

일반논문-07-12-3-07

Decimation 알고리즘을 이용한 DTV TxID수신 신호의 효율적인 신호처리 기법에 관한 연구

손주희^{a)}, 이용태^{b)}, 박성익^{b)}, 김홍목^{b)}, 서재현^{b)}, 이재영^{b)}, 차재상^{c)‡}

Efficient Digital Signal Processing of DTV TxID Based On Decimation Algorithm

JuHee Son^{a)}, YongTae Lee^{b)}, SungIk Park^{b)}, HeungMook Kim^{b)}, JaeHyun Seo^{b)},
JaeYoung Lee^{b)} and JaeSang Cha^{c)‡}

요 약

최근 들어 ATSC-DTV의 미래형 핵심기술로 손꼽히고 있는 송신기 식별기술(TxID ; Transmitter Identification)이 새로운 신기술로 대두되고 있으며, 이에 대한 구현성 검증은 현재 활발하게 논의 중인 동일채널중계기(EDOCR)와 연계된 단일주파수망(SFN; Single Frequency Network)기술의 실용화를 위한 핵심적 역할을 한다고 볼 수 있다. 하지만 종래의 TxID기술은 긴 주기의 워터마크용 확산코드를 사용하므로 수신기 입장에서 하드웨어 부피 및 연산량이 크게 증가되는 문제점을 갖고 있다. 따라서 본 논문에서는 TxID 수신기 하드웨어 부피를 크게 경감시킬 수 있는 새로운 Decimation 알고리즘을 이용한 DTV TxID 수신 신호의 효율적인 신호처리 기법을 제시하였으며, 모의실험을 통한 성능평가를 통해 제안한 알고리즘의 유용성을 입증하였다.

Abstract

Recently, Transmitter Identification(TxID) technology has been issued as a key technology of ATSC DTV. ATSC DTV networks are comprised of a plurality of transmitters, broadcasting the same signal using one frequency network(SFN) connected to EDOCR. In this single frequency network, TxID technology has been recognized as a key technology in the ATSC DTV system since it enables the broadcast authorities and classify multiple transmitters. However, conventional TxID uses extremely long spreading sequence to identifying transmitters, so it increases H/W complexity and registers. Thus, to solve those hardware problems, we propose an efficient signal processing technology using decimation algorithm. Furthermore, we certified the availability of the proposed algorithm via various simulations.

Keyword : ATSC DTV, Transmitter identification, Decimation algorithm

-
- a) 성균관대학교 전자전기공학부
Electronic & Electrical Engineering, Sungkyunkwan University
b) 한국전자통신연구원 전파방송연구단
Radio & Broadcasting Research Division, ETRI
c) 서울산업대 매체공학과
Dept. of Media Engineering, Seoul National Univ of Tech.
‡ 교신저자 : 차재상(chajs@snut.ac.kr)
※ 본 연구내용의 일부는 한국전자통신연구원(ETRI)의 위탁 연구과제에 의해 수행된 결과물임.

1. 서론

현재 ATSC기반의 DTV의 미래형 핵심기술로 손꼽히고 있는 송신기 식별기술(TxID ; Transmitter Identification)은 새롭게 대두 되고 있는 신기술^[1]이며, 이에 대한 구현성 검증은 현재 활발하게 논의 중인 동일채널중계기(EDOCR;

Equalization Digital On-Channel Repeater)와 연계된 단일주파수망(SFN; Single Frequency Network)기술의 실용화를 위한 핵심적 역할을 한다고 볼 수 있다^[2].

이러한 송신기 식별기술은 송신단 또는 증계기 별로 데이터 필드에 수만 칩에 해당하는 상당히 긴 주기의 수열을 이용해 데이터 복조에 영향을 끼치지 않을 정도의 낮은 전력값으로 워터마킹을 행하게 되며, 수신단에서는 송신단에서 삽입된 확산코드와 같은 긴 주기의 수열을 이용하여 상관처리 후, 도출된 상관 결과값을 통해 송신기 식별을 행하게 된다. 이러한 송신기 식별용 확산코드는 상당히 긴 주기를 사용하기 때문에 송신기 식별을 위한 수신부 H/W의 복잡도와 전력소비를 증가시키는 주원인이 된다. 그러므로 이러한 송신기 식별기술을 상용화하기 위해서는 상당히 긴 주기의 수열에 대한 수신부의 실시간 상관처리를 위한 하드웨어 구성과 H/W의 연산량이나 전력소비를 경감시킬 수 있는 방안에 대한 논의가 필수적이라고 할 수 있다. 하지만 현재까지의 국제적인 연구^{[3][4]}는 주로 수신부 상관처리의 구조개선 보다는 송신단 파트에 관한 연구가 주로 행해졌으며, TxID 분석을 위한 최적 수신 알고리즘 연구나, TxID 분석기를 위한 수신 H/W 최적 구성안에 관한 연구는 상당부분 미흡했던 것이 사실이다. 그러므로 향후 송신기 식별기술의 상용화를 앞당기고, 기술의 구현성을 검증하기 위해서는 무엇보다도 새로운 TxID용 알고리즘 및 수신 상관처리 H/W에 대한 최적 구성안을 마련하는 것이 절실히 필요하다고 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 ATSC-DTV의 핵심기술인 TxID기술을 상용화하고 최적 수신 H/W 구성을 위하여 종래에 사용되는 상당히 긴 주기의 워터마킹용 확산코드와 유사한 QoS와 직교성을 유지함과 동시에 수신부의 실시간 상관처리가 가능한 Decimation 알고리즘을 제시하고, 이를 모의실험을 통하여 제안기술의 유용성과 실용화 가능성을 명확하게 제시하고자 한다.

본 논문의 순서를 기술하면 다음과 같다. 1장에서는 현재 연구가 활발히 진행 중인 ATSC-DTV의 TxID기술의 배경을 알아보고 2장에서는 기존의 TxID방식과 문제점에 대해 기술한다. 이어서 3장에서는 기존 방식의 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서 제안하는 TxID 최적 수신 알고리즘인 Decimation 알고리즘을 제시하며, 4장에서는 본 논문에서

제시하는 Decimation 알고리즘의 유용성을 확인하기 위한 DTV 송수신 시스템의 시스템의 모델링을 행하고 5장에서는 본 논문에서 행한 수학적 분석을 기반으로 다양한 환경하에서의 모의실험을 수행하여 제안 방식의 유용성을 확인하고자 한다. 마지막으로, 6장에서는 결론을 내리고 본 논문의 끝을 맺는다.

II. 워터마킹 기반 DTV시스템의 송신기 식별 기술

종래의 워터마킹 기반 TxID 기술은 그림 1에서처럼 카사미(Kasami) 수열을 이용하여 ATSC-DTV 신호에 워터마킹 시켜 송신기를 인식하는 방식이다. 각 송신기는 송신기간에 각각 고유의 확산코드를 갖게 되며 이들 코드들은 상호간에 직교성을 가지므로 여러 송신기들로부터 온 신호들을 식별할 수 있는 능력을 부여하게 된다. 이러한 확산코드는 그림 1과 같은 DTV 데이터 신호에 필드 동기용 세그먼트를 제외한 부분에 4주기의 카사미 수열이 삽입된다.

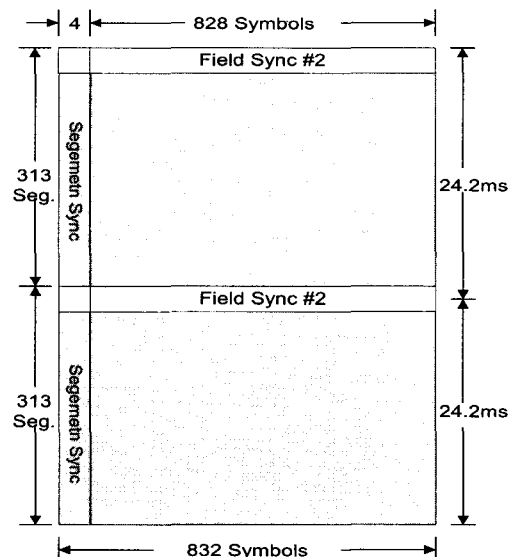


그림 1. 1개의 프레임내의 송신기 식별용 PN수열의 점유영역(어둡게 칠해진 부분)

Fig. 1. One frame of ATSC signal with embedded TxID sequence (shaded region)

이때 그림 2와 같이 한 데이터 필드에 4주기의 카사미 수열이 삽입되는데, 필드 동기용 세그먼트를 제외한 한 필드의 길이가 259584(832*312) 심볼이므로 이와 매칭시키기 위하여 $216-1=65,535$ 주기를 갖는 카사미 수열 3주기와 639심볼이 절단된 1주기의 카사미 수열이 삽입된다. 또한 카사미 수열의 진폭은 8VSB 신호 검출에 영향을 끼치지 않을 정도의 무시할만한 크기로 삽입되는데, 8VSB 전송데이터 송출전력보다 -30dB낮은 전력 즉, 0.1502082V의 진폭으로 삽입 후 데이터를 전송한다^[5].

이상의 방법으로 송출된 DTV신호는 수신단의 상관기에서 송신단에 사용된 확산코드와 같은 신호로 상관처리 후 수신 신호를 복원한다. 그러므로 카사미 수열의 직교특성은 DTV용 TxID기술의 데이터 송수신 성능을 결정짓는 중요한 요소로 작용한다.

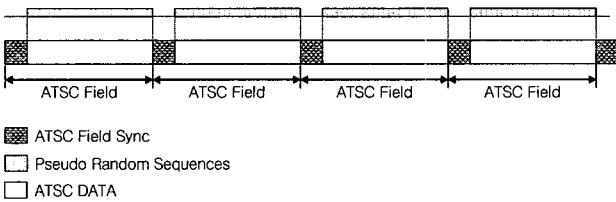


그림 2. 카사미 수열을 이용한 워터마킹 방법
 Fig. 2. Illustration of the ATSC signal with embedded spread spectrum sequences(time domain)

본 특성을 분석하기 위한 상관특성의 결과를 아래의 그림 3~4에서 나타내었다. 그림 3은 65,535칩 카사미 수열의 ACF(Auto Correlation Function) 특성 도출 결과이며, 매 65,535주기마다 65,535의 SF(Spreading Factor)를 가진다. 반면 그림 4는 65,535 칩 카사미 수열의 CCF(Cross Correlation Function)의 특성 결과를 부분 확대한 그림이며, 그림 3에서와 같이 주기적인 SF를 가지지 않는다. 그림 4에서 알 수 있듯이 카사미 수열은 반복적인 상호상관 값[-513, -257, -1, 255, 511]을 가진다^[6].

하지만 종래의 방법은 수신단에서 전송된 데이터를 상관처리 하기 위하여 송신단에서 삽입된 카사미 수열과 같은 65,535칩의 긴 주기의 수열을 참조 신호로 사용하는데 이는 하드웨어의 복잡도와 전력소비를 증가시키는 주원인이 된다.

따라서 본 논문에서는 종래의 DTV 전송기술에서 사용되는 카사미 수열의 직교성과 통신 QoS를 유지하며 수신 H/W의 부피를 경감시키는 최적 수신 상관 신호처리를 위한 다양한 Decimation 알고리즘을 제시하고자 한다.

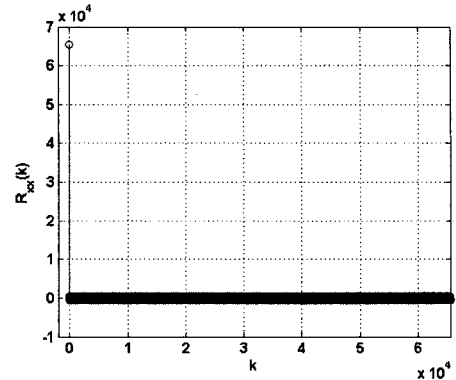


그림 3. 65,535칩 카사미 수열의 ACF특성
 Fig. 3. ACF property of Kasami sequence(65,535 chip)

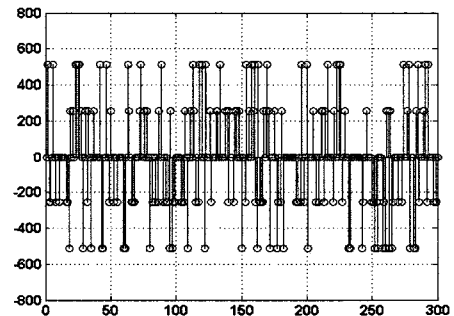


그림 4. 65,535칩 카사미 수열의 CCF 특성(부분확대)
 Fig. 4. Expanded view of CCF property of Kasami sequence(65,535 chip)

III. 송신기 식별 기술의 최적 수신 H/W를 위한 Decimation 알고리즘

1. Decimation 알고리즘의 제시

본 장에서 제안하는 Decimation 알고리즘은 수신단에 포함되어 있는 기존의 상관기의 참조신호를 기반으로 일정 구간 간격마다 0으로 대체시킴으로써 수신기 H/W의 레지스터 및 연산과정을 획기적으로 줄이는 기법이다.

본 논문에서 제안하는 Decimation 알고리즘이 적용된 상관기는 그림 5와 같이 도식화할 수 있다.

그림 5의 Decimation 알고리즘을 위한 고표율 정합필터의 블록 다이어그램은 본 논문에서 제안하는 Decimation 알고리즘을 위한 상관기는 {1, 0, -1}의 탭 계수를 가지며 탭 계수가 0일 때 합산회로가 소거되어 결론적으로 낮은 소비전력이 도출된다^[7].

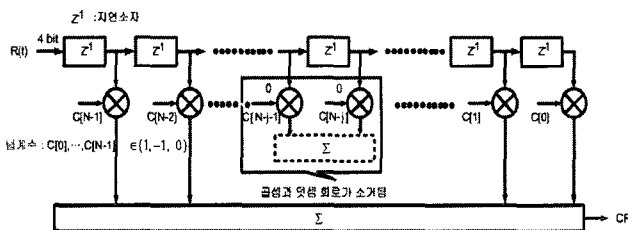


그림 5. Decimation 알고리즘을 위한 블록도
Fig. 5. Block diagram for Decimation Algorithm

또한 본래의 참조수열과 Decimation 알고리즘이 적용된 수열을 각각 $x(n)$, $x'(n)$ 이라 할 때 본 논문에서 제안하는 Decimation 알고리즘은 다음과 같은 수식 (1)을 따른다.

$$x'(k) = \begin{cases} x(k), & 0 \leq k < M \\ 0, & M \leq k < \frac{N-1}{2} \end{cases} \quad (1)$$

여기서 R_d 는 Decimation Ratio를 의미하며, $M = \frac{N+1}{2} R_d$ 로써, 상관기의 부분 참조신호의 SF (Spreading Factor)를 결정짓는 요소이다. 또한 N은 참조신호의 길이로써, 기존의 워터마킹용 DTV TxID시스템에서는 216-1=65,535 칩이다. 또한, 식 (1)은 참조신호의 반주기에만 해당하는 식이며 나머지 반주기에 대해서도 같은 수식이 적용된다.

$R_d = 1/2(SF = (65,535+1)/2 * 1/2 = 32,768)$ 로 설정되었을 경우 Decimation 알고리즘이 적용된 수신부의 참조신호의 예는 다음 그림 6과 같다.

상기 그림 6과 같이 Decimation 알고리즘이 적용된 참조신호는 일정부분에 제로가 삽입됨에 따라 수신 H/W의 연산량과 레지스터의 수가 Decimation Ratio에 따라 획기적으로 줄 것이라 판단된다.

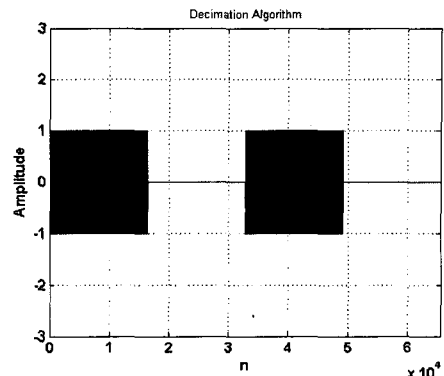


그림 6. Decimation 알고리즘을 적용한 카사미 수열의 예
Fig. 6. An example of decimation algorithm based Kasami sequence

2. Decimation 알고리즘 적용 시 상관특성

본 절에서는 본 논문에서 최적 수신 H/W 설계를 위해 제안하는 Decimation 알고리즘을 적용하였을 시 송신기 식별 기술에 중요한 요소로 작용하는 각 확산코드별 직교성의 유지여부를 확인하기 위해 다양한 조건별로 상관특성을 도출하여 보았다.

우선, 상기 절에서 제시된 상관기에 그림 6의 예와 같은 부분 참조신호가 적용되어 수신된 카사미 수열과 상관을 취했을 경우 다음의 그림 7의 ACF와 그림 8의 CCF결과가 도출된다.

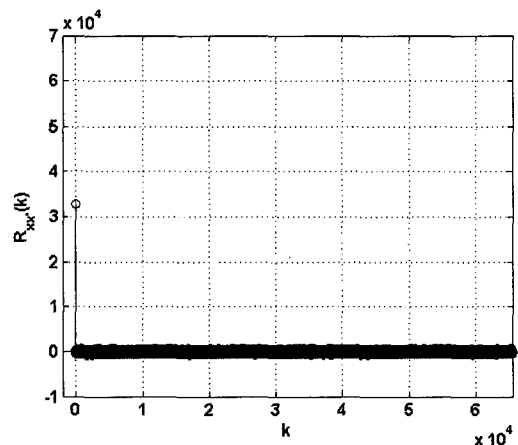


그림 7. 제안한 기법을 적용한 ACF 결과(Rd=1/2)
Fig. 7. ACF property of proposed algorithm(Rd=1/2)

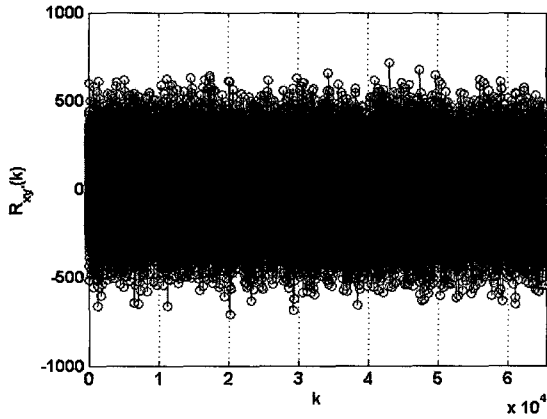


그림 8. 제안한 기법을 적용한 CCF 결과(부분확대)
Fig. 8. CCF property of proposed algorithm(Rd=1/2)

그림 7의 결과에서 종래의 카사미 수열의 상관값을 비교 하였을 때 도출되는 ACF의 피크치(SF)가 기존방식의 ACF 피크치보다 R_d 만큼 감소하였으며, CCF의 경우 기존방식의 카사미 수열의 상호상관 값과 같이 일정한 값이 도출되지 않았다. 하지만 그림 7~8에서 보는바와 같이 뚜렷한 ACF와 CCF의 특성이 도출되므로 카사미 수열의 직교특성이 유지됨을 확인하였다.

이와 더불어, 최적의 수신 알고리즘의 선정을 위하여 $R_d = 1/2$ 일 경우 외에도 1/3, 1/4의 다양한 조건의 Decimation Ratio를 적용하여 카사미 수열의 직교특성이 유지됨을 확인하였으며, 본 절에서 수행한 모의실험에 관하여 다음의 표 1에서 수치화 하였다.

또한 최적의 저 소비전력 수신기 H/W를 설계하기 위한 참조신호를 얻기 위하여 수식 (2)를 통해 각 방식의 코드별 MPSR(Main Peak to Sidelobe Ratio)을 구하였다.

$$MPSR = \frac{V_{ACF\ peak}}{\max\{|V_{sidelobe\ peak}|\}} \quad (2)$$

수식 (2)에서 구한 MPSR은 ACF peak 값을 ACF의 sidelobe의 가장 큰 진폭값으로 나눈 비율로써, 각 수열의 상관 특성을 나타내는 지표이다. 따라서 MPSR 수치 값이 클수록 우수한 코드의 성능을 나타낸다고 할 수 있다.

또한 기존 방식의 카사미 수열과의 성능을 비교하기 위

하여 65,535 칩의 카사미 수열의 ACF의 MPSR인 127.7값을 1로 정규화 시킨 후 각 조건 별 비례하는 값을 계산하여 나타내었다. 즉, 아래의 표 1의 MPSR 정규화 항목의 값이 1에 가까울수록 기존의 카사미 수열의 ACF의 main peak값과 sidelobe 최대값 비율에 가까운 성능을 가진다.

표 1. 제시한 알고리즘 성능 비교
Table 1. MPSR Comparison of proposed algorithm

Rd	SF	ACF		CCF Sidelobe (.Max)	MPSR	정규화
		Main Peak	Sidelobe (.Max)			
1/2	32,768	32,768	653	706	50.17	0.39
1/3	21,845	21,845	504	568	43.34	0.34
1/4	16,384	16,384	466	507	35.16	0.28

IV. 제안방식이 적용된 DTV용 TxID 시스템 모델링

i 번째 송신기의 식별을 위한 PN수열과, PN수열이 삽입되기 전과 후의 DTV 데이터를 각각 $d_i(n)$, $d'_i(n), x_i(n)$ 라 하면, i 번째 송신기의 송출신호는 다음과 같다.

$$d'_i(n) = d_i(n) + \rho x_i(n) \quad (3)$$

여기서 n 은 이산적인 신호의 값을 나타내며, ρ 는 삽입할 PN수열의 Gain조절 계수로 DTV 필드 데이터의 정보전송 용 신호보다 30dB 낮은 전력값을 갖는다. 또한 $x_i(n)$ 은 송신기(Tx) 식별을 위한 고유의 PN수열로써, 본 연구과제에서는 2장에서 분석한 카사미 수열을 적용하였다.

상기 식은 다시 다음 식 (4)와 같이 세부적으로 표현될 수 있다.

$$d'_i(n) = d_i(n) + \rho \sum_{l=1}^4 D_{i,l} x_{i,l}(n) \quad (4)$$

여기서 $D_{i,l}$ 은 i 번째 송신기의 식별을 위해 위상변조된 4비트의 정보신호로 [-1, 1]으로 구성되며, ρ 는 i 번째 송신기를 위한 워터마킹 레벨로 송신기별로 다르게 설정할 수

있으나 본 연구과제에서는 효율적인 복조를 위해 고정된 값을 적용하였다.

상기 식 (4)의 DTV 신호가 i 번째 Tx로부터 송출되어 채널 h_i 를 거쳐 수신기에 수신이 된다면, 이때 수신신호 $r_i(n)$ 은 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$r_i(n) = d_i'(n) \otimes h_i + n_i(n) \quad (5)$$

여기서, $n_i(n)$ 는 i 번째 송신기에 대한 잡음이며, 전체 송신기에 대한 수신 신호 $r(n)$ 은 다음과 같이 표현된다.

$$r(n) = \sum_{i=1}^T [d_i'(n) \otimes h_i + n_i(n)] \quad (6)$$

여기서, T 는 송신기의 전체 수이다. 또한, 전송된 신호에 대한 상관함수의 도출을 통해 송신기의 위치 및 신호의 크기 등의 세부사항을 파악할 수 있다^[8].

i 번째 송신기로부터 수신된 $D_{i,l}$ 을 복조하기 위해 수신단에서는 다음의 식과 같이 상관과정을 거친다.

$$R_{rx_i}(k) = \sum_{n=0}^{N-1} r(n)x_i'(n-k) \quad (7)$$

여기서 $x_i'(k)$ 은 본 연구에서 제시한 실시간 신호처리를 위한 고효율의 DTV TxID 수신기를 위한 MF의 참조신호로써, 상기 절에서 제안한 다양한 최적 알고리즘들 중 Decimation 알고리즘을 적용하여 생성된 참조신호로써, 다음과 같이 정의된다.

$$x'(n) = \prod_{i=1}^4 x(n) \quad (8)$$

또한,

$$\prod_l(n) = \begin{cases} ones(1, M), & l = 1, 3 \\ zeros\left(1, \frac{N+1}{2} - M\right), & l = 2, 4 \end{cases} \quad (9)$$

이다. 여기서 $M = \frac{N+1}{2}R_d$, N 은 본 시스템에서 활용되

는 카사미 수열의 한 주기이며, R_d 는 Decimation Ratio로써, 카사미 수열을 반영하는 주기이다. 또한 ones와 zeros는 각각 1과 0으로 이루어진 행렬을 의미하며, 괄호 안의 파라미터는 행과 열의 크기를 지정한다. 따라서, $l=1, \dots, 4$ 일 때, 식(9)를 통해 $l=1,3$ 일 경우 도출되는 $2M$ 개의 '1'과 $l=2,4$ 일 경우 도출되는 $(N+1)-2M$ 개의 '0'으로 이루어진 수열을 얻을 수 있다. 식 (9)에 의해 도출된 수열은 카사미 수열 $x(n)$ 과 동일한 길이를 가지게 되며 식 (8)을 수행할 경우 $x(n)$ 과 일대일 대응이 되어 Decimation Algorithm이 적용된 코드 $x'(n)$ 가 생성된다. 즉, 상기 식 (7)을 다시 정리하면,

$$\begin{aligned} R_{rx_i}(k) &= \sum_{n=0}^{N-1} r(n)x_i'(n-k) \\ &= \sum_{n=0}^{N-1} \left\{ \sum_{j=1}^T d_j'(n) \otimes h_j + n_j(n) \right\} x_i'(n-k) \\ &= \sum_{n=0}^{N-1} \left\{ \sum_{j=1}^T [(d_j(n) + \rho x_j(n)) \otimes h_j + n_j(n)] \right\} \times x_i'(n-k) \\ &= \rho R_{x_i x_i} \otimes h_i + \sum_{j=1, i \neq j}^M \rho R_{x_i x_j} \otimes h_j \\ &\quad + \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{j=1}^T [d_j(n) \otimes h_j + n_j(n)] \end{aligned} \quad (10)$$

여기서, 선택된 카사미 수열이 직교할 때, 다음의 식(11)과 같이 정의한 $R_{x_i x_i}$ 는 Kronecker delta 함수에 접근한다.

$$R_{xx}(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{M-1} r(k)x(n+k) \quad (11)$$

결과적으로, 식 (10)의 우측 첫 번째 요소인 $R_{x_i x_i}$ 는 ρh 로 근사화되며, 두 번째와 세 번째 요소들은 동일 Tx 또는 다른 Tx들의 DTV신호로부터 송출되는 잡음과 유사한 수열이 된다. 그러므로 i 번째 Tx로부터 수신된 채널 응답 h_i 는 R_{rx_i} 로 근사화될 수 있다. 따라서, R_{rx_i} 는 아래 수식 (12)와 같다

$$R_{rx_i} = Ah_i + n_i \quad (12)$$

여기서 A는 $R_{x_i x_i}$ 와 Gain 계수에 의해 결정되는 상수이

며, i 번째 송신기로부터 수신된 채널 응답 h_i 는 R_{x_i} 와 ρ 가 송신단과 수신단에서 미리 정해져 있으므로 쉽게 구해질 수 있다.

상기 상관과정을 통한 상관결과 $R_{r_{x_i}}$ 는 이진 결정이론 (Binary decision theory)가 적용되어 수신측 결정단에서는 다음 식을 이용하여 신호를 복조한다^[9].

$$Z_i(n) = \begin{cases} H_1 & 1 \text{ 이 송신되었을 때, } R_{r_{x_i}} > \delta \\ \delta & \\ H_2 & -1 \text{ 이 송신되었을 때, } R_{r_{x_i}} < \delta \end{cases} \quad (13)$$

최종적으로 출력된 데이터 $Z_i(n)$ 에 대하여 가우시안 잡음 환경에서의 BPSK를 적용한 오차 확률은 식 (14)~(15)와 같이 표현할 수 있다.

$$Q(x) = \int_x^\infty \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-t^2/2} dt \quad (14)$$

$$P_b = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) \quad (15)$$

V. 모의실험 결과 및 고찰

1. 모의실험 환경

본 절에서는 상기 절에서 분석한 DTV 시스템 환경을 반영했을 때의 DER 결과의 분석을 통해 제안한 최적의 참조신호 만으로도 효율적인 수신 효과를 얻을 수 있는 Decimation 알고리즘에 대한 유용성을 입증하고자 한다.

본 논문에서 수행한 모의실험은 또한 실제 무선통신 환경에서 존재하는 Path Loss를 고려하였다. 즉, 예측가능하고 고정적인 유선채널과는 달리 무선채널은 불규칙하여 시간에 따른 변화가 크며, 공간에서의 이동국의 움직임에 따라 신호 레벨의 크기가 심하게 변하는 특성을 고려하기 위해 본 연구에서는 다양한 경로를 통해 신호가 수신될 때 받는 영향을 알아보기 위해 멀티패스 환경을 고려하여 모의실험을 수행하였다. 다음은 본 모의실험을 위하여 설정

된 파라미터를 나타낸 표이다.

표 7. 모의실험을 위한 성능분석 파라미터
Table 2. Parameters for simulation

분 류	내 용
카사미 수열 주기	216-1 (65,535 칩)
위터마킹 레벨	-30 dB (0.150282 V)
전송 데이터	4bit (BPSK)
Multi-path 수	Max. 3
Path Loss	[1.0000 0.6944 0.6400 0.5487]
시간 지연	[0 1 2 3]
송신기(Tx) 수	1 ~ 4
Eb/N0 범위	0 ~ 30dB
채널환경	AWGN, Multi-path
Averaging 횟수	1 ~ 60

2. 8VSB DTV 신호를 포함한 신호의 상관특성 분석

본 논문에서는 또한 제안한 Decimation 알고리즘 적용 시 실제 TxID용 위터마킹 신호가 삽입된 DTV 8VSB신호의 원활한 전송신호의 복호 가능성 여부를 확인하기 위하여 본 논문에서 제안한 Decimated Correlation방식을 기반으로 현재 ATSC DTV 방송 신호인 8VSB 신호와 잡음 채널을 삽입하여 상관특성 분석을 위한 모의실험을 수행하였다.

그림 9는 $R_d = 1$, 즉 송신기 식별을 위해 송신단에서 위터마킹된 카사미 수열을 수신단 상관기에서 그대로 적용하

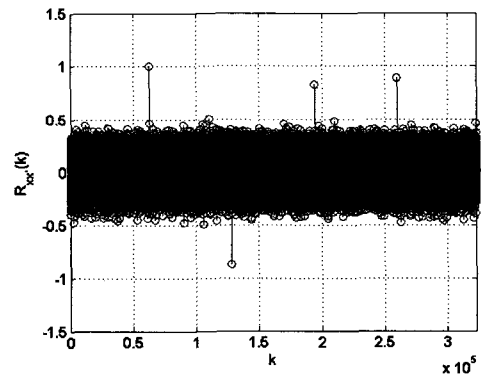


그림 9. 8VSB 데이터를 포함한 시뮬레이션(SF=65,535)
Fig. 9. ACF property including 8VSB(SF=65,535)

여 수신신호와 상관 취했을 경우 도출된 ACF특성이다.

위의 그림 9의 경우 육안으로도 구분이 가능할 정도로 확연하게 TxID 정보데이터 [1 -1 1 1]이 수신됨을 확인할 수 있다. 이 경우, 다른 조건과 비교를 위하여 상관 도출된 peak치 중 가장 큰 값을 기준으로 정규화하였다.

그림 10은 $R_d = 1/2(SF=(65535+1)*1/2=32,768$ 칩)의 부분코드와 수신신호를 상관 취한 경우이며 그림 9보다 낮은 ACF 상관 값을 도출하지만 [1 -1 1 1]의 데이터가 수신되었음이 식별 가능하다. 따라서 본 논문에서 제안하는 Decimation 알고리즘 기반의 부분 참조신호만으로도 DTV 시스템의 송신기 식별을 위한 데이터 비트의 복호 가능성 여부를 확인하였다.

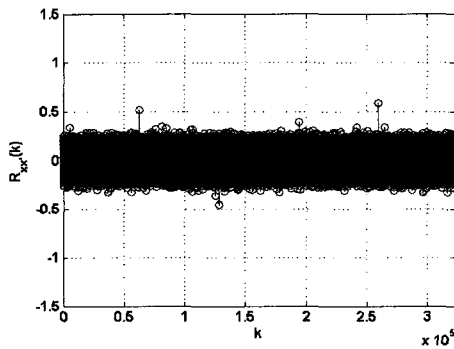


그림 10. 8VSB 데이터를 포함한 시뮬레이션(SF=32,768)
Fig. 10. ACF property including 8VSB(SF=32,768)

하지만 상기와 같이 DTV 방송신호에 TxID 신호가 삽입되어 전송되는 경우, TxID의 데이터 관점에서 8VSB는 간섭 성분으로 존재한다. 이러한 8VSB 신호의 간섭을 제거하기 위해 현재 제안된 데이터 전송 기술에서는 데이터를 반복 전송하여 Averaging을 취하는 기법을 적용하고 있다^[10]. 따라서 본 논문에서는 데이터 전송 성능에 미치는 Averaging 기법을 통하여 잡음과 간섭의 영향을 제거시켜 더 효율적인 MPSR을 도출시키고자 한다.

여기서 DTV의 8VSB신호에 대한 영향만을 보기 위해서 Tx의 수는 1개로 정하여 인접한 송신기 및 중계기의 영향을 받지 않도록 하였다.

아래의 그림 11은 30번의 Averaging을 취한 결과로써, 앞 절의 Averaging 기법을 적용하지 않았을 때의 결과인

그림 10보다 8VSB의 간섭과 잡음의 영향이 감소됨을 알 수 있다. 이는 TxID 데이터 신호 관점에서는 8VSB 신호가 랜덤하게 발생하는 AWGN과 같이 평균전력은 0이 되기 때문이다.

따라서 TxID용 확산코드를 이용한 데이터 전송 시에 데이터의 전송 성능을 높이기 위해 Averaging 기법을 적용할 경우, TxID 데이터 신호에 8VSB 신호의 영향을 제거할 수 있음을 확인하였다.

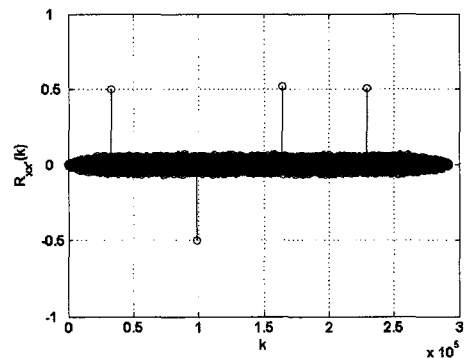


그림 11. ACF 측면에서의 Averaging 효과(SF=32,768)
Fig. 11. ACF property after post-processing (SF=32,768)

3. 최적 수신 H/W 알고리즘을 위한 DER 성능분석

본 절에서는 상기 절에서 고려한 모의실험 환경을 토대로 모의실험을 수행하였다.

먼저 아래의 그림 12는 먼저 가우시안 잡음환경에 대한

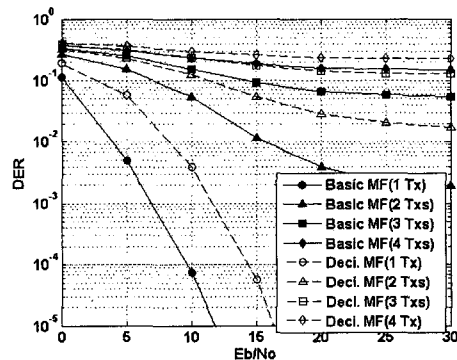


그림 12. 가우시안 잡음(AWGN) 적용시 DER 특성
Fig. 12. DER property under AWGN

DER(Detection Error Rate) 특성을 나타낸 것이다.

그림 12에서 실선은 216-1=65,535 칩의 카사미 수열을 참조신호로 사용하는 기존의 정합필터의 성능을 나타낸다. 그림의 결과에서 보듯이 DER 10⁻³을 기준으로 약 6~7dB의 값을 가진다. 이는 가우시안 잡음환경에서의 이상적인 통신특성을 의미한다. 하지만 Tx의 수가 1개에서 4개로 많아질수록 10⁻³을 만족시키지 못하고 발산하는 결과를 나타낸다. 이와 마찬가지로 본 연구에서 제시하는 Decimation 알고리즘을 기반으로 하는 정합필터의 성능을 나타내는 실선의 경우도 Tx의 수가 1개일 때는 DER 10⁻³을 기준으로 약 11dB를 얻지만, Tx의 수가 증가할수록 더 안 좋은 성능을 얻는다.

그림 12의 모의실험에서 적용한 Decimation 코드는 상기 절에서 제시한 32,767칩 (R_d=1/2)을 사용하였으며, 65,535칩의 상당히 긴 주기의 참조신호를 사용하는 Basic 정합필터보다 약 4~5dB 정도 낮은 성능을 보이나, DER 10⁻³을 만족하므로 DTV 데이터 송수신에 영향이 없는 것을 확인하였다.

다음은 본 연구에서 제시하는 최적의 Decimation 알고리즘의 선정을 위하여 다양한 길이가 반영된 부분 참조신호를 기반으로 모의실험을 수행하여 DER성능을 비교 분석하였다.

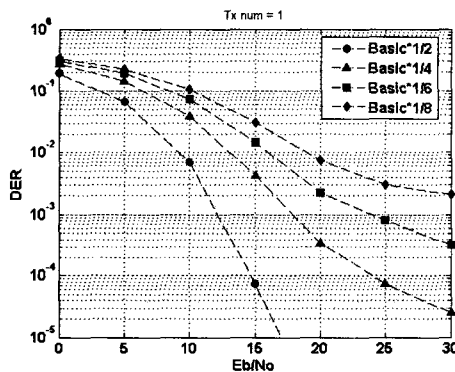


그림 13. 다양한 길이의 Decimation 코드에 따른 DER 특성
Fig. 13. DER property according to variable Decimation ratio

상기 그림에서 R_d가 각각 1/2, 1/4, 1/6, 1/8로 감소됨에 따라 DER성능도 저하됨을 알 수 있다. R_d=1/2일 경우

(SF=(65,535+1)*1/2=32,768), DER 10⁻³을 기준으로 약 11dB의 값을 가져 AWGN환경하의 이론적인 DER성능 값인 10⁻³dB를 기준으로 6~7dB의 값보다 약 4~5dB정도 성능이 저하됨을 알 수 있다. 또한 R_d=1/4일 경우 (SF=(65,535+1)* 1/4=16,384)와 R_d=1/6일 경우 (SF=((65,535+1))*1/6=10,923)는 10⁻³을 기준으로 각각 17.8dB와 24dB의 성능값을 가진다.

위의 세가지 경우 종래의 상당히 긴 주기의 수열을 참조신호로 적용하였을 경우보다 성능이 저하된 DER값이 도출되나 원활한 송수신 환경에서 요구되는 10⁻³을 모두 만족시키므로 통신성능에는 문제가 없음이 확인되었다. 하지만 R_d = 1/8일 경우(SF=(65,535+1)* 1/8=8,192), DER을 기준으로 10⁻³을 만족시키지 못하고 발산하므로 DTV시스템의 TxID용 참조신호로 적합하지 않음을 알 수 있다. 따라서, Decimation 알고리즘을 적용 시 최소 10,923 칩 (R_d = 1/6) 이상의 참조신호로 TxID 수신 H/W의 구현 가능성을 확인하였다.

그림 14는 상기 절에서 분석한 Path Loss가 시간지연이 고려된 환경 하에서 분석한 다중경로 환경을 고려하여 수행한 모의실험 결과를 나타낸다.

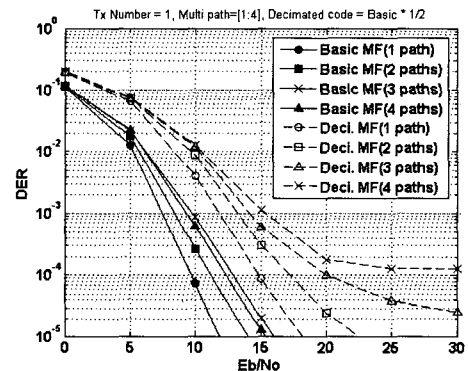


그림 14. MPI가 고려된 상황 시 DER 특성
Fig. 14. DER property under multi path environment

또한, 확실한 MPI 간섭을 분석하기 위하여 송신기의 수는 하나로 고정하였으며, 종래의 65,535 칩 카사미 수열을 참조신호로 사용하는 기존의 정합필터와 본 연구에서 제시하는 R_d=1/2일 경우(SF=(65,535+1)*1/2=32,768)의

Decimation 알고리즘이 적용된 정합필터와의 성능을 비교 분석하였다.

그림 14의 실선은 종래의 65,535 칩 카사미 수열을 사용하는 정합필터의 상관 결과를 적용한 DER 결과로써, DER 10^{-3} 을 기준으로 채널상의 경로가 1일 경우, 즉 MPI(Multi Path Interference)간섭이 없을 경우에는 상기 그림 12에서 나타낸 AWGN환경에서의 DER성능분석과 같은 6~7dB의 값을 가진다. 하지만, 경로가 2~4개로 증가할수록 각각 8.4dB, 9.35dB, 9.8dB로 약 1.9dB, 2.85dB, 3.3dB만큼 성능이 저하됨을 알 수 있다. 마찬가지로 점선으로 나타낸 Decimation 알고리즘을 적용한 부분 참조신호는 종래의 Basic MF의 성능 결과와 마찬가지로 채널상의 경로가 1일 경우, DER 10^{-3} 을 기준으로 약 11dB의 성능을 도출하므로 그림 12의 AWGN 환경에서의 DER성능과 같은 결과를 도출한다. 또한, 경로가 2~4개로 증가할수록 각각 13.2dB, 14.1dB, 15.3dB의 DER 성능이 도출되므로 경로가 1인 경우보다 각각 2.2dB, 3.1dB, 4.3dB정도의 성능이 저하됨을 알 수 있다.

상기에서 수행한 다양한 모의실험에서 성능 저하를 일으키는 MPI와 MAI(Multiple Access Interference)와 같은 간섭 외에도, 워터마킹기법에 있어서 삽입할 PN 수열의 진폭이 무시할 만큼 낮은 경우에는 DTV 신호에 의해 상당한 간섭이 예견되어진다. 따라서 본 연구에서는 단일 송신기에 대한 상관특성의 성능 향상을 위한 방안으로 Averaging 기법을 도입하여 성능분석을 수행하였다.

아래의 그림 15는 상기에서 서술한 Averaging 기법을 적

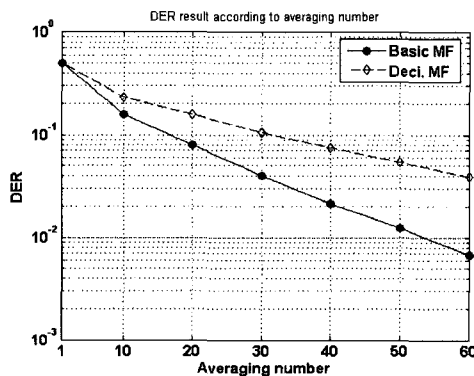


그림 15. Averaging변화에 따른 DER 성능
Fig. 15. DER property according to averaging number

용하여 수행한 모의실험 결과이다.

Averaging 횟수가 1에서 60까지 가변됨에 따른 Basic MF와 Decimation 알고리즘이 적용된 MF의 송수신 DER 성능을 비교분석 하였다.

이 경우, L이Averaging 횟수를 나타낼 때, Averaging 기법을 적용하였을 경우의 성능개선비율은 다음과 같다.

$$DER_{averaging} = DER + 10 \log_{10} \left(\frac{1}{R_d L} \right) [dB] \quad (16)$$

여기서, 종래의 방식은 본래의 65,535 칩 카사미 수열을 참조신호로 사용하므로 $R_d = 1$ 이라 할 수 있다.

Averaging 기법이 도입되었을 경우, 상기 식 (16)에서 유도되는 바와 같이 DER 성능이 3배, 6배로 향상됨에 따라 동일한 데이터의 반복 전송에 따른 데이터율은 1/2, 1/4배로 낮아진다. 따라서 동일 데이터 반복 전송에 따른 데이터 전송 효율의 저하를 해결할 수 있는 방법에 대한 연구가 절실히 필요하다.

VI. 결 론

본 논문에서는 TxID 최적 수신 알고리즘 구성안에 관한 연구로써, 차세대 ATSC-DTV의 핵심기술인 송신기 식별 (TxID) 기술을 상용화하기 위하여 상당히 긴 주기를 갖는 워터마킹용 확산코드에 대하여 수신부의 실시간 상관처리 결과 도출과 최적의 수신 성능 도출을 위한 알고리즘을 제안하였다. 즉, 워터마킹 기반 DTV TxID시스템의 수신단 H/W의 송신기 식별 데이터 복조를 위한 상관과정에서 제로값을 효율적으로 삽입하여 연산량을 획기적으로 경감시키며 동시에 랜덤하게 발생하는 잡음을 제거하는 수신 알고리즘인 Decimation 방식을 제시하였고, 모의실험을 통하여 제안기술의 유용성을 명확하게 제시하였다.

또한, 본 논문에서 제시한 알고리즘을 적용한 수신 H/W의 설계에 관한 연구가 추후 연구과제로 진행되어야 하며 이로 인해 최적 수신 상관처리 기법을 갖는 새로운 DTV TxID시스템이 적용될 수 있으리라 기대한다.

참고 문헌

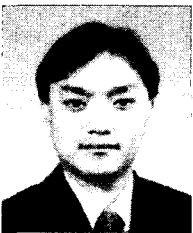
- [1] 디지털TV 해외실태조사 결과보고서, 방송위원회·정보통신부, 2004년 1월
- [2] 차재상, 최성진, 이선희, 이광직, 이용태, 박구만, "ATSC-DTV의 송신기 식별을 위한 워터마킹용 확산코드에 관한 연구", 방송공학회 논문지, 제11권 제1호, 2006년 3월
- [3] Weiss, S. Merrill, "Distributed Transmission Systems -Overcoming the Limitations of DTV Transmission," NAB 2003 Broadcast Engineering Conference Proceedings, pp. 263-279, 2003.
- [4] Xianbin Wang, Yiyan Wu, Jean-Yves Chouinard, "Robust Data Transmission Using the Transmitter Identification Sequences in ATSC DTV Signals", IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 51, No. 1, Feb. 2005
- [5] ATSC, ATSC Standard A/110: Synchronization Standard For Distributed Transmission, Mar. 2003.
- [6] T.Kasami, "Weight distribution formula for some class of cyclic codes, Coordinated Sci. Lab., Univ. Illinois, Urbana, IL, Tech. Rep. R-285(AD 632574), Apr. 1966
- [7] Jac-sang Cha, Sang-yule Choi, Jong-wan Seo, Seung-young Lee and Myung-chul Shin, "Novel ternary ZCD codes with enhanced ZCD property and power-efficient MF implementation", Proc. IEEE ISCE'02, Vol.1, ppF117-122, 2002
- [8] 이문호, "실용 디지털 통신 시스템", pp 81-93
- [9] Soon-Cham Kwon, Yong-Tae Lee, Jong-Soo Seo, "A Novel Transmitter Identification Technique for use in Distributed 8VSB DTV system", VTC 2006-Spring 63rd, Vol. 5, pp. 2211-2215
- [10] D. V. Sarwate and M. B. Pursley, "Cross Correlation Properties of Pseudorandom and Related Sequences", IEEE Proceedings, vol.68, no.5, pp.593-619, May 1980.

저자 소개



손주희

- 2001년 ~ 2005년 : 서경대학교 정보통신공학과(공학사)
- 2005년 ~ 2007년 : 성균관대학교 전자전기공학부(공학석사)
- 2007년 ~ 현재 : 삼성전자 반도체 총괄 메모리 사업부 연구원
- 주관심분야 : 디지털 신호처리, DTV전송시스템



이용태

- 1989년 ~ 1993년 : 한국항공대학교 항공전자공학과(공학사)
- 1993년 ~ 1995년 : 한국항공대학교 항공전자공학과(공학석사)
- 2002년 ~ 2007년 : 연세대학교 전기전자공학부(공학박사)
- 1995년 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 방송시스템연구그룹 선임연구원
- 주관심분야 : RF신호처리, 디지털 신호처리, DTV전송시스템



박성익

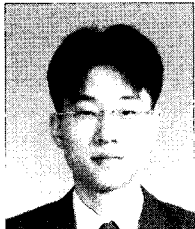
- 1996년 ~ 2000년 : 한양대학교 전기전자공학부(공학사)
- 2000년 ~ 2002년 : 포항공과대학교 전자전기공학과(공학석사)
- 2002년 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 방송시스템연구그룹 연구원
- 주관심분야 : 채널코딩, 디지털 신호처리, DTV전송시스템

저 자 소 개



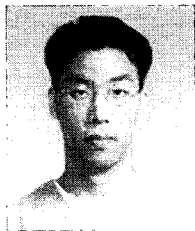
김 홍 목

- 1989년 ~ 1993년 : 포항공과대학교 전기전자공학과(공학사)
- 1993년 ~ 1995년 : 포항공과대학교 전기전자공학과(공학석사)
- 1995년 ~ 2001년 : 포스코 기술연구소 근무
- 2002년 ~ 2003년 : (주)맥스웨이브 연구개발팀 팀장
- 2004년 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 방송시스템연구그룹 선임연구원
- 주관심분야 : RF 신호처리, 디지털 신호처리, DTV 전송시스템



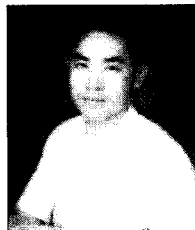
서 재 현

- 1993년 ~ 1999년 : 경북대학교 전자공학과(공학사)
- 1999년 ~ 2001년 : 경북대학교 전자공학과(공학석사)
- 2001년 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 방송시스템연구그룹 선임연구원
- 주관심분야 : 디지털 신호처리, DTV 전송시스템



이 재 영

- 1996년 ~ 2001년 : Rutgers University 전자공학과(공학사)
- 2001년 ~ 2003년 : University of Wisconsin 전자공학과(공학석사)
- 2003년 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 방송시스템연구그룹 연구원
- 주관심분야 : 디지털 신호처리, DTV 전송시스템



차 재 상

- 1991년 : 성균관대학교 전기공학과 (공학사)
- 1991년 ~ 1993년 : 육군 교관 (ROTC)
- 1997년 : 성균관대학교 전기공학과 (공학석사)
- 2000년 : 일본 東北(Tohoku)대학교 전자공학과 (공학박사)
- 2000년 ~ 2002년 : 한국전자통신연구원(ETRI) 무선방송기술연구소 선임연구원
- 2002년 ~ 2005년 : 서경대학교 정보통신공학과 전임강사
- 2005년 ~ 현재 : 서울산업대학교 매체공학과 조교수
- 주관심분야 : 디지털 방송전송기술, Cognitive Radio, UWB, 홈네트워크 무선통신기술, 대역확산 및 다중접속기술, 4세대 이동통신기술