

論文98-35S-10-3

협대역 이동통신시스템에서 TTIB를 이용한 페이딩 보상 시스템의 설계 및 구현

(Design and Implementation of a TTIB Fading Compensation Systems for Narrowband Mobile Communication Systems)

李炳魯*, 林永會*, 林東民*

(Byeong-Ro Lee, Young-Hoe Lim, and Dong-Min Lim)

요 약

본 논문에서는 TTIB SSB 방식을 이용한 협대역 이동통신시스템에서 페이딩 보상 시스템의 설계 및 구현에 관한 연구를 수행하였다. 다중경로 페이딩 갖는 이동통신채널은 무선통신시스템의 성능을 필연적으로 제한하게 한다. 이러한 다중경로 페이딩은 TTIB SSB 방식에서 파일럿 톤을 이용하여 보상할 수 있다. DSP (digital signal processor)를 이용하여 TTIB SSB 송·수신기를 구현하였으며 또한 페이딩 보상은 DSP 알고리즘 형태로 수신기에 구현하였다. TTIB SSB 송·수신기에서 페이딩 보상 성능을 평가하기 위하여 먼저 시뮬레이션을 이용하였다. 시뮬레이션의 결과로 TTIB SSB 송·수신기에서 페이딩을 보상할 수 있음을 알 수 있었다. 두 번째로 DSP 보드를 이용하여 TTIB SSB 송·수신기 구현에 대한 실험을 하였고 다음으로 중심 주파수가 145MHz인 RF 회로를 포함하여 실험하였다. 이 실험을 통하여 TTIB SSB 송·수신기에서 페이딩 보상 성능은 시뮬레이션을 통하여 얻은 결과와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

Abstract

In this paper, we studied the design and implementation of fading compensation systems at aspects of narrowband mobile communication using TTIB SSB. The mobile radio channel with multipath fading places fundamental limitations on the performance of wireless communication systems. The multipath fading is compensated using pilot tone in TTIB SSB. The TTIB transceiver was implemented using the prevailing digital signal processing (DSP) techniques and compensation for the multipath fading was incorporated in the receiver in the form of DSP algorithm. In order to evaluate fading compensation performance in TTIB transceiver, we first used computer simulation. In the simulation results, we found that the TTIB transceiver could compensate for the multipath fading as expected. Second, we carried out some experiments on TTIB transceiver implementation with DSP boards and later with hardwares including RF circuits with center frequency of 145MHz. Through these experiments, we found that fading compensation performance in TTIB transceiver was almost as good as that obtained from simulation.

I. 서 론

이동통신에 대한 수요는 날로 다양해지고 확대되고

* 正會員, 慶尙大學校 電子工學科

(Dept. of Elec. Eng., Gyeongsang Nat'l Univ.)

接受日字: 1998年9月2日, 수정완료일: 1998年9月25日

있다. 간이무선 시스템과 같은 소규모 이동통신에서는 기존의 아날로그 방식의 협대역화를 통하여 주파수 부족 현상을 해소하려는 방향으로 연구가 진행되고 있다. 미국, 영국, 일본에서는 채널간격 5 ~ 6.25kHz에서 이용 가능한 협대역 기술을 연구중이다. 대표적인 협대역화 기술에는 ACSSB (amplitude compandored

single sideband)^[11], RZ (real-zero) SSB^{[2], [13]}, TTIB (transparent tone-in-band) SSB^[4] 등이 있고, 디지털 협대역화 기술에는 파일럿 심벌을 이용하는 PSK (phase shift keying), QAM (quadrature amplitude modulation) 등의 선형 변조방식이 있다. 주파수 이용효율이 높은 선형 변조방식을 사용하기 위해서는 전력증폭기의 선형화가 또한 요구된다^{[5], [6]}.

이동통신 환경에서 페이딩^{[7], [8], [9]}은 시스템의 성능을 저하시키는 가장 큰 원인 중의 하나이다. 페이딩 환경에서 시스템의 성능을 향상하기 위하여 여러 방면의 연구가 진행되고 있으며 페이딩을 직접 보상하는 방식에는 파일럿 톤과 파일럿 심벌을 페이딩에 의한 신호의 진폭과 위상 변화의 추정에 이용하고 있다^{[10], [11]}.

본 논문에서는 협대역화 기술중에서 TTIB SSB를 이용한 페이딩 보상 시스템의 구현에 관한 연구를 하였으며 또한 페이딩에 대한 보상 방법으로는 파일럿 톤을 이용하여 DSP에서 소프트웨어로 구현하여 보상하였다. 그리고 실험에 사용된 페이딩은 Jakes' model을 사용하여 구현하였다. 2장에서 협대역화를 위한 아날로그 변조방식의 종류에 대하여 기술하며 3장에서는 TTIB SSB 송·수신기의 구성방법 및 파일럿 톤을 이용한 페이딩 보상 원리와 시뮬레이션 결과를 기술하며 4장에서는 DSP로 구현가능한 방법과 실제 구현에서의 보상 정도를 시뮬레이션 결과와 비교한다. 마지막으로 결론에서 연구결과를 정리하였다.

II. 협대역화를 위한 아날로그 변조방식

소규모 이동통신에서는 기존 채널간격의 협대역화를 통하여 주파수 부족 현상을 해소하려고 시도하고 있다. 협대역화를 위한 아날로그 변조방식으로는 ACSSB, RZ SSB, TTIB SSB 등이 있다. 이러한 변조방식들은 모두 비슷한 출력신호 스펙트럼 모양을 가지고 있으며, 톤의 위치에 따라 그 형식을 판별할 수 있다.

RZ SSB는 주파수 이용효율을 증대시키기 위한 SSB 방식의 신호 전송을 기본으로 하고 VHF/UHF 대역 이동통신에서 SSB 신호에 요구되는 주파수 허용오차 및 다중경로 페이딩의 영향을 극복하기 위하여 진폭 변조방식의 동기점과 대신에 위상 검파를 이용하는 것이다^{[2], [13]}. ACSSB, TTIB SSB는 자동주파

수제어 (AFC)와 신호의 페이딩에 대한 자동이득제어 (AGC)의 기준신호로 사용할 목적으로 파일럿 톤을 첨가하는 변형 SSB의 일종이다^{[11], [4]}. 이러한 아날로그 협대역 변조방식의 특징은 표 1과 같다.

표 1. ACSSB, RZ SSB, TTIB SSB의 특징 비교

Table 1. Characteristics of ACSSB, RZ SSB, TTIB SSB.

	ACSSB	RZ SSB	TTIB SSB
개발년도	1970년대 말	1980년대	1970년대 말
개발자	Stanford 대학	일본의 NTT연구소	영국 Bristol 대학
pilot tone	3.1kHz	0Hz (carrier)	음성대역의 중간
시스템의 복잡성	小	小	中
검파방식	파일럿 톤을 이용	위상 검파	파일럿 톤을 이용
AGC와 AFC 회로사용 여부	사용	미사용 (linearizer 사용)	사용
가능한 채널간격	5kHz	5kHz	5kHz
DSP 계산 복잡성	小	小	中

III. TTIB SSB의 구현 및 성능분석

TTIB SSB 방식에서 파일럿 톤은 신호 스펙트럼의 중앙에 위치하므로 주파수 편차에 덜 민감하게 되고 또한 송신할 음성신호를 두 부대역 (sub-band)으로 분리하기 때문에 파일럿 톤과 신호 스펙트럼은 분리되어 상호간섭이 감소하는 장점이 있다. 이러한 성질을 가진 파일럿 톤은 이동통신 환경에서 발생하는 페이딩을 직접 보상하기 위한 신호로 수신부에서 사용하게 된다.

1. TTIB SSB 송·수신기의 구성

TTIB SSB 송신부의 구현은 그림 1과 같이 다른 SSB 송신부에 비하여 다소 복잡하다. 음성신호를 A/D 변환기를 통하여 32kHz로 샘플링한 후 Weaver 방식으로 SSB신호를 생성하기 위하여 1.5kHz sine/cosine 신호를 곱한다. 그림 1의 1번 블록도의 기능은 DSP 내부에서 8kHz로 신호를 처리하기 위한 LPF와 4개의 샘플마다 한 개의 샘플을 취하는 decimation

부분이다. 2번의 블록도는 파일럿 톤을 삽입하기 위하여 대역을 분리하는 과정이다. 이러한 TTIB 과정을 그림 2에 도시하였다. 여기에서 분리된 대역폭은 600 Hz이다. 3번의 블록도는 파일럿톤을 삽입하기 위하여 DC 성분을 인가하는 부분이다. 그리고 4번의 블록도는 8kHz 신호를 다시 32kHz 신호로 만들기 위한 interpolation 부분이다. 이곳에서 사용된 interpolation filter는 탭수가 8차인 FIR 필터를 사용하였다.

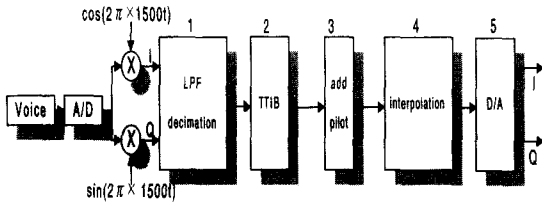


그림 1. TTIB SSB 송신기 시뮬레이션 구성도
Fig. 1. Simulation block diagram of TTIB SSB.

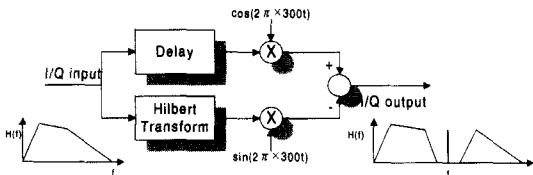


그림 2. 대역 분리 과정
Fig. 2. Band splitter block diagram.

TTIB SSB 수신부의 구성은 그림 3과 같다. 수신부의 중간주파수는 5kHz로 가정하였고, A/D 변환기에서 32kHz로 샘플링을 한 후, 5kHz의 sine/cosine 신호를 곱하여 I/Q 신호를 생성하였다. DSP에서 신호 처리를 8kHz로 하기 위하여 블록 1과 같이 decimation 과정을 거친다. 페이딩에 관한 정보를 추출하기 위하여 블록 7에서는 I/Q 신호에서 각각 DC 부근에 존재하는 신호를 추출한 후, 추출된 두 신호를 이용하여 페이딩의 위상과 크기를 추정한다. 블록 2에서는 블록 7에서 추정된 페이딩 신호의 크기와 위상으로 수신된 신호에 크기는 나누어 주고 위상은 빼어주는 방법으로 페이딩을 보상한다. 블록 3은 보상된 신호에서 파일럿 톤을 제거하고 분리된 주파수 대역을 분리되기 전 상태로 복원하는 TTIB 과정을 거친다. 블록 4는 8kHz의 샘플링 속도를 32kHz로 변환하기 위한 interpolation 과정이다. 블록 4의 과정을 거치면 DC를 중심으로 한 음성대역이 형성되고 이것을 원래

의 음성대역으로 천이하기 위하여 블록 5의 과정을 거친다

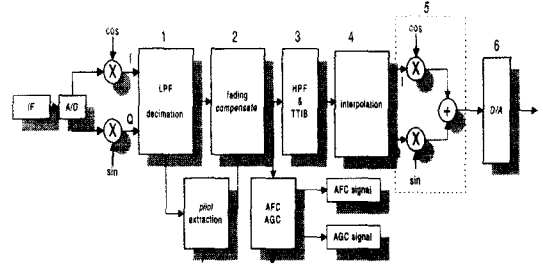


그림 3. TTIB SSB 수신기 시뮬레이션 구성도
Fig. 3. TTIB SSB receiver simulation block diagram.

2. 페이딩 보상 방법

DSP를 이용한 구현에서 사용된 페이딩 보상 방법은 그림 4와 같다. 기본적인 원리는 페이딩에 관한 정보를 파일럿 톤에서 추출하여 입력 신호에서 페이딩을 제거하는 방법이다. 블록 1은 파일럿 톤의 크기와 위상에 관한 정보를 추출하기 위한 방법의 일부분으로 A/D에 입력되는 IF의 주파수와 같은 주파수의 sine/cosine 신호를 table lookup 방식을 이용하여 DSP에서 생성하여 입력된 신호에 곱하여 I채널과 Q 채널로 분리한다. 위의 과정을 거치면 파일럿 톤은 DC 부근으로 이동하게 된다. 블록 2는 저역통과 필터를 이용하여 파일럿 톤 성분을 추출하여 페이딩을 추정하게 된다. 페이딩의 크기는 $\sqrt{I^2 + Q^2}$, 위상은 $\tan^{-1}(Q/I)$ 으로 추정한다. 블록 3은 블록 2에서 추정된 페이딩의 크기와 위상을 시간지연을 고려한 후 크기는 나누어 주고 위상을 빼어주는 방식으로 페이딩을 보상한다.

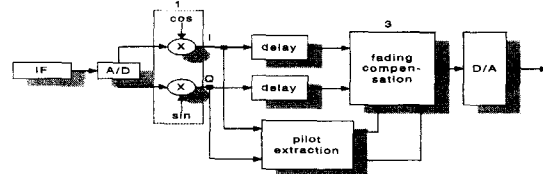


그림 4. 페이딩 보상 구성도
Fig. 4. Fading compensation block diagram.

그림 3의 수신기에서 사용한 페이딩 보상 방법은 페이딩의 위상과 크기를 추정하여 페이딩이 포함된 신호에 추정된 위상을 빼어주고 추정된 크기를 나누어주는 방

식을 사용하였다. 그러나 DSP에서 위의 방식을 사용하기 위해서는 $\sqrt{\quad}$ 와 $\tan^{-1}(\quad)$, $\cos(\quad)$, $\sin(\quad)$ 을 구하는 방법을 프로그램 하여야 한다. $\sqrt{\quad}$ 를 구하는 방법으로는 $|z|+0.4|S|$ 알고리즘, $A(1/\sqrt{A})$ 알고리즘, power series 근사화, sector 알고리즘 등을 들 수 있다^[12]. $\tan^{-1}(\quad)$, $\cos(\quad)$, $\sin(\quad)$ 을 구하는 방법으로는 가장 많이 사용되는 것이 Cordic 알고리즘이다^[12]. 이러한 방법들을 구현하는 것은 메모리의 부족현상 뿐만 아니라 구현방법이 복잡하여 실시간 처리를 어렵게 하는 단점이 있다. 그러므로 본 논문에서는 DSP의 덧셈과 뺄셈, 곱셈과 나눗셈을 이용하여 페이딩을 보상하는 방법을 사용하였다.

그림 5에서 나타난 것과 같이 페이딩이 포함된 두 신호를 I,Q라 가정하고, 이 두신호에서 페이딩에 대한 정보를 추출한 신호를 각각 a,b라 할 때 두 신호를 이용하여 보정한 결과의 출력을 I_{com},Q_{com}이라 가정하면 두 출력신호는 식 1과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 Out &= I_{com} + jQ_{com} = \frac{I + jQ}{a + jb} = \frac{(I + jQ)(a - jb)}{(a + jb)(a - jb)} \\
 &= \frac{(aI + bQ) + j(aQ - bI)}{a^2 + b^2} \tag{1} \\
 I_{com} &= \frac{aI + bQ}{a^2 + b^2}, \quad Q_{com} = \frac{aQ - bI}{a^2 + b^2}
 \end{aligned}$$

식 1을 구현하는 블록도는 그림 5와 같다.

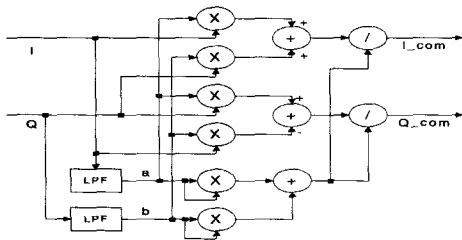


그림 5. DSP에서 페이딩 보상 알고리즘
Fig. 5. Fading compensation algorithm in DSP.

3. 시뮬레이션 결과

그림 6은 Doppler 주파수가 60Hz인 페이딩이 발생된 톤 성분의 신호가 중간 주파수인 5kHz로 천이된 형태이다. 5kHz를 중심으로 왼쪽으로 1kHz 떨어진 신호가 2.2kHz 톤 신호이며 5kHz를 중심으로 오른쪽으로 800Hz 떨어진 신호가 1kHz 톤에 해당하는 신호이다. 5kHz인 신호는 파일럿 톤에 해당되는 신호로 2.2k

Hz, 1kHz 신호에 나타나 있는 페이딩 신호와 같은 모양으로 파일럿 톤에도 페이딩이 나타나 있는 것을 알 수 있다. 페이딩 신호를 보상하기 위한 알고리즘을 사용하면 그림 7에 나타나 있는 것과 같이 페이딩을 보상할 수 있다.

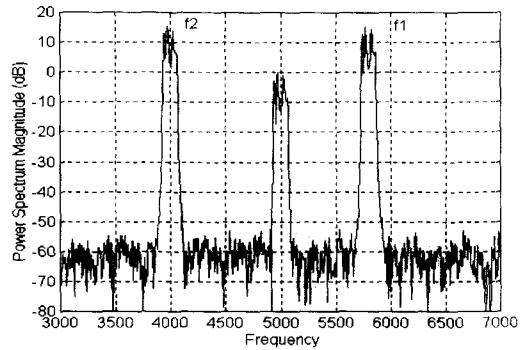


그림 6. TTIB SSB 수신기의 입력 스펙트럼
Fig. 6. Input spectrum of TTIB SSB receiver
($f_1 = 1\text{kHz}$, $f_2 = 2.2\text{kHz}$, $IF = 5\text{kHz}$)

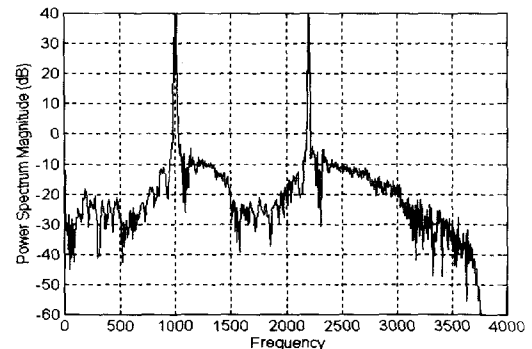


그림 7. TTIB SSB 수신기의 출력 스펙트럼
Fig. 7. Output spectrum of TTIB SSB receiver.

IV. DSP에 의한 구현

본 논문에서는 TTIB SSB의 페이딩 보상 성능을 분석하기 위하여 두 가지 경우로 나누어 실험하였다. 먼저 페이딩의 보상 성능을 분석하기 위하여 베이스 밴드에서 실험하였으며 그 블록도는 그림 8과 같다. 그림 8에서 송신부를 DSP 구현하는 방법과 필터의 특성은 그림 9와 같고 송신부의 최종 출력을 5kHz로 천이한 후 페이딩을 첨가하였다. 샘플링 주파수 fs는 32kHz를 사용하였고 DSP 내부에서의 처리 주파수 fsd는 8kHz로 선택 사용하였다. 처리된 데이터를

D/A 변환기를 통하여 출력할 때는 다시 32kHz의 속도로 출력하였다. 출력에서 페이딩을 첨가하게 되는데 여기에서 사용된 Doppler 주파수는 60Hz이며 입력된 신호는 1kHz 톤과 2.2kHz 톤을 인가하였다. 송신기의 최종 출력 스펙트럼은 그림 11과 같다.

그림 8에서 수신부를 DSP로 구현하는 방법과 필터의 특성은 그림 10과 같다. 수신단에서는 파일럿 톤에 있는 페이딩 정보를 이용하여 신호에 페이딩을 보상하는 방법을 사용하였다. DSP에서 페이딩 보상 알고리즘은 그림 5와 같은 방법을 이용하였고 페이딩 보상 결과는 그림 12에서와 같이 시뮬레이션 결과와 비슷하다. 수신기의 페이딩 보상 성능에 가장 큰 영향을 미치는 것을 그림 3의 블록 7에 사용한 저역통과 필터이다. 파일럿 톤을 추출하는 저역통과 필터의 대역폭과 차단대역의 감쇄정도에 따라 페이딩 보상 성능이 좌우된다. 만일 페이딩에 의한 파일럿 톤의 주파수 편차가 저역통과 필터의 대역폭을 넘게되면 페이딩을 보상하는 능력이 떨어지게 된다.

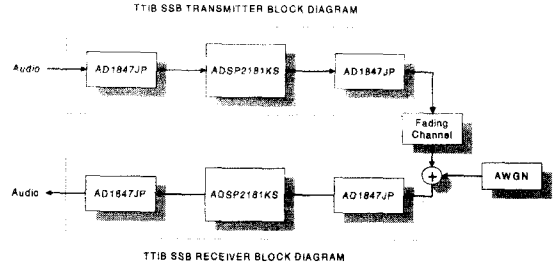


그림 8. DSP를 이용한 테스트 블록도
Fig. 8. Testing block diagram of fading compensation in DSP.

두번째 실험은 송신기에서 출력되는 I,Q 신호를 변조기를 통하여 145MHz로 변조 후 그 출력 신호를 믹서기를 통하여 일반적인 AM,FM 검파에서 많이 사용하는 중간 주파수인 455kHz로 변조하여서 A/D 변환기의 입력신호로 사용하였다. 이러한 테스트 블록도는 그림 13과 같다.

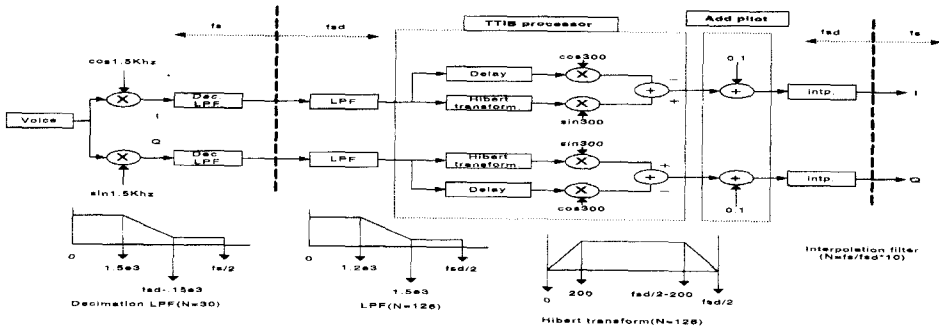


그림 9. TTIB SSB 송신기의 구현
Fig. 9. Implementation of TTIB SSB transmitter.

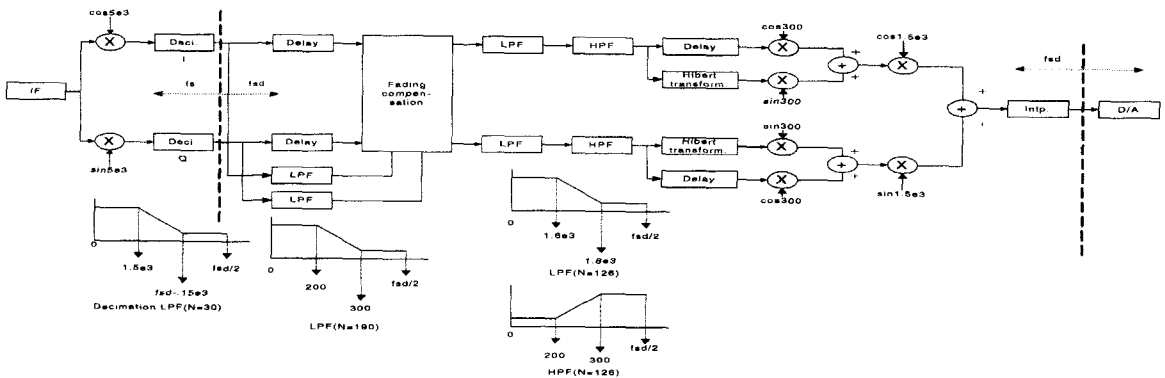


그림 10. TTIB SSB 수신기의 구현
Fig. 10. Implementation of TTIB SSB receiver.

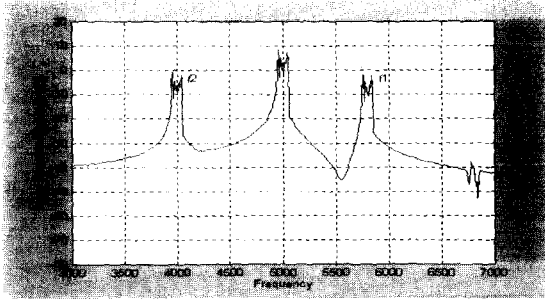


그림 11. TTIB SSB 수신기의 입력 스펙트럼
 Fig. 11. Input spectrum of TTIB SSB receiver
 ($f_1 = 1\text{kHz}$, $f_2 = 2.2\text{kHz}$, $IF = 5\text{kHz}$)

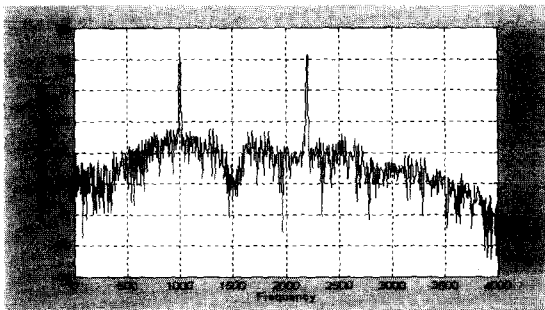


그림 12. TTIB SSB 수신기의 출력 스펙트럼
 Fig. 12. Output spectrum of TTIB SSB receiver.

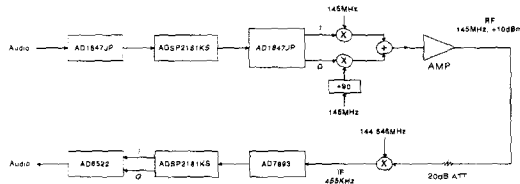


그림 13. RF를 포함한 테스트 블록도
 Fig. 13. Testing block diagram with RF circuits.

먼저 송신부를 DSP로 구현하는 방법과 필터의 특성은 그림 9와 같고 수신기의 구현 방법과 필터의 특성은 그림 10과 같다. 본 실험에서는 undersampling [13] 방법을 사용하여 455kHz의 파일럿 톤을 9.1kHz에 위치하도록 A/D 변환기의 샘플링 주파수 f_s 를 34.3kHz로 사용하였고 DSP 내부에서의 처리 주파수 f_{sd} 는 6.86kHz로 선택하였다. TTIB SSB 송신기의 최종 출력 스펙트럼은 그림 14와 같다. 그림 14에서 나타난 페이딩의 Doppler 주파수는 60Hz이고 입력된 신호는 1kHz 톤과 2.2kHz 톤이다. 송신기의 출력 신호를 수신기에서 undersampling한 입력 스펙트럼은 그림 15와 같다. Undersampling된 신호를 그림 10과 같은 DSP 처리 과정을 통하여 페이딩을 보정한 결과

는 그림 16과 같다. 그림 16에서와 같이 파일럿 톤을 이용하여 페이딩을 보상할 수 있었다.

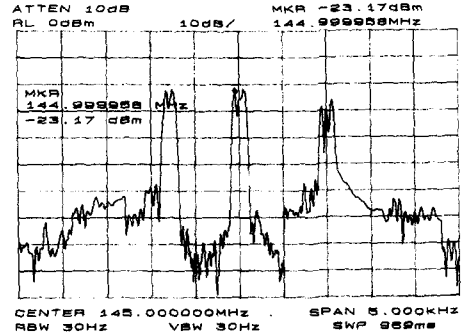


그림 14. TTIB SSB 송신기의 출력 스펙트럼
 Fig. 14. Output spectrum of TTIB SSB transmitter.

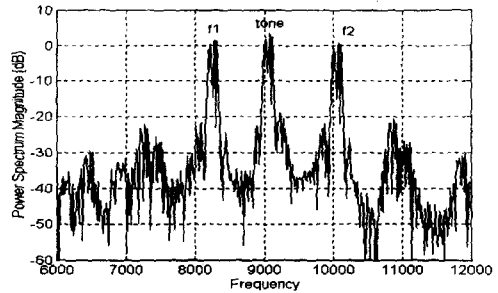


그림 15. Under sampling 후 출력 스펙트럼
 Fig. 15. Output spectrum after undersampling.
 ($f_1 = 1\text{kHz}$, $f_2 = 2.2\text{kHz}$, $IF = 9.1\text{kHz}$)

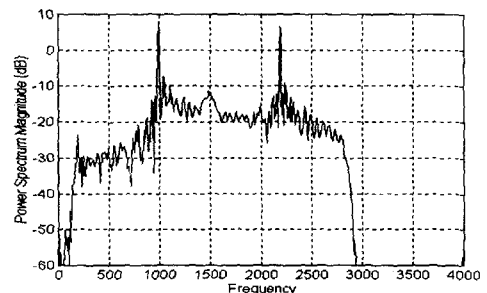


그림 16. TTIB SSB 수신기의 출력 스펙트럼
 Fig. 16. Output spectrum of TTIB SSB receiver.

V. 결론

본 논문에서는 TTIB SSB 방식을 이용한 협대역 이동통신시스템에서 페이딩 보상 시스템의 설계 및 구현에 대하여 연구하였다. DSP를 이용한 TTIB SSB

송·수신기의 구현 방법과 성능을 분석하였고 이동통신에서 발생하는 페이딩을 파일럿 톤을 이용하여 DSP에서 제거하는 알고리즘을 구현하였다. 이러한 알고리즘을 이용하여 TTIB SSB 송·수신기 성능을 시험한 결과 페이딩 보상이 가능함을 확인할 수 있었고 또한 TTIB SSB 송·수신기가 정상적으로 동작됨을 확인할 수 있었다. 이를 바탕으로 향후 완전한 TTIB SSB 송·수신기를 개발할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] W. L. Kissick, L. T. Jones, and W. J. Hartman, "The performance of amplitude compressed sideband - interim report : a review and measurement plan," NTIA, Apr. 1986.
- [2] K. Daikoku, S. Ogose, and H. Ohdate, "A real zero SSB transceiver for land mobile radio: a simple method of demodulation SSB without an envelope," IEEE Trans. Vehi. Tech., vol. VT-35, pp. 22-29, Feb. 1986.
- [3] K. Suwa and K. Daikoku, "Evaluation of RZ SSB receivers employing an improved linearizer," in Proc. 37th IEEE Vehi. Tech. Conf., pp. 498-504, 1987.
- [4] Andrew Bateman, "Feedforward transparent tone-in-band: its implementations and applications," IEEE Trans. Vehi. Tech., vol. 39, no. 3, pp. 235-243, Aug. 1990.
- [5] A. Bateman, D. M. Haines, and R. J. Wilkinson, "Linear transceiver architectures," in Proc. 38th VTC, pp. 478-484, 1988.
- [6] 임동민 외, RZ SSB 방식을 이용한 간이무선시스템 설계에 관한 연구, 위탁연구 최종보고서, 한국전자통신연구소, 1996.
- [7] T. S. Rappaport, Wireless Communications - Principles and Practice, IEEE Press : New York, 1996.
- [8] J. G. Proakis, Digital Communications, McGraw-Hill, 1995.
- [9] Bernard Sklar, "Rayleigh Fading Channels in Mobile Digital Communications Systems, Part I & II," IEEE Comm. Mag., pp. 90-109, July 1997.
- [10] A. J. Bateman, G. Lightfoot, A. Lymer, and J.P. McGeehan, "Speech and data communications over 942MHz TAB and TTIB single sideband mobile radio systems incorporating feed-forward signal regeneration," IEEE Trans. Vehi. Tech., vol. VT-34, pp. 13 - 21, Jan. 1985.
- [11] J. K. Cavers, "An analysis of pilot symbol assisted modulation for Rayleigh fading channels," IEEE Trans. Vehi. Tech., vol. 40, pp. 686 - 693, Nov. 1991.
- [12] M. E. Frerking, Digital Signal Processing in Communication Systems, Van Nostrand Reinhold : New York, 1994.
- [13] R. Groshong and S. Ruscak, "Under-sampling Techniques Simplify Digital Radio," Application Note, Analog Device, May 1991.

 저 자 소 개



李炳魯(正會員)

1989년 2월 아주대학교 전자공학과(공학사). 1988년 - 1992년 LG 전자. 1995년 2월 동아대학교 대학원 전자공학과(공학석사). 1998년 2월 경상대학교 대학원 전자공학과 박사과정 수료. 주관심분야는 멀티미디어 이동통신, 적응변조, 멀티캐리어시스템



林永會(正會員)

1996년 2월 경상대학교 전자공학과(공학사). 1998년 2월 경상대학교 대학원 전자공학과(공학석사). 주관심분야는 협대역통신, 전력증폭기선형화 디지털신호처리, 이동통신



林東民(正會員)

1986년 2월 서울대학교 제어계측공학과(공학사). 1988년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사). 1992년 8월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학박사). 1992년 9월 ~ 현재 경상대학교 전자공학과 조교수. 주관심분야는 디지털신호처리, 이동통신, 통신망 성능분석