

영상을 이용한 디지털 신호처리

실제적인 사례와 응용 업민영, 김성제 공저





*영상을 이용한 디지털 신호처리

: 실제적인 사례와 응용

엄민영, 김성제 공저



저자 엄민영 myeom66@gmail.com

연세대학교 전파공학과를 졸업하고 동대학원 석사를 졸업했으며 동대학원 박사 과정을 수료했다. 관심 연구 분야는 영상 인식 및 영상 검색, 영상 압축 및 동영상 압축이다. 특히 웨이블릿을 이용한 여러 가지 영상 처리 및 압축에 관한 연구를 진행하고 있으며, 현재 ㈜ 알피니언 메디컬 시스템에서 초음파 진단 영상 장치를 개발하고 있다.

저자 김성제 ksiguret@gmail.com

연세대학교 전기전자공학과를 졸업하고 동대학원 석사를 졸업했으며 동대학원 박사 과정을 수료했다. 현재는 영상처리 및 동영상 압축과 관련하여 연구를 진행하고 있다.

영상을 이용한 디지털 신호처리: 실제적인 사례와 응용

지 은 이 | 엄민영, 김성제

펴 낸 이 ㅣ 김태헌

펴 낸 곳 | 한빛미디어(주)

주 소 | 서울시 마포구 서교동 480-26 한빛빌딩 3층 기획편집부 전 화 | 교재개발2팀 02)336-7197, 영업 2팀 02)336-7112

팩 △ | 02)336-7199

등 록 | 1999년 6월 24일 제10-1779호

초판발행 | 2010년 12월 2일

정 가 | 23,000원

ISBN | 978-89-7914-781-0 93560

Published by HANBIT Media, Inc. Printed in Korea Copyright © 2010 by 엄민영, 김성제 & HANBIT Media, Inc. 이 책의 저작권은 엄민영, 김성제와 한빛미디어(주)에 있습니다. 저작권법에 의해 보호를 받는 저작물이므로 무단 복제 및 무단 전재를 급합니다.

이 책에 대한 의견을 주시거나 오탈자 및 잘못된 내용의 수정 정보는 한빛미디어(주)의 홈페이지나 아래 이메일로 연락주십시오. 잘못된 책은 구입하신 서점에서 교환해 드립니다.

http://www.hanb.co.kr question@hanb.co.kr



1시간 강의를 위해 3시간을 준비하는 마음!

:: 군더더기 없는 핵심 원리 + 말랑말랑 쉬운 컨텐츠

핵심 원리 하나만 제대로 알면 열 가지 상황도 해결할 수 있습니다. 친절한 설명과 명확한 기승전결식 내용 전개로 학습 의욕을 배가시켜줍니다.

:: 핵심 원리 \rightarrow 풍부한 예제와 연습문제 \rightarrow 프로젝트로 이어지는 계단 학습법

기본 원리를 다져주는 예제, 본문에서 배운 내용을 촘촘하게 점검해 볼 수 있는 연습문제, 현장에서 바로 응용할 수 있는 프로젝트를 단계별로 구성해 학습의 완성도를 높였습니다.

:: 학습욕구를 높여주는 현장 이야기가 담긴 IT 교과서

필드 어드바이저의 인터뷰와 주옥 같은 현업 이야기를 담았습니다. 강의실 밖 현장의 요구를 접하는 기회를 제공하고, 학생들 스스로 필요한 공부를 할 수 있도록 방향을 제시합니다.



객체의 특성을 해석하려면 먼저 공간의 특성을 이해해야 한다

본문으로 들어가기에 앞서 이 책으로 공부를 하려는 학생들에게 다음과 같은 질문을 해보고 싶다.

우리가 살고 있는 공간에서 내각의 합이 180도인 정삼각형이 존재하겠는가?

대부분의 학생들은 중학교 시절부터 정삼각형의 내각의 합은 180도라고 배웠고 컴퍼스와 자를 이용하여 작도까지 하면서 확인했던 내용이기에 그것이 사실이라고 굳게 믿고 있을 것이다. 과연 정삼각형의 내각의 합은 180도일까? 사실은 우리가 살고 있는 공간에서 내각의 합이 180도인 정삼각형은 절대 그릴 수 없다.

축구공 위에 정삼각형을 그리는 경우를 생각해보자. 우선 축구공 위에 직선을 그려본다. 그려진 선분이 직선인가? 결코 직선이 될 수 없을 것이다. 중학교 시절 직선의 정의를 무엇이라고 배웠는가? 직선의 정의는 시점과 끝점을 무한히 늘렸을 때, 시점과 끝점이 결코 만나지 않는 도형이다. 그렇다면 축구공 위에 그려진 선분의 시점과 끝점을 늘려보자. 시점과 끝점이 영원히 만나지 않는가? 간단히 생각해도 만날 수밖에 없다. 이유는 축구공은 구의 모양으로 휘어져 있기 때문이다. 그렇다면 정확히 같은 거리로세 점을 찍고 그 점들을 연결하여 만든 정삼각형의 내각의 합은 180도가 되겠는가? 이 역시 그렇지 않다. 최대한 정확히 구 위에 정삼각형을 그려놓고 각도기로 한 내각을 재보자. 60도가 넘을 것이다. 이것역시 축구공의 면이 휘어져 있기 때문이다. 실린더 모양의 병 위에 정삼각형을 그려보자. 병 위에 그려진 정삼각형 역시 내각의 합이 180도가 될 수는 없을 것이다. 그렇다면 축구공 위에 그린 정삼각형과 병위에 그린 정삼각형은 모양이 같을까? 그렇지 않다는 사실을 쉽게 알 수 있을 것이다.

어떤 객체를 정의하고 그 특성을 해석 및 분석하는 일은 그 객체가 살고 있는 공간의 특성을 이해하지 못하고서는 불가능하다. 신호처리 역시 마찬가지다. 많은 신호가 각기 다른 형태와 특성을 갖고 있기 때문에, 목적에 맞도록 처리하기 위해서는 그 신호가 살고 있는 공간의 특성을 정확히 이해할 필요가 있다. 어떤 신호가 살고 있는 공간을 이해한다는 것은 많은 내용을 포함할 수 있다. 예를 들면, 그 공간의모든 원소를 만들어낼 수 있는 기저가 무엇인가, 서로 다른 두 원소 사이의 거리는 어떻게 측정되어야하는가. 또 그 공간에서 수행할 수 있는 연산에는 어떤 것들이 있는가 하는 것들이다. 이런 부분은 대부

분의 학생이 쉽게 무시하거나 지나칠 수 있는 부분이다.

비록 이 책에서 모든 내용을 다루지는 못하지만 3장에서 간단히 언급할 기저에 대한 내용과 신호의 확장은 아주 중요하다. 이에 대해 이해하려면 수학과에서 배우는 집합론과 선형 대수론 그리고 실해석학에 대해 공부를 선행하는 것이 좋다.

이 책에서 다루는 내용

- ▶ 1장: 우리가 살고 있는 공간에서 접할 수 있는, 다양한 응용 분야에서 사용되는 신호의 형태와 종류를 살펴볼 것이다. 가장 기본적인 신호는 아날로그 신호이지만 디지털 컴퓨터의 등장과 함께 디지털 신 호처리 기술이 하루가 다르게 발전하고 있으며 새로운 응용 분야들이 나타나고 있다. 디지털 신호처 리 기술이 어떠한 응용 분야에 사용되고 있는지를 간단히 알아본다.
- ▶ 2장: 디지털 신호처리의 가장 기본으로서 신호를 시간 영역에서 직접 처리하는 방법을 살펴볼 것이다. 대부분의 이산 시스템은 선형은 아니지만 선형성을 가정하여 임펄스 응답으로 이산 시스템을 정의하고, 컨벌루션 합으로 출력을 만들어내는 일련의 과정을 알아본다.
- ▶ 3장, 5장: 신호를 변환 영역에서 처리하기 위해 시간 영역의 신호를 주파수 영역으로 변환해주는 푸리에 변환 방법을 살펴볼 것이다. 3장과 5장은 각각 아날로그 신호와 디지털 신호의 변환 방법을 다룬다. 5장에서는 푸리에 변환의 일반화된 형태인 z변환과 변환 후 변환 영역에서의 신호가 시간 영역에서의 정보를 갖지 못하는 단점을 보완한 변환 방법인 웨이블릿 변환에 대해서도 간단히 살펴볼 것이다.
- ▶ 4장: 연속 신호를 디지털 시스템으로 처리하기 위한 방법으로 샘플링 이론을 살펴볼 것이다. 시간 영역과 주파수 영역에서 각각 샘플링에 의해 나타나는 현상들을 자세히 알아본다.
- ▶ 6장: 시간 영역의 신호를 변환 영역으로 변환하기 위해 가장 많이 사용하는 고속 푸리에 변환을 배울 것이다. 고속 푸리에 변환 알고리즘이 많이 개발되었지만 이 책에서는 가장 일반적으로 사용되는 DIT(Decimation-in-Time) FFT 알고리즘과 DIF(Decimation-in-Frequency) FFT 알고리즘을 살펴본다.
- ▶ 7장: 3장과 5장, 그리고 6장에서 배운 푸리에 변환과 z 변환을 이용하여 시간 영역의 신호를 변환 영역에서 처리하는 여러 가지 방법을 살펴볼 것이다. 시간 영역에서 임펄스 응답을 이용하여 이산 시스템을 정의한 것과 마찬가지로, 변환 영역에서 이산 시스템은 주파수 응답과 전달 함수에 의해 정의된다. 전달 함수에 의해 정의되는 이산 시스템을 살펴보고 아주 간단한 이산 시스템인 FIR 필터와 IIR 필터의 개념을 변환 영역에서 살펴볼 것이다.

- ▶ 8장: 7장에서 간단히 언급한 디지털 필터를 심도 있게 다룬다. 아날로그 필터로부터 디지털 필터를 만들어내는 일련의 과정을 알아보고, FIR 필터와 IIR 필터가 구조적으로 어떤 특징과 차이점이 있는 지 시간 영역과 주파수 영역에서 각각 살펴볼 것이다.
- ▶ 9장: 디지털 신호처리 분야 중 하나인 디지털 영상처리 분야에서 사용되는 신호처리 기술을 예제를 통해 공부할 것이다.

디지털 신호처리를 공부하는 목적은 신호를 처리함에 있어 시간 영역에서의 특징과 주파수 영역에서의 특징 모두를 이해하기 위해서다. 이 책을 통해 디지털 신호처리를 공부하려는 학생들은 모든 내용에 대해 시간 영역과 변환 영역 사이의 관계가 어떻게 될 것인지에 관심을 기울이길 바란다.

> 2010년 11월 저자 일동

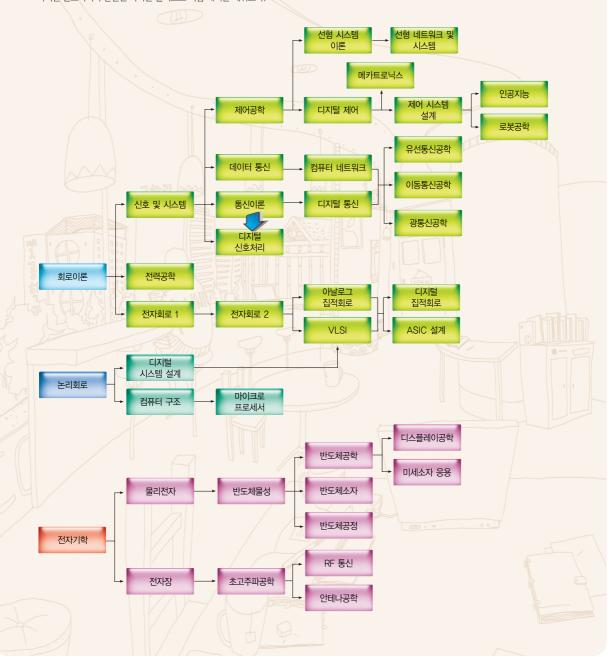
Teaching Roadmap

正라字 性产日五 全时生71

목표를 세우지 않고 학습할 경우 끈기 있게 학업을 지속하지 못하고 중간에 포기하기 쉽다.

목표를 세우고 그 목표를 향해 전진할 때 현재 학업에 더욱 몰입할 수 있고, 꿈을 이루려는 열정이 강해진다.

디지털 신호처리와 관련된 과목을 살펴보고 학습 계획을 세워보자.



>> 강의 계획

◈ 무엇을 배우나?

이 책은 총 9개의 장으로 구성되어 있으며, 디지털 신호처리 및 해석에 대한 전반적인 내용과 영상처리에 대한 간단한 예제들을 다룬다. 이 책이 디지털 신호처리를 학습할 때 시간 영역에서의 특징과 변환(주파수) 영역에서의 특징을 좀 더 쉽게 이해하는 데 도움이 될 것이다.

● 1장 디지털 신호의 기초 및 응용

디지털 신호의 기초적인 개념과 종류를 살펴보며, 아날로그 신호와 디지털 신호의 개념을 설명한다.

2 4장 디지털 신호의 생성

연속 신호를 디지털 시스템으로 처리하기 위해 사용하는 샘플링 방법과 이론적 배경을 살펴볼 것이다. 더불어 시간 영역과 변환 영 역에서 샘플링으로 인해 발생하는 현상들을 짚어본다.

3 2, 3, 5, 6, 7장 디지털 신호의 처리 및 해석

2장에서는 신호의 시간 영역에서의 처리 및 해석에 대해 배우고.

3, 5, 7장에서는 변환 영역에서의 처리 및 해석을 배운다. 6장에 서는 시간 영역의 이산 신호를 변환 영역으로 변환할 때 가장 많 이 사용되는 이산 푸리에 변환을 살펴본다.

4 8~9장 _ 디지털 필터의 설계와 영상 응용

8장에서는 그동안 배운 디지털 신호처리를 바탕으로 목적에 맞는 디지털 필터를 설계하고, 특히 FIR 필터와 IIR 필터의 설계를 통 해 어떤 특징과 차이점이 있는지 살펴본다. 9장에서는 영상 신호 를 통해 이 책에서 배운 신호처리 기법이 어떻게 활용되는지를 알 아본다.

● 표준 스케줄 표

| 주 | 해당 장 | 주제 |
|----|------|---------------------------|
| 1 | 1장 | 디지털 신호처리의 기초 및 응용 |
| 2 | 2장 | 디지털 신호처리: 시간 영역에서의 분석 |
| 3 | 2장 | 디지털 신호처리: 시간 영역에서의 분석 |
| 4 | 3장 | 연속 시간 신호의 변환 |
| 5 | 3장 | 연속 시간 신호의 변환 |
| 6 | 4장 | 아날로그 신호의 디지털 처리: 샘플링 |
| 7 | 5장 | 이산 시간 신호의 변환 |
| 8 | | 중간고사 |
| 9 | 5장 | 이산 시간 신호의 변환 |
| 10 | 6장 | 고속 푸리에 변환 |
| 11 | 7장 | 변환 영역에서의 선형 시불변 이산 시간 시스템 |
| 12 | 7장 | 변환 영역에서의 선형 시불변 이산 시간 시스템 |
| 13 | 8장 | 이산 시스템 설계의 기초 및 응용 |
| 14 | 8장 | 이산 시스템 설계의 기초 및 응용 |
| 15 | 9장 | 영상 신호처리와 영상 압축 |
| 16 | | 기말고사 |

>> **강의 보조 자료** 및 **참고 자료**

◈ 강의 보조 자료 안내



PPT 자료와 연습문제 해답

- 한빛미디어에서는 교수/강사님들의 효율적인 강의 준비를 위해 온라인과 오프라인으로 강의 보조 자료를 제공합니다.
- 다음 사이트에서 회원으로 가입하신 교수/강사님께는 교수용 PPT 자료와 연습문제 해답을 제공합니다. http://www.hanb.co.kr
- 온라인에서 자료를 다운받으시려면 교수/강사 회원으로 가입 또는 인증이 되어 있어야 합니다.

◈ 참고 사이트

- 매트랩의 기본적인 사용법과 신호처리 및 영상처리 관련 툴 박스 http://www.mathworks.com/help/index.html
- 이산 푸리에 변환 관련 참고 사이트 http://www.eumus.edu.uy/eme/cursos/dsp/material/libros_html/mdft
- 집합론, 선형대수론 등 이 책에서 다루는 수학 개념을 참고할 수 있는 무료 과학 서적 사이트 http://www.freescience.info/index.php

>> <mark>목차</mark> C o n t e n t s

저자 소개 • 02

강의 계획 • 08

저자 머리말 • 04

강의 보조 자료 및 참고 자료 • 09

학습 로드맵 • 07

디지털 신호처리의 기초 및 응용

- **1.1** | 서론 016
- **1.2** | 신호의 종류 016
- 1.3 이 아날로그 신호의 디지털 신호처리 018
- 1.4 | 응용분야 · 020
- ∷ 요약 022
- ∷ 연습문제 023
- :: MATLAB 문제 025

디지털 신호처리: 시간 영역에서의 분석

- **2.1** | 서론 030
- 2.2 시간 영역에서 본 이산 신호 030
 - **2.2.1** 이산 신호의 기본적인 연산 관계 · 031
 - **2.2.2** 기본적인 이산 신호의 예 · 035
 - **2.2.3** 매트랩을 이용한 이산 신호 생성 예제 · 041
- **2.3** 시간 영역에서 본 이산 시스템 043
 - 2.3.1 지연 시스템과 선행 시스템 · 044
 - 2.3.2 증폭 시스템 · 044
 - 2.3.3 선형 시스템과 비선형 시스템 · 044
 - **2.3.4** 시불변 시스템과 시가변 시스템 · 046
 - **2.3.5** 인과 시스템 · 047
 - 2.3.6 안정 시스템 · 047
 - 2.3.7 임펄스 응답 시스템 · 048
- 2.4 시간 영역에서 본 LTI 시스템 분석 049

2.5 | 영상 신호로의 응용 • 056

- ∷ 요약 059
- :: 연습문제 060
- :: MATLAB 문제 064

Chapter

연속 시간 신호의 변환

- 3.1 | 서론 066
- 3.2 기저와 신호 확장 066
- **3.3 | 연속 시간에서 주기 함수의 푸리에 급수 •** 068
- **3.4** | 푸리에 급수로의 근사화 및 수렴성 074
- **3.5 | 푸리에 급수의 성질 •** 077
- 3.6 | 연속 시간에서 비주기 신호의 푸리에 변환 · 080
- 3.7 | 푸리에 변환의 수렴성 084
- 3.8 | 푸리에 변환의 성질 084
- ∷ 요약 088
- :: 연습문제 · 090
- :: 현장의 목소리 엔지니어로서 성공하려면 무엇을 준비해야 하는가? 092

Chapter 04

아날로그 신호의 디지털 처리: 샘플링

- **4.1 | 서론 •** 096
 - 4.2 | 샘플링 정리와 연속 신호의 샘플링 097
 - **4.2.1** 샘플링 과정과 수학적 전개 · 097
 - **4.2.2** 주파수 영역에서 본 샘플링 분석 · 100
 - 4.3 이산 시간의 샘플로부터 연속 시간 신호의 복원 · 106
 - **4.3.1** 이상적인 필터링에 의한 복원 · 106
 - **4.3.2** 선형 보간법에 의한 복원 · 109
 - ∷ 요약 112
 - ∷ 연습문제 114
 - :: MATLAB 문제 116
 - :: 현장의 목소리 엔지니어는 무엇으로 사는가? 120

>>

목차 C o n t e n t s

Chapter 05

이산 시간 신호의 변환

- **5.1** | 서론 124
- **5.2** 이산 시간 푸리에 급수와 변환 124
 - **5.2.1** 이산 시간 주기 신호의 푸리에 급수 · 124
 - **5.2.2** 비주기 신호의 푸리에 변환 · 126
 - **5.2.3** 이산 시간 푸리에 변환의 존재 조건 · 128
 - **5.2.4** 이산 푸리에 변환 · 128
- 5.3 | 2 변화 130
 - **5.3.1** z 변환의 정의 · 130
 - **5.3.2** z 변환의 존재성과 ROC · 131
 - **5.3.3** ROC의 성질 · 133
 - **5.3.4** z변환의 역변환 · 136
- 5.4 | 웨이블릿 변환 137
- ∷ 요약 146
- ∷ 연습문제 148
- :: MATLAB 문제 150

Chapter 06

고속 푸리에 변환

- **6.1** | 서론 156
- $6.2 \mid N$ point 이산 푸리에 변환의 연산 복잡도 156
- **6.3** | FFT 알고리즘 159
 - **6.3.1** DIT FFT 알고리즘 · 159
 - **6.3.2** DIF FFT 알고리즘 · 162
- 6.4 | 참고 자료: big-O 166
- ∷ 요약 168
- :: 연습문제 169
- :: MATLAB 문제 170
- :: 현장의 목소리 공학인으로서의 꿈과 희망 그리고 포부 172

Chapter 07

변환 영역에서의 선형 시불변 이산 시간 시스템

- **7.1** | 서론 176
- **7.2** | 선형 시불변 이산 시간 시스템 176

IT C○○KBOOK 영상을 이용한 디지털 신호처리─

- **7.2.1** 유한 차원 선형 시불변 이산 시간 시스템 · 176
- **7.2.2** 주파수 응답 함수 · 177
- **7.2.3** 위상 왜곡과 지연 · 179
- 7.2.4 주파수 영역에서의 선형 시불변 이산 시간 시스템 · 180
- **7.3** | 전달 함수 181
- 7.4 | 간단한 필터의 전달 함수 181
 - 7.4.1 FIR 필터 · 181
 - **7.4.2** IIR 필터 · 183
 - **7.4.3** 제로 위상과 선형 위상 · 185
- **7.5** | 전통과 전달 함수 186
- **7.6** | 최소/최대 위상 전달 함수 187
- ∷ 요약 190
- :: 연습문제 192
- :: MATLAB 문제 195

08

이산 시스템 설계의 기초 및 응용

- 8.1 | 서론 200
- 8.2 | 이산 시스템의 기초: FIR, IIR 필터 200
- 8.3 이산 시스템의 설계 204
 - 8.3.1 이산 IIR 필터의 설계 · 204
 - 8.3.2 이산 FIR 필터의 설계 · 210
 - 8.3.3 매트랩을 통한 이산 필터의 설계 · 216
- 8.4 이산 시스템의 구조: 블록 다이어그램 220
 - 8.4.1 일반적인 FIR 시스템의 블록 다이어그램 · 221
 - 8.4.2 일반적인 IIR 시스템의 블록 다이어그램 · 222
 - 8.4.3 일반적인 디지털 시스템의 블록 다이어그램 · 223
 - 8.4.4 이산 시스템의 연결 · 227
- ∷ 요약 232
- ∷ 연습문제 233
- :: MATLAB 문제 236

>> <mark>목차</mark> Contents

영상 신호처리와 영상 압축

- **9.1** | 서론 238
- 9.2 2차원 신호처리 기초 238
 - 9.2.1 2차원 신호와 시스템 · 238
 - 9.2.2 2차원 이산 푸리에 변환 · 243
- 9.3 | 영상처리 응용 · 245
 - 9.3.1 영상 신호 기초 · 245
 - 9.3.2 영상처리 예제 · 247
 - 9.3.3 영상의 2차원 이산 푸리에 변환 · 251
- 9.4 | 영상 압축 254
 - 9.4.1 영상 압축의 기초 · 255
 - 9.4.2 영상 압축 코텍: JPEG과 JPEG2000 · 256
- ∷ 요약 260
- ∷ 연습문제 261
- :: MATLAB 문제 262

부록

Appendix A | 복소수 · 265

Appendix B | 테일러 급수 전개와 오일러 공식 • 271

Appendix C | 기하학적 신호 이론 • 275

찾아보기 • 287

Chapter

01

디지털 신호처리의 기초 및 응용

서론_01

신호의 종류 _02

아날로그 신호의 디지털 신호처리 _03

응용분야_04

요약

연습문제

MATLAB 문제

학습목표

- 신호의 개념 및 그 종류를 파악한다.
- 디지털 신호의 생성 과정을 이해한다.
- 왜 디지털 신호를 사용하는지 이해한다.
- 디지털 신호처리의 다양한 응용분야를 알아본다.

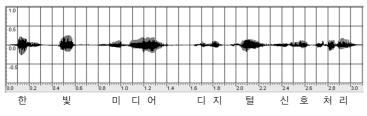
1.1 서론

신호(signal)는 시공간적으로 변하는 물리량으로. 그 형태에 따라 아날로그 신호와 디지털 신호 로 나눌 수 있다. 실생활에서는 소리나 영상처럼 우리가 접할 수 있는 아날로그 신호가 많이 존재 하는데, 이러한 신호를 목적에 맞게 가공하는 과정을 신호처리라고 한다. 역사적으로 아날로그 신호의 디지털 처리화는 1800년대에 실수 값을 갖는 함수의 적분을 구하기 위해 수치 해석적 접 근 방법을 사용한 것을 그 시작으로 볼 수 있다. 본격적인 디지털 신호처리는 1940년대 디지털 제어 시스템과 1960년대 디지털 컴퓨터의 등장과 더불어 시작되었다.

1.2 신호의 종류

신호는 다양한 소스에 의해 발생되는데, 이러한 신호를 효과적으로 처리하기 위해 수학은 매우 유용한 도구가 될 수 있다. 시간이 지남에 따라 하나의 소스에서 발생되는 신호를 **스칼라 신호**라 하고, 시간에 따라 두 개 이상의 소스에서 발생되는 신호를 벡터 신호라 한다. 스칼라 신호는 하 나의 독립 변수로 표현할 수 있으므로 1차원 신호라 하고. 벡터 신호는 두 개 이상의 독립 변수로 표현할 수 있으므로 다차워 신호라 할 수 있다. 예를 들어, 음성 신호는 시간에 따라 변하는 1차워 신호이므로 독립 변수 t의 함수 f(t)로 표현할 수 있다. 심장 활동으로 생성되는 신호 (ECG(ElectroCardioGraph) signal)도 전형적인 1차원 신호이다. 영상 신호는 두 개의 독립 변 $\phi(x, y)$ 의 함수 f(x, y)로 표현할 수 있는 2차원 신호의 예이고, 비디오 신호는 프레임이라고 하는 2차원 영상 신호가, 시간에 따라 변하는 3개의 독립 변수로 구성되는 함수 f(x, y, t)로 정의할 수 있다.

[그림 1-1]은 1차워 신호의 예로 (a)는 '하빛미디어 디지털 신호처리' 에 대한 음성 신호를 나타 낸다. 가로는 시간축이고. 세로는 음성의 세기를 나타낸다. (b)는 심전도(ECG)를 나타내는 신호 이다.



(a) 음성 신호 '한빛미디어 디지털 신호처리'



(b) 심전도 신호

[그림 1-1] 1차원 신호의 예

[그림 1-2]는 2차원 신호의 예로. (a)는 카메라로 쉽게 획득할 수 있는 자연 영상 신호를 나타낸 다. (b)는 초음파 장비로 획득한 초음파 영상 신호를 나타낸다.



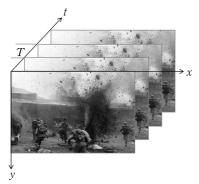
(a) 자연 영상 신호



(b) 초음파 영상 신호

[**그림 1-2**] 2차원 신호의 예

[그림 1-3]은 3차원 신호의 예로 비디오 신호이다. 캠코더와 같은 비디오 장치를 이용하면 일정 한 프레임 속도(frame rate, 일반적으로 1초당 30화면)로 정지 영상을 연속적으로 얻을 수 있다.



[그림 1-3] 3차원 신호의 예



+ 초음파 영상 진단기와 디지털 신호처리

일반적으로 인간이 들을 수 있는 음성 신호의 주파수 대역은 $20~{
m Hz}$ 에서 $20~{
m kHz}$ 사이다. 주파수 대역이 $20~{
m kHz}$ 이상인 음성 신호는 인간이 들을 수 없는 음성 신호로서, 이러한 주파수 대역의 음성 신호를 초음파라고 한다.

의료 진단 기술의 발전과 더불어 현대 의학에 있어 초음파를 이용한 진단은 그 중요성이 더욱 증가하고 있다. CT 또는 핵 의학 진단에서 생길 수 있는 방사선학적 피해가 초음파 진단에서는 아직 뚜렷이 발견되지 않고 있다는 점에서 그 사용빈도 또한 급증하고 있다. 또 우수한 초음파 진단 장치를 개발함으로써 단층 촬영기와 같이 인체 내부의 단면을 표시하고, 움직이는 기관과 혈액의 이동을 실시간으로 볼 수 있어서 비교적 짧은 시간에 진단이 가능하며, 가격도 비교적 저렴하여 여타 진단 장치와 비교해도 매우 우수하다. 또한 기술적 측면에서도 초음파 진단 장치를 개발하여 우수성을 인정받고 있다. 일반적으로 간, 비장, 췌장, 신장 등의 복부 장기를 비롯하여 산부인과적 진단 등에서 얻을 수 있는 초음파 영상은 물론, 혈관의 구조와 혈류 상태를 컬러 영상으로 기록하여 진단하는 부분까지 널리 사용되고 있다.

초음파 진단기의 영상 획득 원리를 간단히 살펴보면, 송신기에서 초음파 펄스를 보내면 탐촉자 (probe) 에 의해 인체 내부까지 초음파가 발사된다. 초음파가 인체 내부에 발사되어 어느 물체에 부딪히면 반사되어 탐촉자로 되돌아오는데, 이런 과정은 상당히 짧은 시간 내에 반복하여 이루어진다. 반사되어 되돌아온 초음파는 다시 탐촉자로 수신하여 수신기 및 신호증폭기에 의해 정형, 증폭되어 장기의 모양과 같은 영상이 나타난다. 이와 같이 초음파 펄스를 인체에 발사하고 그 반사파의상태에 따라 내부의 상태를 알 수 있는 것이 초음파의 기본 원리다.

이러한 반사파를 이용하여 영상으로 만들어지기까지 다양한 디지털 신호처리 기술이 포함되는데, A/D 변환기(Analog-to-Digital Converter)부터 시작하여, 초음파 펄스를 인체에 발사하기 위한 변조 기술, 반사파를 분석하기 위한 복조 기술, 초음파 펄스의 대역폭에 맞는 적절한 필터 설계, 스페 클(speckle) 잡음과 같은 잡음 제거 및 영상의 최적화를 위한 다양한 디지털 신호처리 기술이 필요하다.

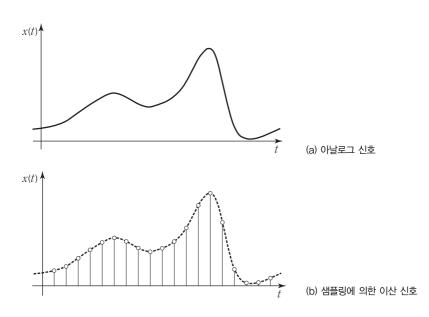
1.3 아날로그 신호의 디지털 신호처리

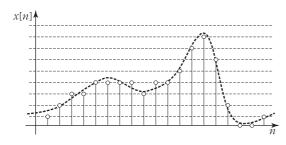
1.1절과 1.2절에서 언급했듯이, 신호는 어떤 소스로부터 시간이 변함에 따라 연속적으로 발생하는. 임의의 크기를 갖는 물리량으로 정의할 수 있다. 예를 들어. 시간이 지나면서 온도가 변하는

¹ 탐촉자: 송신된 전기 신호를 초음파로 바꿔 송신하거나 돌아온 초음파 신호를 수신기로 보내는 역할을 하는 장치

것은 대표적인 아날로그 신호이다. 디지털 신호처리 기술의 발달과 여러 가지 디지털 시스템의 장점(圓 에러 검출 및 복원 능력, 다양한 압축 알고리즘) 때문에, 현대에는 아날로그 신호 대부분을 디지털로 바꾸어 전송 또는 처리한다. 이렇게 아날로그 신호를 디지털 시스템에서 처리하기위해 필요한 과정을 디지털화 과정이라고 하는데, 기본적으로 샘플링(sampling)과 양자화(quantization)의 과정을 거치게 된다. 샘플링으로 얻은 신호를 이산 신호(discrete signal)라고 하는데, 디지털 신호와는 약간의 차이가 있다. 샘플링은 연속된 시간 위에서 얻은 신호를, 균일한 시간 간격으로 아날로그 신호의 샘플을 취한 신호이다. 이렇게 얻은 신호는 시간축으로 보면 디지털화된 것처럼 보이지만, 신호의 크기축으로 보면 여전히 아날로그 형태이다. 이렇게 시간축 위로 샘플링한 신호를 크기축으로도 샘플링(양자화)한 신호를 디지털 신호라 한다. 따라서 샘플링이란 연속 시간에서의 신호를 이산 시간 신호로 변환하는 것이라 할 수 있다. 신호의 크기에 대해, 연속된 크기에서 몇 개의 크기로 매핑하는 과정을 양자화라고 한다.

[그림 1-4]는 아날로그 신호로부터 디지털 신호를 얻는 과정을 간단히 보여준다. 신호의 크기를 얼마나 촘촘히 나눌지를 결정하는 것이 양자화 레벨이다. 양자화 레벨이 크면 클수록 원 신호의 정확한 크기를 잃어버리기 때문에 그만큼 신호의 정확성은 떨어진다. 반대로 양자화 레벨이 작으면 작을수록 원 신호를 정확하게 복원할 수 있다.





(c) 양자화에 의한 디지털 신호

[그림 1-4] 아날로그 신호로부터 디지털 신호를 얻는 과정

샘플링과 양자화는 일반적으로 A/D 변환기라고 하는 하드웨어 장치에 의해 수행된다. 디지털화에서 양자화를 제외한다면 아날로그 신호는 이산 신호로부터 완벽하게 복원할 수 있는데, 이것을 샘플링 정리라 한다. 1928년 나이퀴스트(H. Nyquist)가 증명한 샘플링 정리에 따르면, 대역제한된 신호(band-limited signal)에 대해, 몇 개의 이산 표본으로 원래의 아날로그 신호를 완벽하게 표현할 수 있다.

1.4 응용분야

디지털 신호처리(DSP: Digital Signal Processing)는 아날로그 신호에서 일정한 시간 간격으로 추출된 샘플들을 양자화하여 만든 디지털 신호를 목적에 맞게 가공하는 일련의 과정을 말한다. 디지털 신호처리는 음성 및 영상 신호처리를 비롯하여, 전파 신호처리, 통계적 신호처리, 생체 신호처리 등 다양한 응용분야가 있다.

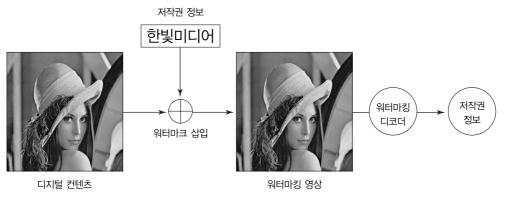
디지털 신호처리의 첫 번째 단계는 실세계에 존재하는 연속적인 아날로그 신호를 디지털 형태로 바꾸는 작업이다. 이를 처리하는 시스템을 아날로그-디지털 변환 시스템(analog to digital converter system) 또는 디지털 신호처리기라고 한다. 디지털 시스템으로 신호를 처리한 후에는 원래의 아날로그 신호로 변환하는 시스템, 즉 디지털-아날로그 변환 시스템(digital to analog converter system)으로 원 아날로그 신호를 복원할 수 있다. 때로는 아날로그 신호를 그대로 처리하는 것보다 다소 복잡할 수 있으나, 디지털 신호의 에러 복원 능력이나 노이즈에 강한 점, 데이터 압축 시의 효율성 때문에 현재 대부분의 신호는 디지털 신호처리 시스템으로 처리하고 있다. 더욱이 디지털 신호처리기(digital signal processor)나 ASIC(Application—Specific Integrated Circuit) 같은 하드웨어의 발달로 다양한 분야에서 이용되고 있다. [표 1-1]은 다양한 디지털 신호처리 응용분야의 예를 보여준다.

[표 1-1] 대표적인 디지털 신호처리의 응용분야

| 분류 | 영상처리 | 계측 및 제어 | 음성처리 | 군용 | 통신 | 생체 신호처리 |
|------|--------------------------------|------------------|---------------------------------|--------------------------|---------------------------|--|
| 응용분야 | 패턴인식 로봇비전 위성 기상도 영상압축 | 스펙트럼 해석 잡음 제거 | 음성인식 음성합성 디지털오디오 에코 제거 | Radar Sonar 미사일 제어 | 유무선 통신 데이터 통신 화상 회의 | 환자 감시장치 MRI/CT/초음파 영상진단기 ECG, EEG 등 |

그러나 이렇게 발전하는 신호처리 기술을 이용하여 디지털 정보를 무제한으로 복제할 수 있다 는 문제점도 있다. 이러한 디지털 정보의 불법 복제를 막기 위한 신호처리 기술을 워터마킹 (watermarking) 기술이라 하는데, 워터마킹이란 용어는 물에 젖어 있는 상태에서 그림을 인쇄 하는 데서 유래했다. 위조지폐 여부를 가리기 위해 지폐의 제작 과정에서 젖어 있는 상태로 특정 정보를 삽입하고, 말린 후에 인쇄하여 불빛에 비춰봤을 때 그림이 보이게 하는 기술을 말한다.

음악가가 만든 디지털 음원이나 디지털 사진기에 찍힌 디지털 영상의 경우 쉽게 복제가 가능하 며, 변형하기도 쉽다. 따라서 최근 이러한 디지털 컨텐츠 보호에 많은 관심이 쏟아지고 있다. [그 림 1-5]는 디지털 영상에 대한 워터마킹 시스템의 예를 보여준다. 한빛미디어라는 저작권자가 최초 영상을 만들었을 경우 이 디지털 저작물에 대한 도용을 막고, 저작권자의 권리를 보호하기 위해 저작권 정보를 삽입한다. 이후 저작권 분쟁이 일어날 경우 워터마킹 디코더를 이용하여 해 당 디지털 영상의 저작권자가 누구인지 알 수 있다.



[그림 1-5] 디지털 영상에 대한 워터마킹 시스템의 예

● Chapter_01 요약

01. 신호

신호는 시공간으로 변하는 물리량으로서 일반적으로 아날로그 형태인데, 이러한 아날로그 신호를 좀 더 효과적으로 처리하기 위해 디지털화하여 사용하고 있다.

02. 신호의 종류

신호는 그 형태에 따라 1차원, 2차원 또는 다차원 신호로 분류할 수 있다. 1차원 신호의 대표적 인 예는 음성 신호이고, 2차원 신호는 디지털 카메라에서 얻을 수 있는 영상 신호, 이러한 영상 신호의 연속된 형태로 3차원 비디오 신호 등이 있다.

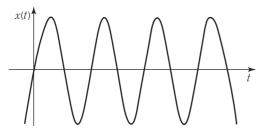
03. 워터마킹

디지털 신호처리 기술은 다양한 분야에 응용할 수 있지만 음원이나 동영상 같은 디지털 컨텐츠의 복제 및 배포가 쉬워진다는 단점이 있다. 따라서 저작권 보호를 위한 기술적 요소가 필요해 졌으며, 워터마킹은 이러한 디지털 컨텐츠의 불법 도용 및 남용을 막는 기술 중의 하나이다.

■ Chapter_01 연습문제

- 1.1 다음의 각 경우를 아날로그 신호, 이산 신호, 디지털 신호로 구별하라.
 - (a) 기차의 경적 소리
 - (b) 거울에 비친 내 모습
 - (c) 매일 정오에 측정한 일 년 동안의 온도
 - (d) 자동차를 한 시간 동안 운행했을 때의 속도 변화량
 - (e) PC의 ROM에서 특정 영역에 저장되어 있는 데이터 값들
- 1.2 연속 시간 신호를 디지털화하는 방식 중 하나인 PCM 원리의 기초는 시간적으로 연속 변화하 는 신호를 일정한 간격으로 샘플링하는 것이다. 샘플링된 신호의 진폭은 일반적으로 복잡한 값 을 가지나. 이것을 양자화 과정을 통해 간단한 값으로 만든다. 시분할 양자회를 세밀하게 하느 냐 거칠게 하느냐에 따라 재현 신호의 원 신호에 대한 충실도가 결정된다. 양자화된 진폭 값을 2 진법으로 나타낼 수 있으므로 이 2진법 표시를 펄스로 변환함으로써 아날로그 신호의 디지털화 가 이루어진다. 수신 측은 펄스에 의한 2진법 표시를 다시 원래의 진폭으로 환원시킴으로써 매 우 근사한 모양으로 원 신호를 재생할 수가 있다.

[그림 1-6]에서 아날로그 신호인 정현파를 디지털화해보자



[그림 1-6] 아날로그 신호의 예

- $(a) x(t) = \sin(2\pi t)$ 를 샘플링할 때, 원점을 기준으로 한 주기 안에서 같은 간격으로 4개의 샘 플을 취한다고 가정할 경우, 얻을 수 있는 이산 시간 신호를 그려라.
- (b) (a)의 신호를 샘플링할 때. 원점을 기준으로 한 주기 안에서 같은 간격으로 8개의 샘플을 취 한다고 가정할 경우, 얻을 수 있는 이산 시간 신호를 그려라.
- (c) (b)에서 얻은 이상 시간 신호에 대해 2비트로 양자화하다고 가정했을 때(00 01 10 11)

양자화된 디지털 신호를 그려라.

- (d) (c)에서 얻은 디지털 신호를 전송하기 위해 한 주기 동안의 디지털 신호의 펄스 파형을 그 려라.
- (e) (c)에서 얻은 양자화된 디지털 신호를 직선으로 연결한 아날로그 신호와 원 신호 x(t)= $\sin(2\pi t)$ 를 비교하라. 그리고 양자화된 디지털 신호가 원 신호와 비슷해지게 하려면 무엇 을 할 수 있는지 열거하라.
- (f) (b)에서 얻은 이산 시간 신호에 대해 3비트로 양자화한다고 가정했을 때. (c)와 (d) 과정을 반복하라.

■ Chapter_01 MATLAB 문제

[기본 명령어]

| 설명 | 명령어 |
|--------------|----------------|
| 주석 | % |
| 콘솔로부터 데이터 입력 | input(str) |
| 1차원 연속 그래프 | plot(variable) |
| 1차원 이산 그래프 | stem |
| 그림 이름 | figure(N) |
| 그림의 제목 | title(str) |
| 그림의 x축 라벨 | xlabel(str) |
| 그림의 y축 라벨 | ylabel(str) |

M.1 샘플을 5개 입력받아서 연속 그래프와 이산 그래프를 그리는 매트랩 코드를 작성하라.

풀이

매트랩 콘솔창에 다음과 같이 프로그램을 작성해서 수행시킨다.

```
% Read and plot of five samples
x=input('input five sample =');
figure(1), stem(x), title('M1 : continuous graph of input five samples'),
xlabel('Time index n'), ylabel('Amplitude');
figure(2), plot(x), title('M1 : discrete graph of input five samples'),
xlabel('Time index n'), ylabel('Amplitude');
```

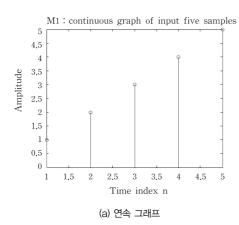
그러면 아래와 같이 "input five sample ="이라는 글자가 뜨면서 숫자를 입력받기 위해 대기하다.

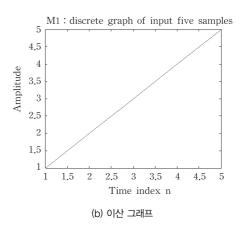
```
input five sample =
```

다음과 같이 5개의 숫자를 입력하고 엔터를 누른다.

```
input five sample = [1 2 3 4 5];
```

프로그램을 수행하면 [그림 1-7]과 같은 결과가 나온다.





[그림 1-7] M.1 프로그램 수행 결과

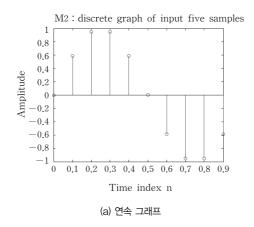
M.2 기본 주기 T=1인 정현파 $\sin(2\pi t)$ 에 대해 한 주기 동안 10개의 샘플을 취하여 연속 그래프와 이산 그래프를 그려라.

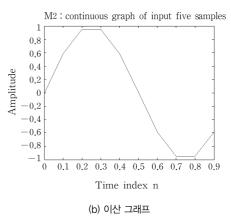
풀이

매트랩 콘솔창에 다음과 같이 프로그램을 작성해서 수행시킨다.

```
% Plot of sine function with fundamental period T = 1
t=(0:0.1:0.9);
y=sin(2*pi*t);
figure(1), stem(t, y),
title('M2 : discrete graph of sine with period T = 1'),
xlabel('Time index n'), ylabel('Amplitude');
figure(2), plot(t, y),
title('M2 : continuous graph of sine with period T = 1'),
xlabel('Time index n'), ylabel('Amplitude');
```

프로그램을 수행하면 [그림 1-8]과 같은 결과가 나온다.





[그림 1-8] M.2 프로그램 수행 결과

M.3 기본 주기 T=1인 여현파 $\cos(2\pi t)$ 에 대해 한 주기 동안 100개의 샘플을 취하여 연속 그래프 와 이산 그래프를 그려라.