제 1 장

디지털 신호 처리의 개요

책의 ‘1절 서론’에서 다루지 못한 디지털 신호 처리의 발전 과정에 대해 간략히 소개함으로써 디지털 신호 처리의 전반적인 흐름에 대한 이해를 도울 수 있도록 하였다.

또한 책의 ‘2절 신호와 시스템’과 관련하여 신호와 시스템의 개념을 추가적으로 보충 설명하였고, 신호와 시스템을 표현하는 두 가지 방법-파형과 블록선도를 이용한 시각적 표현과 수학적 모형화에 의한 이론적 표현에 대해 적절한 예와 함께 자세히 살펴보았다.

책의 ‘1.3절 디지털 신호 처리’와 관련하여 기본 조작이 어떤 것들이 있는지를 소개하고 디지털 신호 처리의 응용에 대한 설명과 예를 추가함으로써 좀 더 쉽게 이해할 수 있도록 하였다.

마지막으로 책의 ‘1.4절 신호와 관련한 기초 개념’과 관련하여 이해를 도울 수 있는 예제들을 추가하였다.

이러한 심화 학습 자료를 통해 책에서 다룬 내용을 더 잘 이해하고 좀 더 깊이 있게 학습할 수 있을 것이다.

1.1 서론

디지털 신호 처리의 발전

1960년대 이전의 신호 처리 기술은 거의 모두가 연속 시간 아날로그 기술이었다. 1950년대부터 디지털 컴퓨터의 보급과 함께 이를 이용한 신호 처리에 관한 시도와 연구들이 이루어졌으며, 1960년대에 들어서면서 디지털 신호 처리가 새로운 신호처리 방식의 일종으로 인식되기 시작하였다.

1960년대 중반까지의 디지털 신호 처리의 주된 주제는 지진파 분석과 같이 비실시간 처리가 가능한 신호의 분석이나 음성 신호 처리용 보코더vocoder와 아날로그 필터 등 아날로그 신호 처리 시스템의 근사화나 모의실험 등이었다.

1965년 Cooley와 Tukey가 푸리에Fourier 변환을 효과적으로 계산할 수 있는 알고리즘인 고속 푸리에 변환(FFT)Fast Fourier Transform을 발표함으로써 디지털 신호 처리를 현실성 있는 신호 처리 수단으로 자리 잡게 하는 기폭제가 되었다. FFT는 신호의 실시간 처리와 전용 디지털 하드웨어의 구현이 가능하다는 장점뿐만 아니라, 수학적으로도 근본적으로 이산 시간 개념의 알고리즘이라는 특징 때문에 디지털 컴퓨터를 이용한 신호 처리가 아날로그 기술에 대한 근사화일 뿐이라는 관념에서 탈피하여 이산 시간 신호 처리 그 자체가 중요한 연구 분야로 인정되고 각광받기에 이른 것이다.

디지털 신호 처리를 21세기의 대세로 만든 또 하나의 일등 공신은 반도체를 비롯한 마이크로 전자공학의 비약적인 발전이다. 마이크로프로세서와 메모리의 고속, 고성능, 저전력화와 값싼 가격, 그리고 저가의 A/D 및 D/A 변환기들의 보급은 하드웨어 구현의 제약이 거의 사라지게 만들었고 다양한 알고리즘의 개발을 촉진시켰다.

거기에 더해 1980년대에 디지털 신호 처리 전용 칩인 DSPDigital Signal Processor가 개발되어 신호 처리의 주 연산인 곱셈의 처리 속도를 혁신적으로 개선함으로써 디지털 신호 처리는 고속 실시간 처리의 요구도 문제없이 수용 가능해져 날개를 달았다.

최근에는 두뇌인 주 처리 장치에 필요한 주변 장치들을 묶어서 하나의 칩으로 만든 custom IC들의 개발도 활발하고, 병렬 분산 처리와 같은 새로운 구조의 신호 처리를 위한 하드웨어 및 알고리즘의 개발이 새로운 발전 방향으로 떠오르고 있다.

디지털 신호 처리는 비실시간 처리에서 실시간 처리로, 1차원 신호 처리에서 다차원 신호 처리로, 직렬 처리에서 병렬 분산 처리로, 개별 신호 처리에서 멀티미디어 신호 처리로, 고정 신호 처리에서 적응 신호 처리로 발전되고 있는 현재의 추세에 머무르지 않고 새로운 응용 분야의 창출과 함께 새로운 기술의 개발과 발전이 끊임없이 이루어져 계속 성장할 것이다.

1.2 신호와 시스템

신호와 시스템은 우리가 일상적으로 접하는 장치나 설비에서부터 매우 복잡한 산업시설에 이르기까지 모든 기술 분야를 망라하여 실제로 나타나는 개념이다. 따라서 신호와 시스템에 대한 모델링, 해석, 설계는 공학과 과학 분야에서 매우 중요한 역할을 한다. 21세기의 핵심 기술인 정보기술(IT)의 경우, 우리 주위에 있는 정보(문자, 음성, 그래픽, 영상 등)는 일종의 신호로 간주할 수 있으며, 이를 생성, 처리하는 수단을 시스템이라고 할 수 있다.

1.2.1 신호

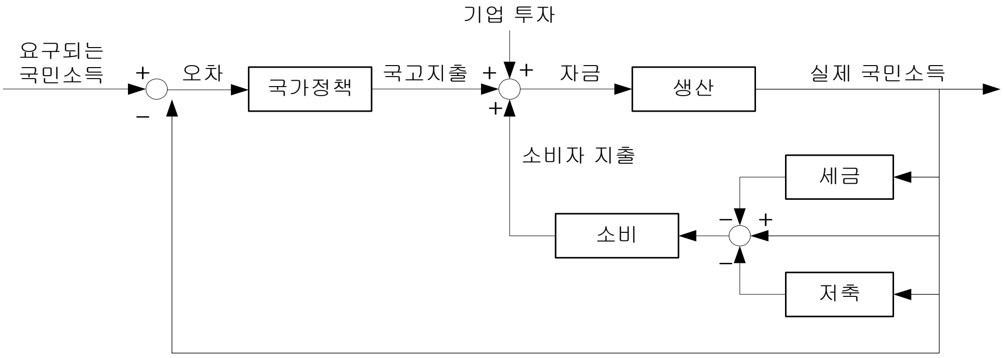
신호가 중요한 이유는 신호 속에 담겨 있는 정보 때문이다.
생활에 밀접한 신호의 예로 기상 정보를 들 수 있다. 방송 뉴스의 일기예보 코너에서 알려주는 기상 정보는 지역별로 기온, 습도, 강우량, 풍속 등에 관해 상세하게 알려준다. 이와 같은 날씨 데이터는 대표적인 이산 신호의 하나로서 사람들이 주말에 바닷가나 산으로 놀러 갈 것인지, 농부들이 비닐하우스 내부 온도를 얼마나 더 높일 것인지 또는 바깥에 고추를 내어 말릴 것인지 등의 결정을 내리는데 중요한 근거로 작용한다. 현대 사회는 많은 산업 분야가 기상 정보와 연관되어 있으며, 단순히 현재의 상태뿐만 아니라 과거와 현재의 추이를 바탕으로 미래의 상태에 대한 예측이 필요하다. 이러한 일들은 신호 처리의 중요한 응용 중의 한 자리를 차지한다.

신호 중에는 독립 변수가 시간이 아닌 함수로 표현되는 신호들이 있다. 예를 들어, 전하가 공 모양의 물체 표면에 분포되어 있다면 전하밀도는 3차원 공간의 함수로 나타내어진다. 또한 사진과 같은 영상 신호는 평면 좌표($x-y$축) 상의 위치 $(x_0,\ y_0)$에서의 밝기(색상)를 값으로 갖는다.

신호를 나타내거나 저장하는 형태는 유일하지 않고 여러 가지가 있을 수 있다(물론 이에 따라 신호의 취급 방법도 달라질 것이다).
예를 들어 사람의 음성은 공기 중에 파동을 발생시켜 이로 인한 압력(음압) 변동을 귀로 전달하는 것이지만, 마이크를 통과한 음성은 전기신호인 전압으로 표현되며, 카세트테이프에 저장한다면 자기 신호로, CD나 MP3 파일로 저장한다면 이진 숫자열로 표현된다. 이때 마이크의 경우에는 시간에 따른 전압값의 변화(전압 파형) 속에 음성에 관한 정보가 담기고, MP3 파일의 경우에는 이진 숫자열의 변화, 즉 이진 부호가 달라지는 양상 속에 음성에 관한 정보가 담긴다.

1.2.2 시스템

눈에 보이는 물리적인 실체가 없어도 시스템이 될 수 있는데, 경제 시스템이 하나의 좋은 예이다. [그림 C1-1]은 국가의 경제 성과를 평가하는 주요 지표인 국민 소득(또는 국민 총생산)에 대한 모델로서, 실제로는 훨씬 복잡하지만 아주 단순화한 것이다.



[그림 C1-1] 국가 경제 시스템

정부는 목표한 국민 소득에 맞추어 세금, 통화, 사회간접자본 확충, 산업 진흥 및 기업 지원 등 각종 국가 정책을 통해 (투자 및 소비를 진작시키고) 국고 지출을 적절하게 조절한다. 이러한 국고 지출과 더불어 (개인 소득에서 세금과 저축을 제외한) 소비 지출과 기업 투자가 생산에 투입되어 그 결과물로 실제 국민 소득이 산출되는 것이다.
경제 시스템에는 전자제품이나 기계장치와 같이 하드웨어적인 구성 요소가 전혀 없지만, 개념적 요소들이 유기적으로 결합하여 목적에 맞도록 정보(신호)를 처리하여 원하는 결과(신호)를 만들어낸다. 현대 경제학자들은 다양한 경제 현상을 분석하기 위해 [그림 C1-1]보다 훨씬 복잡한 모델들을 수립하고 분석하기 때문에, 공학자 이상의 수학적 능력이 요구된다.

1.2.3 신호와 시스템의 표현

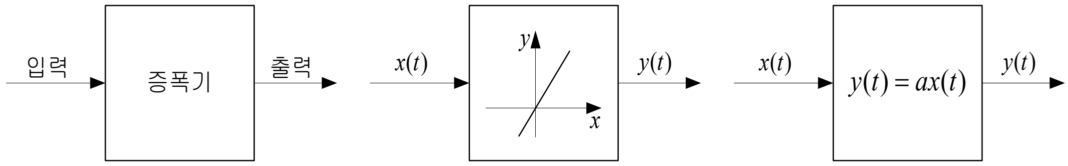
세상에는 매우 다양한 형태의 신호와 시스템이 존재한다. 이들은 물리적인 형태나 성질도 제각각이며, 모양과 크기도 다르다. 만약 신호와 시스템을 표현하고 해석하는 방법이 그들의 종류만큼이나 많다면 덤벼들 엄두가 안 나겠지만, 다행히도 수학의 힘을 빌려 각양각색의 신호와 시스템의 본질만을 추출하여 통일된 틀 안에서 일관성 있게 나타낼 수 있다.

(1) 시각적 표현 - 파형과 블록선도

신호의 특성을 알아보기 위해 가장 쉽게 할 수 있는 일은 무엇일까? 아마도 신호의 값의 변화를 그래프로 나타내는 일일 것이다. 전기회로에 흐르는 전류는 오실로스코프나 X-Y기록계 같은 장치를 이용하여 시간에 대해 연속적으로 값을 표시할 수 있으며, 주식 가격은 매일 폐장시의 가격을 그래프로 나타낼 수 있다. 이렇게 ***신호의 시간에 따른 값의 변화를 그림으로 나타낸 것이 신호의 파형***이다. 즉 파형은 시간 영역에서 신호를 표현한 것으로서, 신호의 값의 변화 형태, 폭, 속도, 주기성 등 신호의 특성들을 한눈에 파악할 수 있게 해주므로 신호 해석에 유용하게 활용된다.

예를 들어, (책)[그림 1-1]에 나타낸 신호 파형의 경우, (a)에서는 춘천의 평균 기온이 3월이 되면 거의 영하로 떨어지지 않는다든지, (b)에서는 RLC 병렬 회로의 전압은 시간이 지남에 따라 값이 점점 작아지면서 진동한다든지 하는 것을 바로 알 수 있다.

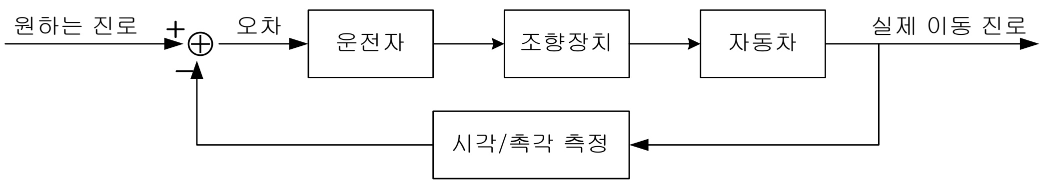
시스템은 암상자[black box] 블록을 이용하여 시각적으로 나타낼 수 있다. 시스템의 실제적인 내부 구조가 어떻게 구성되어 있는지는 상관하지 않고, [그림 C1-2]와 같이 입력 단자와 출력 단자를 갖는 사각 블록에 시스템의 명칭 또는 입력과 출력의 관계를 규정짓는 수식이나 그래프 등을 표시해두면 시스템의 기능이나 동작 특성을 쉽게 파악할 수 있을 것이다.



[그림 C1-2] 시스템의 (암상자) 블록 표현

(책)[예제 1-1] '알리바바와 40인의 도둑' 이야기의 보안 시스템과 같은 신호 처리 장치를 실제로 만들려면 어떻게 해야 할까? 보안 시스템이라는 관점에서 보면 하나의 시스템이지만, 자세히 들여다보면 기능도 다르고 물리적으로도 다른 여러 작은 시스템들이 서로 연결되어 있어서 통째로 취급하기엔 너무 복잡하고 무리가 따른다. 그러므로 책의 설명과 같이 시스템을 우선 몇 개의 작은 시스템(*부시스템*)으로 나누어 각 부시스템의 기능과 동작 특성을 파악한 뒤에, 각 부시스템 사이의 관계를 파악하여 마침내는 전체 시스템을 분석하고 설계하는 수순을 밟아 가는 것이 바람직하다. (책)[그림 1-4]는 이러한 접근법으로 블록선도를 그린 것이다.

블록선도에서 시스템의 연결 방법은 (책)[그림 1-3]에 나타낸 것처럼 기본적으로는 종속 연결과 병렬 연결의 두 가지이며, 종속 연결의 특별한 경우로서 궤환 연결이 있다. 궤환은 비교 동작의 유용성으로 인해 많은 신호 처리 장치나 제어 시스템에서 요긴하게 사용된다. 실생활에서 흔히 볼 수 있는 궤환의 예로 (책)[그림1-2]의 자동차의 진행 방향 조절(조향)을 들 수 있다. 운전자가 자기 차선을 지키며 앞으로 진행할 때, 계속 눈으로 차의 진행 방향을 확인하여 차선을 벗어나지 않도록 핸들(조향 장치)을 좌우로 조작함으로써 제 차선을 유지하도록 한다. 이를 간단하게 블록선도로 나타내면 [그림 C1-3]과 같이 된다.



[그림 C1-3] 자동차의 조향 제어

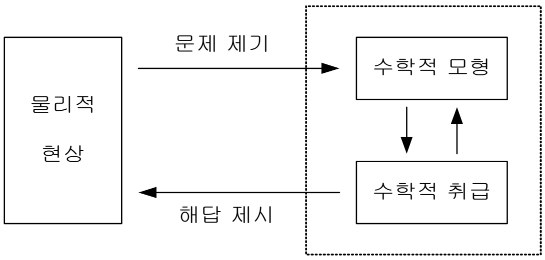
(2) 이론적 표현 - 수학적 모형화

각양각색의 신호와 시스템의 본질만을 추려서 수식으로 간결하게 나타내면 통일된 틀 안에서 일관성 있게 다룰 수 있게 된다.

수학적 모형은 시스템에 대한 이상화된 표현으로서, 미분/차분 방정식, 컨벌루션, 전달 함수 등과 같이 시스템의 내부적 동작 특성은 상관하지 않고 입출력의 관계만을 수식으로 표현한

입출력 표현과, 입출력 관계뿐만 아니라 시스템의 내부적인 동작 특성도 상태 변수라는 개념을 이용하여 수식적으로 표현하는 **상태 공간 표현**(동적 표현dynamic description)이 있다. 책에서 예로 든 RC 회로와 같이 수학적 모델을 얻기가 쉬운 시스템도 있지만 우주선과 같이 모형화가 매우 복잡하고 어려운 시스템들도 있다.

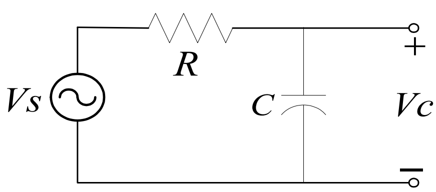
그런데 ***수학적 모형은 실제 신호와 시스템을 한 치의 오차 없이 완벽하게 표현한 것이 아니고 핵심적인 특성을 이상화시켜 나타낸 것이다.*** 책에서 예를 든 가정용 상용 전압의 경우, 발전기 구조가 물리적으로 완벽한 대칭이 아니고 재질의 전자기적 특성이 균일하지 않은 등 여러 요인으로 인해 실제로는 정확히 정현파가 되지 못한다. (책)[그림 1-2]의 RC회로에 대한 (책)식 (1.3)의 시스템 모형도 마찬가지이다. 엄밀히 말해 저항(R), 인덕턴스(L), 커패시턴스(C) 등 회로의 전기적 특성은 한 점에 집중되어 있지 않을 뿐더러 불변이 아니고 미미하나마 시간에 따라 값이 변한다. 그런데도 정현파 함수로 전압을 표현하고 (책)식 (1.3)과 같이 전기회로를 모형화하는 이유는 그렇게 ***단순화한 모형과 실제와의 차이, 즉 오차를 무시해도 신호와 시스템의 기본적인 특성을 묘사하거나 해석하는 데 지장이 없기 때문이다.*** 물리적으로 존재하는 많은 요인들을 세세하게 고려하면 할수록, 수학적 모형은 세우기도 어렵거니와 복잡해진다. 수립된 모형이 유용하려면 다루기가 쉬워야 하므로, 가능한 한 범위 내에서 가장 단순한 모형을 구하도록 노력할 필요가 있다. 다만 주의할 점은 모형 수립의 목적이나 이용 가치가 훼손되지 않을 만큼 충분한 정확도를 동시에 확보해야 한다는 것이다. 왜냐하면 신호와 시스템을 해석하고 설계하는 작업은 [그림 C1-4]에 나타낸 것처럼 대부분 수학과 컴퓨터를 도구로 하여 물리적 실체가 아닌 그 모형을 대상으로 이루어지므로, 결과가 얼마나 잘 들어맞고 쓸모 있는가는 모형의 정확도에 달려 있기 때문이다. 수학적 모형은 단순화와 정확도 사이의 절충trade-off이 필요하다.



[그림 C1-4] 신호와 시스템의 연구 체계

■ 예제 C1-1 : *전기회로(저역 통과 필터)의 수학적 모형화*

(책)[그림 1-2(a)]의 RC회로는 제일 간단한 저역 통과(LP) 필터이다. 이에 대한 수학적 모델을 몇 가지 형태로 구해보자.



(책)[그림 1-2(a)] RC 회로

① 입출력 표현(시간 영역, 미분 방정식)

전원이 포함된 폐로에 대해 Kirchhoff의 전압 평형에 관한 법칙을 적용하면

$$v_s(t) = v_R(t) + v_C(t) = Ri(t) + v_C(t)$$

또한 폐로 전류 $i(t)$를 C 양단 전압 $v_C(t)$로 나타내면

$$i(t) = C\frac{dv_C(t)}{dt}$$

따라서 이를 처음의 회로 방정식에 대입하여 정리하면 다음의 결과를 얻는다.

$$v_s(t) = RC\frac{dv_C(t)}{dt} + v_C(t) \tag{C1-1}$$

② 입출력 표현(주파수 영역, 전달 함수)

위에서 얻어진 식 (C1-1)을 라플라스[Laplace] 변환하면

$$V_s(s) = RCs\,V_C(s) + V_C(s)$$

따라서 복소 주파수(s) 영역에서 표현된 입력과 출력의 비로 정의되는 전달 함수 $H(s)$는 다음과 같이 된다.

$$H(s) = \frac{V_C(s)}{V_s(s)} = \frac{1}{RCs+1} \tag{C1-2}$$

③ 입출력 표현(시간 영역, 컨벌루션)

임펄스 응답 $h(t)$는 식 (C1-2)를 라플라스 역변환하여 구할 수 있다.

$$h(t) = \frac{1}{RC}e^{-\frac{1}{RC}t}$$

이 임펄스 응답을 이용하여 입출력 관계를 나타내면 다음과 같이 된다.

$$v_C(t) = \int h(t-\tau)v_s(\tau)d\tau \tag{C1-3}$$

④ 상태공간 표현

식 (C1-1)을 다시 쓰면

$$\frac{dv_C(t)}{dt} = -\frac{1}{RC}v_C(t) + \frac{1}{RC}v_s(t)$$

여기서 상태 변수를 $x(t) = v_C(t)$로 정의하고 시스템의 출력을 $y(t)$로 나타내면 위 식은 다음과 같이 표현될 수 있다.

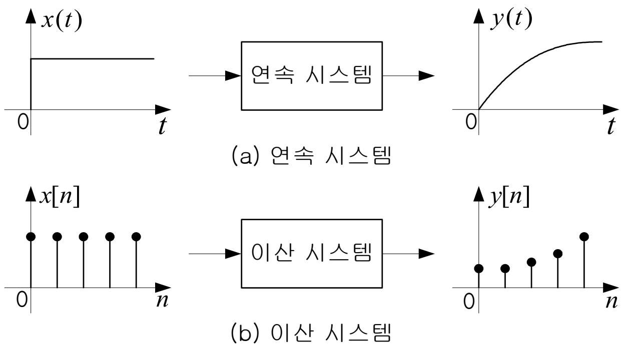
$$\begin{cases} \dot{x}(t) = -\dfrac{1}{RC}x(t) + \dfrac{1}{RC}v_s(t) \\ y(t) = x(t) \end{cases} \tag{C1-4}$$

이처럼 상태 변수에 의해 시스템을 표현한 것을 상태 방정식이라 하며, 일반적으로 다원 1차 연립 미분 방정식 형태로 나타나게 된다. ■

1.2.5 이산 신호와 디지털 신호

신호뿐만 아니라 시스템도 다루는 신호의 속성에 따라 연속과 이산으로 구분할 수 있다. 디지털 시스템은 대표적인 이산 시스템이며, [그림 C1-13]에 연속 시스템과 이산 시스템의 예를 나타내었다.

- **연속 시스템**은 연속 신호를 입력으로 받아들여 처리한 뒤 연속 신호를 출력으로 내보내는 시스템이다.
- **이산 시스템**은 이산 신호를 입력으로 받아들여 처리한 뒤 이산 신호를 출력으로 내보내는 시스템이다.



[그림 C1-5] **연속 시스템과 이산 시스템**

1.3 디지털 신호 처리

디지털 신호 처리는 폭넓은 의미로 ***디지털 시스템에 의한 이산 신호의 처리***를 가리킨다. 왜냐하면 디지털 시스템에서 충분히 많은 비트를 사용하거나 부동 소수점 방식을 채용한다면, 연속적인 값을 갖는 이산 신호라 할지라도 (허용 오차 범위 내에서) 무리 없이 디지털 신호로 바꾸어 취급할 수 있기 때문이다.

1.3.4 디지털 신호 처리의 목적

디지털 신호 처리의 목적을 달성하기 위해 신호를 조작하는 작업은 대체로 다음의 4가지 유형으로 구분할 수 있다.

(1) 컨벌루션(convolution)

컨벌루션은 한 신호를 시간축 위에서 뒤집어 이동시키면서 매 순간마다 다른 신호와 곱한 결과를 모두 더하여 새로운 신호를 만들어내는 조작으로, 특히 ***선형 시불변 시스템의 출력이 입력과 시스템의 임펄스 응답의 컨벌루션으로 주어진다***는 점에서 매우 중요하다(3장에서 상세히 살펴보게 될 것이다).

$$y[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} h[k]x[n-k] \tag{C1-5}$$

(2) 상관(correlation)

상관은 신호간의 유사성을 나타내는 지표로서, 신호 $y[n]$을 시간축상에서 이동시키면서 신호 $x[n]$과 비교함으로써 비슷한 정도를 측정한다.

$$R_{xy}[k] = \lim_{N\to\infty} \frac{1}{2N+1} \sum_{n=-N}^{N} x[n]y[n-k] \tag{C1-6}$$

$y[n]$과 $x[n]$이 같은 경우를 **자기상관**autocorrelation이라 하고 $y[n]$과 $x[n]$이 다르면 **상호상관**cross-correlation이라고 한다.

상관은 잡음이 섞인 신호로부터 원래 신호를 찾아내거나 신호 속에 숨어있는 주기성 등을 알아내는 데 유용하게 쓰인다.

(3) 변조(modulation)

변조는 정보를 잘 전송할 목적으로 송신 신호의 스펙트럼을 반송파carrier가 가지고 있는 다른 주파수 성분에 싣는 것으로서 보통 높은 주파수를 갖는 반송파를 이용하여 신호의 주파수를 원하는 주파수 대역으로 이동시키는 처리 과정을 일컫는다. 변조된 신호를 수신한 쪽에서는 반송파를 제거하여 원래의 송신 신호를 다시 복구하게 된다(복조).

변조는 효율적인 통신을 위해 꼭 필요한 조작으로, 송신 신호의 왜형을 최소화하거나 바람직한 성질을 보장하기 위해서 또는 전송 대역폭의 효율적 활용을 위해 송신 신호의 주파수 특성을 전송 선로나 매체의 주파수 특성에 맞추게 된다.

(4) 변환(transform)

변환은 수학적으로 신호의 표현을 바꾸는 일이다. 신호는 수학적으로 독립 변수가 시간 또

는 주파수인 함수로 표현되고 다루어지므로, 결국 변환은 신호의 시간 영역 표현과 주파수 영역 표현을 서로 바꾸어주는 수학적 연산으로 푸리에 변환이 대표적인 변환이다.
일반적으로 시간 영역에서 얻어진 신호의 파형만으로는 신호의 특성을 파악하기에는 한계가 있으므로 주파수의 관점에서 신호를 바라보고 특성을 분석하는 것이 필요하게 된다. 또한 실제 신호의 처리도 주파수 영역에서 이루어지는 것이 더 효과적인 경우도 많다.

이외에도 직교 함수들을 이용한 여러 변환이 신호의 고속 처리, 데이터 압축 등에 활용되고 있다.

(5) 필터링(filtering)

필터링은 신호 속에 들어 있는 불필요한 성분(잡음)을 제거하거나 바람직한 형태로 신호를 변형하는 작업으로서, 실제 동작은 시간 영역에서 이루어지나 그 원리는 (책)[그림 1-8]에 나타낸 것과 같은 주파수 선택 특성에 바탕을 두고 있다. 필터링하고자 하는 목적에 맞추어 네 가지 유형의 필터 중 하나를 사용하여 원하는 주파수 성분만 통과시키거나 불필요한 성분을 제거하게 된다.

주파수 선택 필터로는 잡음 제거가 힘든 경우는 확률-통계 모델을 이용한 적응 신호 처리 기법들을 주로 사용하게 되는데, 이는 이 책의 수준을 벗어나는 주제이다.

1.3.2 디지털 신호 처리의 응용

정보의 추출, 가공, 송수신, 이용은 일상생활에서 다반사로 일어나는 행위이다. 따라서 신호 처리 기술이 필연적으로 개입될 수밖에 없으며, 사회와 기술 발전의 추세에 따라 디지털 신호 처리의 응용 분야는 급속도로 팽창하고 있다.

영국에서 열리는 프리미어리그 축구 경기를 한국의 내 집 거실 TV에서 실황으로 시청하는 경우를 생각해보자. 축구 경기장에서 방송 팀이 경기를 촬영하면 영상 및 음성 신호가 만들어져 경기장 옆에 서있는 중계차로 보내진다. 중계차에서는 이를 송신에 적합한 신호로 변환하여 무선으로 방송국에 송신한다. 방송국에서는 이 신호를 다시 변환하여 중계 위성으로 송신하게 되고, 중계 위성은 이를 한국의 기지국으로 재전송한다. 기지국에서 수신된 신호는 방송국으로 다시 송신되고, 방송국에서는 수신된 영상 및 음성 신호를 방송용으로 변환하여 대기 중으로 전파를 방사한다. 그러면 집 TV 안테나가 대기 속에 퍼져 있는 수많은 신호들 가운데 TV 채널이 지정한 특정 방송사의 전파를 검출하게 된다. 이것을 집의 TV가 사람이 보고 들을 수 있는 신호로 바꾼 뒤 신호의 세기를 증폭하여 영상은 LCD 패널로 음성은 스피커로 분리하여 보내면, 최종적으로 영상과 음성이 재생되어 즐겁게 프리미어리그 축구 경기를 관람할 수 있는 것이다.

이상의 모든 과정에서 통신과 변환을 비롯한 다양한 신호 처리가 이루어지고 있음을 알 수 있고, 최근의 방송이나 통신 장비들로 미루어 볼 때 그러한 신호 처리의 상당 부분이 디지

털 기술이라는 사실도 알 수 있을 것이다.

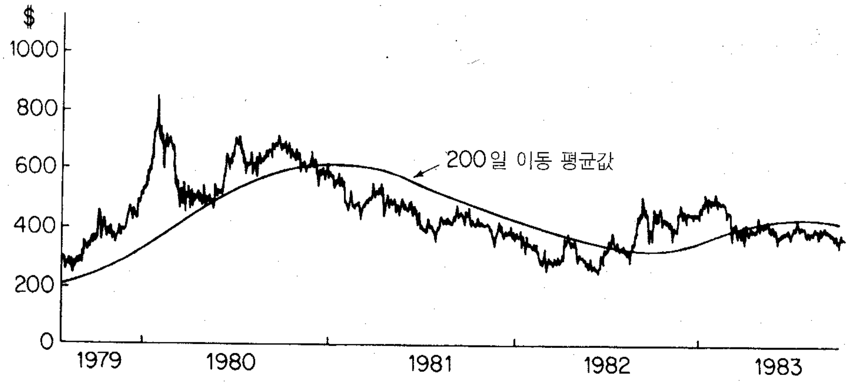
■ 예제 C1-2 : *데이터 평활화(smoothing)*

국제적으로 금이나 석유 등을 거래하는 현물 시장이나 주식 시장에서는 여러 요인들에 의해 매일 매시간 가격이 달라진다. 딜러들은 순간의 결정에 의해 엄청난 이익이나 손실이 발생할 수 있기 때문에 가격의 변동을 정확히 예측하기 위하여 필사적으로 애를 쓴다.

[그림 C1-6]은 달러화로 표시된 금값의 변화를 1979년에서 1983년까지 일별로 나타낸 그래프이다. 그림에서 볼 수 있듯이 금값은 작은 폭의 지속적인 변동과 큰 폭의 심한 기복을 모두 포함하는 복잡한 양상을 보인다. 이러한 패턴은 석유나 주식의 경우도 크게 다르지 않다.

가격의 변동을 예측하려면, 단기적인 변화뿐만 아니라 장기적인 변동 추이를 분석할 필요가 있다. 그림에 나타나 있는 부드러운 곡선은 정확히 일치하지는 않지만 장기간에 걸친 금값의 변화 추이를 잘 파악할 수 있게 해준다. 이처럼 원래 데이터의 복잡한 변화를 줄여서 데이터에 내재되어 있는 잠재적인 경향을 드러내는 부드러운 곡선을 찾아내는 일을 데이터 평활화라고 하는데, 기본적으로 널리 사용되는 기법은 적당한 기간 동안 누적된 데이터의 평균, 즉 이동 평균moving average을 취하는 방법이다.

그림의 부드러운 곡선은 현물 시장이나 주식 시장의 분석가들이 경험 법칙상 찾아낸 누적 기간인 200일 동안의 이동 평균을 취한 것으로 다음과 같이 표현할 수 있다.



[그림 C1-6] 금의 달러화 값 1979-1983

$$y[n] = \frac{1}{200}\{x[n] + x[n-1] + \cdots + x[n-199]\} \quad \text{(C1-7)}$$

$$= 0.005\sum_{k=0}^{199} x[n-k]$$

만약 평균을 취하는 누적 기간을 달리 한다면 곡선의 형태도 달라질 것이며, 데이터에 따라 최적의 누적 기간을 찾아내는 일이 중요한 문제가 될 것이다.

그런데 식 (C1-7)은 $y[n]$ 값을 계산하기 위해서 매번 200개 데이터의 덧셈을 수행해야 하므로 계산상의 관점에서는 효율적이지 못하다. 보다 효율적인 계산 구조의 표현으로 바꾸려면 다음과 같이 직전의 계산 결과에서 가장 오래된 입력 데이터를 빼서 버리고 새로운 데이터를 더하면 될 것이다. 즉,

$$\begin{aligned} y[n] &= \frac{1}{200}\{x[n]+\cdots+x[n-199]+x[n-200]-x[n-200]\} \\ &= y[n-1]+0.005\{x[n]-x[n-200]\} \end{aligned} \tag{C1-8}$$

여기서

$$y[n-1] = \frac{1}{200}\{x[n-1]+\cdots+x[n-199]+x[n-200]\} \tag{C1-9}$$

식 (C1-8)의 계산은 각 한 번의 덧셈과 뺄셈만 필요로 하므로 식 (C1-7)에 비해 계산량 측면에서 매우 효율적이다.

식 (C1-8)과 같은 형태의 계산 알고리즘(또는 필터)은 직전의 계산 값이 다시 새로운 계산을 위한 입력으로 사용되므로 순환[recursive] 알고리즘이라고 한다. 이에 반해 식 (C1-7)과 같이 이전의 계산 값을 전혀 사용하지 않는 알고리즘은 비순환[nonrecursive] 알고리즘이라고 한다.
■

1.4 신호와 관련한 기초 개념

1.4.1 정현파와 진폭, 위상, 주기, 주파수

두 정현파를 시간축 상에서 같은 시간만큼 이동시켰다고 하더라도 두 정현파의 주파수에 따라 위상은 달라진다는 사실을 유의해야 한다.

■ 예제 C1-3 : *주파수에 따른 위상의 차이*
다음과 같이 주파수가 1[Hz]와 2[Hz]인 두 정현파가 있다.

$$\begin{aligned} x(t) &= \cos(2\pi t) \\ y(t) &= \cos(4\pi t) \end{aligned}$$

이 두 정현파를 $t_1 = 0.3$만큼 시간 지연시키면

$$\begin{aligned} x(t-t_1) &= \cos(2\pi(t-t_1)) = \cos(2\pi t - 2\pi t_1) = \cos(2\pi t - 0.6\pi) \\ y(t-t_1) &= \cos(4\pi(t-t_1)) = \cos(4\pi t - 4\pi t_1) = \cos(4\pi t - 1.2\pi) \end{aligned}$$

$x(t-t_1)$은 위상이 $\phi=0.6\pi$ 이지만 $y(t-t_1)$는 위상이 $\theta=1.2\pi$이다. $y(t-t_1)$은 주파수가 2[Hz]로 $x(t-t_1)$의 주파수 1[Hz]의 두 배인데, 위상 또한 $\theta=2\phi$로 두 배가 된다. 다시 말해 같은 시간 이동에 대한 정현파의 위상 값은 주파수에 비례하여 달라진다. 이는 (책)식 (1.10)에 의해서도 확인된다. ■

1.4.2 신호의 에너지와 전력(POWER)

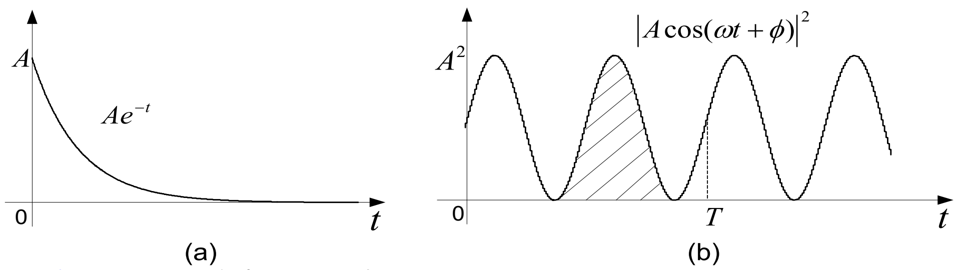
신호의 특성을 정량적으로 나타내거나 비교하고자 할 때, 물리적으로도 의미 있고 신호를 대표하기에 적절한 값들에는 어떤 것들이 있을까? 가장 먼저 평균값을 떠올릴지 모르겠지만, 주파수나 진폭에 상관없이 모든 정현파의 평균값이 0이 된다는 사실만 보더라도 타당성 있는 기준이 되지 못한다. 다음으로 최댓값을 생각해볼 수 있지만, 이 역시 적절한 기준이 되지 못한다. 왜냐하면 거의 모든 시간에 걸쳐 작은 값을 지니다 특정한 순간에만 매우 큰 값을 갖는 신호가 전 구간에 골고루 비교적 큰 값을 갖는 신호보다 값이 큰 것처럼 과장되는 문제점이 발생하기 때문이다.

이러한 이유로 인해 좀 더 합리적이고 의미 있는 신호의 대푯값으로 책에서 설명한 것처럼 전기회로의 물리적인 에너지 및 전력 개념과 일맥상통하는 신호의 에너지와 전력, 그리고 실횻값을 정의하여 신호를 대표하는 값으로 활용하는 것이다.

■ 예제 C1-4 : *신호의 에너지와 전력*

지수 신호와 정현파 두 신호에 대해 각각 에너지와 전력을 구해보자.

지수 신호는 [그림 C1-7(a)]에 나타낸 것처럼 시간이 무한대로 가면 값이 0으로 수렴하기 때문에 그 면적은 유한하고, 따라서 당연히 에너지도 유한하다.



[그림 C1-7] [예제 C1-4]의 신호

에너지를 직접 계산해보면

$$E=\int_0^\infty |Ae^{-t}|^2\,dt=\int_0^\infty A^2e^{-2t}\,dt=-\frac{A^2}{2}e^{-2t}\Big|_0^\infty=\frac{A^2}{2}$$

이처럼 지수 신호의 에너지는 유한하므로 이를 시간 구간(∞)으로 나눈 전력은 0이 된다.

[그림 C1-7(b)]의 정현파 $A\cos(\omega t+\phi)$의 에너지는

$$E=\int_{-\infty}^{\infty}|A\cos(\omega t+\phi)|^2\,dt$$

으로 계산되는데, 그림에 나타낸 것처럼 피적분항 $|A\cos(\omega t+\phi)|^2$은 면적이 유한한 파형(빗금 친 부분)이 주기적으로 무한히 반복되는 형태이므로, 이의 적분 값인 에너지는 무한하다.

그러나, 전력은 한 주기(정현파 신호의 반 주기에 해당) 파형에 대한 적분 값을 평균하여 구할 수 있으며, 그 값이 유한하리라는 것은 그림으로부터 금방 알 수 있다. 정현파의 전력을 직접 계산해보면,

$$P=\frac{2}{T}\int_{0}^{T/2}|A\cos(\omega t+\phi)|^2\,dt=\frac{A^2\omega}{\pi}\int_{0}^{\frac{\pi}{\omega}}\frac{1+\cos(2\omega t+2\phi)}{2}\,dt=\frac{A^2}{2}$$

위 식의 마지막 적분 계산은 $\cos(2\omega t+2\phi)$의 주기가 $\cos(\omega t+\phi)$의 주기 T의 반이고, 정현파의 한 주기 적분값은 항상 0이 됨을 이용한 것이다. ■

핵심요약

개념	관련항
• 신호는 물리량의 변화 형태를 담은 일련의 정보/자료의 집합으로, 수학적으로는 함수로 표현된다.	
• 시스템은 일련의 신호(입력)를 받아들여 어떤 작용을 거쳐 다른 일련의 신호(출력)를 만들어내는 실체로, 수학적으로는 방정식으로 표현된다.	
• 신호 처리는 시스템에 의해 이루어지며, 해석, 합성, 변환, 필터링 등을 수행한다.	
• 신호의 파형은 신호의 시간에 따른 값의 변화를 나타낸 것이다.	
• 블록선도는 각 시스템 구성 요소를 블록으로 바꾸고 신호의 흐름에 따라 블록 사이의 연결 관계를 그려 놓은 그림이다.	
• 블록선도에서 시스템의 기본 연결 방법은 종속 연결과 병렬 연결이며, 종속 연결의 특수한 경우로 궤환 연결이 있다.	[그림 1-3]
• 신호는 시간 속성에 따라 연속 신호와 이산 신호로 나눌 수 있다.	[그림 1-5]
• 아날로그 신호는 시간과 크기 모두 연속적인 값을 가질 수 있는 신호이다.	[그림 1-5]
• 디지털 신호는 시간과 크기 모두 이산적인 값만 가질 수 있는 신호이다.	[그림 1-5]
• 시간 영역에서 이산 신호는 수열로, 이산 시스템은 방정식으로 표현된다.	식 (1.4)
• 유한 구간 이산 신호의 길이는 신호를 이루는 샘플의 개수로 정의한다.	
• 디지털 신호 처리는 이산 신호에 대해 디지털 시스템을 이용하여 원하는 목적에 달성하도록 필요한 조작을 가하는 작업이다.	
• 전형적인 디지털 신호 처리 시스템은 전처리 필터, A/D 변환기, 디지털 시스템, D/A 변환기, 후처리 필터로 구성된다.	[그림 1-7]
• 디지털 신호 처리는 하드웨어와 소프트웨어의 결합으로 다양한 처리 방식의 구현할 수 있고, 아날로그 신호 처리보다 여러 가지 장점을 지닌다.	
• 디지털 신호로 바꾸는 과정에서 정보의 손실과 왜곡이 초래된다.	
• 디지털 신호 처리의 주된 목적은 신호 해석, 정보 추출, 필터링, 신호의 압축과 복원, 시스템 식별과 신호의 예측, 신호의 합성 등이다.	
• 진폭은 정현파가 진동하여 가질 수 있는 값의 범위를 가리킨다.	[그림 1-15]
• 위상은 각으로 표시된 원점에서 코사인파의 꼭짓점까지의 거리이다.	[그림 1-15]
• (기본)주기는 정현파가 같은 파형을 반복하는 (최소)시간 간격을 말한다.	식 (1.8)
• 주파수는 정현파가 1초에 같은 파형을 반복하는 횟수이다.	식 (1.9)
• 주파수가 높아질수록 신호의 파형은 시간적으로 더 급격한 변화를 보인다.	
• 위상은 신호 파형의 시간 이동과 연관되며, 원래 신호 파형보다 시간적으로 지연될 경우에는 뒤진(음의) 위상을 갖고 선행되는 경우에는 앞선(양의) 위상을 갖게 된다.	식 (1.10)
• 신호의 에너지는 신호의 크기를 제곱한 것을 시간에 대해 모은 것으로 정의한다.	식 (1.12)
• 신호의 전력은 신호의 에너지의 시간에 대한 평균값으로 정의한다.	식 (1.13)
• 신호의 실효값은 에너지의 관점에서 신호의 실제적인 효과를 나타내는 값으로, 전력의 제곱근으로 정의한다.	식 (1.14)
• 데시벨은 기준 신호에 대한 다른 신호의 전력비를 상용로그를 취한 값의 10배로 정의하며 dB로 표기한다.	식 (1.15)