

# DVB-RCS 터보코드 기반의 반복 위상 추정 기법

류중곤, 허준, 김판수\*, 오덕길\*, 이호진\*  
건국대학교 전자공학과  
한국전자통신연구원 광역무선기술연구그룹\*

## Iterative Phase Estimation based on Turbo Code for DVB-RCS systems

Joong-Gon Ryu, Jun Heo, Pansoo Kim\*, Deock-Gil Oh\*, and Ho-Jin Lee\*

Electronic Engineering Department, Konkuk University

\*Global Wireless Technology Research Group, ETRI

E-mail : jgryu@konkuk.ac.kr, junheo@konkuk.ac.kr, \*pskim@etri.re.kr

### Abstract

In this paper, we introduce the efficient carrier phase estimating algorithm collaborate with the channel decoder of turbo coded QPSK modulation for mobile DVB-RCS systems. At low SNR, the phase estimation using soft information of turbo decoder is able to improve power efficiency because of achieving the good synchronization. We investigate performance of external single estimator and internal multiple estimator in the PSP (Per Survivor Processing) manner over AWGN channel. For phase estimation, the LMS (Least Mean Square) scheme is considered. Three different APP-based methods are also proposed.

### I. 서론

위성통신 시스템은 일반적으로 다운링크의 데이터 용량이 크다는 이점으로 활용 범위가 점차 늘어가는 실정이다. 더불어 최근 위성을 이용한 방송이나 인터넷 서비스 등의 다양한 어플리케이션이 발전해 오면서 위성으로의 업링크 채널의 확대가 요구되고 있다 (DVB-RCS : Digital Video Broadcasting - Return Channel via Satellite)[1]. 하지만 일반 사용자의 단말기는 지름이 작

은 안테나를 사용하므로 업링크시 신호의 SNR 이 상대적으로 작을 수 밖에 없다. 또한 RF 증폭기의 성능이 바로 가격과 직결되므로 위성을 통한 쌍방향 멀티미디어 시스템을 전개하기 위해서는 파워의 효율성을 높이는 것이 관건이다.

따라서 낮은 SNR 환경에서도 탁월한 성능을 보이는 터보코드와 같은 오류 정정부호의 사용이 필요하다. 이런 터보코드의 성능을 얻기 위해서는 받은 신호의 동기를 맞춰주는 것이 중요하다. DVB-RCS 규격에서의 Training data 또는 preamble 의 사용은 채널의 상태를 어느 정도 예측할 수 있게 해주지만 preamble 의 길이가 동적으로 변하는 채널의 상태를 알아내기에는 충분하지 않기 때문에 반복적인 채널 추정이 필요하다. 본 논문에서는 터보코드를 이용한 시스템에서의 반복 위상 추정 방식으로 단일 추정기와 복수개의 추정기 PSP (Per Survivor Processing) 두 가지 형태의 위상 추정기에 대해서 성능을 비교한다. 또한 터보 복호에서 추출된 확률 정보를 이용하여 전송된 심벌을 정하는데 있어서 3 가지 방식을 제안한다.

### II. 터보코드와 확률정보

터보코드는 1990 년대 중반에 Berrou 와 Glaviux[2]

본 논문은 정보통신부 지원하에 수행중인 “이동형 광대역 위성전송핵심기술개발” 과제 결과의 일부임을 밝히고 지원에 감사드립니다.

에 의해 처음 소개 되었으며 Shannon Capacity 에 근접하는 탁월한 성능으로 현재에도 여러 분야의 무선 통신 시스템에서 쓰이고 있다. 또한 파라미터의 추정기법에서도 터보코드를 이용하는 방식이 다양하게 연구되고 있다[3]-[5]. 본 논문에서는 터보코드의 복호기 내부의 SISO (soft input soft output) 블록에서 나오는 soft information 값으로 캐리어의 위상을 추정하는 기법을 사용하고 있다.

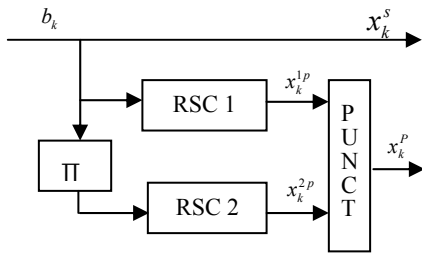


그림 1. 터보 부호기 구조

그림 1 은 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 RSC 를 거치면  $x_k^{1p}$ ,  $x_k^{2p}$  (parity check bit)로 부호화되고 puncturing 을 통해 선택된  $x_k^p$  와  $x_k^s$  (systematic bit)이 codeword 가 된다. 이와 같은 puncturing 블록을 통해 터보 복호기의 code rate 을 1/2 로 맞추었다.

외부 추정기의 사용시 위상의 보정은 터보 복호기에서 나오는 확률정보를 이용하여 반복적으로 위상을 보정하게 된다. 이 확률정보는 반복 복호과정에서 MAP detection 를 적용하기 위한 BCJR(Bahl-Cocke-Jelinek-Raviv)알고리즘[6]을 이용하여 다음과 같이  $k$  번째 정보 비트  $b_k$  에 대한 LAPPR(log a posterior probability ratio)로 계산할 수 있다.

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

여기서  $r$  은 수신기가 채널로부터 받은 값이다. 터보부호의 반복복호 과정에서 LAPPR 값을 extrinsic information 으로 사용한다는 것이 핵심이다. 이 extrinsic information 을 사용하여 단일 추정기에서의 전송된 심벌의 평균을 예측할 수 있고 그 심벌의 평균값으로 위상을 추정할 수 있다.

### III. 터보코드 시스템에서의 반복 위상 추정 알고리즘

#### 3.1 단일 추정 방식

단일 추정방식으로 터보 복호기 외부에 추정기를 두어 터보 복호기에서 나오는 extrinsic information(APP), 확률 정보를 가지고 보내진 심벌의 위상을 추정하여 받은 심벌을 보정하는 방식을 사용하였다.

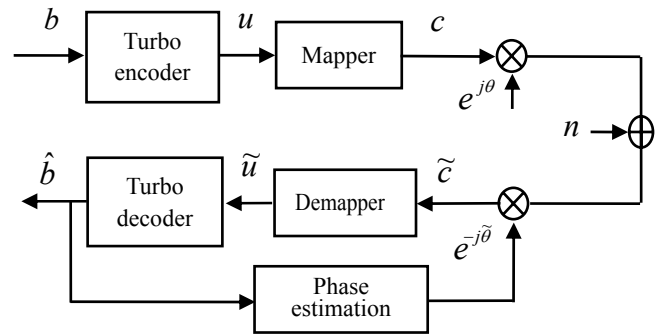


그림 2. 단일 추정기를 이용한 시스템 전송구조

그림 2 는 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.

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

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

단일 추정기의 위상 보정 알고리즘으로는 LMS (least mean square) 방식을 사용하였으며 LMS 식은 다음과 같다.

$$\hat{g}_{k+1} = \hat{g}_k + \beta(r_k - \hat{g}_k \alpha) \alpha^* \quad (3)$$

$\hat{g}_k$  는  $k$  번째 위상  $\hat{\theta}_k$  를 지수함수( $e^{j\hat{\theta}_k}$ )로 표현한 것으로  $k$  번째의 위상 값을 알면 recursive 하게 그 다음 단계의 위상 값을 추정할 수 있다. 여기서  $\beta$  는 스텝사이므로 4 장의 시뮬레이션 결과에서는  $\beta$  값으로 0.1 을 사용하였다.  $\alpha$  는  $c_k$  의 APP average 값을 나타내고 이 값을 구하기 위해서 터보복호기로부터 나오는 LAPPR

값을 이용하게 된다.  $\alpha$  를 구하는 과정에서 다음과 같은 3 가지 방식을 제안한다.

**APP all average (Soft decision feedback) :** 터보 복호기의  $SO_e(C_n)$  을 바탕으로  $C_n$  의 평균값을 구하는 방식으로 평균값을 구하는데 있어서  $SO_e(C_n)$  의 negative exponential function 을 취한 값으로 계산한다.

$$E(C) = C_n = \sum_{n=0}^{L-1} P(C_n) C_n = \sum_{n=0}^{L-1} \frac{e^{-SO_e(C_n)}}{\sum_{m=0}^{L-1} e^{-SO_e(z_m)}} C_n \quad (4)$$

여기서 분모는 정규화시키기 위한 부분이다.

**APP partial average :** APP all average 와 대조적으로 심벌의 평균값을 구하는데 있어서 모든 soft information 를 사용하지 않고 N 개의 변조된 심벌들 중에서 가장 관련이 있는 n 개의 soft information 만 취하는 방식이다. 그 후 선택된 APP 전체의 확률을 1로 정규화 한다.

**Maximum APP selection :** 가장 확률이 높은 soft information 값만 취하는 방식으로 APP partial average 방식의 n 이 1 일 때와 같다.

### 3.2 복수의 추정 방식

터보 복호기 내부의 Trellis 를 구성하는 각 상태마다 각각 추정기를 구성하고 survivor path 에 대하여 이전 상태에 저장된 파라미터 추정값을 바탕으로 새롭게 보정된 파라미터 값을 구하는 구조로서 PSP (Per Survivor Processing)[7]로 불리어 지는 방식이다.

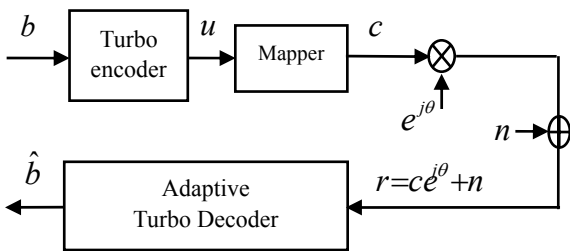


그림 3. 복수의 추정기를 이용한 시스템 전송구조

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

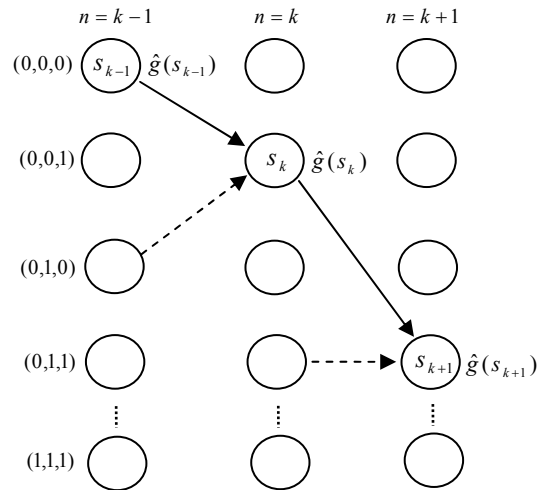


그림 4. PSP 채널 추정방식

그림 4 는 PSP 의 채널 추정 방식을 Trellis 에서 간략하게 나타낸 것이다.  $s_k$  는 각 스테이트값을 나타낸다. PSP 의 추정방식에서 각 상태에서의 위상의 추정은 Viterbi 알고리즘인 ACS (Add Compare Selectioin) 방식을 이용하여 선택되어진 path 의 이전 위상을 바탕으로 현 상태의 위상을 추정하게 된다.

$$\hat{g}_{k+1} = \hat{g}_k + \beta(r_k - \hat{g}_k c) c^* \quad (5)$$

위의 식은 단일 추정기의 LMS 식과 같으나 PSP 는 모든 survivor path 에 대해서 LMS 식을 사용하므로 APP average  $\alpha$  값을 사용하지 않고 각 path 에 해당하는 심벌값  $c$  을 넣어서 계산한다.

## IV. 시뮬레이션 결과

단일 추정방식 (LMS) 과 복수의 추정방식 (PSP-LMS) 을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 성능을 비교하였다. 시뮬레이션 조건으로 터보 복호기 (code rate=1/2)를 사용하였고 변조방식은 QPSK 을 사용하였다. 입력 블록 크기는 424bit 로 고정하였다. 변조된 한 심벌에 대해서 위상이 각각 0.1 도/심벌, 0.2 도/심벌, 0.36 도/심벌 씩 증가하는 위상 오차 모델에서의 두 가지 추정방식의 성능을 비교하였다. 또한 위의 위상오차 모델에 분산이 각각 1 도, 5 도, 10 도인 위상 잡음을 추가하여 성능을 비교하였다. 위상잡음으로는 Winner process 를 사용했고 채널의 상태는 AWGN 으로 가정하였다

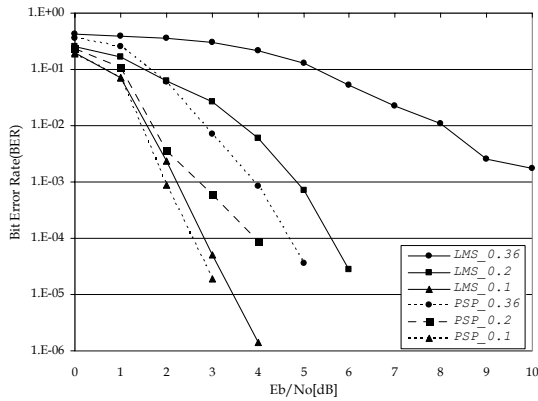


그림 5. 위상 잡음이 없는 경우

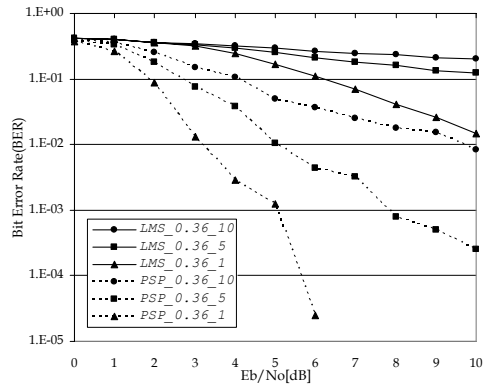


그림 8. 위상 0.36 도씩 증가 + 위상잡음 (분산 1,5,10 인 경우)

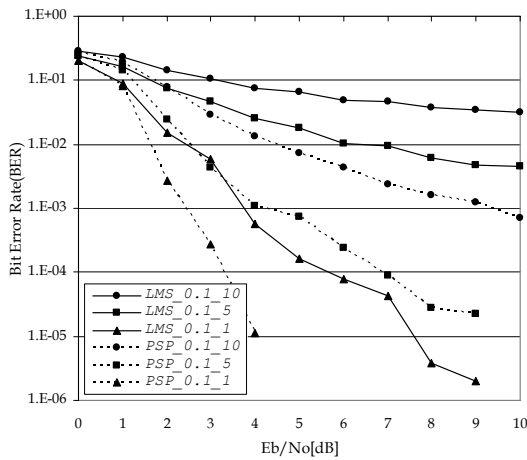


그림 6. 위상 0.1 도씩 증가 + 위상잡음 (분산 1,5,10 인 경우)

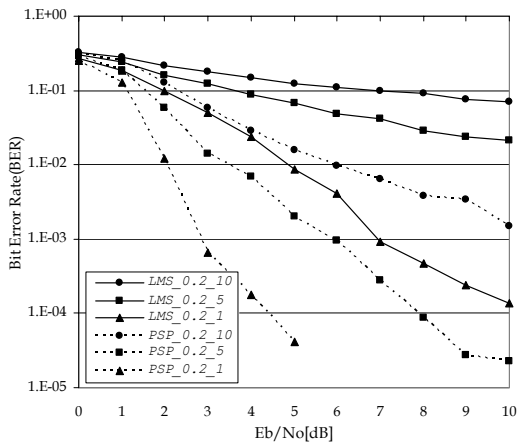


그림 7. 위상 0.2 도씩 증가 + 위상잡음 (분산 1,5,10 인 경우)

LMS 을 이용한 단일 추정 방식으로는 0.36 도/심벌 의 위상오차모델에서는 위상잡음이 없는 경우에서도 정상 적으로 동작하지 않았으나 PSP 방식은 0.36 도는 물론 위상잡음의 분산이 10 도가 아닌 영역에서는 모든 위상 오차 모델에 대하여 우수한 성능을 나타내었다.

## V. 결론

본 논문에서는 DVB-RCS 을 위한 터보복호시스템 에서 LMS 방식을 사용하여 단일 추정기와 PSP 방식의 복수 추정방식의 성능을 비교하였다. 복수개의 추정기를 사용하는 PSP 방식이 모든 위상오차모델 및 위상잡 음에서 훨씬 우수한 성능을 나타내었다.

## 참고문헌

- [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.