

특집논문-03-08-2-02

DTV- OCR의 케환 간섭신호 제거용 DSP 모듈 및 SW 개발

이종현*, 차재상*

Development of Interference Cancellation DSP Module and Software for DTV-OCR

Lee, Chong Hyun* and Cha, Jae Sang*

요 약

본 논문에서는 DTV-OCR에 적용하기 위해 저자들이 개발한 간섭신호 제거용 DSP(Digital Signal Processor)모듈 및 SW(Software)를 소개한다. 일반적으로 RF(Radio Frequency)중계기는 송수신안테나 간의 분리도 특성에 따라 차이는 있을 수 있으나 필연적으로 송신된 신호가 수신안테나로 케환되어 발진 및 신호의 품질을 떨어뜨리는 등 문제의 소지가 많다. 본 논문에서는 이 케환된 간섭신호를 제거할 수 있도록 새롭게 개발한 신호처리 HW(Hardware) 및 SW모듈을 소개하고 그 실효성을 입증하였다. 또한, 개발한 신호처리 HW 및 SW모듈을 단순중계기에 적용시킬 수 있는 신호처리 기법을 제시하고 그 효용성을 실측데이터로 입증하였다.

Abstract

In this paper, we introduce a newly developed DSP module and Software which is applicable to DTV-OCR and is designed to cancel the interference signal. In general, RF repeater has problems of system oscillation and signal quality degradation due to feedback interference signal coming from transmit antenna. In this paper, we demonstrate newly developed DSP HW and SW module for cancelling the interference signal by investigating the field data measured through a RF repeater. Also, the structure and signal processing method for non-regenerative repeater system based on the newly developed DSP HW and SW module is illustrated as well.

I. 서 론

지상파 디지털 방송은 2000년부터 원활한 방송 송출을 위해 한국방송공사 기술연구소 및 한국전자 통신연구원을 주축으로 필드테스트를 행했으며^[1], 2001년 10월부터는 수도권을 중심으로 본격적인 방송을 시작하고 있다. 그러나 지상파 디지털 방송의 개시로 인해 기존의 아날로그 텔레비전 방송과 디지털 방송이 공존할 수밖에 없게되어, 중계국과

간이국의 수요가 증가되어 주파수가 부족한 현상이 초래될 것이라는 점이 자명해졌다. 따라서, 부족한 주파수를 효율적으로 활용하기 위한 방편으로서, 동일 채널 주파수를 사용하는 DTV-OCR(Digital TV-On Channel Repeater)방식이 제안되었으며 이에 따른 필드테스트가 수행되어왔다^{[2][3]}. 동일채널 주파수를 사용하는 DTV-OCR방식은 크게 재생 중계방식과 단순 중계 방식으로 분류될 수 있다. 전자는 수신된 신호를 복조 및 오류 보정을 거쳐 다시 RF 신호로 변환하여 재송출하는 방식이며, 후자는 수신된 RF 신호를 단순히 증폭하여 재송출하는 방식이다. 전자의 경우, DMV의 TCM(Trellis Coded Modulation)변조 과정에서 Trellis Encoder부의 메7 리의 상태에 따라 출력되는 심볼이 다르게 되는 Trellis Ambiguity

* 서경대학교 전자공학과
Dept. of Electronic Engineering, Seokyeong Univ.

** 서경대학교 정보통신공학과
Dept. of Information and Communication Engineering, Seokyeong Univ.

현상이 발생하여 송신 신호와 수신 신호가 서로 상관관계가 없는 신호가 되므로, 간섭 신호를 제거하기 위해 시간영역에서의 신호처리를 행하는 것이 불가능하게 된다. 한편, 후자의 단순 중계기의 경우는, 송신된 신호와 케환되어 수신 안테나로 들어오게 되는 간섭 신호가 서로 상관관계를 유지하므로 적절한 신호처리 기법을 통한 간섭신호의 처리가 가능해진다. 그러므로 단순중계기를 기반으로 유효한 신호처리가 행해진다면, 지상파 DTV의 걸림들이 된 주파수 부족문제가 효율적으로 개선 될 수 있다. 이와 같은 취지에 의해서, 본 논문에서는 저자가 선행연구로서 개발한 단순 DTV-OCR 중계기용 디지털 신호처리 모듈 및 SW 알고리즘을 소개한다. 제 2 장에서는 단순 중계방식의 DTV-OCR에 적용 가능한 오프라인과 온라인형태의 간섭제거 DSP 모듈 및 SW를 제시하고 설명한다. 제 3 장에서는 6MHz 대역 DTV의 Field 동기용 PN(Pseudo Noise) 시퀀스 신호를 발생 및 송출한 후, 이를 수신단에서 실측하여 얻은 데이터를 이용한 실험결과를 설명하고 마지막으로 제 4장에서는 결론을 맺는다.

II. DTV-OCR의 간섭신호 제거용 DSP 모듈 설계

1. 개발한 시스템의 개요

본 논문에서는 비교적 간단히 구현할 수 있으며 저렴한 비용으로 디지털 간섭 신호처리 적용이 용이한 단순 중계기를 기본으로 선택하여 간섭 제어 시스템을 개발하였다.

그 결과 간섭신호 제거를 위한 DSP 모듈과 SW로 구성된 모듈을 설계하였으며, 이들이 포함된 단순 중계기의 전체 구성도를 나타내면 그림 1과 같다.

그림 1에서 전체 구성도는 일반적인 DTV-OCR 단순중계기와 이에 부가된 간섭제거 DSP 모듈과 컴퓨터에 탑재된 간섭제거 소프트웨어로 구성되어 있다. 그림 1의 각 요소들의 기능을 세부적으로 설명하면 이하와 같다.

- 가) RF: 안테나로부터 신호를 수신하여 대역 필터를 거쳐 RF 신호를 출력한다.
- 나) IF(Intermediate Frequency) down 변환기: 아날로그 RF 주파수 신호를 받아 중간주파수 신호인 44MHz 대역의 아날로그 신호를 출력한다.
- 다) IF up 변환기: 아날로그 기저 대역 신호를 UP 변환기를 사용하여 중간주파수 신호인 44MHz 대역의 아날로그 신호 변환하고 다시 UP 변환기 RF 신호로 변환하여 RF 신호를 송출한다.
- 라) HPA(High Power Amplifier): 입력되는 RF 신호의 전력을 증폭하여 출력한다.
- 마) BPF(Band Pass Filter): 입력되는 RF 신호 중 사용하지 않은 다른 채널 또는 다른 무선기기에 영향을 주지 않도록 불필요한 신호를 제거하는 대역 필터이다.
- 바) DSP: 이 부분은 기존의 DTV-OCR 단순중계기에는 존재하지 않았던 부분이다. 즉, 이 부분은 신호의 분석과 오프라인 상의 알고리즘을 적용하여 간섭제거 능력을 확인하기 위한 부분으로, 입력되는 아날로그 신호를 디지털로 변환하는 AD(Analog to Digital)변환기와 디지털 신호를 처리하는 FPGA(Field Programmable Gate Array) 및 DSP 그리고 처리된 디지털 신호를 아날로그 신호로 변환하여 출력하는 DA(Digital to Analog)변환기 등으로 구성되며 외부의 컴퓨터와 통신을 통하여 필요한 정보를 주고받는다.
- 사) 컴퓨터: DSP 모듈과의 통신으로 수집한 정보를 오프라인으로 알고리즘을 적용하여 간섭제거 능력을 확인하기 위한 소프트웨어가 탑재되어 있다.

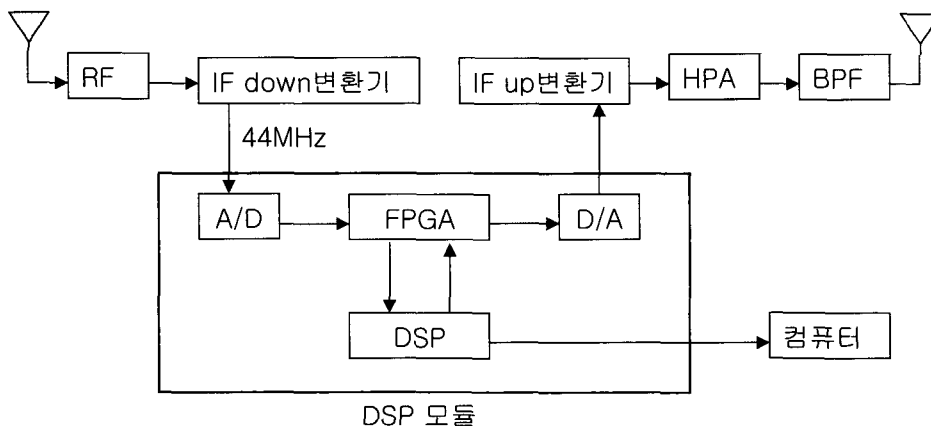


그림 1. DSP 모듈 및 SW가 포함된 단순 중계기의 구성도
 Fig. 1. Structure of Non-regenerative Repeater with DSP module and SW

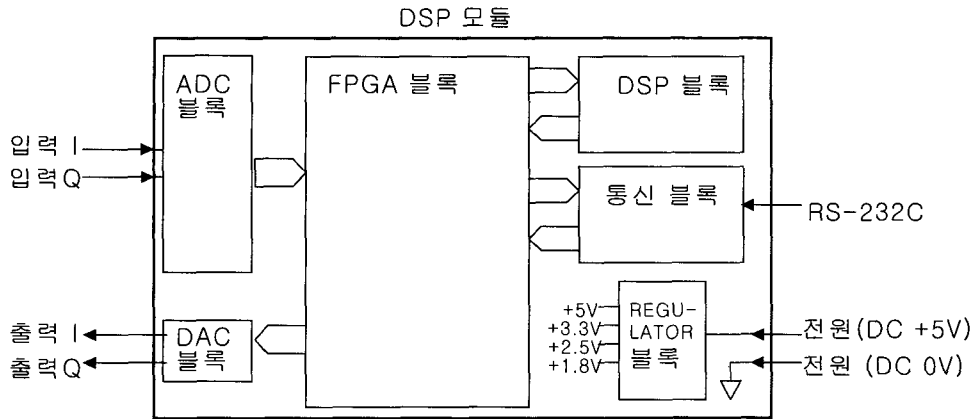


그림 2. DSP 모듈
Fig. 2. Functional Block Diagram of DSP module

2. 개발된 시스템의 핵심 DSP 모듈 및 SW알고리즘의 특성

2.1 개발된 간섭 제거용 DSP 모듈의 특성

간섭 제거 DSP 모듈 보드는 궤환되어 들어오는 간섭신호를 다양한 알고리즘을 통하여 제거하기 위해 개발되었다. 이 모듈을 구성하고 있는 두 개의 FPGA는 I(In-phase)와 Q(Quadrature)신호의 FIR(Finite Impulse Response)필터 출력을 계산하기 위해 사용되었으며, DSP 연산기는 FIR 필터 계수를 계산하고 분석하는데 사용되었다. 또한 DSP 모듈에는 IF down 변환기로부터 입력되는 아날로그 IF 신호를 디지털 신호로 변환하기 위한 A/D 변환기와 간섭이 제거된 디지털 기저대역 신호를 다시 아날로그 신호로 바꾸기 위한 D/A변환기도 포함 되어있다. 본 논문에서 개발한 간섭제거 DSP 모듈의 기능 블록도를 그림 2에 상세히 나타냈다. 그림2에서 나타낸 DSP모듈을 사용하면, IF 주파수의 IQ 변조기와 복조기의 이득을 구현된 소프트웨어를 이용하여 제어할 수 있으며, 간섭이 제거된 신호의 출력을 FPGA의 메모리영역에 저장한 후, 컴퓨터와 연결된 통신 포트를 통하여 전송할 수 있다.

2.2 개발된 데이터 수집용 SW의 특징

시간 영역 신호처리 기법을 이용한 간섭 제거 알고리즘을 실제 DSP 또는 FPGA로 구현하는데 필요한 적응 파라미터 (전체 다중경로 지연 시간, 필터 탭의 길이 등)들을 도출하기 위해서 1차적으로는, 오프라인으로 데이터 수집 및 분석이 필요하다. 이를 위하여 송신된 훈련신호(Training

Signal)와 전송채널상의 멀티패스(Multi Path)를 거쳐 수신된 신호를 RS485 직렬포트를 통하여 DSP 모듈에서 컴퓨터로 전송하는 GUI(Graphic User Interface) SW를 구현하였다. 본 논문에서는, 통신 프로토콜, 전송될 데이터의 정보 내용 및 규격사항 그리고 사용할 SW 도구의 특성을 고려하여 이하에 나타낸 기준에 맞추어 데이터를 수집할 수 있는 SW 구현하였다.

- 기반 SW 도구 : Visual Basic 과 Matlab
- 직렬포트 통신 방식: 비동기 통신 방식
- 데이터의 내용 : 12 bit 정수로 표현된 기저대역 I, Q 신호
- 데이터의 양 : 256 또는 512 개의 I, Q 신호

2.3 개발된 적응형 간섭 제거용 SW의 개요

본 논문에서는 고정수신은 물론이고 이동수신환경 속에서도 실시간으로 온라인 적응 간섭제거 기능이 구현될 수

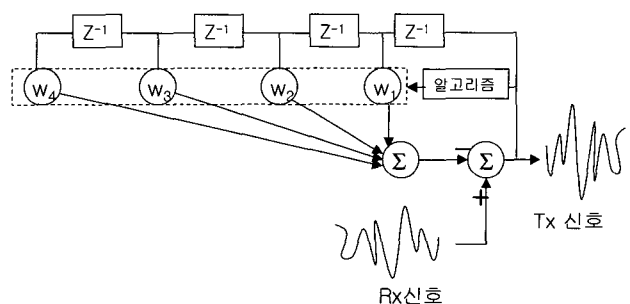


그림 3. 적응 알고리즘의 블록도
Fig. 3. Block Diagram of Adaptive Algorithm

있는 DTV-OCR 구조를 제안하였다. 제안된 구조는 그림 3과 같은 적응 알고리즘의 구현을 포함하고 있다. 본 논문에서 적용한 간섭 신호처리 알고리즘의 핵심부분은 수신 신호에서 멀티패스에 의해 지연(delay)된 신호성분을 제거하기 위한 등화기를 구성하는 가중치(weight, w)값을 구해내는 부분이다. 본래, 간섭신호처리 알고리즘을 구현하는 방법은 송신 및 수신 신호를 블록으로 받아서 처리하는 블록 처리 방식과 알고리즘 전체를 ASIC화하여 구현하는 적응 방식으로 크게 구분할 수 있다. 블록 처리 방식으로 알고리즘을 구현하는 경우 상대적으로 적은 수의 IC로 구현이 가능하게 되어 비용이 저렴해진다는 장점은 있으나, 블록 처리 방식으로 신호처리를 하는 동안에 채널환경이 변하게 되어 실시간으로 처리를 하지 못한 경우 시스템이 발진하는 문제점이 발생한다. 따라서 블록 처리방식으로 알고리즘을 구현할 경우 알고리즘 처리 속도와 채널의 변화 정도와의 관계를 사전에 조사하여 구현하여야 한다. 또한 수신로 시스템 발진 상황을 점검하여 발진이 생겼을 경우 송신 신호의 출력을 낮추어, 다시 기준 송신 신호를 송출하고 수신 신호를 수신하여 채널을 등화하는 과정이 거쳐야만 된다. 이동통신과 연계된 DTV의 개발이 한창인 현시점에서, 블록 처리방식의 알고리즘은 이동통신에서의 급격한 채널 환경변화를 수용하기에는 다소 문제가 있다고 판단된다.

따라서, 본 논문에서 개발한 간섭제거용 SW는 고정수신 환경은 물론이고, 이동수신과 같은 빠르게 변하는 채널환경을 고려해서 채널의 변화를 추정하여 등화할 수 있는 적응 방식의 알고리즘을 채택하였다. 종래에 적응 방식은 알고리즘이 블록처리방식에 비해 복잡한 관계로 인해서 실시간으로 동작하는 신호처리부의 하드웨어 구현시 게이트수가 증가되고, 수신부의 동기확립이 어렵다는 문제점이 있었으나, 최근에 하드웨어 및 VLSI기술의 개발에 힘입어, 적응방식의 신호처리 알고리즘을 FPGA로 구현한 예들^{[4][5]}이 발표됨으로써 실용화가 가능하다는 사실이 입증되었다. 그러므로, 본 논문에서는 고정수신은 물론이고 이동수신환경 속에서도 실시간으로 온라인 적응 간섭제거 기능이 구현될 수 있는 DTV-OCR 구조를 다음 그림 4와 같이 제안하였다.

그림 4에서 도시한 적응 신호처리 구조에 적합한 알고리즘들은 대부분 최소 평균 자승 오차 (Minimum Mean Square Error) 방식에 기인하고 있으며 현재 널리 사용되고 있다^[6]. 이러한 알고리즘들은 크게 계산량과 수렴속도에 따라 분류할 수 있는데 본 논문에서는 대표적인 LMS (Least Mean Square), RLS(Recursive Least mean

Square), QR-RLS(QR decomposition based-RLS) 알고리즘을 Matlab을 이용하여 SW로 구현하였다.

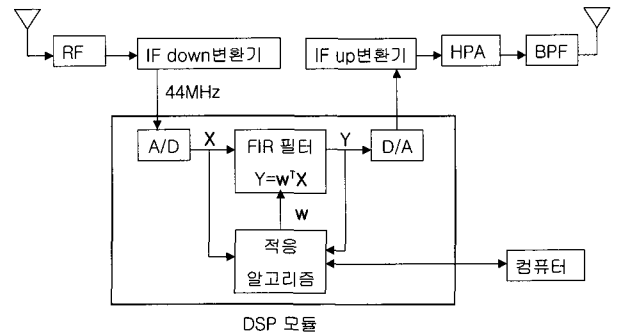


그림 4. 적응형 간섭 제거 DSP 모듈 및 SW가 포함된 단순 증계의 구성도
Fig. 4. Structure of Non-regenerative Repeater with Adaptive DSP module and SW

2.4 구현한 SW의 특징

본 논문에서 구현한 GUI SW는 Visual Basic과 Matlab을 기반으로 제작되었다. 전체 SW의 흐름도는 그림 5에 나타나 있으며 다음과 같은 과정으로 구성되어 있다.

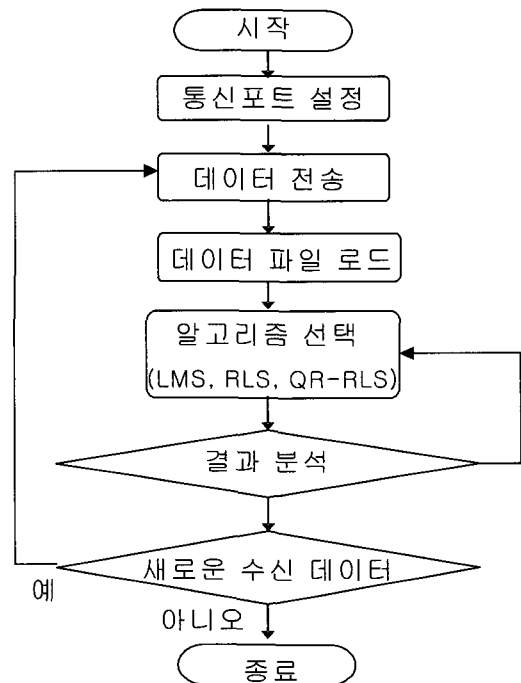
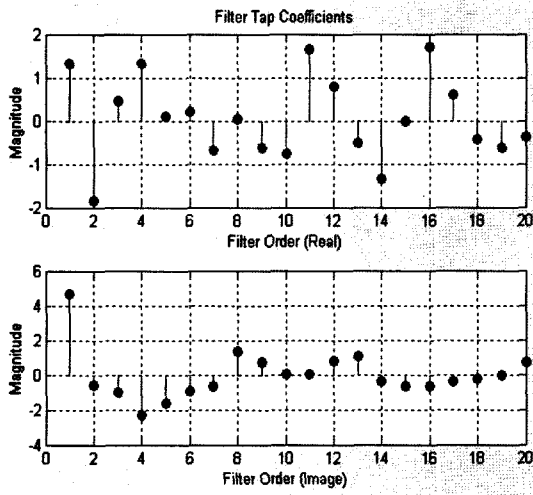


그림 5. 개발된 DSP 모듈 SW 흐름도
Fig. 5. Flowchart of DSP module SW

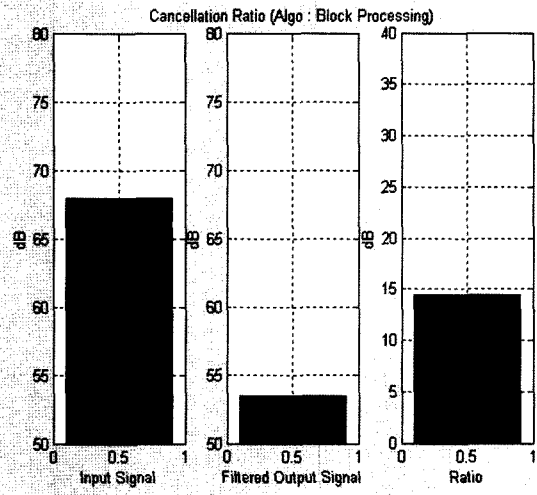
- ① 간섭 제거용 DSP 모듈을 초기화한다.
- ② 컴퓨터와 DSP 모듈간의 속도 및 기타 통신포트 설정한다.
- ③ 전송된 훈련신호 및 수신된 데이터를 DSP 모듈로부터 읽어 들인다.
- ④ Matlab에서 전송된 데이터를 로드하여 분석할 준비를 한다.
- ⑤ 데이터 로드가 완료되면 다양한 알고리즘을 데이터를 분석한다. 선택 가능한 알고리즘은 'Wiener 필터', 'RLS', 'LMS', 'QR-RLS'이며 이들을 이용하여 다중 경로를 분석한다. 일정 기준에 맞는 결과가 아닐 경우 다시 새로운 알고리즘을 선택하여 계속 분석을 수행한다.
- ⑥ 만족할 만한 결과가 얻어 지고 난 후 새로운 채널 데이터가 입력되었을

경우 ② ~ ⑤의 과정을 반복한다.

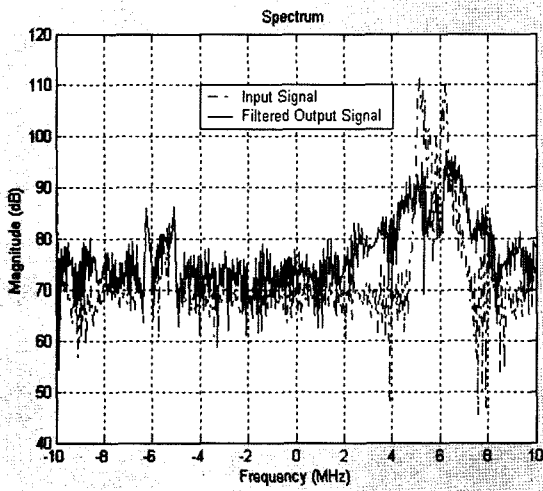
위의 과정을 거쳐 분석된 결과의 일예를 그림 6에 나타나 있다. 즉 (a) FIR 필터 계수 (b) 전송된 훈련 신호와 필터링 된 출력신호의 값과 두 신호의 dB(Decibel)차이 값 (c) 입력신호와 필터링 된 출력신호의 스펙트럼 (d) 크기와 위상에 따른 필터 응답이 출력으로 그림으로 도시되었다.



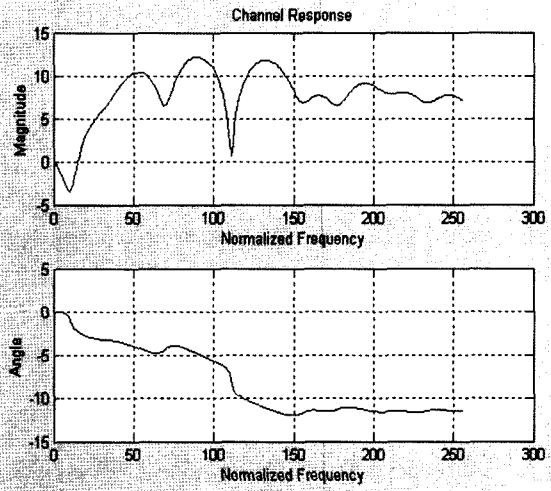
(a) 추정된 FIR 적응 필터 계수



(b) 전송된 훈련 신호와 필터링 된 출력신호의 값과 간섭제거비



(c) 입력신호와 필터링 된 출력신호의 스펙트럼



(d) 추정된 적응 필터의 크기응답과 위상응답

그림 6. DSP module 및 SW로 분석한 결과
Fig. 6. Analysis results obtained via DSP module and SW

Ⅲ. 개발한 DSP모듈 및 SW알고리즘의 간섭제거 실험 결과 및 모의실험에 의한 분석

본 논문에서는 상기 서술한 DSP 모듈 및 SW 알고리즘을 개발하고, 이들이 고정채널 환경은 물론이고 열악한 이동채널환경에서도 동작하는지를 확인하기 위해, 종래의 이동 통신용 RF 증계기를 활용하여 성능실험을 행하였다. DSP 모듈의 입력으로는 RF 증계기의 IF 출력단의 아날로그 출력신호를 이용하여 실험을 수행하였다. 실험장소는 아산에 위치한 호서대학교의 벤처기술관의 옥상에서 실험을 수행하였으며 입력과 출력 신호는 그림 7과 같

은 조건에서 수집되었다. 그림에서도 알 수 있듯이 송신 안테나와 수신안테나는 약 180도 정도의 반대 방향으로 향하고 있으며 LOS(Line Of Sight)의 신호가 전혀 없이 건물들로 막힌 상태에서 신호가 수집되었다. 수집된 신호는 20MHz로 표본화하였으며 수신된 신호에서 FIR 필터 계수를 구하였다. FIR필터의 계수를 구할 때, 수신신호가 시스템 전체를 통과할 때 생기는 지연과 송신신호가 다중 경로에 의해서 생기는 최소 지연 시간을 7μsec로 가정하고 이에 해당되는 140샘플은 FIR 필터 계수 추정할 때 제외하였다.

실험에 사용된 송신 훈련신호는 계측기에서 제공되는 PN 시퀀스 발생기를 이용하여 생성된 6MHz 대역의 Field 동기용 PN 시퀀스 신호를 사용하였다. 본 논문에서 개발된 모듈의 성능은 송신 신호와 수신신호의 다중경로 지연에 의한 간섭 제거성능을 확인하는 것이 목적이기 때문에 8VSB방식으로 변조된 신호보다는 자기상관특성이 양호한 DTV전송신호의 Field 동기용 신호인 PN 시퀀스 신호를 이용하여 실험을 수행하였다. 송신신호와 이 신호가 다중 경로를 거쳐서 들어온 수신한 신호는 각각 그림 8과 그림 9와 같다.

실험데이터는 데이터 수집 및 컴퓨터로

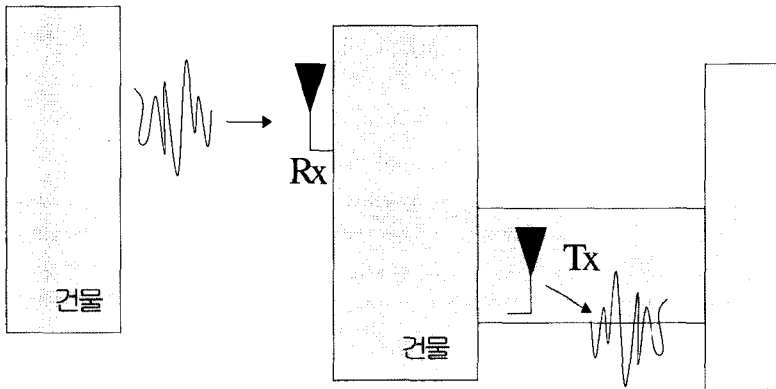


그림 7. 데이터 수집을 위한 실험 환경
Fig. 7. Experimental Environment for Data Acquisition

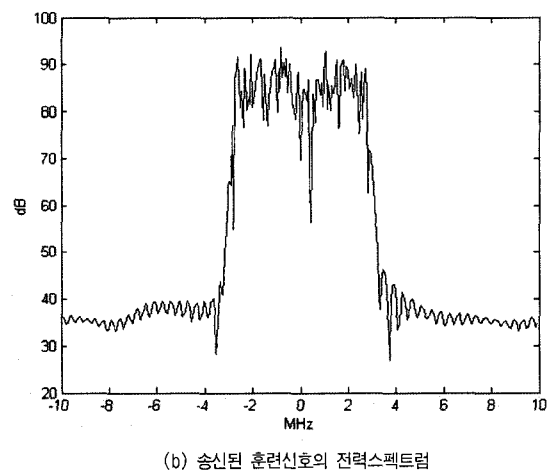
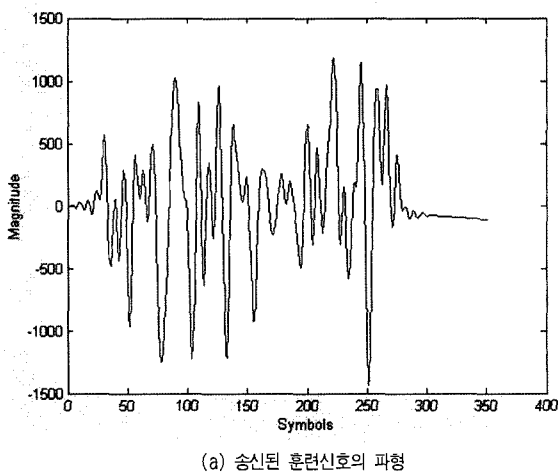


그림 8. 송신 신호 및 전력 스펙트럼
Fig. 8. Transmitted Training Signal and its Power Spectrum

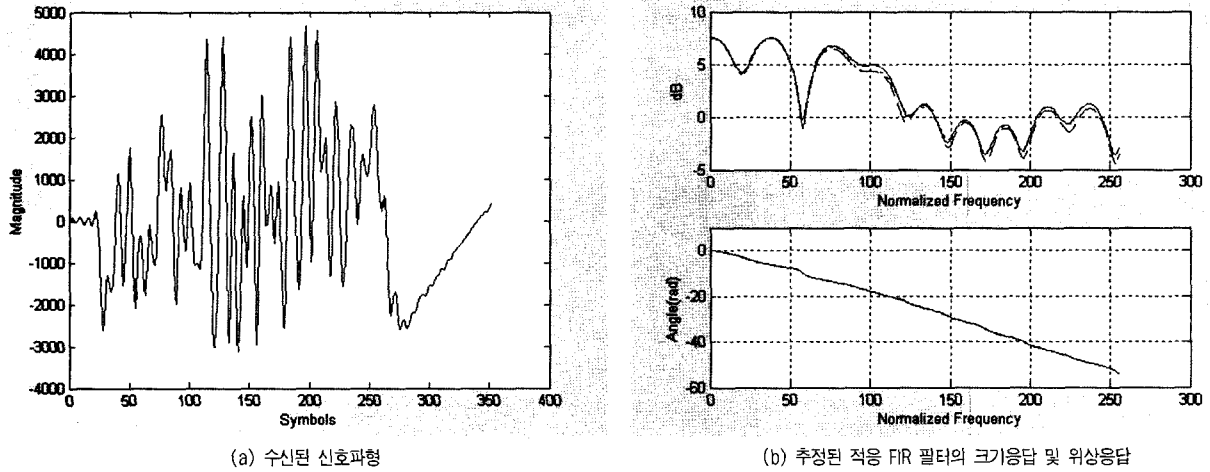


그림 9. 수신 신호 및 전력 스펙트럼
Fig. 9. Received Signal and its Power Spectrum

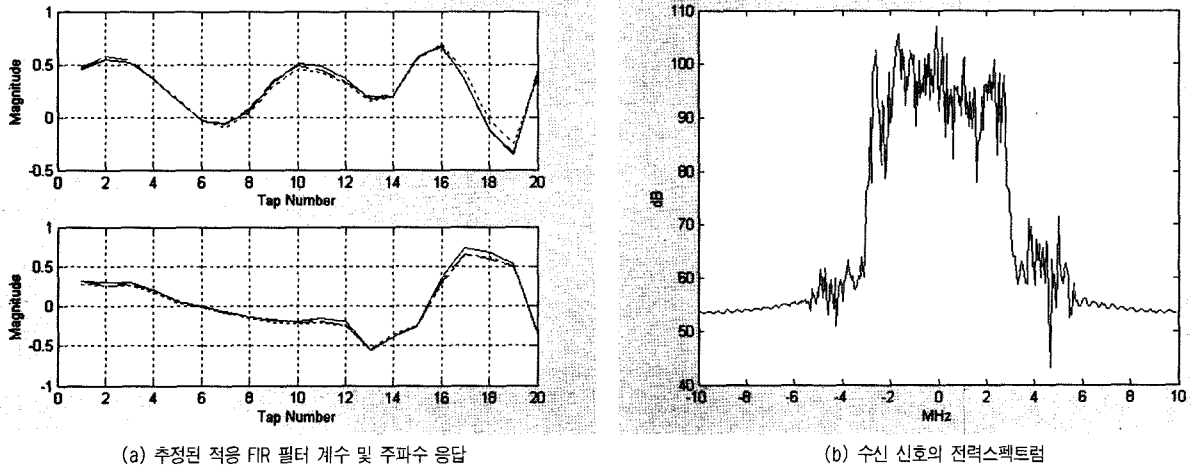


그림 10. 분석된 FIR 필터 계수 및 주파수 응답
Fig. 10. The obtained FIR Filter coefficients and its Frequency Response

전송하는데 소요되는 시간 지연을 두고 10회에 걸쳐 연속적으로 수집되었다. 10회의 실험에 대한 FIR 필터 계수 및 필터 응답 중에서 3개의 데이터에 대한 결과를 그림 10에 나타냈다. 그림 10에 나타난 바와 같이 전체 다중경로의 지연 퍼짐(delay spread)은 약 20샘플 (= 1 μ sec) 정도임을 알 수 있다. 또한 그림 10에서도 알 수 있듯이 비록 송수신 안테나가 고정된 상황이지만 송수

신 안테나 간의 채널이 계속해서 변하는 것을 알 수 있으므로 적응형 간섭제거 알고리즘이 구현되어야 함을 알 수 있다.

다음은 구현된 다양한 적응 알고리즘을 사용하여 수집된 데이터를 이용하여 그 결과를 분석하였다. 사용된 LMS와 QR-RLS 알고리즘은 표 1과 같이 요약되었으며 [6], 시뮬레이션 파라미터는 표 2에 정리되었다.

표 1. LMS와 RLS 알고리즘 요약
Table 1. The summary of LMS and RLS algorithm

입력신호	
$x(n)$:	입력 신호
$d(n)$:	송신된 훈련신호
LMS 알고리즘	
0) 파라미터:	
M:	FIR 필터 탭수
μ :	적응상수
a:	임의의 양의 정수
1) 초기화	
$w(0)$:	0 ;
2) 적응 법칙	
$e(n)$:	$d(n) - w(n)^T x(n)$
$w(n+1)$:	$w(n) + \mu x(n)e^*(n)$
RLS 알고리즘	
0) 파라미터:	
M:	FIR 필터 탭수
λ :	적응상수
δ :	크기가 작은 양의 정수
1) 초기화	
$P(0)$:	$\delta^{-1}I$;
$w(0)$:	0 ;
2) 적응 법칙	
$k(n)$:	$\lambda^{-1}P(n-1)x(n)/(1 + \lambda^{-1}x(n)^T P(n-1)x(n))$
$e(n)$:	$d(n) - w(n-1)^T x(n)$
$w(n)$:	$w(n-1) + k(n)e^*(n)$
$P(n)$:	$\lambda^{-1}P(n-1) - \lambda^{-1}k(n)x(n)^T P(n-1)$

우선 LMS 알고리즘을 사용하였을 경우의 결과를 아래 그림 11에 나타내었다. 그림에서도 알 수 있듯이 알고리즘의 수렴 속도를 좌우하는 적응 상수의 값에 따른 성능 변화가 잘 나타나 있다. 또한 구현하는데 많은 비용이 소요되지만 수렴속도가 빠른 RLS 알고리즘과 LMS 알고리즘을 사용하였을 경우의 결과를 그림 12에 나타나 있다. 잘 알려진 바와 같이 RLS의 성능이 LMS 알고리즘에 비해 월등함을 알 수 있다. 그러나 채널 환경이 급변하지 않은 경우에 비교적 안정적으로 데이터를 수집할 수 있는 경우에는 적은 계산량이 요구되는 LMS 알고리즘도 성능을

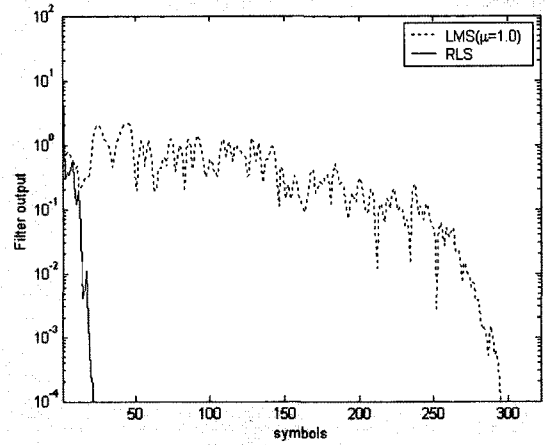


그림 12 RLS와 LMS 알고리즘의 수렴 결과
Fig. 12. Convergence Results of LMS and RLS Algorithms, respectively

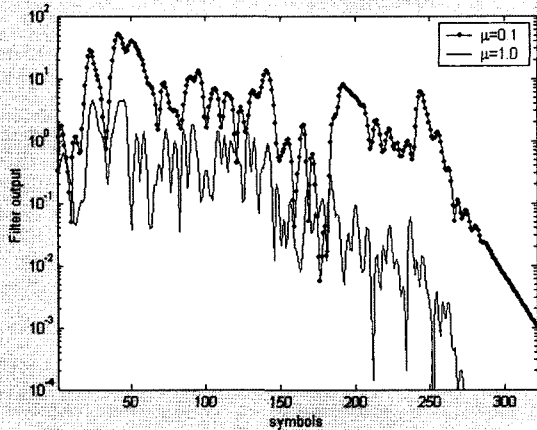


그림 11 적응상수(μ)에 따른 LMS 알고리즘 수렴 결과
Fig. 11. Convergence Result of LMS Algorithm according to adaptation

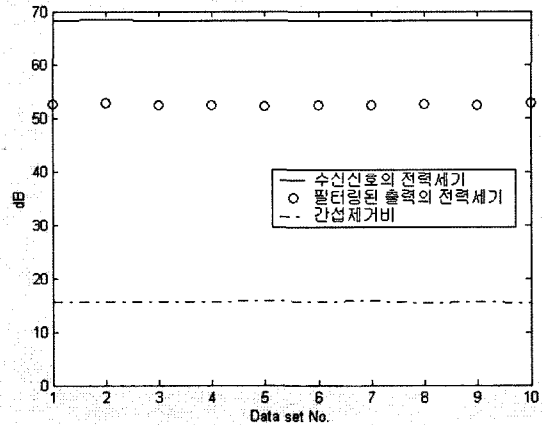


그림 13 수신 신호와 FIR 필터링된 신호의 전력세기 및 간섭제거비
Fig. 13. Power of the received signal and the FIR filtered signal an Cancellation Ratio

보장할 수 있음을 알 수 있다.

마지막으로 수집된 10개의 데이터 셋을 사용하여 적응 알고리즘의 성능을 검증하였다. 사용된 알고리즘은 RLS 알고리즘으로 사용된 파라미터는 표 1에 기록한 값을 사용하였다. 각 데이터 셋에서 수신된 신호의 전력세기와 FIR 필터링된 출력 신호의 전력세기와 수신 신호와 출력신호의 차이, 즉 간섭제거비를 그림 13에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 개발된 구조를 사용하여 적응형 간섭제어 시스템을 사용할 경우 최소한 15dB의 간섭신호를 제거할 수 있음을 알 수 있다.

표 2. 실험에서 사용된 적응 알고리즘의 파라미터들
Fig. 2. Experimental Parameters for Adaptive Algorithm

알고리즘	LMS	RLS
M	20	20
μ	0.1	X
	1.0	
λ	X	0.999
δ	X	0.01

IV 결론

본 논문에서는 DTV-OCR 단순 중계기에 적용 가능한 간섭 신호제거용 HW모듈 및 SW알고리즘을 구현하였다. 본 논문에서는 RLS, LMS등과 같은 적응형 간섭신호처리 알고리즘을 기반으로 구현한 간섭 신호처리HW와 SW알고리즘의 동작성능을 RF 중계기와 ATSC(Advanced Television Systems Committee)방식 DTV의 Field 동기신호를 사용한 펄드상의 실측을 통해 검증하였다. 또한, 적응형 간섭 신호처리 알고리즘들의 유효성을 모의실험에 의한 결과분석을 통해 확인하였다. 본 논문에서 제시한 적응신호처리구조의 신호처리 HW 및 SW알고리즘은 DTV-OCR 단순 중계기에 유용하게 활용될 수 있으리라 기대된다.

참 고 문 헌

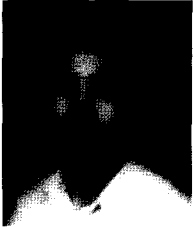
[1] 목하균, 서영우, 황해섭, "한국의 지상파 DTV 필드테스트 결과", 한국방송공학회 논문지 제5권 2호, pp 142-158, 12월, 2000.
 [2] 서영우, 목하균, 권태훈, "지상파 DTV 동일채널 중계기 필드테스트 결과 분석", 한국방송공학회 논문지 제7권 1호, pp 10-20, 3월, 2002.
 [3] W Husak and H. Helm, "Design and Construction of a Commercial DTV On-Channel Repeater," NAB Broadcasting Engineering Conference Proceedings, Apr. 2000.
 [4] http://www.pldworld.com/hdl/1/www.jreste.fr/fdl/vcl/models/lms_txt.htm.
 [5] <http://napier.ncl.ac.uk/HSLA>.
 [6] Simon Haykin, Adaptive Filter Theory, Prentice Hall, 1996.

저 자 소 개



이 종 현

- 1985년 : 한양대학교 전자공학과(공학사)
- 1987년 : Michigan Technological University (공학석사)
- 1989년 : University of Wisconsin-Madison (박사과정)
- 1990년~1995년 : 한국전자통신연구원 선임연구원
- 1995년~2002년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
- 1999년 3월~1999년 9월 : Stanford University (교환연구원)
- 2000년~2002년 : (주) KM Telecomm. (연구소장)
- 2003년~현재 : 서경대학교 전자공학과 전임강사
- 주관심분야 : 통계학적 신호처리, 적응 배열 안테나 시스템, 디지털TV, UWB무선전송기술.



차 재 상

- 1991년 : 성균관대학교 전기공학과(공학사)
- 1991년~1993년 : 육군 교관 (ROTC)
- 1997년 : 성균관대학교 전기공학과(공학석사)
- 2000년 : (일본)東北대학교 전자공학과(공학박사)
- 2000년~2002년 : 한국전자통신연구원 무선방송기술연구소 선임연구원
- 2002년~현재 : 서경대학교 정보통신공학과 전임강사
- 주관심분야 : 디지털TV, UWB무선전송기술, 대역확산 및 다중접속기술, 4세대 이동통신기술