

IMT-2000에서 Multirate를 위한 N-채널 데이터 상관기에 관한 연구

°김종엽, 이선근, 김환용
원광대학교 전자공학과 회로 및 시스템 연구실
Tel : 0653)850-6740, Fax : 0653)857-3999

A Study on N-Channel Data Correlators for Multirate in IMT-2000

°Kim Jong Youb, Lee Seon Keun, Kim Hwan Yong
Department of Electronic Engineering Wonkwang University
kimjy@gaebyok.wonkwang.ac.kr

Abstract

The Multi-Code CDMA systems that are proposed as an effective transmission methodology in the IMT-2000 systems allow higher rate services under the IS-95 CDMA infrastructure. The Multi-Code CDMA systems convert the higher rate data into the lower rate by serial to parallel operation and spread the converted data streams by the multiple walsh codes, and its mobile receiver needs multiple walsh generators and data correlators to demodulate simultaneously multiple walsh code channels.

Therefore, the number of data correlators is increased as the number of traffic channels increases. In this paper, we proposed the new structure of the data correlators using walsh overlay coding, the shared accumulator, and FWHT(Fast Walsh Hadamard Transform) algorithm for reducing the bottle-neck effect resulting the increase of the number of data correlators.

I. 서 론

제 3세대 이동통신 시스템인 IMT-2000의 무선접속

주요 기술 요소 중 multirate 전송 방법은 VSG-CDMA (Variable Spreading Gain CDMA)와 Multi-code CDMA 시스템, 그리고 Multi-Carrier CDMA 시스템 등으로 나뉘질 수 있다. VSG-CDMA 방식은 높은 전송률에서 확산이득 감소 현상이 나타나지만 Multi-Code CDMA 시스템은 높은 전송률에서 확산이득 감소 현상이 나타나지 않으며 전송 속도를 상황에 따라 좀 더 유연하게 조절할 수 있는 장점이 있다. 따라서 한정된 대역폭 안에서 사용자가 요구하는 여러 가지 전송속도와 서비스를 제공할 수 있다. Multi-Code(MC) CDMA 시스템은 기본적으로 높은 전송률의 데이터를 병렬의 낮은 전송률 데이터로 전송한다는 점에서 Multi-Tone 방식이나, 사용자에게 코드가 아닌 1개 이상의 주파수를 할당하는 Multi-Carrier CDMA 방식과 유사하다.

그러나 다중경로의 존재는 두 가지 셀이 중첩된 상황에서 Multi-Carrier 방식의 성능이득을 감소시키게 된다. 이런 Multi-Carrier 방식과는 달리 Multi-code 방식은 하나의 주파수 대역을 사용하여 서로 직교 열로 각각의 데이터를 확산해 줌으로써 데이터간 간섭을 최소화시킨다. 또한 고속 데이터 전송을 요구하는 사용자에게 대해 하나 이상의 Walsh 채널을 할당함으로써 IMT-2000에서 요구되는 주파수 사용 효율을 만족시키는 기술이다. 특정 사용자가 기본 데이터 전송률의 정수배에 상응하는 고속 데이터 전송을 요구할 경우 고속 데이터를 M개의 기본 전송률 신호로 변환한 후 전송하게 되는데,

이때 변환된 각각의 낮은 전송률을 갖는 신호들은 서로 직교의 왈쉬 코드로 확산된 후 입력 신호에 비해 스펙트럼의 증가 없이 M배의 확산 이득을 유지하며 PN열로 확산된다.

일반적으로 MC-CDMA 시스템은 DS/CDMA 시스템에서와 같이 다중경로 채널의 주파수 선택적 감쇄의 영향을 상쇄시키기 위해 레이크 수신기를 사용한다.

만약 기지국이 사용자로부터 높은 데이터 서비스를 요구받을 경우, 기지국은 데이터를 다수의 트래픽 채널로 나누어 사용자에게 전송하게 되며, 사용자는 늘어나는 트래픽 채널의 개수만큼 데이터 서비스를 받을 수 있게된다. 이러한 데이터 서비스를 제공받기 위해서 이동국의 레이크 수신기는 다수의 채널로 나누어 전송된 신호들을 동시에 복조할 수 있는 구조로 되어 있어야 한다.

따라서 MC-CDMA 시스템의 이동국 수신기는 다수의 트래픽 채널을 복조 해야만 하므로 다중경로 복조기에서 채널을 복조하는 데이터 상관기(Data Correlators)들의 수가 왈쉬 코드 채널의 수만큼 증가하게 된다.

이러한 데이터 상관기들의 증가로 인한 병목현상과 복잡도를 줄이기 위해, 본 논문에서는 왈쉬 overlay coding, 공유된 accumulator, FWHT(Fast Walsh Hadamard Transform) 알고리즘을 이용한 새로운 데이터 상관기 구조를 제안했다.

II. 기존의 데이터 상관기 구조

일반적으로 forward link의 이동국 레이크 수신기는 변조되지 않은 확산대역 신호인 파일럿 채널을 연속적으로 추적하여 신호의 세기가 가장 큰 수신신호의 지연파의 수, 위상 및 시간적 위치를 찾아내는 searcher 블록과 PN코드의 역확산 기능과 함께 왈쉬 함수 발생기를 이용한 채널분리와 동기신호의 획득을 위하여 시간 추적 및 입력신호와의 주파수 차이를 검출하여 에러를 보정할 수 있는 신호를 발생하는 finger, 그리고 SNR을 높이기 위하여 각 finger의 출력을 결합하는 symbol combiner로 구성된다. MC-CDMA 수신기는 서로 다른 데이터 경로들에 대해 데이터의 역확산과 복조를 위해 사용되는 finger 블록의 수정만을 통해 레이크 수신기를 그대로 이용할 수 있다. 각 finger 블록은 다수의 왈쉬 코드 채널들을 추적하고 획득하기 위한 timing 정보를 제공하는 하나의 timing circuit을 포함하고 있다.

그리고 이러한 데이터 채널들을 복조하기 위한 다수의 데이터 상관기와 왈쉬 함수 발생기들을 필요로 한다.

N개의 왈쉬 데이터 채널을 복조하기 위한 finger 하나에 대한 N채널 데이터 상관기의 구조는 그림 1과 같다.

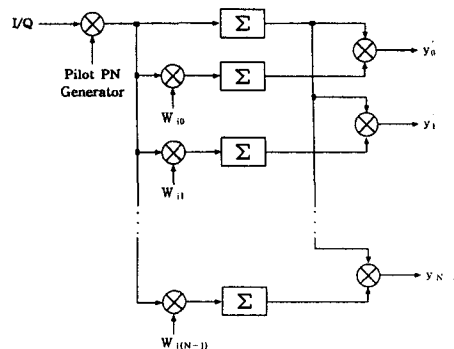


그림 1. 기존의 데이터 상관기 구조

수신된 I 및 Q 신호는 PN despreader를 통해 Pilot I와 Q 신호 샘플을 출력한다. 이 신호 샘플들은 각각 심볼 chip 수(N_c) 만큼 accumulator에서 누적됨으로써 Pilot 신호를 복원한다. 데이터를 복원하기 위해 왈쉬 함수 발생기들로부터 출력된 $W_{i0} \sim W_{i(N-1)}$ 왈쉬 시퀀스들은 각각 Pilot I와 Q 신호 샘플들과 상관되고 이 신호들은 각각의 accumulator에서 심볼 주기(N_c)만큼 누적된다. 그리고 위상 기준 신호인 Pilot I 및 Q 신호와 채널 weighting을 통해 데이터를 복원하게 된다.

그림 1의 N채널 데이터 상관기 구조는 기본 데이터율의 N배를 서비스하기 위해 증가되는 왈쉬 코드 채널 수(N) 만큼 이를 복조하기 위한 데이터 상관기와 왈쉬 함수 발생기의 증가로 인해 이동국에서 중요한 고려사항인 데이터 처리시간 지연, handoff시 call dropping 제어 및 설계된 시스템에서의 병목현상, 복잡도가 증가되는 단점을 가지게 된다.

III. 제안된 데이터 상관기 구조

기존의 N채널 데이터 상관기의 문제점을 개선하기 위해 왈쉬 overlay coding과 공유된 accumulator, 그리고 FWHT 알고리즘을 이용하여 병목현상과 복잡도를 줄일 수 있는 제안된 데이터 상관기 모델은 그림 2와 같다.

적절하게 선택된 길이 N_c 의 왈쉬 코드를 N_c/N 길이와 같은 왈쉬 코드 채널수 N개로 나눈다. 여기서 N은 2의 배수이고 N_c 와 같거나 작다. 따라서 N_c/N 길이의 sub-walsh 코드를 얻는다. 사용자 K에 대해 multi-code 신호를 부호화하기 위하여 사용하는 왈쉬 코드들간에 요구되는 관계는 식(1)과 같다.

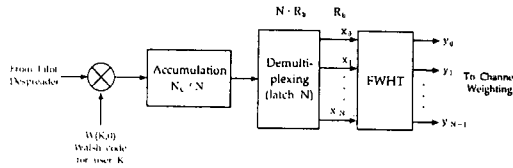


그림 2. 제안된 데이터 상관기 모델

$$W(K,i) = W_{K+i(N_c/N)} \quad (1)$$

여기서, 사용자 수 $K = 0, \dots, N_c/N-1$, 그리고 왈쉬 코드 채널 index $i = 0, \dots, N-1$ 이다. 식(1)의 관계에 의해 각 코드 $W(K,i)$ 는 차수 N 의 왈쉬 코드에 따라 배열된 길이 N_c/N 의 N 개 sub-walsh 코드들로 구성된다.

$N=4$ 에 대한 사용자 K 의 왈쉬 코드 $W(K,i)$ 는 식(1)에 의해 식(2)와 같은 코드 열을 가지게 된다.

$$\begin{aligned} W(K,0) &= [A A A A] \\ W(K,1) &= [A \bar{A} A \bar{A}] \\ W(K,2) &= [A A \bar{A} \bar{A}] \\ W(K,3) &= [A \bar{A} \bar{A} A] \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 심볼 A 는 순차적인 correlation이 수행되는 길이 N_c/N 의 sub-walsh 코드를 나타낸다. 집합 $W(K,i)$ 에서 모든 왈쉬 코드들은 차수 $N=4$ 의 overlay된 왈쉬 코드에 따라 각각 sub-walsh 코드 A 또는 \bar{A} 를 만든다.

식(2)의 조건을 만족하는 왈쉬 코드열을 선택하여 변조된 신호를 $s(t)$ 라 할 때 송신된 신호는 식(3),(4)와 같다.

$$s(t) = M(t) \cdot [C(t) \cos \omega_c t + C_d(t) \sin \omega_c t] \quad (3)$$

$$\begin{aligned} M(t) &= \sqrt{P_c} \{ b_0(t)W(K,0) + b_1(t)W(K,1) + b_2(t)W(K,2) \\ &\quad + b_3(t)W(K,3) \} \\ &= \sqrt{P_c} W(K,t) [X_0 X_1 X_2 X_3] \end{aligned} \quad (4)$$

여기서, $X_0 = b_0 + b_1 + b_2 + b_3$, $X_1 = b_0 - b_1 + b_2 - b_3$, $X_2 = b_0 + b_1 - b_2 - b_3$, $X_3 = b_0 - b_1 - b_2 + b_3$ 이다.

수신 신호의 복원시 PN chip 동기 및 주파수 동기가 맞았다고 가정하면 수신 신호의 역확산된 신호는 다음과 같다.

$$r(t) = \sum_{k=0}^{N-1} \{ \beta \sqrt{P_c} b_k(t) W_k(K,t) \cos \phi \} + n(t) \quad (5)$$

로 정의할 수 있다. $N=4$ 인 경우에,

$$r(t) = \beta \sqrt{P_c} W(K,t) \cos \phi [X_0 X_1 X_2 X_3] + n(t) \quad (6)$$

결국, $N=4$ 인 경우의 데이터는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} b_0 &= W(K,t) [r(t)^{X_0} + r(t)^{X_1} + r(t)^{X_2} + r(t)^{X_3}] \\ b_1 &= W(K,t) [r(t)^{X_0} - r(t)^{X_1} + r(t)^{X_2} - r(t)^{X_3}] \\ b_2 &= W(K,t) [r(t)^{X_0} + r(t)^{X_1} - r(t)^{X_2} - r(t)^{X_3}] \\ b_3 &= W(K,t) [r(t)^{X_0} - r(t)^{X_1} - r(t)^{X_2} + r(t)^{X_3}] \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 $r(t)^{X_0}$, $r(t)^{X_1}$, $r(t)^{X_2}$, $r(t)^{X_3}$ 은 각각 $r(t)$ 의 X_0 , X_1 , X_2 , X_3 신호열 성분을 나타낸다. 또한 N_c/N 마다 reset되는 하나의 accumulator를 거친 $N=4$ 에 대한 중간 상관값들은 차수 N 의 FWHT 블록을 통해 서로 다르게 덧셈 또는 뺄셈과정을 수행하여 N 개의 완전한 데이터 상관기 출력들을 얻을 수 있는 신호를 발생하게 된다.

따라서, 왈쉬 overlay coding에 의하여 적절한 데이터 변환을 해줌으로써 기존의 상관기 시스템을 최대한 유지하면서 하나의 왈쉬 코드만으로 기존 시스템과 동일한 결과를 얻을 수 있다. 기존의 데이터 상관기는 $N_c \times N$ 의 연산동작을 수행하지만 제안된 구조는 공유된 accumulator에서 N_c addition과 N 개 각각의 입력에 대해 $N/2 \times \log_2 N$ 의 버터플라이 연산을 필요로 하는 FWHT 블록에서의 $N/2 \times \log_2 N$ additions을 합해 $N_c + N/2 \times \log_2 N$ 의 연산 동작만을 수행하면 된다.

FWHT에서 $N \times N$ Walsh-Hadamard 직교변조는 다음과 같은 순환적 특성을 가지며 항상 직교성을 유지하기 때문에 N 개의 sub-channel을 형성했을 경우 Walsh-Hadamard 변환시 원신호에 대한 복조가 가능해진다.

$$H_{2n} = \begin{bmatrix} H_n & H_n \\ H_n & -H_n \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$H_1 = 1 \quad N = 2n$$

$$Y = \frac{1}{N} H_N X \quad (9)$$

그러나, Hadamard 변환을 식(9)의 정의대로 수행할 경우 N^2 에 비례하는 수만큼의 덧셈 또는 뺄셈 연산이

필요하게 된다. 고속 Hadamard 변환 알고리즘은 Walsh-Hadamard 행렬의 특성을 이용하여 Hadamard 변환에 필요한 연산의 수를 줄이는 방식으로 식(8)의 특성을 이용하면 N 데이터에 대한 Hadamard 변환 결과인 Y 벡터의 상위 반과 하위 반은 각각 길이가 $N/2$ 인 새로운 벡터에 대한 Hadamard 변환으로부터 구해진다. 본 논문에서 사용한 FWHT 알고리즘은 본래의 FWHT 알고리즘 수행순서를 역으로 하여 PE의 버퍼 크기를 바꿈으로써, 연산 결과를 하나씩 출력할 경우에는 같은 시간이 소요되지만 2개의 결과를 동시에 출력할 경우에는 FWHT 처리 시간이 단축되도록 하였다. Multi-processing 기법을 이용 (processing element : PE)하여 설계하게 되면 데이터 처리시간 지연, handoff시 call dropping 제어 및 설계된 시스템에서의 병목현상, 복잡도등이 감소될 수 있으며 또한 기존의 데이터 상관기를 포함하게되는 finger 또는 searcher등의 기능 블록을 그대로 이용할 수 있게 된다.

PE를 이용하여 FWHT과 앞블럭의 동기블럭을 단일 블럭으로 설계하고 앞단에서는 이러한 FWHT기능을 수행하기 위하여 N_c/N 기능을 우선적으로 처리하도록 하는 전처리블럭 설계함으로써 보다 빠른 처리속도 및 multi-code를 위한 다중화 기법에 대한 부가적 walsh-code 없이도 기존의 단일 walsh-code만을 이용하여 sub-channel을 형성할 수 있다는 장점을 가지게 된다.

식(2)에서의 i 값에 의한 분리된 walsh 코드값을 형성하기 위하여 $N \times N$ Walsh-Hadamard 변환에서의 N 값에 해당하는 $2n$ 값을 이용하여 항상 직교성 및 대칭 분해가 가능하도록 되어있기 때문에 이는 N 등분을 수행한 후 각 등분에 대한 symbol을 분리하여 처리하고 이를 다시 combining을 수행하여도 Walsh-Hadamard 특성으로 인한 직교성 및 대칭성은 그대로 유지하게 된다.

즉, 식(8)과 그림 2의 모델을 바탕으로 그림 3과 같은 형태의 구조를 가지게 된다.

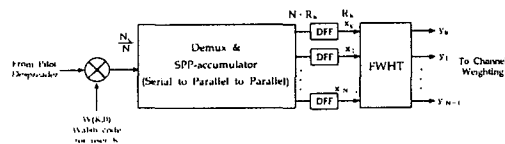


그림 3. FWHT를 이용한 데이터 상관기 구조

본 논문에서 고려한 채널 수 $N=4$ 에 대해 $N_c=64$ 일 경우, 그림 1의 구조는 256 additions를 수행하고 그림 2 및 그림 3의 구조는 68 additions만을 수행하게 되어 계산량을 줄임으로써 데이터 상관값을 얻기 위한 처리 속도를 향상시킬 수 있으며 데이터의 병목 현상 등을

줄일 수 있다.

IV. 결 론

제 3세대 이동통신 시스템인 IMT-2000의 무선접속 주요 기술 요소 중 MC-CDMA 시스템은 DS/CDMA 시스템과 같이 다중경로 채널의 주파수 선택적 감쇄의 영향을 상쇄시키기 위해 레이크 수신기를 사용하며 이동국의 레이크 수신기는 높은 데이터 서비스를 위해 다수의 채널로 나누어 전송된 신호들을 동시에 복조할 수 있는 구조로 되어 있어야 한다. 따라서 본 논문에서는 이러한 데이터 상관기들의 증가로 인한 병목 현상을 줄이기 위해 왈쉬 overlay coding, 공유된 accumulator, FWHT 알고리즘을 이용한 새로운 데이터 상관기 구조를 제안했다. 제안된 구조는 기존의 구조에 비해 약70%의 연산 동작수를 줄일 수 있었으며, 데이터 상관기의 증가로 인해 이동국 수신기에서 중요한 고려 사항인 데이터 처리시간 지연, handoff시 call dropping 제어 및 설계된 시스템에서의 병목현상과 복잡도가 증가되는 단점을 줄일 수가 있었다. 또한 단일 symbol에 대한 N 등분 처리기법을 이용할 경우 FWHT를 이용하기에 매우 유리해져서 시스템 설계시 자원의 재활용 및 설계기술을 향상시킬 수 있는 잇점이 있다.

참고문헌

- [1] N. Ahmed and K. R. Rao, "Orthogonal Transforms for Digital Signal Processing", Springer-Verlag, 1975.
- [2] C. Anshi, L. Di and Z. Renzhong, "A Research on Fast Hadamard Transform(FHT) Digital Systems", Proceeding of 1998 IEEE Region 10 Conference on Computer, Communication, Control and Power Engineering, vol. 3, pp.541-545, Beijing, Oct. 1993.
- [3] A. J. Viterbi, "CDMA-Principles of Spread Spectrum Communication", Addison-Wesley, 1995.
- [4] A. J. Viterbi, "CDMA Principles", Qualcomm, Jan. 16, 1992.
- [5] Jurg Hinderling, Time Rueth, Ken Easton, Dawn Eagleson, Jeff Levin, and Richard Kerr, "CDMA Mobile Station Modem ASIC", Proceedings of the IEEE CICC'92, pp.10.2.1-10.2.5, May 1992.