

ATSC 8-VSB DTV의 실내 수신 동기 성능개선

□ 한 동 석 · 김 정 진 · 류 영 재 / 경북대학교 전자전기공학부

I. 서 론

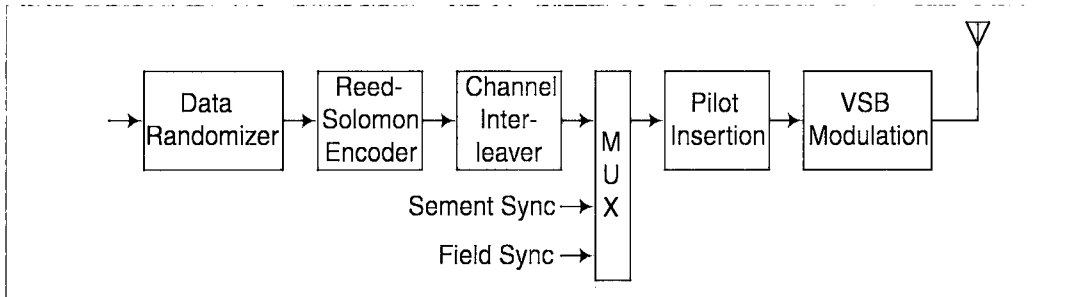
미국과 유럽에서 이미 시작한 디지털 지상파 텔레비전 방송이 우리나라에서도 2001년 10월부터 ATSC(advanced television system committee) 8-VSB(vestigial side band) 전송방식을 이용하여 본 방송을 시작하였다.

8-VSB 전송 방식에서는 반송파 동기와 심볼 타이밍 동기를 위하여 <그림 1>과 같이 파일럿 신호와 세그먼트 동기(DSS, Data Segment Synchronization)신호를 실어보내고 있다. 그리고 채널 등화를 위하여 필드 동기 신호를 매 312 세그먼트마다 전송을 하고 있다. 이 경우 전송되는 8-VSB 신호의 데이터 포맷을 <그림 2>에 나타내었다 [1]. 그리고 파일럿 신호가 5.28 MHz에 있는 경우에 대한 전송 신호의 스펙트럼을 <그림 3>에 나타내었다. 5.38 MHz에 존재한 파일럿 신호는 데이터

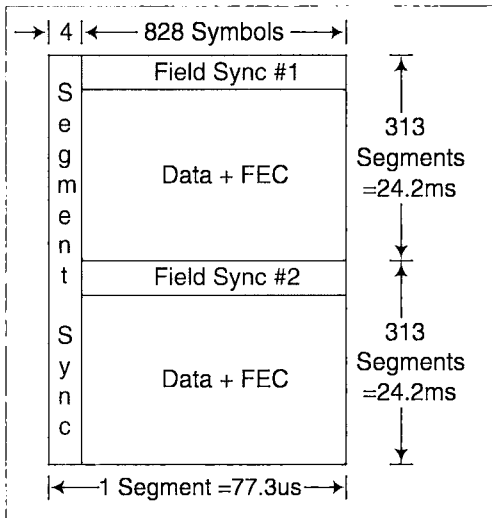
신호에 비하여 큰 전력을 가져 수신기 반송파 주파수 동기에 매우 유용함을 예측할 수 있다. 실제 신호는 각 방송국의 주파수에 맞게 주파수를 올려 전송하게 된다.

수신기 동기를 위한 이러한 신호들은 유효데이터에 비하여 매우 적은 양을 차지하여 고화질 TV(HDTV) 방송에 효율적이라 알려져 있다. 동기 신호들은 채널의 왜곡이 심하지 않은 경우 동기 및 등화 과정이 매우 간단한 장점이 있으나, 동기나 등화를 위한 기준 신호가 많이 포함되지 않으므로 실내안테나를 이용한 실내수신과 같은 동적 다중경로 환경에서 동기와 등화가 어려운 점들이 있다.

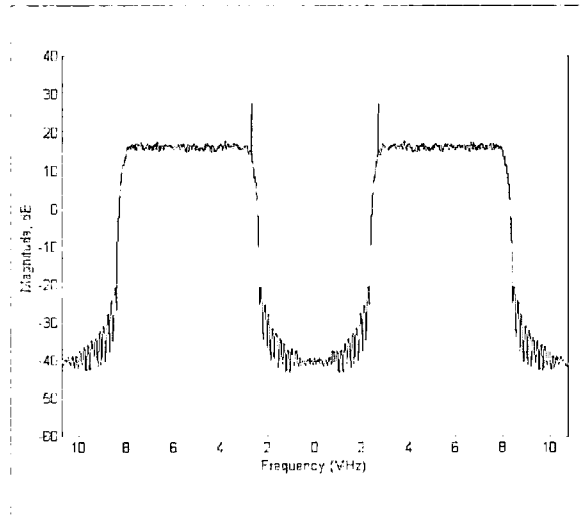
ATSC 8-VSB 시스템에 대한 수신성능 테스트 결과에 따르면 실내수신을 위한 성능 개선이 필요함을 지적하고 있다[2-4]. 특히 1999년 브라질에서 수행한 필드 테스트와 실험실 내에서의 테스트에 사용한 다중 경로가 심각한 실내수신 채널에서



〈그림 1〉 ATSC 8-VSB 변조기 구조



〈그림 2〉 ATSC 8-VSB 데이터 포맷



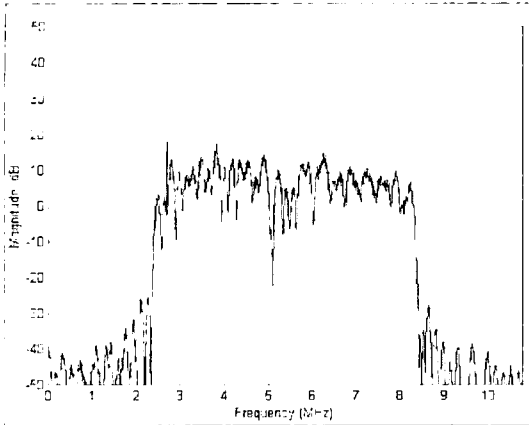
〈그림 3〉 8-VSB 스펙트럼

ATSC 8-VSB 수신기는 실내수신 성능의 개선이 절실히 요구됨을 알 수 있다[2]. 2000년 MSTV를 중심으로 미국 워싱턴/볼티모어와 클리버랜드에서 수행된 필드 테스트에서 실내수신 성공률이 각각 약 30%와 26%로 저조하게 나타났다[3].

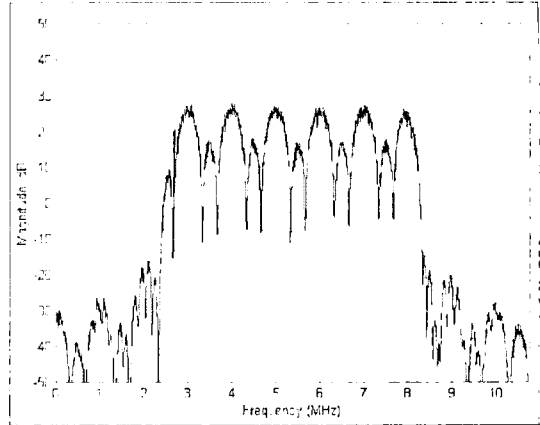
이에 2000년 3월 ATSC는 RF 시스템 성능에 대한 TF팀을 결성하여 DTV RF 시스템 성능과 관련된 기술적 문제를 지적하고, 현행 8-VSB 송수신 장비의 성능 개선 방향에 대한 안을 제시하였다[4]. 그리고 ATSC는 2000년 11월 산하에 T3/S9 그룹

(ATSC Specialist Group on RF Transmission)을 두어 8-VSB의 성능 개선을 위한 작업을 시작하여 2002년 5월 말까지 그 결과를 ATSC 전송 규격인 A/53에 반영을 하기로 예정되어 있다.

본 고에서는 ATSC 8-VSB 시스템의 실내수신에서 수신기 동기 문제를 불러오는 요인과 이를 극복하기 위한 방안에 대한 최근 연구결과를 소개하고자 한다. 서론에 이어 2장에서는 실내 수신 채널의 특성과 문제점을 파악하고, 3장에서는 실내 수신 동기 성능 개선에 대한 최근의 연구결과를 살펴보



(그림 4) 브라질 채널 D의 주파수 특성



(그림 5) 브라질 채널 E의 주파수 특성

고, 4장의 결론을 끝으로 본 고를 마친다.

II. 실내수신 채널의 특성과 수신기 동기

대부분의 디지털 통신 수신기는 반송파 주파수 동기를 수행한 후 심볼 타이밍 동기를 수행한다. 이는 반송파 주파수 동기는 표본화 오차에 민감하지 않으나, 심볼 타이밍 동기는 반송파 오차에 매우 민감하기 때문이다. 이 두 가지 동기 후 등화의 순으로 수신기는 동작하게 된다. 그러므로 반송파 주파수 동기가 되지 않으면 시스템이 제대로 동작할 가능성은 매우 희박해진다.

대부분의 8-VSB 수신기들은 VSB 송신 신호에 존재하는 파일럿 신호를 추적하여 동기를 수행하는 방식을 택하고 있다(5). 그러나 이것은 심각한 페이딩을 유발하는 다이내믹 채널에서 파일럿 동기 신호가 손상된 경우 반송파 동기 자체가 어려워진다.

브라질에서 수행한 실험에서 사용된 채널 중 이러한 반송파 동기 신호에 심각한 영향을 끼칠 수 있는

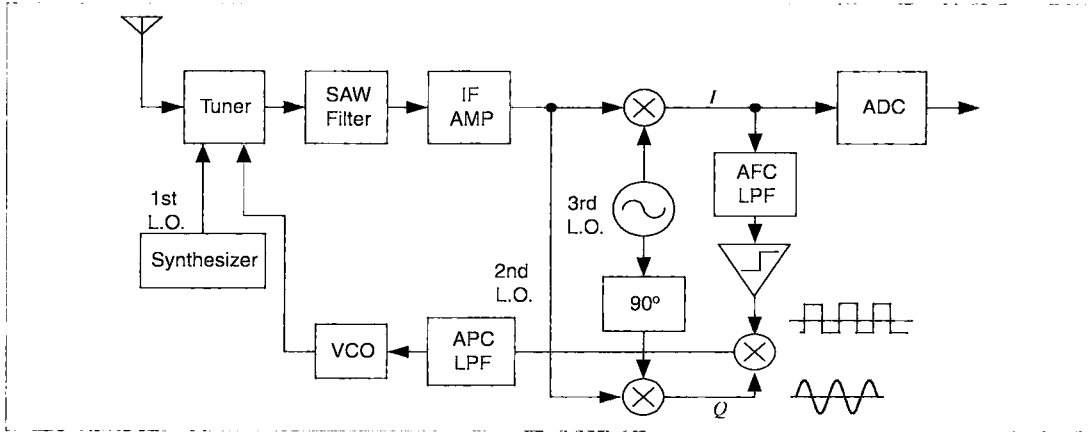
(표 1) 브라질 테스트 채널 D의 특성

경로	진폭	진폭(dB)	지연시간(μs)
0	0.2045	-0.1	0.15
1	0.1341	-3.8	0.63
2	0.1548	-2.6	2.22
3	0.1789	-1.3	3.05
4	0.2077	0	5.86
5	0.1509	-2.8	5.93

(표 2) 브라질 테스트 채널 E의 특성

경로	진폭	진폭(dB)	지연시간(μs)
0	1.0	0	0.0
1	1.0	0	1.0
2	1.0	0	2.0

채널의 예로는 브라질 테스트 채널 D와 E를 들 수 있다(2). 채널 D는 실내 수신환경에서 볼 수 있는 강한 다중경로가 존재하는 Rayleigh 페이딩의 경우이고, 채널 E는 단일주파수 네트워크(SFN, single frequency network)에서 발생할 수 있는 경우이다. 비록 ATSC 8-VSB 시스템은 SFN을 고려하지는 않지만 본 고에서는 수신기 동기가 어려운 경우의 예를 들기 위하여 이 채널에서 시스템의 동작을 고려한다. 이들 채널에 대한 지연 및 감쇄 특성과 스펙트럼을 (표 1), (표 2)와 (그림 4), (그림 5)에 각각 나타내었다.



〈그림 6〉 파일럿 정보에 기반한 반송파 주파수 복구 회로

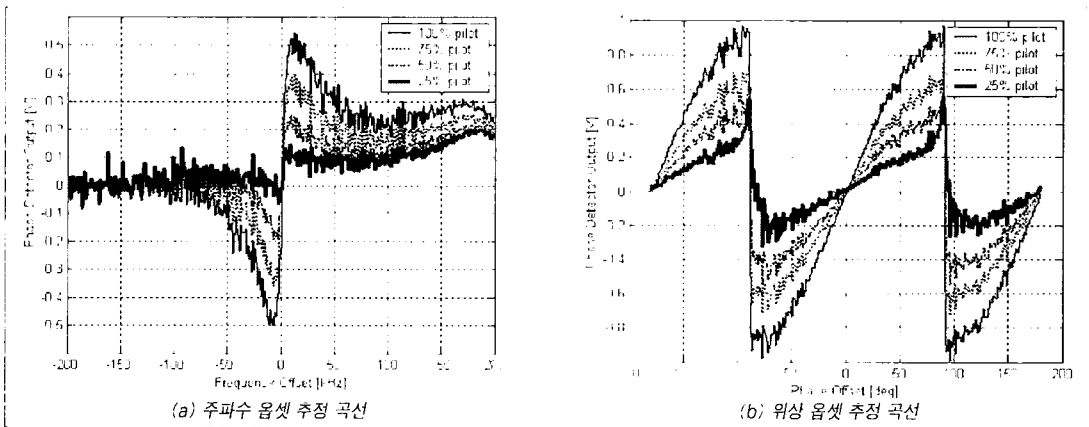
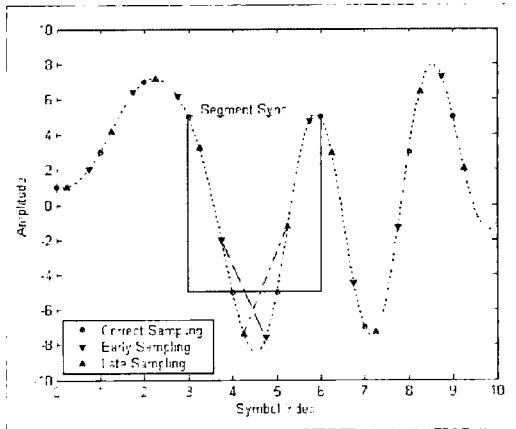


그림 7. 파일럿 크기에 따른 반송파 주파수 옵셋 추정 곡선

기존의 파일럿 신호에 의존하는 수신기의 반송파 주파수 동기 회로인 FPPLL(frequency phase locked loop) 구조[5]를 〈그림 6〉에 나타내었고, 이것이 파일럿 신호의 크기에 따라 얼마나 잘 동작하는가에 대한 특성을 〈그림 7〉의 주파수 및 위상 추정 곡선을 통해 잘 알 수 있다. 이 그림은 송신기에서 파일럿 신호의 크기를 원 규격의 100%, 75%, 50%, 25% 크기로 각각 보낼 때의 수신기 반송파 주파수 동기 회로의 주파수 오차 검출 특성이다. 여기서 25% 정도로 파일럿 신호의 크기가 감쇄된 경우, 양

의 주파수 오차는 찾을 수 있으나 음의 주파수 옵셋은 거의 찾을 수 없음을 알 수 있다. 반면 50% 이상의 파일럿 크기를 유지하면 양과 음의 주파수 옵셋을 모두 알 수 있다. 그러나 위상 오차의 경우에는 비록 파일럿 신호의 크기가 25% 정도로 작더라도 잘 찾을 수 있음을 알 수 있다. 이를 통하여 파일럿 정보가 채널의 특성에 따라 감쇄가 일어날 경우 주파수 오차를 제대로 찾기가 어려운 문제를 해결할 필요가 있음을 알 수 있다. 그러므로 파일럿의 크기가 매우 감쇄된 브라질 D와 E 채널의 경우 기존의



(그림 8) DSS열을 이용한 심볼 타이밍 동기 개념

FPLL 구조의 반송파 주파수 동기 회로는 제대로 동작하지 않을 가능성이 있음을 알 수 있다.

심볼 타이밍 동기는 +5, -5, -5, +5로 이루어진 DSS 열을 이용한 방법이 일반적이다. 이것은 그림 8에 나타낸 것과 같이 DSS 신호에서 가운데 -5와 -5의 두 신호 크기 차이를 이용하는 것이 가장 쉬운 방법이다. 즉, (그림 8)과 같이 두 신호의 기울기를 심볼 타이밍 동기 회로의 위상 검출기로 사용하는 것으로, 이 방법은 DSS 열이 77.4μs마다 발생하므로 수렴 속도가 매우 늦을 가능성이 있다. 그리고 브라질 D, E 채널과 같이 다중경로에 의한 페이딩이 매우 심할 경우 DSS 신호의 왜곡으로 인하여 타이밍 동기를 제대로 못할 가능성이 매우 높다.

감쇄가 심각한 다이나믹 다중경로 현상 이외에도 수신전력의 심각한 감쇄 또한 실내 수신을 어렵게 하는 한 요인으로 생각할 수 있다.

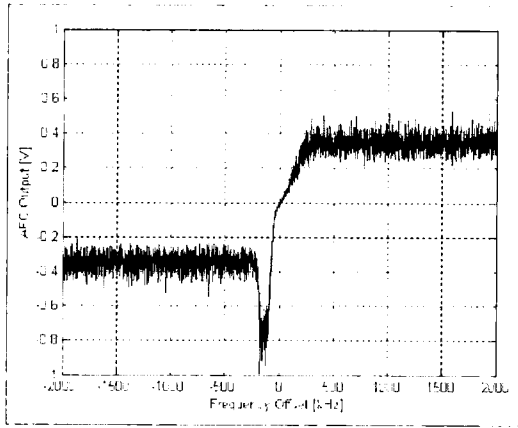
Ⅲ. 실내 수신 동기 성능 개선 노력

필드 테스트 결과에서 실내 수신률이 상당히 저

하되는 이유로는 수신전력의 감쇄가 매우 크다는 것과 실내환경이 짧은 다이나믹 채널 환경을 만들어 Rayleigh 페이딩과 같이 심각한 다중경로 환경의 형성을 들 수 있다. 2장에서 보았듯이 다중경로는 파일럿 신호의 전력을 매우 약화시킬 수 있으므로 순수한 파일럿 정보만을 이용한 수신기는 동기 조차 되지 않을 수 있음을 알 수 있다. 이러한 문제를 극복하고자 최근에는 QAM과 같이 억압반송파 변조에 사용되는 직접결정(decision-directed) 기법을 이용한 반송파 주파수 동기 기법의 사용을 시도하고 있다. 그리고 심볼 간격보다 짧은 간격의 등화기(fractionally-spaced equalizer)나 복소 등화기를 이용하여 기존의 실수 신호만을 이용한 심볼 간격 등화기를 이용한 경우보다 좋은 반송파 추적 성능을 얻고자 노력하고 있다(4). 반송파 동기 주파수 범위를 넓히기 위하여 탐색 알고리즘을 이용한 수신기도 개발되고 있다(6).

심볼 타이밍 동기도 수신기 칩 설계 회사들에서 매우 열심히 연구되고 있는 분야 중 하나로, 기존의 수신기는 단순히 송신신호에 첨부된 DSS 열만을 이용한 방법을 사용하였다. 최근의 수신기는 역시 QAM 계열의 수신기에서 사용하고 있는 신호 대역 가장자리(band-edge) 검출, 선 스펙트럼 검출과 같은 방법들을 같이 사용하여 다이나믹 멀티패스 환경에 대응하고자 하고 있다(4).

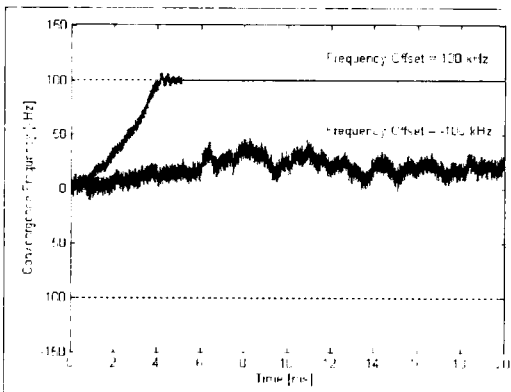
그러나 이러한 새로운 연구 결과들의 구체적 성과를 논문으로 발표한 예는 극히 드물다. 다만, 각 회사의 칩 세트 발표시 그 특성을 간단히 소개할 따름이다. 그러므로 새로운 연구결과를 구체적으로 비교 평가하기는 매우 힘든 실정이다. 근래의 연구 결과 중 하나로 본 고의 저자가 제안한 수신 신호의 대칭성을 이용한 반송파 주파수 동기회로를 들 수 있다. 이것을 이용할 경우 (그림 9)와 같은



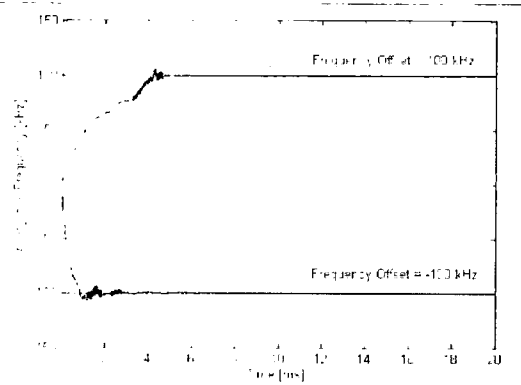
〈그림 9〉 주파수 대칭성을 이용한 반송파 주파수 동기회로의 추정특성

반송파 주파수 옵셋 추정 곡선을 얻을 수 있었다. 그러므로 이 방법을 이용할 경우 기존의 수 100kHz 옵셋 이상의 옵셋에서도 동작하여 수신기 튜너의 가격을 상당히 낮출 가능성이 있음을 알 수 있다.

〈그림 9〉의 특성을 가지는 반송파 주파수 동기회로를 브라질 D)와 E) 채널에 적용한 결과를 〈그림 10〉과 〈그림 11〉에 각각 나타내었다. 여기서 초기 주파수 옵셋은 -100kHz와 +100kHz의 두 가지 경우에 대하여 전산모의 실험을 수행하였다. 〈그림 10(a)〉와

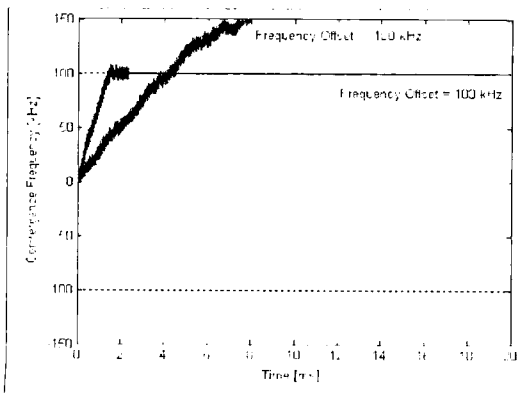


(a) 파일럿 신호만 이용한 경우

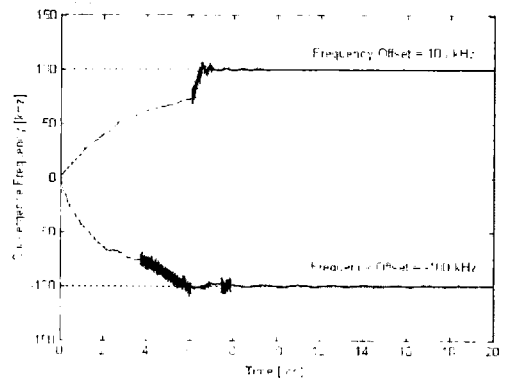


(b) 제안한 방법

〈그림 10〉 브라질 채널 D에서의 반송파 주파수 동기 특성

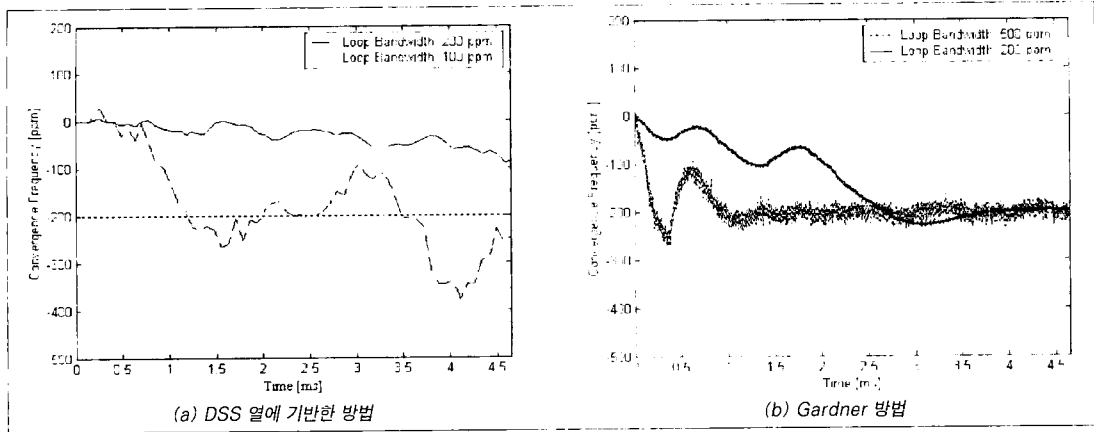


(a) 파일럿 신호만 이용한 경우

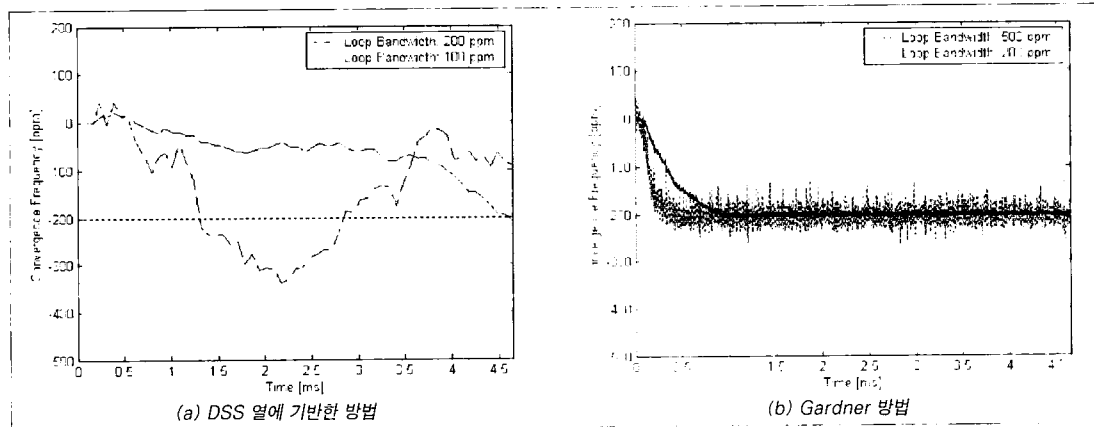


(b) 제안한 방법

〈그림 11〉 브라질 채널 E에서의 반송파 주파수 동기 특성



〈그림 12〉 브라질 D 채널에서 심볼 타이밍 복구기의 수렴성능



〈그림 13〉 브라질 E 채널에서 심볼 타이밍 복구기의 수렴성능

〈그림 11(a)〉는 기존의 파일럿 신호만을 이용한 경우로 -100kHz 오프셋의 경우 모두 발산함을 알 수 있다. 이는 그림 4와 5의 채널 특성에서 알 수 있는 바와 같이 반송파 신호의 전력이 신호전력에 비하여 상대적으로 약하기 때문이다. 〈그림 10(b)〉와 〈그림 11(b)〉의 경우는 제안한 방법을 사용한 것으로 비록 파일럿 신호의 크기가 많이 감소되었으나 정상적으로 반송파 주파수 동기를 수행함을 알 수 있다. 특히 SFN에서도 동작하여 수신기 성능의 대폭적인 향상의 가능성을 볼 수 있다.

〈그림 12〉와 〈그림 13〉에 DSS 신호에 기반한 심볼 타이밍 동기화 F.M. Gardner가 제안한 DSS 신호에 의존하지 않는 방법(7)을 이용한 경우의 결과를 나타내었다. 이 결과는 초기 샘플링 클럭 오프셋이 200ppm 이고 타이밍 동기 회로의 루프 대역폭에 따른 것이다. DSS 신호에 기반한 경우 브라질 D)와 E)의 두 채널에서 주어진 시간 내에서는 제대로 동작하지 않음을 보인다. 그러나 Gardner 방법은 잘 동작함을 알 수 있다. 이것은 Gardner 방식에서는 동기 및 사용자 데이터를 전부 이용하

므로, 수렴 시간이 빠르기 때문이다. 특히 Gardner 방법을 이용할 경우 심볼 타이밍 복구 루프의 대역폭을 적절히 결정하면, 매우 빠른 수렴 특성을 얻을 수 있다.

최근에는 동기성능을 향상시키기 위하여 각 동기 회로의 성능 개선뿐만 아니라 이동통신에서 사용되고 있는 다이버시티(diversity) 기법을 이용한 성능 향상을 얻고자 노력하고 있다. 이것은 수신기 가격의 향상을 불러올 수 있으나, 수신 성능을 현저히 향상시킬 가능성이 있다.

IV. 결 론

본 고에서는 실내수신 환경에서 8-VSB 시스템의 동기에 영향을 주는 요인에 대하여 살펴 보았다. 그리고 이러한 채널에서 동기 신호에 의존하는 기존의 수신 알고리즘과 이것과 독립적인 수신기 알고리즘의 성능을 비교해 보았다. 이 결과로부터 동기신호 의존 방식과 이를 이용하지 않는 방식을 적절히 잘 이용하면 8-VSB 시스템의 실내 동기 시간을 단축시키면서 성능도 매우 향상시킬 수 있음을 예측할 수 있다.

참고 문헌

- (1) ATSC, ATSC Digital Television Standard (A/53B), Aug. 2001
- (2) ABERT/SET, VSB/COFDM Comparison Report, May 2000.
- (3) VSB/COFDM Project, 8VSB/COFDM Comparison Report, Dec. 2000.
- (4) ATSC, Performance Assessment of the ATSC Transmission System, Equipment and Future Directions, April 12, 2001.
- (5) ATSC, Guide to the use of the ATSC Digital Television Standard (A/54), Oct. 1995.
- (6) Oren Semiconductor, OR55132 Product Brief, Nov. 2001.
- (7) F. M. Gardner, "A BPSK/QPSK Timing-error Detector for Sampled Receivers," IEEE Trans. Commun. Vol. COM-34, pp. 423-429, May 1986.

필자 소개



한 동 석

- 1987년 : 경북대학교 전자공학과 학사
- 1989년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
- 1993년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사
- 1989년~1996년 : 삼성전자 기술총괄 신호처리연구소 선임연구원
- 1996년~현재 : 경북대학교 전자전기공학부 전임강사, 조교수
- 주관심분야 : 디지털 통신 시스템

필자소개



김 정 진

-2000년 : 경북대학교 전자전기공학부 학사
-2002년 : 경북대학교 대학원 전자공학과 석사
-주관심분야 : 디지털 통신 시스템



류 영 재

-2000년 : 경북대학교 전자전기공학부 학사
-2002년 : 경북대학교 대학원 전자공학과 석사
-주관심분야 : 디지털 통신 시스템