

저전력 방송시스템 구축을 위한 광대역 시분할 다중화 전송

김 호 재*, 배 재 휘*, 허 남 호*, 김 형 남^o

Wideband Time Division Multiplexing Transmission for Low Power Broadcasting System

Ho Jae Kim*, JaeHwui Bae*, Namho Hur*, Hyoung-Nam Kim^o

요 약

현재의 디지털 지상파 전송 (digital terrestrial transmission, DTT) 시스템은 HD (high definition)급 이상의 대용량 신호 전송을 위하여 256-QAM (quadrature amplitude modulation) 성상을 사용한다. 고차 변조 신호의 사용은 높은 CNR (Carrier-to-Noise Ratio)이 요구되므로 고전력 송출 시스템이 필요하며, 간섭에 민감하므로 주파수 재사용에 어려움이 있다. 이를 해결하기 위한 방법의 하나로, 모든 셀에서 동일한 광대역 주파수를 사용하는 WiB (wideband reuse - 1) 방법이 제안되었다. WiB 시스템에서는 송신기 제작이 단순화되어 초기 투자비용이 낮고, 저전력을 사용하기 때문에 장비의 수명이 길어져 유지비용이 절감되는 장점이 있다. 반면에, WiB 시스템은 모든 송신기가 동일한 대역을 사용하기 때문에 인접한 송신기와 간섭 문제가 발생하며, 간섭 신호를 완벽하게 제거하지 못하면 그 오차가 누적되어 신호가 복조되지 않을 수 있다. 이에 본 논문은 저전력 방송시스템을 위하여 WiB의 장점을 활용하면서도 간섭 신호 문제를 해결할 수 있는 광대역 시분할 다중화 기법 (wideband time division multiplexing transmission, TDM-WiB)을 제안한다. 모의실험을 통하여 현재 DTT 시스템과 TDM-WiB 시스템의 전송 용량 및 전력 세기를 비교 분석하여 제안된 시스템의 활용 가능성을 제시한다.

Key Words : Broadcasting system, Wideband, Time Division Multiplexing, Low power

ABSTRACT

Currently, the digital terrestrial transmission (DTT) system uses a 256-QAM (quadrature amplitude modulation) constellation for higher-capacity signal transmission. The use of higher-order modulated signal needs a high-power transmission system because a high CNR (carrier-to-noise ratio) is required. Also, the higher order modulated signals are sensitive to interference and thus makes it difficult to re-use existing used frequency. To solve this problem, a wideband reuse - 1 (WiB) method that uses the same wideband frequency in all cells was proposed. Since the WiB system uses the same wideband frequency, it reduces the initial investment cost due to the simplification of the transmitter manufacturing. In addition, the maintenance cost can be reduced because the lifetime of the equipment is extended due to the use of low power. However, since all transmitters use the same

* 이 과제는 부산대학교 기본연구지원사업(2년)에 의하여 연구되었음

* 본 논문은 BK21 플러스, IT 기반 융합산업 창의인력양성사업단에 의하여 지원되었음

• First Author : Department of Electrical and Computer Engineering, Pusan National University, kkhjj007@pusan.ac.kr, 학생(박사과정), 학생회원

^o Corresponding Author : Department of Electronics Engineering, Pusan National University, hnkim@pusan.ac.kr, 정교수, 종신회원

* Electronics and Telecommunications Research Institute, {jhbae, namho}@etri.re.kr, 정회원

논문번호 : 201910-228-A-RN, Received October 8, 2019; Revised November 15, 2019; Accepted November 25, 2019

be demodulated when the errors of the interference cancellation technique are accumulated. In this paper, we propose a wideband time division multiplexing (TDM-WiB) transmission which can solve the interference problem by taking advantage of WiB for low power broadcasting system. Through simulation, we compare and analyze the transmission capacity and power intensity of the conventional DTT system and the proposed TDM-WiB system.

I. 서 론

디지털 방송 기술 및 통신 기술의 발전에 따라 초 고품질 방송 서비스에 대한 보급 및 수요가 증가하고 있다. 이러한 요구를 반영하기 위하여 북미의 ATSC (Advanced Television Systems Committee) 및 유럽의 DVB (Digital Video Broadcasting)와 같은 방송 표준화 기구를 중심으로 UHD (Ultra High Definition) 전송이 가능한 송수신에 대한 연구를 활발히 진행하고 있다¹⁻³⁾.

현재의 디지털 지상파 전송 (digital terrestrial transmission, DTT) 시스템은 HD급 이상의 대용량 신호 전송을 위하여 고차 변조 신호인 256-QAM (quadrature amplitude modulation) 성상을 사용한다. 고차 변조 신호의 사용은 높은 CNR (carrier-to-noise ratio)이 요구되므로 고전력 송출 시스템이 필요하다^{4,5)}. 또한, 고차 변조 신호는 간섭에 민감하므로 동일한 주파수에서 작동하는 송신기는 충분히 멀리 배치되어야 각각의 신호가 감쇠되어 간섭이 최소화된다.

국내의 DTT 시스템은 UHF (ultra high frequency) 470 - 698 MHz의 주파수 대역을 할당받아서, 송신기마다 6 MHz 대역을 사용하고 있다. 유럽의 DTT 시스템은 470 - 694 MHz 대역에서, 각 송신기는 8 MHz 를 사용한다. 각 송신기는 할당된 UHF 대역의 일부인 6 MHz나 8 MHz를 사용하고 있지만, 동일 채널 간섭으로 인하여 사용 가능한 스펙트럼이 제한되어 주파수 재사용에 어려움이 있다. 스웨덴 Teracom의 E. Stare는 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로서, 높은 CNR 요구로 인하여 발생하는 고전력 문제를 해결하고 셀마다 효율적인 주파수 사용이 가능하도록 모든 셀에서 동일한 광대역 주파수를 사용하는 WiB (wideband reuse - 1) 방법을 제안하였다^{4,5)}.

WiB 시스템은 단일 광대역 신호에 저차 변조를 사용하여 방송 신호를 전송하는 방식이다. 단일 광대역 신호에 QPSK (quadrature phase shift keying) 신호를 사용하여 약 200 Mbps의 전송이 가능할 것으로 예상하고 있다. 또한, QPSK 변조를 사용할 경우 현재 DTT에 사용되는 송신기 전력의 약 10% 만으로도 높

은 전송 용량을 달성할 수 있을 것으로 예상하고 있다^{4,5)}.

WiB 시스템의 가장 큰 이점은 방송사에서 방송 송출에 사용되는 송신기를 제작하거나 유지하기 위해 사용되는 비용이 절감된다는 것이다. 단일 광대역 신호를 사용하므로 현대 DTT에 사용되는 RF (radio frequency) 결합기를 사용할 필요가 없으며, 전체 전력이 감소하면서 냉각에 사용되는 장비의 체적 및 중량이 감소하게 되어 장비에 대한 초기 투자비용이 절감된다. 또한, 광대역 신호 사용으로 약 90%의 전력 감소가 가능하며, RF 결합기, 냉각기 등의 장비 제거 및 소형화로 전기에너지 소비 비용이 절감된다. 그뿐만 아니라, 단일 광대역 신호 사용으로 인하여 주파수 재구성이 필요가 없으며, 저전력 사용으로 인하여 장비의 수명이 길어지므로 유지 비용이 절감된다. 그러나, WiB 시스템은 모든 송신기가 동일한 대역을 사용하므로 인접한 송신기와 동일 채널 간섭 문제가 발생하며, 수신기에서 간섭 신호를 검출하고 제거하는 기술이 필요하다. 간섭 신호 제거 기법 중 하나인 순차적 간섭 신호 제거 기법 (successive interference cancellation, SIC)이 있지만⁶⁾, 오류가 누적될 경우 복조가 되지 않는 현상이 발생할 수 있다.

수신기에서의 간섭 신호 제거에 대한 부담을 최소화하기 위해서는 송신 상황에서 간섭이 발생할 수 있는 경우를 미리 차단하는 것이 효과적일 수 있다. 이러한 기저에서 본 논문은 저전력 방송시스템을 위하여 WiB의 장점을 살리면서 간섭 신호 문제를 해결할 수 있는 광대역 시분할 다중화 기법 (wideband time division multiplexing transmission, TDM-WiB)을 제안한다. TDM-WiB 기법은 인접한 송신기는 시분할을 통하여 시간을 할당하고, 할당된 시간에서 광대역 신호를 전송하는 방식이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 E. Stare가 제안한 WiB 시스템에 대해 설명하고, 3장에서 본 논문에서 제안하는 TDM-WiB 전송 기법을 기술한다. 4장에서는 모의실험을 통하여, 기존 DTT 전송 방식과 TDM-WiB 전송 방식의 전송률 및 전송 전력 차이를 비교 분석하며, 5장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

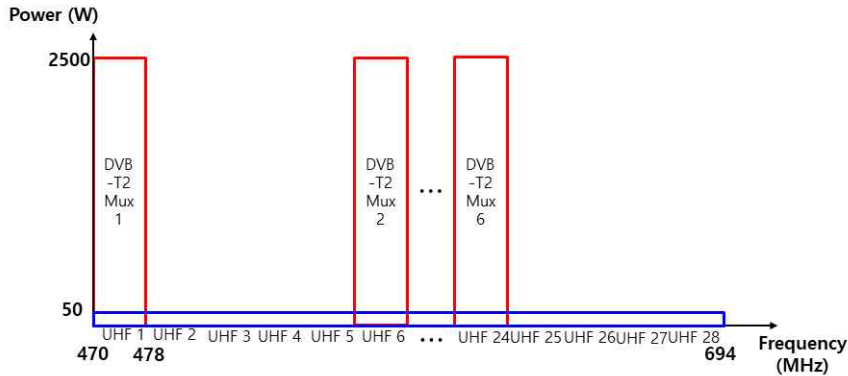


그림 1. 현재 DTT 시스템(적색)과 WiB 시스템(청색)의 요구 전력 및 대역폭
 Fig. 1. Required power and bandwidth of conventional DTT system (red) and WiB system (blue).

II. Wideband reuse - 1 시스템

WiB 는 현재 DTT 시스템과 달리 주파수 재사용 계수 변경을 통하여 광대역 신호를 사용하는 기법이다. 현재 유럽의 디지털 TV 방송 표준인 DVB-T2 (DVB - Second Generation Terrestrial)의 DTT 시스템 네트워크는 그림 1의 적색과 같이 RF 채널당 8 MHz 대역을 사용하고 있다²⁾. 높은 전송 용량을 달성하기 위해 코드율 2/3인 256-QAM을 사용하여 다중 주파수망 (multi frequency network, MFN)에서 RF 채널 당 40 Mbps를, 단일 주파수 망 (single frequency network, SFN) RF 채널당 33 Mbps를 만족한다. 각 지역마다 주파수 재사용을 통하여 MFN은 5개의 RF 채널을, SFN은 6개의 채널을 사용하여 200 Mbps (40 Mbps × 5), 198 Mbps (33 Mbps × 6)의 전체 전송 용량을 달성한다²⁾. 국내에서는 RF 채널 당 6 MHz 대역을 사용하여 채널 당 약 19 Mbps의 전송 용량을 달성한다. 그러나 높은 전송 용량 달성을 위해 고차 변조 신호를 사용하므로 요구되는 CNR이 높고, 이로 인해 고전력 송출 시스템이 필요하다. 이를 위해 높은 전력을 견딜 수 있는 장비 설계가 필요하므로 송신기 설계 과정에서 많은 비용이 소모된다. 또한, 고전력 사용으로 인하여 지불되는 전력 요금 및 짧은 장비 수명으로 인하여 송신기 유지에 많은 비용이 소모된다^{4,5)}.

현재 유럽의 DTT 시스템은 UHF 대역의 470 - 694 MHz 주파수 대역을 사용하여 28개의 채널을 운용하고 있으며, 국내에서는 470 - 698 MHz의 주파수 대역에서 38개의 채널을 운용하고 있다. 한 지역의 송신기들은 그림 1의 적색과 같이 대역 간 간섭 문제를 해결하기 위해 UHF 일부 대역만 사용하고 있다. 이는

간섭에 민감한 고차 변조 신호 사용으로 인하여 주파수 재사용이 어렵기 때문이다. 셀마다 효율적인 주파수 사용이 가능하면서 고전력 문제를 해결하기 위하여 모든 셀에서 동일한 광대역 주파수를 사용하는 WiB 시스템이 제안되었다^{4,5)}.

WiB 시스템은 그림 1의 청색과 같이 UHF 전 대역인 224 MHz를 단일 주파수로 사용하여 단일 광대역 신호를 전송하는 방식이다. 단일 광대역 신호에 코드율 1/2인 QPSK 변조를 사용하면 1 bps/Hz의 스펙트럼 효율이 나오며, 224 MHz를 모두 사용할 경우 보호 대역을 고려하여 약 200 Mbps 전송이 가능할 것으로 예상하고 있다. 또한 QPSK 변조를 사용할 경우 그림 1과 같이 RF 채널 당 전력은 약 50배 (17 dB) 낮아지며, 최종적으로 현재 DTT에 사용되는 송신기 전력의 약 10% 만으로도 높은 전송 용량을 달성할 것으로 예상하고 있다^{4,5)}.

WiB 시스템의 가장 큰 장점은 전력 감소에 따른 자본 지출 (CApital EXpenditures, CAPEX)과 운영 지출 (Operational EXpenditure, OPEX)의 두 가지 지출을 절감할 수 있다는 것이다. 자본 지출의 경우 단일 광대역 신호를 사용하므로 RF 결합기가 필요하지 않고 전체 전력이 감소하면서 냉각 요구사항, 체적 및 중량이 감소하므로 장비 제작의 단순화로 인하여 초기 투자비용이 절감된다. 운영 지출의 경우 전체 전력 감소와 더불어 RF 결합기, 냉각기 등의 장비 제거 및 소형화로 인하여 전기 에너지 소비 비용이 절감되고, 전력 사용으로 인한 송신기의 수명 증가와 고장 확률 감소로 인하여 유지비용이 절감된다^{4,5)}.

WiB 시스템은 단일 광대역 신호를 사용하므로 인접한 송신기와 동일한 주파수 대역을 공유한다. 이 경우 수신기에서 간섭 신호를 제거하는 알고리즘이 필

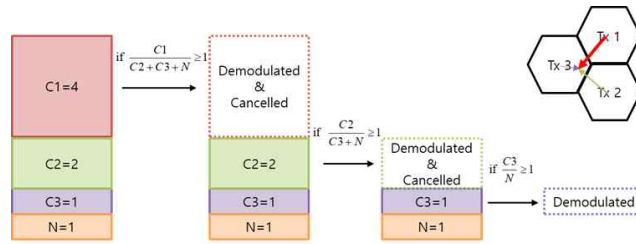


그림 2. 순차적 간섭 제거 방법
Fig. 2. Successive interference cancellation method.

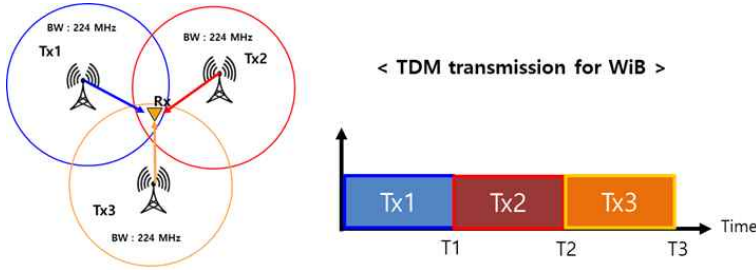


그림 3. 3 대의 송신기를 사용한 광대역 시분할 다중화 전송 방식
Fig. 3. Wideband time division multiplexing transmission method using three transmitters.

요하며, 간섭이 심한 환경에서도 제거가 가능하도록 설계되어야 한다. 이러한 간섭 제거 기법으로 많이 사용되는 방법으로 순차적 간섭 제거 (successive interference cancellation, SIC) 방법이 있다⁶⁾.

그림 2는 3대의 송신기에서 보낸 신호를 수신한 뒤 SIC 기법을 적용하여 간섭 신호를 제거하는 과정을 나타낸다. C_n 는 n 번째 송신기에서 보낸 신호이며, N 은 잡음 신호를 나타낸다. 각 신호가 나타내는 숫자는 상대적인 신호의 세기를 나타낸다. 코드율 1/2인 QPSK 변조를 사용할 경우 이론적으로 SNR (signal-to-noise ratio) 0 dB에서 QEF (quasi error free)를 만족한다. 수신을 원하는 신호가 C_3 일 경우 다음과 같은 과정으로 C_3 신호를 복조한다. 먼저 가장 강한 신호 C_1 을 복조한 후, 재변조 및 감산을 통해 C_1 신호를 제거한다. 이후 C_2 신호도 동일한 과정을 진행한다. 마지막으로 C_3 신호를 복조하여 C_3 신호를 수신한다. 이는 각 신호가 복조 가능한 CINR (carrier-to-interference plus noise ratio)을 만족할 경우 가능한 상황이며, 만족하지 못할 경우 복조가 불가능할 수 있고, 간섭 신호 개수에 따라 복조 및 디코딩 과정을 처리하는 시간이 증가한다. 또한, 각 신호의 수신 시점이 동일하지 않기 때문에 신호의 동기가 일치하지 않고, 이 경우 신호처리 과정에서 오류가 누적된다.

III. 광대역 시분할 다중화 전송 기법

본 논문에서는 2장에서 기술한 기존 WiB 시스템에서의 간섭 신호의 문제점을 해결하면서 WiB의 장점을 이용하는 시분할 다중화 (time division multiplexing, TDM)를 적용한 WiB 시스템을 제안한다. 제안하는 광대역 시분할 다중화 (TDM-WiB) 시스템은 UHD 대역 전체를 단일 주파수로 사용하는 WiB를 기반으로 인접한 송신기는 TDM을 적용하여 신호를 구분한다. 그림 3은 3대의 송신기 상황에서 TDM-WiB 시스템의 전송 방식을 나타내고 있다. 먼저 첫 번째 송신기의 신호를 전송한 후, 두 번째 송신기의 신호를 전송한다. 이후 세 번째 송신기의 신호를 전송한 후 다시 첫 번째 송신기 신호의 전송을 반복하는 형태의 TDM 방식을 사용한다.

그러나 실제 통신 상황을 고려할 경우 다양한 채널 효과, 수신기의 위치 등 복잡한 변수가 존재한다. 특히 수신기의 위치에 따라서 수신된 신호의 세기가 달라지며, 수신된 신호의 시간 지연에 따라서 간섭 신호가 다르게 발생한다. 이에 대한 상황은 그림 4와 5에 나타내었다. 그림 4는 수신기의 위치가 3대의 송신기와 거리가 동일한 경우 수신된 신호를 나타내었다. 이와 같은 상황에서 수신기는 다중 경로에 의한 간섭만 발생하며, 일반적인 OFDM (orthogonal frequency

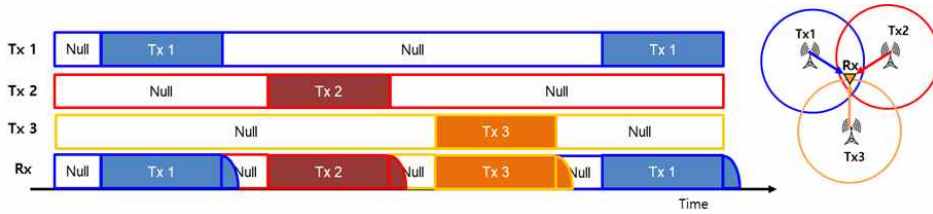


그림 4. 수신기가 중앙에 있는 경우의 각 안테나별 신호
Fig. 4. The signal for each antenna when the receiver is in the center.

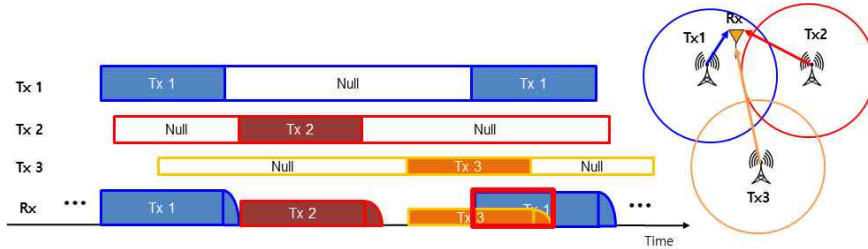


그림 5. 수신기가 중앙에 있지 않는 경우의 각 안테나별 신호
Fig. 5. The signal for each antenna when the receiver is not in the center.

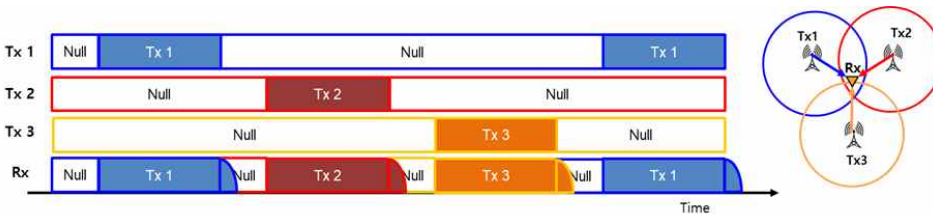


그림 6. 수신기가 중앙에 있지 않는 경우의 각 안테나별 신호: null 신호 삽입
Fig. 6. The signal for each antenna when the receiver is in the center: Insert null signal.

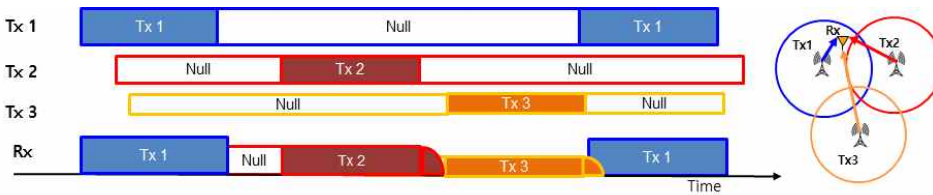


그림 7. 수신기가 중앙에 있지 않는 경우의 각 안테나별 신호: null 신호 삽입
Fig. 7. The signal for each antenna when the receiver is not in the center: Insert null signal.

division multiplexing) 신호의 수신 상황과 동일하다. 그러나 그림 5와 같이 수신기의 위치를 변경할 경우 각 송신기에서 전송된 신호의 세기 및 시간 지연이 다르게 발생하므로 이에 따라 수신기에서 복잡한 형태의 간섭이 발생한다. 이러한 간섭 신호는 수신기에서 제거하더라도 완벽히 제거하기 어려우며, 이는 곧 수신 성능 저하로 나타나고, 심각한 경우 수신이 되지 않는 상황도 발생할 수 있다.

이를 보완하기 위해서 각 송신기에서 전송하는 신호 사이에 추가적인 null 신호를 삽입하여 시간 지연에 의한 신호 간섭을 제거할 수 있다. 그림 6은 수신기의 위치가 3대의 송신기와 거리가 동일한 경우 null 신호를 삽입한 상황이며, 그림 7은 수신기의 위치가 3대의 송신기와 거리가 동일하지 않은 경우 null 신호를 삽입한 상황이다. 이처럼 null 신호를 삽입할 경우 송신기와 수신기 사이 거리에 따라 시간 지연이 다르

게 발생하더라도 간섭의 정도가 줄어들게 된다. 그러나 null 신호를 삽입할 경우 전송 용량이 감소하므로 간섭 신호 제거와 전송 용량 간의 trade-off가 발생하며, 이를 고려한 null 신호의 삽입이 필요하다.

IV. DVB-T2 신호 기반 광대역 시분할 다중화 전송 기법의 수신 신호 모의실험 결과

본 장에서는 null 신호를 삽입한 TDM-WiB 신호의 수신 성능을 분석하기 위해 유럽의 디지털 TV방송 표준인 DVB-T2 시스템을 기반으로 현재 사용되는 DTT와 전송 용량 및 전력 세기를 비교한다. 표 1에는 기존 DTT에 사용되는 파라미터와 TDM-WiB에 사용되는 파라미터를 표시하였다.

모의실험 상황은 송신기 3대를 사용하여 진행하였다. 송신기의 배치는 삼각형 배치를 기본으로 하며 송신기와 중심 사이의 거리는 국내의 행정지역 간 거리를 고려하여 75 km로 설정하였다. 수신된 신호의 세기는 로그-거리 경로 손실 모델 (log-distance path loss model)을⁷⁻⁹⁾ 사용하여 주 신호의 세기 대비 간섭 신호의 세기를 계산하여 사용하였다. 로그-거리 경로 손실 모델은 다음과 같다.

$$P_{T_j} = \left(\frac{d_i}{d_j}\right)^n \times P_{T_i} \tag{1}$$

여기서 P_{T_m} 은 m 번째 송신기에서 송신된 수신 신호 세기를, d_m 은 m 번째 송신기와 수신기의 거리를 나타내며 n 은 신호 감쇠 계수를 나타낸다. 신호 감쇠 계수는 자유 공간에서 $n=2$ 이며 도심에서는 $n=2.7$

표 1. DVB-T2와 TDM-WiB 시스템의 파라미터
Table 1. Parameters of DVB-T2 and TDM-WiB systems.

System (Bandwidth)	DVB-T2 (8 MHz)	TDM-WiB (224 MHz)
# of carriers	27265	27265
Elementary period T	0.109	0.0039
OFDM symbol duration (μs)	32768T=3584	32768T=128
Carrier spacing	279 (Hz)	7.82 (kHz)
Efficiency bandwidth	7.61	213

~ 3.5이다⁸⁾. 본 논문에서 진행하는 모의실험에서는 도심의 상황을 고려하여 $n=3$ 으로 설정하여 실험을 진행하였다. 수신기 위치에 따른 송신기 신호의 시간 지연 차이는 전파 속도 $c=2.99 \times 10^8(m/s)$ 에 따라 달라지며 다음 식과 같다.

$$\tau_d = \frac{d_i - d_j}{c} \tag{2}$$

모의실험에서는 그림 8과 같이 수신기가 coverage 내 송신기와 중심을 잇는 직선상에 위치한다고 가정하였다. 송신기 3대는 각각 $[75, 0](km)$, $[37.5, 37.5\sqrt{3}](km)$ 에 배치하였다. 수신기의 위치는 중심 $[0, 0](km)$ 에서 coverage 내 송신기 방향으로, 송신 신호 (1번 송신기 신호)와 간섭 신호 (2번, 3번 송신기 신호)의 시간 차이가 약 10,000 sample 정도 되는 간격으로 배치하였으며 이는 표 2에 제시하였다. 여기에서 제시된 시차는 식 (2)를 이용하여 계산된 값이며, 간섭 신호 세기는 coverage 내 송신 신호의 세기를 0 dB로 가정하였을 경우 식 (1)을 이용하여 계산된 값이다. 각각의 전파는 독립적인 채널을 통과 후 수신되

표 2. 각 수신기 위치별 간섭 신호의 시간 차이 및 세기
Table 2. Time difference and power of interference signal for each location of receiver.

Receiver index	Location of receiver (km)	Difference of time (us)	difference of sample	Interference signal power (dB)
1	[0, 0]	0	0	0
2	[-8, 0]	41	10110	-2.2
3	[-15, 0]	78	20081	-4.3
4	[-22, 0]	117	29980	-6.6
5	[-29, 0]	157	40098	-9.1
6	[-36, 0]	197	50062	-12
7	[-42, 0]	232	59983	-14.8
8	[-49, 0]	274	70122	-18.5

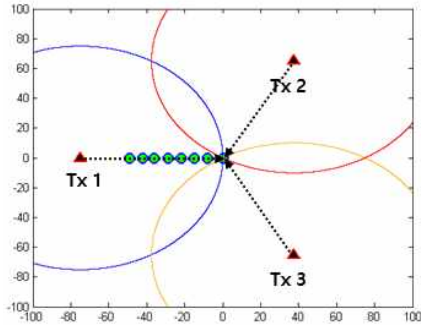


그림 8. 송신기(삼각형) 및 수신기(원) 위치
Fig. 8. Location of transmitters(triangle) and receivers(circle).

는 것을 가정하였다. 채널은 TU 6 채널을 사용하였으며, Doppler가 없는 경우에서 완벽한 채널 추정 상황을 가정하였다.

그림 9는 1번 수신기 위치에서 WiB 시스템의 BER (bit error rate) 성능 분석 결과이다. WiB 시스템은 1번 수신기 위치에서 세 신호의 세기가 모두 같으므로 수신된 간섭 신호의 세기는 수신 신호의 세기에 비하여 2배 강한 신호가 수신된다. 이는 그림 2에서 설명한 간섭 신호 제거 기법인 SIC 기법을 사용하더라도 CINR이 -3 dB보다 더 크게 개선되지 않으므로, 0 dB의 QEF를 가지는 WiB (코드율 1/2의 QPSK 변조) 시스템은 그림 9와 같이 수신되지 않는 결과가 발생한다.

그림 10은 QPSK, 코드율 1/2, null 신호 길이 0μs, 보호 구간이 1/8인 경우 수신기 위치에 따른 BER 성능 분석 결과이다. 3번 수신기 위치까지 BER 성능이 저하되고 더 긴 지연 시간에 대해서는 성능이 개선되는 것을 확인할 수 있다. 이는 수신기가 송신기에 가까워질수록 신호 간섭의 정도가 증가하지만, 간섭 신

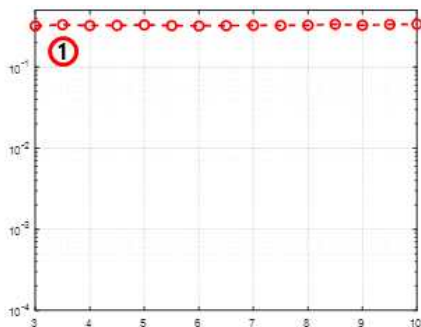


그림 9. 1번 수신기 위치에서 WiB 시스템의 수신 신호의 BER 성능
Fig. 9. BER performance from WiB system at location of receiver 1.

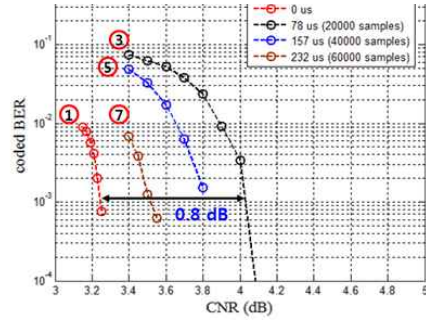


그림 10. 수신기 위치에 따른 수신 신호의 BER 성능 - QPSK, code rate: 1/2, null 신호 길이: 0μs
Fig. 10. BER performance according to location of receiver - QPSK, code rate: 1/2, null signal: 0μs.

호의 세기가 감소하게 되어 BER 성능이 개선되는 것이다. 중심 기준 15 km 부근에서 약 0.8 dB 열화가 발생한다.

그림 11은 QPSK, 코드율 1/2, null 신호 길이 157μs (약 40,000 samples), 보호 구간이 1/8인 경우, 수신기 위치에 따른 BER 성능 분석 결과이다. 40,000 sample 정도의 null 신호를 삽입할 경우 5번 위치의 수신기까지 간섭 신호가 발생하지 않는다. Null 신호를 157μs 삽입한 경우 중심 기준 36 km 부근에서 약 0.12 dB 열화가 발생한다.

각각의 변조 성상, 코드율 및 null 신호 삽입 길이에 따라서 발생하는 전송 용량을 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$R_{bit} = \frac{T_U \times L_F}{(T_U + T_\Delta) \times L_F + T_n} \times W \times R_{a,b}/3. \quad (3)$$

여기서 T_U 는 OFDM 심볼 길이, T_Δ 는 보호 구간

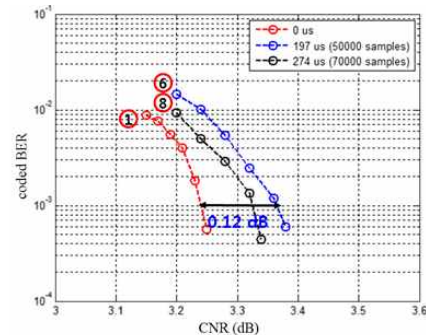


그림 11. 수신기 위치에 따른 수신 신호의 BER 성능 - QPSK, code rate: 1/2, null 신호 길이: 157μs
Fig. 11. BER performance according to location of receiver - QPSK, code rate: 1/2, null signal: 157μs.

길이, L_F 는 OFDM 심볼 개수, T_N 은 null 신호의 길이, B 는 대역폭, $R_{a,b}$ 는 a-QAM 성상에 b 코드율을 사용한 스펙트럼 효율 (bps/Hz)을 나타낸 것이다. 10개의 OFDM 심볼을 사용한 경우, 그림 11 실험 결과에 해당하는 전송 용량은 63.1 Mbps이며, 그림 11의 전송 용량은 56.9 Mbps이다. 그러나, TDM-WiB 시스템에 QPSK 변조를 사용할 경우 기존 WiB 시스템보다 전송 용량이 약 1/3로 감소하므로 기존 DTT와 유사한 전송 용량을 획득하기 위해서는 보다 높은 성상의 변조 사용이 필요하다.

그림 12는 16-QAM, 코드율 2/3, null 신호 길이 117 μ s (약 30,000 samples), 보호 구간이 1/32인 경우, 수신기 위치에 따른 BER 성능 분석 결과이다. 중심 기준 36 km 부근에서 약 0.6 dB 열화가 발생한다. 16-QAM, 코드율 2/3의 스펙트럼 효율은 2.66 bps/Hz 이므로 전송 용량은 약 168.2 Mbps이다.

그림 13은 64-QAM, 코드율 1/2, null 신호 길이 117 μ s (약 30,000 samples), 보호 구간이 1/32인 경우, 수신기 위치에 따른 BER 성능 분석 결과이다. 중심 기준 36 km 부근에서 약 0.45 dB 열화가 발생한다. 64-QAM, 코드율 1/2의 스펙트럼 효율은 3 bps/Hz이므로 전송 용량은 약 190.1 Mbps이다.

각각의 변조 성상, 코드율 및 null 신호 삽입 길이에 따라서 기존 DTT 대비 전력 사용률 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$P_{per} = \frac{W_{WiB}}{6 \times W_{DVB-T2}} \times \frac{1}{10^{10}} \times \frac{1}{3} \quad (4)$$

여기서 W_{WiB} 는 WiB 시스템의 유효 대역폭 (213 MHz), W_{DVB-T2} 는 DVB-T2 시스템의 대역폭 (7.61 MHz), P_{dB} 는 BER 10^{-3} 에서 가장 열화된 BER 성능과 DVB-T2 시스템과의 전력 차이를 나타낸다. 분모

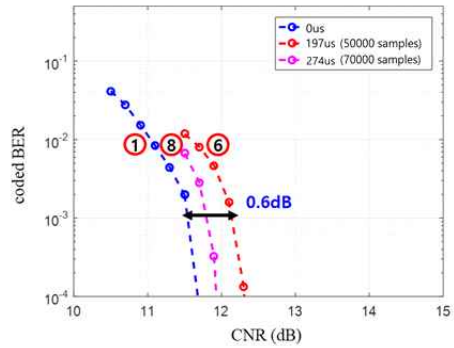


그림 12. 수신기 위치에 따른 수신 신호의 BER 성능 - 16-QAM, code rate: 2/3, null 신호 길이: 117 μ s
Fig. 12. BER performance according to location of receiver - 16-QAM, code rate: 2/3, null signal: 117 μ s.

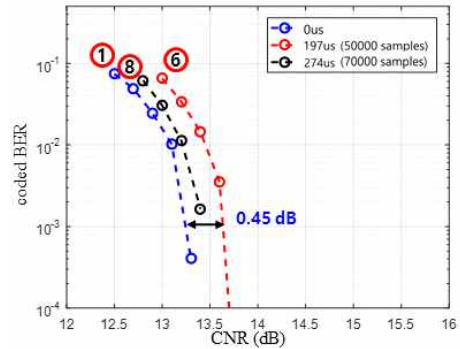


그림 13. 수신기 위치에 따른 수신 신호의 BER 성능 - 64-QAM, code rate: 1/2, null 신호 길이: 117 μ s
Fig. 13. BER performance according to location of receiver - 64-QAM, code rate: 1/2, null signal: 117 μ s.

에 6을 곱한 이유는 앞서 언급한 바와 같이 한 지역에 6개의 채널을 사용하여 전체 전송 용량을 달성하기 때문이다. 또한, 하나의 송신기에서 실제로 전파를 사용하는 시간이 1/3이므로 1/3을 곱하여 계산한다. 그림 14는 기존 256-QAM, 코드율 2/3를 사용한 경우의 BER 곡선이며 기준 세기 약 21.8 dB를 기준으로 각

표 3. 변조 성상 및 null 신호 길이에 따른 전송 용량 및 전력 사용률
Table 3. Transmission capacity and power usage modulation mode and null signal length.

QAM-mode (code rate)	스펙트럼 효율 (bps/Hz)	Null 신호 길이 (μ s)	R_{bit} (Mbps)	CNR(10-3)	P_{dB} (dB)	P_{per} (%)
QPSK (1/2)	1	0	63.1	4.1	17.7	2.64
QPSK (1/2)	1	148	56.9	3.4	18.4	2.25
16-QAM (2/3)	2.66	117	168.2	12.1	9.6	17
16-QAM (2/3)	2.66	157	163.6	12	9.7	16.6
64-QAM (1/2)	3	78	195	14.2	7.6	27
64-QAM (1/2)	3	117	190.1	13.7	8.1	24.1

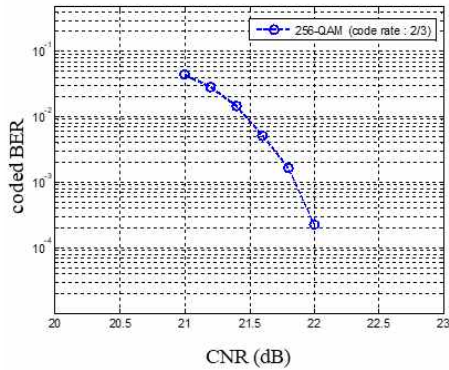


그림 14. DVB-T2 시스템의 수신 신호 성능 - 256-QAM, code rate: 2/3
 Fig. 14. BER performance according to location of receiver - 256-QAM, code rate: 2/3.

모의실험의 전력 사용률 및 전송 용량을 표 3에 정리하였다. 그림 13의 파라미터인 64-QAM, 코드율 1/2, null 신호 길이 117 μs, 보호 구간 1/32을 사용할 경우 현재 DTT 전송률과 유사한 약 190 Mbps의 전송 용량을 확보할 수 있으며, 현재 DTT에 사용되는 전력의 약 24.1%만을 사용하여 방송을 송출할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 저전력 방송시스템 구축을 위한 전송 방식으로 시분할 다중화를 적용한 광대역 전송 시스템을 제안하였다. 기존에 제안된 WiB 시스템은 설계비용 및 유지비용의 절감이라는 큰 장점이 있지만, 인접한 셀과 동일한 주파수를 사용하므로 간섭 신호가 발생하는 단점이 있다. 이를 보완하여 간섭이 발생하지 않는 환경을 구성하도록 null 신호를 삽입한 TDM-WiB 시스템을 제안하였고, 신호의 수신 성능을 분석하였다.

TDM-WiB의 경우 각각의 신호를 시분할하여 전송함으로써 간섭 신호를 피하도록 설계되기는 했지만, 서로 다른 경로를 사용하므로 수신기에서 서로 다른 시간 지연으로 인하여 간섭 신호가 발생한다. 이러한 경우를 극복하기 위해 추가적인 null 신호 삽입으로 간섭 신호의 영향을 줄일 수 있었다. 그러나 TDM 사용으로 인하여 이론적인 WiB 기법보다 전송 용량이 1/3로 감소하므로 QPSK의 변조 방식을 사용할 경우 현재 지상파 방송에 사용되는 전송 용량의 확보가 어렵다. 현재 전송 용량을 확보하기 위해 64-QAM, 코드율 1/2을 사용할 경우 현재 지상파 방송 시스템과 유사한 전송 용량을 가지게 되며, 현재 지상파 방송

시스템보다 전력 사용은 약 20 ~ 30%로 줄어들기 때문에 기존 지상파 방송에 비하여 저전력을 사용하는 방송 시스템 구축이 가능한 것을 확인하였다.

References

- [1] ATSC Standard: *Physical Layer Protocol (A/322)*, ATSC (Advanced Television Systems Committee), Jun. 2017.
- [2] ETSI EN 102 831, “*Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)*,” ETSI, Aug. 2012.
- [3] J. H. Seo, et al., “Trend of technology development and standardization for digital terrestrial television broadcasting,” *2014 Electron. and Telecommun. Trends*, pp. 27-36, Jun. 2014.
- [4] E. Stare, J. J. Giménez, and P. Klenner, “WiB: a new system concept for digital terrestrial television (DTT),” in *Proc. IBC Conf.*, 2016.
- [5] E. Stare, J. J. Giménez, and P. Klenner, “WiB - A new system concept for digital terrestrial television (DTT),” *EBU Technol. & Innovation Tech. Rev.*, Mar. 2017.
- [6] N. I. Miridakis and D. D. Vergados, “A survey on the successive interference cancellation performance for single-antenna and multiple-antenna OFDM systems,” *IEEE Commun. Surv. & Tuts.*, vol. 15, no. 1, pp. 312-335, 2013.
- [7] B. Sklar, *Digital Communications Fundamentals and Applications second edition*, Prentice-Hall International, Inc. Jan. 2017.
- [8] Andrea Goldsmith, *Wireless communications*, Cambridge, 2004.
- [9] D. H. Lee and S. C. Kim, “Analysis of computer simulated and field experimental results of LoRa considering path loss under LoS and NLoS environment,” *J. KICS*, vol. 42, no. 02, pp. 444-452, Feb. 2017.

김 호 재 (Ho Jae Kim)



2015년 2월 : 부산대학교 전자
전기공학부 학사 졸업
2017년 2월 : 부산대학교 전기
전자컴퓨터공학과 석사 졸업
2017년 3월~현재 : 부산대학교
전기전자컴퓨터공학과 박사
과정

<관심분야> 디지털 방송신호처리, 레이더 신호처리
[ORCID:0000-0002-6665-7078]

김 형 남 (Hyoung-Nam Kim)



1993년 2월 : 포항공과대학교 전
자전기공학과 학사 졸업
1995년 2월 : 포항공과대학교 전
자전기공학과 석사 졸업
2000년 2월 : 포항공과대학교 전
자전기공학과 박사 졸업
2000년 5월 : 포항공과대학교 전
자컴퓨터공학부 박사 후 연구원

2000년 5월~2003년 2월 : 한국전자통신연구원 무선방
송연구소 선임 연구원
2003년 3월~2007년 2월 : 부산대학교 전자전기통신공
학부 조교수
2007년 3월~2012년 2월 : 부산대학교 전자전기통신공
학부 부교수
2009년 2월~2010년 2월 : Johns Hopkins Univ.
Visiting Scholar
2015년 9월~2016년 8월 : Univ. of Southampton
Visiting Professor
2012년~현재 : 부산대학교 전자공학과 교수
<관심분야> 적응신호처리, 레이더 및 소나 신호처리,
디지털 방송 신호처리, 생체 신호처리
[ORCID:0000-0003-3841-448X]

배 재 휘 (JaeHwui Bae)



1991년 3월 : 경북대학교 공과
대학 전자공학과 학사 졸업
1993년 3월 : 경북대학교 대학
원 전자공학과 석사 졸업
1993년 5월~2000년12월 : 국방
과학연구소
2010년 3월 : 경북대학교 대학
원 전자공학과 박사 졸업

2001년 1월~현재 : 한국전자통신연구원 통신미디어
연구소
<관심분야> 유·무선 방송전송기술, 초고품질방송 전
송기술
[ORCID:0000-0002-6209-9857]

허 남 호 (Namho Hur)



1992년 2월 : 포항공과대학교
전자전기공학과 학사
1994년 2월 : 포항공과대학교
대학원 전자전기공학과 석사
2000년 2월 : 포항공과대학교
대학원 전자전기공학과 박사
2003년 10월~2004년 9월 :
CRC Canada Visiting
Research Scientist

2000년 4월~현재 : 한국전자통신연구원 통신미디어
연구소
<관심분야> 디지털 방송시스템 및 응용, 초고품질
방송시스템, 실감방송기술
[ORCID:0000-0002-0437-0047]