

## 광대역 무선가입자망용 16-QAM 복조기 설계

김 남 일\*, 김 응 배\*, 이 창 석\*\*

\*한국전자통신연구원 무선방송기술연구소, \*\*고려대학교 전자공학과

전화 : 042-860-1279 / 팩스 : 042-860-5495

### 16-QAM Demodulator Design of Broadband Wireless Local Loop

Nam-Il Kim\*, Eung-Bae Kim\*, Chang-Suk Lee\*\*

\*Radio & Broadcasting Technology Lab, ETRI, \*\*Dept of Electronics, Korea Univ.

E-mail : namilk@etri.re.kr

#### Abstract

This paper has been studied the design of 16-QAM demodulator used in broadband wireless local loop subscriber station. In B-WLL systems, transmission signal experience the inter symbol interference(ISI) due to multipath, frequency offset of RF/IF local oscillator and phase offset.

In this paper, we discuss the effective data recovery algorithm for 16-QAM demodulator to compensate the distorted signal from ISI, frequency offset and phase offset.

#### I. 서론

본 논문은 24~28GHz대의 준밀리미터파를 사용하는 광대역무선통신 시스템의 하향채널 16-QAM 변복조기의 설계 및 구현에 관하여 논의한다. 광대역 무선가입자망의 하향 채널의 대역폭은 국내 TTA 표준에 따르면 10/20/40 MHz 이며 QPSK 와 16-QAM의 변조 방식을 이용한다. 준밀리미터파 대역을 이용한 고정통신시스템인 광대역 무선가입자망에서 전송 신호는 다중경로에 의한 심볼간 간섭(ISI : InterSymbol Interference)과 RF/IF 모듈의 국부 발진기의 주파수 오프셋, 단말기 모델의 반송파 오프셋에 의하여 왜곡되며, 이러한 왜곡된 신호를 효율적으로 복원하기 위한 알고

리즘이 다각적으로 연구되고 있다.

본 논문에서는 심볼 타이밍 복원 및 반송파 복원, 다중경로에 의하여 발생된 심볼간 간섭(ISI)등을 보상하여 효율적으로 데이터를 복원하는 16-QAM 모델 복조 알고리즘의 설계 및 구현에 관하여 논의한다.

#### II. B-WLL 하향링크 변복조 구조

##### 2.1 하향링크 16-QAM 변조기 구조

B-WLL 기지국 장치 송신부의 16-QAM 변조기는 FEC로부터 입력된 데이터를 16-QAM 신호로 사상한 후 I,Q 신호로 분리하여 roll-off factor(a) 가 0.15 ~ 0.35인 파형 성형 필터를 거친후  $\cos(n\omega_0 t) / \sin(n\omega_0 t)$  의 반송파를 이용하여 통과대역으로 주파수 천이하고 두 신호를 더하여 DAC (Digital to Analog Converter)를 통과시킨후 IF 단으로 전송한다. 이에 대한 그림을 아래에 도시하였다.

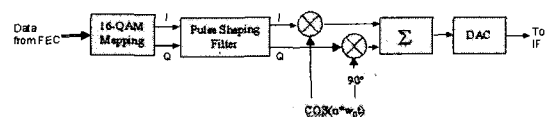


그림 1. B-WLL 하향채널 변복조부

### 2.2 하향링크 16-QAM 복조기 구조

B-WLL 가입자 장치의 수신기 복조부는 IF 단으로부터 입력된 신호를 복조하여 채널 디코딩부로 전송한다. 하향링크 16-QAM 복조기의 구성도를 아래 그림2에 도시하였다.

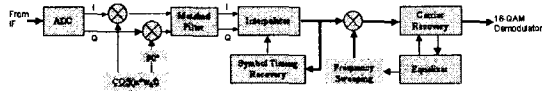


그림 2. B-WLL 하향채널 복조부

수신된 신호는  $\cos(n\pi w_0 T)/\sin(n\pi w_0 T)$ 를 이용하여 반송파 신호를 제거하고 I/Q 신호로 분리하여 정합 필터를 통과시키고, 타이밍 복원기 및 반송파 복원기, 등화기, 주파수 스위핑을 이용하여 무선 채널 통과시 왜곡된 신호의 오차를 보상하여 신호를 복원한다.

## III. 복조 알고리즘

### 3.1 정합 필터

복조부에 사용되는 정합 필터는 변조부의 성형 필터의 기능을 한다. SQRC 필터의 B-WLL 단말기 모델에 사용될 정합 필터의 임펄스 응답은 아래 수식으로 표현된다.

$$h(t) = \frac{4\alpha}{\pi\sqrt{T}} \cdot \frac{\cos((1+\alpha)\pi/T) + T \sin((1-\alpha)\pi/T)/(4\alpha)}{1-(4\alpha/T)^2} \quad (1)$$

### 3.2 심볼 타이밍 복원기

심볼 타이밍 복원은 그림 2의 보간기(Interpolator)와 타이밍 에러 검출기를 이용한다. 보간기는 다음과 같은 특성의 필터를 사용하였다.

$$p(t) = \frac{\sin(\pi/T) \cdot \cos(\alpha\pi/T)}{\pi/T \cdot 1-(2\alpha/T)^2} \quad (2)$$

타이밍 에러를 검출하기 위한 알고리즘으로는 Non Decision Directed Gardner 알고리즘이 사용된다. 검출되는 타이밍 에러의 수식적 표현은 다음과 같다.

$$e(n) = \text{Re} \left\{ Z_{n-1/2} \left( Z_n^* - Z_{n-1}^* \right) \right\} \quad (3)$$

위 수식에서 입력 신호의 부호만을 이용하여 다음 그림과 같은 타이밍 에러 검출기를 구현하였다.

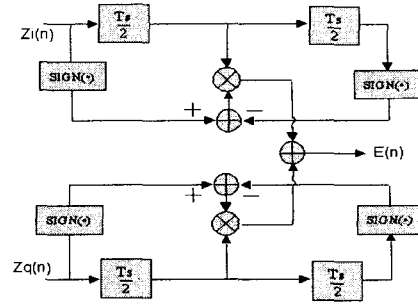


그림 3. 심볼 타이밍 에러 검출기

### 3.3 등화기 내장형 반송파 복원기

광대역 무선 가입자망의 가입자 장치의 RF/IF 모듈은 20 PPM의 주파수 옵셋 성분과 다중경로에 의한 심볼간 간섭 및 위상 오차에 의하여 수신신호가 왜곡된다. 따라서 효율적인 데이터 복원을 위하여 위상 오차와 다중경로에 기인한 심볼간 간섭을 동시에 제거할 수 있는 등화기 내장형 반송파 복원기를 구현하였다.

#### 3.3.1 반송파 복원(Carrier Recovery)

반송파 복원부는 무선 채널을 통과한 수신 신호의 주파수 옵셋과 위상 옵셋을 보상에 준다. B-WLL 시스템은 주파수 옵셋 양이 크기 때문에 주파수 옵셋을 보상하기 위하여 일정한 양의 스텝 크기( $\Delta f$ ) 만큼 주파수가 변화하는 주파수 스위핑 기능을 이용한다. 그러나 효율적인 주파수 스위핑을 위하여 반송파 복원기에서  $\Delta f$ 의 주파수 옵셋을 보상한다.

먼저 위상을 검출하기 위한 일반적인 디지털 PLL 구조를 이용한 반송파 복원기를 살펴보면 그림 4와 같다.

그림 4에서 반송파 복원기는 위상 오차 검출기와 2차 루프 필터, 디지털 주파수 합성기로 구성된다. 위상 오차 검출기는 수신된 신호와 디지털 주파수 합성기의 출력 신호를 곱한 신호  $Z_k$ 를 수신하고,  $Z_k$ 를 16-QAM 신호 정상도에 따라 결정하고, 이 결정된 신호의 크기를 표준화 한 신호  $\hat{d}_k$ 와  $Z_k$ 를 이용하여 위상 차이를 계산한다. 위에서 기술된 위상 오차는 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \text{Im} \left\{ \hat{d}_k^* Z_k \right\} / |\hat{d}_k|^2 &= \text{Im} \left\{ \alpha \hat{d}_k e^{j\theta} \hat{d}_k^* / |\hat{d}_k|^2 \right\} \\ &= \text{Im} \left\{ \alpha e^{j\theta} / |\hat{d}_k|^2 \right\} / |\hat{d}_k|^2 \\ &= \alpha \text{Im} \left\{ e^{j\theta} \right\} \cong \alpha \theta \end{aligned} \quad (4)$$

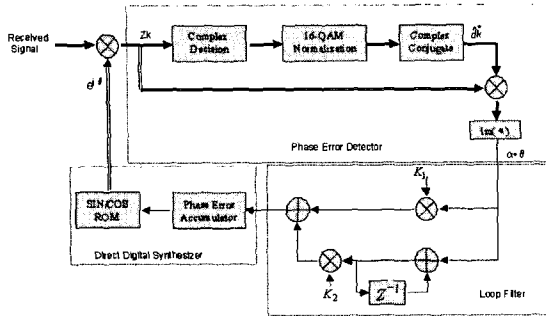


그림 4. 디지털 반송과 복원기 구조

### 3.3.2 이중모드 등화기

다중경로 및 대역 제한 필터에 의한 심볼 간 간섭 (ISI)에 의해 발생된 신호 왜곡을 보상하기 위하여 FIR 필터 구조를 가지며 필터의 계수가 입력 신호에 따라 갱신되는 적응 등화기(adaptive equalizer)를 이용한다. 여기서 등화기 탭 계수 갱신은 등화기 출력에 대한 오차를 이용한 LMS 알고리즘을 이용한다.

채널이 왜곡된 초기 시점에서는 빠른 수렴을 위하여 수렴 특성이 우수한 블라인드 등화 알고리즘을 이용하고, 정상 상태에서는 오차의 크기를 최소한으로 줄여 주는 결정 지향 알고리즘을 이용한 이중모드 등화기를 구현하였다.

이중 모드 등화기의 구조는 NCLMS(Non Canonical LMS) 적응 알고리즘을 이용하여 가중치를 갱신하는 FIR 필터부, 결정지향 모드 오차 계산부, 블라인드 모드 오차 계산부, 이중모드 선택부 등으로 구성되며 그림 5에 구성도를 도시하였다.

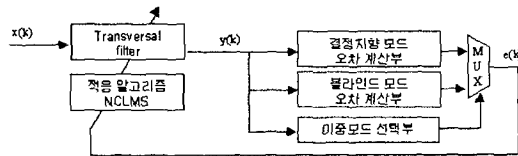


그림 5. 이중모드 등화기 구성도

다중경로 채널을 경유한 수신신호  $x(k)$ 는 다음으로 주어진다.

$$x(k) = u(k) + n(k) = \sum_{i=0}^{M-1} h(i)a(k-i) + n(k) \quad (5)$$

여기서 입력 데이터 열  $a(k)$ 는 평균이 0, 분산이  $E[|a(k)|^2]$ 인 독립 균일분포(independent, identically distributed : i.i.d)의 랜덤 변수이고,  $n(k)$ 는 백색 가우시안 잡음으로 평균이 0, 분산이  $E[|n(k)|^2] = \sigma^2$ 이며, 입력 데이터 열  $a(k)$ 와 통계적으로 독립으로 가정한다.

다.  $h(k)$ 는 등가 기저대역 채널 임펄스 응답으로 길이는  $M$ 으로 주어진다.

등화기의 임펄스 응답을  $W(k)$ 라 하면 등화기의 출력  $y(k)$ 는 아래와 같다.

$$y(k) = X^T(k)W(k) \quad (6)$$

$$, \text{ 여기서 } W(k) = [w_0(k), w_1(k), \dots, w_{M-1}(k)]^T$$

결정지향모드 또는 블라인드 모드 오차 계산부에서는 등화기의 출력신호를 이용하여 오차  $e(k)$ 를 계산하고, 이 오차  $e(k)$ 와 입력 데이터  $x(k)$ 를 LMS 알고리즘을 이용하여 등화기 탭 계수를 갱신한다.

$$W(k+1) = W(k) + \mu \alpha(k) e^*(k) \quad (7)$$

여기서 오차  $e(k)$ 는 결정지향 모드에서 아래와 같다.

$$e(k) = \hat{d}(k) - y(k) \quad (8)$$

,  $\hat{d}(k)$ 는 등화기 출력신호  $y(k)$ 의 16-QAM의 신호 점에 따라 결정된 데이터 심볼이다.

또한 블라인드 모드에서 오차  $e(k)$ 는 다음과 같다.

$$e(k) = e_R(k) + je_I(k) \quad (9)$$

$$e_R(k) = y_R(k) (R_{2,R} - |y_R(k)|^2) \\ e_I(k) = y_I(k) (R_{2,I} - |y_I(k)|^2) \quad (10)$$

위 식 (10)의  $R_{2,R}$  및  $R_{2,I}$ 는 정상상태를 고려하여 결정되는 상수로서, 이는 채널이 완전히 등화되었을 때 탭 계수 벡터에 대한 코스트 함수의 평균 gradient 가 0이 되도록 정해진다.

$$R_2 = \frac{E[|a(k)|^4]}{E[|a(k)|^2]^2} \quad (11)$$

### 3.3.3 등화기 내장형 반송과 복원기

본 논문에서는 위상 오차, 주파수 오프셋, 심볼간 간섭을 동시에 효율적으로 보상하기 위하여 등화기 내장형 반송과 복원기를 설계하고 분석하였다. 제안된 알고리즘의 구성도를 아래 그림 6에 도시하였다.

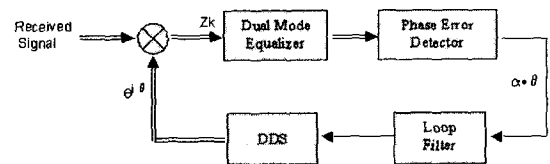


그림 6. 제안된 반송과 복원기 구조도

수신된 신호는 반송과 복원기에 입력되고 반송과 복원기에서 수신신호  $r(k)$ 와 디지털 주파수 합성기의 출력  $e^{j\theta}$ 를 곱한 신호  $Z_k$ 는 이중모드 등화기에 입력된다.

위상오차 검출기는 등화기의 출력신호를 이용하여 위상 오차를 계산한다. 따라서 등화기를 통하여 다중경로에 의한 심볼간 간섭(ISI)에 의한 심볼 오류를 보상한 신호의 위상 오차를 PLL을 통하여 보상한다.

#### IV. 시뮬레이션 및 성능분석

본 논문에서 구현된 16-QAM 변복조기의 성능을 평가하기 위하여 SPW를 이용하였다.

시뮬레이션을 위한 구성도는 아래 그림 7와 같다.

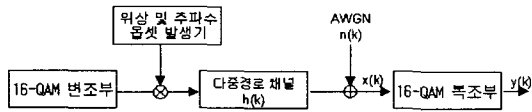


그림 7. 시뮬레이션 구성도

제안된 구조의 시뮬레이션을 위하여 위상 옵셋 45°, 주파수 옵셋 0.001 Hz/Symbol 을 주고 다중경로 채널 및 SNR 20dB 의 백색 가우시안 채널을 통과시킨후 데이터 복원을 수행하였다. 이용된 다중채널은 아래와 같다.

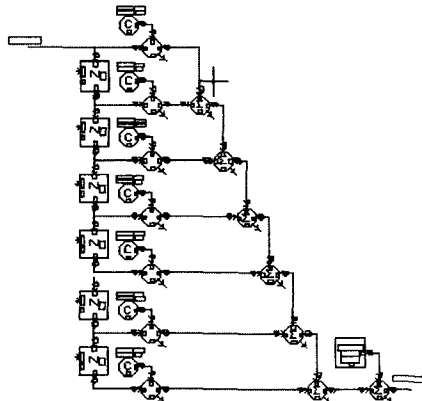
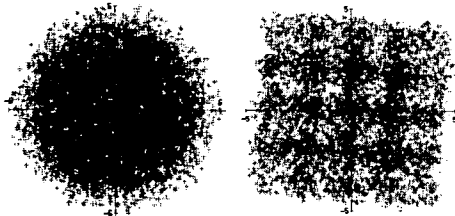
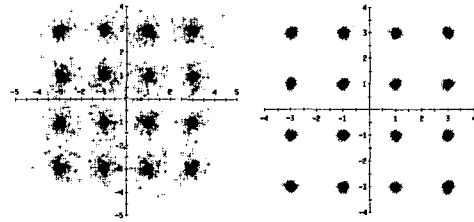


그림 8. 다중경로 채널

다음 그림 9에서는 16-QAM 신호의 채널통과후 복조기 각 부분의 신호 성상도를 보여준다.



(a) 채널 통과후 신호 (b) 반송파 복원기 출력



(c) 등화기 출력 (d) 16-QAM 복조기출력

그림 9. 16-QAM 신호 성상도

#### V. 결론

본 논문에서는 광대역 무선가입자망의 가입자 단말기의 16-QAM 신호의 복조를 위한 알고리즘을 제안하고 그 성능을 시뮬레이션을 통하여 살펴보았다.

시뮬레이션을 통한 성능은 다중경로 채널과 백색 가우시안 채널을 통과 시킨후 주파수 옵셋 및 위상 오차가 존재시 효율적으로 데이터를 복원하였다. 본 구조를 이용하여 광대역 무선가입자망 기지국 송신기의 변조부 및 가입자 단말장치의 수신기 복조부를 설계중이며 ASIC 칩으로 구현할 예정이다.

#### 참고문헌

- 1 김웅배, 김성조, 정인명, 광대역 무선가입자망 시스템 개요 및 기술동향, 대한전자공학회지, 제26권 5호, 1999
- 2 K.N. Oh, Modified Constant Modulus Algorithm: Blind Equalization and Carrier Phase Recovery Algorithm, in *Proc, 1995 IEEE Int. Conf. Commun.*, Seattle, WA, June 1995, vol. 1, pp. 498-502.
- 3 Simon Haykin, *Adaptive Filter Theory*, Prentice Hall International Editions, 1996.
- 4 J.G. Proakis, *Digital Communications*, 3rd Ed., McGraw-Hill, 1995
- 5 W.S. Gan, J.J. Soraghan, R.W. Stewart, T.S. Durrani, The Non-Canonical LMS Algorithm(NCLMS): Characteristics and Analysis, in *Proc. ICASSP*, 1991, pp.2137-2140.
- 6 Vijitha Weerackody, Saleem A. Kassam, Dual-Mode Type Algorithms for Blind Equalization, *IEEE Trans. On Comm.*, Vol. 42, No. 1, January 1994.