[5C-12]

디지털 위상 변조 방식에서 간단한 동시 채널 추정 알고리듬

홍 대기, 강 성진, 주민철, 김용성, 조 진웅
전자부품연구원 무선PAN기술사업단
hongdk@keti.re.kr

Low-Complexity Joint Channel Estimation Algorithms for Digital Phase Shift Keying

Dae-Ki Hong, Sun-Jin Kang, Min-Chul Ju, Young-Sung Kim, Jin-Woong Cho
Korea Electronics Technology Institute, Wireless PAN Technology Project Office

요 약

본 논문에서는 주파수 옵셋 및 반송파 위상을 간단히 동시에 추정하기 위한 세 가지 알고리듬(low-complexity joint estimation algorithms : LJEAs)을 제안한다. 제안된 LJEA들의 핵심은 수신 신호의 주파수 및 위상 스펙트럼에서 주엽의 상관값을 이용하여 내분점을 기초로 보간한 후 주파수 옵셋 및 반송파 위상을 추정하되 주파수 옵셋을 먼저 추정하고 추정된 주파수 옵셋을 이용하여 반송파 위상을 동시에 추정하는 것이다. 제안된 LJEA들은 추정 범위($\Delta f_d \times T_s$)가 $1/2N_s$ 혹은 $1/N_s$보다 작으며 이는 기존 알고리듬의 추정 범위와 비슷하다. 그러나 LJEA들은 오직 $2N_s$ 또는 $4N_s$의 복소 곱셈만이 필요하므로 기존 알고리듬에 비해서 매우 간단하다. 그럼에도 불구하고 LJEA들의 추정 성능은 기존 알고리듬의 성능보다도 우수함을 알 수 있다. 제안된 LJEA들은 위성 통신 시스템과 같은 버스트 모드 디지털 전송을 하는 시스템에서 주파수 옵셋 및 반송파 위상을 동시에 추정하기 위해 사용될 수 있다.

I. 서론

참고문헌 [1]에서는 주파수 옵셋과 반송파 위상을 추정함에 있어서 최소 자승 방식의 동시 추정 알고리듬을 제안한 바가 있다. 그러나 제안되었던 동시 개략 추정 알고리듬은 실제 구현에 적용될 수 있을 정도로 충분히 정확하지는 않다. 이는 불연속적인 주파수 샘플의 개수가 이산 푸리에 변환의 분해능을 현저히 제한하기 때문이다[3]. 이에 따라 참고문헌 [3]에서는 DFT의 분해능을 개선하기 위해 DFT의 크기를 증가시키지 않는 주파수 및 위상의 보간 알고리듬이 제안되었다. 제안되었던 알고리듬은 다음과 같다. 완벽한 심볼 타이밍을 가정할 때 M진 위상 변조 버스트내의 샘플열은 다음과 같이 모델링 될 수 있다.

$$r_n = e^{j\theta_n} e^{j(2\pi n f_d T_s + \phi)} + z_n,\ \text{단}\ n = 0, 1, \cdots, N_s - 1 \tag{1}$$

여기서 θ_n은 $0, 2\pi/M, \cdots, (M-1)2\pi/M$ 중 하나의 값을 가지는 전송 샘플의 위상이다. f_d는 주파수 옵셋이며, T_s는 심볼 주기이다. ϕ는 반송파 위상이다. z_n은 가산성 백색 가우시안 잡음이고 N_s는 버스트의 길이이다. 이때 데이터 비보조(non-data-aided: NDA) 추정을 위한 주파수 옵셋과 반송파 위상 추정 값은 다음과 같이 주어진다[3].

$$\hat{f} = \frac{\hat{\xi} + \Delta\xi}{MT_sN_s} = \frac{1}{MT_sN_s}\left\{\hat{\xi} + \frac{|\psi(\hat{\xi}+1)|}{|\psi(\hat{\xi})| + |\psi(\hat{\xi}+1)|}\right\} \tag{2}$$

$$\hat{\phi} = \frac{\hat{\hat{\chi}}(\hat{\xi})}{M} = \frac{(1-\Delta\xi)\{\hat{\chi}(\hat{\xi})\} + \Delta\xi\{\hat{\chi}(\hat{\xi}+1)\}}{M} \tag{3}$$

개략적인 주파수 옵셋 추정 값 $\hat{\xi}\,(0, 1, 2, \cdots, N_s - 1)$과 M배 곱해진 위상 추정 값 $\hat{\chi}(\hat{\xi})$ $(-\pi \le \hat{\chi}(\hat{\xi}) \le \pi)$은 아래의 최적화 문제를 풀어냄으로서 얻어질 수 있다.

$$(\hat{\xi}, \hat{\chi}) = \arg\left\{\min_{(k,c)} \sum_{n=0}^{N_s-1} \left|(r_n)^M - ce^{j2\pi kn/N_s}\right|^2\right\} \tag{4}$$

위 식으로부터 최소 자승 오류를 최소화하는 첫 번째 해 $\hat{\xi}$는 아래의 방정식을 만족하는 k값으로 주어진다[3].

$$\frac{d}{dk}|\psi(k)|^2 = 0 \tag{5}$$

두 번째 해 $\hat{\chi}(\hat{\xi})$는 다음과 같이 주어진다.

$$\hat{\chi}(\hat{\xi}) = \angle(\psi(k)|_{k=\hat{\xi}}) \tag{6}$$

이때[1)]

$$\psi(k) = \sum_{n=0}^{N_s-1} (r_n)^M e^{-j2\pi kn/N_s} = \begin{cases} e^{j(\pi(N_s-1)(k-\xi) + M\phi)} \dfrac{\sin(\pi(k-\xi))}{\sin(\pi(k-\xi)/N_s)} & \text{for } 0 \le k \le N_s - 1 \\ 0 & \text{for } otherwise \end{cases} \tag{7}$$

이다. 채널상에서 발생한 주파수 옵셋ξ은 $Mf_dT_sN_s$과 같다. 위 식에서 Discrete Fourier Transform(DFT)의 결과는 sinc 함수가 아니다. 이것은 DFT의 크기가 한정되어 있으므로 주파수 영역 상에서 왜곡이 발생했기 때문이다. 만일 $(k-\xi) << N_s/\pi$을 가정할 경우 다음과 같이 sinc 함수를 포함한 식으로 유도될 수 있다.

1) 단 설명의 편의를 위해 잡음 및 간섭은 없다고 가정하였다.