

CDMA 디지털 셀룰라 시스템에서의 Viterbi 복호기에 관한 연구

손 경열*, 노 종선*, 차 진중**, 박 세현**, 전 인산**

* 건국대학교 전자공학과
** 한국전자통신연구소 반도체연구단 집적회로개발실

A Study on Viterbi Decoder in CDMA Digital Cellular System

Kyung-Yeol Sohn*, Jong-Seon No*, Jin-Jong Cha**, Se-Hyun Park**, In-San Jeon**

* Department of Electronic Engineering, KON-KUK Univ.
** Integrated Circuit Application Section, ETRI

ABSTRACT

Viterbi decoder using in CDMA digital cellular system must run in five basic channel modes to provide the required decoding for both forward and reverse link data. For the forward link, Viterbi decoder supports the sync channel, the paging channel, and the forward traffic channel. For the reverse link, Viterbi decoder supports the access channel and the reverse traffic channel.

In this paper, Viterbi decoders for (2, 1, 9) and (3, 1, 9) convolutional codes being used in the forward link and the reverse link of CDMA digital cellular system are simulated by computer. The program of Viterbi decoder for computer simulation is developed by using Borland C on IBM-PC 486 and the performance of Viterbi decoder for each data rate of 5 different channels is shown in the figure.

I. 서 론

현대사회가 고도 정보화 사회로 발전해 가는 현시점에서 지구상의 어느 곳에 있는 어느 누구라도 원할때에는 언제라도 음성정보를 포함한 다양한 형태의 정보를 빠른 시간내에 전달하고자 하는 것이 통신의 궁극적인 목표이다. 하지만 이동통신 환경하에서는 다경로 전파 및 이동체 속도로 인한 페이딩 현상이 나타난다. 이러한 페이딩 현상은 연접에러 및 산발에러를 유발하여 통화품질을 열화시키는 주요 원인이므로 이에 대한 대책기술로 부호화 기술을 꼽을 수 있으며 현재 디지털 셀룰라 시스템에서는 Viterbi 복호를 이용한 길쌈부호(convolutional code)를 사용하고 있다[1].

본 논문에서는 CDMA 디지털 셀룰라 시스템의 순방향 링크에서 사용되는 구속장이 9, 부호율이 1/2이고 생성다항식이 (561, 753)₈인 길쌈부호와 역방향 링크에서 사용되는 구속장이 9, 부호율이 1/3이고 생성다항식이 (557, 663, 711)₈인 길쌈부호를 이용하여 IBM-PC의 Borland C 환경하에서 Viterbi 복호기를 구현하였고, 그 성능을 분석하였다.

II. CDMA 디지털 셀룰라 시스템의 채널

CDMA 방식은 여러사용자가 시간과 주파수를 공유하면서 각 가입자에게 상호상관값이 작은 PN 코드 시퀀스를 할당하고, 각 가입자는 할당된 PN 코드 시퀀스를 이용하여 송신할 신호를 확산시켜 전송한다. 그리고 수신측에서는 송신측에서 사용한 것과 동일한 PN 코드 시퀀스를 발생시켜서 동기를 맞추고 이를 이용하여 수신된 신호를 역확산시켜 원하는 신호를 복원하는 방식으로 순방향 링크와 역방향 링

크로 나뉘어진다[3].

1. 순방향 링크(Forward Link)

순방향 링크는 기지국이 이동국으로 정보를 전송하기 위하여 사용하는 채널로서 파일럿채널, 동기채널, 페이징채널, 그리고 순방향 트래픽채널로 구성되며, 각 채널의 정보비트는 부호율이 1/2이고, 구속장이 9인 길쌈부호에 의해 부호화된 후 각각의 정보전송율에 따라 비트 반복과정을 거쳐 채널로 전송된다[4].

① 동기채널(Sync channel)

동기채널은 기지국에서 항상 방사되는 채널로서 파일럿 PN 시퀀스 오프셋, long 코드 생성기의 레지스터 상태, 현재의 시스템 타임 그리고 페이징채널에 대한 정보전송율 등이 이동국으로 전송된다[5].

동기채널의 프레임길이는 26.667ms, 총 32비트로 구성되며, 프레임 3개를 합해서 80ms의 슈퍼프레임을 형성한다. 또한 동기채널의 정보전송율은 1200bps로 길쌈부호를 통하여 2400sps, 그리고 비트 반복과정에 의해 두번 반복되어 4800sps인 후 전송되며, 채널을 통하여 수신된 심볼은 연속모드(continuous mode)로 동작하는 Viterbi 복호기에 의해 복호된다.

② 페이징채널(Paging channel)

페이징채널도 기지국에서 항상 방사되는 채널로 시스템 정보, 이동국에 대한 명령이나 페이징 정보, 그리고 채널할당 메세지 등이 전송된다.

페이징채널의 프레임길이는 20ms, 총 384 심볼로 구성된다. 정보 전송율은 동기채널의 메세지부분을 통하여 이동국으로 미리 알려진

9600bps 또는 4800bps로 고정되어 전송되며, 채널을 통하여 수신된 심볼은 연속모드로 동작하는 Viterbi 복호기에 의해 복호된다.

③ 순방향 트래픽채널(Forward traffic channel)

기지국과 이동국 사이에 호(call)가 접속된 상태에서 기지국이 특정 이동국으로 primary traffic, secondary traffic 그리고 signaling traffic을 통하여 트래픽정보를 전송하는 채널로서 전송되는 데이터는 정보전송율에 따라 변조심볼당 에너지를 가변시켜 전송한다.

순방향 트래픽채널의 프레임 길이는 20ms이며, 총 384 심볼로 구성된다. 각각의 정보전송율에 따라 전송되는 프레임은 한번에서 8번까지의 비트 반복과정을 거쳐 전송되며, 채널을 통하여 수신된 심볼은 반복모드(repeat mode)로 동작하는 Viterbi 복호기에 의하여 복호된다.

2. 역방향 링크(Reverse Link)

역방향 링크는 이동국이 기지국으로 정보를 전송할 때 사용하는 채널로서 액세스채널과 트래픽채널로 구성되며, 각 채널의 정보비트는 부호화율이 1/3이고 구성장이 9인 길쌈 부호기에 의해 부호화된다. 액세스채널은 두번의 비트 반복과정을 거치며, 역방향 트래픽채널은 정보전송율에 따른 DBR(data burst randomizer)에 의해 선택된 타임슬롯을 통하여 전송된다.

① 액세스채널(Access channel)

액세스채널은 이동국이 기지국으로 호접속을 시도할때 사용하는 채널로서 origination 메시지, 페이지 응답 메시지, 그리고 페이지 채널에 대한 ACK 메시지 등을 전송한다.

액세스 채널의 프레임길이는 20ms이며, 총 576 심볼로 구성된다. 4800bps의 고정된 정보전송율로 전송되는 액세스채널의 데이터는 비트 반복과정에 의해 두번 반복되어 전송되며, 채널을 통하여 수신된 심볼은 반복모드로 동작하는 Viterbi 복호기에 의하여 복호된다.

② 역방향 트래픽채널(Reverse traffic channel)

기지국과 이동국 사이에 호가 연결되어 있는 동안 이동국이 기지국으로 primary traffic, secondary traffic 그리고 signaling traffic을 통하여 메시지를 전송하는 채널로서 정보전송율에 따라 DBR을 사용하여 트래픽 정보를 전송한다. 역방향 트래픽채널의 프레임길이는 20ms, 총 576 심볼로 구성되며, 순방향 트래픽채널에서 사용되는 프레임과 동일한 구조를 사용하고 있으며, 채널에서 수신된 심볼은 프레임모드로 동작하는 Viterbi 복호기에 의하여 복호된다.

III. 길쌈부호기와 Viterbi 복호기

1. 길쌈부호기

순방향 링크에서 사용되는 길쌈부호기의 생성다항식과 길쌈부호기의 블럭도가 아래의 표 1과 그림 1에 표현되어 있다[4][6].

표 1 구성장이 9, 부호율이 1/2인 길쌈부호

부호율	생성 다항식	자유거리
1/2	G0 = 561 = 101110001 G1 = 753 = 111101011	12

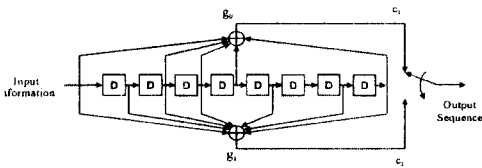


그림 1 (2, 1) 길쌈부호기의 블럭도

위의 그림에서 c_1 과 c_2 는 한개의 입력 데이터에 대한 부호기의 출력으로서 00, 01, 10, 11과 같은 비트의 쌍으로 형성된다.

역방향 링크에서 사용되는 길쌈부호기의 생성다항식과 길쌈부호기가 아래의 표 2와 그림 2에 표현되어 있다[4][9].

표 2 구성장이 9, 부호율이 1/3인 길쌈부호

부호율	생성 다항식	자유거리
1/3	G0 = 557 = 101101111 G1 = 663 = 110110011 G2 = 711 = 111001001	18

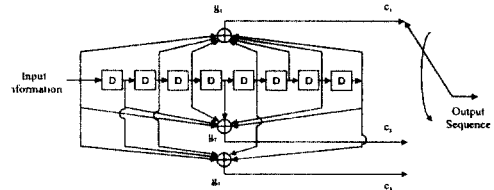


그림 2 (3, 1) 길쌈부호기의 블럭도

위의 그림에서 c_1 , c_2 그리고 c_3 는 역시 한개의 입력 데이터에 대한 부호기의 출력을 나타내며, 000, 001, 010, ..., 111과 같은 비트의 쌍으로 형성된다.

2. Viterbi 복호기

다음의 그림은 Viterbi 복호기의 간략한 블럭도가 표현되어 있다.

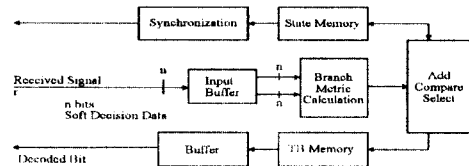


그림 3 Viterbi 복호기의 블럭도

① 데이터의 연성판정

연속모드와 반복모드로 전송되는 데이터는 정보전송율에 따라 9600bps의 프레임을 형성하기 위하여 한번에서 8번까지의 비트 반복과정을 거치게 되므로 Viterbi 복호기는 비트반복되기 이전의 심볼을 형성하기 위하여 4 비트로 연성판정된 데이터를 축적하는 과정을 거치게 된다.

DBR 모드로 전송된 데이터는 정보전송율에 따라 비트 반복과정을 거치지 않고 DBR 알고리즘에 따라 전송되므로 DBR 모드로 동작하는 Viterbi 복호기는 데이터의 축적과정을 거치지 않게 된다.

아래의 표 3은 수신된 데이터를 4 비트로 연성판정하는 경우의 데이터 표현형태를 나타낸다.

표 3 4-비트 연성판정 데이터의 표현형태

Signal	Hard Decision	Off-set Binary	2's Complement
Most Positive	0	1 1 1 1	0 1 1 1
		1 1 1 0	0 1 1 0
		1 1 0 1	0 1 0 1
		1 1 0 0	0 1 0 0
		1 0 1 1	0 0 1 1
		1 0 1 0	0 0 1 0
		1 0 0 1	0 0 0 1
		1 0 0 0	0 0 0 0
Least Positive	1	0 1 1 1	1 1 1 1
		0 1 1 0	1 1 1 0
		0 1 0 1	1 1 0 1
		0 1 0 0	1 1 0 0
		0 0 1 1	1 0 1 1
		0 0 1 0	1 0 1 0
		0 0 0 1	1 0 0 1
		0 0 0 0	1 0 0 0

본 논문에서는 수신된 데이터에 대한 4 비트 연성판정 데이터를 생성시키기 위하여 2's complement 표현을 사용하기로 한다. 또한 연속모드와 반복모드의 경우 각각의 정보전송율에 따라 반복과정을 거치지 이전의 한 심볼로 축적과정을 이행하기 위해서 2's complement 표현을 부호확장(sign extension)하여 사용한다.

아래의 그림 6은 역방향 트래픽채널을 통하여 DBR 모드로 전송되는 데이터에 대한 부호화의 흐름도를 나타낸다.

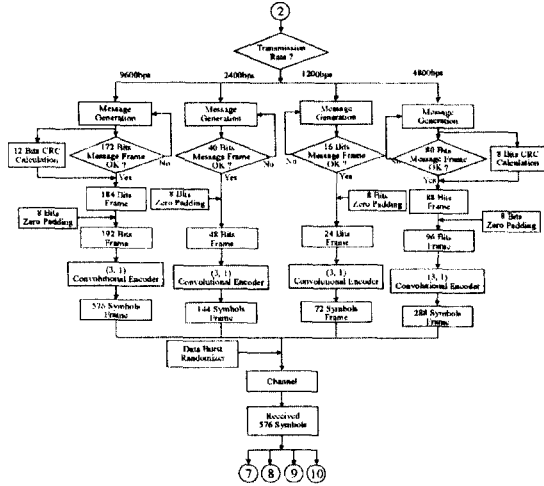


그림 6 역방향 트래픽채널의 부호화에 대한 흐름도

CDMA 디지털 셀룰라 시스템에서 사용되는 Viterbi 복호기는 순방향 링크의 데이터에 대하여 연속모드와 반복모드, 그리고 역방향 링크의 데이터에 대하여 연속모드와 DBR 모드의 두가지 모드로 동작하여야 한다.

그림 7은 동기채널, 페이징채널 그리고 액세스채널로 전송되는 연속모드의 복호에 관한 흐름도를 나타낸다.

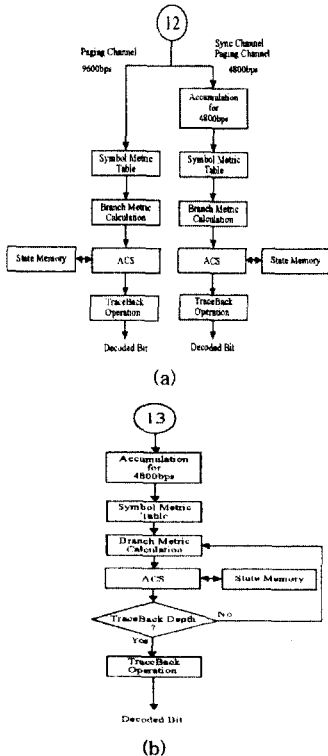


그림 7 (a) 동기채널, 페이징채널의 복호화 흐름도
(b) 액세스채널의 복호화 흐름도

그림 8은 순방향 트래픽채널을 통하여 반복모드로 전송되는 데이터의 복호화 흐름도를 나타낸다.

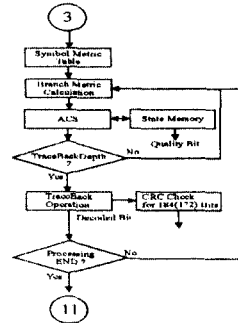


그림 8 9600bps에 관한 Viterbi 복호과정(순방향 트래픽채널)

그림 9은 역방향 트래픽채널을 통하여 DBR 모드로 전송되는 데이터의 복호화 흐름도를 나타낸다.

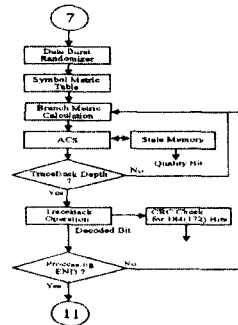


그림 9 9600bps에 관한 Viterbi 복호과정(역방향 트래픽채널)

2. 데이터 복호와 BER 계산

① 전송모드에 따른 데이터 복호 및 정보전송을 결정

연속모드로 동작하는 경우는 전송되는 채널의 메시지 부분을 통하여 미리 알려진 정보전송율로 전송된 데이터를 복호하게 된다. 그러나 순방향 트래픽채널과 역방향 트래픽채널로 전송되는 데이터의 경우는 음성과 정보 트래픽이 정보전송율에 따라 변화하게 되므로 Viterbi 복호기는 수신된 데이터를 4가지의 정보전송율 모두에 관하여 복호와 정을 실행하여야 한다.

또한 Viterbi 복호기는 전송된 데이터가 어떤 정보전송율로 전송되었는가를 알고 있지 못하므로 4가지의 정보전송율 각각에 대하여 복호한 후 Viterbi 복호기로 어떠한 정보율로 전송되었는가를 결정한다.

② BER 계산

본 논문에서의 BER 계산은 길쌈부호기의 입력과 Viterbi 복호기의 출력의 서로 동기시킨 후 서로의 비트를 비교함으로써 이루어진다. 즉, BER의 계산은 부호기의 입력을 버퍼에 저장하였다가 복호기의 출력과 비교하여 오류비트를 계산한다.

3. 실험 결과

본 논문에서는 CDMA 디지털 셀룰라 시스템의 순방향 링크와 역방향 링크에서 사용되는 길쌈부호기, 가산성 백색잡음 채널, 그리고 각 채널의 전송모드에 대한 Viterbi 복호기를 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 구현하였으며, 이때 알고리즘에서 사용한 연속판정 비트와 traceback depth의 길이는 각 링크의 전송모드에 따라 4비트와 64 depth로 고정되어 사용되었다.

그림 10 ~ 그림 12는 순방향 링크를 통하여 전송되는 동기채널, 페이징채널 그리고 순방향 트래픽채널에 대한 Viterbi 복호기의 성능을 나타낸다.

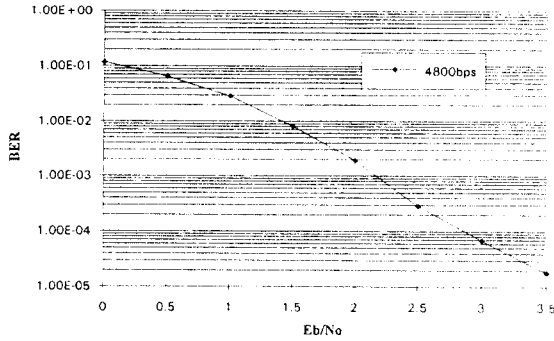


그림 10 동기채널에 대한 Viterbi 복호기의 복호성능

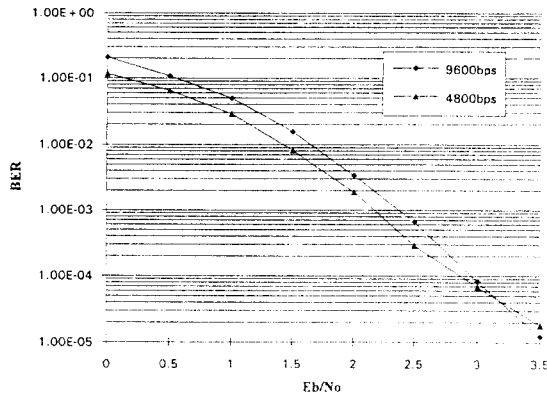


그림 11 페이지채널에 대한 Viterbi 복호기의 복호성능

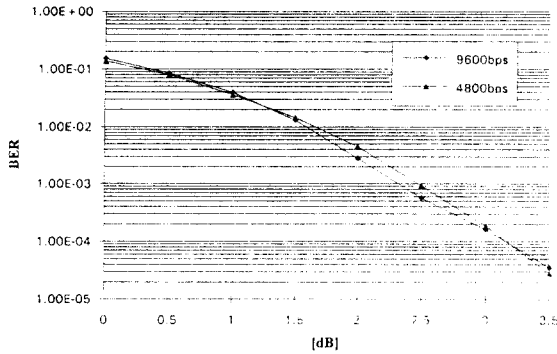


그림 12 순방향 트래픽채널에 대한 Viterbi 복호기의 복호성능

그림 13과 그림 14은 순방향 링크를 통하여 전송되는 동기채널, 페이지채널 그리고 순방향 트래픽채널에 대한 Viterbi 복호기의 성능을 나타낸다.

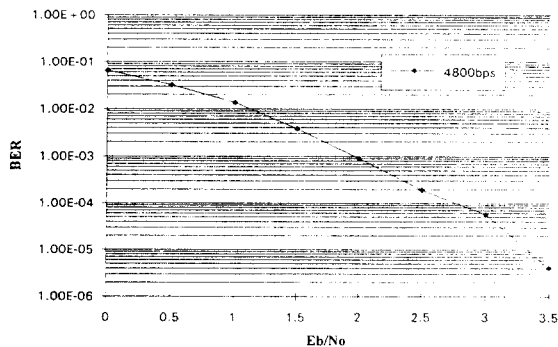


그림 13 액세스채널에 대한 Viterbi 복호기의 복호성능

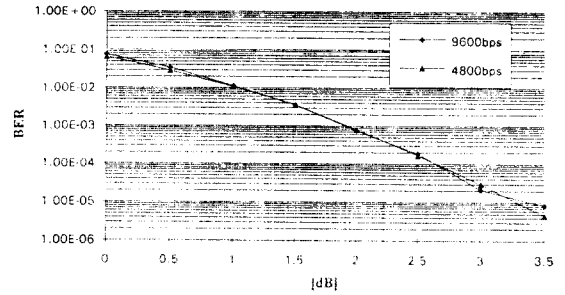


그림 14 역방향 트래픽채널에 대한 Viterbi 복호기의 복호성능

V. 결 론

본 논문에서는 CDMA 디지털 셀룰라 시스템에서 사용되는 길쌈회피기와 각 링크를 통하여 전송되는 채널의 구조 및 전송모드에 관하여 언급하였다. 또한 각 채널의 전송모드에 따른 Viterbi 복호기의 복호 알고리즘에 관한 언급과 함께 전송되는 데이터에 대한 Viterbi 복호성능을 구하여 보았으며, 이때 사용한 양자화 비트와 traceback depth는 각각 4비트와 64 depth로 고정하였다.

순방향 링크의 동기채널과 페이지채널을 통하여 연속모드로 전송된 데이터에 대한 Viterbi 복호성능은 거의 이론적인 성능을 보였다. 그리고 순방향 트래픽채널과 역방향의 액세스채널 그리고 역방향 트래픽채널을 통하여 반복모드로 전송된 데이터는 프레임의 마지막 8비트가 "0"로 입력되므로 이론적인 성능이상의 복호성능을 얻었다.

역시 모의실험을 통하여 Viterbi 복호기가 가장 강력한 에러정정능력을 갖는 ML(maximum likelihood) 복호임을 확인하였다.

<참고 문헌>

- [1] 황인태, "Digital 이동통신 단말기용 신호처리 기술", 전자공학회지, vol. 20, No. 8, pp 17 ~ 31, 1993, 8.
- [2] J. A. Heller and I. M. Jacobs, "Viterbi decoding for satellite and space communication", *IEEE Trans. Commun.* vol. COM-19, pp. 835 ~ 848, Oct., 1971.
- [3] 김영선외 6인, "CDMA 이동통신을 위한 PN 코드의 성능분석", 전자통신 동향분석, 1992, 7.
- [4] TR-45, *Mobile Station-Base Station Compatibility Standard for Dual-Mode Wideband Spread Spectrum Cellular System*, Feb. 11, 1993.
- [5] 강범주, 김영식, "CDMA 기술", 전자공학회지, vol. 19, No. 9, pp 831 ~ 842, 1992, 9.
- [6] S. Lin and D. J. Costello Jr., *Error control coding, fundamentals and applications*, Engelwood Cliffs, NJ : Prentice-Hall, 1983.
- [7] Y. Yasuda, Y. Hirata and A. Ogawa, "Theoretical bit error rate performance of soft decision Viterbi decoding", *Paper of Technical Group on Communication Systems IECE of Japan*, CS80-126, pp. 31 ~ 36., Sept., 1980.
- [8] Y. Yasuda, Y. Hirata and A. Ogawa, "Optimum soft decision for Viterbi decoding", *5th International Conference on Digital Satellite Communications*, pp. 251 ~ 258, Genoa, Italy, March 1981.
- [9] Y. Yasuda, K. Kashiki and Y. Hirata, "High-rate punctured convolutional codes soft decision Viterbi decoding", *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-32, No. 3, pp 315 ~ 318, Mar. 1984.
- [10] Jong-Seon No and Sang-Sung Han, "Implementation of Viterbi decoder using SAMSUNG SSP1600 fixed point DSP chip", *Asia-Pacific Conference on Communication*, pp 341 ~ 345, Taejeon, Korea, August, 1993.
- [11] Qualcomm Inc. San Diego, CA., *Technical sheet*, Jan. 1933.