DBpia

論 文

광대역 통신에서의 연속성 간섭파 제거에 관한 실험

正會員 邊 健 植* 正會員 鄭 基 鎬**

Experiment on the CW Interference Rejection in a Wide-band Communication System

Kun Sik BYON* *and* Ki Ho CHUNG**, *Regular Members*

要 約 본 논문은 광대역 통신 시스템중 특히 직접 확산 스펙트럼 시스템에서, 중심주파수에 연속성 간섭파가 존재할 때 간섭파를 제거하는 회로에 대한 이론적 해석과 실험결과를 제시한다. 이 회로는 연속성 간섭파의 위상을 추정하기 위해 위상추정기를 사용하였으며 추정 에러를 최소화시키기 위해 MSE법을 이용했다. 그러므로 추정에러가 최소화된 제시한 간섭제거회로는 위상추정만을 행한 제거회로보다 성능이 양호하며 실험결과 J/S 비가 높을 수록 제거 성능이 우수함을 확인하였다.

ABSTRACT This paper presents theoretical analysis and experimental results on an improved interference rejection circuit in the presence of continuous wave interference at center frequency, particularly in a wide-band communication systems. This circuit is based upon a phase locked loop for estimating the CW interference phase and the MSE technique to minimize the estimation error. Therefore, the introduced rejection circuit that minimized the estimated phase error outperforms the rejection circuit with phase estimation only. As a result of experiment, we confirm that this proposed rejection circuit gives a high degree of interference rejection performances when the input J/S is large.

1. 서 론

스펙트럼 확산 통신시스템은 그의 고유 처리이득때문에 상대적으로 높은 간섭제거능력을 가진다. 그러나 연속성 간섭파에 대한 시스템 성능을 개선시키기 위해 부가적으로 간섭제거회로가 필요하다[1]. 1975년 B. Widrow 등은 적응성잡음소거기[2]를 발표하였으며 이는 combiner를 이용하여 잡음을 소거하였으나 확산통신에는 이용하지 못하였다. 그후 1977년에 A. M. Kowalski 는 적응성 여파기를 사용한 적응성 선형 combiner[3]를 발표하였으며 1978년에 적응성 array 를 이용한 간섭제거회로[4]를 B. Widrow 가 확산통신에 적용하였다. 같은 해 F. M. Hsu와 Giordano 는 Wiener알고리즘에 의해 계수가 결정되는 예측

* 東亞大學校 電子工學科
Dept. of Electronics Engineering, Dong A University, Pusan, 608 Korea.
** 嶺南大學校 電子工學科
Dept. of Electronics Engineering, Yeung Nam University, Kyung San, 632 Korea.
論文番號 : 86 - 22 (接受 1986. 5. 29)

www.dbpia.co.kr

에러여파기[5]를 이용하여 확산통신에서의 간섭제거회로에 이용하였고 또한 Bouvier[6]는 처음으로 위상추정기를 사용하여 간섭파의 위상과 진폭을 추정하였다. 그러나 Bouvier의 논문은 위상추정기를 이용하여 위상을 추정하였으나 위상에러를 최소화시킬 수 없었기 때문에 사실상 위상에러가 존재하여 이 오차가 존재한 신호를 이용한 간섭파 추정에는 역시 오차가 존재하여 결국 중심주파수에서의 연속성 간섭파의 추정값은 정확하지 않아 간섭제거능력에는 문제점이 있었다. 본 논문은 Bouvier의 논문에서 이용한 위상추정기 출력에 B. Widrow[2]가 제안한 2개의 위상 combiner를 결합시킨 후 MSE(Mean Square Error)를 이용하여 위상에러를 최소화시켰으며 회로구성을 실험적으로 제작하여 실험을 통해 J/S 비에 따른 간섭제거능력을 확인하였다.

2. MSE를 이용한 간섭제거회로

위상추정만을 행한 Bouvier의 회로[6]는 위상추정기의 위상에러를 최소화시키지 않았기 때문에 이를 이용한 간섭파의 추정에는 에러가 발생하여 성능이 나쁘게 된다. 위상에러를 최소화시키기 위해 2개의 위상 combiner를 사용한 간섭제거회로는 그림 1과 같다[6]

위상추정기는 연속성 간섭파의 위상을 추정하기 위한 것이며 2의 증폭기 아래의 승산기와 저역통과여파기는 연속성 간섭파의 진폭을 추정하기 위한 것이다[6] 위상추정기 출력과 저역통과 여파기출력의 곱은 연속성 간섭파의 추정치 X_D를 나타내며 위상추정기에 의해 만들어진 추정위상에러와 진폭에러때문에 X_D는 정확하지 않다. 그래서 성능을 개선시키기 위해 두개의 combiner

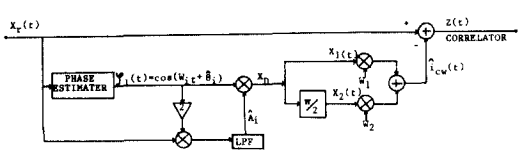


그림 1 위상combiner를 사용한 간섭제거회로
Interference rejection circuit using phase combiner.

를 사용하여 첫번째 추정시의 진폭과 위상을 조정함으로써 더욱 정확한 추정값이 얻어진다.

각 지로에 인가된 무게 W_1, W_2는 연속성 간섭파와 그의 추정값 사이의 MSE를 최소가 되도록 조정한다. 연속성 간섭파의 정확한 추정값 $\hat{i}_{cw}(t)$는 결국 수신기에서 상관처리되기 전에 입력신호에서 빼진다. 그림 1에서 연속성 간섭파가 존재할 때 시스템이 동작한다면 잡음을 고려하지 않았을 때 수신기 입력 $Xr(t)$는 식(1)과 같다[6].

$$Xr(t) = S_{ss}(t) + i_{cw}(t) \tag{1}$$

$$i_{cw}(t) = A_i \cos(\omega_i t + \theta_i) \tag{2}$$

여기서 $S_{ss}(t)$는 전력 S_R, 중심주파수 f_0, 대역폭 BW_{ss}를 갖는 수신 스펙트럼 확산신호이고, $i_{cw}(t)$는 진폭 A_i, 각주파수 ω_i, 위상 θ_i를 갖는 전력 $I_R = A_i^2/2$의 수신 연속성 간섭신호이다. 간섭대신호비(J/S)가 클 때의 수신신호는 단일주파수를 중심으로한 큰 전력의 간섭신호와 넓은 주파수에 걸쳐 확산되어 있는 낮은 전력의 스펙트럼 확산신호로 구성되어 있다. 그러므로 간섭파를 추적하는 협대역회로는 간섭파를 추정하는 가장 적합한 회로가 될 것이다[1]. 이러한 추정은 수신기에서 상관처리하기 전에 간섭파를 제거시키는데 사용할 수 있다. 그림 1에서 위상추정기가 lock 되었을 때 추정기 출력신호는 다음과 같다[6].

$$\varphi_1(t) = \cos(\omega_i t + \theta_i) \tag{3}$$

또한 지로 신호 $X_1(t)$, $X_2(t)$는 각각

$$X_1(t) = \hat{A}_i \cos(\omega_i t + \hat{\theta}_i) \tag{4}$$

$$X_2(t) = \hat{A}_i \sin(\omega_i t + \hat{\theta}_i) \tag{5}$$

이 된다. 즉 연속성 간섭파 $i_{cw}(t)$의 추정값 $\hat{i}_{cw}(t)$는

$$\begin{aligned}\hat{i}_{cw}(t) &= W_1 X_1 + W_2 X_2 \\ &= \hat{A}_i X[W_1 \cos(\omega_i t + \hat{\theta}_i) + W_2 \sin(\omega_i t + \hat{\theta}_i)]\end{aligned} \tag{6}$$

www.dbpia.co.kr

이고 연속성 간섭파 제거회로 출력 Z(t)는

$$Z(t)=X_r(t)-\hat{i}_{cw}(t)$$
$$=S_{ss}(t)+i_{cw}(t)-\hat{i}_{cw}(t) \quad (7)$$

최적의 W_1과 W_2값을 구하기 위해 자승 평균하면

$$E[Z^2]=E[S_{ss}^2(t)]+E[(i_{cw}-\hat{i}_{cw})^2]$$
$$+2E[S_{ss}(t)\,(i_{cw}-\hat{i}_{cw})] \quad (8)$$

스펙트럼 신호 $S_{ss}(t)$는 간섭파 $i_{cw}(t)$와 그의 추정치 $\hat{i}_{cw}(t)$에 상관관계가 없다고 하면 Z^2의 평균치는 식(9)가 된다.

$$E[Z^2]=E[S_{ss}^2(t)]+E[(i_{cw}-\hat{i}_{cw})^2]$$
$$=E[S_{ss}^2(t)]+E[\varepsilon^2(t)] \quad (9)$$

$$\varepsilon(t)=i_{cw}-\hat{i}_{cw}=Z(t)-S_{ss}(t) \quad (10)$$

신호전력 $E[S_{ss}^2(t)]$은 간섭제거회로가 $E[Z^2]$이 최소가 되도록 조정한다면 영향을 받지 않을 것이다. 그러므로 MSE $E[\varepsilon^2(t)]$는 동시에 최소가 될 것이다. 간섭파의 추정값 $\hat{i}_{cw}(t)$는 이 때 연속성 간섭파 $i_{cw}(t)$의 최소자승 추정값이 된다. 더욱 간섭제거회로의 출력 Z(t)는 출력전력 $E[Z^2(t)]$를 최소로 할 때 스펙트럼신호 $S_{ss}(t)$의 최소자승 추정값이 된다. 출력에서의 신호가 일정하기 때문에 총 출력전력을 최소로 하는 것은 출력S/N비를 최대로 하게된다. $E[\varepsilon^2(t)]$의 최소화 또는 등가적으로 $E[\varepsilon^2(t)]$의 최소화에 대응하는 무게값 W_1과 W_2는 다음과 같이 결정된다.

간섭제거회로 출력신호 Z(t)는

$$Z(t)=X_r(t)-\hat{i}_{cw}(t)=X_r(t)-[W_1X_1+W_2X_2]$$

이며 이 식을 자승평균하면

$$E[Z^2(t)]=E[X_r^2]+W_1^2E[X_1^2]+W_2^2E[X_2^2]$$
$$+2W_1W_2E[X_1X_2]$$
$$-2W_1E[X_rX_1]-2W_2E[X_rX_2] \quad (11)$$

즉 $E[Z^2(t)]$는 W_1과W_2의 2차함수가 된다. W_1과 W_2에 대해 편미분 함으로서 $E[Z^2]$을 최소화하고 $\overline{X_1X_2}=0$, $\overline{X_1^2}=\overline{X_2^2}$로 표시하면 W_1과 W_2의 최적값은 다음과 같다.

$$W_{1OPt}=(\overline{X_rX_1})\,/\,(\overline{X_1^2})$$
$$W_{2OPt}=(\overline{X_rX_2})\,/\,\overline{X_1^2} \quad (12)$$

최적 조건하에서는 $\overline{Z^2}$은 최소가 되므로

$$\overline{Z_{min}^2}=\overline{X_r^2}-(1/\overline{X_1^2})[\overline{X_rX_1}^2+\overline{X_rX_2}^2] \quad (13)$$

이다. 여기서 $\overline{X_1^2}=\hat{A}_i^2/2$, $\overline{X_r^2}=\overline{S_{ss}^2}+\overline{i_{cw}^2}=\overline{S_{ss}^2}+A_i^2/2$이다.

$$\overline{X_rX_2}=\frac{1}{2}A_i\hat{A}_i\sin(\theta_i-\hat{\theta}_i) \quad (14)$$

$$\overline{X_rX_1}=\frac{1}{2}A_i\hat{A}_i\cos(\theta_i-\hat{\theta}_i) \quad (15)$$

이들을 대입하면

$$\overline{Z_{min}^2}=\overline{S_{ss}^2}+(A_i^2/2)$$
$$-[1/(\hat{A}_i^2/2)]\,(\frac{1}{2}A_i^2\hat{A}_i^2)=\overline{S_{ss}^2} \quad (16)$$

즉 W_1과 W_2가 최적값을 가질 때 연속성 간섭파는 MSE가 0이 됨을 알 수 있다.

W_{1OPt}와 W_{2OPt}를 구하기 위해 $\overline{X_1^2}$, $\overline{X_rX_1}$, $\overline{X_rX_2}$를 계산할 필요가 있다. 만약 φ_1을 위상추정기 출력신호라 하고 φ_1을 $\pi/2$위상 천이한것을 φ_2라 하면 이 때 X_1, X_2, $\hat{i}_{cw}(t)$는 다음과 같다.

$$X_1=\hat{A}_i\varphi_1 \qquad X_2=\hat{A}_i\varphi_2 \quad (17)$$

$$\hat{i}_{cw}(t)=\hat{A}_i\varphi_1W_{1OPt}+\hat{A}_i\varphi_2W_{2OPt} \quad (18)$$

W_{1OPt}, W_{2OPt}를 대입하고 계산하면

$$\hat{i}_{cw}(t)=\varphi_1W'_{1OPt}+\varphi_2W'_{2OPt} \quad (19)$$

www.dbpia.co.kr

여기서 $W'_{1opt}=\hat{A}_t W_{1opt}=2\overline{X_r\varphi_1}$ (20-a)

$W_{2opt}=\hat{A}_t W_{2opt}=2\overline{X_r\varphi_2}$ (20-b)

그러므로 그림 1은 그림 2로 대치된다.

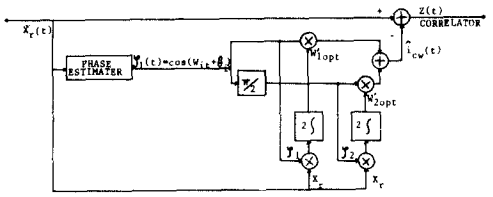


그림 2 개선된 간섭제거회로의 구성도
Block diagram of improvdd interference rejection circuit.

3. 실험 및 고찰

MSE를 이용한 간섭제거회로의 입력신호 $S_{ss}(t)$는 실험제작한 SCPDM을 이용한 직접확산송신기[7]의 출력을 이용하였다. 사용한 의사잡음발생기는 SN7495 6단 shift register이며 이의 전력스펙트럼은 그림 3과 같다. 의사잡음발생기의 Clock신호는 1MHz X-tal을 분주하여 사용하였으며 아나로그 입력신호는 HP3310A Function Gen에서 발생시켰으며 이의 이산성분은 MC4016 아나로그 스위치와 LM318로 구성한 Buffer Amp로 결합하여 구성하였다. 그림 4는 간섭이 없을 때의 간섭제거회로 입력신호의 전력스펙트럼이다.

그림 4에서 0주파수 근처의 peak는 송신기를 간섭제거회로 입력에 연결한 상태에서의 삽음 성분으로 본 논문에서는 고려하지 않았다. 송신기 내부의 MIXER MC1496의 직류성분의 제거는 출력에 오실로스코프를 연결하고 MC1496 외부의 offset 저항을 조정하여 제거시켰다. 실험 중 모든 스펙트럼의 관찰은 TEKTRONIX사의 MODEL 7704A 스펙트럼 아나라이저로 행하였다. 수신부에서의 간섭제거회로는 그림 2를 이용하였으며 위상추정기는 입력되는 중심주파수에서의 연속성 간섭파를 lock시키기 위해 NE565를 사용하였으며 이 NE565는 VCO와 PD가 분리되어 있기 때문에 VCO주파수는 외부적으로 발생시켜 PD와 연결하였다. $\pi/2$ 이상기는 LM 318을 이용하였으며, 적분기는 WAVETEK 사의 MODEL 442 필타BANK를 이용하였고 감산기와 가산기는 LM318로 제작하였다. 또한 승산기는 MC1496을 이용 제작하였으며 제거회로에 혼입되는 중심주파수에서의 연속성 간섭파는 Function Gen에 의해 발생시켰다. 그림 5는 전체 실험 시스템이며 그림 6은 J/S=50dB이고 중심주파수에서의 연속성 간섭파가 수신부에 입력되었을 때 간섭제거회로의 성능을 보인다. 상측은 입력파형이며 중심주파수에 큰 간섭파가 존재하

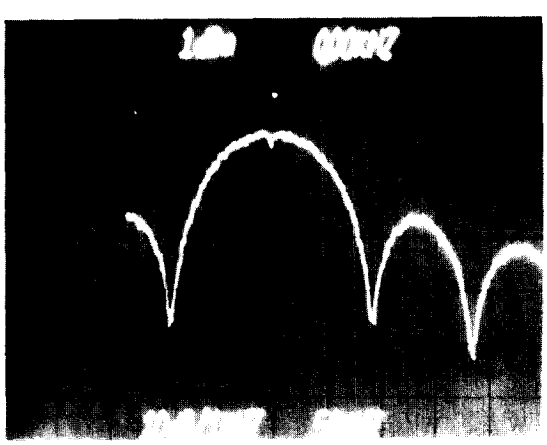


그림 3 PNG의 스펙트럼
Spectrum of PNG.

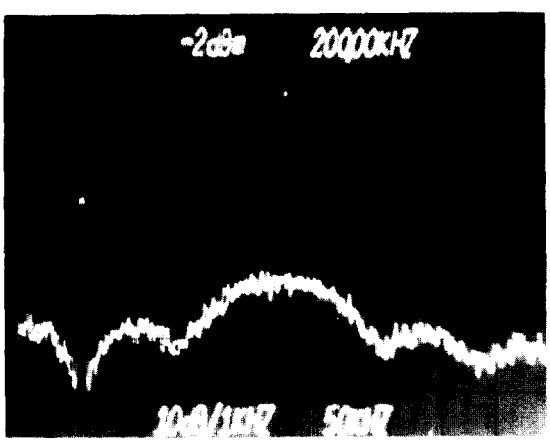
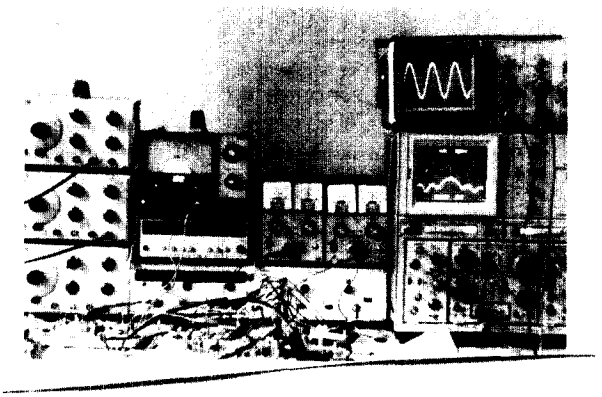


그림 4 간섭제거회로의 입력신호
Input signal of rejection circuit.

www.dbpia.co.kr



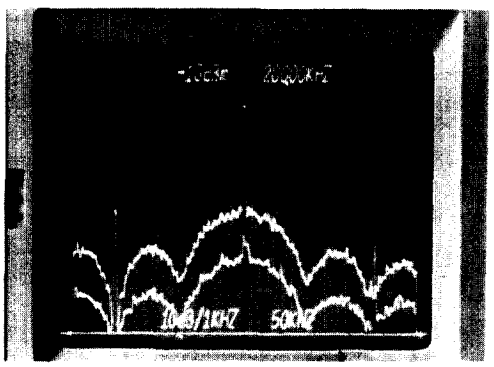


그림 6 간섭제거회로의 성능
Performance of interference rejection circuit.

섭제거량은 표 1에 나타나 있
록 간섭제거량이 많음을 알 수 있다. J/S=50dB 이상으로 할때 사용한 Function Gen HP3310A 에서의 연속성 간섭파는 왜곡을 가지게 되어 그 이상은 실험하지 못하였으며 또한 J/S 비가 낮을 때 위상추정기는 lock되지 않아 본 회로는 J/S 비가 높을 때만 적용된다는 결점이 발견되었다.

표 1 J/S 비에 따른 간섭제거량
Rejection performance VS J/S ratio.

입력J/S 비 (dB)	간섭제거량 (dB)	입력J/S 비 (dB)	간섭제거량 (dB)
10		32	19
12	7.5	34	20
15	9	36	22
18	11	38	24
20	12	40	26
22	14	42	28
24	17	44	30
26	18	46	31
28	18	48	32
30	18	50	32

4. 결 론

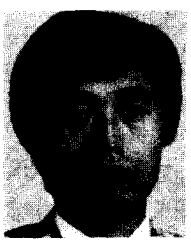
직접확산 스펙트럼 통신에서 가장 유해한 간섭파로 간주되는 중심주파수에서의 연속성 간섭파 제거회로를 구성하는데 있어 MSE를 이용한 최적 무게값을 구하였으며 위상을 추정하는 데 위상추정기를 사용함으로서 정확한 위상 추정을 행하였다. 위상추정기를 사용함으로서 간섭제거 효과가 그림 6에서도 알 수 있듯이 잡음을 무시하였을 때 상당량의 제거가 이루어짐을 알 수 있다. 그러나 J/S 비가 낮을 때 위상추정기가 lock 되기 어려워 참값에 어긋나는 위상을 추정한다는 결점이 있다. 이것은 앞으로 연구할 과제이며 사용한 신호들의 주파수가 높을 때의 회로구성도 생각할 문제이다. 또한 이러한 시스템을 다중접속시켰을 때의 channel 간 잡음에 의한 영향등이 더 연구되어야 할 과제라 사료된다.

參 考 文 獻

(1) Dixon, "Spread spectrum systems", John Willey & Son, NewYork, 1984, chapter 1
(2) B. Widrow, J. R. Glover et al, "Adaptive noise cancelling principle and application", IEEE proc. vol. 63, no. 12, Dec., 1975.
(3) A. M. Kowalski, "Adaptive filter for interference suppression", NTC, 1977, pp. 04-5-1 to 04-5-6
(4) R. T. Comton, "an adaptive array in the spread spectrum communication systems", IEEE proc. vol. 66, no. 3, March 78, pp 289-298

www.dbpia.co.kr

(5) F. M. Hsu and A. A. Giordano, "digital whitening technique for improving spread spectrum communication performance in the presence of narrowband jamming and interference", IEEE Trans. on Commu. vol. Com-26, pp 209-216, Feb, 1978.
(6) M. J. Bouvier, "the rejection of large CW interference in spread spectrum systems", IEEE Trans. Commu, vol. Com-26, no. 2, 1978.
(7) 변건식, 윤성현, "직접확산스펙트럼 시스템의 동기에 관한 연구" 1985년도 추계종합학술대회논문집, vol. 8, no. 2, 대한전자공학회.
(8) George. R. Cooper, Clare. D. McGillem, "modern communication and spread spectrum", 1986 by McGraw-Hill INC.
(9) Don. J. Torrieri, "principle of military communication systems", ARTECH HOUSE INC, 1976, chapter 2
(10) John. W. Ketchen, John. G. Proakis, "adaptive algorithem for estimating and suppressing narrowband interference in PN spread spectrum systems", IEEE Trans. on Commu, vol. Com-25, no. 5, May, 1982.
(11) P. A. Kullstam, "spread spectrum performance analysis in arbitrary interference", IEEE Trans. on Commu, vol. Com-25, no. 8, August, 1977.



邊 健 植(Kun Sik BYON) 正會員
1950年 1月 7日生
1968年 3月～1972年 2月：韓國航空大學 電子工學科卒業(工學士)
1978年 3月～1980年 2月：東亞大學校大學院卒業 (工學碩士)
1980年 3月～現在：東亞大學校電子工學科 助教授
1984年 3月～現在：嶺南大學校大學院 博士過程

www.dbpia.co.kr