

논문 2006-43TC-12-1

# 터보부호를 이용한 반복 위상 추정기법

## ( Iterative Phase estimation based on Turbo code )

류 중 곤\*, 허 준\*\*

( Joong-Gon Ryu and Jun Heo )

### 요 약

본 논문은 유럽의 디지털 방송 규격인 DVB(Digital Video Broadcast)의 업 링크 채널 규격인 DVB-RCS에서 사용되는 터보부호의 특성을 이용하여 반송파의 위상을 추정하는 기법을 제안한다. 위상 추정기는 위치에 따라 크게 외부 단일 추정기와 내부 복수 추정기로 나누었고, 외부 추정 방식은 ML(Maximum Likelihood)과 LMS(Least Mean Square)을 이용하였으며 복수 추정기의 경우에는 LMS(Least Mean Square)와 PSP(Per Survivor Processing)방식 적용하였다. 단일 추정기의 경우 3가지 다른 APP(A Posteriori Probability)알고리즘의 성능을 비교하였으며 단일 추정기와 복수 추정기사이의 성능을 AWGN채널에서 위상오차와 위상잡음(Winner process)이 더해진 모델에서 비교하였다. 복수 추정기의 경우 향상된 2가지 알고리즘을 제안한다. 첫째는 Forward-Backward(Bi-directional)방식의 채널추정기법이고 둘째는 Forward 채널추정값과 Backward 채널추정값의 차이의 정보를 이용하는 Binding기법이다.

### Abstract

In this paper, we propose carrier phase synchronization algorithm which are base on turbo coded system for DVB-RCS. There have been two categories of phase estimator, single estimator outside turbo code decoder and multiple estimators inside turbo code decoder. In single estimator, we use the estimation algorithm that ML(Maximum Likelihood) and LMS(Least Mean Square), also three different soft decision methods are proposed. Multiple estimator apply PSP(Per Survivor Processing) algorithm additionally. We compared performance between single estimator and Multiple estimator in AWGN channel. We presented the two methods of PSP algorithm for performance elevation. First is the Bi-directional channel estimation and second is binding method.

**Keywords :** Phase estimation, Iterative detection, Turbo code, DVB-RCS

### I. 서 론

위성디지털방송 시스템은 일반적으로 다운링크의 데이터 용량이 크다는 이점으로 활용범위가 점차 늘고 있다. 또한 최근 인터넷 서비스 등의 다양한 어플리케이션이 발전해 오면서 위성으로의 업 링크 채널의 확대가 요구되고 있다. DVB-RCS(Digital Video Broadcasting - Return Channel via Satellite)<sup>[1]</sup>는 이러

한 요구를 수용하고자 유럽에서 제안된 디지털 방송규격이다. 하지만 일반 사용자의 단말기는 지름이 작은 안테나를 사용하므로 업 링크시 신호의 SNR 이 상대적으로 작을 수밖에 없다. 또한 RF 증폭기의 성능이 바로 가격과 직결되므로 위성을 통한 쌍방향 멀티미디어 시스템을 전개하기 위해서는 파워의 효율성을 높이는 것이 관건이다.

따라서 낮은 SNR환경에서도 탁월한 성능을 보이는 터보부호와 같은 오류 정정부호의 사용이 필요하며, 이런 터보부호의 성능을 얻기 위해서는 받은 신호의 동기를 맞추는 것이 매우 중요하다. DVB-RCS 규격에서의 Training data 또는 Preamble의 사용은 채널의 상태를 어느 정도 예측할 수 있게 해주지만 동적으로 변하는 채널의 상태를 알아내기에는 충분하지 않기 때문에 반

\* 학생회원, \*\* 정회원, 건국대학교 전자공학과  
(Department of Electronics Engineering  
Konkuk University)

※ 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원  
의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수  
행되었음(IITA-2006-(C1090-0603-0045))

접수일자: 2006년8월14일, 수정완료일: 2006년12월12일

복적인 채널 추정이 필요하다. 본 논문에서는 터보부호를 이용한 시스템에서의 외부 단일 추정기와 내부 복수 추정기의 구조를 소개하고 단일 추정기의 경우 ML방식과 LMS방식을 비교 적용하였다. 복수 추정기의 경우에는 LMS추정방식을 PSP방식으로 적용하였으며 성능 개선을 위해 내부 추정 알고리즘으로 Bi-directional 방식과 Binding 방식을 제안하였다.

## II. 본 론

### 1. 터보부호와 확률정보

터보부호는 1990년대 중반에 Berrou와 Glaviux<sup>[2]</sup>에 의해 처음 소개 되었으며 Shannon Capacity에 근접하는 탁월한 성능으로 현재에도 여러 분야의 무선 통신 시스템에서 쓰이고 있다. 또한 파라미터의 추정기법에서도 터보부호를 이용하는 방식이 다양하게 연구되고 있다<sup>[3]-[5]</sup>. 본 논문에서는 터보부호의 복호기 내부의 SISO(Soft Input Soft Output) 블록에서 나오는 soft information값으로 반송파의 위상을 추정하는 기법을 적용한다.

그림 1은 터보 부호기의 구조를 나타낸 것으로 두 개의 RSC(Recursive Systematic Convolution)가 병렬로 위치하고 그 사이에 인터리버가 있는 형태로 구성되어 있다.  $b_k$ (information bit)가 두 개의 RSC를 거치면  $x_k^{Up}$ ,  $x_k^{Lp}$ (parity check bit)로 부호화되고 puncturing 블록을 통해 선택된  $x_k^s$ (systematic bit)와  $x_k^p$ (parity bit)이 합쳐져서 codeword를 이룬다. 이와 같은 puncturing 블록을 통해 터보 복호기의 code rate을 1/3에서 1/2로 맞추었다.

외부 추정기의 사용시 위상의 보정은 터보 복호기에서 나오는 확률정보를 이용하여 반복적으로 위상을 보정하게 된다. 이 확률정보는 반복 복호과정에서 MAP detection를 적용하기 위한 BCJR (Bahl-Cocke-

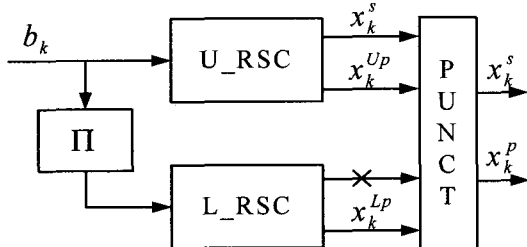


그림 1. 터보 부호기 구조

Fig. 1. The structure of Turbo encoder.

Jelinek-Raviv)알고리즘<sup>[6]</sup>을 이용하여 다음과 같이  $k$ 번째 codeword 비트  $x_k$ 에 대한 LAPPR(log a posterior probability ratio)을 계산할 수 있다.

$$L(x_k) = \log \left( \frac{\Pr\{x_k = 1|r\}}{\Pr\{x_k = -1|r\}} \right) \quad (1)$$

여기서  $r$ 은 수신기가 채널로부터 받은 값이다. 터보부호의 반복복호 과정에서 발생하는 extrinsic information을 사용하여 전송된 심벌의 평균을 예측할 수 있고 그 심벌의 평균값으로 외부 단일 추정기에서 위상을 추정할 수 있다.

### 2. 단일 추정기

#### 가. 단일 추정기 구조

단일 추정방식으로 터보 복호기 외부에 추정기를 두어 터보 복호기에서 나오는 extrinsic information 확률정보를 가지고 전송된 심벌의 위상을 추정하여 수신된 심벌의 위상오차를 보정하는 방식을 사용하였다. 단일 추정기는 터보 복호기 외부에 추가하는 방식이기 때문에 터보 복호기의 기본 블록인 SISO(Soft Input Soft Output)블록 내부의 구조를 변경할 필요가 없는 장점이 있다. 따라서 구현측면에서 내부의 구조를 바꿔야 하는 복수 추정기에 비해 단순히 외부에 추가함으로써 위상을 보정할 수 있다. 하지만 성능은 복수 추정기(PSP)에 비하여 우수하지 못하다.

그림 2는 단일 추정기를 사용한 시스템의 전송 구조를 나타내고 있다. 이 시스템에서 이득 조절과 심벌 타이밍 동기, 코드 프레임 동기가 완벽히 처리되었다는 가정하에 수신기로 들어오는 신호  $r_k$ 를 다음 식과 같이 표현할 수 있다.

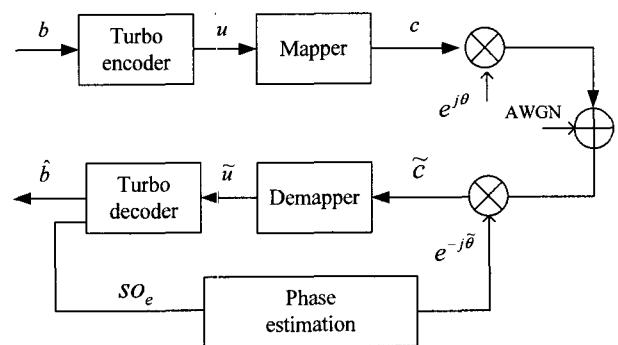


그림 2. 단일 추정기를 이용한 시스템 전송구조

Fig. 2. Transmission system using single estimator.

$$r_k = c_k e^{j\theta_k} + n_k \quad (2)$$

여기서  $c_k$ 은 QPSK변조의 단위 에너지 심벌이고  $n_k$ 은 평균이 0인 가우시안 노이즈 프로세서를 나타낸다.  $\theta_k$ 는 추정하고자 하는 위상 값이다.

나. 단일 위상 보정 알고리즘

(1) ML 방식의 단일보정방식

LF(Likelihood Function)을 이용하여 추정된 위상을 바탕으로 전송된 값의 확률의 식을 표현하면 다음과 같다.

$$\Lambda(r|\tilde{\theta}, \tilde{c}) = \exp\left\{\frac{1}{N_0} \text{Re}\{r\tilde{s}^*\} - \frac{1}{2N_0} |\tilde{s}|^2\right\} \quad (3)$$

여기서  $\tilde{s}$ 는 다음과 같이 정의 된다.

$$\tilde{s} = \tilde{c} e^{j\tilde{\theta}} \quad (4)$$

$\tilde{c}$ 는 복수 변조 심벌이고  $\tilde{\theta}$ 는 추정된 위상오차를 나타낸다. 여기서 식(3)에 식(4)를 대입한다.

$$\Lambda(r|\tilde{\theta}, \tilde{c}) = \exp\left\{\frac{1}{N_0} \text{Re}\{r\tilde{c}^* e^{-j\tilde{\theta}}\} - \frac{1}{2N_0} |\tilde{c}|^2\right\} \quad (5)$$

(5)식을  $\tilde{c}$ 에 대한 평균을 취해준다.

$$\Lambda(r|\tilde{\theta}) = E_{\tilde{c}}\{\Lambda(r|\tilde{\theta}, \tilde{c})\} \quad (6)$$

$\Lambda(r|\tilde{\theta})$ 는  $\Lambda(r|\tilde{\theta}, \tilde{c})$ 을 모든 변조 심벌에 대해서 평균을 취해서 구할 수 있다.  $\theta$ 에 무관한  $|\tilde{c}|^2/2N_0$  항을 없애고  $\tilde{c}$ 에 대해서 평균을 취하면 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \Lambda(r|\tilde{\theta}) &= E_{\tilde{c}}\left\{\exp\left\{\frac{1}{N_0} \text{Re}\{r\tilde{c}^* e^{-j\tilde{\theta}}\}\right\}\right\} \\ &= \sum_{n=0}^{L-1} P_n \exp\left\{\frac{1}{N_0} \text{Re}\{rC_n^* e^{-j\tilde{\theta}}\}\right\} \end{aligned} \quad (7)$$

식(7)에서  $P_n = \text{Pr}\{\tilde{c} = C_n | r\}$ 은 APP(A Posterior Probability)로써 터보복호기의 SISO 블록에서 복호되는 과정중에 나오는 extrinsic information값으로 구하게 된다. 식(7)에 log를 취하면 다음과 같다.

$$\lambda(r|\tilde{\theta}) = \log\left(\sum_{n=0}^{L-1} P_n \exp\left\{\frac{1}{N_0} \text{Re}\{rC_n^* e^{-j\tilde{\theta}}\}\right\}\right) \quad (8)$$

우리는 낮은 SNR환경을 고려하였을 때 (8)식을 다음과 같은 근사화식을 이용하여 간단히 할 수 있다.

$\exp(x) \cong (x+1)$ ,  $\log(x+1) \cong (x)$  다음의 근사화식을 이용하여 식(8)을 간단히 하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\lambda(r|\tilde{\theta}) = \text{Re}\{r\alpha^* e^{-j\tilde{\theta}}\} \quad (9)$$

$$\alpha = \sum_{n=0}^{L-1} P_n C_n \quad (10)$$

여기서  $\alpha$ 는 전송된 심벌의 APP의 평균값을 나타낸다.

$$\hat{\theta}_{ML} = \arg \max_{\tilde{\theta}} \{\lambda(r|\tilde{\theta})\} \quad (11)$$

식(9)의 값이 가장 큰 값을 가질 때의  $\tilde{\theta}$  값을 구하는 것이 가장 확률이 높은 위상값을 찾는 것이다. 따라서  $\text{Re}\{r\alpha^* e^{-j\tilde{\theta}}\}$  값이 가장 클 조건을 찾아야 하는데 그 때는 허수항이 0가 될 때이므로  $r\alpha^*$ 의 위상이  $\tilde{\theta}$ 와 같을 때이다. 따라서 최종적으로 다음같이 표현할 수 있다.

$$\hat{\theta}_{ML} = \arg\{r\alpha^*\} \quad (12)$$

즉, 수신된  $r$ 값에 APP 평균값  $\alpha$ 의 conjugation을 곱한 값의 위상이 바로 ML알고리즘을 이용한 추정된 위상값이 되는 것이다.

여기서 APP의 평균값  $\alpha$ 을 구하는 3가지 다른 방식을 제안한다.

APP all average : 터보 복호기의 소프트 아웃풋값 (extrinsic information)  $SO_e(C_n)$ 을 이용하여  $C_n$ 의 평균값을 구한다. L은 변조된 심벌의 가지수를 나타낸다.

$$E(C) = \hat{C}_n = \sum_{n=0}^{L-1} P(C_n) C_n = \sum_{n=0}^{L-1} \frac{e^{-SO_e(C_n)}}{\sum_{n=0}^{L-1} e^{-SO_e(C_n)}} C_n \quad (13)$$

여기서 분모의 식은 정규화를 위한 항이다.

APP partial average : APP all average와 달리 터보 복호기에서 나오는 모든  $SO_e(C_n)$  값을 이용하지 않고  $L(\geq l)$ 개의 변조 심벌중 관련성이 높은  $l$ 개만을 이용하여 평균을 구하는 것이다. 선택된  $l$ 개의 심벌의 확률의 합은 1이 되도록 정규화를 시켜준다.

Maximum APP selection : ( $l = 1$ ) 경우, 즉 터보복호기에서 나오는  $SO_e(C_n)$  값 중 가장 의존도가 큰 값을 심볼의 평균값으로 사용한다.

(2) LMS 방식의 단일보정방식

LMS 방식을 이용한 단일 추정기의 보정 알고리즘은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\hat{g}_{k+1} = \hat{g}_k + \beta(r_k - \hat{g}_k \alpha) \alpha^* \tag{14}$$

$\hat{g}_k$ 는  $k$ 번째 위상  $\hat{\theta}_k$ 를 지수함수( $e^{j\hat{\theta}_k}$ )로 표현한 것으로  $k$ 번째의 위상 값을 알면 recursive하게 그 다음 단계의 위상 값을 추정할 수 있다. 여기서  $\beta$ 는 스텝사이즈로 채널 상태에 따라  $\beta$ 에 따른 성능이 다르게 나타난다. 컴퓨터 시뮬레이션시에는 단일 추정기의 경우 값은 기본적으로  $\beta$ 값을 0.1로 사용하였다.  $\alpha$ 는 앞에서 언급한  $c_k$ 의 APP average값을 나타내고 이 값을 구하기 위해서 터보 복호기로부터 나오는 LAPPR값을 이용한다.

3. 복수추정기

가. 복수 추정기 구조

복수 추정기는 터보 복호기의 내부에 추정기가 들어가는 형태를 취한다. 터보 복호기의 기본 블록인 SISO 내부의 Trellis 각 상태마다 각각 추정기를 달아주어 비터비 알고리즘의 ACS(add compare select)로 선택되어진 survivor path에 대하여 이전 상태에 저장된 파라미터 추정값을 바탕으로 새롭게 보정된 파라미터 값을 구하는 구조로서 PSP (Per Survivor Processing)<sup>[7]</sup>로 불리어 지는 방식이다.

그림 3은 복수개의 추정방식을 사용한 시스템으로 단일 추정기와 달리 채널에서 받은 값이 demapper를 거치지 않고 바로 adaptive 터보 복호기로 들어간다.

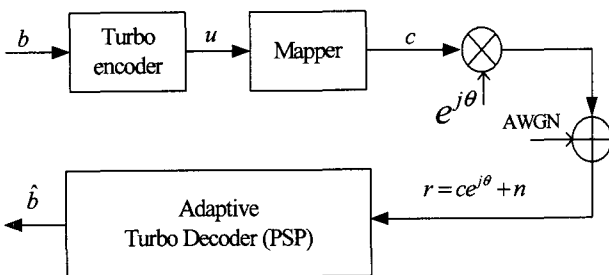


그림 3. 복수의 추정기를 이용한 시스템 전송구조  
Fig. 3. Transmission system using multiple estimators.

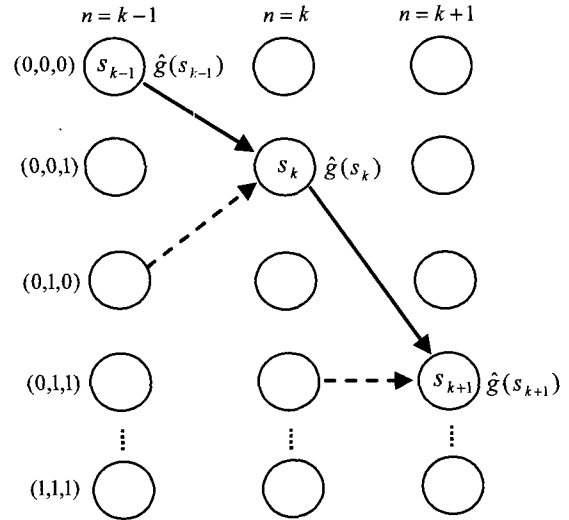


그림 4. PSP 채널 추정방식  
Fig. 4. Algorithm of PSP(Per Survivor Processing).

나. 복수 위상 보정 알고리즘(PSP)

그림 4는 PSP의 채널 추정 방식을 Trellis에서 간략하게 나타낸 것이다.  $s_k$ 는 각 스테이트값을 나타낸다. PSP의 추정방식에서 각 상태에서의 위상의 추정은 Viterbi알고리즘인 ACS (Add Compare Selection) 방식을 이용하여 선택되어진 path의 이전 위상을 바탕으로 현 상태의 위상을 추정하게 된다.

$$\hat{g}_{k+1} = \hat{g}_k + \beta(r_k - \hat{g}_k c) c^* \tag{15}$$

위의 식은 단일 추정기의 LMS식과 같으나 PSP는 모든 survivor path에 대해서 LMS식을 사용하므로 APP average  $\alpha$ 값을 사용하지 않고 각 path에 해당하는 심볼값  $c$ 을 넣어서 계산한다. 복수 추정기의 경우 단일 추정기보다 훨씬 나쁜 채널상태에서도 동작하므로 채널의 변동이 심한 상태에서는  $\beta$ 값을 늘려주어야 제대로 동작하게 된다. 따라서 컴퓨터 시뮬레이션 결과에서 단일 추정기와 복수추정기의 비교는  $\beta$ 를 0.1로 고정하여 비교하였지만 복수 추정기에서 제안된 알고리즘의 성능을 비교할 때는 채널의 상태가 보다 안 좋은 상태이므로  $\beta$ 값을 늘려 0.4로 성능을 비교하였다.

다. Trellis의 Timeslot에 따른 채널 추정

송신된 심볼을 수신기에서 받게 되면 그림 5의(b)와 같이 Puncturing 패턴에 따라 심볼의 정보를 SISO 블록 time slot에 맞게 나누어 주어야 한다.

Time slot이  $k$ (odd)일 때와  $k+1$ (even)일 때의 심볼이 포함하고 있는 정보가 puncturing 패턴에 따라서  $k$ 번째

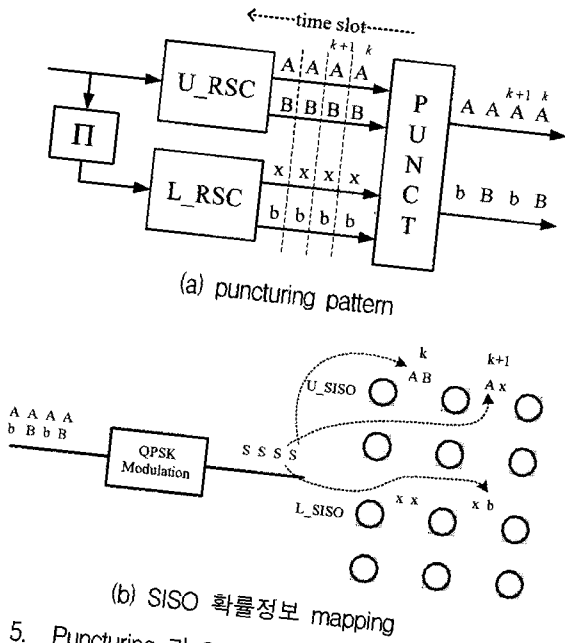


그림 5. Puncturing 과 SISO의 확률정보 mapping  
Fig. 5. Puncturing and probability mapping in SISO.

는 U\_RSC의 두 비트로 이루어지고 k+1번째에서는 U\_RSC의 한 비트와 L\_RSC의 한 비트로 이루어진다. 그림 5. (a)는 터보 부호기의 각각의 RSC에서 만들어진 정보가 puncturing pattern에 따라 k, k+1번째 time slot에서 선택되어지는 비트를 나타내는 것이고 그림 5. (b)는 역으로 심볼의 정보가 각각의 SISO블록내부 Trellis의 time slot에 맞추어 비트 정보가 들어가는 것을 그림으로 나타낸 것이다. 이때 각 k번째의 채널 값과 k+1번째의 채널 값을 추정하는데 있어서 가장 정보가 많은 time slot이 바로 U\_SISO의 k번째 time slot이라는 것을 알 수 있다. 그 이유는 AB 두 비트의 정보로 채널을 추정하기 때문이다. 따라서 기본적인 채널 추정방식으로 그림 6. (a)의 Forward only 추정방식에 k(odd)번째만 추정하고 k+1(even)번째는 k번째 추정값을 그대로 사용하는 방식으로 시뮬레이션 하였으며 그와 다른 알고리즘은 4절에서 다루도록 하겠다.

#### 4. 향상된 PSP 알고리즘

가. Bi-directional 방식의 채널 추정기법

그림 6에서는 PSP의 채널 추정방향에 따라 Forward 추정 방식과 Forward, Backward 양방향 추정방식을 나타내고 있다. 기본적으로 가장 신뢰성이 있는 Forward의 홀수번째 time slot에서만 추정을 하는 방법을 취했으나 그림 6. (b)와 같이 홀수번째 time slot에

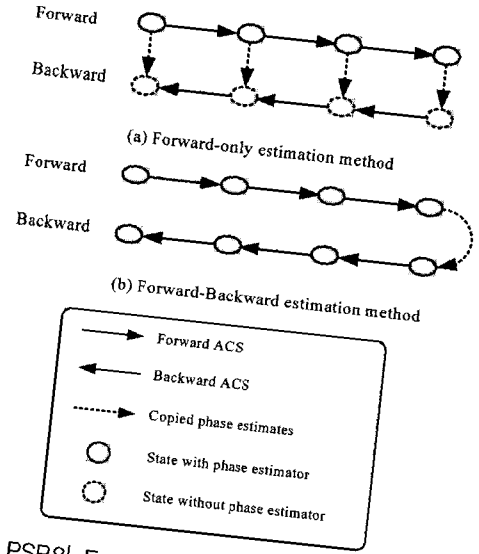


그림 6. PSP의 Forward only 와 Forward-Backward 추정  
Fig. 6. Forward only and Forward-Backward estimation in method of PSP.

대해서 Backward 채널추정을 같이 하면 채널 상태가 나쁠수록 더 강한 성능을 보이는 것으로 나타났다.

#### 나. Binding 기법

PSP의 채널 추정시 발생하는 Forward채널 추정값과 Backward 채널 추정 값의 차이가 클수록 채널의 값이 제대로 추정된 것이 아닐 확률이 크다는 것을 적용한 알고리즘이다. SISO에서 LAPPR값을 계산할 때에 추가적으로 Forward 채널추정 값과 Backward채널추정 값의 차이를 묶어준 다음 식(16)과 같이 b(Binding coefficient)를 곱하여 LAPPR값에 더해 준다.

$$b = \frac{(1-\beta)}{1-(1-\beta)^2} \tag{16}$$

위와 같은 bind 계수값 b는 [8]을 참조하였다.

### III. 성능 평가

#### 1. 시뮬레이션 조건

시뮬레이션 조건으로 3GPP터보부호를 사용하였으며 code rate 은 1/2로 고정하였고 변조방식은 QPSK를 사용하였다. 입력 블록 크기는 424bit로 고정하였다.

#### 2. 오차 모델

기본적으로 위상 오차모델( $\theta$ )은 크게 위상오차( $\psi_c$ ,  $\psi_b$ )와 위상 잡음( $\phi$ )으로 나누어서 모델링하였다. 고정 위상 오차에 위상 잡음이 더해진 모델의 식은

$\theta = \psi_c + \phi$ 과 같이 나타낼 수 있으며 증가하는 위상 오차 모델은  $\theta = \psi_v \times k + \phi$ 과 같이 나타낼 수 있다. 여기서  $k$ 는 time index를 나타낸다. 위상잡음( $\phi$ )은 Winner process를 사용했고 채널의 상태는 AWGN으로 가정하였다.

2. 시뮬레이션 결과

가. 단일 추정기의 ML성능

단일 추정기는 ML방식일 때는 기본적으로  $\theta = \psi_c$ 인 고정적인 위상 오차만 있는 경우에 대해서만 성능을 보였다.

이와 같은 성능결과는 위상오차가 커짐에 따라 위상 추정 및 보정의 중요성이 증가한다는 것을 보여주고 30도 이상의 고정위상 오차에서는 단일 추정기가 정상적으로 동작하지 못했다. 또한 3가지 APP average방식이 유사한 성능을 보여주었다.

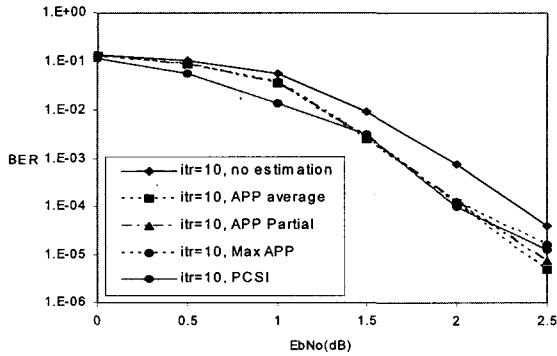


그림 7. ML방식의 단일추정기성능 ( $\psi_c = 10$ 인 경우)  
Fig. 7. Performance of single estimator using ML algorithm when  $\psi_c = 10$ .

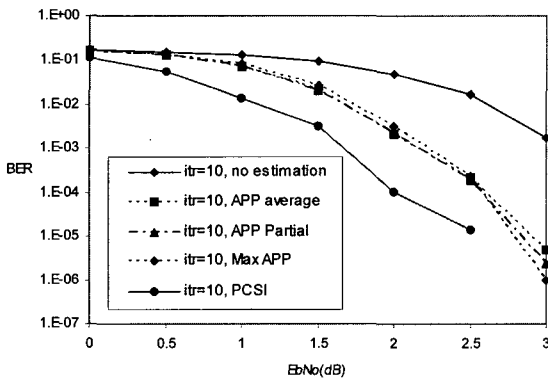


그림 8. ML방식의 단일추정기성능 ( $\psi_c = 20$ 인 경우)  
Fig. 8. Performance of single estimator using ML algorithm when  $\psi_c = 20$ .

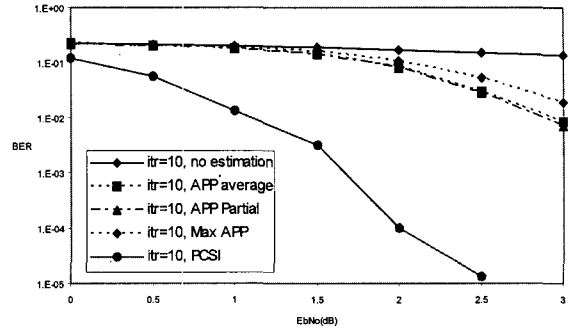


그림 9. ML방식의 단일추정기성능 ( $\psi_c = 30$ 인 경우)  
Fig. 9. Performance of single estimator using ML algorithm when  $\psi_c = 30$ .

나. 단일 추정기와 복수 추정기의 성능

오차 모델 ( $\theta = \psi_v \times k + \phi$ )에서  $\psi_v$ 가 0.1도, 0.2도, 0.36도 이고  $\phi$ 의 분산이 1도, 5도, 10도인 경우에 성능을 비교하였다. 여기서  $\beta$ 값은 0.1로 고정하였다.

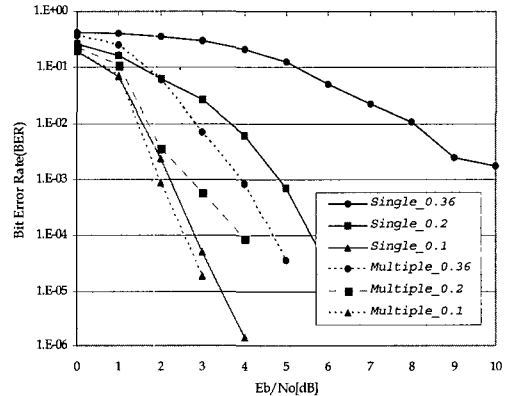


그림 10. 단일추정기와 복수추정기의 성능 ( $\phi=0$ 인 경우)  
Fig. 10. Performance of single and multiple estimator when  $\phi=0$ .

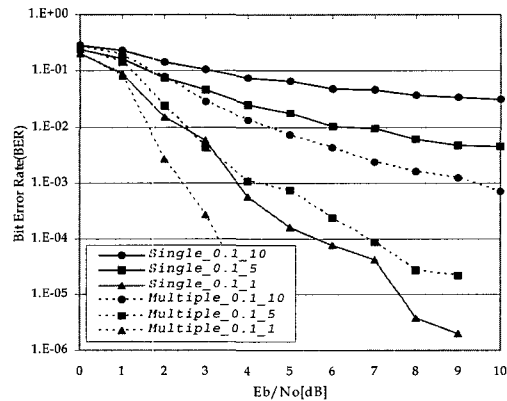


그림 11. 단일추정기와 복수추정기의 성능 ( $\psi_v=0.1$  이고  $\phi = 1,5,10$ 인 경우)  
Fig. 11. Performance of single and multiple estimator when  $\psi_v=0.1$  and  $\phi=1,5,10$ .

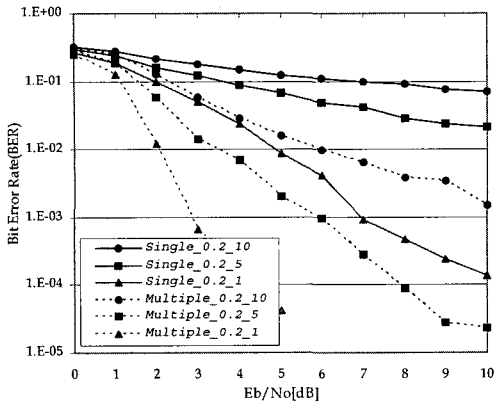


그림 12. 단일추정기와 복수추정기의 성능 ( $\psi_v=0.2$  이고  $\phi=1,5,10$ 인 경우)

Fig. 12. Performance of single and multiple estimator when  $\psi_v=0.2$  and  $\phi=1,5,10$ .

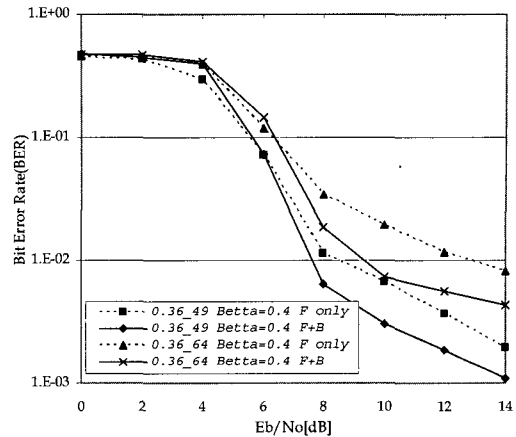


그림 14. F only와 F+B 채널 추정방식 성능비교 ( $\psi_v=0.36$  이고  $\phi=69,64$ 인 경우)

Fig. 14. Performance of F only and F+B when  $\psi_v=0.36$  and  $\phi=1,5,10$ .

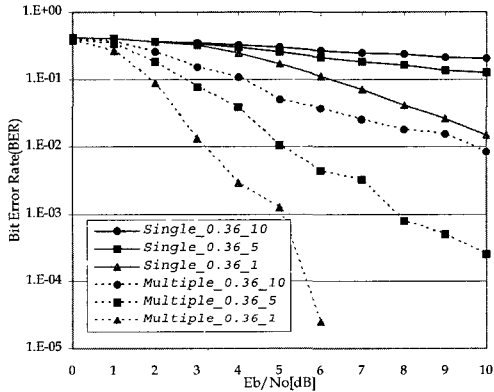


그림 13. 단일추정기와 복수추정기의 성능  $\psi_v=0.36$ ,  $\phi=1,5,10$ 인 경우)

Fig. 13. Performance of single and multiple estimator when  $\psi_v=0.36$ ,  $\phi=1,5,10$ .

위상잡음이 증가하는 경우에 단일추정기보다 복수추정기가 훨씬 우수한 성능을 보이고 위상잡음의 분산이 5도 이상이고 증가하는 위상오차( $\psi_v$ )가 1도/심볼이상인 경우에는 단일추정기는 동작하지 않는 반면 복수추정기는 위상 추정이 가능하다는 것을 보여주었다.

다. 향상된 복수추정기의 성능

다음은 복수 추정기의 제안된 2가지 알고리즘에 대해 성능을 비교한 것이다. Backward 채널추정 방식에 따라서 세 가지 형태로 구분된다. Forward 채널추정 값을 저장하였다가 그대로 사용하는 방식 (F only), Backward 채널추정을 하되 그 초기값은 기본적으로 위상오차와 위상잡음을 정확하게 알고 있다는 가정하는 방식 (F+B), Branch metric 계산시에 Forward 채널추정 값과 Backward채널추정 값 사이의 차이를 고려하는

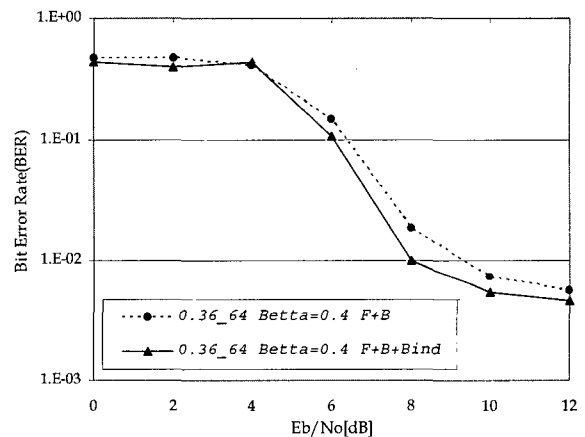


그림 15. F+B과 F+B+Bind 채널 추정방식 성능비교 ( $\psi_v=0.36$  이고  $\phi=49$ 인 경우)

Fig. 15. performance of F only and F+B when  $\psi_v=0.36$  and  $\phi=49$ .

방식 (F+B+bind)이다.  $\beta$ 값은 0.4로 고정하고 성능비교를 하였다.

F+B방식이 F only방식보다 높은 SNR에서 성능차이를 나타낸다. 또한 위상잡음 및 위상오차가 증가함에 따라 LMS algorithm의  $\beta$ (stepsize)를 증가하여야 성능을 얻을 수 있었다.

Binding의 효과는 미미하지만  $10^{-2}$ 에서 약 1dB 성능이득을 보였다. SCCC의 경우와는 다르게 PCCC의 경우에는 Binding의 효과가 크지 못했다. 짝수 번째마다 U\_SISO와 L\_SISO로 수신 값이 나누어짐으로써 채널추정의 신뢰도가 SCCC에 비하여 떨어지기 때문이다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 DVB-RCS을 위한 터보복호시스템에서 단일 추정기와 PSP방식의 복수 추정방식의 성능을 알아보았고 성능을 비교분석한 결과 모든 위상 오차모델 및 위상잡음에서 복수 추정기가 우수한 성능을 나타내었다. 또한 채널의 상태가 나쁠수록 Forward only 채널추정 방식보다 Bi-directional 채널추정 방식이 더 좋은 성능을 보이는 것을 알 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

- [1] ETSI EN 301 790, Digital Video Broadcasting (DVB): Interaction channel for satellite distribution systems, V1.2.2, Dec. 2002.
- [2] C. Berrou and A. Glavieux, "Near-optimum error-correcting coding and decoding: turbo codes," IEEE Trans. Commun., vol. 44, pp.1261-1271, Oct. 1996.
- [3] Vincenzo Lottici and Marco Luise, "Embedding Carrier Phase Recovery Into Iterative Decoding of Turbo-Coded Linear Modulations," IEEE trans. On Communications, vol. 52, no. 4, April. 2004.
- [4] Jun Heo and Keith M. Chugg, "Adaptive Iterative Detection for Turbo codes on Flat Fading Channels," WCNC 2000-IEEE Wireless Communications and Networking Conference, no. 1, September 2000, pp. 134-139
- [5] Achilleas Anastasopoulos and Keith M. Chugg, "Adaptive iterative detection for turbo codes with carrier phase uncertainty," GLOBECOM 1999-IEEE Global Telecommunications Conference, no. 1, December 1999, pp. 2369-2374.
- [6] B. Sklar, "A primer on turbo code concepts," IEEE Commun, Mag., pp.94-102, Dec. 1997
- [7] R. Raheli, A. Polydoros, and C. Tzou, "Per-survivor processing: A general approach to MLSE in uncertain environments," IEEE Trans. Commun., vol. 43, pp.354-364, Feb./Mar./Apr. 1995.
- [8] A. Anastasopoulos and K. M. Chugg, "Adaptive soft-input soft-output algorithms for iterative detection with parametric uncertainty," IEEE Trans. Commun., vol. 48, no. 10, pp. 1638-1649, Oct. 2000.

#### 저 자 소 개



류 중 곤(학생회원)  
2005년 건국대학교  
전자공학과 학사 졸업.  
2006년 건국대학교  
전자공학과 석사 재학중.  
<주관심분야 : 통신시스템, 채널  
코딩, 채널추정>



허 준(정회원)  
1989년 서울대학교  
전자공학과 학사 졸업.  
1991년 서울대학교  
전자공학과 석사 졸업.  
2002년 미국 USC  
전자공학과 박사 졸업.  
<주관심분야 : 통신시스템, 채널코딩, MIMO>