

PGS.TS. NGUYỄN QUỐC TRUNG

XỬ LÝ TÍN HIỆU VÀ LỌC SỐ

TẬP 1



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

PGS. TS. NGUYỄN QUỐC TRUNG



XỬ LÝ TÍN HIỆU và LỘC SỐ

TẬP I

In lần thứ 6 có sửa chữa

Sách chào mừng 50 năm
thành lập trường Đại học Bách khoa Hà Nội



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT
HÀ NỘI 2006

LỜI NÓI ĐẦU

LỜI GIỚI THIỆU

Cuộc cách mạng khoa học và công nghệ đang diễn ra một cách sôi động chưa từng thấy như hiện nay trên toàn thế giới thúc đẩy loài người nhanh chóng bước sang một kỷ nguyên mới. Đó là kỷ nguyên của nền văn minh dựa trên cơ sở công nghiệp trí tuệ. Mở đầu cho cuộc cách mạng khoa học và công nghệ lần này có thể được đánh dấu bằng sự ra đời và phát triển ồ ạt của máy tính cũng như các phương tiện xử lý thông tin khác, đặc biệt là các hệ thống xử lý song song với tốc độ ngày càng cao. Cùng với sự phát triển nhanh chóng các công cụ xử lý tín hiệu số cũng như các nhu cầu ứng dụng các công cụ này vào mọi lĩnh vực hoạt động của xã hội loài người đòi hỏi sự phát triển đồng bộ các phương pháp xử lý số tín hiệu hiện đại. Đặc biệt các phương pháp xử lý số này phải áp dụng có hiệu quả trong các lĩnh vực thông tin liên lạc, phát thanh truyền hình, tự động điều khiển và các ngành công nghệ khác.

Để giúp tìm hiểu một cách cơ bản vấn đề này, Chúng tôi xin trân trọng giới thiệu cùng bạn đọc cuốn sách **"Xử lý tín hiệu và lọc số"** của PGS. TS. Nguyễn Quốc Trung. Cuốn sách đã được trình bày một cách hệ thống từ những kiến thức cơ bản về tín hiệu và các phương pháp tổng hợp phân tích các hệ thống rời rạc đến những phương pháp xử lý số tín hiệu dựa trên các công cụ toán học và vật lý hiện đại. Đặc biệt cuốn sách dành phần lớn cho việc phân tích và tổng hợp các bộ lọc số làm cơ sở cho việc ứng dụng trong các ngành công nghệ khác nhau.

Chúng tôi hy vọng rằng cuốn sách **"Xử lý tín hiệu và lọc số"** không những giúp ích tốt cho sinh viên các ngành công nghệ mà cũng là tài liệu tham khảo tốt cho NCS cũng như các chuyên gia đang hoạt động trong các lĩnh vực có liên quan.

GS. TS. Nguyễn Xuân Quỳnh

Viện trưởng Viện Điện tử - Tin học và Tự động hoá.

Cuốn sách (XỬ LÝ TÍN HIỆU VÀ LỌC SỐ) chia thành ba tập.

Tập 1 đề cập những vấn đề khái niệm cơ bản của xử lý tín hiệu bao gồm biểu diễn tín hiệu và hệ thống rời rạc trong miền biến số n , trong miền z , trong miền tần số liên tục ω , trong miền tần số rời rạc ω_s (hoặc miền k). Ngoài ra chương 5 sẽ trình bày khá chi tiết về tổng hợp bộ lọc số FIR pha tuyến tính.

LỜI NÓI ĐẦU

Ngay sau khi xuất bản cuốn “Vi điện tử số” tập 1, “Trung tâm nghiên cứu phát triển Điện tử – Tin học – Viễn thông” - hợp tác giữa trường Đại học Bách khoa Hà Nội và Tổng công ty Điện tử – Tin học Việt Nam - đã nhận được lời mời cùng xây dựng chương trình hiện đại hoá giáo trình và giáo cụ ngành Điện tử – Tin học – Viễn thông của trung tâm Đào tạo Bưu chính Viễn thông I thuộc Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông và khoa Thông tin Tin học trường Đại học dân lập Đông Đô. Chúng tôi đã tổ chức Hội thảo khoa học về chương trình số hoá kỹ thuật Điện tử – Viễn thông, trước hết trong lĩnh vực giảng dạy của trường Đại học Bách khoa Hà Nội, Học viện Công nghệ Bưu chính viễn thông...và khoa Thông tin Tin học trường đại học dân lập Đông Đô. Trong buổi Hội thảo chúng tôi đã nhận được nhiều ý kiến quý báu của các giảng viên và các nhà khoa học giàu kinh nghiệm. Hội thảo đã khẳng định việc hiện đại hoá trong lĩnh vực giảng dạy là cần thiết và rất cấp bách.

Ba cuốn sách: “Vi điện tử số” và “Xử lý tín hiệu và lọc số” tập 1 và tập 2 nằm trong bộ sách “Xử lý thông tin” nhằm mục đích này.

Chúng ta đều biết rằng việc số hoá các thiết bị Điện tử – Viễn thông đã và đang được thực hiện rất mạnh mẽ trên toàn thế giới cũng như ở Việt Nam. Chính vì vậy mà xử lý tín hiệu và lọc số đã trở thành một ngành khoa học và kỹ thuật. Sự phát triển rất nhanh chóng mà khởi đầu từ sự ra đời của các mạch vi điện tử cỡ lớn VLSI (Very – Large – Scale – Integration), công nghệ ASIC, PSOC, EPGA là nền tảng cho sự phát triển đến chóng mặt của các phần cứng số (Digital Hardware) chuyên dụng cũng như máy tính số (Digital Computer) với giá thành rẻ hơn, kích thước nhỏ hơn, tốc độ cao hơn.

Để tiếp cận với ngành khoa học hiện đại này chúng ta cần phải được trang bị những kiến thức cơ bản không thể thiếu được của xử lý tín hiệu và lọc số.

Giáo trình (XỬ LÝ TÍN HIỆU VÀ LỌC SỐ) này đã được dùng để giảng dạy nhiều năm cho học sinh chính khoá, cao học, nghiên cứu sinh của các trường đại học Bách khoa Hà Nội, Học viện Viễn thông ORAN (Institut des Télécommunications d'ORAN), Đại học Tổng hợp thành phố Hồ Chí Minh, Đại học Bách khoa Đà Nẵng, Trung tâm đào tạo Bưu chính Viễn thông I và II, Viện Khoa học kỹ thuật Bưu điện thuộc Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông, Cục tác chiến Điện tử Bộ Quốc Phòng, Đại học dân lập Đông Đô, Đại học dân lập Phương Đông, Khoa Công nghệ đại học Quốc gia Hà Nội.

Cuốn sách (XỬ LÝ TÍN HIỆU VÀ LỌC SỐ) chia thành ba tập.

Tập 1 đề cập những vấn đề khái niệm cơ bản của xử lý tín hiệu bao gồm biểu diễn tín hiệu và hệ thống rời rạc trong miền biến số n , trong miền z , trong miền tần số liên tục ω , trong miền tần số rời rạc ω_k (hoặc miền k), ngoài ra chương 5 sẽ trình bày khá chi tiết về tổng hợp bộ lọc số FIR pha tuyến tính.

Tập 2 gồm những vấn đề tổng hợp bộ lọc số IIR, cấu trúc và độ nhạy của các hệ thống số, biểu diễn hệ thống rời rạc trong không gian trạng thái và cấu trúc trạng thái, lọc số nhiều nhịp, biến đổi Fourier nhanh và cuối cùng là biến đổi Hilbert và hệ thống pha tối thiểu.

Tập 3 gồm những vấn đề về hiệu ứng lượng tử hoá trong xử lý tín hiệu và lọc số, các phương pháp đánh giá phổ, các bộ lọc số thích nghi, tiên đoán tuyến tính, xử lý đồng cấu (Homomorphic) và biểu diễn trong miền tiểu ba (Wavelet).

Mặc dầu giáo trình này đã được dùng để giảng dạy môn học xử lý tín hiệu và lọc số nhiều năm nhưng chắc không thể tránh khỏi còn những sai sót, chúng tôi rất mong bạn đọc góp ý để lần tái bản tới được hoàn thiện hơn.

Địa chỉ liên hệ:

Cố vấn: PGS. TS. Nguyễn Quốc Trung, Trưởng khoa Điện tử Viễn thông,

Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, 1 Đại Cồ Việt, Hà Nội.

Tel: 04 8692242, 04 8694957, 04 6623166, 04 6623266.

Nhà riêng: Nhà A2 – 109B Trung Tự, Đống Đa, Hà Nội.

Tel: 04 8528934; DD: 0913231914.

E- mail: nqtrung@fpt.vn

Tác giả xin chân thành cảm ơn những lời chỉ giáo quý giá của GS. TS. Nguyễn Xuân Quỳnh, Viện trưởng Viện Điện tử, Tin học và Tự động hoá, và GS. TS. Phan Anh, Giám đốc Trung tâm nghiên cứu và phát triển Điện tử – Tin học – Viễn thông, để cuốn sách được hoàn thành với chất lượng cao hơn.

Tác giả

Nguyễn Quốc Trung

Chương 1. TÍN HIỆU VÀ HỆ THỐNG RỜI RẠC

1.1. NHẬP MÔN

1.1.1. CÁC ĐỊNH NGHĨA

a) Định nghĩa tín hiệu

Tín hiệu là biểu diễn vật lý của thông tin.

Ví dụ 1.1.1.1 :

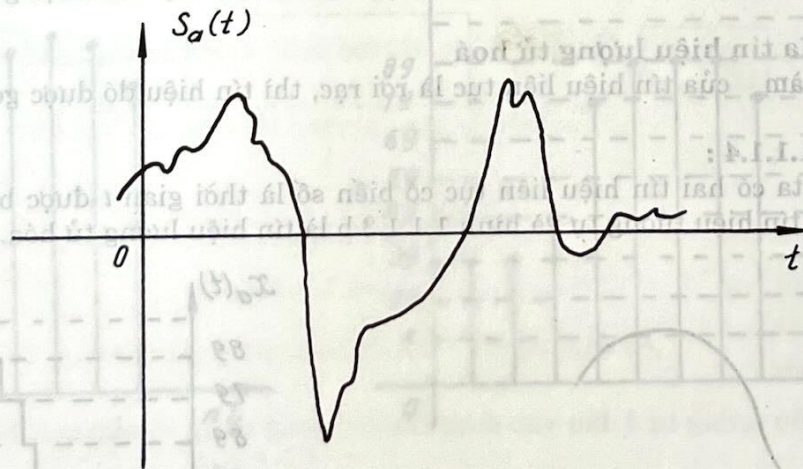
- Các tín hiệu nhìn thấy là các sóng ánh sáng mang thông tin tới mắt của chúng ta.
- Các tín hiệu nghe thấy là các sự biến đổi của áp suất không khí truyền thông tin tới tai chúng ta.

b) Biểu diễn toán học của tín hiệu

Về mặt toán học, tín hiệu được biểu diễn bởi hàm của một hoặc nhiều biến số độc lập.

Ví dụ 1.1.1.2 :

Ta có tín hiệu microphone $S_a(t)$ được biểu diễn trên hình 1.1.1.1.



Hình 1.1.1.1

Từ hình 1.1.1.1 ta thấy $S_a(t)$ là hàm một biến số, và biến số này là thời gian t .

Vì là hàm của một biến nên ta còn gọi là tín hiệu một chiều.

Ví dụ 1.1.1.3

Trong xử lý số ta chỉ xét ảnh tĩnh.

Một ảnh được đặc trưng bởi một cường độ sáng phụ thuộc hai biến số x và y : $i_a(x, y)$, x và y biểu diễn hệ tọa độ trong mặt phẳng ảnh. $i_a(x, y)$ là tín hiệu hai chiều. $i_a(x, y)$ được biểu diễn trên hình 1.1.1.2.

Chương 2 . BIỂU DIỄN HỆ THỐNG VÀ TÍN HIỆU RỜI RẠC TRONG MIỀN Z

2.1. MỞ ĐẦU

Trong chương 1 chúng ta đã tiến hành khảo sát tín hiệu và hệ thống rời rạc trong miền của biến số độc lập tự nhiên. Đây là cách khảo sát trực tiếp, nhưng nhiều trường hợp cách khảo sát trực tiếp này gặp phải những khó khăn nhất định hoặc rất phức tạp và hiệu quả không cao.

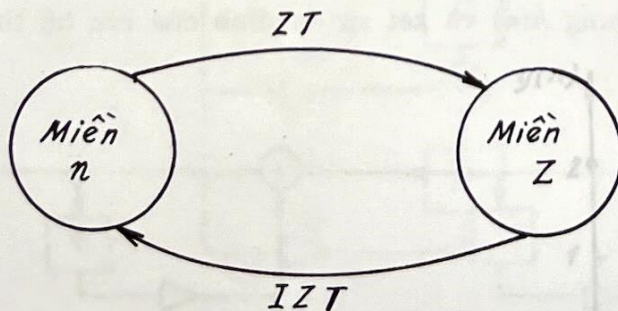
Ngoài phương pháp khảo sát trực tiếp này chúng ta có thể dùng nhiều phương pháp khảo sát gián tiếp khác thông qua các kỹ thuật biến đổi. Các biến đổi này làm nhiệm vụ chuyển miền biến số độc lập sang các miền khác và như vậy tín hiệu và hệ thống rời rạc sẽ được biểu diễn trong các miền mới này với các biến số mới. Mỗi một cách biến đổi sẽ có những thuận lợi riêng của nó, tùy từng trường hợp mà chúng ta dùng biến đổi nào. Sau khi khảo sát xong tín hiệu và hệ thống rời rạc trong miền các biến số mới này, nếu cần thiết chúng ta sẽ dùng các biến đổi ngược để đưa chúng về miền biến số độc lập cũ (miền biến số độc lập tự nhiên).

Phương pháp khảo sát gián tiếp này sẽ làm đơn giản rất nhiều các công việc mà chúng ta gặp phải khi dùng phương pháp khảo sát trực tiếp trong miền biến số độc lập tự nhiên.

Trong chương này chúng ta sẽ dùng biến đổi Z (Z - Transform, viết tắt là ZT), như vậy tín hiệu và hệ thống rời rạc sẽ được biểu diễn trong miền Z. Phương pháp khảo sát gián tiếp trong miền Z này đặc biệt quan trọng trong việc phân tích tín hiệu và hệ thống rời rạc và nó cho những kết quả khả quan, mà nếu khảo sát trực tiếp trong miền biến số độc lập tự nhiên sẽ không có được.

Biến đổi Z đóng vai trò như biến đổi Laplace (Laplace Transform) trong việc phân tích tín hiệu và hệ thống liên tục.

Quan hệ giữa miền n và miền Z được hình thức hoá bằng đồ hình trên hình 2.1.1.1.



Hình 2.1.1.1.

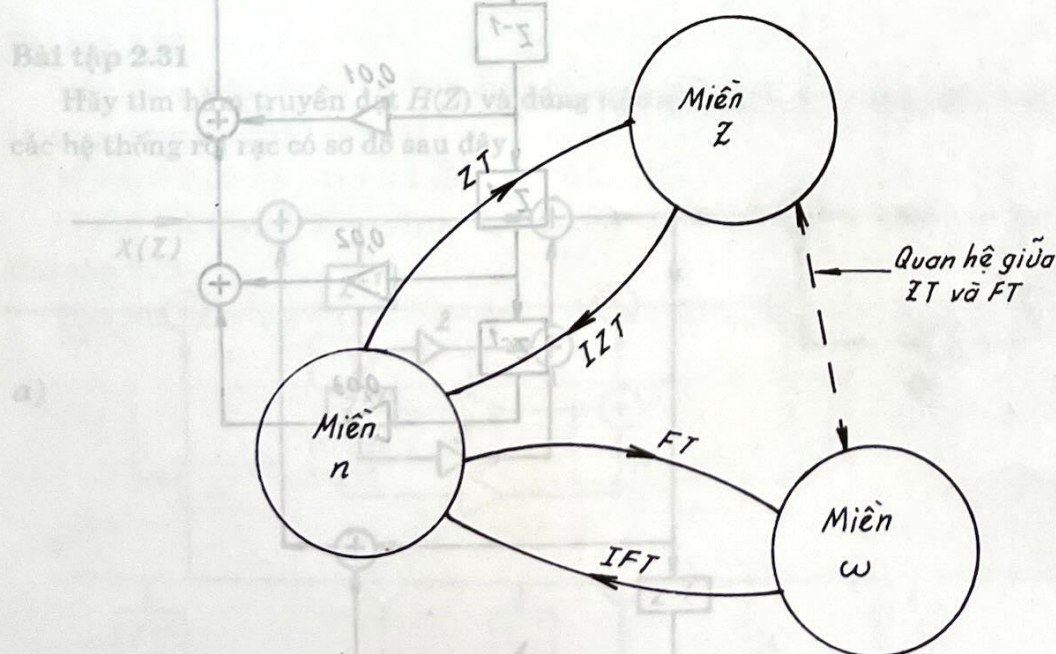
Chương 3. BIỂU DIỄN HỆ THỐNG VÀ TÍN HIỆU RỜI RẠC TRONG MIỀN TẦN SỐ LIÊN TỤC

3.1. MỞ ĐẦU

Ở chương 1 chúng ta đã tiến hành nghiên cứu trực tiếp tín hiệu của hệ thống rời rạc trong miền biến số độc lập, như ta đã biết phương pháp nghiên cứu trực tiếp này nhiều khi gặp những khó khăn phức tạp và hiệu quả không cao. Sau đó ở chương 2, thông qua biến đổi Z chúng ta đã tiến hành nghiên cứu tín hiệu của hệ thống rời rạc trong miền Z và chúng ta đã thấy được những thuận lợi của phương pháp nghiên cứu gián tiếp này.

Trong chương này chúng ta sẽ dùng một công cụ toán học khác, đó là biến đổi Fourier để chuyển việc biểu diễn tín hiệu và hệ thống rời rạc từ miền biến số độc lập n sang miền tần số liên tục ω .

Như vậy cho đến chương 3 này chúng ta có 3 miền biểu diễn tín hiệu và hệ thống rời rạc. Sự liên hệ giữa các miền biểu diễn được minh họa trên hình 3.1.1



Hình 3.1.1.

FT: Fourier Transform (biến đổi Fourier)

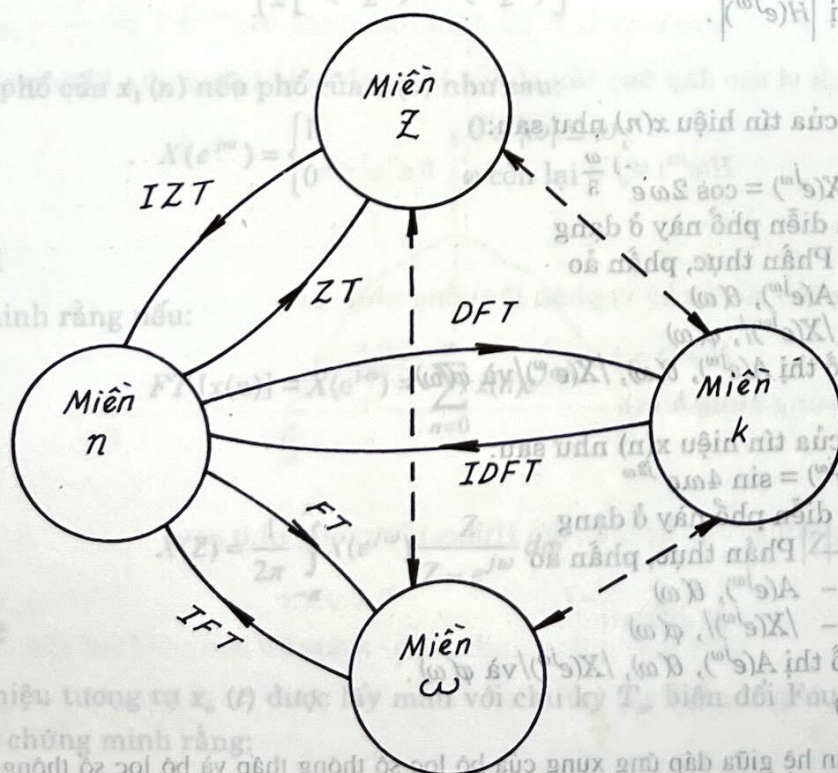
IFT: Inverse Fourier Transform (biến đổi Fourier ngược)

Chương 4. BIỂU DIỄN TÍN HIỆU VÀ HỆ THỐNG RỜI RẠC TRONG MIỀN TẦN SỐ RỜI RẠC

4.1. MỞ ĐẦU

Trong chương 3 chúng ta đã nghiên cứu cách biểu diễn tín hiệu và hệ thống rời rạc trong miền tần số liên tục ω (hoặc f). Chúng ta đã dùng biến đổi Fourier đối với tín hiệu rời rạc để làm việc chuyển tín hiệu và hệ thống rời rạc từ miền biến số n sang miền tần số liên tục ω . Việc nghiên cứu trong miền ω rất thuận lợi cho việc phân tích và tổng hợp các hệ thống số, đặc biệt đối với các bộ lọc số mà chúng ta sẽ xét ở các chương sau.

Như vậy tổng kết lại chúng ta đã nghiên cứu việc biểu diễn tín hiệu và hệ thống rời rạc trong 3 miền: Miền biến số n , miền Z và miền ω . Trong mỗi một miền có những thuận lợi riêng của nó và giữa các miền cũng có sự liên hệ với nhau, hình 4.1.1 cho ta sơ đồ chuyển đổi giữa các miền và sự liên hệ giữa chúng với nhau.



Hình 4.1.1.

Chương 5. TỔNG HỢP CÁC BỘ LỌC SỐ CÓ ĐÁP ỨNG XUNG CHIỀU DÀI HỮU HẠN

5.1. MỞ ĐẦU

5.1.1. LỜI NÓI ĐẦU

Chúng ta đã nghiên cứu các phương pháp chính được sử dụng trong xử lý số tín hiệu. Nhưng các phương pháp đã được nghiên cứu chỉ qua các ví dụ đơn giản và đôi khi quá lý thuyết.

Trong chương này chúng ta sẽ sử dụng các công cụ chính đã được nghiên cứu ở trên trong các trường hợp thực tế của kỹ thuật xử lý số tín hiệu. Nhưng để đơn giản hoá các phương pháp tổng hợp chúng ta chỉ giới hạn nghiên cứu các trường hợp của hệ thống tuyến tính bất biến.

Về mặt lịch sử các bộ lọc số đã tạo ra một ngành được nghiên cứu nhiều nhất trong xử lý số tín hiệu. Chúng đã được phát triển và nghiên cứu với mục đích có thể mô phỏng các bộ lọc tương tự trên máy tính điện tử. Chúng cho phép tạo ra các hiệu quả lớn và tối ưu hoá các tham số của bộ lọc trước các sự thực hiện lớn lao của chúng.

Các tiến bộ hiện nay của công nghệ mạch vi điện tử số đã làm tăng hiệu quả kinh tế của các bộ lọc số, các hệ thống số. Vì vậy việc hoàn thiện, bổ sung các kết quả đã có là rất cần thiết đối việc mô phỏng các bộ lọc số cũng như các phương pháp tổng hợp các bộ lọc số ngày càng được phát triển.

Trước khi đi vào chi tiết nghiên cứu các phương pháp tổng hợp bộ lọc số, chúng ta hãy định nghĩa lại thế nào là lọc số và bộ lọc số.

- Định nghĩa bộ lọc số

Một hệ thống dùng để làm biến dạng sự phân bố tần số của các thành phần của một tín hiệu theo các chỉ tiêu đã cho được gọi là bộ lọc số.

- Định nghĩa việc lọc số

Các thao tác của xử lý dùng để làm biến dạng sự phân bố tần số của các thành phần của một tín hiệu theo các chỉ tiêu đã cho nhờ một hệ thống số được gọi là sự lọc số.

5.1.2. ÔN TẬP

Một bộ lọc số là một hệ thống tuyến tính bất biến trong miền biến số n , sơ đồ khối cho trên hình 5.1.2.1.