2001年度 第14回 信號處理合同學術大會 論文集 第14卷 1號

TCM 복호기의 ACS 다중화 및 생존경로척도 기억장치 관리 방법

최시연, 강병희, 김진우, 오길남, 김덕현
광주대학교 산업대학원 정보통신공학과

A Method of Multi-processing of ACS and Survivor Path Metric Memory Management for TCM Decoder

Si Yeon Choi, Byeng Hee Kang, Jin Woo Kim, Kil Nam Oh, Duck Hyun Kim
Dept. of Information and Communications Eng., Graduate School of Kwangju University
E-mail : csl@bravo.kwangju.ac.kr

Abstract

TCM offers considerable coding gains without compromising bandwidth or signal power. But TCM decoder is more complex than convolutional Viterbi decoder. Because, the number of branches exponentially increased by the constraint length and input symbol bits. The parallelism of ACS and memory management technique of SPMM is one of the important factor for speed-up and hardware complexity. This paper proposes a multi-processing technique of ACS and also gives a memory management technique of SPMM in TCM decoders.

I. 서론

TCM(Trellis Coded Modulation)은 채널 코딩인 길쌈부호와 다 수준 디지털 변조방식을 결합한 변조방식을 의미하며, 이는 길쌈부호만으로 구성된 종래의 다 수준 변조 방식에 비해 약 3 ~ 6 dB 정도의 부호 이득을 얻을 수 있는 것으로 알려져 있다[1]. 특히 TCM은 대역폭이나 전력이 제한된 채널에 대해 유용한 것으로 알려져 있으며 최근의 디지털 통신방식에서는 이러한 TCM 변조를 다수 채택하고 있다[1-3]. 그러나 TCM복호기는 종래 길쌈부호의 비터비 복호기와 달리 복호시 많은 계산을 필요로 하며 이는 복호기의 복잡도 증가로 이어진다. 왜냐하면 각 상태에서 분지(transition)될 수 있는 가지(branch)의 수가 입력 비트와 상태수의 승수배에 비례하기 때문이다.

본 논문에서는 부호율과 구속장의 크기에 따라 각 상태에서 분지되는 가지의 주기적인 특성을 이용하여 TCM 복호기의 ACS(Add-Compare-Select)장치를 다중화하는 방법을 제안하고, 이를 위한 생존경로 기억장치의 관리방법에 관해 논의한다. II 장에서 TCM 복호기의 구조에 대해 논의하고, III 장에서는 ACS의 다중화방법 및 생존경로기억장치의 관리방법에 관해 논의한다. 끝으로 IV장에서 결론을 맺는다.

II. TCM 복호기의 구조

비터비 복호알고리즘을 적용한 TCM 복호기의 기본 구조는 그림 1과 같다. 그림 1의 TCM 복호기는 수신 신호와 코드워드 사이의 유클리드 거리를 계산하는 가지척도 계산기(Branch Metric Calculator : BMC), 거리척도를 기준으로 현재 상태의 누적 경로척도 값에 가지척도값을 더하여(add) 다음상태의 생존경로척도값과 비교(compare)하며, 두 상태 경로척도값 중 큰 값은 생존경로에서 제거하고 작은 경로척도값을 선택(select)하는 가산비교선택기(ACS), 선택된 결과를 저장하는 생존경로척도 기억장치(Survivor Path Metric Memory : SPMM), 역추적을 위한 최소경로를 저장하는 역추적기

억장치(Trace Back Memory : TBM)와 역추적 깊이(대개 구속장 K의 5~6 배)기간 동안의 최소경로를 역으로 추적하여 원래 신호값과 가장 가까운 상태 정보를 찾아서 디매핑(Demapping) 과정을 거쳐 원 신호를 구하는 역추적부로 구성된다.

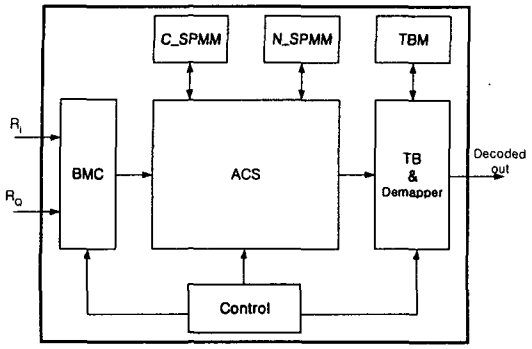

그림 1. TCM 복호기 블록도

III. ACS 다중화 및 생존경로기억장치 관리방법

ACS 블록은 가지척도값과 현재상태의 경로척도값을 더한 결과와 다음상태의 경로척도값을 비교하여 작은 값은 저장하고 그렇지 않으면 생존경로에서 제거한다. 이때 상태정보는 역추적 메모리에 저장한다. TCM에서는 각 상태에서 분기될 수 있는 가지의 수가 입력 비트 수의 승수 배에 비례하기 때문에 입력 비트 수가 증가하게 되면 ACS 연산 수는 지수적으로 증가하게 된다. 즉 입력 비트 수를 m비트, 구속장을 K로 가정하면 각 상태마다 2^m의 가지가 존재하고 전체 $2^{(m+K-1)}$의 ACS 연산을 필요로 하며, 이때 계산된 생존경로들은 다음상태생존경로기억장치(Next Survivor Path Metric Memory : N_SPMM)에 저장되고 상태정보는 TBM에 저장된다.

ACS연산을 순차적으로 $2^{(m+K-1)}$번 처리할 경우 실시간 처리가 어렵다. 따라서 복호기의 성능향상을 위해 N개의 ACS를 동시에 수행하는 것이 일반적이다. 위의 ACS 다중화 방법을 수행하면 $2^{(m+K-1)}$/N번의 ACS동작만으로 ACS 연산을 수행할 수 있다. 그러나 N개의 ACS를 동시에 처리할 경우, N개의 ACS는 상호 독립적이어야 하고 연산결과를 저장하는 SPMM과 TBM 또한 N개의 자료를 동시에 처리할 수 있어야 한다. 만일 SPMM이 ACS연산의 결과 값을 동시에 처리하지 못할 경우 ACS와 SPMM 사이에 병목(bottle neck)현상이 발생하여 ACS의 다중화에 따른 성능향상을 방해하는 요소로 작용한다. 이를 해소하기 위한 기존의 방법은 다중포드 기억장치를 이용하여 N 개의 자료를 동시에 읽고 쓰는 방법으로[4], 이는 하드웨어로 구현할 때 복잡도가 증가하는 단점이 있다[5].

본 논문에서는 현재상태에서 다음상태로 분지되는 2^m개의 가지들 중 공통된 다음상태를 갖는 가지들을 이용하여 주기그룹을 나눈다. 먼저 하나의 현재상태에서는 2^m개의 다음상태로 분지하며, 역으로 2^m개의 현재상태에서 하나의 다음상태로 분지된다. 즉, 2^m개의 서로 다른 현재상태는 같은 다음상태로 분지되는 특징을 가진다. 따라서, 공통된 다음상태로 분지하는 2^m개의 현재상태와 2^m개의 공통된 다음상태들을 하나의 주기그룹으로 분류한다.

각 주기를 구성하는 2^m개의 상태들은 상호 독립적이며, 각각의 상태들은 오직 하나의 주기에만 속한다. 현재상태 주기를 구성하는 각각의 상태들은 모두 같은 다음상태의 주기로 분지되는 특징을 갖고, 다음상태 주기를 구성하는 각각의 상태들은 모두 같은 현재상태 주기에서 공통적으로 분지되는 상태를 나타낸다. 따라서, 현재상태 주기와 다음상태 주기는 항상 짝을 이루어 가산비교선택연산을 한다.

즉, 하나의 주기를 구성하는 상태들은 부호율에 따라 입력되는 신호의 수(m)에 의해 2^m개로 구성되고, 전체 상태의 주기는 신호의 수(m)와 구속장(K)에 의해 $2^{(K-1)}/2^m$ 개를 갖는다. 위의 주기들은 모두 래딕스-2^m의 구조를 갖으며, 각 주기들은 상호 배타적이어서 서로의 연산에 영향을 주지 않는다.

예를 들어, 부호율이 각각 1/2, 2/3, 3/4이며 구속장이 3, 4, 5인 경우 각각의 총 상태 수는 구속장 K에 의해 2^{2-1}, 2^{4-1}, 2^{5-1}개가되며, 분지되는 가지의 수는 부호율의 입력비트 m에 의해 2^1, 2^2, 2^3이 된다. 이를 본 논문에서 제안한 주기단위로 나누어 보면 각각 $2^2/2^1$=2, $2^3/2^2$=2, $2^4/2^3$=2개로 모두 2개의 주기로 분해된다.

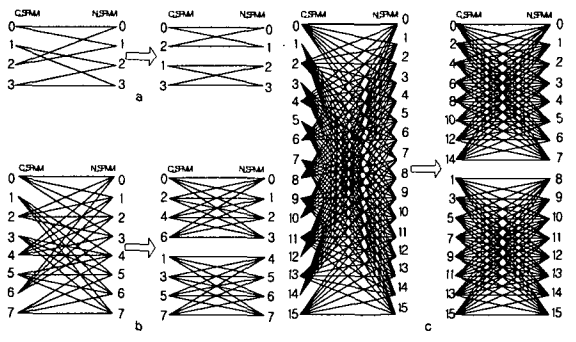

그림 2. 부호율(m)과 구속장(K)에 따른 주기구성도

그림 2의 a는 부호율이 1/2이고 구속장이 3인 상태도로 주기를 나눔에 있어 래딕스-2 구조를 가지며, b는

부호율이 2/3이고 구속장이 4인 상태도로 래딕스-4 구조로 주기를 나누며, c는 부호율이 3/4이고 구속장이 5인 상태도로 주기를 구성함에 있어 래딕스-8의 구조로 주기를 나눌 수 있다. 이러한 특징을 이용하면 가산비교선택부에서는 부호율(m)과 구속장(K)에 따라 병렬처리할 수 있다. 가산비교선택부는 총 $2^{(K-1)}/2^m$개의 주기 중 $2^{(((K-3)/2)-1)}$개의 주기를 동시에 계산한다. 따라서 가산비교선택부는 $2^{(((K-3)/2))}$개의 주기($2^m \times 2^{(((K-3)/2)-1)}$개의 상태)를 동시에 계산한다. 만일 구속장(K)이 짝수일 경우 연산결과 중 정수부만을 이용하여 주기를 구성할 수 있다. 예를들어, 부호율 3/4이며, 구속장이 5인 경우, 현재 상태에서 다음상태로 분지되는 가지는 2^3=8개이며, 총 $2^{(5-1)}/2^3$=2개의 주기로 이루어져, 가산비교선택부는 $2^{(((5-3)/2)-1)}$=1개의 주기($2^3 \times 2^{(((5-3)/2)-1)}$=8개의 상태)를 동시에 계산한다.

표 1은 부호율이 3/4, 구속장이 5이며, 패리티 체크 다항식(parity check polynomial)이 37, 32, 23, $21_{(oct)}$인 부호기를 이용하여 부호화할 경우 복호기에서 적용할 수 있는 현재상태 주기와 다음상태 주기의 상태를 나타내는 표이다.

표 1. 부호율 3/4, 구속장이 5인 주기 구성표

State / Period	Current State	Next State
0 P	0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7
1 P	1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15	8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15

주기를 이용한 ACS를 효과적으로 구현하기 위해서는 그림 3은 구조의 ACS와 완충장치들을 부가적으로 필요로 한다. 완충장치는 가지척도임시기억장치(Branch Metric Buffer : BMB), 생존경로척도임시기억장치(Survival Path Metric Buffer : SPMB)와 역추적임시기억장치(Trace Back Buffer : TBB)가 있으며 이들의 구조 및 동작은 다음 소절에서 상세히 논의할 것이다.

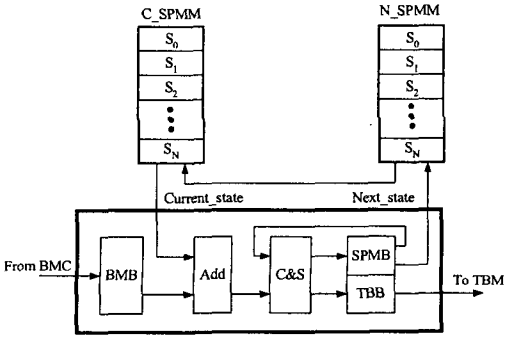

그림 3. 제안된 다중ACS와 SPMM의 블록도

III-1. BMB 구조

가지척도임시기억장치(BMB)는 BMC에서 직렬이나 병렬로 계산되어져 나오는 가지척도값을 임시저장장치에 저장한다. 저장된 가지척도값은 $2^m \times 2^{(((K-3)/2)-1)}$개씩 동시에 ACS에 전달되며, 전달시에는 현재상태 주기의 상태에 맞추어 가지들의 위치를 변화시킨다. 가지들의 위치는 주기를 구성하는 상태의 수만큼, 즉, 2^m번 가지의 위치를 변화시킨다. 현재 상태의 각 주기들은 모두 동일하게 위치 변화가 이루어짐으로 가지의 위치를 변화시켜주는 위치변환기를 이용하여 표 2와 같이 가지척도값의 위치를 변화시켜준다. 표 2는 표 1의 주기 구성표를 적용할 수 있는 가지척도의 위치변화표이다.

표 2 주기의 상태에 따른 가지척도의 위치변화표

State / Location	0	1	2	3	4	5	6	7
0 L	0	3	6	5	2	1	4	7
1 L	1	2	7	4	3	0	5	6
2 L	2	1	4	7	0	3	6	5
3 L	3	0	5	6	1	2	7	4
4 L	4	7	2	1	6	5	0	3
5 L	5	6	3	0	7	4	1	2
6 L	6	5	0	3	4	7	2	1
7 L	7	4	1	2	5	6	3	0

III-2. ACS 구조

ACS는 위치변환된 가지척도값과 C_SPMM의 현재상태값을 가산기에서 더한 후 비교선택기를 이용하여 N_SPMM의 다음상태값을 대신하는 SPMB의 다음상태값과 비교되며, 그 값 중 최소값만이 살아남아 다시 SPMB에 저장되고, 상태정보는 TBB에 저장된다. SPMB에 저장된 값들은 한 주기동안 계속 비교되어 그 주기의 최소상태값을 저장하고, TBB에 최소상태정보를 저장한다. SPMB에 저장된 최소상태값들은 다음주기의 ACS연산에서 N_SPMM에 순차적으로 저장되고, TBB의 상태정보도 TBM에 순차적으로 저장된다. 마지막으로 모든 주기의 ACS연산이 끝났을 경우 C_SPMM의 값은 더 이상 필요 없으므로, N_SPMM의 최소상태값을 입력받아 현재상태값을 갱신하고, SPMB의 값은 큰 값으로 설정하여 다음 심볼에 대한 ACS연산의 준비한다. 그림 4는 단일 ACS의 기본 구조와 상호 연결관계를 나타낸다.

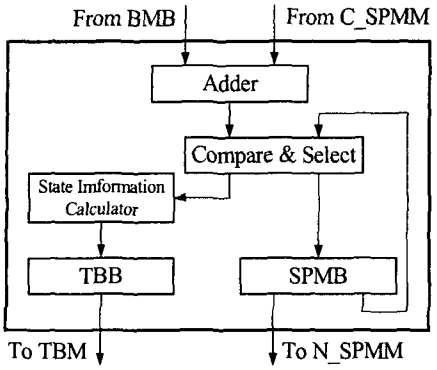

그림 4. 단일 ACS 블록도

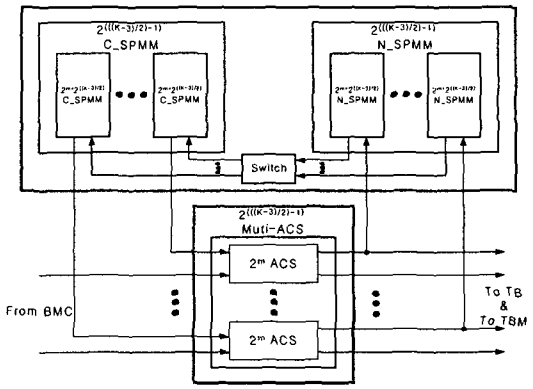

그림 5. 다중 ACS 및 SPMM의 구성도

III-3. SPMB 및 TBB 구조

SPMB는 한 주기(2^m)동안 최소상태값을 임시기억장치에 저장하여 다음 주기의 ACS 연산이 시작할 때 병렬/직렬 변환기에 전달하여 TB와 N_SPMM에 직렬로 최소상태값을 전달한다. TBB는 최소상태값의 상태정보를 임시기억장치에 저장한 후 TBM에 전달하는 것을 제외하고는 SPMB의 동작과 동일하다. 이렇게 함으로써 생존경로척도 기억장치는 병렬로 읽고 쓸 필요없이 직렬(Serial)처리가 가능하여 하드웨어 절약을 가져올 수 있다.

III-4. 생존경로기억장치 관리방법

SPMB에서는 ACS의 다음 주기 연산을 수행하는 동안 저장된 한 주기의 최소상태값들을 병렬/직렬 변환기에서 단일포트기억장치(single port memory)로 구성된 $2^{(((K-3)/2)-1)}$개의 N_SPMM에 직렬로 저장되고, 모든 주기의 상태값을 저장한다. N_SPMM의 상태값을 C_SPMM에 직렬로 전달하여 현재상태의 값을 갱신하며, SPMM를 구성하는 하나의 단일포트기억장치는 $2^m \times 2^{((K-3)/2)}$개의 상태를 기억한다. 그림 5는 주기단위($2^m \times 2^{(((K-3)/2)-1)}$개 상태)로 병렬 처리할 수 있는 ACS와 주기단위로 계산되는 자료를 읽고 쓸 수 있는 SPMM들 간의 상호 작용을 나타낸다. 그림 5의 N_SPMM에서 C_SPMM로 전달하는 과정중에 스위치를 통과하여 C_SPMM를 구성하고 있는 단일포트기억장치 중 하나의 단일포트기억장치로 저장되며, 여기에 대한 제어는 제어부의 번지발생기와 제어신호발생기에서 제어하게 된다. 이는 단일 포트 기억장치를 사용함으로써 하드웨어 절약의 장점이 있다.

IV. 결론

본 논문에서 제안한 ACS 다중화 방법은 현재상태에서 다음상태로 분지되는 가지들 중 공통된 다음상태를 갖는 가지들을 이용하여 공통된 주기그룹을 나누며, 부호율과 구속장(K)의 크기에 따라 다양한 주기들에 대해 ACS의 다중화가 가능하여 복호기의 성능을 높일 수 있다. 병렬 ACS에서 발생하는 경로척도값들을 저장하기 위한 SPMM은 ACS의 내부 임시기억장치들에 의해 병렬자료들을 순차적으로 전달하여도 ACS와 SPMM 사이에 어떤 지연도 없이 자료들은 읽고 쓸 수 있어 대규모의 집적회로 구현이 용이하며 하드웨어 절약의 장점이 있다.

참고문헌

[1] G. Ungerboeck, "Trellis Coded Modulation with redundant signal sets, Part I and Part II", IEEE Commun. Mag., pp. 6-21, 1989.

[2] B. Sklar, *Digital Communications*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1988.

[3] L.H.C. Lee, *Convolutional coding : Fundamentals and applications*, Artech House Inc., Norwood, MA. 1997.

[4] 지현순, 박동선, 송상섭, "다중의 ACS 모듈을 갖는 병렬 비터비 알고리즘의 메모리 관리 방법," 한국통신학회 논문지, pp. 2077 ~ 2089, Vol. 21, No. 8, 1996.

[5] 최시연, 김덕현, 오길남, 이수인, "An Implementation of 16-QAM TCM Decoder", CAD and VLSI Design Conference, pp. 181 ~ 185, May, 2000.