

## 위성채널하에서 BPSK / QPSK 자동추정 복조시스템에 관한 연구

李慶河\*, 金宜默\*, 正會員 崔炯辰\*

### A Study on the BPSK / QPSK Automatic Demodulation System in Satellite Channels

Kyung Ha Yi\*, Euy Mook Kim\*, Hyung Jin Choi\* *Regular Members*

#### 요약

본 논문에서는 qLLR(quasi-Long-Likelihood Ratio) 변조 분류기를 도입하여 BPSK / QPSK를 분류하고 구분된 변조방식에 따라 동작하는 자동추정 복조시스템을 구성하였다. 그리고 이러한 BPSK / QPSK 자동추정 복조시스템을 다양한 위성채널 환경에서 변조분류성능 및 링크의 비트오율 성능을 구하여 보았다. 본 논문에서 모델링된 위성채널은 상향과 하향링크에서의 가우시안 열잡음, 인접채널간섭(ACI), 그리고 동일채널간섭(CCI) 등으로 이루어진다. 이 중에서 특히 인접채널간섭은 두가지 형태로 모델링하였는데 그중 하나는 위성중계기내에 다수의 반송파를 TWTA과 같은 비선형소자로 증폭시 생기는 sidelobe의 재생과 혼변조적(IMP) 효과를 모두 고려한 모델링방식이다. 그리고 다른 하나는 일정한 신호대간섭전력비에 따라 sidelobe 성분만을 분리하여 부가하여 주는 방식으로 이러한 두가지 모델링방식의 장단점도 거론된다. 본 논문에서 사용된 qLLR 변조분류기는 이상적인 가우시안 채널하에서 준최적적인 LRT(Likelihood Ratio Test)를 수행하기 때문에 비선형 채널효과는 고려되지 않았고 이에 따른 성능도 알 수 없으므로 이를 모의 실험으로 분석한다. 또한 변조분류기가 포함된 이러한 자동추정 복조시스템은 링크의 비트오율만으로는 전체 성능을 나타내줄 수 없기 때문에 변조분류기의 분류성능과 링크의 비트오율을 연계한 새로운 성능 평가지수를 제안, 도입하여 BPSK / QPSK 자동추정 복조시스템의 성능평가를 수행하였다.

#### ABSTRACT

In this paper, we present BPSK / QPSK automatic demodulation system using the qLLR (quasi-Log-Likelihood Ratio) modulation classifier. The qLLR modulation classifier(BPSK / QPSK) is optimal under ideal gaussian channels, but its performance in the nonlinear channel is unknown. Therefore, we evaluate the modulation recognition performance for the nonlinear channels.

The modelled satellite channel in this paper consists of gaussian thermal noise, adjacent channel interference(ACI), and co-channel interference(CCI) in both uplink and downlink. In particular, we modelled ACI in two different ways.

We propose a new performance index of these systems, which is related to probability of classification and BER. We evaluate the total performance of BPSK / QPSK automatic demodulation systems using the proposed performance index for various satellite channels.

\*성균관대학교 전자공학과

Dept. of Electronic Engineering, SungKyunKwan University

論文番號 : 94146

接受日字 : 1994年 5月 28日

## 1장 서론

신호의 판별과 자동추정복조기술은 과거 주로 군사적인 분야의 기술로서 상대방의 신호체계를 감시하고 이를 추정복조함과 동시에 이때 얻어진 신호 파라메타를 jammer에게 제공함으로써 효과적인 jamming을 가능케 한다. 이러한 기술은 상대방의 전파 사용을 통제할 수 있다는 점에서 단지 기술적인 의미뿐만아니라 여러가지 측면에서 상당히 중요한 의미를 지닌다고 할 수 있다. 한편으로 통신수요의 급증에 따라 생겨나는 사설통신망등에서 발생하는 간섭신호등을 분석하여 효과적으로 통신망을 유지, 관리할 수 있다, 그 밖에 허가받지 않은 전파사용을 규제할 수 있는 주파수대역의 감시시스템으로도 응용이 가능하다. 이러한 기술은 먼저 크게 신호파라메타의 추정부와 복조부로 나뉠 수 있다. 신호파라메타의 추정부는 반송파주파수, 심볼타이밍, 신호대잡음비, 변조분류기등으로 구성된다. 여기서 가장 중요한 신호파라메타는 변조방식으로 나머지 파라메타는 변조방식을 인식하는 데 부수적으로 사전에 제공되어야 한다. 이렇게 인식된 신호는 그 변조된 방식에 적합한 복조부로 연결되어 자동추정복조가 이루어지게 된다.

본 논문에서는 이상적인 가우시안 채널하에서 준최적적인 LRT를 수행하여 좋은 성능을 얻을 있는 qLLR 방식을 사용하였다. 이러한 qLLR 방식으로 BPSK / QPSK 변조분류를 수행하고 반송파동기가 이루어지지 않은 상황에서 동작할 수 있는 심볼동기부, 그리고 BPSK와 QPSK 방식 모두에서 잘 동작할 수 있는 반송파동기방식을 제안하고 이를 동작현한다. 이렇게 하여 구성된 BPSK / QPSK 자동추정복조시스템을 성능을 분석하기 위하여 새로운 성능평가지수를 도입하고 이를 비선형증폭기등으로 인한 인접채널간섭(ACI)과 동일채널간섭(CCI) 등이 혼재하는 위성채널하에서 다양한 성능평가를 수행한다.

이를 위하여 2장에서는 전체 자동추정복조시스템의 구성 및 동기화요소 등과 같은 구성요소에 대하여 알아보고 3장에서는 비선형채널의 모델링작업을 수행하고 4장에서는 변조분류확률과 링크 비트오율 성능을 연계한 새로운 성능평가지수를 제안, 도입하였다. 그리고 5장에서는 다양한 채널 환경에서 구성된

시스템의 성능을 분석하였으며 6장의 결론으로 구성되어 있다.

## 2장 BPSK/ QPSK 자동 추정복조 시스템

### 2.1 자동 추정복조 시스템의 개요

자동 추정복조 시스템은 미상신호의 주요한 신호 파라메타를 인식하는 과정과 인식된 신호특성에 알맞은 복조과정을 동시에 수행하는 부분으로서 그 중에서도 복조를 위하여 변조방식의 구분은 매우 중요하며 전체적으로 고복잡도의 시스템이다.

### 2.2 자동 추정복조 시스템의 구성

아래의 그림은 본 논문에서 구성한 위성채널 환경하에서의 BPSK / QPSK 자동추정 복조시스템의 전체 구성도이다.

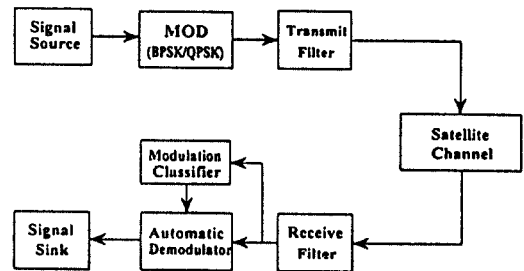


그림 1 전체 자동추정복조 시스템 구성

Fig. 1 The Overall automatic demodulation system composition

본 논문에서 구성한 자동 추정복조 시스템의 동작을 살펴보면 먼저 변조방식등과 같은 신호파라메타가 알려지지 않은 신호가 위성 중계기를 통과한 후에 주파수 추정루프에 의해 정확한 반송파주파수로 down-converting 되고 이러한 수신신호를 일정한 관찰구간동안 변조분류기가 준 최적적인 Likelihood Ratio Test(LRT)를 수행함으로써 변조방식을 인식하게 된다. 이렇게 분류된 변조방식은 알맞은 복조기를 선택하는 제어신호로서 작용하는 한편 복조시에도 반영되어 정확한 추정복조가 이루어지게 된다.

이러한 전체시스템은 변조분류기부와 여러가지의 동기화요소에 구분될 수 있는 데 이에 대하여 간략히 알아 보기로 한다.

2.2.1 BPSK/QPSK 변조분류기

BPSK/QPSK의 변조방식을 구분하기 위한 변조분류기로는 BPSK와 QPSK의 likelihood 함수비를 계산에 적합하도록 근사화한 qLLR(quasi-Log-likelihood Ratio)이 사용되었다.<sup>[6]</sup>

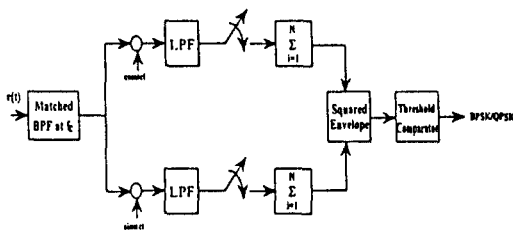


그림 2 BPSK/QPSK 변조분류기(qLLR 방식)  
Fig. 2 BPSK/QPSK modulation classifier (qLLR)

이러한 변조분류기는 최적이론에 근거한 것으로 변조분류에 필요한 신호파라미터로는 반송파주파수, 심볼타이밍 등을 사전에 정확히 알아야 한다. 그림 2에 이러한 변조분류기의 구조가 도시되어 있다. 실제 가우시안 채널하에서의 BPSK와 QPSK의 Likelihood 함수비는 매우 복잡하여 구현에 부적합하므로 이를 낮은 신호대잡음비 환경에서 근사화하여 사용한다. 이러한 계산에 적합하도록 근사화된 qLLR 변조분류기의 test 값은 아래의 (1)과 같이 정의된다.

$$qLLR = \left[ \sum_{i=1}^N (I_i^2 - Q_i^2) \right]^2 + \left[ 2 \sum_{i=1}^N (I_i Q_i) \right]^2 \quad (1)$$

여기서  $I_i$ ,  $Q_i$ 는 그림 2에서 각각 저역여파기(LPF)를 통과한 I 채널신호와 Q 채널신호이다. 그리고 N은 관찰구간으로 갈수록 변조분류의 결과가 정확해지나 실제 구현시 계산상의 부담과 분류시간의 길어지는 문제가 있다.

2.2.2. 동기화 요소

먼저 가장 먼저 동기가 이루어져야 할 부분은 주파수동기부로서 자동추정 복조시스템에서는 일반적인 경우와 달리 두가지 역할을 수행하게 된다. 그 한가지는 주파수오프셋을 추적함으로써 coherent 한 복조가 가능하게 해주며 PLL의 Pull-in 시간을 줄여준다. 이는 일반적으로 주파수동기부가 수행하는 역할이다. 역시 변조분류기에서도 정확한 반송파주파수가 제공되어야 하는 데 이것이 어긋날 시에는 변조분류기의 성능에 치명적인 열화가 나타난다. 그리하여 본 논문에서는 현재 가장 성능이 우수한 주파수 차이 검출기인 Balanced Quadratic Correlator를 채용한 주파수추적루프를 구성하였다. 아래에 이러한 Balanced Quadratic Correlator의 구조를 도시하였다.<sup>[14]</sup>

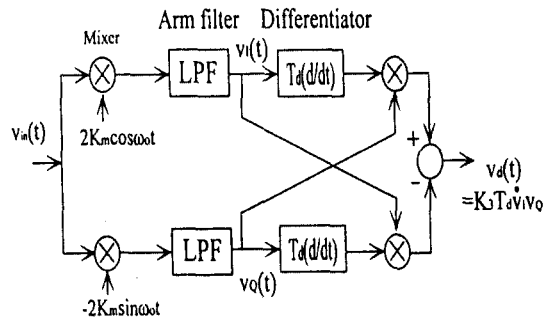


그림 3 Balanced Quadratic Correlator  
Fig. 3 Balanced Quadratic Correlator

이러한 Balanced Quadratic Correlator를 채용한 주파수추적루프는 출력이 리플이 나오지 않는다는 장점은 널리 알려져 있다.<sup>[14]</sup>

그리고 STR(Symbol Timing Recovery)부는 진행되는 조건이 있는데 이는 반송파위상에러와 무관하게 동작해야 한다는 것이다. 변조분류기는 정확한 심볼타이밍을 요구하나 변조분류가 되지않은 상태에서는 반송파위상에러를 추적하여 복구할 수 없기 때문에 STR 입력신호는 반송파위상에러를 필연적으로 포함하고 있기 때문이다. 이러한 요구조건을 충족시키기 위하여 반송파에러에 독립적인 Gardner 알고리즘을 사용하였다.<sup>[18]</sup>

마지막으로 반송파동기에는 BPSK/QPSK 변조방식의 복조를 위하여 Costas Loop을 변형한 Switched Costas Loop을 제안, 사용하였다. 이는 변조분류기에 의해서 분류된 결과에 따라 위상검출기를 스위칭하여 사용하는 방식으로 그림 4에 이러한 Switched Costas Loop의 구조를 도시하였다.

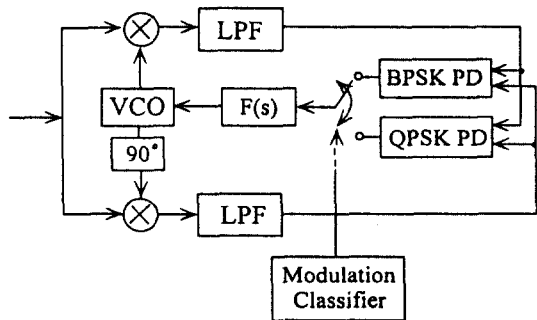


그림 4 Switched Costas Loop의 구조  
Fig. 4 The structure of Switched Costas Loop

Switched Costas Loop는 BPSK를 위한 위상검출기와 QPSK를 위한 위상검출기 그리고 이 두가지 중 하나를 선택할 변조분류기로부터의 제어 신호의

입력단자, 그리고 Loop필터와 VCO로 구성되어 있다. 이러한 스위칭되는 위상검출기는 목표하는 변조 방식에 따라 어느정도의 확장도 가능하다.

### 3장 위성채널의 모델링

위성채널을 모델함에 있어서 먼저 상향과 하향링크에서 가우시안 분포를 갖는 열잡음과 TWTA 등과 같은 고전력증폭기의 비선형증폭으로 발생하는 sidelobe 재생으로 인한 인접채널간섭(ACI), 그리고 불완전한 편파분리나 동일대역을 사용하는 다른 사용자로 인한 동일채널간섭(CCI)을 정확하게 묘사하는 것이 매우 중요하다 하겠다.

아래의 그림 5는 일반적으로 많이 사용되는 위성 중계기를 포함한 FDMA 위성통신링크를 보여주고 있다.

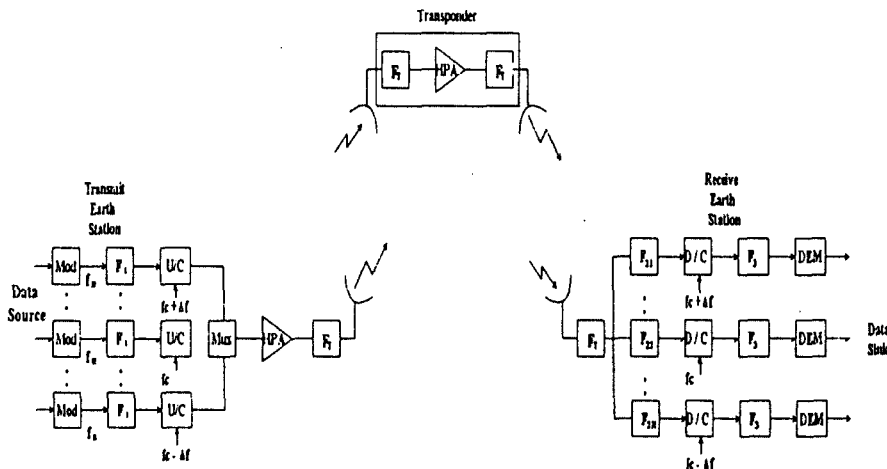


그림 5 일반적인 경우의 FDMA 위성통신링크  
Fig. 5 FDMA satellite communication link in general case

그림 5에서 중계기 대역필터링( $F_T$ )과 같은 광대역 필터링이 개별적인 반송파성분에 미치는 영향은 매우 미미하므로 거의 무시하기로 한다. 다만 다수의 반송파가 동시에 TWTA와 같은 비선형증폭기를 통과한 후 수신단에서 down-converting 되어 대역통과필터( $F_3$ )를 통과한 신호를 수신신호로 모델하였다. 이러한 과정에서 다수의 반송파성분의 비선형증

폭으로 인한 인접 채널간섭과 혼변조적에 따르는 성능열화를 부가하고 상향링크와 하향링크에서 각각 가우시안 잡음 및 동일 채널간섭 효과를 부가하여 전체 위성링크에서 하나의 반송파가 받는 비선형왜곡 및 간섭효과를 등가적으로 모델링하므로써 모의실험의 수행과 성능분석을 용이하게 하였다.

위의 위성통신링크의 모델에서 인접채널간섭은 다

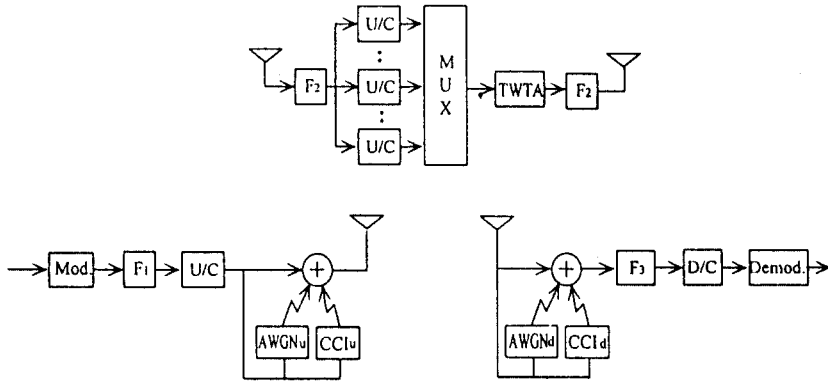


그림 6 간략화된 FDMA 위성통신링크의 모델  
 Fig. 6 The simplified model of FDMA satellite communication link

수의 반송파성분이 TWTA로 증폭되어 개개의 스펙트럼의 sidelobe가 살아나 근접채널을 간섭하게 되고 또한 혼변조적효과로 인하여 어떠한 관심이 되는 채널이 간섭을 받은 상태에서 하나의 반송파 성분에 대한 대역통과 필터링(F<sub>2</sub>) 후에 관심 대역내의 존재하는 신호외의 성분으로 묘사된다.

두번째로 일정한 신호대 ACI 전력비에 따른 성능을 분석하기 위해서 신호와 sidelobe 스펙트럼을 체비셰프필터의 날카로운 차단특성으로 분리한후 주어진 신호대 ACI 전력비에 따라 부가하는 방식도 사용하였다. 아래에 이러한 모델에 따른 전체 블럭도가 도시되어 있다.

역시 동일채널간섭(CCI)는 대역제한된 송신신호를 주어진 신호대 CCI 전력비에 따라 원래의 신호를 감쇄하여 부가하는 모델을 사용하였다.

전체적인 위성채널의 구성요소를 정리하면 먼저 상향링크와 하향링크에서 부가되는 가우시안 열잡음이 있고 인접채널간섭은 두가지 방향으로 접근하였는데 첫번째로 다수의 반송파성분이 비선형 고전력 증폭기인 TWTA에 의하여 증폭될 때 발생하는 간섭을 묘사하였고 두번째로는 sidelobe의 전력을 일정한 전력비에 따라 부가하는 방식으로 모델링하였다. 따라서 첫번째 모델에서는 이러한 다수의 반송파를 비선형증폭시 발생하는 혼변조적(IMP) 효과도 고려되며 두번째 모델에서는 일정한 신호대 간섭전력비에 따른 성능을 분석할수 있다. 그리고 동일채널간섭 또한 부가함으로써 FDMA 방식의 위성채널에서 발생하는 여러가지의 잡음 및 간섭에 의한 성능을 효과적으로 정확히 분석하고자 한다.

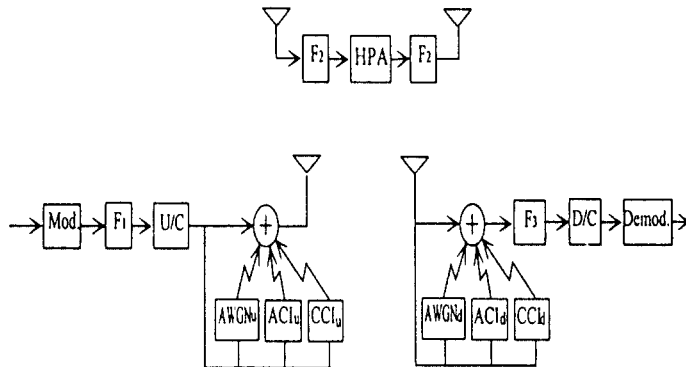


그림 7 일정한 신호대 ACI 전력비에 따른 모델  
 Fig. 7 The model on the given signal-to-interference ratio

#### 4장 자동추정 복조시스템의 성능평가지수

일반적으로 디지털 통신링크에서는 링크 비트오율 성능이 수신시스템의 성능을 나타내지만 신호의 여러 파라메타가 알려지지 않은채로 수신되는 자동추정 복조시스템의 성능을 나타내는 평가지수는 현재 존재하지 않고 변조 분류부의 성능과 복조부의 성능을 나타내는 지수가 개별적으로 있을 뿐이다.

이러한 자동추정복조시스템은 동작시 두가지 경우가 발생될 수 있는데 첫번째로 올바른 변조분류가 되었을 때는 그에 상응하는 복조기로 연결되어 알맞은 복조를 수행하게 된다. 둘째로 변조분류가 잘못될 경우 복조기는 복조를 전혀 수행하지 못하고 이때의 BER은 링크의 비트오율이 상한선인 0.5가 된다. 특히 두번째 경우에 변조분류에 실패하여 결과적으로 BER이 0.5가 되었다하더라도 이 자동추정복조시스템의 성능을 BER이 0.5인 수신기로 평가할 수는 없다.

따라서 본 논문에서는 자동추정복조시스템의 진정한 성능을 변조분류기의 올바른 변조분류확률과 검파시의 시스템 비트오율을 연계하여 나타내기 위하여 변조분류의 성공여부와 관계없이 BPSK / QPSK 자동추정 복조시스템의 성능평가지수를 정의하기로 판단. 먼저 BPSK가 수신되었다고 가정할때 비트에러율(확률),  $P_{BPSK}$ 는 아래의 수식(2)와 같다.

$$P_{BPSK} = P_{BPSK/BPSK} \times P_{EB} + P_{BPSK/QPSK} \times P_{FC} \quad (2)$$

$P_{BPSK}$ 의 물리적인 의미는 BPSK가 수신되었다고 가정할때 이를 올바르게 분류하여 검파시 발생하는 비트오율과 변조분류에 실패(QPSK로 오인)하여 비트오율의 상한선이 될 확률을 구한 것이다.

여기에서  $P_{BPSK/BPSK}$ 는 BPSK가 수신될때 BPSK로 올바르게 인식할 확률이고  $P_{BPSK/QPSK}$ 는 BPSK가 수신될때 QPSK로 틀리게 인식할 확률이다. 그리고  $P_{EB}$ 은 BPSK의 비트오율이며  $P_{FC}$ 는 변조인식이 잘못되었을 경우의 비트오율로 비트오율의 상한선인 0.5이다. 마찬가지로 QPSK가 전송되었다고 가정할시 비트에러,  $P_{QPSK}$ 는 아래의 식 (3)과 같다.

$$P_{QPSK} = P_{QPSK/QPSK} \times P_{EQ} + P_{BPSK/QPSK} \times P_{FC} \quad (3)$$

$P_{QPSK}$ 의 물리적인 의미는 QPSK가 수신되었다고 가

정할때 이를 올바르게 분류하여 검파시 발생하는 비트오율과 변조분류에 실패(BPSK로 오인)하여 비트오율의 상한선이 될 확률을 구한 것이다.

여기에서  $P_{QPSK/QPSK}$ 는 QPSK가 전송될때 QPSK로 틀리게 인식할 확률이다. 그리고  $P_{EQ}$ 는 QPSK의 비트오율이다.

만약 BPSK와 QPSK가 수신될 확률이 동일하다면 본 논문에서 새로이 제안하는 전체 자동추정 복조시스템의 성능,  $P_{ae}$  (Probability of autodetection error)는 식(2)-(3)를 산술평균한 값이 되어 식 (4)와 같이 된다.

$$\begin{aligned} P_{ae} &= \frac{1}{2}(P_{BPSK} + P_{QPSK}) \\ &= \frac{1}{2}[P_{BPSK/BPSK} \cdot P_{EB} + P_{QPSK/QPSK} \cdot P_{EQ} \\ &\quad + (P_{QPSK/BPSK} + P_{BPSK/QPSK}) \cdot P_{FC}] \quad (4) \end{aligned}$$

이상적인 가우시안 채널을 가정할때 같은 신호대 잡음비하에서 BPSK와 QPSK가 동일한 data rate으로 전송된다면 이들의 비트오율은 같게 되어  $P_{EB} = P_{EQ} = P_E$ 가 된다. 이를 위의 식 (4)에 적용하면 식 (5)와 같이 된다.

$$\begin{aligned} P_{ae} &= \frac{1}{2}(P_{BPSK/BPSK} + P_{QPSK/QPSK}) \cdot P_E \\ &\quad + \frac{1}{2}(P_{QPSK/BPSK} + P_{BPSK/QPSK}) \cdot P_{FC} \quad (5) \end{aligned}$$

그런데 BPSK / QPSK 변조분류기의 올바른 분류확률,  $P_C$ 는 아래의 식 (6)과 같이 정의된다.

$$P_C = \frac{1}{2}(P_{BPSK/BPSK} + P_{QPSK/QPSK}) \quad (6)$$

BPSK / QPSK 자동추정 복조시스템은 성능은 최종적으로 아래의 식 (7)과 같이 변조분류확률과 그의 보수확률 및 비트오율로서 나타내어진다.

$$P_{ae} = P_C \cdot P_E + (1 - P_C) \cdot P_{FC} \quad (7)$$

위의 식 (7)에서 볼수 있듯이 자동추정 복조시스템의 성능,  $P_{ae}$ 는 변조분류확률에 의해 상당히 큰 영향을 받음을 알 수 있다. 식 (7)의 두 항중에서  $P_{FC}$ 는 그 값이 0.5로 일반적으로  $P_E$ 에 비해 상당히 큰 값이다. 그리하여 변조분류에 실패할 확률  $(1 - P_C)$ 이 커진다면  $P_{FC}$ 의 영향이 크게 미치게 되며 반대로  $(1 - P_C)$ 이 작아진다면  $P_{FC}$ 의 영향은 줄어들 것이다.

만일 변조분류확률,  $(1-P_c)$ 이 0이 된다면 전체 성능,  $P_{ac}$ 는 그 변조방식의 비트오율로서만 나타남을 알 수 있다. 즉 이 경우는 일반적인 경우의 통신으로 수신신호의 변조방식을 알고 있는 경우이며 식 (7)의 BPSK/QPSK 자동추정 복조시스템은 성능은 링크 BER과 같아짐을 볼 수 있다.

실제로 수많은 변조방식의 신호들이 송수신되고 있는 상황에서 모든 방식을 자동검파하는 것은 거의 불가능하고 전파관리등을 목적으로 특정 변조방식을 대상으로 한 자동추정복조가 실제적인 의미를 지닌다고 볼 수 있다.

그리하여 본 논문에서는 식 (7)과 같은 BPSK/QPSK 자동추정 복조시스템의 전체성능을 나타낼 수 있는 성능평가지수를 도입하였는데 이 지수는 BPSK와 QPSK를 목표로하여 자동검파하는데 있어 그 운인이 변조 분류실패로 인한 것이든지 통신링크에 인한 것이든지 관계없이 전체적으로 발생하는 비트검출 오율로 볼 수 있다.

또한 목표로 하는 변조방식을 확장하고자 한다면 그에 알맞게 전체성능,  $P_{ac}$ 는 수정되어야 할 것이다.

### 5장. 위성채널하에서 자동추정 복조시스템의 성능평가

[ACI.u=CCI.u=30dB, ACI.d=CCI.d=30 dB, Backoff=0dB]

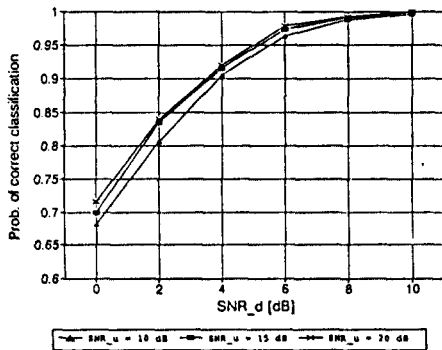


그림 8 상향링크의 열잡음에 따른 변조분류성능  
Fig. 8 Modulation classification performance due to thermal noise in uplink

본 장에서는 3장에서 모델한 위성채널에서 변조분류기와 복조부의 성능을 알아보고 이를 바탕으로 하여 4 장에서 새로이 제안한 자동추정 복조시스템의 평가지수를 이용하여 성능을 구하여 본다.

먼저 상향과 하향링크에서 각각 일정한 전력비의 인접채널간섭과 동일채널간섭이 부가되는 상황에서 각각 상향링크의 열잡음에 따른 변조분류기의 분류 성능과 전체 자동추정복조성능에 미치는 영향에 대하여 알아보기로 한다. 이때 상향과 하향링크의 인접채널간섭과 동일채널간섭비는 모두 30 dB이며 변조분류기의 관찰구간은 25 심볼이다. (N=25)

그림 8의 결과를 보면 상향링크의 열잡음에 따른 변조분류성능은 그다지 민감하지 않음을 볼 수 있다. 이는 qLLR 변조분류기가 가우시안 열잡음채널하에서 LRT를 수행하기 때문에 선천적으로 열잡음에 강한 특성이 나타난 것이다. 그러나 상향과 하향링크에서 간섭신호와 비선형중계기를 통과하면서 전체적인 분류성능은 전체적으로 상당히 저하됨을 알 수 있었다.

이러한 통신환경에서 BPSK/QPSK 두가지 변조방식의 링크 BER 성능을 구하여 전체 자동추정복조시스템의 성능,  $P_{ac}$ 를 식 (4)에 의하여 구하면 아래와 같다. 단 이 경우에 BPSK와 QPSK가 수신될 확률은 동일하다고 가정한다.

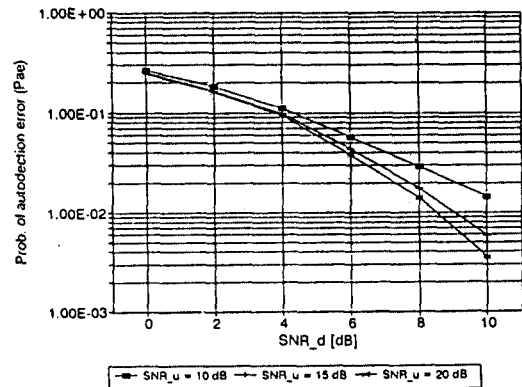


그림 9 상향 열잡음에 따른 자동추정 복조시스템의 성능  
Fig. 9 Automatic demodulation performance due to thermal noise in uplink

위의 결과를 보면 자동추정복조시스템의 성능,  $P_{ae}$ 는 변조분류성능의 저하로 인하여 약간의 성능저하가 있으나 그다지 뚜렷하지는 않음을 볼 수 있다. 이러한 이유는 앞서 언급한 바와 같이 qLLR의 열잡음에 대한 탁월한 강인함에서 비롯된 것이다.

그 다음으로는 첫번째 ACI를 모델을 적용하여 혼변조적 효과까지도 고려된 상태에서 TWTA의 여러 가지 동작점에 따라 발생하는 간섭신호에 따른 분류성능 및 전체성능에 대하여 알아보기로 한다. 이때 TWTA 내로 입력되는 반송파는 7개로 동일한 전력레벨을 가진 신호들이다. 이때 상향과 하향링크의 동일채널간섭은 모두 30 dB, 상향링크의 열잡음은 25 dB이며 변조분류기의 관찰구간은 25 심볼이다. ( $N=25$ )

[ $CCI_u=CCI_d=30$  dB,  $SNR_u=25$  dB, 반송파수=7개]

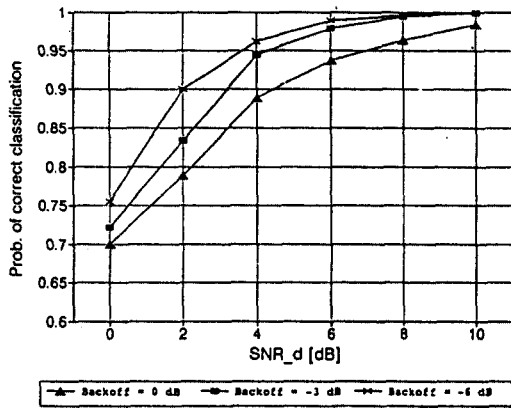


그림 10 첫번째 ACI 모델에서 TWTA 동작점에 따른 분류성능

Fig. 10 Modulation classification performance due to TWTA operation point in the first ACI model.

위의 결과를 분석하여 보면 중계기내의 TWTA의 동작점, 즉 비선형증폭에 따른 인접채널의 간섭과 혼변조적에 따라 변조분류성능이 열잡음의 경우와 달리 매우 민감하게 반응함을 볼 수 있다. 이는 qLLR 변조분류기가 오직 열잡음하에서만 동작을 가정하였기 때문이며 열잡음의 경우에 비해서 상당히 성능 열화가 심하고 선형증폭에 가까와질수록 그 본래의 성능을 회복함을 볼 수 있었다.

마찬가지로 이러한 채널환경에서 전체 자동추정복조시스템의 성능,  $P_{ae}$ 를 구하면 아래와 같다. 역시 BPSK와 QPSK가 수신될 확률은 동일하다고 가정한다.

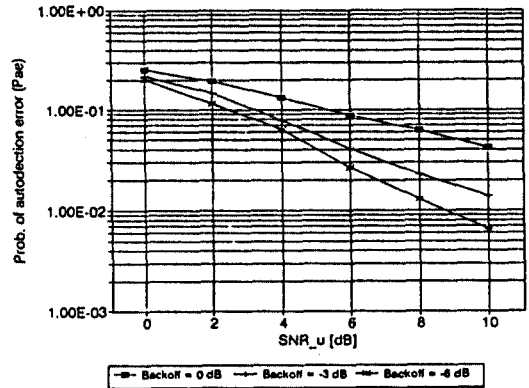


그림 11 첫번째 ACI 모델에서 TWTA 동작점에 따른 전체성능

Fig. 10 Automatic demodulation performance due to TWTA operation point in the first ACI model.

이 결과를 보면 특히 입력 Backoff가 0 dB인 경우, 즉 비선형증폭이 심한 경우는 인접채널의 간섭과 혼변조적에 의한 분류성능의 열화로 인하여 전체적인 성능저하가 심각함을 보여준다. 이는 단지 링크 비트오율의 저하로만 기인한 것이 아니라 변조분류성능의 저하로 인한 부분이 상당히 큰 것으로 새로이 도입된 평가지수만이 나타내 줄 수 있다.

마지막으로 두번째 인접채널간섭 모델을 적용하여 상향과 하향링크에 모두 일정한 신호대간섭전력비에 따른 채널간섭을 부가하는데 여기에서는 상향링크의 인접채널간섭 및 동일채널간섭에 따른 분류성능 및 자동추정복조 성능을 살펴보기로 한다. 이때 하향링크의 인접채널간섭비와 동일채널간섭은 모두 30 dB, 상향링크의 열잡음은 35 dB이며 변조분류기의 관찰구간은 25 심볼이다. ( $N=25$ )

두번째 ACI 모델에 의한 경우도 그림 12에서 볼 수 있듯이 첫번째 모델의 경우와 같이 매우 민감함을 볼 수 있다. 특히 상향 ACI와 CCI가 각각 15 dB인 경우에는 하향 SNR이 높아져도 분류성능이 포화되지 못하는 매우 심각한 경우로 변조분류기가 어느 정도의 신뢰도를 확보하기 위해서는 상향 ACI와 CCI가 각각 20 dB 이상이 되어야 한다는 결론을 얻을 수 있다.



[ACI<sub>d</sub>=CCI<sub>d</sub>=30dB, SNR<sub>u</sub>=35dB,  
Backoff=0 dB]

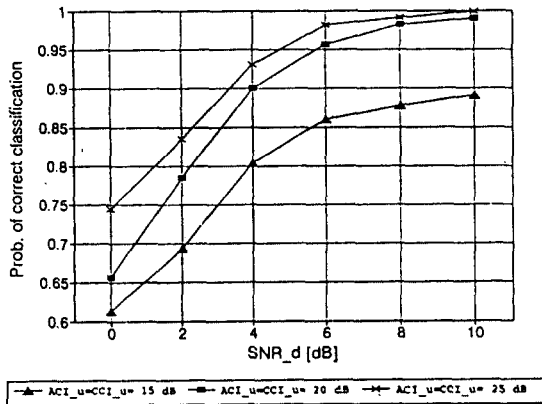


그림 12 두번째 ACI 모델에서 상향 신호대간섭전력비에 따른 분류성능

Fig. 12 Modulation classification performance due to uplink signal-to-ACI ratio in the second ACI model

마찬가지로 이러한 채널환경에서 전체 자동추정복조 시스템의 성능, P<sub>ae</sub>를 구하면 아래와 같다. 역시 BPSK와 QPSK가 수신될 확률은 동일하다고 가정한다.

이 역시 상향링크의 ACI와 CCI가 15dB인 경우 분류성능의 열화로 인하여 전체적인 성능저하가 심각함을 보여준다. 변조분류성능의 저하로 인한 부분이 상당히 큼을 첫번째 모델의 경우와 동일하게 보여주고 있다.

## 6장. 결 론

본 논문에서는 위성채널하에서 BPSK/QPSK 변조형태의 판별과 그에 따른 자동추정복조시스템을 Unix 상에서 운용되는 SPW(Signal Processing Worksystem) S/W를 이용하여 구성하였다. 위성채널을 정확하고 실제적으로 묘사하기 위하여 인접채널간섭을 두가지 방식으로 모델하였다. 첫번째 모델은 비선형증폭기의 종류, 동작점, 그리고 입력반송파의 갯수등에 따라 다양하게 모의 실험할 수 있으며 두번째 모델은 정확한 양의 간섭신호가 부가될 때의 성능을 얻을 수 있다. 또한 링크 비트오율만 가지고는 나타낼 수 없는 자동추정 복조시스템의 성능을 새로운

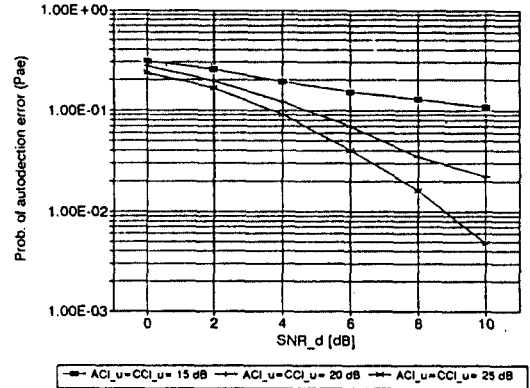


그림 13 두번째 ACI 모델에서 상향 신호대간섭전력비에 따른 전체성능

Fig. 13 Automatic demodulation performance due to uplink signal-to-ACI ratio in the second ACI model

성능평가지수를 제안, 도입하여 사용하였다. 위에서 구성된 채널모델을 이용하여 가우시안 열잡음만을 가정하고 만들어진 qLLR 변조분류기의 성능과 자동추정 복조시스템의 성능을 구하여 보았다.

변조분류기의 성능은 가우시안 열잡음하에서는 매우 둔감하며 상당히 강한 특성을 보였으나 비선형증폭등으로 생긴 간섭신호에는 민감한 특성을 보였는데 이는 분류기가 가우시안 채널하에스의 Likelihood 함수비값의 비교에 의해 구성되었기 때문에 생긴 선천적인 문제로 볼 수 있다. 그리고 처음으로 제안되어 사용된 자동추정복조성능은 진정한 성능을 나타내 준다는 면에서 큰 의미를 갖는다고 볼 수 있다.

향후 연구 방향으로서는 먼저 분류하는 변조방식의 다양화 및 그에 따르는 복조시스템의 구성작업이 있고 위성중계기내의 신호배치 및 전력할당에 따른 자세한 성능의 분석과 이동무선채널 같은 보다 다양한 환경에 적용할 예정이다. 그리고 이렇게 구성된 채널 및 자동추정 복조시스템을 현재 구현중인 하드웨어 시스템의 성능예측과 분석 및 최적설계에 활용할 예정이다.

본 논문은 과기처의 특정연구개발사업 연구비 지원에 의해 수행되었으며 한국과학기술원의 신호처리 연구실 관계자 분들께 감사드립니다.

### 참고문헌

- [1] Bernard Sklar, Digital Communications - Fundamentals and Applications, Prentice-Hall Inc, 1989.
- [2] Roland E. Best, Phase-Locked Loops, McGraw-Hill Co, 1984.
- [3] K. Feher, Digital Communications-Satellite Earth Station Engineering, Prentice-Hall Inc, 1983.
- [4] J.J. Spilker, Jr, Digital Communications by Satellite, Prentice-Hall Inc, 1977.
- [5] T.G. Callaghan, J.L. Perry, and J.K. Tjho, "Sampling and algorithms aid modulation recognition" *Microwaves & RF*, Sept. 1985, 117-121.
- [6] A. Polydoros, and Kiseon Kim, "On the Detection and Classification of Quadrature Digital Modulations in Broad-Band Noise," *IEEE Trans. on Comm.*, Aug. 1990.
- [7] S.S. Soliman, and S-Z Hsue, "Signal Classification Using Statistical Moments," *IEEE Trans. on Comm.*, May 1992.
- [8] S-Z Hsue and S.S. Soliman, "Automatic Modulation Classification Using Zero Crossing," *IEEE Proceedings*, Dec. 1990.
- [9] R.J. Mammone, R.J. Rothaker, and C.I. Podilchuk, "Estimation of carrier frequency, modulation type and bit rate of an unknown modulation signal," *Proc. ICC'87 June 1987*, pp. 1006-1012.
- [10] C.Y. Hwang, and A. Polydoros, "Advanced Methods For Digital And Offset Modulation Classification," *IEEE proc. MILCOM 1991*.
- [11] F. Takahata, et. al., "A PSK Group Modem for Satellite Communication," *IEEE Trans. on Comm.*, May 1987.
- [12] W.C. Lindsey, and H.C. Osborne, "Digital Phase Locked Loops for Suppressed Carrier Recovery," *Proceedings of IEEE NTC*, Washington, D.C., November 1979.
- [13] F.M. Gardner, "Properties of Frequency Difference Detectors," *IEEE Trans. on Comm.*, February 1985.
- [14] F.M. Gardner, "Characteristics of Frequency Tracking Loops." *IEEE Pressbook on Phase Locked Loops*, Ieee Press, 1986.
- [15] J. Chang, and N.R. Sollenberger, "Burst Coherent Detection with Robust Frequency and Timing Estimation for Portable Radio Communications," *Proceedings of IEEE Globecom*, 1988.
- [16] F.D. Natali, "AFC Tracking algorithm," *IEEE Trans. on Comm.*, August 1984.
- [17] K.H. Mueller, and M. Muller, "Timing Recovery in Digital Synchronous Data Receivers," *IEEE Trans. on Comm.*, May 1976
- [18] F.M. Gardner, "A BPSK / QPSK Timing Error Detector for Sampled Receivers," *IEEE Trans. on Comm.*, May 1986.
- [19] SPW Release 3.0-The DSP Framework User's Manual, COMDISCO Systems, Inc., 1992.



金宜默 (Euy Mook Kim), 준회원  
 1991년 2월 : 성균관대학교 전자공학과 졸업(학사)  
 1993년 2월 : 성균관대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사)

1993년 3월 ~ 현재 : 성균관대학교 대학원 전자공학과 박사과정

※ 주관심 분야 : 디지털 통신, 위성통신, 이동통신, 변조 인식 및 DSP 기술등임



**李慶河(Kyung Ha Yi), 준회원**  
1993년 2월 : 성균관대학교 전자공  
학과 졸업(학사)  
1995년 2월 : 성균관대학교 대학원  
전자공학과 졸업(석  
사)

1993년 3월~현재 : 성균관대학교 대학원 전자공학과 박사과정

※ 주관심 분야 : 디지털 통신, 위성통신 및 디지털 동기 기술 등임



**崔炯辰(Hyung Jin Choi), 정회원**  
1974년 2월 : 서울대학교 전자공학  
과 졸업(학사)  
1976년 2월 : 한국과학기술원 전기  
전자공학과 졸업(석  
사)

1976년 3월~1979년 7월 : 주식회사 금성사 중앙연구소 근무(연구원)

1979년 9월~1982년 12월 : 미국 University of Southern California 전기공학과 박사(Ph.D)

1982년 10월~1989년 2월 : 미국 LinCom Corp. 연구원으로 근무

1989년 3월~현재 : 성균관대학교 전자공학과 근무(부교수)

※ 주관심 분야 : 디지털 통신, 무선통신, 이동통신, 위성통신 및 동기화이론을 포함한 Modem 기술 등임