

TDMA 시스템에서의 간섭제거기법 연구

최영철^{*} · 임용곤^{*} · 박종원^{*}

^{*}한국해양연구원

A Survey of Interference Cancellation for TDMA System

Young-chol Choi^{*} · Yong-kon Lim^{*} · Jong-won Park^{*}

^{*}Korea Ocean Research and Development Institute

E-mail : ycchoi@kriso.re.kr

요 약

선박의 자동식별 시스템(Automatic Identification System(AIS))은 다중접속 방법으로서 SOTDMA를 채택하고 있다. SOTDMA 시스템은 Aloha 영역에서 슬롯 재사용으로부터 기인하는 Gaussian Minimum Shift Keying(GMSK) Co-Channel Interference(CCI)에 의해서 시스템 성능이 저하된다. 이 논문에서는 CCI를 제거할 수 있는 여러 가지 방법을 소개하고 비교 분석하여 향후 선박의 자동식별 시스템에 적용 가능한 CCI 제거기법 개발 방안에 대해서 논하도록 하겠다.

ABSTRACT

Automatic Identification System(AIS) employed SOTDMA for the multiple access method. In SOTDMA systems, slot reuse may result in discrimination or garbling. Especially Gaussian Minimum Shift Keying(GMSK) Co-Channel Interference(CCI) resulted from the slot reuse in the Aloha zone degrades the system performance such as capacity. In this paper we introduce some useful techniques to cancel the CCI and discuss the methodology which is applicable to AIS-SOTDMA

키워드

AIS(Automatic Identification System), SOTDMA(Self-Organized Time Division Multiple Access), CCI(Co-Channel Interference), interference cancellation

1. 서 론

현재 전송 속도가 수십 Kbps 이상인 무선통신 시스템은 다중경로에 의해서 발생하는 빠르게 변화하는 ISI(Inter Symbol Interference)와 페이딩 현상 때문에 시스템의 성능이 많이 저하된다. combining diversity와 결합된 등화기는 ISI 환경에서 시스템의 성능을 크게 향상시킨다. 이러한 방법은 크게 두 가지로 나뉘는데, 그 중 첫 번째는 그림 1에 보여진 combining diversity와 결합한 DFE(Decision Feedback Equalizer)이다.

diversity branch에서 transversal 필터는 DFE에서 feedforward 필터에 해당한다. transversal

필터는 수신된 신호를 최적으로 조합하는데, 이러한 diversity를 TC(Transversal Combining)이라 한다.

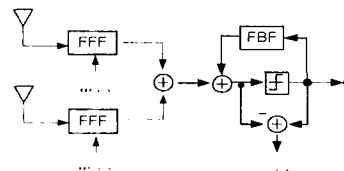


그림 1. TC Diversity DFE

나머지 하나는 그림 2에 보여진 combining

diversity와 결합한 MLSE(Maximum Likelihood Sequence Estimation)이다.

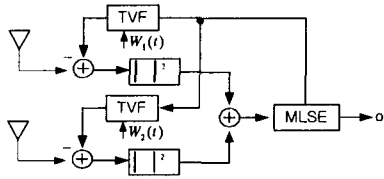


그림 2. MC Diversity

MLSE는 각각의 diversity branch에서 metric으로 생성된 오차 추정치를 조합하는데, 이러한 diversity를 MC(Metric Combining)이라한다. MC에서는 VA(Viterbi Algorithm)의 계산량이 채널 메모리 길이에 따라서 기하급수적으로 증가하기 때문에 MC가 TC보다 훨씬 더 복잡하고 계산량이 많지만 특히 nonminimum phase 상태에서 ISI가 우세한 환경에서는 BER(Bit Error Rate) 성능이 훨씬 더 우수하다.

Aloha Zone에서 슬롯 재사용에 따른 CCI로 인해서 혼동(garbling)이 발생하는데 이것을 방지하기 위해서는 CCI를 제거할 수 있는 알고리즘이 필요하다. TC는 ISI 뿐만 아니라 MMSE(Minimum Mean Square Error) 기준에 따른 최적화를 통해서 CCI를 제거할 수 있는 확장된 등화기 즉 ICE(Interference Canceling Equalizer)라 할 수 있다. 반면에 MC는 CCI를 포함하고 있는 각각의 diversity branch의 앞선 오차 추정치를 제공하기 때문에 CCI를 제거할 수 없다. 조합된 오차, 즉 branch의 metric은 단지 과거 값을 계속해서 누적해 놓은 것에 불과하기 때문에 CCI 성분은 제거될 수가 없다. 따라서 CCI가 존재하는 환경에서는 TC가 MC보다 우수한 성능을 보인다. K개의 CCI가 존재할 때 TC가 모든 CCI 신호를 제거하기 위해서는 K+1개의 diversity branch가 필요하다. 적용 배열 안테나를 이용하는 기법도 이론적으로는 이와 동일하다.

본 논문에서는 무선 이동통신 환경에 적합한 RLS-MLSE 형태의 적응 ICE를 설명하고자 한다. 파라미터를 추정하기 위해서 칼만필터를 사용하고 심볼을 추정하기 위해서 MLSE를 사용한다. 모의 실험결과를 분석하여 AIS에서 채택하고있는 SOTDMA에 적합한 간섭제거 알고리즘 개발방안에 논의하도록 하겠다.

II. GMSK CCI

AIS-SOTDMA에서 모든 선박이 time slot을 할당받지 못했을 때, 두 개 이상의 선박이 데이터 전송을 위해서 같은 time slot을 사용하려고 시도하는 것을 자동 슬롯 재사용이라 한다. 자동 슬롯 재사용을 시도하고 있는 선박들은 같은 time slot

을 사용하고 있다는 사실을 알지 못하고 그 슬롯이 비어있거나 사용가능한 것으로 결정해버린다.

모든 time slot이 할당되어 있을 때, 즉 TDMA 데이터 링크가 포화상태 일 때, 다른 선박에 할당되어 있는 time slot을 강제적으로 할당받기 위해서 time slot을 재구성하는 것을 의도적인 슬롯 재사용이라 한다. 선박이 time slot을 의도적인 슬롯 재사용을 시도할 경우에는 일반적으로 자신의 위치로부터 가장 멀리 떨어진 선박이 점유하고 있는 time slot을 재사용 한다.

의도적인 슬롯 재사용과 자동 슬롯 재사용은 수신 선박에서 다음 둘 중의 한 가지 결과를 발생시킨다.

1) 혼동(garble): 한 개의 time slot에서 많은 전송 시도 중에서 어느 것도 수신기에 올바르게 수신되지 못한다.

2) 구분(discrimination): 한 개의 time slot에서 많은 전송 시도 중에서 오직 한 개의 선박만이 성공적으로 정보를 수신한다.

필요한 슬롯의 수가 사용 가능한 슬롯의 수와 같거나 더 많으면 데이터 링크가 포화상태에 이르게 된다. 일반적으로 이런 상태에서는 현재 사용 가능한 슬롯의 수보다 더 많은 수의 슬롯이 필요하게 된다. 이것은 결과적으로 자동 슬롯 재사용 또는 의도적인 슬롯 재사용을 발생시키고 수신기에서 혼동 또는 구분으로 귀결된다.

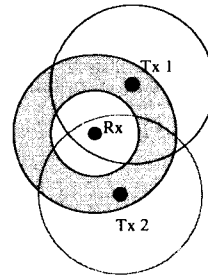


그림 3. Aloha Zone

cell의 반경을 r , 상대적인 거리를 d 라 하자. 슬롯 재사용은 구분 혹은 혼동을 발생시킨다. 혼동이 발생하는 경우는 상대거리(전송기와 수신기 사이의 거리)가 r 에서 $r/2$ 인 경우로서 모두 슬롯 재사용으로부터 기인한다. 이것은 GMSK CCI(Co-Channel Interference)특성의 결과이다.

Rx와 Tx 1, Tx 2 사이의 거리가 각각 d_1, d_2 일 때, DR(Distance Ratio)는 다음과 같이 정의된다.

$$DR = \frac{d_1}{d_2}$$

수신기에서 수신하는 Tx 1과 Tx 2의 전력이 확연하게 차이가 나려면 DR이 2 이상이어야 하

는데, 이것은 간섭 선박이 수신기에서 r 과 $r/2$ 사이에 놓여있기 전까지는 발생하지 않는다.

수신기 입장에서보면 r 과 $r/2$ 사이에 놓여있는 송신기(그림에서 Tx 1과 Tx 2)들이 슬롯을 임의로 선택하는 것처럼 보일 것이다. 이 영역을 Aloha Zone이라 한다.

III. ICE 채널 모델

먼저 다중경로 이동통신 환경을 생각하자. 수신되는 신호는 원하는 신호와 $K-1$ 개의 CCI 신호 및 AWGN(Additive White Gaussian Noise) 등이다. 수신된 신호는 복소수로 표현된 $y(t)$ 의 실수부에 의해서 표현된다. 표본화된 신호 $y_s(i) = y(iT)$ 는 다음과같이 표현될 수 있다.

$$y_s(i) = \sum_{k=1}^K \sum_{d_k=1}^{D_k} h_k(\tau_{d_k}) a_k(i - \tau_{d_k}) + n_s(i)$$

여기에서 원하는 신호와 $K-1$ 개의 CCI 신호는 각각 $k=1, k=2, \dots, K$ 에 의해서 표시된다. τ_{d_k} 는 k 번째 신호의 d_k 번째 성분의 시간 지연인데 symbol interval T 에 의해서 normalized된 값이다. k 번째 사용자는 D_k 개의 시간지연 성분을 가지고 있다. $n_s(i)$ 는 $t=iT$ 에서 표본화된 필터링된 열잡음이다. $h_k(\tau)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} h_k(\tau) &= h_{p,k}(t) \star h_N(t) \Big|_{t=\tau} \\ h_N(t) &= h_f^*(-t) \star h_f(t) \end{aligned}$$

여기에서 \star 는 convolution을 의미하고 $*$ 는 켈레 복소수를 의미한다. $h_{p,k}(t)$ 는 사용자 k 에 대한 시변 채널의 임펄스 응답을 표시한다. $h_f(t)$ 는 전송단의 RRCF(Root Raised Cosine Filter)이고 이것의 정합 수신 필터의 임펄스 응답은 $h_f^*(-t)$ 이다. $h_N(t)$ 는 Raised Cosine Filter의 임펄스 응답이다. $h_{p,k}(t)$ 는 Rayleigh 모델에 근간을 둔 서로 독립인 채널이다.

K 명의 사용자에 대한 표본화된 신호 $y_s(i)$ 는 observation process로서 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} y_s(i) &= \sum_{k=1}^K C_k^H(i) X_k(i-1) + n_s(i) \\ C_k^H(i) &= [a_k(i) \dots a_k(i - (D_k - 1))] \\ X_k^H(i) &= [h_k(0) \dots h_k(D_k - 1)] \end{aligned}$$

여기에서 H 는 복소전치(complex conjugate transpose) 행렬을 의미한다. $C_k(i)$ 는 사용자 k 에 대한 전송신호의 변조벡터이고 $X_k(i)$ 는 사용자 k 에 대한 임펄스 응답 벡터이다. 여기에서 타이밍 동기화가 완전히 이루어지고 시간 간격은 정확히 T 라고 가정했다.

IV. ICE 구조

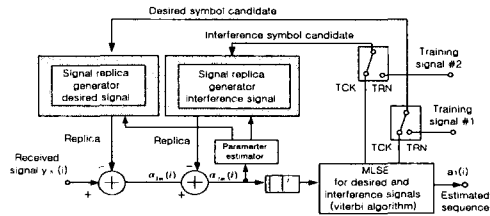


그림 4. RLS-MLSE ICE

그림 4는 한 개의 CCI 성분만이 있을 때 ICE의 구조이다. 그림 4를 보면 CCI 성분에 대한 복사본을 생성하는 것을 알 수 있다. CCI 성분을 포함하고 있는 $a_{1m}(i)$ 로부터 이 복사본을 빼서 $a_{2m}(i)$ 를 다음과 같이 형성한다.

$$a_{2m}(i) = a_{1m}(i) - C_{2m}^H(i) X_{2m}(i-1)$$

여기에서 $C_{2m}^H(i) X_{2m}(i-1)$ 는 CCI 신호 성분의 복사본이고 $X_{2m}(i-1)$ 는 CCI 신호 채널의 임펄스 응답 벡터이며 $C_{2m}^H(i)$ 는 CCI 신호 변조 벡터의 후보이다. 첨자 m 은 m 번째 후보와 $C_{1m}(i)$ 및 $C_{2m}(i)$ 에게 유일하게 할당된다. ICE는 $|a_{2m}(i)|^2$ 을 VA의 branch metric으로 사용한다.

$X_{1m}(i-1)$ 와 $X_{2m}(i-1)$ 는 RLS 알고리즘을 이용하여 갱신한다. RLS 알고리즘의 계산량을 $O(N)$ 으로 떨어뜨리면서 수치해석학적으로 수렴하도록 만든 SFTF 알고리즘을 이용할 수도 있다. 적응 알고리즘은 $X_{1m}(i-1)$ 와 $X_{2m}(i-1)$ 를 갱신하기 위해서 $C_{1m}(i)$ 와 $C_{2m}(i)$ 두 가지 모두를 동시에 이용한다. 원하는 신호와 CCI 신호의 조합된 임펄스 응답 벡터와 변조 벡터 후보는 각각 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} X_m^H(i-1) &= [X_{1m}^H(i-1) \ X_{2m}^H(i-1)] \\ C_m^H(i) &= [C_{1m}^H(i) \ C_{2m}^H(i)] \end{aligned}$$

여러 개의 CCI가 존재하는 상황에서 ICE는 각각의 CCI에 대해서 추가적으로 복사본을 생성해

야 한다.

그림 5는 ICE를 두 개의 branch diversity를 사용할 경우로 확장한 것이다.

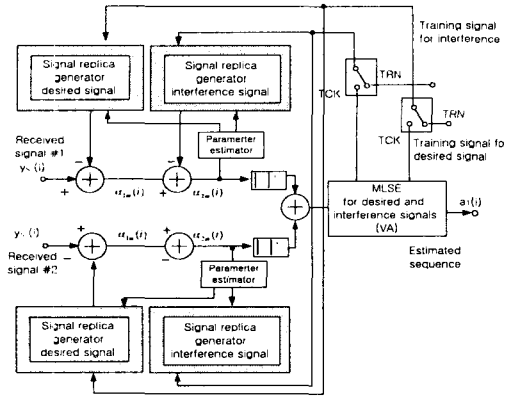


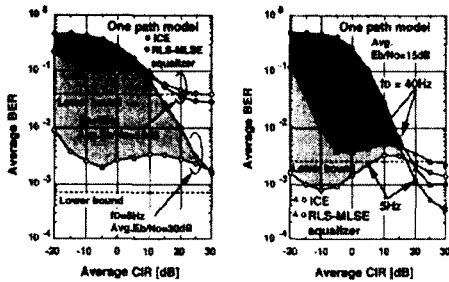
그림 5. ICE with two-branch diversity

V. 모의실험 결과분석

컴퓨터 모의실험 환경 표 1과 같다.

표 1. 컴퓨터 모의실험 환경

Modulation	QPSK
Demodulation	Coherent detection
Roll-off shaping	Square-root raised cosine
Roll-off factor	0.5
Bit-rate	40 Kbps
Frame-format	3-ch TDMA
Traning sequence	10 symbols
Data sequence	56 symbols

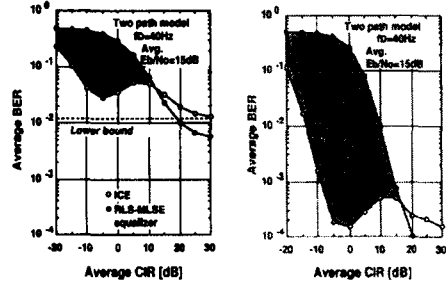


(a) Without diversity (b) Two branch diversity

그림 6. CCI one-path model

그림 6은 Rayleigh fading 환경에서 CCI가 존재할 때 ICE의 BER 성능이다. (a)는 diversity가 없는 경우이고 (b)는 diversity가 있는 경우이다. 그림 6으로부터 ICE는 기존의 RLS-MLSE 등화기보다 안정적인 CCI 제거 성능을 가짐을 알 수 있다. CIR이 -10 dB 이하에서는 성능이 급격히 저

하되는데 이것은 간섭신호의 세기가 너무 커서 간섭신호 추정오차가 원하는 신호의 크기에 비해서 매우 커지기 때문이다.



(a) Without diversity (b) Two branch diversity

그림 7. CCI two-path model

그림 7은 다중경로가 있을 때의 결과이다.

위 결과는 모두 모두 QPSK 기법을 이용하여 모의실험한 것인데, 향후에는 AIS-SOTDMA 시뮬레이터와 연계하여 간섭제거 성능을 검증하여야 할 것이다.

VI. 결론

AIS에서 채택하고 있는 SOTDMA는 Aloha zone에서 GMSK CCI에 의해서 시스템 성능이 저하된다. 본 논문에서는 이러한 GMSK CCI를 제거할 수 있는 신호처리 방법들을 비교 분석하여 향후 개발방안에 대하여 논하였다.

후 기

본 연구결과는 산업자원부의 중기거점 과제로 수행된 "선박의 지능형 자율운항 제어 시스템 개발(I)"의 연구결과임을 밝혀 둔다.

참고문헌

- [1] 선박의 지능형 자율운항 제어 시스템 개발 1차년도 연차진도 보고서, 산업자원부, 2001.8
- [2] 선박자동식별 시스템(AIS) 개발 1차년도 연차진도보고서, 산업자원부, 2001.8
- [3] H. Yoshino, K. Fukawa, and H. Suzuki, "Interference canceling equalizer for mobile radio communication," IEEE Trans. Vehicular Technology, vol. 46, No. 4, pp. 849-861, 1997.
- [4] G. Bottomley, K. Molnar, and S. Chennakeshu, "Interference cancellation with an array processing MLSE receiver," IEEE Trans. Vehicular Technology, vol. 48, No. 5, pp. 1321-1331, 1999.