống

Giả định pha đỉnh chậm dẫn đến đơn giản hoá mô hình mô phỏng khi ước tính hiệu năng.

1. Đồng bộ hóa: Do pha đỉnh chậm, nên các phân hệ khôi phục pha và định thời có thể thiết lập chuẩn pha và định thời gần như lý tưởng. Vì vậy, khi ước tính hiệu năng có thể bỏ qua các phân hệ này trong mô hình mô phỏng. Khi này, coi đồng bộ hóa là lý tưởng.

2. Kênh tĩnh: Giả định pha đỉnh chậm dẫn đến kênh được coi là *tĩnh* và dùng những chóp ảnh của kênh để ước tính hiệu năng. Tại đây, mô hình kênh đơn giản là:

$$\tilde{y}(t) = \tilde{a}_1\tilde{x}(t - \tau_1) - \tilde{a}_2\tilde{x}(t - \tau_2) \quad (11.2)$$

Trong đó $\tilde{a}_1, \tilde{a}_2, \tau_1$ và τ_2 là các biến ngẫu nhiên có giá trị không đổi trong mỗi lần mô phỏng ước tính hiệu năng. Thực tế thường chuẩn hóa $\tau_1 = 0$ và $\tilde{a}_1 = 1$ dẫn đến quan hệ vào/ra là:

$$\tilde{y}(t) = \tilde{x}(t) - \tilde{a}\tilde{x}(t - \tau) \quad (11.3)$$

Hàm truyền đạt kênh là:

$$H_c(f) = 1 - \tilde{a}e^{-j2\pi f\tau} \quad (11.4)$$

Trong mô hình này, kênh được đặc trưng bởi 2 biến ngẫu nhiên \tilde{a} và τ trong đó \tilde{a} có hàm pdf phân bố Rayleigh và τ có hàm pdf phân bố đồng đều.

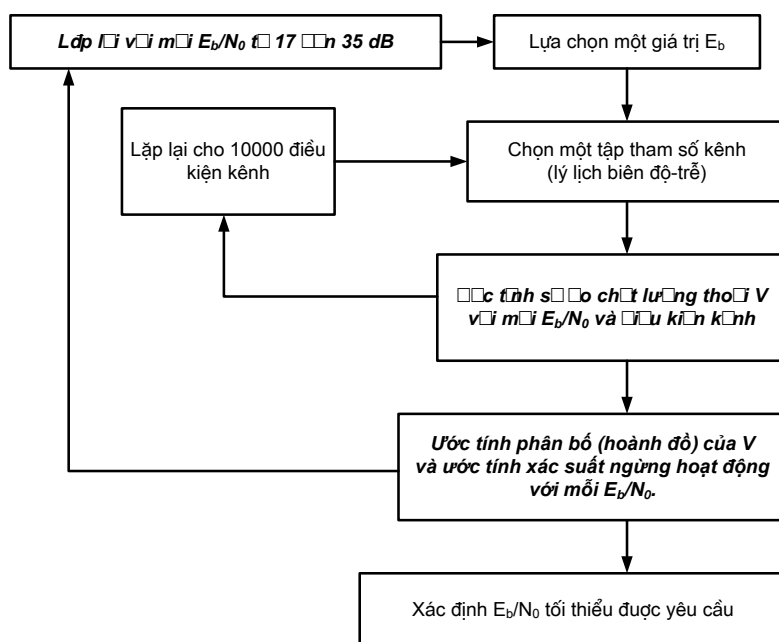
3. Bộ điều chế và bộ giải điều chế RF: Giả định hai khối này chỉ thực hiện dịch tần số một cách lý tưởng, vì vậy chúng được loại bỏ ra khỏi mô hình mô phỏng. Vì vậy, toàn bộ hệ thống được mô phỏng dùng các biểu diễn tương đương thông thấp phức.

Tốc độ lấy mẫu

Tốc độ lấy mẫu tổng thể là tham số mô phỏng quan trọng phải được thiết lập khi bắt đầu. Nguồn tín hiệu thoại, bộ mã nguồn, khối lập mã kiểm soát lỗi ở phía phát, bộ giải mã kiểm soát lỗi, khối giải mã nguồn làm việc trên các chuỗi ký hiệu, chúng nên được mô phỏng tại tốc độ một mẫu trên ký hiệu (nghĩa là, chúng được xử lý tại tốc độ ký hiệu hoặc bit phù hợp). Từ đầu ra bộ điều chế QPSK tới đầu ra bộ cân bằng, ta sẽ xử lý dạng sóng, vì vậy tín hiệu và các thành phần trong nhóm này, chúng nên được mô phỏng tại tốc độ lấy mẫu phù hợp với băng thông tín hiệu và thành phần. Vì không có các thành phần phi tuyến thay đổi theo thời gian LTV trong hệ thống, nên không cần xét đến hiện tượng mở rộng băng thông. Theo đó, không cần phải xét lấy mẫu đa tốc độ bởi lẽ chúng không liên quan đến các tín hiệu có các độ rộng băng tần khác nhau. Tốc độ lấy mẫu cho phần "*tương tự*" của hệ thống được thiết lập gấp 16 lần băng thông tín hiệu QPSK. Điều này có thể cắt băng thông của bộ lọc **Cosin** tăng, nó bằng 0,75 lần tốc độ ký hiệu ($0,5R + 50\%$ của $(0,5R) = 0,75R$). Với tốc độ ký hiệu QPSK, $R = (9600 \times 3)/2 = 14.400$ ký hiệu/giây, thì ta dùng tốc độ lấy mẫu $16 \times 0,75 \times 14.400 = 172.800$ mẫu/giây tương đương với 12 mẫu/ký hiệu QPSK.

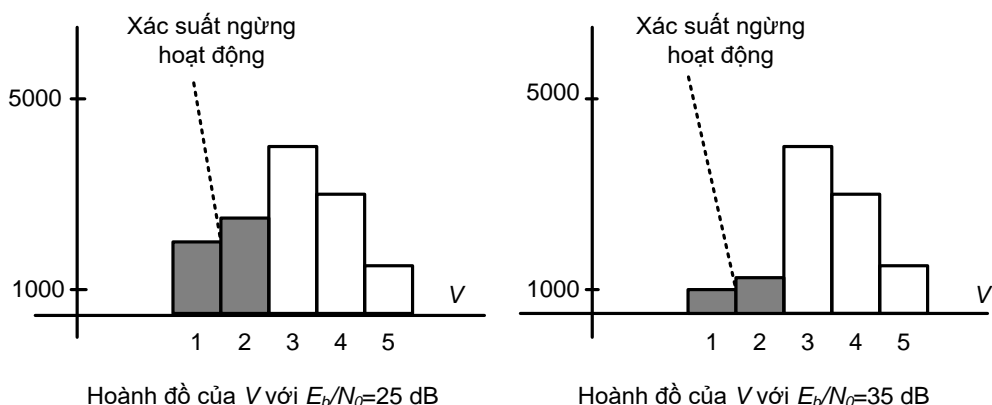
11.3. Phương pháp luận toàn diện

Khi ước tính xác suất ngừng hoạt động, ta cần phải xác định khoảng thời gian mà các điều kiện kênh làm giảm hiệu năng hệ thống dưới mức ngưỡng. Vì các tham số kênh là các biến ngẫu nhiên, nên ta dùng giải pháp Monte Carlo để xác định xác suất ngừng hoạt động. Giải pháp Monte Carlo bao gồm việc lấy ra các số ngẫu nhiên từ phân bố của các tham số kênh $\tilde{\alpha}$ và τ , và tính toán hiệu năng hệ thống cho mỗi cặp giá trị của $\tilde{\alpha}$ và τ . Ước tính xác suất ngừng hoạt động là phần trăm của các kênh được mô phỏng tạo ra số đo hiệu năng dưới mức chấp nhận (ngưỡng). Lưu ý rằng, phần mô phỏng Monte Carlo này là khác với mô phỏng Monte Carlo ước tính hiệu năng cho mỗi điều kiện kênh. Mô phỏng Monte Carlo để ước tính hiệu năng gồm việc tạo các giá trị mẫu của một hoặc nhiều quá trình ngẫu nhiên mà nó thể hiện cho các tín hiệu và tạp âm.



Hình 11.2: Lưu đồ ước tính xác suất ngừng hoạt động

Lưu đồ ước tính xác suất ngừng hoạt động được cho ở hình 11.2. Để ước tính xác suất ngừng hoạt động, cần phải tính hiệu năng hệ thống khi được đánh giá bởi số đo chất lượng thoại đầu ra cho mỗi giá trị của E_b/N_0 với hàng ngàn chóp ảnh của kênh. Ta thường định nghĩa kênh theo \tilde{a} và τ (lý lịch biên độ-trễ). Một số điều kiện kênh sẽ gây ra suy thoái đáng kể hiệu năng dẫn đến số đo chất lượng thoại dưới mức ngưỡng. *Xác suất ngừng hoạt động ứng với giá trị E_b/N_0 cho trước được ước tính bằng tỉ số các kênh được mô phỏng (tạo ra số đo chất lượng thoại thấp hơn ngưỡng) trên tổng số các kênh được mô phỏng*. Khi E_b/N_0 tăng thì sẽ giảm xác suất ngừng hoạt động. Bằng cách lặp lại các mô phỏng cho các giá trị khác nhau của E_b/N_0 ta có thể tìm giá trị của E_b/N_0 (tối thiểu) mà đảm bảo xác suất ngừng hoạt động nhỏ hơn 2%. Ta giả sử rằng, dải giá trị của E_b/N_0 được xét là 17 đến 35 dB với bước nhảy 2 dB, và cũng giả thiết rằng với mỗi giá trị của E_b/N_0 ta mô phỏng 10000 điều kiện kênh để được phân bố (hoành đồ) của V và xác suất ngừng hoạt động. Các kết quả điển hình được minh họa trong hình 11.3. Thấy rõ từ hoành đồ, xác suất ngừng hoạt động với $E_b/N_0 = 35$ dB là nhỏ hơn so với trường hợp $E_b/N_0 = 25$ dB.

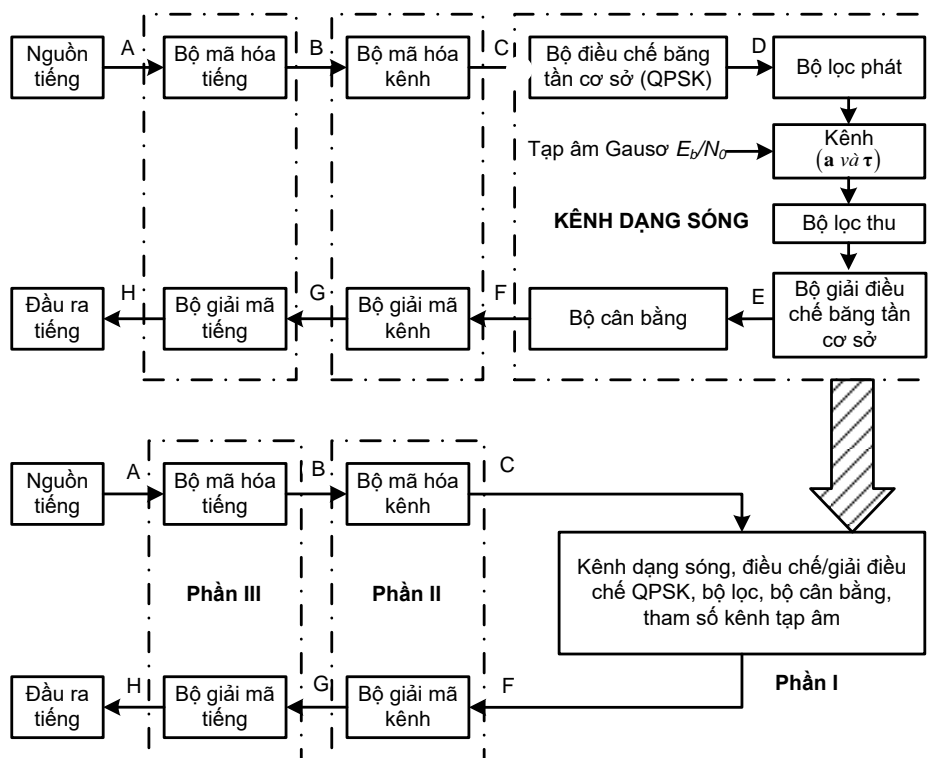


Hình 11.3: Hoành đồ diễn hình trong tính toán xác suất ngưỡng hoạt động

Ước tính xác suất lỗi kênh dạng sóng

Khi cho trước điều kiện kênh và E_b/N_0 ta có thể ước tính số đo chất lượng thoại dùng giải pháp Monte Carlo ép thô trong đó ta dùng mẫu thoại và số thoại làm đầu vào, ghi âm lại đầu ra bộ giải mã thoại và kiểm tra bằng thính giác người. Giải pháp giả thực tế này, không khả thi để lặp lại cho hàng ngàn điều kiện kênh và nhiều giá trị E_b/N_0 , thậm chí ta có các nguồn máy tính để làm mô phỏng, nó cũng yêu cầu mỗi người nghe cho điểm hàng ngàn đoạn thoại.

Giải pháp tốt hơn là chia bài toán thành các phần và mô phỏng các phần riêng biệt. Để tiến đến một sơ đồ phân chia hiệu quả, ta xét ảnh hưởng của các phần khác nhau lên toàn bộ hiệu năng ở dạng số đo chất lượng thoại. Theo hình 11.4, phần "xử lý" dạng sóng của hệ thống tiếp nhận chuỗi nhị phân tại điểm C và tạo ra chuỗi nhị phân cho giải mã quyết định cứng (hoặc các giá trị lượng tử khi giải mã quyết định mềm) tại điểm F (khối kênh dạng sóng-xem hình 11.4). Xác suất lỗi q (hoặc các xác suất chuyển đổi trạng thái đối với giải mã quyết định mềm) phụ thuộc vào các tham số của kênh và E_b/N_0 . Xác suất lỗi này (hoặc tập các xác suất chuyển dịch đối với giải mã quyết định mềm) có thể được ước tính bằng kỹ thuật Monte Carlo, hoặc kỹ thuật bán phân tích với các chuỗi nhị phân ngẫu nhiên làm đầu vào. Không cần thiết điều khiển phần mô phỏng này bằng các bit thoại mã hoá.



Hình 11.4: Phân chia hóa và đơn giản hóa mô hình mô phỏng

Ánh xạ xác suất lỗi kênh dạng sóng thành xác suất lỗi mã hóa

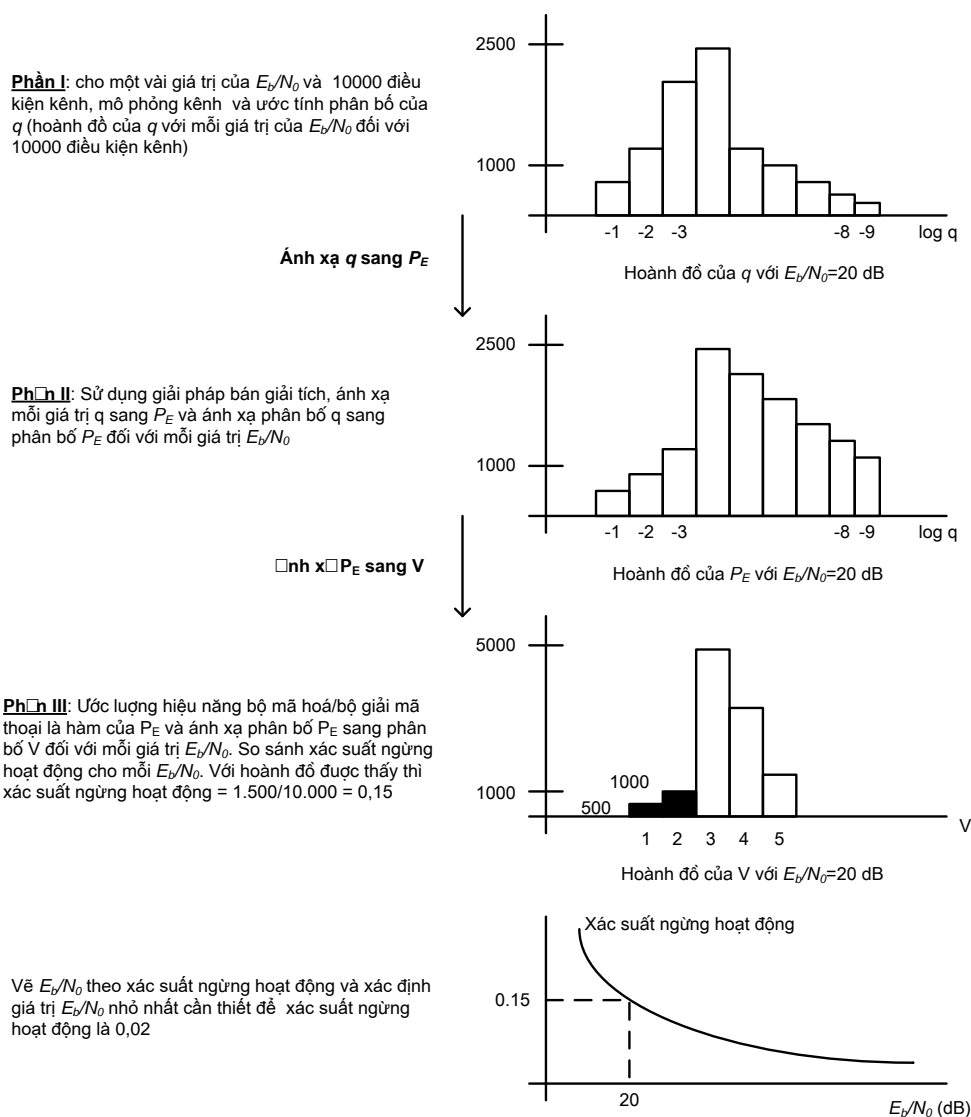
Đoạn tiếp theo của hệ thống gồm bộ lập mã kiểm soát lỗi và bộ giải mã, nó tiếp nhận chuỗi số nhị phân tại điểm B và tạo ra chuỗi số nhị phân tại điểm G. Xác suất lỗi giữa điểm B và G hoàn toàn là một hàm xác suất lỗi q trong môi trường kênh dạng sóng. Thực ra, vì các lỗi trong kênh dạng sóng là kết quả của tạp âm Gauss, trắng, cộng AWGN, nên ta coi mẫu lỗi là một chuỗi độc lập thuộc về ước lượng xác suất lỗi bit mã hoá giữa điểm B và G, khi này kênh dạng sóng được thay bằng bộ tạo số ngẫu nhiên nhị phân để tạo ra các bit 1 và 0 với xác suất q và $1-q$, trong đó 1 thể hiện cho lỗi truyền dẫn trong kênh dạng sóng. Xác suất lỗi mã hoá P_E có thể được ước lượng nhờ mô phỏng Monte Carlo trong đó đầu vào bộ mã hoá là chuỗi nhị phân ngẫu nhiên, và toàn bộ kênh dạng sóng được thay thế bằng bộ tạo số ngẫu nhiên nhị phân. Không cần điều khiển phần mô phỏng này với các bit thoại mã hoá.

Hiệu năng mã hoá kiểm soát lỗi cũng có thể được ước lượng dùng giải pháp bán giải tích, nó ánh xạ xác suất lỗi không mã hoá q thành xác suất lỗi mã hoá P_E . Kỹ thuật này đã được đề cập cho cả mã khối và mã xoắn ở chương 8. Theo đó, có thể ánh xạ phân bố q là hàm của E_b/N_0 thành phân bố của P_E là hàm của E_b/N_0 .

Ước lượng số đo chất lượng thoại

Bước cuối cùng trong quá trình ước tính xác suất ngừng hoạt động là ước tính các phân bố số đo chất lượng thoại V đối với các giá trị khác nhau của E_b/N_0 . Số đo chất lượng thoại sẽ phụ thuộc vào P_E (chính nó phụ thuộc vào E_b/N_0) và phân bố của V là hàm của P_E . Vì vậy, ta

có thể tìm được phân bố của V là hàm của E_b/N_0 bằng cách ước lượng số đo chất lượng thoại đối với các giá trị P_E khác nhau. Ước lượng này có thể được thực hiện độc lập với 2 phần đầu của bài toán: tất cả những gì ta phải làm là ước lượng hiệu năng của bộ mã hoá tiếng và bộ lập mã với các giá trị khác nhau của xác suất lỗi P_E . Tốt nhất là ta dùng tập chip bộ mã hoá/giải mã thoại thực tế, đưa thoại số hoá qua chúng và ước lượng chất lượng thoại đầu ra bộ giải mã là hàm của P_E . Ảnh hưởng của toàn bộ hệ thống giữa điểm B và G được *phỏng tạo* bằng cách tiêm các lỗi ngẫu nhiên tại tỉ lệ của P_E giữa đầu ra bộ mã hoá thoại và đầu vào bộ giải mã thoại. Phần ước lượng số đo chất lượng thoại này phải được thực hiện chỉ với hàng tá các giá trị P_E từ 10^{-1} đến 10^{-7} và người nghe phải cho điểm chất lượng thoại với mỗi tá giá trị P_E này, nó đơn giản hơn nhiều so với việc cho điểm chất lượng thoại đối với hàng ngàn điều kiện kênh trong mô phỏng Monte Carlo trực tiếp của toàn bộ hệ thống.



Hình 11.5: Phân chia hóa phương pháp luận để ước tính xác suất ngừng hoạt động

Cho trước ước tính số đo chất lượng thoại V là hàm của P_E có được từ phần III, phân bố P_E là hàm của q trong phần II và III, phân bố q là hàm của E_b/N_0 có được trong phần I, ta có thể nhận được V là hàm của E_b/N_0 . Từ:

$$V\left(\frac{E_b}{N_0}\right) = V\left(P_e\left(q\left(\frac{E_b}{N_0}\right)\right)\right) \quad (11.5)$$

Ta có thể ước tính *phân bố* của V và xác suất ngừng hoạt động đối với mỗi giá trị của E_b/N_0 . Từ đồ thị xác suất ngừng hoạt động theo E_b/N_0 ta có thể xác định giá trị tối thiểu của E_b/N_0 để đảm bảo xác suất ngừng hoạt động nhỏ hơn 2% tại chất lượng thoại nhỏ hơn 3. Giải pháp tổng thể để ước tính xác suất ngừng hoạt động được tóm tắt trong hình 11.5.

Tại đây, ta nghiên cứu chi tiết 3 phần ước tính lượng năng, bắt đầu bằng ước tính xác suất lỗi cho kênh dạng sóng. Đây là phần tập trung tính toán nhất, vì nó phải được lặp lại đối với 10 giá trị của E_b/N_0 và 10000 điều kiện kênh. Hai phần khác liên quan đến ánh xạ xác suất lỗi q đối với kênh dạng sóng thành xác suất lỗi mã hoá P_E và số đo chất lượng thoại V chỉ được lặp lại một lần đối với gần 10 giá trị q (10 giá trị E_b/N_0).

11.3.1. Phương pháp luận để mô phỏng phần tương tự của hệ thống

Mô hình mô phỏng kênh dạng sóng (phần tương tự của hệ thống) được cho ở hình 11.6. Mục đích chính của mô phỏng là nhằm có được phân bố (hoành đồ) của xác suất lỗi q cho 10 giá trị khác nhau của E_b/N_0 . Tại mỗi giá trị E_b/N_0 , ta mô phỏng 10000 điều kiện chớp ảnh của kênh và nhận được hoành đồ của q từ ước tính BER đối với mỗi kênh. Cần phải đặc biệt lưu ý rằng, trong mỗi lần mô phỏng thì điều kiện kênh không thay đổi.

Ta mô tả các đặc điểm quan trọng nhất của mô hình mô phỏng trước khi trình bày các kỹ thuật tính toán hiệu quả để mô phỏng phần này của hệ thống.

Chi tiết hóa mô hình mô phỏng

Đầu vào: Đầu vào hệ thống gồm 2 nguồn nhị phân ngẫu nhiên, mỗi nguồn có tốc độ bit là 14400 bit/s (tốc độ kết hợp là 28800 bit/s), nó thể hiện luồng bit đến từ bộ mã hoá kiểm soát lỗi. Kết hợp hai chuỗi bit a_k và b_k thành chuỗi ký hiệu QPSK phức $\tilde{S}_k = A_k + jB_k$, trong đó A_k và B_k là sắp xếp các chuỗi nhị phân a_k và b_k thành các chuỗi biên độ +1 hoặc -1. Chuỗi ký hiệu QPSK được sắp xếp thành dạng sóng QPSK giá trị phức.

$$\tilde{x}(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} A_k p(t - kT) + j \sum_{k=-\infty}^{\infty} B_k p(t - kT) \quad (11.6)$$

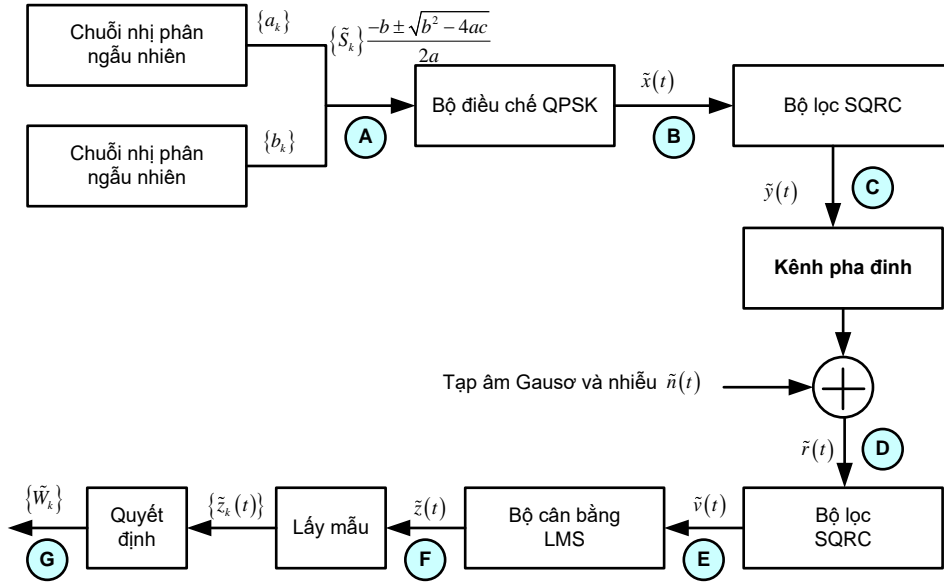
Được lấy mẫu tại tốc độ 12 mẫu/ký hiệu để tạo phiên bản mẫu của dạng sóng QPSK:

$$\tilde{x}(mT_s) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} A_k p(mT_s - kT) + j \sum_{k=-\infty}^{\infty} B_k p(mT_s - kT) \quad (11.7)$$

Trong đó T là khoảng thời gian của ký hiệu QPSK, $p(t)$ là xung chữ nhật biên độ đơn vị được định nghĩa là:

$$p(t) = \begin{cases} 1, & 0 < t \leq T \\ 0, & \text{nếu khác} \end{cases} \quad (11.8)$$

(kết hợp hai nguồn nhị phân ngẫu nhiên trong hình 11.6 thành một nguồn nhị phân ngẫu nhiên làm việc tại tốc độ kết hợp và nhận được 2 chuỗi riêng biệt bằng cách lấy các bit lẻ và chẵn tương ứng).



Hình 11.6: Mô hình mô phỏng cho phản tương tự của hệ thống

Các bộ lọc phát thu: Bộ lọc phát và bộ lọc thu là bộ lọc SQRC có hàm truyền đạt là:

$$H_T(f) = H_R(f) = \begin{cases} \sqrt{T}, & |f| \leq \frac{1-\beta}{2T} \\ \sqrt{\frac{T}{2} \left[1 - \sin \frac{\pi T}{\beta} \left(f - \frac{1}{2T} \right) \right]}, & \frac{1-\beta}{2T} \leq |f| \leq \frac{1+\beta}{2T} \\ 0, & |f| \geq \frac{1+\beta}{2T} \end{cases} \quad (11.9)$$

Trong đó $\beta = 0,5$ đối với đường uốn 50% (*roll-off*). Các bộ lọc này là tối ưu theo nghĩa chúng tạo dạng sóng độ rộng băng thông hữu hạn với ISI = 0 và cũng cho ta hiệu năng BER tối ưu trên kênh AWGN. Trong hàm truyền đạt của bộ lọc phát thường chứa hàm $1/\text{sinc}$ để bù dạng sóng QPSK (là dạng xung NRZ chữ nhật chứ không phải là dạng xung kim). Hàm truyền đạt bộ lọc được cho ở phương trình trên sẽ tạo ra đáp ứng có ISI = 0 chỉ khi đầu vào là một chuỗi các xung kim. Thay vì chứa hàm $1/\text{sinc}$, ta có thể dùng biểu diễn chuỗi xung kim của dạng sóng QPSK; trường hợp này, chỉ có mẫu đầu tiên trong 12 mẫu của ký hiệu QPSK thứ k có giá trị là $A_k + jB_k$ và 11 mẫu còn lại là bằng 0.

Thực thi bộ lọc SQRC theo FIR bởi lẽ nếu thực hiện theo IIR rất khó (khó là vì hàm truyền đạt không được cho ở dạng điểm *không-cực* trong miền Laplace s như đã được đề cập ở chương 5). Ta sẽ coi rằng, dùng biến đổi bất biến xung kim bằng tích chập miền thời gian cho mỗi bộ lọc. Đáp ứng xung kim của bộ lọc SQRC được cho bởi:

$$h_T(t) = h_R(t) = 8\beta \frac{\cos[(R+2\beta)\pi t] + \sin[(R-2\beta)\pi t](8\beta t)^{-1}}{\pi\sqrt{R}[1-(8\beta t)^2]}, \quad -\infty < t < \infty \quad (11.10)$$

Thấy rõ, đây là bộ lọc *không nhân quả*, nên để có được tính *nhân quả* ta cắt xét đáp ứng xung kim sau đó dịch thời gian tương ứng.

Kênh: Mô hình kênh *tựa-tĩnh* (*quasi-static*) được định nghĩa bởi (11.2), được đặc trưng bởi 2 biến ngẫu nhiên \tilde{a} và τ . Mỗi mô phỏng được thực hiện với giá trị cố định của \tilde{a} và τ (được rút ra từ phân bố Rayleigh và phân bố đều tương ứng). Giá trị của τ được làm tròn là một số nguyên lần các mẫu (r mẫu), vì thế mô hình mô phỏng kênh gồm một đường trực tiếp LOS và một đường trễ có độ trễ r mẫu tương ứng suy hao \tilde{a} . Đây là mô hình đơn giản.

Bộ cân bằng: Các bộ lọc SQRC sẽ tạo ra ISI = 0 chỉ khi hàm truyền đạt kênh là lý tưởng trên độ rộng băng thông của tín hiệu (trong ví dụ này nó bằng 0,75 lần tốc độ ký hiệu). Vì kênh trong trường hợp này là không lý tưởng, nên tồn tại ISI $\neq 0$ trong hệ thống và có thể giảm thiểu ISI bằng bộ cân bằng trong máy thu. Tồn tại rất nhiều bộ cân bằng khả dụng, ta chọn bộ cân bằng chứa 9 nhánh, cụ thể là bộ cân bằng lỗi bình phương trung bình cực tiểu tuyến tính LMS (*Linear Minimum Mean Squared Error*), 9 nhánh cách đều đồng bộ để minh họa một số khía cạnh của phương pháp luận.

Thuật toán gradient thường được dùng để điều chỉnh các trọng số bộ cân bằng một cách lặp. Nếu mô phỏng tính hội tụ bộ cân bằng, thì phải thực thi theo phương pháp Monte Carlo dùng chuỗi hoa tiêu cho đầu vào và các mẫu tạp âm được thâm nhập vào trong quá trình mô phỏng. Vì bộ cân bằng LMS là bộ lọc tuyến tính và tạp âm tại đầu vào máy thu là AWGN, nên tạp âm tại đầu ra bộ cân bằng sẽ là tạp âm cộng và Gausơ, theo đó ta có thể dùng kỹ thuật bán phân tích để ước tính xác suất lỗi. Với ước tính BER, chỉ cần mô phỏng những ảnh hưởng của méo ISI còn những ảnh hưởng của tạp âm Gausơ trắng cộng có thể được xử lý theo cách giải tích mà không cần mô phỏng Monte Carlo các mẫu tạp âm.

Ta xét 2 giải pháp xử lý bộ cân bằng khi dùng kỹ thuật bán phân tích để ước tính BER:

Giải pháp 1, chạy mô phỏng thời gian ngắn lúc bắt đầu có chứa các mẫu tạp âm, đợi đến khi các trọng số bộ cân bằng hội tụ, sau đó "*ổn định lại*" các trọng số bộ cân bằng và thực hiện mô phỏng ước tính hiệu năng với nguồn tạp âm được tắt.

Giải pháp 2, dựa trên các trọng số bộ cân bằng sẽ hội tụ về véc tơ trọng số, các giá trị của véc tơ được tính toán giải tích theo:

$$\tilde{W} = \Gamma^{-1} R^* \quad (11.11)$$

Trong đó \tilde{W} là vector trọng số, Γ là "ma trận hiệp biến kênh" và R là vector các giá trị mẫu của đáp ứng xung kim không được cân bằng của hệ thống (từ đầu vào bộ lọc phát tới đầu ra bộ lọc thu). Đáp ứng xung kim không cân bằng này được lấy mẫu tại tốc độ ký hiệu, (có được từ việc *chạy hiệu chuẩn* trong đó một xung kim đơn vị được đưa vào bộ lọc phát và ghi lại đáp ứng xung kim tại đầu ra bộ lọc thu). Các giá trị mẫu của đáp ứng xung kim được dùng để tính toán hàm tự tương quan của đáp ứng xung kim không được cân bằng và các phần tử trong ma trận Γ đạt được từ các giá trị của hàm tự tương quan. Các phần tử đường chéo trong Γ sẽ gồm giá trị tự tương quan tại trễ 0 cộng với phương sai tạp âm đầu vào bộ cân bằng (tính được các phần tử này nếu biết mật độ phổ công suất PSD tạp âm đầu vào và băng thông tạp âm của bộ lọc thu). Với giải pháp này, ta có thể tính toán các trọng số bộ cân bằng trước khi mô phỏng để ước tính BER như là một phần của "quá trình hiệu chuẩn" và bộ cân bằng được khảo sát như bộ lọc FIR trong quá trình mô phỏng BER.

Khi trực tiếp dùng mô phỏng Monte Carlo để ước tính hiệu năng, nguồn tạp âm sẽ được "bật" theo đó phương pháp lặp (gradient) được dùng tại lúc bắt đầu để các trọng số bộ cân bằng hội tụ. Sau đó, các trọng số này được cố định trong quá trình ước tính hiệu năng (nếu dùng phương pháp bán phân tích để ước tính BER thì tắt nguồn tạp âm trong giai đoạn ước tính BER bán phân tích).

Giải pháp Monte Carlo thuần túy để ước tính hiệu năng

Trong giải pháp Monte Carlo trực tiếp, đầu vào và các quá trình tạp âm được mô phỏng một cách rõ ràng. Ước tính tỉ số lỗi tại mỗi giá trị của E_b/N_0 và điều kiện kênh bằng cách so sánh chuỗi ký hiệu đầu vào bộ điều chế \tilde{S}_k và đầu ra thiết bị quyết định \tilde{W}_k để xác định lỗi sau đó đếm lỗi. Trong khi bộ cân bằng tạo ra chuẩn hoá biên độ (không cần thiết đối với điều chế QPSK) và bù lệch pha, thì việc chạy hiệu chuẩn phải được thực hiện tại lúc bắt đầu để thiết lập chuẩn định thời cho bộ cân bằng và sắp các chuỗi ký hiệu đầu vào/ra thành hàng. Ngoài ra, phải dùng chuỗi hoa tiêu khởi đầu để hỗ trợ sự hội tụ bộ cân bằng, và ước tính tỉ số lỗi chỉ bắt đầu sau khi các trọng số bộ cân bằng hội tụ và giữ cố định. Các bước cơ bản trong mô phỏng Monte Carlo như sau:

1. Rút ra một tập \tilde{a} và τ và bắt đầu với giá trị khởi đầu của E_b/N_0 .
2. Chạy hiệu chuẩn để thiết lập chuẩn định thời cho bộ cân bằng và sắp hàng đầu vào/ra để đếm lỗi.
3. Duyệt bộ cân bằng và cô đọng lại (cố định) các trọng số (bật nguồn tạp âm với giá trị phương sai được tính từ E_b/N_0).
4. Bắt đầu mô phỏng Monte Carlo để ước tính hiệu năng và chạy mô phỏng cho đến khi đếm được khoảng 50 lỗi.
5. Lặp lại cho tất cả các giá trị của E_b/N_0 và 10.000 điều kiện kênh.
6. Tính toán hoành đồ của q cho mỗi giá trị của E_b/N_0 .

Giải pháp Monte Carlo trực tiếp là giải pháp đơn giản để thực thi nguyên lý nhưng thời gian mô phỏng lâu tại mỗi giá trị của E_b/N_0 và điều kiện kênh. Thậm chí mỗi mô phỏng chỉ mất vài giây, thì lặp lại mô phỏng cho 10000 điều kiện kênh và 10 giá trị của E_b/N_0 là một vấn đề.

Vì tính tuyến tính của máy thu (bộ cân bằng LMS là bộ lọc FIR) và tạp âm là Gausơ & cộng tại đầu vào máy thu, nên tạp âm đầu ra cũng sẽ là tạp âm Gausơ cộng. Vì vậy, ta có thể dùng giải pháp bán phân tích để ước tính hiệu năng.

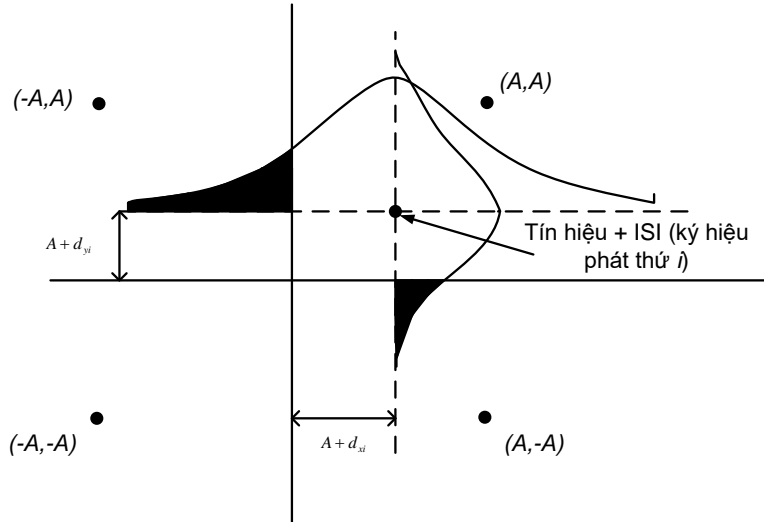
Giải pháp bán phân tích để ước tính hiệu năng

BER sẽ là hàm của ISI và tạp âm Gausơ cộng (các ảnh hưởng của chúng có thể được xử lý theo phép giải tích). Vì thế, chỉ cần mô phỏng ISI được tạo ra bởi sự nối tiếp của bộ lọc phát, kênh, bộ lọc thu và bộ cân bằng. Dùng giải pháp bán phân tích để ước tính BER (giả sử điểm chòm sao tín hiệu phát là (1,1) được ánh xạ thành điểm (A,A) tại đầu ra bộ cân bằng như được thấy ở hình 11.7), cho ta:

$$\hat{q} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \left\{ 1 - \left[1 - Q\left(A + \frac{d_{x_i}}{\sigma_x}\right) \right] \times \left[1 - Q\left(A + \frac{d_{y_i}}{\sigma_y}\right) \right] \right\} \quad (11.12)$$

$$\approx Q\left(A + \frac{d_{x_i}}{\sigma_x}\right) + Q\left(A + \frac{d_{y_i}}{\sigma_y}\right)$$

Trong đó d_{x_i} và d_{y_i} là thành đồng pha và vuông pha của ISI ứng với ký hiệu được mô phỏng thứ i , σ_x^2 và σ_y^2 là phương sai của thành phần đồng pha và vuông pha của tạp âm tại đầu ra bộ cân bằng, và M là số ký hiệu được mô phỏng.



Hình 11.7: Ước tính BER bán phân tích cho tín hiệu QPSK

Các giá trị của σ_x^2 và σ_y^2 được tính toán bởi:

$$\sigma_x^2 = \sigma_y^2 = N_0 B_N \quad (11.13)$$

Trong đó $N_0/2$ là PSD của tạp âm thông dải hai phía tại đầu vào bộ lọc thu, B_N là độ rộng băng thông tạp âm của bộ lọc thu và bộ cân bằng. Độ rộng băng thông tạp âm được tính từ việc chạy hiệu chuẩn.

Các bước áp dụng kỹ thuật bán phân tích để ước tính hiệu năng như sau:

1. Khởi đầu: Chọn một giá trị khởi đầu cho E_b/N_0 và các tham số kênh.
2. Hiệu chuẩn và xác định trọng số bộ cân bằng:
 - Thiết lập chuẩn định thời cho bộ cân bằng và thời gian trễ tổng.
 - Đặt được đáp ứng xung kim không cân bằng thông qua mô phỏng bằng cách đưa xung kim vào đầu vào A và sử dụng phương trình (11.11) để tính vectơ trọng số bộ cân bằng.
 - Tính độ rộng băng thông tập âm của bộ lọc thu, bộ cân bằng và dùng (11.13) để hiệu chuẩn phương sai tập âm đầu ra.
3. Mô phỏng: Mô phỏng M ký hiệu và ước tính BER theo (11.12).
4. Lặp lại cho 10.000 kênh và 10 giá trị của E_b/N_0 và tính hoành đồ của q.

Kỹ thuật bán phân tích nhanh hơn

Ước tính tỉ số lỗi bán phân tích cho phép tăng đáng kể tốc độ bằng cách kết hợp tất cả các khối [bộ lọc phát, kênh, bộ lọc thu và bộ cân bằng (sau khi các trọng số đã được tính toán và thiết lập)] thành một khối duy nhất bởi lẽ chúng đều là các phần tử tuyến tính bất biến LTIV. Vì không có mẫu tập âm nào được đưa vào, nên các khối này xử lý sóng QPSK theo kiểu đường ống. Với mục đích ước tính hiệu năng, chỉ cần quan tâm dạng sóng đầu ra bộ cân bằng. Trong trường hợp này, không cần xử lý tín hiệu vào/ra tại mỗi khối chức năng của hệ thống. Bằng cách kết hợp thành một khối và xử lý dạng sóng đầu vào, biểu diễn tương đương dẫn đến tính toán rất hiệu quả.

Đáp ứng xung kim toàn bộ hệ thống là:

$$\tilde{h}(kT_s) = \underbrace{\tilde{h}_T(kT_s)}_{\text{Hệ thống}} \otimes \underbrace{\tilde{h}_c(kT_s)}_{\text{Bộ lọc phát}} \otimes \underbrace{\tilde{h}_R(kT_s)}_{\text{Kênh}} \otimes \underbrace{\tilde{h}_{eq}(kT_s)}_{\text{Bộ lọc thu}} \otimes \underbrace{\tilde{h}_{eq}(kT_s)}_{\text{Bộ cân bằng}} \quad (11.14)$$

Đáp ứng này có thể đạt được một cách chính xác thông qua mô phỏng bằng cách đưa xung kim vào điểm A và đo đáp ứng xung kim tại đầu ra của bộ cân bằng (điểm F trong hình 11.4). Đáp ứng xung kim toàn bộ có thể được cắt bớt và toàn bộ hệ thống có thể được mô phỏng như một bộ lọc FIR. Chẳng hạn, đáp ứng xung kim toàn bộ được cho ở hình 11.8. Lưu ý rằng, trễ qua hệ thống xấp xỉ bằng 135 mẫu và đáp ứng xung kim có thể bị cắt bớt còn 108 mẫu (từ mẫu thứ 135 đến mẫu thứ 242). Đáp ứng xung kim nhận giá trị 0 ở bên ngoài khoảng này (xem hình 11.8). Chỉ số thời gian cho các giá trị khác 0 của đáp ứng xung kim được đánh số lại từ 0 đến 107 để tiện ký hiệu.

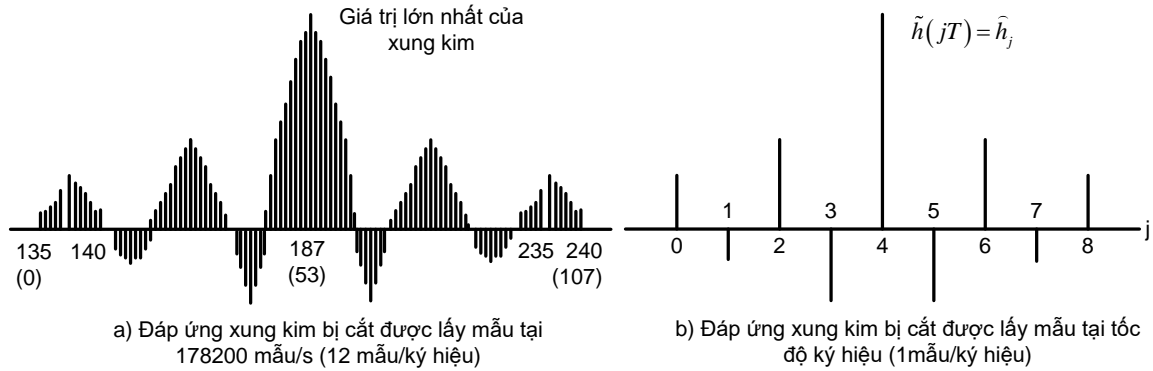
Mô phỏng mô hình mức dạng sóng chi tiết sẽ được thực hiện tại tốc độ lấy mẫu $r_s = 172.800$ mẫu/s theo phương trình:

$$\tilde{z}(mT_s) = \sum_{p=0}^{107} \tilde{h}(pT_s) \cdot \tilde{x}((m-p)T_s) \quad (11.15)$$

Trong đó $\tilde{x}(mT_s)$ là các giá trị mẫu của dạng sóng QPSK tại đầu vào bộ lọc phát, $\tilde{z}(mT_s)$ là đầu ra bộ cân bằng, $\tilde{h}(pT_s)$ là các giá trị của đáp ứng xung kim chung bị xén bớt. Đầu ra của bộ cân bằng được lấy mẫu bắt đầu tại mẫu số 187 (xem hình) và mỗi khi 12 mẫu trôi qua tạo ra số đo quyết định \tilde{z}_k và dựa trên giá trị của số đo quyết định để thực hiện một

quyết định \tilde{W}_k (ước tính của ký hiệu phát). Với ước tính hiệu năng, ta chỉ quan tâm sự xuất hiện mẫu thứ 12 (do lấy mẫu là 12 mẫu/ký hiệu) tại đầu ra bộ cân bằng, tương ứng với các thời điểm quyết định (các mẫu ở giữa không dùng). Vì bộ cân bằng hoạt động với khoảng cách nhánh trễ là 12 mẫu (khoảng thời gian một ký hiệu), nên ta có thể viết biểu thức cho số đo quyết định dùng mẫu thứ 12 của đáp ứng xung kim (xem hình 11.8) là:

$$\tilde{z}_i = \underbrace{\sum_{j=0}^8 \tilde{h}_j \tilde{S}_{i-j}}_{\text{Lưu ý: Lấy mẫu đáp ứng xung kim \& dịch tín hiệu}} \quad (11.16)$$



Hình 11.8: Đáp ứng xung kim bị cắt bớt được lấy mẫu tại 12 mẫu trên ký hiệu và 1 mẫu trên ký hiệu

Lưu ý rằng, (11.16) là mô hình mô phỏng toàn bộ để ước tính tỉ số lỗi bán phân tích; ta chỉ cần tạo một chuỗi ký hiệu QPSK và xử lý chúng theo (11.16). Dẫn đến chỉ cần 8 phép toán trên một ký hiệu để tạo các giá trị của số đo quyết định, nó thể hiện ký hiệu đầu vào với ISI cộng. Tính toán lỗi bán phân tích theo (11.12) được áp dụng cho chuỗi \tilde{z}_i .

Thấy rõ, mô hình theo (11.16) sẽ nhanh hơn mô hình theo (11.15), vì ở mô hình (11.16) việc tính đầu ra chỉ cần mẫu thứ 12 và với mỗi mẫu đầu ra chỉ cần 8 phép nhân và 8 phép cộng so với 108 phép nhân và 108 phép cộng đối với mô hình (11.15). So sánh xử lý dạng sóng QPSK qua mỗi khối: mô hình kết hợp theo (11.15) sẽ nhanh hơn 3 đến 4 lần (vì ta kết hợp 4 khối thành một). Vì vậy, mô hình mô phỏng theo (11.16) nhanh hơn khoảng 1000 lần.

Mô hình mô phỏng theo (11.16), kết hợp với giải pháp bán phân tích để ước tính BER mang lại hiệu quả tính toán. Chiều dài bộ nhớ chung của hệ thống là 9 ký hiệu dẫn đến chu kỳ chuỗi PN là $2^9 = 512$ ký hiệu sẽ đủ để tạo tất cả các giá trị ISI có thể có, tất nhiên loại trừ chuỗi toàn 0. Vì vậy, sau khi hiệu chuẩn, mỗi mô phỏng hiệu năng bao gồm việc tạo 512 ký hiệu QPSK, tính 512 mẫu đầu ra theo (11.16) và ước tính bán phân tích theo (11.16).

Tóm tắt các bước ước tính tỉ số lỗi phân tích nhanh như sau:

1. Khởi tạo: Chọn một giá trị khởi tạo cho E_b/N_0 và các tham số kênh.
2. Hiệu chuẩn và xác định trọng số bộ cân bằng:
 - Thiết lập chuẩn định thời cho bộ cân bằng và độ trễ thời gian tổng.

- Đạt được đáp ứng xung kim không cân bằng thông qua mô phỏng bằng cách đưa xung kim vào đầu vào A và dùng (11.11) để tính toán vector trọng số bộ cân bằng.

- Tính toán bằng thông tập âm bộ lọc thu, bộ cân bằng và dùng (11.13) để hiệu chuẩn phương sai tập âm tại đầu ra.

- Đạt được đáp ứng xung được cân bằng được lấy mẫu tại tốc độ ký hiệu bằng cách đưa xung kim vào điểm A và lấy mẫu đáp ứng xung kim đầu ra bộ cân bằng 1mẫu/1ký hiệu (xem hình 11.8).

3. *Mô phỏng*: Tạo M = 512 ký hiệu QPSK, xử lý chúng theo (11.16) và ước tính xác suất lỗi theo (11.12).

4. *Lặp lại* cho 10000 kênh và 10 giá trị E_b/N_0 , sau đó tính hoành đồ của q.

Phương pháp momen để ước tính BER

Kỹ thuật bán phân tích nhanh cho ta hiệu quả tính toán nhưng khối lượng tính toán tăng đáng kể nếu chiều dài nhớ của hệ thống tăng. Việc tăng chiều dài nhớ (vì số các ký hiệu cần được mô phỏng cho tất cả các giá trị ISI) tăng theo $M = m^L$, trong đó L là chiều dài nhớ của hệ thống và m là kích thước chữ cái (trường hợp nhị phân $m = 2$). Khi m và L lớn thì thời gian mô phỏng sẽ rất lâu. Những trường hợp như vậy có thể dùng phương pháp khác để giảm tải tính toán.

Tính toán cơ bản được thực hiện trong (11.12) được biểu diễn:

$$\hat{q} = E \left\{ Q \left(A + \frac{D_x}{\sigma_x} \right) \right\} + E \left\{ Q \left(A + \frac{D_y}{\sigma_y} \right) \right\} \quad (11.17)$$

Trong đó lấy kỳ vọng toán học theo D_x và D_y , chúng là các biến ngẫu nhiên thể hiện thành phần đồng pha và vuông pha của ISI. Không phải là ước tính giá trị kỳ vọng này bằng cách lấy trung bình các giá trị mô phỏng của ISI mà ta tính toán các momen của ISI, lấy xấp xỉ phân bố của D_x và D_y dùng các momen của ISI và sau đó thực hiện phép kỳ vọng dùng phân bố xấp xỉ của ISI. Muốn vậy

Lấy xấp xỉ phân bố của D_x dùng các momen của nó. Từ (11.16), có thể viết ISI theo D_x là:

$$D_x = \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq 0}}^8 \alpha_j A_j - \sum_{j=0}^8 \beta_j B_j \quad (11.18)$$

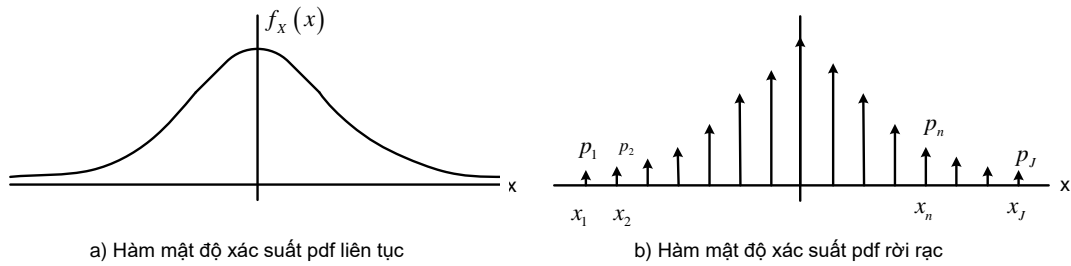
Trong đó α_j và β_j là phần thực và phần ảo của đáp ứng xung kim (nghĩa là $\tilde{h}_k = \alpha_k + j\beta_k$), $A_j = \pm 1$, $B_j = \pm 1$ là phần thực và phần ảo của chuỗi ký hiệu QPSK. Các momen của D_x có thể được tính theo:

$$E \{ D_x^k \} = E \left\{ \left[\sum_{\substack{j=0 \\ j \neq 0}}^8 \alpha_j A_j - \sum_{j=0}^8 \beta_j B_j \right]^k \right\}, \quad k = 1, 2, 3... \quad (11.19)$$

Lưu ý rằng, trong phương trình trên, các giá trị của đáp ứng xung kim là những hằng số các giá trị của nó được biết, A_j và B_j là các biến ngẫu nhiên nhị phân độc lập có giá trị ± 1 . Các momen lẻ của A_j & B_j là bằng 0 và các momen chẵn của A_j & B_j là bằng 1. Theo đó, tính toán các momen của D_x gồm khai triển tổng nhị thức trong (11.19). Ta lấy kỳ vọng cho từng số hạng và cộng chúng lại.

Từ các momen của D_x , ta được xấp xỉ rời rạc cho phân bố của D_x . Trong xấp xỉ này, D_x được xử lý như biến ngẫu nhiên rời rạc có J giá trị d_1, \dots, d_J , với các xác suất p_1, \dots, p_J . Như một ví dụ minh họa đơn giản của nguyên lý, xấp xỉ hóa rời rạc của hàm mật độ xác suất pdf phân bố Gauss được cho ở hình 11.9.

Chọn x_1, \dots, x_J và p_1, \dots, p_J sao cho phân bố liên tục và phân bố xấp xỉ rời rạc tương ứng tạo ra các momen như nhau.



Hình 11.9: Ví dụ xấp xỉ rời rạc của pdf Gauss

$$E(X^n) = \mu_n = \sum_{k=1}^J x_k^n p_k \quad (11.20)$$

Cho trước $2J$ momen đầu tiên μ_1, \dots, μ_{2J} của X , ta có thể giải tập $2J$ phương trình phi tuyến:

$$\mu_n = \sum_{k=1}^J x_k^n p_k \quad n = 1, 2, \dots, 2J \quad (11.21)$$

Đối với các giá trị của x_k và p_k , $k = 1, 2, \dots, J$. Chi tiết về các kỹ thuật được dùng để rút ra xấp xỉ rời rạc của phân bố theo các momen của nó được thấy ở nhiều tài liệu.

Dùng xấp xỉ rời rạc đối với phân bố ISI ta có thể tính $E\{Q(A + D_x / \sigma_x)\}$ là:

$$E\{Q(A + D_x / \sigma_x)\} \approx \sum_{j=1}^J Q(A + d_j / \sigma_x) p_j \quad (11.22)$$

Số hạng thứ hai trong (11.17) có thể được tính dùng thủ tục tương tự.

Lưu ý rằng, trong phương pháp này, không dùng mô phỏng Monte Carlo cho tất cả ước tính hiệu năng!. Nó hoàn toàn là giải tích ngoại trừ 2 mô phỏng sự kiện đơn để có được: (i) đáp ứng xung không cân bằng từ việc tính toán các trọng số bộ cân bằng; (ii) đáp ứng xung cân bằng được lấy mẫu tại tốc độ ký hiệu. Dùng (11.19) để tính toán các momen của phân bố ISI và xấp xỉ rời rạc của phân bố của mô phỏng ISI và xác suất lỗi cũng được tính toán. Ngoài 2 mô phỏng sự kiện đơn, ta phải chạy chương trình hiệu chuẩn để thiết lập các chuẩn định thời

nhằm lấy mẫu các xung không cân bằng, cân bằng và tính toán băng thông tạp âm của bộ lọc máy thu.

Hiệu quả tính toán của phương pháp momen phụ thuộc vào số lượng momen cần đến để đạt được xấp xỉ phân bố ISI chính xác và khối lượng tính toán các momen. Tính toán sau sẽ là một hàm của chiều dài đáp ứng xung kim (trong nhiều trường hợp có thể được cắt xén 10 hoặc nhiều ký hiệu). Các xấp xỉ tin cậy của phân bố ISI có thể đạt được từ 6 hoặc 8 momen đầu tiên.

Phương pháp momen rất hữu hiệu khi dùng các sơ đồ điều chế bậc cao (chẳng hạn QAM 256). Trong trường hợp này dạng sóng đồng pha và vuông pha có 16 mức biên độ, và nếu chiều dài nhớ là 10, thì ta cần chuỗi PN 16-ary dài 16^{10} ký hiệu để mô phỏng tất cả các giá trị ISI có thể có. Theo đó, phương pháp bán phân tích sẽ yêu cầu thời gian mô phỏng dài, trong khi phương pháp momen trong trường hợp này hiệu quả tính toán cao hơn nhiều.

Tóm tắt các bước then chốt về ứng dụng phương pháp momen như sau:

1. *Khởi tạo:* Chọn một giá trị khởi tạo cho E_b/N_0 và các tham số kênh.
2. *Hiệu chuẩn và xác định trọng số bộ cân bằng:*
 - Thiết lập chuẩn định thời cho bộ cân bằng và thời gian trễ tổng.
 - Đạt được đáp ứng xung kim không cân bằng thông qua mô phỏng bằng cách đưa xung kim vào đầu vào A và dùng (11.11) để tính toán vectơ trọng số cho bộ cân bằng.
 - Tính toán băng thông tạp âm của bộ lọc thu và bộ cân bằng và dùng (11.13) để hiệu chuẩn phương sai của tạp âm tại đầu ra.
 - Đạt được đáp ứng xung cân bằng được lấy mẫu tại tốc độ ký hiệu bằng cách đưa xung kim vào (điểm A trong hình 11.4) và lấy mẫu đáp ứng xung kim đầu ra bộ cân bằng một mẫu/mỗi ký hiệu (xem hình 11.8).
3. *Tính toán BER:*
 - Tính các momen và monen dựa trên phép lấy xấp xỉ phân bố của ISI.
 - Tính BER theo (11.22).
4. *Lặp lại cho 10000 kênh và 10 giá trị của E_b/N_0 và tính hoành đồ của q .*

11.3.2. Tóm tắt phương pháp luận để mô phỏng phản tương tự của hệ thống

Phần này ta đã minh họa các khía cạnh quan trọng của phương pháp luận để mô phỏng phản xử lý dạng sóng của hệ thống thông tin vô tuyến làm việc trong môi trường kênh *pha định chậm*. Đề cập một vài giải pháp để đơn giản hóa bài toán mô phỏng và cũng trình bày một số kỹ thuật ước tính hiệu năng. Các kỹ thuật này: từ Monte Carlo thuần túy đến Monte Carlo từng phần, đến phương pháp phân tích hoàn toàn.

Trong mọi mô phỏng ước tính hiệu năng, cần phải tận dụng triệt để các nỗ lực trước để đơn giản mô hình mô phỏng, để có thể kiểm tra và đánh giá các giải pháp khác nhau. Những nỗ lực này sẽ tiết kiệm tính toán rất nhiều khi mô phỏng ước tính hiệu năng. Nhiều chi tiết được thảo luận ở dạng tình huống của ví dụ, tuy không ứng dụng trực tiếp vào các bài toán

khác nhưng thể hiện tính toàn diện của phương pháp luận, gọi mở nhiều nhân tố phải xét đến trước quyết định các quy trình ước tính hiệu năng.

Tại đây cho thấy rõ: Việc hiệu chuẩn và mô phỏng sự kiện đơn để đo đáp ứng xung và đáp ứng xung kim có vài trò quan trọng trước khi thực hiện mọi ước tính hiệu năng. Mọi hiệu chuẩn đều không phải lặp lại cho mỗi tình huống. Chẳng hạn nếu điều kiện kênh là không đổi thì không phải đo đáp ứng xung không cân bằng với mỗi giá trị của E_b/N_0 .

11.3.3. Ước tính BER được mã hoá

Bước tiếp theo trong quá trình ước tính xác suất ngừng hoạt động là để nhằm có được xác suất lỗi bit mã hoá $P\left(\frac{E_b}{N_0}\right)$ từ xác suất lỗi bit không mã hoá $Q\left(\frac{E_b}{N_0}\right)$. Điều này có thể được thực hiện theo cách bán phân tích bằng cách dùng giới hạn hàm truyền đạt cho mã xoắn (được dùng để sửa lỗi mà đã được đề cập ở chương 8).

11.3.4. Ước tính số đo chất lượng thoại

Bước cuối cùng trong quá trình ước tính xác suất ngừng hoạt động là ánh xạ xác suất lỗi mã hoá thành số đo chất lượng thoại. Điều này được thực hiện bằng cách phun các lỗi nhị phân giữa đầu ra bộ mã hoá thoại và đầu vào bộ giải mã hoá và đánh giá chất lượng đầu ra thoại kết quả. Bằng cách lặp lại các thử nghiệm nghe cho các giá trị khác nhau của tỉ lệ lỗi được phun vào, ta có thể thiết lập quan hệ giữa tỉ số lỗi P_E và số đo chất lượng thoại V . Một ví dụ minh họa được cho ở bảng 11.1.

Bảng 11.1: Quan hệ giữa xác suất lỗi và chất lượng thoại

P_E	Chất lượng thoại V
$> 10^{-1}$	1
10^{-1} đến $5 \cdot 10^{-3}$	2
$5 \cdot 10^{-3}$ đến 10^{-4}	3
10^{-4} đến 10^{-6}	4
$< 10^{-6}$	5

Lưu ý rằng đối với phần ước lượng hiệu năng, rút ra quan hệ giữa P_E và V được thực hiện độc lập với các bước trước đó. Vì vậy, trong bảng này có thể thấy từ nhà sản xuất chip mã hoá/ giải mã thoại.

Từ bảng 11.1 thấy rõ, có thể biểu diễn xác suất ngừng hoạt động $P(V < 3)$ theo phân bố của P_E là:

$$\Pr(V < 3) = \Pr\{P_e > 5 \times 10^{-3}\} \quad (11.23)$$

Từ các giới hạn giải tích (nó quan hệ hóa giữa P_E và q), ta có thể thiết lập giá trị của q là q_0 tạo ra $P_E > 5 \times 10^{-3}$. Sau đó, xác suất ngừng hoạt động hệ thống là $P(q > q_0)$, tìm được các giá trị của E_b/N_0 từ phân bố của q BER đối với phần tương tự của kênh. Xác suất ngừng hoạt động $P(q > q_0)$ sẽ giảm khi E_b/N_0 tăng, và bằng cách vẽ xác suất ngừng hoạt động theo E_b/N_0

(tức là, xác suất ngừng hoạt động là hàm của E_b/N_0), ta có thể xác định được giá trị cực tiểu của E_b/N_0 cần thiết để duy trì xác suất ngừng hoạt động dưới 2% (nghĩa là $P(q < q_0) < 0,02$).

11.3.5. Tổng kết phương pháp luận toàn diện

Tại đây, ta tóm tắt các bước chính trong phương pháp luận để ước tính xác suất ngừng hoạt động trong hệ thống thông tin vô tuyến:

1. Xác định quan hệ giữa xác suất lỗi mã hoá P_E và số đo chất lượng thoại V bằng cách mô phỏng mã hoá/giải mã thoại với các giá trị khác nhau của P_E .
2. Tính toán các giới hạn để quan hệ hóa giữa xác suất lỗi không mã hoá q và xác suất lỗi mã hoá P_E .
3. Mô phỏng phần tương tự của hệ thống với các giá trị khác nhau của E_b/N_0 và 10.000 điều kiện kênh và đạt được phân bố q đối với các giá trị khác nhau của E_b/N_0 .
4. Ánh xạ phân bố của q sang phân bố của V và với các giá trị khác nhau của E_b/N_0 và xác định giá trị của E_b/N_0 cần thiết để duy trì xác suất ngừng hoạt động đã định.