

# ECC(Error Correction Code)

최근 data communication이 급속히 발전하고 있는 가운데 여러 잡음 원에 의해 발생하는 에러율을 신뢰성 있는 통신을 위해 설정하고 있는데 만약 에러율보다 높은 수신 데이터 에러가 발생한다면 error correction coding 기술을 이용하여 에러를 제거하여야 한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 channel coding시 에러 정정 부호화 기법의 사용이 거의 모든 data 통신 분야에 필수적으로 적용되고 있다.

channel code는 block code와 convolution code로 구분되며, block code는 linear code와 cyclic code로 분리되는데 block code는 K 비트의 정보를 n비트의 codeword로 만들어 내는 무기억 장치인 반면에 convolution code는 output sequence가 현재의 입력 뿐 아니라 과거의 input sequence에 의해서 결정되며 기억장치가 있다. convolution code의 coder는 간단한 회로로 구현이 가능하지만 decoder의 방법은 viterbi 알고리즘 등에 의한 Maximum Likelihood Decoding이 사용된다.

Viterbi 알고리즘은 제한길이(K)의 크기에 따라 복잡도가 지수승으로 증가하게 된다. 현재는 K=9까지 이용되며 K>9이상은 복잡도가 너무 크기에 실제로는 이용되지 않는다. 실제로 CDMA(IS\_95)에서는 K=9인 구조가 사용되어지고 있으며, 차세대 이동통신인 IMT2000에서는 K=9인 Viterbi code가 Turbo code와 함께 사용된다.

## 1.1. history

1967년 A.J.Viterbi는 최우복호법인 Viterbi알고리즘을 제안하였고, 이후 Omura(1969)와 Forney(1972-1974)가 구속장이 작은 길쌈 부호의 최우복호법이 'Viterbi알고리즘을 이용한 복호법'임을 증명하였다.

그 외에도 길쌈부호를 이용하여 연립 특성의 오류를 정정할 수 있는 복호법을 제안한 부호이론가들로는 Berlekamp, Preparata, Massey, Iwadare, Kohlenberg, Forney, Gallager, Tong, Ferguson 등이 있다.

1970년대의 부호이론은 1960년대에 제안된 복호알고리즘을 실제 통신 시스템에 응용하는 방향으로 발전되어 갔다. 그 대표적인 예로는

Forney가 Viterbi 알고리즘을 이용한 복호기를 설계한 것이다. 이 복호 방법은 우주통신 및 위성통신 분야의 디지털 통신 시스템에 널리 적용되었다.

## 1.2. algorithm

Viterbi 부호기는 콘볼루션 부호기를 이용한다. (그림 2)은 제한길이  $K=4$ , 부호화율  $1/2$ 인 콘볼루션 부호기이다. 이 구조는  $K=4$ 에서 가장 적합한 생성다항식(generator polynomial)으로 알려진  $(13,15)$ 를 이용한 구조이다. 입력은 레지스터에 차례로 저장되고 각 레지스터의 데이터를 XOR하여 두 개의 출력 데이터를 만들어준다.

그림2는 상태에 따른 천이도를 나타낸 것이다.

콘볼루션 디코딩 방법은 최대유사디코딩(MLD: Maximum Likelihood Decoding)을 이용한다. 최대유사디코딩 방식은 주어진 입력에 대해 가장 유사한 형식을 찾아 이를 디코딩하는 방식으로 최적의 디코딩 방법으로 알려져 있다. 이런 최대유사디코딩 방법으로 Viterbi 알고리즘이 이용된다. Viterbi 알고리즘은 BM(branch metric)과 PM(path metric)이라는 변수를 통해 최대유사디코딩을 수행한다. BM은 상태천이도에 의해 생성된 기준 데이터와 송신된 데이터와의 차를 구하는 것으로 Hamming distance로 정의된다. PM은 생존 경로를 통해 전달된 연속적인 BM의 합을 저장한다.

디코딩과정은 상태천이도의 각 상태에 대해 PM과 BM을 더해서 작은 값을 가지는 부분을 선택해 다시 PM에 저장하고 그 경로를 저장한다. 이런 과정을 통해 모여진 경로 데이터를 일정시간 후부터 다시 거슬러 올라가(traceback) 최소 경로를 찾아가게 된다. 이때 선택된 경로가 디코딩 결과로 출력된다.

## 2.1. Encoder

convolution encoder는 현재의 입력과 과거의 입력간의 상호 연관성에 의하여 bit stream의 출력을 갖는 encoder이다. 입력은 shift register에 차례로 저장되고 각 레지스터의 데이터를 modulo-2연산을 하여 두 개

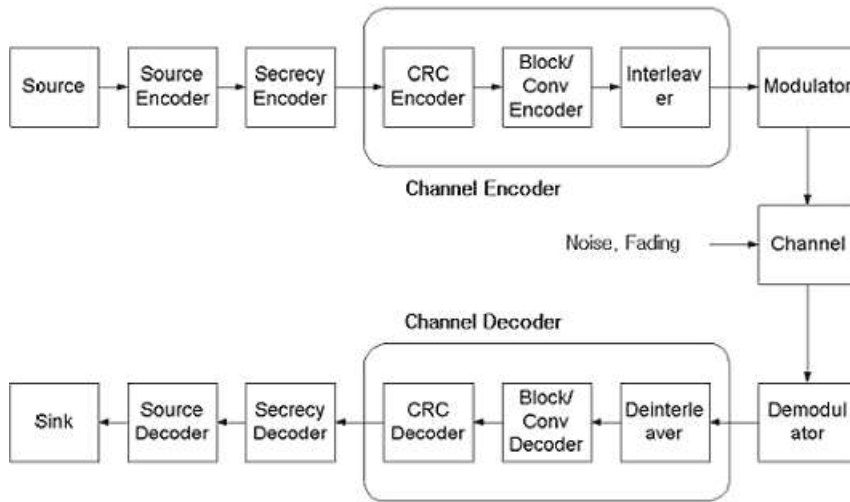
의 출력데이터를 생성한다.

본 논문에서는 IMT-2000 SPEC의 메모리  $m=8$ , 입력  $k=1$ , constraint length  $K=9$ , code rate  $R=1/2$  인 encoder를 사용하였다.

## 길쌈부호

하향 링크에서 트래픽 데이터 프레임들은 구속장 길이(constraint length)가 9이고, 부호화율(code rate)이  $1/2$ 인 길쌈 부호화기로 전달된다. 부호화기는 8 비트의 시프트 레지스터를 사용하고, 하나의 입력 비트에 대하여 2 비트의 출력을 만든다. 9.6 kbps 이하의 출력 비트는 20msec에 384개의 비트로 반복된다. 결과적으로 길쌈 부호화기를 거친 출력은 19.2kbps가 된다. (사실, 길쌈 부호화 이후에는 비트라는 표현보다는 부호화된 심볼이라는 표현이 더 적절하다. 그러므로, 19.2 ksps가 더 좋은 표현이다. 여기서, sps=symbols/second.)

Error Correction Code는 입력 데이터에 일정한 redundancy를 추가해 error를 검출 및 수정하는 code를 말하는 것으로 1948 Shannon에 의해 수학적으로 증명이 되었으며 이후 1950년에 single error correcting이 가능한 Hamming Code가 처음으로 발표되었다. 1960년을 전후해서는 BCH code, RS code 등으로 발전했으며 1960년대 중반에 Viterbi가 발표되었다. 1993년



에는 지금까지의 ECC중 가장 성능이 우수한 것으로 알려진 Turbo code가 발표되었다. 이 Turbo code는 수학적 error 복원의 한계로 알려진 Shannon limit

에 거의 근접한 성능을 보이고 있다. 실제로 CDMA(IS-95)에서는 K=9짜리 Viterbi code가 이용되고 있으며 IMT-2000에서는 K=9짜리 Viterbi code와 K=4짜리 Turbo Code가 사용되고 있다. 통신시스템에서는 channel coding으로 불리는 부분을 확인할 수 있다.

ECC는 redundancy를 주는 방법에 따라 크게 나누어진다. 입력된 정보신호 (k bits)에 일정한 redundancy를 더해서 encoding 정보를 만들어주는 Block code와 현재의 입력과 과거의 입력의 상관관계를 이용해 encoding 정보를 만들어주는 Convolutional code로 나누어진다. Block code에는 대표적으로 RS code와 BCH code가 있으며 Convolutional code에는 Viterbi code와 Turbo code가 있다.

