

논문 2009-46TC-8-2

# 직접 대역 확산 시스템을 위한 톤 간섭 제거 알고리즘

## ( Tone Interference Cancellation Algorithm for Direct-Sequence Spread-Spectrum Systems )

이용욱\*, 강동훈\*, 박효배\*, 오왕록\*\*

( Yongwook Lee, Donghoon Kang, Hyobae Park, and Wangrok Oh )

### 요약

본 논문에서는 직접 대역 확산(direct-sequence spreading spectrum) 시스템을 위한 주파수 영역 톤 간섭 (tone interference) 제거 알고리즘을 제안한다. 기존에 제안된 주파수 영역 톤 간섭 제거 기법들에서는 FFT (Fast Fourier Transform)를 이용하여 수신 신호를 주파수 영역 신호로 전환한 다음 간섭 신호를 제거하고 그 결과로 얻어진 주파수 영역 신호를 IFFT (inverse FFT)를 이용하여 시간 영역 신호로 변환한 후 나머지 수신 과정을 수행한다. 본 논문에서 제안하는 간섭 신호 제거 기법은 주파수 영역으로 변환된 수신 신호에서 간섭 신호에 해당하는 주파수 영역 신호만을 추출하고 그 추출된 신호에 대한 시간 영역 신호를 생성하여 수신 신호에서 제거하는 방법을 사용한다. 따라서 기존의 주파수 영역 간섭 제거 기법들에서 요구되는 IFFT 수행에 필요한 하드웨어 복잡도 (hardware complexity)를 크게 줄일 수 있는 장점이 있다.

### Abstract

In this paper, we propose a frequency-domain tone interference cancellation algorithm for direct-sequence spread spectrum systems. In the previously proposed frequency-domain interference cancellation algorithms, the interference signal is estimated and compensated in the frequency-domain and then, with IFFT (inverse Fourier transform), the compensated frequency-domain signal is transformed to the time domain signal for the remaining receiver operations. Unlike the previous works, the proposed algorithm does not require IFFT and thus, the proposed algorithm not only shows the virtually identical performance but also requires lower hardware complexity compared to the previous works.

**Keywords:** direct-sequence spread spectrum, tone interference cancellation, fast Fourier transform

### I. 서론

대역 확산 통신시스템(spread spectrum communication system)의 대표적인 특징 중 하나는 확산 이득으로 인하여 간섭 신호에 강인함을 보이는 점이다. 대역 확산 시스템은 고유의 처리 이득(processing gain)으로 인하여 일정 수준 이하의 전력(power)을 가지는 간섭 신호에 강인한 특성을 보이나 간섭 신호의 전력이 대역 확산으로 얻을 수 있는 처리 이득 한계를 넘어서는 경우에는 간섭 신호로 인하여 성능 저하를 겪게 된다.

이와 같이 처리 이득으로 간섭 신호의 영향을 제거할 수 없는 경우에는 간섭 신호 제거를 위한 추가적인 기법의 도입이 필수적이다. 이러한 이유로 직접 대역 확산 시스템을 위한 다양한 톤 (tone) 간섭 제거 기법들이 활발히 제안되고 있다<sup>[1~8]</sup>.

참고문헌 [1~2]에서는 시간 영역 간섭 신호 추정 여파기를 이용하여 과거 수신 신호로부터 현재 수신 신호에 대한 간섭 신호를 추정하고 이를 제거하는 기법을 제안하였다. 간섭 신호가 존재할 경우 여파기의 계수들은 수신 신호의 평균제곱오차(mean squared error)를 최소화하도록 조정되며 이를 통하여 간섭 신호를 제거한다. 따라서 간섭 신호를 제거하는 과정에서 원 신호의 왜곡이 발생하는 문제점이 있다. 참고문헌 [3]에서는 참고문헌 [1~2]에서 제안된 간섭 신호 추정 기법을 개

\* 학생회원, \*\* 정회원, 충남대학교  
 (Department of Electronics and Computer  
 Engineering, Chungnam National University)  
 접수일자: 2009년3월19일, 수정완료일: 2009년8월8일

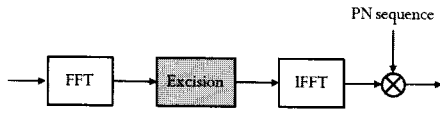


그림 1. 기존의 주파수 영역 톤 간섭 제거 알고리즘  
 Fig. 1. Conventional frequency-domain tone interference cancellation algorithm.

선한 방안이 제안되었다. 간섭 신호 추정 시점 이전 신호들만을 사용하는 대신 간섭 신호 추정 시점 이후의 수신 신호를 같이 사용함으로써 정적인 (static) 간섭 신호가 존재할 경우 하드웨어 복잡도를 낮출 수 있는 장점이 있다. 그러나 이 역시 간섭 신호를 제거하기 위한 여파기로 인하여 원 신호의 왜곡이 발생하는 문제점을 지니며 추가적인 수신 신호를 메모리에 저장해야 하는 문제가 발생한다. 참고문헌 [4~8]에서는 변환영역 처리기법(transform domain processing)을 바탕으로 주파수 영역에서 간섭 신호를 추정하고 제거하는 기법들을 제안하였다. 그림 1에서 볼 수 있는 것과 같이 FFT(Fast Fourier Transform)를 통하여 수신 신호를 주파수 영역으로 변환한 후 간섭 신호에 해당하는 주파수 성분을 노치 필터(notch filter)를 이용하여 제거한다<sup>[6]</sup>. 이렇게 간섭이 제거된 신호를 다시 IFFT(inverse FFT)를 통하여 시간영역으로 변환한 다음 나머지 수신 과정을 수행한다. 이와 같은 기법들은 간섭 신호 추정 및 제거과정에서 비교적 하드웨어 복잡도가 높은 FFT 및 IFFT 과정이 필요하여 간섭 신호 추정 및 제거에 높은 하드웨어 복잡도가 요구되는 단점이 있다.

참고문헌 [7]에서는 기존에 제안된 주파수 영역 간섭 신호 제거 기법들을 위한 간섭 신호 검출 최적화에 대한 방안을 제안하고 있으며 참고문헌 [8]에서는 주파수 영역 간섭 제거 기법에서 간섭 신호 제거 과정 중 발생하는 원 신호 왜곡을 최소화하기 위하여 변형된 DFT (discrete Fourier transform)를 사용하는 방안을 제시하고 있다.

앞에서 기술한 바와 같이 참고문헌 [4~8]에서 제안하는 방식들은 FFT를 통하여 수신 신호를 주파수 영역으로 전환한 다음 톤 간섭 신호에 의하여 왜곡된 것으로 추정되는 주파수 성분들에 대하여 적절한 신호 처리를 수행하고 난 후 그 결과를 다시 IFFT를 통하여 시간 영역 신호로 전환하여 나머지 수신 과정을 수행한다. 따라서 톤 간섭 신호를 추정하고 제거하는 과정에서 FFT 뿐만 아니라 IFFT를 수행하여야 하며 이로 인

하여 비교적 높은 하드웨어 복잡도가 요구된다. 그러나 수신 신호의 주파수 성분들 중 톤 간섭에 의하여 영향을 받지 않은 성분들만을 고려한다면 FFT 이전의 시간 영역 신호와 IFFT를 통하여 변환된 시간 영역 신호에는 차이가 없게 된다.

본 논문에서는 톤 간섭 신호의 추정과 제거를 모두 주파수 영역에서 수행하는 대신 톤 간섭 신호 추정만을 주파수 영역에서 수행하고 추정된 간섭 신호의 주파수 성분들로부터 시간 영역 간섭 신호를 추정하고 이를 수신 신호로부터 제거하는 기법을 제안한다. 이와 같은 기법을 사용함으로써 기존 기법들에서 요구되는 IFFT를 수행하는데 필요한 하드웨어 복잡도를 크게 낮출 수 있다.

이후 본 논문의 구성은 다음과 같다. 제안하는 톤 간섭 제거 기법을 II장에서 상세하게 기술하고 III장에서 모의 실험을 통하여 제안하는 기법의 성능을 보인 다음 IV장에서 결론을 맺는다.

## II. 시스템 모델

본 논문에서 제안하는 톤 간섭 제거 알고리즘의 구조는 그림 2와 같다. 수신 신호는 FFT를 거쳐 주파수 영역으로 변환된 후 간섭 신호 추정 기법을 통하여 수신 신호의 주파수 성분들 중 간섭 신호의 영향을 받은 주파수 성분들을 추출한다. 추출된 간섭 신호의 주파수 성분들을 바탕으로 시간 영역 간섭 추정 신호를 생성하고 이를 수신 신호에서 빼줌으로써 간섭 신호가 제거된 시간 영역 수신 신호를 복원한다. 본 장에서는 제안하는 간섭 신호 검출 및 제거 기법을 기술한다.

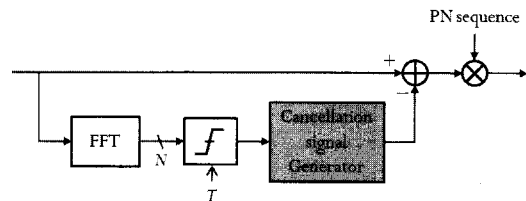


그림 2. 제안하는 톤 간섭 제거 알고리즘의 구조  
 Fig. 2. Proposed tone interference cancellation algorithm.

### 1. 임계값 설정

본 논문에서 제안하는 간섭 신호 검출 기법은 수신 신호에 대한 FFT 결과를 통하여 얻을 수 있는 각각의

주파수 성분들 중 크기가 특정 임계값을 넘을 경우 해당 주파수 성분이 톤 간섭 신호의 영향을 받은 것으로 판단한다. 이를 위하여 각각의 주파수 성분들이 톤 간섭 신호의 영향을 받았는지 여부를 판단하기 위한 임계값 최적화가 필수적이다.

기저대역으로 변환된 후 칩 길이  $T_c$ 로 표본화(sampling)된 수신 신호  $r[i]$ 는 원 확산 대역 신호  $s[i]$ , 톤 간섭 신호  $j[i]$  그리고 전력이  $\sigma_n^2$ 인 열잡음(thermal noise)의 샘플인  $n[i]$ 로 구성된다.

$$r[i] = s[i] + j[i] + n[i] \quad (1)$$

여기에서  $s[i]$ 는  $\pm \sqrt{E_c}$  값을 가지며 톤 간섭 신호는  $j[i] = \sqrt{2E_j} \cos(2\pi fi T_c + \theta)$ 로 쓸 수 있다. 여기서  $E_c$ 와  $E_j$ 는 칩 당 에너지와 간섭 신호의 에너지를 나타내며  $f$ 와  $\theta$ 는 기저대역으로 변환된 톤 간섭 신호의 주파수 및 위상 성분을 각각 나타낸다. 이와 같이 주어진 시간 영역 수신 신호를  $N$ -point FFT를 통하여 주파수 영역 신호  $R[k]$ 로 변환할 수 있으며 이를 식 (2)와 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} R[k] &= S[k] + J[k] + N[k] \\ &= \sum_{i=0}^{N-1} r[i] e^{-j \frac{2\pi}{N} ki}, \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \end{aligned} \quad (2)$$

여기에서  $S[k]$ ,  $J[k]$ ,  $N[k]$ 는 각각  $s[i]$ ,  $j[i]$ ,  $n[i]$ 의  $N$ -point FFT 결과를 나타낸다.

주파수 영역으로 변환된 신호는 설정된 임계값과의 비교를 통하여 톤 간섭 신호의 영향을 받은 주파수 성분인지의 여부를 판단하게 되는데 이러한 임계값 설정을 위하여 신호가 존재하는 대역에 해당하는  $R[k]$ 의 크기의 평균값,  $P_{avg}$ 를 구하는 과정을 거친다.

$$P_{avg} = \frac{1}{M} \left( \sum_{k=0}^{M-1} |R[k]| \right) \quad (3)$$

여기에서  $(M-1)$ 은 원 확산 대역 신호 중 가장 높은 주파수 성분에 해당하는 FFT 출력 인덱스 값을 나타낸다. 이렇게 구해진  $P_{avg}$ 는 임의의 값  $\alpha$ 와 더해진 후 톤 간섭신호 존재 여부를 판단하는 임계값  $T$ 로 설정된다. 이와 같이 구해지는 임계값  $T$ 는 다음의 식 (4)와 같다.

$$T = P_{avg} + \alpha \quad (4)$$

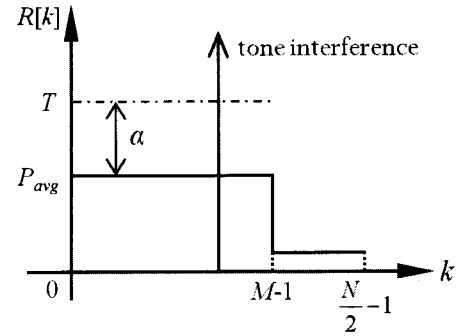


그림 3. 주파수 영역에서의 수신신호

Fig. 3. Received signal in frequency domain.

에서 기술한 임계값 설정 과정을 도식화 하면 그림 3과 같으며 최적의  $T$ 값을 설정하기 위하여 III장에서는 모의 실험을 통하여  $\alpha$ 값에 따른 오경보(false alarm probability) 및 분실확률(missing probability)을 확인하였다.

## 2. 간섭 제거 기법

특정 주파수 성분의 크기가 앞에서 기술한 임계값을 넘어 톤 간섭 신호가 존재한다고 판단된 경우 이를 제거하기 위하여 간섭 신호에 대한 추정 신호를 생성하여야 한다. 기존 연구 결과에서 제안된 기법들과는 달리 본 논문에서 제안하는 기법은 간섭 신호에 해당하는 주파수 성분만을 IFFT 하여 간섭 신호에 대한 시간 영역 신호를 생성한다. 다음의 식 (5)는 앞에서 구한 임계값을 통하여 주파수 영역에서의 간섭 신호를 추정하는 방법을 나타낸다.

$$\hat{J}[k] = \begin{cases} R[k], & |R[k]| > T \\ 0, & |R[k]| \leq T \end{cases}, \quad k = 0, 1, \dots, M-1 \quad (5)$$

이렇게 검출된 주파수 영역의 추정 간섭 신호  $\hat{J}[k]$ 를 이용하여 시간 영역의 추정 간섭 신호  $\hat{j}[i]$ 를 다음의 식 (6)과 같이 생성할 수 있다.

$$\begin{aligned} \hat{j}[i] &= \text{IFFT}\{\hat{J}[k]\} \\ &= \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \hat{J}[k] e^{j \frac{2\pi}{N} ki}, \quad i = 0, 1, \dots, N-1 \end{aligned} \quad (6)$$

만약  $R[k]$ 들 중  $k'$ 번째 인덱스에 해당하는 주파수 성분이 톤 간섭 신호의 영향을 받은 성분이라 가정하면  $\hat{J}[k']$ 을 제외한 모든  $\hat{J}[k]$ 값들은 '0'이므로 위의 식 (6)은 다음의 식 (7)과 같이 간략화될 수 있다.

$$\hat{j}[i] = \text{IFFT}\{\hat{J}[k']\}$$

$$= \frac{R[k']}{N} e^{j\frac{2\pi}{N}k'i}, \quad i = 0, 1, \dots, N-1 \quad (7)$$

따라서 기존에 제안된 주파수 영역 톤 간섭 신호 제거 기법들과 달리 주파수 영역에서의 간섭 신호 추정 결과를 바탕으로 시간 영역 간섭 신호를 생성하는 방법을 사용함으로써 기존 기법들에서 요구되는 IFFT 수행에 필요한 하드웨어 복잡도를 크게 낮출 수 있다. 이렇게 생성된 시간 영역 추정 간섭 신호  $\hat{j}[i]$ 를 시간 영역 수신 신호  $r[i]$ 에서 빼줌으로써 톤 간섭이 제거된 신호인  $\hat{r}[i]$ 를 얻을 수 있다.

$$\hat{r}[i] = s[i] + (j[i] - \hat{j}[i]) + n[i] \quad (8)$$

기존에 제안된 주파수 영역 간섭 신호 검출 및 제거 기법들<sup>[4~8]</sup>은 간섭 신호의 검출 및 제거를 모두 주파수 영역에서 처리함으로써 간섭 신호가 제거된 시간 영역 신호를 복원하기 위하여 복잡도가 높은 IFFT의 사용이 필수적이다. 본 논문에서 제안한 기법은 간섭 신호에 해당하는 주파수 성분들만을 이용하여 시간 영역 간섭 신호를 만들어 내고 이를 수신 신호에서 빼줌으로써 간섭 신호를 제거하는 기법이며 이로 인하여 기존 기법들에 비하여 요구되는 하드웨어 복잡도를 크게 낮출 수 있다.

### III. 모의실험 결과

본 장에서는 전산 실험을 통하여 본 논문에서 제안하는 톤 간섭 검출 및 제거 기법의 성능을 기존에 제안된 주파수 영역 톤 간섭 검출 및 제거 기법들의 성능과 비교한다.

#### 1. 임계값 최적화

주파수 영역으로 변환된 신호들에 대하여 톤 간섭 신호의 영향을 받은 신호인지 여부를 효율적으로 판단하기 위하여 II장에서 기술한 임계값의 최적화가 요구된다. 식 (4)로 표현되는 임계값의 최적화를 위하여  $\alpha$  값에 따른 오경보 및 분실확률에 대한 모의실험을 수행하였다.\*

\* 오경보 및 분실확률 전산 실험 결과를 위하여 각각의  $\alpha$  값에 대하여  $10^6$  번의 독립적인 FFT 결과에 대하여 실험을 수행하였다.

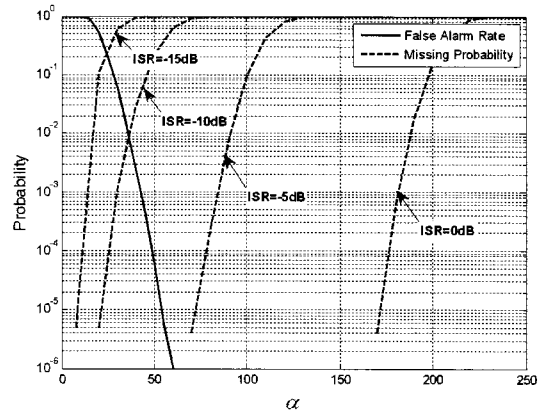


그림 4. SNR=5dB 인 경우 오경보 및 분실 확률  
Fig. 4. False-alarm and missing probabilities for SNR=5dB.

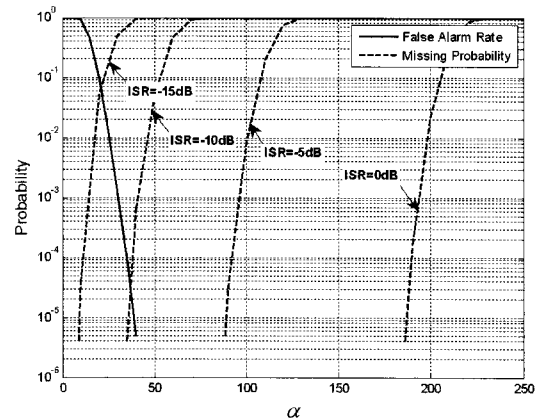


그림 5. SNR=8dB 인 경우 오경보 및 분실 확률  
Fig. 5. False-alarm and missing probabilities for SNR=8dB.

그림 4와 5는 신호대잡음비(signal-to-noise ratio, SNR,  $E_b/\sigma_n^2$ )가 각각 5dB와 8dB일 때 간섭대신호비(interference-to-signal ratio, ISR,  $E_f/E_b$ )와  $\alpha$  값에 따른 오경보 및 분실확률의 모의실험 결과를 나타낸 것이다.” 그림 4와 5에서 관찰할 수 있는 바와 같이 ISR이 낮은 경우에는  $\alpha$  값을 충분히 작게 설정하지 않으면 분실 확률을 낮출 수 없다. 그러나 분실 확률을 낮추기 위하여 작은  $\alpha$  값을 사용할 경우 오경보 확률이 높아지게 되고 이에 따라 성능 저하가 야기될 수 있다. 그러나 일반적으로 FFT 크기가 클수록 오경보로 인한 원 신호의 왜곡 정도는 극히 미미할 것으로 예측할 수 있으며 이를 검증하기 위하여 ISR=-15dB인 경우에 대하여  $\alpha = 15$ 로 설정하여 오경보로 인한 BER 성능 열화정도를 확인하였고 그 결과는 그림 6과 같다. 그림 6에서 확인

\*\* 본 논문에 제시된 전산 실험에 사용된 확산 계수와 FFT 크기는 각각 256을 사용하였으며 변조방식은 BPSK를 가정하였다. 또한  $E_b = 256 \times E_c$ .

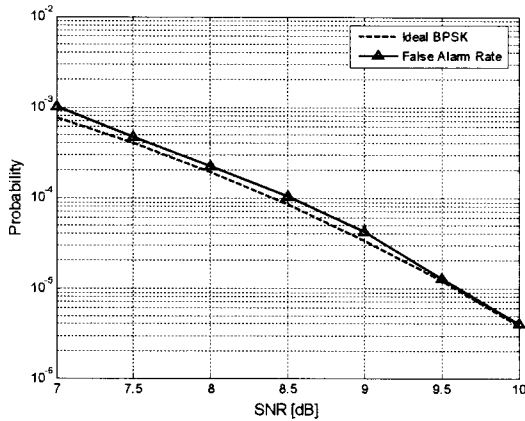


그림 6.  $ISR = -15\text{dB}$ ,  $\alpha = 15$ 인 경우 BER 성능  
 Fig. 6. BER performance for  $ISR = -15\text{dB}$ ,  $\alpha = 15$ .

할 수 있는 바와 같이 오경보 확률이 10% 정도인 경우에도 BER 성능 열화는 미미하므로 임계값 설정에 사용되는  $\alpha$  값을 작게 설정하여 오경보 확률이 높더라도 분실 확률을 낮추는 것이 유리할 것으로 예상되며 이러한 결과를 바탕으로 SNR이 5dB, 8dB인 경우 모두에 대하여  $\alpha$  값을 15로 설정하였다.

2. 시스템 성능

앞에서 도출한  $\alpha$  값을 바탕으로 임계값  $T$ 을 구하고 이를 이용하여 본 논문에서 제안하는 기법의 성능을 기존에 제안된 주파수 영역 톤 간섭 제거 기법들<sup>[4~5]</sup>의 성능과 비교하였으며 그 결과는 그림 7, 8과 같다. 그림 7과 8에서 살펴볼 수 있는 바와 같이 고려한 모든 SNR 및 ISR에서 제안하는 기법의 성능이 기존에 제안된 기법들과 유사하거나 개선된 성능을 보인다.

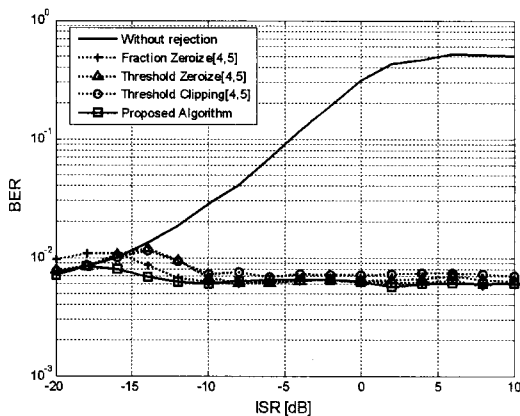


그림 7. SNR = 5dB 인 경우 톤 간섭 제거 알고리즘들의 BER 성능  
 Fig. 7. BER Performance of tone interference cancellation algorithms for SNR = 5dB.

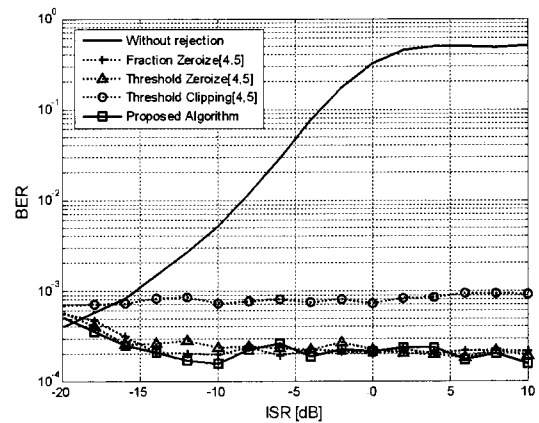


그림 8. SNR = 8dB 인 경우 톤 간섭 제거 알고리즘들의 BER 성능  
 Fig. 8. BER Performance of tone interference cancellation algorithms for SNR = 8dB

IV. 결 론

본 논문에서는 직접 대역 확산 시스템을 위한 주파수 영역 톤 간섭 제거 기법을 제안하였다. 제안한 기법은 기존 기법들과는 달리 간섭 신호 존재 유무만을 주파수 영역에서 판단하고 그 결과를 바탕으로 시간 영역에서 간섭 신호 제거를 수행함으로써 기존 기법들에 비하여 하드웨어 복잡도를 크게 낮출 수 있다. 전산 실험을 통하여 제안하는 기법의 성능을 확인하였으며 이를 통하여 제안하는 기법의 경우 기존에 제안된 기법들에 비하여 하드웨어 복잡도가 낮으면서 기존 기법들과 유사하거나 개선된 성능을 보임을 확인하였다. 또한 제안하는 기법은 약간의 변형을 통하여 단일 톤 간섭뿐만 아니라 다중 톤 간섭의 경우에도 쉽게 적용할 수 있을 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] M. J. Bouvier and Jr., "The Rejection of large CW interference in spread spectrum systems," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 26, pp. 254-256, Feb. 1978.
- [2] H. V. Poor and L. A. Rusch "A promising multiplexing technology for cellular telecommunications: narrowband interference suppression in spread spectrum cdma," *IEEE Pers. Commun.* Third Quarter 1994.
- [3] L. Li and L. B. Milstein, "Rejection of Narrow-

band Interference in PN Spread-Spectrum Systems Using Transversal Filters," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-30, pp. 925-928, May 1982.

[4] J. A. Young and J. S. Lehnert, "Analysis of DFT-based frequency excision algorithms for direct-sequence spread-spectrum communications," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 46, pp. 1076-1087, Aug. 1998.

[5] J. A. Young and J. S. Lehnert, "Performance metrics for windows used in real-time dft-based multiple-tone frequency excision," *IEEE Trans. Signal Process.* vol. 47, No. 3, Mar. 1999.

[6] R. C. Dipietro, "An fft based technique for suppressing narrow-band interference in pn spread-spectrum communication systems," *IEEE International Conference on Acoustics Speech and Signal Processing*, pp. 1360-1363, 1989.

[7] X. Caijie, A. Jianping, G. Yongzheng and W. Aihua, "Improved suppression algorithm of digital narrowband interference in fft domain," *IEEE International Conference on Wireless Comm, Networking and Mobile Computing*, pp. 1036-1039, Sept. 2007.

[8] Y. Wei, G. Bi and G. Li, "Tone interference suppression in DS-SS systems with modified DFT," *Signal Processing*, pp 2817-2824, June 2008.

저 자 소 개



이 용 옥(학생회원)  
 2008년 충남대학교 전기정보통신 공학부 학사.  
 2008년~현재 충남대학교 전자전파정보통신공학과 석사과정

<주관심분야 : 이동통신 시스템, 협력 중계 통신, 항재밍 알고리즘>



박 효 배(학생회원)  
 2009년 충남대학교 전기정보통신 공학부 학사.  
 2009년~현재 충남대학교 전자전파정보통신공학과 석사과정

<주관심분야 : 이동통신 시스템, UWB 시스템, 협력 통신>



강 동 훈(학생회원)  
 2009년 충남대학교 전기정보통신 공학부 학사.  
 2009년~현재 충남대학교 전자전파정보통신공학과 석사과정

<주관심분야 : 채널 코딩, 이동통신 시스템>



오 왕 록(정회원)-교신저자  
 1994년 포항공과대학교 전자전기 공학과 학사  
 1997년 포항공과대학교 정보통신 공학과 석사  
 2003년 포항공과대학교 전자전기 공학과 박사

1994년~1995년 스탠드드텔레콤 연구원  
 2003년~2006년 포항공과대학교 정보통신연구소 전임연구원  
 2006년~현재 충남대학교 전기정보통신공학부 교수

<주관심분야 : 터보 코드, MIMO 시스템, 유무선 디지털 통신>