

KỸ THUẬT TRUYỀN DẪN SỐ VÀ ỨNG DỤNG BỘ XỬ LÝ SỐ TÍN HIỆU DIGITAL TRANSMISSION TECHNIQUES AND APPLICATION OF DIGITAL SIGNAL PROCESSOR

TS. LÊ QUỐC VƯỢNG

Khoa Điện - Điện tử tàu biển, Trường ĐHHH

Tóm tắt:

Bài viết trình bày các khái niệm cơ bản trong **Kỹ thuật truyền dẫn số**. Có hai phương pháp chính để thực hiện truyền dẫn số đó là truyền dẫn tín hiệu băng gốc và truyền dẫn thông qua điều chế sóng mang. Ứng dụng của bộ xử lý số tín hiệu được thể hiện thông qua các khâu cơ bản trong sơ đồ hệ thống truyền dẫn số.

Abstract:

The article presents the basic concepts of the **Digital Transmission Techniques**. There are two fundamental ways to implement the digital transmission, they are namely: Base-band digital transmission and digital transmission via carrier modulation. The applications of digital signal processor are shown by elementary blocks in diagram of digital transmission system.

Ngày nay, các hệ thống thông tin số (dữ liệu) đã được ứng dụng rất rộng rãi trong nhiều lĩnh vực và trở thành các hệ thống thông tin thiết yếu của con người, mà trong đó công nghệ truyền dẫn tín hiệu số, gọi tắt là truyền dẫn số, là khâu có vai trò vô cùng quan trọng. Nhưng sự phát triển của kỹ thuật truyền dẫn số thật sự là phải dựa phần lớn vào sự phát triển của công nghệ vi xử lý và đặc biệt là công nghệ xử lý số tín hiệu. Các bộ xử lý số tín hiệu (Digital Signal Processor – DSP) ra đời muộn hơn nhiều so với bộ vi xử lý đa năng (Micro Processor), nhưng ngay lập tức đã mang lại rất nhiều ứng dụng trong viễn thông vì nó có khả năng xử lý theo thời gian thực, là yếu tố rất quan trọng trong truyền thông. Trong các phần sau, chúng ta sẽ thấy rõ vai trò của các bộ xử lý số tín hiệu trong hệ thống truyền dẫn số.

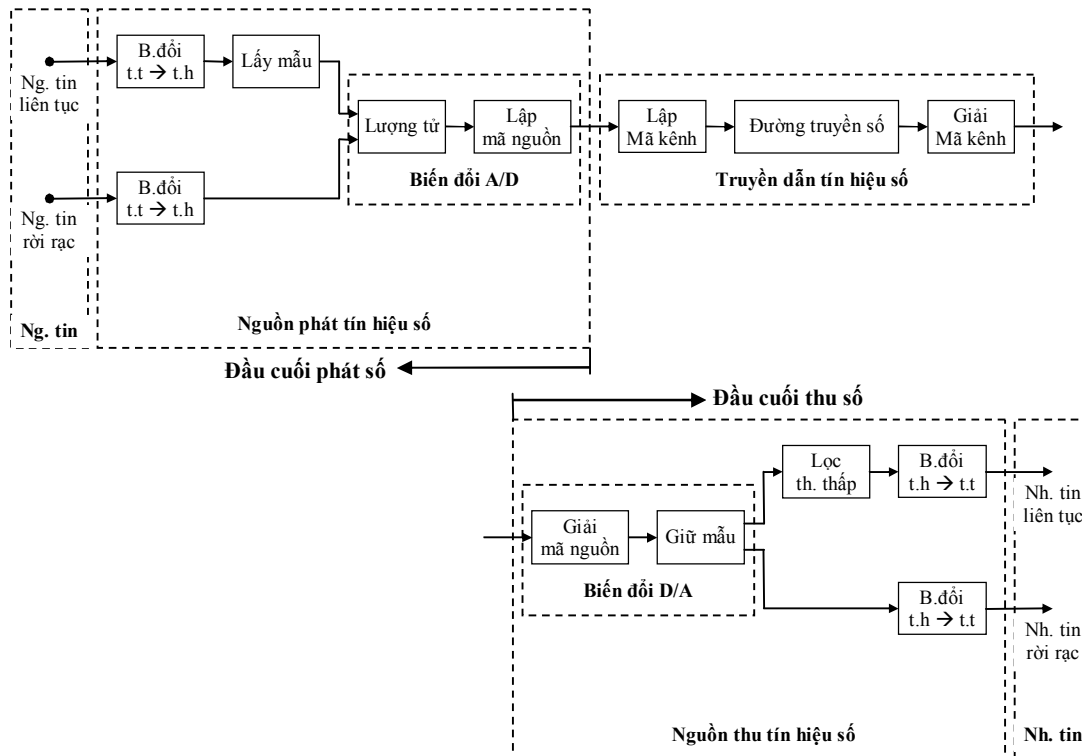
I. KỸ THUẬT TRUYỀN DẪN SỐ

Sơ đồ nguyên lý của một hệ thống thông tin số cơ bản được trình bày trên hình 1.1. Chức năng chung của 1 hệ thống thông tin là truyền dẫn các tin tức được sinh ra từ **nguồn tin** (Source) đưa đến nơi **nhận tin** (End User) bằng cách nào chính xác nhất có thể được, hay nói cách khác là tin tức tái tạo lại ở đầu ra khâu cuối cùng của hệ thống phải đảm bảo là 1 bản sao đúng nhất có thể được của tin tức đưa vào đầu vào khâu đầu tiên của hệ thống.

Các nguồn tin tồn tại trên thực tế gồm 2 loại là **nguồn tin liên tục** và **nguồn tin rời rạc**. Để truyền dẫn được các tin tức này, cần phải biến đổi chúng thành các tín hiệu điện. Như vậy, tín tức liên tục được biến đổi thành tín hiệu tương tự, còn tín tức rời rạc được biến đổi thành tín hiệu rời rạc. Các dạng tín hiệu này tiếp tục được biến đổi thành tín hiệu số để có thể truyền dẫn số. Tín hiệu tương tự được rời rạc hóa bằng cách tiến hành lấy mẫu, sau đó được lượng tử và điều chế xung mã (PCM), còn gọi là **lập mã nguồn**, ta sẽ nhận được tín hiệu số. Đối với tín hiệu tương tự, 3 bước: lấy mẫu, lượng tử và lập mã nguồn thường gọi gộp lại là khối biến đổi tương tự – số (Analog Digital Converter – A/D Converter). Toàn bộ các quá trình với đầu vào là tín tức, đầu ra là tín hiệu số được gọi là **nguồn tín hiệu số**.

Khối cuối cùng của nguồn tín hiệu số là khối lập mã nguồn, mà đầu ra của nó cũng đồng thời là đầu ra của nguồn tín hiệu số. Tín hiệu ở đầu vào của khối lập mã nguồn là dãy các xung rời rạc đã được lượng tử. Khối lập mã nguồn thực hiện mã hóa từng xung một tương ứng với 1 từ mã và như vậy ở đầu ra ta có **tín hiệu số phát** chính là dãy liên tục của các từ mã. Nếu gọi đơn vị mang tin của dãy từ mã là 1 bit (Binary Digit), với thời gian kéo dài là T_b , thì tốc độ truyền tin được tính là $R_b = 1/T_b$ có đơn vị đo là $[bit/s]$. Khối lập mã nguồn có thể được xây dựng trên cơ sở của bộ xử lý số tín hiệu.

Theo sơ đồ hình 1.1, phần đầu cuối thu số bao gồm khối nhận tín hiệu số, khối nhận tin có cấu trúc và hoạt động hoàn toàn đối ngẫu với phần đầu cuối phát số, gồm có khối nguồn tín hiệu số, khối nguồn tin. Vì trọng tâm nội dung của bài viết là về truyền dẫn tín hiệu số nên ở đây sẽ không trình bày chi tiết về các phần đầu cuối thu số.



Hình 1.1. Sơ đồ nguyên lý của một hệ thống thông tin số cơ bản

Cũng theo sơ đồ hình 1.1, công đoạn chủ chốt của hệ thống thông tin số là phần truyền dẫn tín hiệu số. Phần này bao gồm 3 khối chính là lập mã kênh, đường truyền số và giải mã kênh.

Theo định luật Shannon, nếu tốc độ truyền tin R lớn hơn dung lượng C của kênh thì giá trị năng lượng bit trên tạp âm E_b/N_0 phải lớn hơn một giá trị xác định để việc truyền tin không bị lỗi. Vấn đề là làm thế nào để giảm được công suất của tín hiệu mà vẫn đảm bảo chất lượng truyền tin. Điều này có thể thực hiện bằng cách cộng thêm một số bit dư thừa vào các từ mã và đây chính là nguyên lý hoạt động của phương pháp **mã hóa kênh** (còn gọi là mã hóa sửa lỗi, hay mã hóa chống nhiễu). Có 2 cách mã hóa kênh hay dùng là mã hóa khối và mã hóa xoắn. Bộ lập mã kênh tạo ra các từ mã chống nhiễu, bao gồm 2 phần: Phần bit mang tin và phần bit kiểm tra. Bộ giải mã kênh sẽ căn cứ vào cấu trúc của các từ mã và thuật toán mã hóa để xác định xem từ mã nhận có bị lỗi không và nếu có lỗi thì sửa lỗi (nếu là mã sửa lỗi) hoặc yêu cầu phát lại. Các bộ lập mã kênh và giải mã kênh có nguyên lý hoạt động là các thuật toán nên chúng thường được xây dựng bằng bộ xử lý số tín hiệu với các chương trình cài đặt thích hợp.

Phần cốt lõi của công nghệ truyền dẫn số là đường truyền số. Đường truyền số được chia thành 2 loại là đường truyền số dải thông thấp và đường truyền số dải thông băng, tương ứng với kết cấu vật lý của môi trường truyền dẫn là dạng đôi dây hay cáp đồng trục và dạng vô tuyến hay cáp quang. Khi đường truyền số là dải thông thấp, thì ta có công nghệ truyền dẫn tín hiệu số băng gốc (Mạng 1260, 1269, ...). Khi đường truyền số là dải thông băng, thì ta có công nghệ truyền dẫn tín hiệu số thông qua điều chế sóng mang (Mạng ADSL).

II. ỨNG DỤNG BỘ XỬ LÝ SỐ TÍN HIỆU

2.1. Truyền dẫn số băng gốc

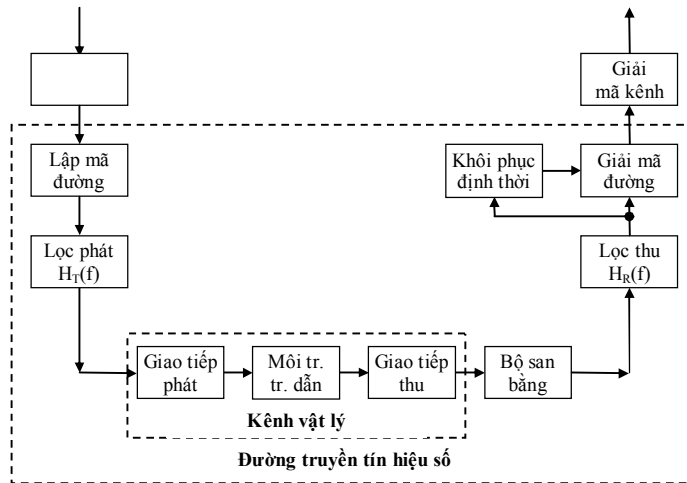
Hình 2.1 là sơ đồ nguyên lý truyền dẫn tín hiệu số băng gốc.

Trong công nghệ truyền dẫn số băng gốc có một số vấn đề cần quan tâm, đó là:

- Điều chế số và giải điều chế số băng gốc;
- Kỹ thuật san bằng kênh;
- Khôi phục định thời.

Các vấn đề này được thực hiện về mặt vật lý bằng các bộ xử lý số tín hiệu (DSP), còn về phương pháp, nguyên lý hoạt động có thể được tóm lược như sau.

a) Điều chế số và giải điều chế số băng gốc.



Hình 2.1. Sơ đồ nguyên lý truyền dẫn tín hiệu số băng gốc

Về nguyên tắc, điều chế là quá trình biến đổi tín hiệu thành dạng thích hợp để có thể truyền dẫn trên các đường truyền vật lý. Nhưng trong truyền dẫn số băng gốc, để tăng độ tin cậy khi truyền dẫn liên tiếp các từ mã, mà thực chất là các bit nhị phân rời rạc, người ta thường nhóm chúng lại thành từng cụm. Mỗi cụm tương đương như 1 ký hiệu, hay 1 symbol và như vậy điều chế số là làm tương ứng 1 symbol với 1 dạng sóng vật lý có thể truyền lan được. Do cách làm “tương ứng” này mà quá trình điều chế số còn được gọi là mã hóa đường dây (Line Coding). Có các cách điều chế số, hay mã hóa đường dây là:

- Điều biên xung (PAM): 1 symbol tương ứng 1 xung có biên độ xác định. (Chú ý là còn các cách điều chế xung khác như PFM, PPM và PWM nhưng không áp dụng cho điều chế số). Các sóng xung có biên độ khác nhau không phải là trực giao với nhau;

- Điều chế với các sóng trực giao nhiều chiều (Multidimensional Orthogonal Signal): 1 symbol tương ứng 1 dạng sóng tín hiệu trực giao. Một số dạng sóng trực giao nhiều chiều hay được sử dụng trong điều chế số là:

- * Dạng nhiều chiều – đóng ngắt (Multidimensional On-Off);
- * Dạng nhiều chiều – đối cực (Multidimensional Bipolar);
- * Các dạng trực giao khác: Trực giao đôi (Biorthogonal); Trực giao co giãn (Haar Orthogonal); ...

Các cách phân loại mã hóa đường dây như trên, nếu tiến hành kết hợp với nhau, chúng sẽ tương ứng với các thuật ngữ mã hóa kinh điển như: RZ/NRZ; AMI; MLT-3; HDB3; CMI; Biphas (Manchester); Quaternary (2B-1Q); Duobinary;... Việc chọn cách mã hóa nào tùy thuộc vào các chỉ tiêu cơ bản: Điện áp truyền dẫn và thành phần 1 chiều; Tần số nhịp và dạng mã; Độ rộng dải tần của mã; Khả năng khôi phục định thời; Khả năng phát hiện lỗi; Khả năng sửa lỗi và giải mã.

Giải điều chế số hay giải mã hóa đường dây là xác định lại symbol nào đã được phát đi dựa trên tín hiệu thu được. Điều này được thực hiện theo nguyên tắc của máy thu tối ưu đó là một máy thu được thiết kế để cực tiểu hóa xác suất thu lỗi. Trong hầu các máy thu tối ưu đối với kênh có tạp âm trắng cộng Gaussian (Additive White Gaussian Noise – AWGN) luôn gồm có 2 khối cấu thành: Khối thứ nhất là bộ tương quan (So sánh tín hiệu thu và tín hiệu gốc) hoặc bộ lọc phối hợp (Đáp ứng xung của bộ lọc trùng với dạng tín hiệu gốc); Và khối thứ hai là một bộ tách tín hiệu hoạt

động dựa trên nguyên lý tính khoảng cách Euclide $D_i = |r - A_i|$, với r là tín hiệu thu được và A_i là vị trí không gian của tín hiệu gốc. Rõ ràng thuật toán tính tương quan và lọc phối hợp có thể thực hiện rất hiệu quả bởi các bộ xử lý số tín hiệu.

b) Kỹ thuật san bằng kênh

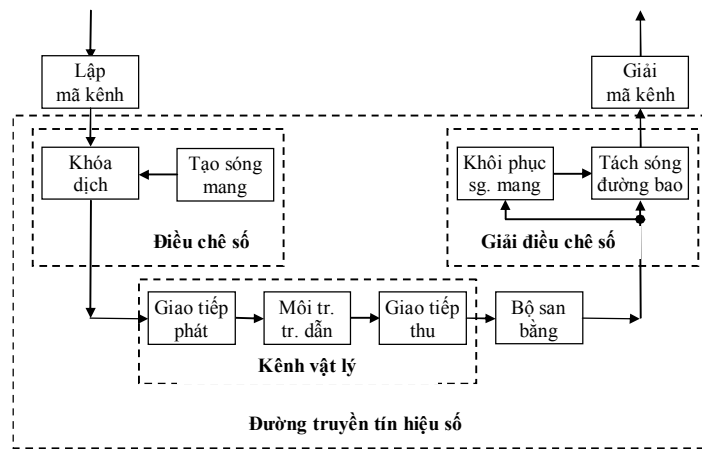
Các bộ san bằng kênh (Equalizer) giải quyết vấn đề truyền dẫn tín hiệu số qua kênh có băng tần hữu hạn, cụ thể là giảm nhiễu giữa các symbol (Inter Symbol Interference – ISI). Cấu trúc chung nhất của bộ san bằng kênh được sử dụng trong thực tế là một bộ lọc FIR tuyến tính với các hệ số có thể điều chỉnh hay xác định theo một thuật toán nào đó. Đã có một bài viết của cùng tác giả trình bày về 2 cách xác định cơ bản các hệ số này là cách tính trực tiếp (Cường bức 0 và LMSE) và cách tính thích nghi trên cơ sở sử dụng các bộ xử lý số tín hiệu.

c) Khôi phục định thời

Nguyên tắc hoạt động của máy thu tối ưu nêu trên đây có sử dụng các mạch tính tương quan hay lọc phối hợp và các bộ lấy mẫu tại đúng 1 chu kỳ bit. Các hệ thống nhằm có được các thông tin về thời gian này giữa phần phát và phần thu được gọi là hệ thống khôi phục định thời (hay đồng bộ symbol, đồng bộ đồng hồ). Một hệ thống khôi phục định thời đơn giản nhất, hay được áp dụng trong thực tế là sử dụng một bộ tính tự tương quan của tín hiệu thu được và đầu ra của nó đưa qua một cổng sớm – muộn. Bộ tính tương quan có thể thực hiện bằng một bộ xử lý số tín hiệu, còn cổng sớm – muộn được thực hiện bằng một mạch lấy mẫu tối ưu.

2.2. Truyền dẫn số thông qua điều chế sóng mang

Các bộ xử lý số tín hiệu của hãng Motorola 24 bit họ 5600x (trừ DSP56000 và DSP56001) và họ 563xx có tích hợp bộ tạo dao động tự động chỉnh pha tần số bằng mạch khóa pha PLL (Phase Locked Loop). Một PLL là một hệ thống điều khiển phi tuyến liên kết ngược nhằm điều khiển pha của bộ dao động nội. Tần số dao động của các bộ xử lý số tín hiệu có thể đạt được khá cao lên đến hàng chục MHz ở dải HF bằng cách khóa pha với các mạch tạo dao động tần số thấp bên ngoài và lập trình nhân tần



Hình 2.2. Sơ đồ nguyên lý truyền dẫn tín hiệu số thông qua điều chế sóng mang

số với một hệ số chạy từ 1 đến $2^{15} = 32768$. Do đó các bộ xử lý này có chức năng điều chế tín hiệu, thể hiện qua các hàm điều biên (AM), điều tần (FM), điều pha (PM) và điều chế kết hợp.

Hình 2.2 là sơ đồ nguyên lý truyền dẫn tín hiệu số thông qua điều chế sóng mang. Điểm khác biệt với truyền dẫn số băng gốc là các khối điều chế số và giải điều chế số được thay cho các khối lập mã đường truyền và giải mã đường truyền. Quá trình điều chế số, sử dụng các bộ xử lý số tín hiệu nói trên, được thực hiện theo 4 hình thức thường gặp nhất như sau.

a) Điều chế biên độ sóng mang (ASK)

Dạng sóng tín hiệu phát đi là:

$$u_m(t) = A_m g_T(t) \cos(2\pi f_c t) = s_m \psi(t)$$

Trong đó: $s_m = A_m$ - Tín hiệu bản tin dạng biên độ;

$$\psi(t) = g_T(t) \cos(2\pi f_c t) - \text{Sóng mang.}$$

b) Điều chế pha sóng mang (PSK)

Dạng sóng tín hiệu phát đi là:

$$u_m(t) = A g_T(t) \cos(2\pi f_c t + \theta_m) = s_{mc} \psi_c(t) - s_{ms} \psi_s(t)$$

Trong đó: $\theta_m = \frac{2\pi m}{M}$ - Tín hiệu bản tin dạng góc pha;

$s_{mc} = A \cdot \cos(\theta_m)$, $s_{ms} = A \cdot \sin(\theta_m)$ - Biểu điều bản tin dạng hàm cos và hàm sin;

$\psi_c(t) = g_T(t) \cos(2\pi f_c t)$, $\psi_s(t) = g_T(t) \sin(2\pi f_c t)$ - Các sóng mang.

c) Điều chế biên độ vuông góc (QAM)

Dạng sóng tín hiệu phát đi là:

$$u_m(t) = A_{mc} g_T(t) \cos(2\pi f_c t) + A_{ms} g_T(t) \sin(2\pi f_c t) = s_{mc} \psi_c(t) + s_{ms} \psi_s(t)$$

Trong đó: $s_{mc} = A_{mc}$, $s_{ms} = A_{ms}$ - Tín hiệu bản tin dạng biên độ theo trục hàm cos và hàm sin;

$\psi_c(t) = g_T(t) \cos(2\pi f_c t)$, $\psi_s(t) = g_T(t) \sin(2\pi f_c t)$ - Các sóng mang.

Biểu đồ sao của điều chế biên độ vuông góc có dạng hình vuông.

Điều chế biên độ vuông góc cũng có thể xem như một dạng hỗn hợp của điều chế biên độ sóng mang và điều chế pha sóng mang với dạng sóng tín hiệu phát đi là:

$$u_{mn}(t) = A_{mc} g_T(t) \cos(2\pi f_c t + \theta_n) = s_m \psi_{cn}(t) + s_m \psi_{sn}(t)$$

Trong đó: $s_m = A_m$ - Tín hiệu bản tin dạng biên độ;

$\theta_n = \frac{2\pi n}{M}$ - Tín hiệu bản tin dạng góc pha;

$\psi_{cn}(t) = g_T(t) \cos(2\pi f_c t + \theta_n)$, $\psi_{sn}(t) = g_T(t) \sin(2\pi f_c t + \theta_n)$ - Các sóng mang

dạng hàm cos và hàm sin bị điều chế pha theo bản tin dạng góc pha.

Biểu đồ sao của điều chế biên độ và pha sóng mang kết hợp có dạng hình tròn.

d) Điều chế tần số sóng mang (FSK)

Dạng sóng tín hiệu phát đi là:

$$u_m(t) = A \cdot \cos(2\pi (f_c + m \cdot \Delta f) t) = A \cdot \cos(2\pi s_m t)$$

Trong đó: $s_m = f_c + m \cdot \Delta f$ - Tín hiệu bản tin dạng tần số;

$\psi(t) = A \cdot \cos(2\pi f_c t)$ - Sóng mang.

Việc giải điều chế số áp dụng phương pháp tính tương quan hay lọc phối hợp và do đó có thể thực hiện rất tốt bởi các bộ xử lý số tín hiệu.

Vấn đề khôi phục sóng mang của truyền dẫn số thông qua điều chế sóng mang thường áp dụng một mạch vòng khóa pha PLL. Nhưng trên đây đã trình bày, đó chính là một phần trong cấu trúc của các bộ xử lý số tín hiệu.

III. KẾT LUẬN

Trong các phần trên, những khâu cơ bản nhất của công nghệ truyền dẫn số luôn được chỉ ra cách thực hiện bởi các bộ xử lý số tín hiệu. Nội dung của bài viết chỉ nêu được một cách tổng quan khả năng ứng dụng của các bộ xử lý số tín hiệu trong công nghệ truyền dẫn tín hiệu số. Trong các bài viết tiếp theo, tác giả sẽ trình bày việc sử dụng bộ xử lý số tín hiệu trong từng khối cụ thể một cách chi tiết về hoạt động, cấu trúc, chương trình cài đặt, thông số, ...

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

[1] J. G. Proakis, M. Salehi, *Contemporary Communication System using MATLAB*, Brooks/Cole Publishing Company, Northeastern University, Canada, 2000.
 [2] A. K. Jain, *Fundamentals of Digital Signal Processing*, Englewood Cliffs of Prentice Hall, California, 2000.
 [3] Thái Hồng Nhị, Phạm Minh Việt, *Kỹ thuật truyền tin số và truyền dữ liệu*, NXB Giáo dục, Hà Nội, 2005.
 [4] Dương Thế Tùng, *Mạng truyền dẫn tốc độ cao – Công nghệ và ứng dụng*, NXB Thanh Niên, Hà Nội, 2005.
 [5] *Tài liệu hướng dẫn thí nghiệm modul MCM33*, Elettronica Veneta, Italia, 2005.

Người phản biện: TS. Trần Xuân Việt