DBpia

복호길이 6인 Sliding-Window를 적용한 순방향 실시간 복호기 구현

준회원 박 지 웅*

Realization of Forward Real-time Decoder using Sliding-Window with decoding length of 6

Ji woong Park* *Associate Member*

요 약

IS-95와 IMT-2000 시스템에서 사용되고 있는 여러 종류의 길쌈 부호기를 부호율 1/2, 구속장 3인 길쌈 부호기로 한정하여, 비터비 복호기에 복호길이 6인 Sliding-Window와 Neural Network의 LVQ(Learning Vector Quantization)및 PVSL(Prototype Vectors Selecting Logic)을 적용하여 순방향 실시간 복호기를 구현한다.

이론적으로 제한된 AWGN 채널환경에서의 심볼 전송전력 $S/(N_0/2)=1$을 성능비교 조건으로 하여 순방향 실시간 복호기와 기존의 비터비 복호기의 강·연판정 BER 성능과 하드웨어 구성을 비교·분석하여, 본 논문에서 제시된 순방향 실시간 복호기의 BER 성능의 우수성과 비화통신의 장점 및 하드웨어 구성의 단순함을 검증하였다.

Key Words : Sliding-Window with decoding length of 6, Theoretically constrained AWGN channel, LVQ(Learning Vector Quantization), PVSL(Prototype Vectors Selecting Logic)

ABSTRACT

In IS-95 and IMT-2000 systems using variable code rates and constraint lengths, this paper limits code rate 1/2 and constraint length 3 and realizes forward real-time decoder using Sliding-Window with decoding length 6 and PVSL(Prototype Vector Selecting Logic), LVQ(Learning Vector Quantization) in Neural Network.

In comparison condition to theoretically constrained AWGN channel environment at $S/(N_0/2)=1$ I verified the superiority of forward real-time decoder through hard-decision and soft-decision comparison between Viterbi decoder and forward real-time decoder such as BER and Secure Communication and H/W Structure.

Ⅰ. 서 론

복호길이 6인 Sliding-Window를 비터비 복호기에 적용하여 비터비 복호기의 복호방식인 역방향 복호방식을 실시간 데이터 복호를 위하여 순방향 복호방식으로 변경하였다. 또한 비터비 복호기의 단점이라 할 수 있는 길쌈 부호기의 입력 데이터의 개수에 따라 증가하는 PM 값을 저장하기 위한 PM 메모리 개수와 용량의 문제점과 복호시간지연을 개선한다.

복호길이 6인 Sliding-Window를 적용한 순방향 실시간 복호기의 이론과 알고리즘은 Neural Network의 LVQ와 PVSL(Prototype Vectors Selecting Logic)이며, LVQ는 Sliding-Window의 시스템을 구성하며 PVSL은 Sliding-Window의 순방향 실시간 복호를 가능하게 한다.

* 광운대학교 제어계측공학과 서보제어 연구실 (elecpass@dreamwiz.com)
논문번호 : 040005-0106, 접수일자 : 2004년 1월 7일

Copyright (C) 2005 NuriMedia Co., Ltd.
www.dbpia.co.kr

이론적으로 제한된 AWGN 채널환경의 심볼 전송 전력 조건하 $S/(N_0/2)=1$에서 순방향 실시간 복호기의 강·연판정 BER 성능과 비터비 복호기의 강·연판정 BER 성능을 비교한다.

본 논문에서는 부호율 1/2, 구속장 3인 길쌈 부호기를 이용하여, 본 논문에서 제시한 순방향 실시간 복호기의 BER 성능이 비터비 복호기의 BER 성능보다 우수함을 컴퓨터 모의실험을 통하여 검증한다.

본 논문의 구성을 살펴보면, 제2장 복호길이 6인 Sliding-Window에서는 Sliding-Window의 크기를 복호길이 6으로 정한 이유와 Sliding-Window의 동작방법을 설명하고 제3장 LVQ Network에서는 순방향 실시간 복호기의 전체적인 시스템을 분석하며 제4장 이론적으로 제한된 AWGN 채널환경에서의 성능 비교에서는 순방향 실시간 복호기와 비터비 복호기의 강판정 BER과 연판정 BER 성능을 비교하고 순방향 실시간 복호기의 우수성을 컴퓨터 모의실험을 통하여 검증한 후, 제5장에서 결론을 맺는다.

이후 순방향 실시간 복호기를 실시간 복호기라 기술한다.

Ⅱ. 복호길이 6인 Sliding-Window

실시간 복호기에서 순방향 실시간 복호에 사용하고 있는 Sliding-Window는 복호길이 6의 크기를 가진다.

복호길이 6은 길쌈 부호기의 입력 데이터 개수를 의미하며, Sliding-Window의 크기를 복호길이 6으로 한 이유는 비터비 복호기의 강판정 심볼에러 정정용량인 2개의 심볼에러를 이용하여, 2개의 심볼에러가 발생하는 모든 경우에 대해서 첫 번째 데이터를 정확히 복호하기 위하여 필요한 최소한의 복호길이가 6이기 때문이다. 또한 길쌈 부호기의 tail-bit 조건인, 즉 마지막 두 입력 데이터들의 값은 항상 0을 가지는 조건을 마지막 Sliding-Window에 적용하면 복호길이 6인 Sliding-Window내의 6개의 데이터는 정확히 복호가 된다. 이러한 적용 조건들로 인하여 복호길이 6인 Sliding-Window를 적용한 실시간 데이터 복호가 가능해진다.

위에서 언급한 적용조건에 대한 대표적인 예를 그림 1에서 살펴보면 실시간 복호기는 비터비 복호기가 각각의 state 최소 PM 값을 이용하여 역방향 복호하는 것과는 다르게, 복호길이 6인 Sliding-Window에서 모든 BM 값을 더한 Total Distance를 이용하여 순방향 실시간 복호를 한다.

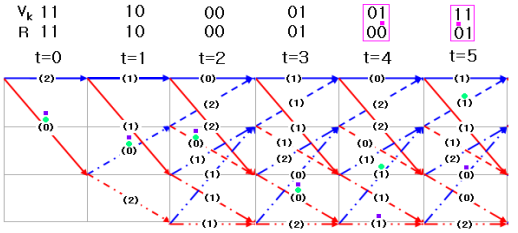


그림 1. 복호길이 6인 Sliding-Window
Fig 1. Sliding-Window with decoding length of 6

그림 1의 복호길이 6인 Sliding-Window에는 총 64개의 path가 존재하며 그 중 가장 작은 Total Distance의 값 1을 가지는 path가 사각 모양 위첨자를 가진 path1이며, path1은 잘못된 경로를 가지는 path이다. 원모양 위첨자를 가진 path2가 정확한 경로를 가지는 path이지만 Total Distance는 2를 가진다. 결국 잘못된 경로인 path1을 선택하였지만 복호길이 6인 Sliding-Window내의 첫 번째 데이터는 정확하게 복호되고 있음을 알 수 있다. 위의 그림에서 길쌈 부호기의 입력 데이터는 1 0 1 1 0 0이고, Vk는 전송된 심볼들을 나타내고 R은 수신된 심볼들을 나타낸다.

Sliding-Window의 동작방법을 살펴보면, 복호길이 6인 Window의 크기이므로 항상 12개의 수신된 심볼들을 이용하여 각각의 Sliding-Window내의 첫 번째 비트를 복호하며, 마지막 심볼이 수신되었을 때 입력 데이터의 tail-bit 조건(Reset 비트)을 사용하여 마지막 Sliding-Window내의 모든 6개의 데이터를 동시에 복호한다. 따라서 실시간 데이터 복호가 가능하게 된다.

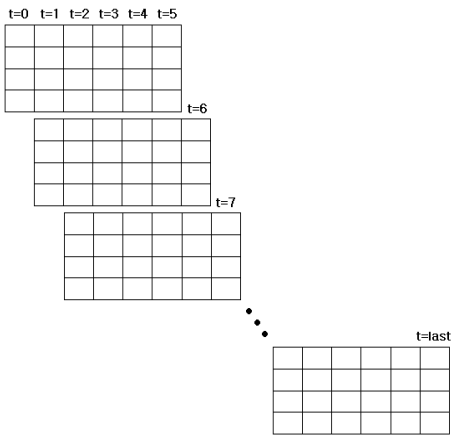


그림 2. 복호길이 6인 Sliding-Window 동작방법
Fig 2. The operation method of Sliding-Window with decoding length of 6

Copyright (C) 2005 NuriMedia Co., Ltd.
www.dbpia.co.kr

실시간 데이터 복호과정을 그림 2를 통하여 자세히 살펴보면

실시간 복호기는 첫 번째 데이터를 복호하기 위하여 t=4까지 복호지연시간을 가진 후, t=5부터 t=last-6까지 각 Sliding-Window내의 첫 번째 데이터 비트를 복호하며 t=last일 때 입력 데이터의 tail-bit 조건을 이용하여 심볼 수신 시간 t=last-5부터 t=last까지, 즉 마지막 Sliding-Window내의 모든 데이터 비트 6개를 동시에 복호한다. 다시 말하자면 t=last에서 모든 데이터 복호를 완료한다.

엄밀한 의미로서는 실시간 복호라는 말이 부적절할지는 모르겠지만 데이터의 전송이 frame또는 packet단위로 전송되기 때문에 비록 처음 t=4동안 복호지연시간을 갖지만 frame 또는 packet의 마지막 데이터가 수신되었을 때와 동시에 모든 frame 또는 packet 내의 데이터들을 복호완료하게 되므로 결국, 전송 혹은 수신 End-time관점에서 볼 때는 실시간 복호가 된다고 할 수 있을 것이다.

Ⅲ. LVQ Network

실시간 복호기의 LVQ Network에서는 강판정 복호방식나 연판정 복호방식 모두 해밍 거리를 사용하여 복호한다. 연판정에서는 Euclidean 거리를 사용한 심볼단위의 양자화 복호를 사용하지 않고, 직접 해밍 거리를 이용하여 심볼단위의 양자화 복호하였으나 이는 Euclidean 거리를 사용한 양자화 심볼단위 복호의 경우보다 정확한 성능 분석면에서 약간의 불확실성을 포함하게 된다.

LVQ Network를 통하여 실시간 복호기의 시스템을 살펴보면 다음과 같다[5].

그림 3에서의 첫 번째 layer에서는 복호길이 6인 Sliding-Window를 사용하여 각 path들의 Total Distance를 구한 후, 가장 작은 값을 가지는 Total Distance를 두 번째 supervised layer에서 첫 번째 비트를 복호하기 위하여 32개 중의 하나의 class에 mapping한다.

마지막 심볼을 수신시에는 제2장에서 설명한데로 tail-bit의 조건을 사용하여 Sliding-Window내의 모든 6개의 데이터를 복호하게 된다. 즉, 32개의 각 class에서는 Sliding-Window내의 모든 비트를 복호할 수 있는 look-up table을 가지고 있다.

또한 LVQ Network의 weight들은 수신된, 혹은 양자화된 심볼들을 입력 받아서 Prototype Vectors 즉, 길쌈 부호기의 발생 코드워드들과 비교 경쟁을

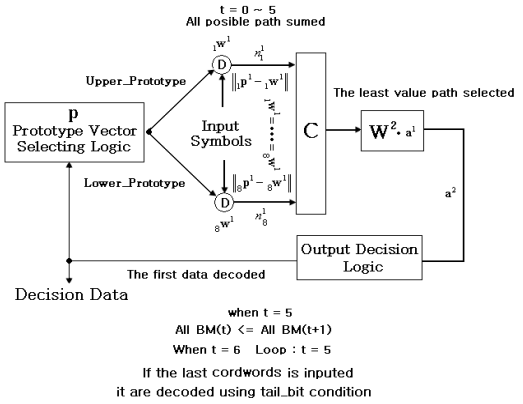


그림 3. 실시간 복호기의 시스템
Fig 3. Real-Time Decoder System

한 후, 경쟁에서 승리한 코드워드의 값으로 update하게 된다.

경쟁에서 승리한 코드워드의 값으로 update된 weight 값은 복호길이 6인 Sliding-Window내의 첫 번째 데이터를 순방향 실시간 복호시키기 위하여 PVSL로 재입력된다.

PVSL은 복호된 데이터와 재입력된 weight를 이용하여 다음의 수신 심볼들의 복호 천이상태인 복호길이 6인 Sliding-Window path들의 시작점을 지정하여 준다.

그림 2에서의 복호길이 6인 Sliding-Window내의 첫 비트들이 복호되는 과정을 간단하게 살펴보면 다음과 같다.

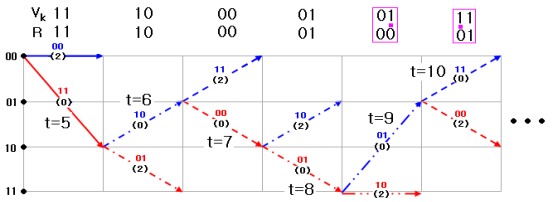


그림 4. PVSL의 동작 개념
Fig 4. The operation concept of PVSL

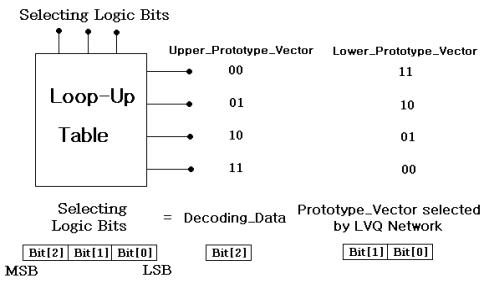
그림 4에서 알 수 있듯이 첫 번째 복호된 데이터는 다음의 Sliding-Window내의 모든 path의 시작점을 지정하고 있다.

PVSL은 다음 복호천이상태인 Sliding-Window의 모든 path의 시작점의 위치를 지정하여 주는 알고리즘으로서 복호길이 6인 Sliding-Window가 순방향 복호를 가능하게 하여준다.

Copyright (C) 2005 NuriMedia Co., Ltd.
www.dbpia.co.kr

PVSL의 알고리즘은 그림 5로 간단히 나타낼 수 있다.

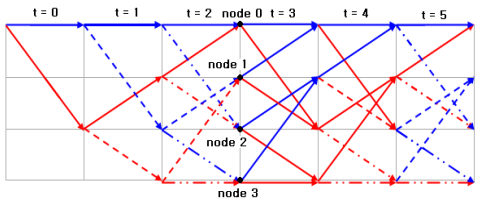
실제의 Visual Basic 언어로 프로그래밍한 PVSL 알고리즘은 각 Sliding-Window내의 시작 path의 위치 지정 방법을 복호길이 6인 Sliding-Window내의 모든 BM값을 left shift함으로써 간단히 구현하였다.



SLB	UPV	LPV
000	00	11
001	11	00
010	11	00
011	00	11
100	10	01
101	01	10
110	01	10
111	10	01

그림 5. PVSL 알고리즘
Fig 5. Algorithm of PVSL

다음은 복호길이 6인 Sliding-Window를 가지는 실시간 복호기의 순방향 실시간 복호 알고리즘을 간단히 나타낸 그림이다.



START PROGRAM

1. t = 0 ~ 2 각 Path의 합을 구함
   1.1 각 노드의 Path값 중 적은 값을 node에 저장
   1.2 각 노드의 Path Selecting Flag값을 저장 (위 :0, 아래 : 1)
2. 3 ≤ t < The last codeword node값과 t=5까지의 Path의 합을 구함 (Total Distance)
   2.1 모든 Total Distance내의 가장 작은 값을 가지는 Total Distance Path선택
   2.2 Sliding-Window내의 첫 번째 Data 복호
   2.3 다음 Data 복호를 위한 BM값을 Left Shift
   BM(t) <= BM(t+1)
   GOTO 1
   if (t = The last codeword)
   2.4 Tail-Bit 조건 (입력데이터 = 00)을 이용하여 Sliding-Window내의 6개의 Data 동시 복호
   (Tail-Bit조건에 의하여 복호길이 6인 Sliding-Window내의 6개의 Data 모두 동시 복호 가능함)

END PROGRAM

그림 6. 실시간 복호기의 알고리즘
Fig 6. Algorithm of Real-Time Decoder

순방향 실시간 복호 알고리즘에 대하여 자세한 설명은 지면관계상 생략하기로 한다.

Ⅳ. 이론적으로 제한된 AWGN 채널환경에서의 성능 비교

본 논문에서 제시된 실시간 복호기와 비터비 복호기와의 강판정 BER과 연판정 BER 성능을 이론적으로 제한된 AWGN 채널환경에서 컴퓨터 모의실험을 통하여 비교한다.

이론적으로 제한된 AWGN 채널환경은 일반적인 Burst Error 채널환경이 아닌, 이론적으로 제한된 Random Error 채널환경을 말한다. 본 논문에서 이론적으로 제한된 Random Error 채널환경은 에러의 발생빈도 확률은 AWGN 채널환경을 따르며, 시간적 또는 공간적 에러 발생분포는 3개 이상의 에러들이 복호길이 6인 한 개의 Sliding-Window안에 집중분포 되어있지 않은 Random Error 채널환경을 따른다.

앞서 언급하였듯이 강판정 BER과 연판정 BER 성능비교는 심볼 전송전력 $S/(N_0/2)=1$을 전제조건으로 비교한다. 한 개의 심볼을 AWGN 채널환경에서 전송할 때 심볼 전송전력과 백색잡음 전력이 같은 채널환경인 $S/(N_0/2)=1$에서, 즉 신호성분(심볼성분)과 잡음성분이 구별되지 않는 잡음채널환경에서, 주파수대역확산(Spread Spectrum) 방식을 사용하지 않고 채널 전송된 데이터들을 복호하기 위한 완전한 잡음채널환경조건을 설정한 것이다.

따라서 $S/(N_0/2)=1$를 전제로 비교한다는 것은 완전한 잡음채널환경에서, 코드워드 생성시 주파수대역확산된 상황은 무시, 전송된 데이터를 모두 정확히 복호할 수 있는 성능을 비교하는 것이다.

연판정 BER 성능비교에서는 두 복호기 모두 3-bit 양자화 연판정 방식을 사용하며, 길쌈 부호기의 입력 데이터 개수에 tail-bit, 두 비트를 포함시킨 9600개의 입력 데이터를 이론적으로 제한된 AWGN 채널을 통하여 전송하고, tail-bit를 복호 데이터에 포함시킨 BER 성능을 비교 분석한다.

BER 성능은 이론적으로 제한된 AWGN 채널을 통과하였을 때의 성능을 분석하며, Error 발생 확률이Gaussian 분포인 Random Error의 분포특성(시·공간적 분포특성)상 확률의 반복 횟수로써 두 복호기의 BER 성능을 비교하고, 10000회 반복 횟수의 평균 비트 에러수와 평균 BER로 두 복호기의 평균 성능을 다시 비교한다.

Copyright (C) 2005 NuriMedia Co., Ltd.
www.dbpia.co.kr

강판정 복호에서의 두 복호기의 비트 에러 개수와 BER을 50회 반복하여 그림으로 나타내면 그림 7, 그림 8과 같다.

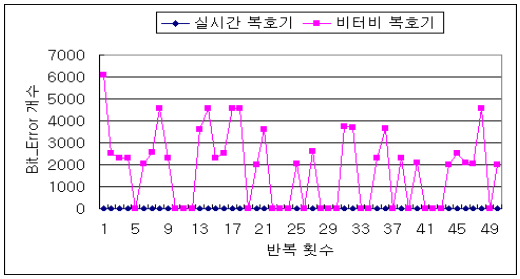


그림 7. 두 복호기의 강판정 비트 에러 비교
Fig 7. Comparison of hard-decision bit-error between two decoders

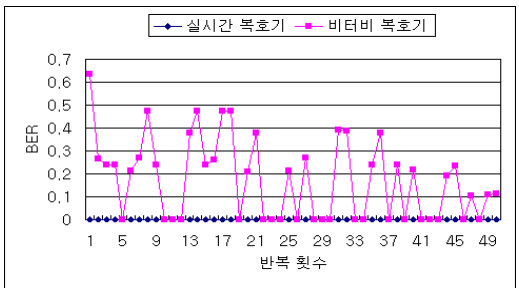


그림 8. 두 복호기의 강판정 BER 비교
Fig 8. Comparison of hard-decision BER between two decoders

Error 발생 확률이 Gaussian 분포인 Random Error의 분포특성(시·공간적 분포특성)상 채널 평균 비트에러와 BER로 비교하기 위하여 10000회 반복하여 평균으로 나타내면 표 1과 같다.

표 1. 두 복호기의 강판정 평균 비트에러수와 BER
Table 1. Average of hard-decision bit-error and BER between two decoders

비교	실시간 복호기		비터비 복호기	
10000회 평균	Bit_Error	BER	Bit_Error	BER
	0.0000	0.000000000000000	1596.9098	0.166344770833335

결국, 강판정 복호방식에서 실시간 복호기가 비터비 복호기보다 성능이 우수한 것을 알 수 있으며, 복호성능 관점에서 비교해볼 때, 비터비 복호기가 약 83.36552292%의 복호성능을 가지고 있으며, 실시간 복호기가 100%의 복호성능을 가지고 있다.(단 tail-bit 조건 포함)

3-bit 양자화 연판정 복호에서의 두 복호기의 비트 에러 개수와 BER을 강판정 복호방식과 동일한 조건인 50회 반복한 상태는 그림 9, 그림 10과 같다.

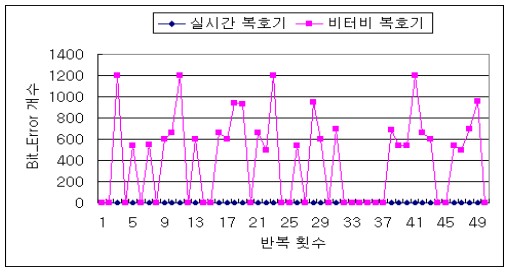


그림 9. 두 복호기의 연판정 비트 에러 비교
Fig 9. Comparison of soft-decision bit-error between two decoders

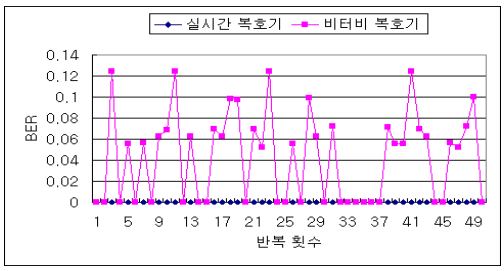


그림 10. 두 복호기의 연판정 BER 비교
Fig 10. Comparison of soft-decision BER between two decoders

강판정 복호에서와 같이 평균 비트에러와 BER로 비교하기 위하여 10000회 반복하여 평균을 내면 표 2와 같다.

표 2. 두 복호기의 연판정 평균 비트에러수와 BER
Table 2. Average of soft-decision bit-error and BER between two decoders

비교	실시간 복호기		비터비 복호기	
10000회 평균	Bit_Error	BER	Bit_Error	BER
	0.0000	0.000000000000000	404.4304	0.0421281666666658

3-bit 연판정 복호방식에서도 실시간 복호기가 비터비 복호기보다 성능이 우수한 것을 알 수 있으며, 복호성능 관점에서 비교해볼 때, 비터비 복호기가 약 95.78718333%의 복호성능을 가지고 있으며, 실시간 복호기가 100%의 복호성능을 가지고 있다.

잠시 Turbo Code와 성능비교를 언급하여 보면 Burst Error 채널환경과 일반적인 Random Error 채널환경에서의 BER 성능에는 뒤지지만, 본 논문에서 이론적으로 제한된 채널환경에서의 BER 성능과 실시간 복호능력, 비화통신의 장점 및 하드웨어의 단순화 관점에서 실시간 복호기가 우수하다고 할 수 있다.

Copyright (C) 2005 NuriMedia Co., Ltd.
www.dbpia.co.kr

Ⅳ. 결 론

이론적으로 제한된 AWGN 환경에서 본 논문에서 제시된 순방향 실시간 복호기의 전송데이터 복호 능력은 $S/(N_0/2)=1$의 완전한 잡음채널환경조건하에서 주파수대역확산(Spread Spectrum) 방식을 사용하지 않고 채널 전송된 데이터들을 100% 복호한다. 즉, 각각의 복호길이 6인 Sliding-Window내 6개의 코드워드들 중에 오직 2개의 심볼에러들만 존재한다면 모든 데이터를 정확히 복호할 수 있다[6].

본 논문에서 제시된 실시간 복호기의 이론적으로 제한된 AWGN 채널환경에서의 BER 성능은 비터비 복호기와 Turbo Code보다 우수하며, 또한 실시간 복호의 장점과 비화통신(보안통신)의 장점 및 비터비 복호기와 Turbo Code보다도 하드웨어 구성을 단순하게 할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

만약 Burst Error 채널환경과 일반적인 Random Error 채널환경을 본 논문에서 제시된 이론적으로 제한된 AWGN 채널환경으로 변환시키는 인터리버와 디인터리버를 연구·개발하여, 현재 여러 분야에서 사용되고 있는 통신시스템에 적용한다면 $S/(N_0/2)=1$에서 100% 실시간 Interleaved된 데이터 복호성능과 하드웨어 구성의 단순화의 장점 및 비화통신과 저전력 통신의 장점을 모두 사용하게 될 것이다.

위의 내용은 실시간 복호기의 실시간 데이터 복호와 BER 성능을 비교·검증하는 본 논문의 주제와 상이하므로, 위의 문제에 대한 실제적 증명은 전체적 통신 시스템의 BER 성능을 개선하는 논문에서 다루어져야 할 것이다.

지금까지의 내용을 간단히 정리하면 표 3과 같다.

또한, 실시간 복호기의 성능을 보다 개선하기 위한 방법으로 Free-Distance를 늘리기 위한 길쌈 부호기의 발생 함수에 대한 연구를 통하여 본 논문에서 제시된 실시간 복호기에서의 100% 데이터 복호를 보장하는 최소 복호길이를 갖는 Sliding-Window의 선택, 즉 마지막 Sliding-Window내의 데이터들을 전부 복호하기 위한 tail-bit의 조건, 과 순방향 복호를 하기위한 일정한 패턴의 PVSL을 구성하는 코드워드들을 생성시킨다면 본 논문에서 제시된 실시간 복호기의 Random Error 채널환경에서의 BER 성능을 보다 향상시킬 수 있을 것이다.

표 3. 두 복호기의 비교
Table 3. Comparison of two decoders

비교	실시간 복호기	비터비 복호기
복호 방향	순방향 복호	역방향 복호
복호 방법	복호길이 6인 Sliding-Window 사용	모든 PM 값 저장 후, trace-back
복호 계수	t=5 부터 하나의 데이터 복호 t=The last Codewords일 때 모든 데이터 복호	t=The last codewords일 때 trace-back으로 모든 데이터 복호
복호 시간	복호 지연시간이 없음 (실시간 복호)	복호 지연시간이 큼
PM 메모리 사용량	Sliding-Window에 할당되는 메모리만 사용 (113개의 메모리 사용)	각 노드의 모든 PM 값 저장 ((t=The last Codewords+1)+8 개의 메모리 사용)
성능 비교 $S/(N_0/2)=1$	강환정: 100% 연환정: 100%	강환정: 83.36552292% 연환정: 95.78718333%

참 고 문 헌

〔1〕 Han, Y.S, Poning Chen, Hongbin Wn, "A maximum-likelihood Soft-decision sequentia l decoding algorithm for binary convolutional codes," IEEE Transactions On Communicati-on s, vol. 50, No. 2, pp. 173-178, 2002.

〔2〕 Anderson, J.B, Hladik, S.M, "An optimal circular Viterbi decoder for the bounded distance criterion," IEEE Transactions On Communications, vol. 50, No. 11, pp. 1736-1742, 2002.

〔3〕 Boutillon, E, Gross, W.J, Gulak, P.G, "VLSI architectures for the MAP algorithm," IEEE Transactions On Communications, vol. 51, No. 2, pp. 175-185, 2003.

〔4〕 Martin T. Hangan, Howard B. De muth, Mark H. Beale, NEURAL NETWORK DESIGN, PWS PUBLISHING COMPANY, pp. 14.16- 14.21, 1999.

〔5〕 박지웅, "LVQ Network를 적용한 순방향 비터비 복호기," 한국통신학회논문지, vol. 29, No 12A, pp. 1333~1339, 2004

〔6〕 박지웅, "LVQ Network를 적용한 비터비 복호기 성능 개선에 관한 연구," 석사학위청구논문, pp. 22~26, pp. 34~82, 2003

박 지 웅(Ji woong Park) 준회원

1998년 8월 광운대학교 제어계측공학과 졸업

2004년 3월 광운대학교 제어계측공학과 석사

<관심분야> 통신제어시스템, 전력제어공학

Copyright (C) 2005 NuriMedia Co., Ltd.
www.dbpia.co.kr