

GSM 디지털셀룰라 시스템을 위한 SO-MLSE 등화알고리즘 개발

한 상성*, 노 종선**, 정 윤철***, 김 관옥***, 신 윤복***, 함 승재***, 이 상봉***
*대영전자공업(주) 연구소, **건국대학교 전자공학과,
*** 삼성전자 ASIC 설계센터

Development of Soft-Output MLSE Equalization Algorithm for GSM Digital Cellular Systems

Sang-Sung Han*, Jong-Seon No**, Yeun-Cheul Jeung***, Kwan-Ok Kim***,
Youn-Bok Shin***, Seung-Jae Hahm*** and Sang-Bong Lee***

*DAEYOUNG Electronics IND. CO., LTD., **Department of Electronic Engineering,
Konkuk University, ***ASIC Design Center, SAMSUNG Electronics Co.

요 약

본 논문에서는 GSM 디지털셀룰라 시스템에서 사용될 수 있는 SO-MLSE 등화기의 새로운 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 필요한 채널정보를 얻기 위해서 트레이닝 시퀀스의 복소수 상관함수를 사용하며, 등화는 Viterbi 알고리즘을 사용하는 최적부호법을 사용해서 수행된다. 그리고 채널복호기에 연성판정된 입력을 제공하기 위해 새로운 연성판정 출력 등화알고리즘을 제안하였다.

제안된 새로운 형태의 SO-MLSE 등화기는 기존에 사용되던 HO-MLSE 등화기의 구조를 변경하지 않고 단순히 연성출력을 생성하기 위한 블럭을 HO-MLSE 등화기의 구조에 첨가함에 의해서 구성된다. 이 블럭에서는 정합필터와 HO-MLSE 등화기의 출력을 그대로 이용하는 알고리즘을 사용한다.

제안된 SO-MLSE 등화기는 다른 SO-MLSE 등화기들보다 하드웨어적으로 상당히 단순함에도 불구하고 성능면에서 기존의 등화기와 거의 같음이 모의실험을 통해서 입증되었다. 마지막으로 제안된 SO-MLSE 등화기는 ADSP-2101 16 비트 고정소수점 방식의 디지털신호처리 프로세서를 사용해서 프로토타입으로 구현되었다.

1. 서론

이동통신 시스템에서 사용되는 수신기는 다중 경로와 레일레이 페이딩으로 인해서 발생하는 심한 신호의 왜곡을 경감시킬 수 있어야 한다. 지연 확산(delay spread)을 갖는 다중경로 신호는 부호 간간섭을 야기시키게 되는데, 이러한 신호의 간섭 현상을 제거하기 위하여 수신기에서 등화기를 사용하여야 한다.

등화기는 부호간간섭으로 인한 왜곡을 제거하기 위한 다이버시티 기술이다. 이러한 등화기의

필요성은 200 kHz의 주파수밴드와 270.833 kbps의 데이터율을 갖는 GSM 디지털셀룰라 시스템과 같이 사용되는 주파수밴드가 증가함에 따라서 더욱 증가하게 된다.

디지털셀룰라 시스템의 수신기에서 등화기는 채널복호기, 예를 들어 Viterbi 복호기와 함께 구현된다. 채널복호기의 보다 높은 채널코딩 이득을 얻기 위해서는 SO-MLSE (Soft Output- Maximum Likelihood Sequence Estimation)를 사용하여 채널복호기의 입력으로 연성판정된 데이터를 인가하는 것이 바람직하다.

본 논문에서는 GSM 디지털셀룰라 시스템에서

사용될 수 있는 SO-MLSE 등화기의 새로운 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 필요한 채널 정보를 얻기 위해서 트레이닝 시퀀스의 복소수 상관함수를 사용하며, 등화는 Viterbi 알고리즘을 사용하는 최적부호법을 사용해서 수행된다. 그리고 채널복호기에 연성판정된 입력을 제공하기 위해 새로운 연성판정 출력알고리즘을 제안하였다.

제안된 새로운 형태의 SO-MLSE 등화기는 기존에 사용되던 HO-MLSE (Hard Output- Maximum Likelihood Sequence Estimation) 등화기의 구조를 변경하지 않고 단순히 연성출력을 생성하기 위한 블럭을 HO-MLSE 등화기의 구조에 첨가함에 의해서 구성하였다. 이 블럭에서는 정합필터와 HO-MLSE 등화기의 출력을 그대로 이용하는 알고리즘을 사용한다.

제안된 SO-MLSE 등화기는 다른 SO-MLSE 등화기들보다 하드웨어적으로 상당히 단순함에도 불구하고 성능면에서 기존의 등화기와 거의 같은 결과를 모의실험을 통하여 입증하였다. 마지막으로 제안된 SO-MLSE 등화기는 ADSP-2101 16 비트 고정소숫점방식의 디지털신호처리 프로세서를 사용해서 프로토타입으로 구현되었다.

2. GSM 시스템 구조

GSM Pan-European 디지털셀룰라 시스템은 European PTT에 의해서 900 MHz의 주파수밴드에서 동작하도록 표준화되었다. 이 시스템의 주요 특징으로는 하나의 RF 캐리어에 8개의 음성채널을 전송하는 TDMA 방식을 사용하고, 270.833 kbps의 데이터 전송률과 GMSK 변조방식을 사용한다는 것이다.

TDMA 프레임은 각 0.577ms의 길이를 갖는 8개의 타임슬롯으로 구성된다. 각각의 타임슬롯은 148 비트로 구성되는 데이터 패킷을 전송하기 위해서 사용자들에게 할당된다. 이것의 물리적인 내용을 가리켜서 버스트라고 한다.

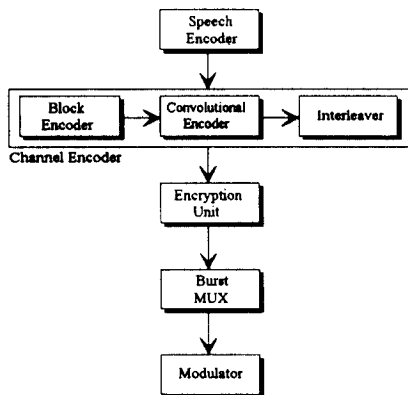


그림 1. 송신기의 블럭도

그림 1에서는 송신기의 블럭도를 보여주고 있는데, GSM 시스템에서는 음성부호기에 의해서 20ms구간의 음성이 50 비트의 class 1a, 132 비트의 class 1b, 그리고 78 비트의 class 2로 부호화된다.

Class 1a 비트들은 에러의 검출을 위해서 사용되는 3개의 패리티 비트들에 의해서 부호화되고, class 1a와 class 1b 비트들은 1/2 길쌘부호기에 의해서 채널부호화된다. 그리고 길쌘부호화된 비트와 class 2 비트는 인터리브된다.[1]

3. 수신기

그림 2에서는 수신기의 블럭도를 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 수신된 신호는 동기복조되고, 다중경로에 의한 왜곡을 등화기에서 경감시킨 후에 전송중에 발생한 에러를 채널복조기에서 검출 혹은 정정된다.

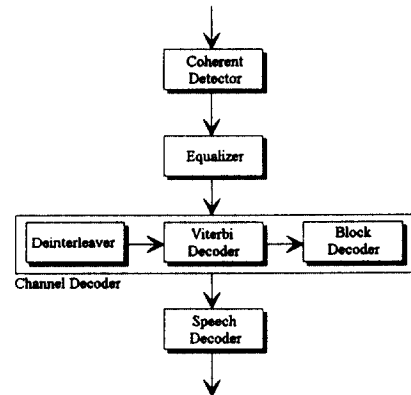


그림 2. 수신기의 블럭도

그림 2에서 주어진 수신기의 블럭도에서 등화기의 상세한 구조를 그림 3에 도시하였다.

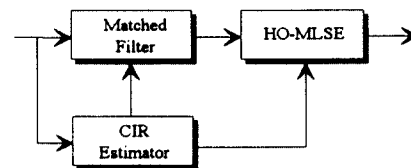


그림 3. HO-MLSE 등화기의 블럭도

3.1 동기복조기

동기복조기는 그림 4에서와 같이 I-성분과 Q-성분을 캐리어동기 없이 검출한다. 그림에서 동기복조기의 출력이 $I_n + jQ_n$ 의 복소수 형태로 표현됨을

알 수 있다.

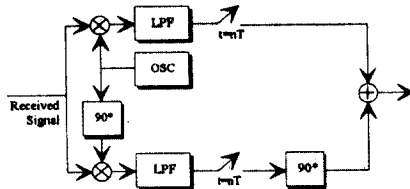


그림 4. 동기 복조기의 블럭도

3.2 채널예측기

3.2.1 채널임펄스응답

MLSE 알고리즘은 채널임펄스응답(CIR)에 대한 정보를 필요로 한다. 그리고 CIR $h(t)$ 는 수신단에서 국부적으로 만들어진 16개의 트레이닝 시퀀스 샘플 $v(t)$ 와 수신된 26개의 트레이닝 시퀀스 샘플 $x(t)$ 사이의 복소수 상관함수 $R_{vv}(t)$ 를 이용하여 구할 수 있다.

아래의 수식에서 볼 수 있는 바와 같이 $R_{vv}(t)$ 는 예측하고자 하는 CIR $h(t)$ 와 트레이닝 시퀀스의 자기상관함수 $R_{vv}(t)$ 사이의 컨벌루션에 의해서 표현된다.

$$\begin{aligned}
 R_{vv}(t) &= x(t) * v(t) \\
 &= \int x(\tau+t)v^*(\tau)d\tau \\
 &= R_{vv}(t) * h(t)
 \end{aligned} \quad [1]$$

수식에서, 트레이닝 시퀀스의 자기상관함수 $R_{vv}(t)$ 는 $-5T \sim 5T$ 의 시간지연에 대해서는 델타 함수를 갖는다는 것이 알려져 있다. 따라서 이 지연 범위내에서는 $R_{vv}(t)$ 가 자체가 얻고자 하는 채널의 임펄스 응답 $h(t)$ 라는 것을 알 수 있다.

3.2.2 채널의 이산시간 모델

GSM 디지털셀룰라 시스템에서 사용되는 등화기는 $-5T \sim 5T$ 비트의 시간지연구간 내에서 발생하는 부호간간섭을 다룰 수 있어야만 한다. 그러나 Viterbi 알고리즘을 사용하는 등화기의 처리 소자들과 하드웨어적인 복잡도는 부호간간섭이 발생하는 비트의 최대값이 하나 증가하면 복잡도는 두배가 되는 특성을 가지고 있다.

따라서 본 논문에서는 성능과 복잡도를 동시에 고려하여, 최대 부호간간섭이 4 비트에 걸쳐서 발생하는 것으로 가정했다. 따라서 $h(t)$ 에서 실수부와 허수부를 변갈아가면서 취하는 단지 5개의 연속적인 샘플만이 필요하다. 즉,

$$\begin{aligned}
 h(t) &= \sum_{i=1}^1 h^1(t_0 - 2iT)\delta(t - 2iT) \\
 &+ j \sum_{i=0}^1 h^0(t_0 - (2i-1)T)\delta(t - (2i-1)T)
 \end{aligned} \quad [2]$$

식 (2)와 같이 고려되어야 하고, 이러한 계수들이 등화기에 제공되어야 한다. 이러한 한정된 갯수의 계수선택을 위해서 5 주기로 구성되는 에너지 윈도우를 설정하고 $h(t)$ 에서 최대의 에너지를 갖는 시퀀스를 찾는 방법을 사용하였다.[2]

선택된 시퀀스를 사용해서, 그림 5와 같은 채널의 이산시간 모델을 모델링할 수 있다.

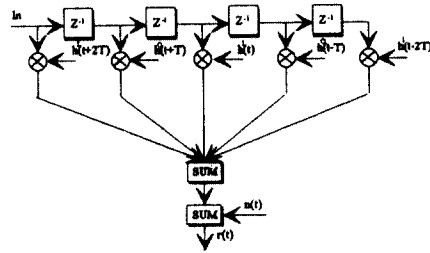


그림 5. 채널의 이산시간모델

3.3 정합 필터

만약 정합필터가 올바르게 적용되고, 그것의 시간범위가 CIR의 중요한 샘플들을 모두 포함할 수 있을 정도로 충분히 길다면, 정합필터는 수신기를 동기복조기에서 사용되는 심벌타이밍과 캐리어위상에 덜 민감하게 만들 수 있다. 이러한 정합필터는 식 (3)과 같이 예측된 CIR $h(t)$ 를 사용해서 구성될 수 있다.

$$h_{MF}(t) = h^*(-t) \quad [3]$$

3.4 최적부호법

정합필터링된 수신신호와 예측된 채널계수를 사용해서, 최적부호법은 식 (4)와 같은 joint pdf를 최대로 하는 시퀀스를 예측한다.

$$p(R_N | I_N) = \left[\prod_{k=1}^N 2\pi\lambda_k \right]^{-1} \exp \left(\frac{-\frac{1}{2} \sum_{k=1}^N |r_k - \sum_{i=1}^N I_i h_{ki}|^2}{\lambda_k} \right) \quad [4]$$

여기서, $\{R_N\} = (r_1, r_2, \dots, r_N)$ 은 $r(t)$ 를 정규적 교함수에 투사함에 의해서 얻어지는 가시적 랜덤 변수이고, $\{I_N\} = (i_1, i_2, \dots, i_N)$ 은 전송된 시퀀스, λ_k 는 적분식의 eigenvalue이다. 이 joint pdf는 아래와 같은 식으로 단순화될 수 있다.

$$J_n(I_n) = J_{n-1}(I_{n-1}) + Re \left[I_n^* \left(2Y_n - I_n X_{n-2} - \sum_{m=0}^{L-2} I_{n-m} X_m \right) \right] \quad [5]$$

변수 $\{Y_n\}$ 은 식 (6)과 같이 $r(t)$ 를 $h(t)$ 에 정합된 필터를 통과시키고, 그 출력을 $1/T$ 의 비트주기로 샘플링함에 의해서 얻어지고, 변수 $\{X_n\}$ 은 식 (7)과 같이 $h(t)$ 의 자기상관함수를 $1/T$ 의 비트 주기로 샘플링함에 의해서 얻어질 수 있다.[3]

$$Y_n = Y(nT) = \int_{-\infty}^{\infty} r(t)h^*(t-nT)dt \quad [6]$$

$$X_n = X(nT) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t)h^*(t+nT)dt \quad [7]$$

GSM 디지털셀룰라 시스템에서 I_n 은 실수부와 허수부를 번갈아 갖게 되며, L 은 등화기에서 다루어야 하는 부호간간섭의 비트수이다.

식 (5)로부터 $t=k$ 라는 시간에서 어떤 시퀀스가 갖는 확률이라는 것은 이전에 가졌던 확률로부터 얻어질 수 있으므로, 확률의 효율적인 계산을 위해서 Viterbi 알고리즘이 적용될 수 있다는 것을 알 수 있다.

3.5 연성출력 알고리즘

3.5.1 SOVA 등화기에서의 연성출력 알고리즘

그림 6에서는 지금까지 SO-MLSE 등화기로 많이 사용되어온 SOVA(soft output Viterbi algorithm) 등화기의 블록도를 보여주고 있다.

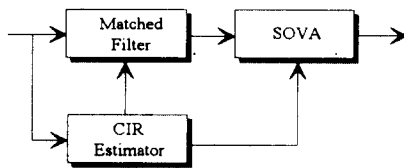


그림 6. SOVA 등화기의 블록도

이 그림에서, SOVA 블록은 HO-MLSE 등화기에서 HO-MLSE 블록이 수행했던 역할을 수행할 뿐만 아니라 출력을 연성판정하기 위한 매 순간, 그리고 매 상태에서의 신뢰도정보를 저장하는 기능도 수행하게 되는데, 이 SOVA 등화기에서 사용되는 연성출력 생성알고리즘은 다음과 같다.

- 신뢰도정보 생성을 위한 전단계

```
while(!버스트의 마지막 심볼인가?)
while(!마지막 상태인가?)
```

- 한 상태로 들어오는 가지메트릭의 최대값과 최소값의 차이를 계산;
- 계산된 차이값을 신뢰도정보를 담기위한 메모리에 저장;

- 신뢰도정보 생성 알고리즘

```
while(!원하는 길이만큼 트레이스 되었는가?)
if(!생존경로로 들어오는 두 경로의 입력이 같은가?)
• 현재 가지고 있는 신뢰도 정보값과 현재상태에 저장되어 있는 차이값 중에서 적은것을 새로운 신뢰도 정보로 설정;
```

- 연성출력 생성 알고리즘

(가정) HO-MLSE 등화기의 경성출력은 +1, -1로 표현

- 연성출력 = 경성출력 × 신뢰도정보;

위의 설명으로부터 우리는 SOVA 등화기가 매 순간 그리고 매 상태에서 신뢰도 정보를 저장해야 하므로 필요한 메모리와 저장된 신뢰도정보를 사용해서 연성출력을 생성하기 위한 처리소자들이 많이 필요할 것이라는 것을 예측할 수 있다.[4]

3.5.2 제안된 SO-MLSE 등화기에서의 연성출력 알고리즘

그림 7에서는 본 논문에서 제안하는 새로운 형태의 SO-MLSE 등화기의 블록도를 보여주고 있다.

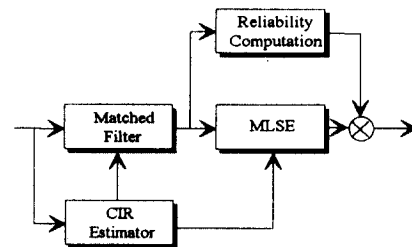


그림 7. 제안된 SO-MLSE 등화기의 블록도

그림에서 보는 바와 같이, 본 논문에서 제안된 등화기는 기존의 HO-MLSE 등화기의 구조를 전혀 변경하지 않고, 연성출력을 만들어내기 위해서 필요한 신뢰도정보 계산블록을 추가하는 형태를 띠고 있는데, 이 블록에서 사용되는 알고리즘은 다음과 같다.

필요한 신뢰도정보 계산불력을 추가하는 형태를 띠고 있는데, 이 불력에서 사용되는 알고리즘은 다음과 같다.

- 신뢰도정보 생성을 위한 전단계

// 불필요

- 신뢰도정보 생성 알고리즘

// 트레이스 과정이 불필요

- 신뢰도정보=쉬프트(1정합필터의 출력)

// 여기서 정합필터의 출력을 쉬프트하는 이유는 신뢰도 정도의 표현 비트수가 한정되어 있기 때문

- 연성출력 생성 알고리즘

(가정) HO-MLSE 등화기의 경성출력은 +1, -1로 표현

- 연성출력=경성출력 × 신뢰도 정보;

4. 시뮬레이션 소프트웨어 구현 및 결과

제안된 새로운 형태의 SO-MLSE 등화기의 성능분석을 위해서 간단한 형태의 GSM 디지털셀룰라 시스템 시뮬레이션 소프트웨어를 IBM-PC XT/AT 486에서 개발했다. 이 소프트웨어는 다음과 같은 요소들로 구성된다.

- (2,1,5) 길쌘부호기
- BT=0.3, GMSK 변조기
- GSM 채널 시뮬레이터
- GMSK 동기 복조기
- HO-MLSE 등화기
- SO-MLSE 등화기
- K=5 Viterbi 복호기

개발된 시뮬레이션 소프트웨어를 사용해서 HO-MLSE 등화기와 제안된 SO-MLSE 등화기의 성능을 도심지역에서 50 km/h의 속도로 차량이 이동하는 경우(TU50), 농촌지역에서 250 km/h로 차량이 이동하는 경우(RA250), 그리고 언덕이 많은 지역에서 100 km/h로 차량이 이동하는 경우(HT100)에 대해서 모의실험하였다.

이러한 모의실험 결과를 그림 8, 9, 10에 보였다. 이 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 제안된 SO-MLSE 등화기의 성능은 HO-MLSE 등화기와 비교해서 수 dB 이상의 이득을 얻을 수 있으며, 또한 GSM 디지털셀룰라 시스템의 요구사항을 만족시킨다.

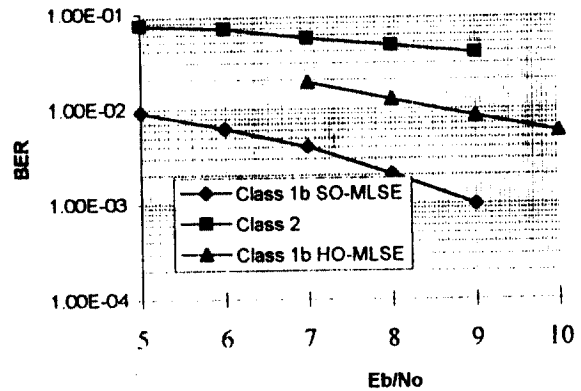


그림 8. TU50에서의 등화기 성능

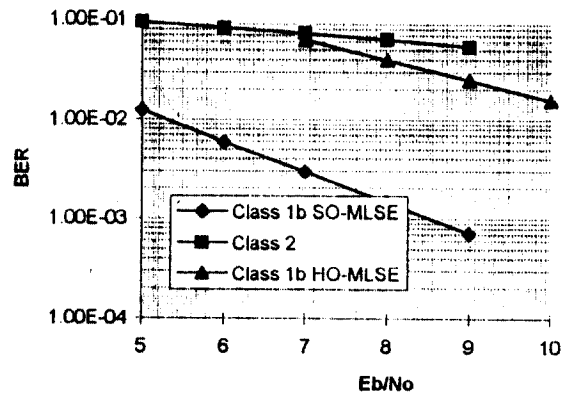


그림 9. RA250에서의 등화기 성능

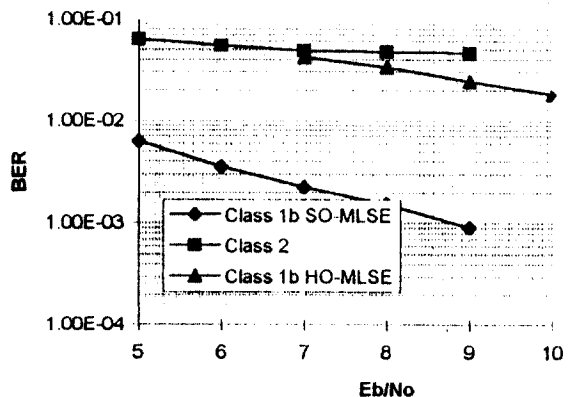


그림 10. HT100에서의 등화기 성능

5. 결론

본 논문에서는 GSM 디지털셀룰라 시스템에서 사용될 수 있는 새로운 SO-MLSE 등화 알고리즘을 제안하였다. 이 제안된 알고리즘은 연성출력을 만들어내기 위해서 정합필터와 HO-MLSE 등화기의 출력만을 사용한다. 따라서 신뢰도정보를 저장하기 위한 부가적인 메모리가 필요치 않고 신뢰도정보를 사용해서 연성출력을 만들어내기 위한 처리소자들도 극히 적게 필요하다.

제안된 새로운 형태의 SO-MLSE 등화알고리즘은 다른 연성출력 등화기의 성능과 거의 같은 성능을 갖고, GSM 디지털셀룰라 시스템이 요구하는 성능규격을 만족시킨다. 따라서 제안된 새로운 형태의 SO-MLSE 등화기가 GSM 디지털셀룰라 시스템에서 효율적으로 사용될 수 있을 것이라고 생각된다.

참고문헌

- [1] ETSI, *GSM Technical Specification: GSM 05 Series*, 1991
- [2] G. D'ARIA and V. ZINGARELLI, "Design and Performance of Synchronization Techniques and Viterbi Adaptive Equalizers for Narrowband TDMA Mobile Radio," *Third Nordic Seminar on Digital Land Mobile Radio Communications*, Sep. 1988
- [3] John G. Proakis, *DIGITAL COMMUNICATIONS*, McGRAW-HILL International Editions, 1989
- [4] Shigeru ONO, Hiroshi HAYASHIA, Tomoko TANAKA, Noriaki KONDOH, "A MLSE Receiver for the GSM Digital Cellular System," *Vehicular Technology Conference*, pp. 230~233, June, 1994