

특집논문 (Special Paper)

방송공학회논문지 제21권 제5호, 2016년 9월 (JBE Vol. 21, No. 5, September 2016)

<http://dx.doi.org/10.5909/JBE.2016.21.5.662>

ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

## 5.8GHz 대역에서의 중장거리 영상 전송 무선 방식

백 정 훈<sup>a)†</sup>, 김 남 호<sup>b)</sup>, 지 민 기<sup>b)</sup>

### Medium to Long Range Wireless Video Transmission Scheme in 5.8GHz Band

Junghoon Paik<sup>a)†</sup>, Namho Kim<sup>b)</sup>, and Mingi Ji<sup>b)</sup>

#### 요 약

본 논문에서는 5.8GHz 대역에서 중장거리 통신거리를 제공하면서 영상 데이터의 손실률을 저하시키는 무선 영상전송 방식을 제안한다. 무선 환경에서 수십 km 이상의 중장거리 통신이 가능하도록 다중 안테나를 통한 빔형성(Beam Forming) 방식을 적용하고 신뢰성 높은 영상데이터 전송을 위하여 MCS(Modulation and Coding Scheme)와 재전송을 결합한 영상전송 방식을 제안한다. 제안한 방식을 적용하여 80dB 감쇄의 실내 환경에서 1,000바이트의 페이로드 길이를 사용하고 10ms의 타임아웃 시간을 적용한 FPING을 통해 최소 0.92%의 손실률이 달성되고, 옥외환경에서 최대 전송속도 13Mbps에서 무선통신거리가 21.2Km인 무선전송이 달성됨을 확인한다.

#### Abstract

In this paper, we propose a wireless video transmission system, providing medium and long communication distance in the 5.8GHz band to decrease the loss of video data. Beamforming with multiple antennas in a radio environment to enable more than 10km communication distance and an image transmission method that combines the retransmission to MCS(modulation and coding scheme) are applied. By applying the proposed method in the indoor environment of 80dB attenuation using the payload size of 1000 bytes, the packet loss rate of at least 0.92% is achieved through the FPING with the time-out of 10ms. The transmission distance of 21.2Km is achieved with the transmission rate of 13Mbps in the outdoor environment.

Keyword : wireless video transmission, medium and long communication distance, beamforming, modulation and coding scheme

a) 동아방송예술대학교 방송기술계열(Department of Broadcasting Technology, Dong-Ah Institute of Media and Arts)

b) (주)위즈노바(Wiznova)

† Corresponding Author : 백정훈(Junghoon Paik)

E-mail: jhpaik@daum.net

Tel: +82-31-670-6734

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2022-1487>

\* 이 논문은 "2014년 경기도기술개발사업"의 일환으로 수행되었습니다.

Manuscript received June 28, 2016; Revised July 18, 2016; Accepted July 18, 2016.

#### I. 서 론

무선 링크는 페이딩으로 인해 반송파 대 잡음비(Carrier-to-noise ratio)의 악화와 이로 인한 높은 비트 오류율로 인해 서비스 품질의 저하가 발생한다<sup>[1]-[3]</sup>. 이를 해결하기 위하여 시간적으로 변화하는 채널에 최적의 변조와 코딩을 적용시키는 적응형 변조 및 코딩(AMC : Adaptive Modula-

tion and Coding) 방식이 도입되었다<sup>[4]-[9]</sup>.

[4]에서는 적응형 MQAM(Multi-level QAM) 방식을 제안하고 Nakagami 다중 페이딩 채널 하에서의 전송용량을 연구하여 적응성이 링크의 스펙트럼 효율을 증대시키는 핵심요인임을 입증하였다. [5]에서는 Rayleigh 페이딩 채널에서의 적응형 TCM(Trellis Coded Modulation) 방식을 제안하여 적응형 시그널링 방식이 제한된 다이버시티 환경에서 효과적인 방식이 될 수 있음을 확인하였다. [6]에서는 코드와 변조를 독립적으로 설계할 수 있는 코셋(coset) 코드를 MQAM에 적용한 적응형 TCM을 평탄(flat) 페이딩 채널에 제안하여 낮은 비트 오류율에서 4개의 상태 코드를 사용하여 3dB 이득이 달성되고, 8개의 상태 코드를 이용하여 3.6dB 이득이 달성되며, 128개의 상태 코드를 사용함으로서 Shannon 용량 한계치의 6dB이내가 가능함을 입증하였다. [7]에서는 전송율과 전력이 가변되는 채널 적응형 MQAM을 제안하여 전력만 가변되고 전송률은 고정된 방식에 비하여 5~10dB의 전력 이득이 달성되고 비적응 방식에 비하여 최대 20dB까지의 전력 이득이 달성됨을 보였다. [8]에서는 평탄 Rayleigh 페이딩 채널 하에서 불완전하게 예측되는 CSI(Channel State Information)를 활용한 TCM 기반의 적응방식을 제안하여 부호화되지 않은 적응형 MQAM 방식과 성능 비교를 통해 제안방식이 MQAM 방식에 비해 제한된 신호 대 잡음비 범위 내에서는 스펙트럼 효율이 높지만 높은 신호 대 잡음비에서는 부호화되지 않은 MQAM이 TCM 성능을 앞선다는 결과를 보였다. 채널 페이딩 효과를 경감시키는 또 다른 접근방식으로 데이터링크 계층에서의 재전송 기반의 ARQ(Automatic Repeat Request)방식이 제안되었다. [9]에서는 블록 페이딩 채널에서 오류가 발생하는 피드백을 갖는 truncated type-II 하이브리드 ARQ 방식의 적응형 코딩 방식을 제안하였다. Truncated ARQ 방식은 대응되는 FEC(Forward Error Correction) 방식과 동일한 수준의 패킷 손실률을 보이지만 평균 코딩율과 비감지 오류율간의 트레이드오프(trade-off)가 가능함을 입증하였고 중간이나 높은 신호 대 잡음비에서는 FEC 보다 매우 높은 평균 코딩율이 제공됨을 보였다. [10]에서는 물리 계층에서의 AMC와 데이터링크 계층에서의 truncated ARQ를 교차 계층(cross-layer)에서 결합하여

주어진 지연과 오류율 조건하에서 처리율을 최대화하는 방안을 제시하였다. 모의 실험을 통해 AMC와 ARQ의 결합방식은 단독의 AMC 방식이나 고정된 모드의 ARQ 방식보다 전송률이 개선됨을 입증하였고, 재전송을 통해 변조와 코딩의 오류제어 기능을 경감시키는 것이 가능하며 이로 인해 상당한 수준의 스펙트럼 효율성이 성취됨을 입증하였다.

기존의 AMC 연구는 이론중심과 모의 실험 기반으로 수행됨으로서 실질적인 무선 환경에 적용하는 경우 의미있는 데이터로 활용되기 어렵다는 문제점을 갖는다. 또한 기존의 연구에서는 CSI가 항상 수신측에 준비되며 피드백 채널에서의 지연은 무시되고 오류는 발생하지 않는다는 것을 가정함으로서 실시간으로 급변하는 무선채널에 적용하기에는 한계가 있다. 또한 기존의 연구에서는 수학적 분석의 편이성을 위하여 하나의 송신부와 하나의 수신부로 구성되는 단일 링크만을 고려하였으나 현대의 무선통신 환경은 무선신호의 신뢰성을 제고하기 위하여 범형성(Beam Forming)을 이용한 MIMO(Multiple Input Multiple Output)가 일반화되어 있는 것이 현실이어서 기존 연구의 실효성은 다소 제한적이다.

본 연구에서는 기존의 이론 중심의 AMC 연구가 갖는 한계점을 극복하고 범용화되어 있는 범형성 MIMO 환경을 고려하기 위하여 5.8GHz 대역에서 네 개의 안테나를 이용한 범형성 기능을 제공하고 AMC와 재전송을 결합한 영상 전송 방식을 적용한 중장거리 무선모뎀을 제작하고 실험을 통하여 제안된 영상전송방식의 성능을 패킷 손실률을 지표로 설정하여 성능을 분석한다. 또한 5.8GHz 대역에서 달성될 수 있는 최대 전송률 및 최대 전송거리를 제시한다.

본 논문의 구성은 II장에서 제안하는 중장거리 무선 영상 전송 방식인 범형성 방식 및 MCS와 재전송을 결합한 방식을 제시하고, III장에서는 전송거리와 전송속도에 관한 성능을 표시하고 IV장에서 결론을 기술한다.

## II. 중장거리 무선 영상 전송 방식

### 1. 5.8GHz 무선모뎀 구조

5.8[GHz] 대역의 중장거리용 무선모뎀 구조는 그림 1과

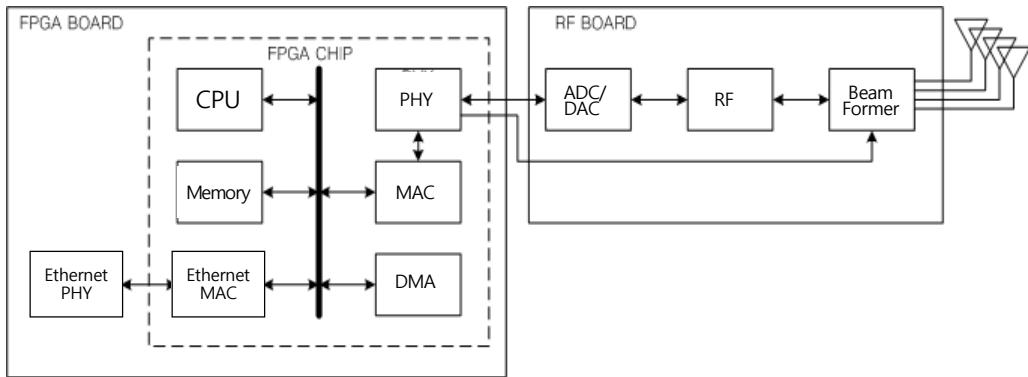


그림 1. 5.8GHz 무선모뎀 블록도

Fig. 1. Block Diagram of 5.8GHz Wireless Modem

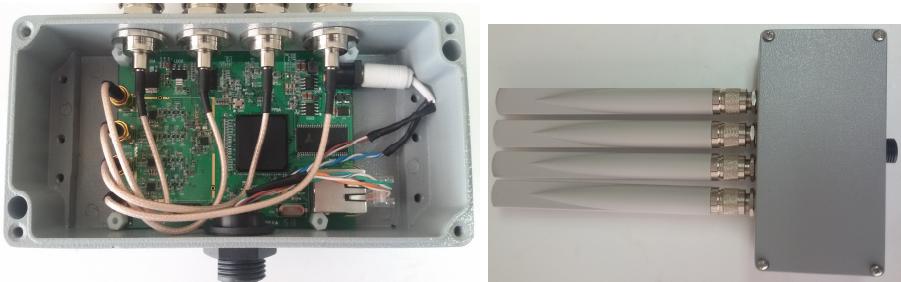


그림 2. 5.8GHz 무선모뎀

Fig. 2. 5.8GHz Wireless Modem

같이 이더넷 MAC(Medium Access Control)과 PHY(Physical) 계층의 기능을 구현하는 보드와 범형성 및 변조기능을 수행하는 보드로 구성된다.

그림 1의 Ethernet PHY는 이더넷의 물리계층 기능을 수행하고 이더넷의 MAC계층 기능을 담당하는 Ethernet MAC은 이더넷 PHY에서 수신한 데이터를 메모리에 저장하고, 메모리에 저장된 수신된 데이터를 이더넷 PHY로 송신하는 기능을 수행한다. DMA(Direct Memory Access)는 이더넷 MAC으로부터 메모리로 데이터를 전달하거나 메모리에서 이더넷 MAC으로 데이터를 전달하는데 활용된다.

범형성(Beam Former)부는 급변하는 무선채널 환경 하에서 최적의 신호 방향을 찾아내어 주변 간섭 영향을 최소화하는 동시에 상대방에 도달되는 신호의 크기를 최대화하여 전송거리를 증대하고 전송품질을 제고한다. 그림 2는 네 개의 안테나를 통한 범형성 기능을 구현한 5.8GHz대역 중장거리 무선모뎀을 나타낸다.

## 2. 범형성

범형성 블록은 그림 3과 같이 네 개의 안테나 신호에 대

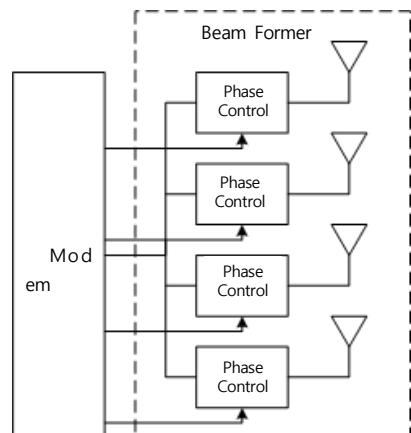


그림 3. 범형성 블록

Fig. 3. Beam Forming Block

표 1. 방사 각도별 이득

Table 1. Gain for Radiation Angle

Beam Radiation Angle	Beam Angle							
	0 °	45 °	90 °	135 °	180 °	-45 °	-90 °	-135 °
-90	-56.43	-5.34	-47.06	2.29	6.01	-5.33	-47.03	2.35
-70	-14.68	-5.57	-10.89	3.96	5.82	-6.24	-12.53	-0.03
-50	-5.47	-22.78	1.74	6	2.84	-25.56	-5.28	-22.32
-30	-59.45	2.31	6.02	2.34	-53.07	-5.34	-56.08	-5.33
-10	4.33	5.71	-0.86	-10.67	-6.74	-8.57	-5.86	-12.69
0	6.02	2.32	-166.02	-5.33	-166.03	2.32	-166.02	-5.33
10	4.33	-8.57	-5.86	-12.69	-6.74	5.71	-0.86	-10.67
30	-59.45	-5.34	-56.08	-5.33	-53.07	2.31	6.02	2.34
50	-5.47	-25.56	-5.28	-22.32	2.84	-22.78	1.74	6
70	-14.68	-6.24	-12.53	-0.03	5.82	-5.57	-10.89	3.96
90	-56.43	-5.33	-47.03	2.35	6.01	-5.34	-47.06	2.29

하여 각각 독립적으로 위상을 조정하여 송수신되는 신호의 방향을 제어한다. 각 안테나의 신호 경로에 대한 위상 조절은 신호가 지나는 다른 길이의 경로를 다수개 만들고, 이 중에서 스위치를 사용하여 최적의 경로를 선택한다. 신호 경로의 길이는 사용하는 주파수의 파장의 함수로 정해지는 데 위상의 조절은 0 °에서 360 ° 사이로 이루어진다.

표 1은 -45도, -90도, -135도의 단위로 위상 지연을 하였

을 때 빔의 방사 각도별 이득을 측정한 결과이다. 네 개의 안테나를 사용하기 때문에 최대 이득은 6dB이며 이보다 작은 값은 최대 이득을 달성하지 못한 것을 나타낸다.

그림 4는 안테나 이득을 빔 방사 각도의 함수로 모의 실험한 결과이다. 최대 이득을 달성하는 8개의 빔 각도를 사용하면 전체 방향에 대하여 얻을 수 있는 안테나 이득이 5~6dB가 되는 것을 확인할 수 있다. 최대 이득을 달성하는

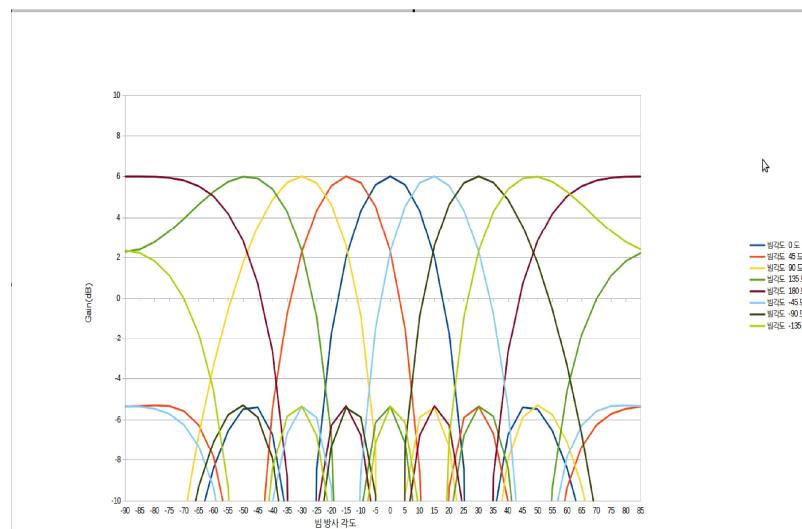


그림 4. 안테나 이득과 빔 방사각도  
 Fig. 4. Gain and Radiation Angle

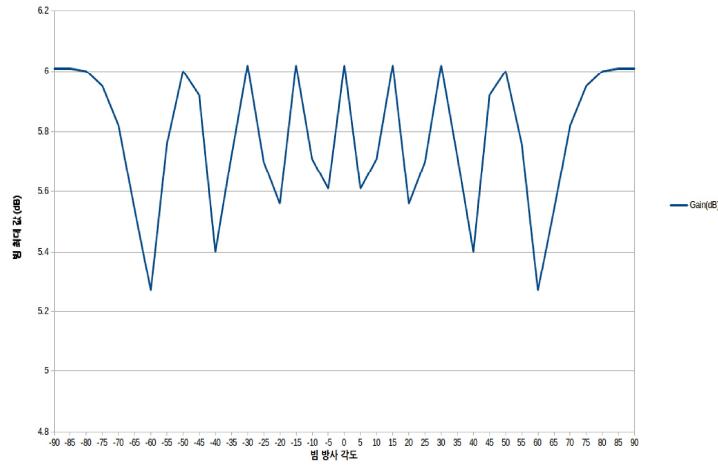


그림 5. 최대 이득  
Fig. 5. Maximum Gain

2개의 범 사이에서 약 1dB 이내의 안테나 이득이 감소되는 것을 확인할 수 있다.

전체 안테나 방향에 대하여 얻을 수 있는 최대 이득을

모의 실험한 결과는 그림 5와 같다. 모든 방향에 대하여 최소 5.25dB 이상의 안테나 이득이 달성됨을 알 수 있다.

그림 6은 송신 신호의 범 방향을 변화시키면서 단일 안테

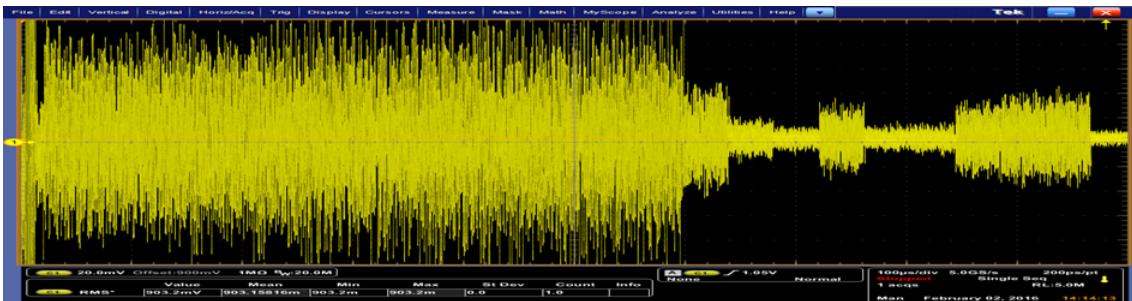


그림 6. 송신 범형성  
Fig. 6. Transmit Beam Forming

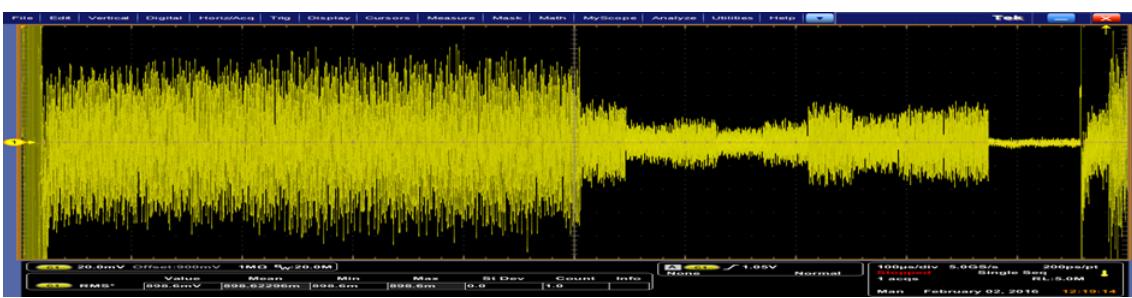


그림 7. 수신 범형성  
Fig. 7. Receive Beam Forming

나 수신기의 기저 대역 신호를 오실로스코프로 측정한 것으로 송신 빔의 각도에 따라 수신 신호의 크기가 변하는 송신 빔형성을 나타낸다.

그림 7은 하나의 송신 안테나에서 방사된 신호에 대하여 수신기의 빔 방향을 변화시키면서 측정한 수신신호가 빔 방향에 따라 변하는 수신 빔형성을 나타낸다.

### 3. 영상전송 프로토콜

#### 3.1 동작

급변하는 무선 환경에서 전송효율과 전송품질을 유지하기 위하여 변조방식과 부호율을 동적으로 가변시키는 MCS를 표 2와 같이 적용한다. 제안하는 MCS는 표 2와 같이 MCS0 부터 MCS15까지 16개의 MCS 조합으로 구성되며 MCS15가 전송효율이 가장 높으므로 무선채널이 가장 좋은 조건인 경우에 사용된다.

표 2. MCS  
 Table 2. MCS

MCS	Modulation	Coding Rate
0	QPSK	1/2, 32 repetition
1	QPSK	1/2, 16 repetition
2	QPSK	1/2, 8 repetition
3	QPSK	1/2, 4 repetition
4	QPSK	1/2, 2 repetition
5	QPSK	1/2
6	QPSK	2/3
7	QPSK	3/4
8	QPSK	5/6
9	16QAM	1/2
10	16QAM	2/3
11	16QAM	3/4
12	16QAM	5/6
13	64QAM	2/3
14	64QAM	3/4
15	64QAM	5/6

기존의 MCS 방식에서 무선채널의 상태를 확인하기 위하여 사용하는 CQI(Channel Quality Indicator) 대신에 제안방식에서는 수신측이 송신측으로부터 패킷을 수신하면 패킷 단위로 ACK(Acknowledge) 응답을 송신측으로 전송하는 방식을 적용한다. 수신측으로부터 정상적으로 ACK가 수신되면 현재의 MCS 값으로 통신이 정상적으로 이루어지고 있다고 판단하여 MCS 값을 유지하고 연속해서 ACK가 수신되면 전송효율을 제고시키기 위하여 심볼당 비트 수가 더 높은 변조방식과 높은 부호율의 MCS로 변경한다. 반면에 수신측으로부터 ACK가 수신되지 않으면 MCS 값을 낮추어 채널열화에 감내성을 높여 통신 성공률을 제고시킨다. 재전송을 적용한 MCS 방식에서 MCS와 재전송간의 상호 연관성을 파악하기 위해서는 MCS의 다양한 변화 형태에서 재전송이 전송품질에 미치는 영향을 분석할 필요가 있다. 이를 위하여 표 3과 같은 시험환경을 구축하고 표 4의 시험 시나리오를 구성한다.

표 3. 시험환경  
 Table 3. Test Conditions

Attenuation	80 dB
Initial Transmit MCS Setting	MCS15
Initial Receive MCS Setting	MCS5
Application	FPING
FPING	Payload length : 1000 바이트 Timeout : 10ms, 100ms

표 4의 Test1, Test2, Test3 과 Test4, Test5, Test6은 각각 동일한 전송 횟수 하에서 MCS를 변화시킴으로서 재전송 시 MCS 변화에 의한 성능효과를 분석하기 위함이다. Test3 과 Test6은 MCS15만을 사용하고 재전송 횟수에 차이를 두으로서 재전송이 성능에 미치는 영향을 분석하기 위함이다. Test2 와 Test5는 특정 MCS의 재전송이 성능에 미치는 영향을 분석하기 위함이다. 타임아웃을 두 가지 경우인 10ms 와 100ms로 설정한 것은 지연과 같은 어플리케이션별 요구사항에 따른 MAC단에서의 성능과 어플리케이션 단에서의 성능을 분석하기 위함이다.

표 4. 시험 시나리오  
Table 4. Test Scenario

Test	Test scenario(Timeout : 10ms, 100ms)
Test1	Maximum Transmission Number : 3 MCS Setting : MCS15 → MCS10 → MCS6
Test2	Maximum Transmission Number : 3 MCS Setting : MCS15 → MCS14 → MCS13
Test3	Maximum Transmission Number : 3 MCS Setting : MCS15 → MCS15 → MCS15
Test4	Maximum Transmission Number : 7 MCS Setting : MCS15 → MCS10 → MCS6 → MCS6 → MCS6 → MCS6 → MCS6
Test5	Maximum Transmission Number : 7 MCS Setting : MCS15 → MCS14 → MCS13 → MCS13 → MCS13 → MCS13 → MCS13
Test6	Maximum Transmission Number : 7 MCS Setting : MCS15 → MCS15 → MCS15 → MCS15 → MCS15 → MCS15 → MCS15

### 3.2 결과

표 4의 각 시험에 대하여 타임아웃이 10ms와 100ms인 경우의 시험결과가 표 5와 표 6이다.

### 3.3 분석

MCS와 재전송을 결합한 방식을 통해 80dB 감쇄의 실내 환경에서 1,000바이트의 페이로드 길이를 사용하고 10ms

표 5. 결과 (타임아웃 : 10ms)

Table 5. Test Results(Timeout : 10ms)

	Results at TCP		Results at MAC	
	Number of Lost Packets / Number of Transmit Packets	Packet Loss Rate(%)	Number of Lost Packets / Number of Transmit Packets	Packet Loss Rate(%)
Test1	927/100,372	0.92	0/100,000	0.00
Test2	72,385/100,050	72.35	39,774/100,000	39.77
Test3	104,714/104,726	99.98	99,885/100,000	99.89
Test4	1,829/100,643	1.82	0/100,000	0.00
Test5	40,488/100,298	40.37	3,696/100,000	3.696
Test6	100,965/100,980	99.99	99,727/100,000	99.73

표 6. 결과 (타임아웃 : 100ms)

Table 6. Test Results(Timeout : 100ms)

	Results at TCP		Results at MAC	
	Number of Lost Packets / Number of Transmit Packets	Packet Loss Rate(%)	Number of Lost Packets / Number of Transmit Packets	Packet Loss Rate(%)
Test1	9/100,092	0.01	0/100,000	0
Test2	37,594/100,040	37.58	37,494/100,000	37.49
Test3	99,240/100,387	98.86	98,784/100,000	98.78
Test4	137/100,445	0.14	0/100,000	0
Test5	4,953/100,104	4.95	4,588/100,000	4.59
Test6	111,654/113,825	98.09	107,494/110,000	97.72

의 타임아웃 시간을 적용한 FPING을 통해 TCP단에서 최소 0.92%의 패킷손실률이 달성되고, 100ms 타임아웃의 경우에 는 최소 0.01%의 패킷손실률이 달성됨을 확인할 수 있다. 제 안된 방식은 무선채널 환경 하에서 일정 수준 이상의 영상성 능이 보장되는 경우에는 영상품질을 향상시키는 반면에 그렇지 않은 경우에는 영상품질 향상에 큰 영향을 미치지는 않는다는 것을 확인할 수 있다. 즉, 80dB 감쇄 환경 하에서 MCS15의 재전송은 영상품질 향상이 이루어지지 않지만 동 일한 환경 하에서 MCS13의 재전송 횟수가 증가함에 따라 영 상품질 향상이 이루어짐을 알 수 있다. 또한, 재전송의 수가 증가할수록 영상품질이 향상되는 MCS가 존재한다는 것이 확인되고, 채널 열화 감내 능력이 높은 MCS로 변화시킴에 따라 재전송이 영상품질 성능을 급격히 향상시킴을 알 수 있다.

### III. 전송속도 및 전송거리 성능

## 1. 전송속도

실내환경에서의 통신속도를 주파수 별로 측정한 결과 평균

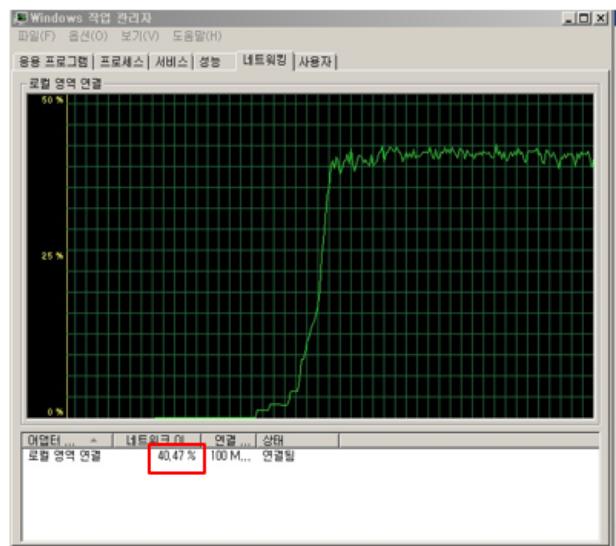


그림 8. 실내 전송속도  
Fig. 8. Indoor Transmission Rate

통신 속도가 40Mbps 수준이며 64QAM을 사용하는 MCS15로 통신되는 것이 확인 되었다(그림 8). 전송 속도 시험을 위해 서는 FTP를 이용한 대용량 파일 전송을 시도하였다.

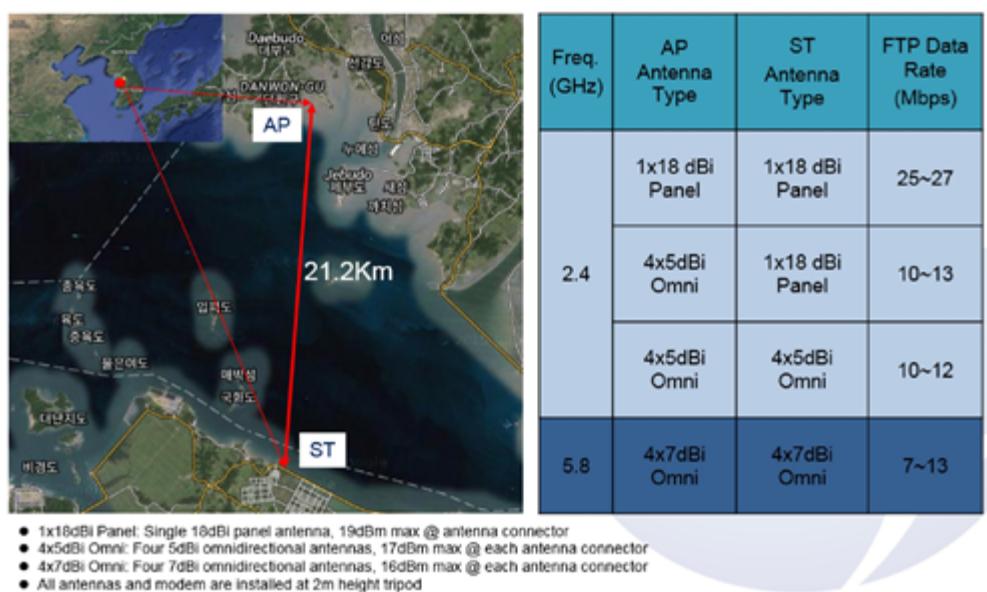


그림 9. 실외 전송거리  
Fig. 9. Outdoor Transmission Distance

표 7. 링크 버짓

Table 7. Link Budget

Items	Test1	Test2	Test3	Test4
Carrier frequency (MHz)	2450	2450	2450	5800
Distance (km)	21.2	21.2	21.2	21.2
Bandwidth (MHz)	20	20	20	20
Transmit power (dBm)	19	19	17	16
Transmit antenna gain (dBi)	18	18	11	13
Path loss (dB)	126.8	126.8	126.8	134.2
Receive antenna gain (dBi)	18	11	11	13
Receive signal strength (dBm)	-71.8	-78.8	-87.8	-92.2

## 2. 전송거리

제안된 영상통신 방식의 실외 통신 거리 성능을 측정하기 위하여 당진에서 대부도까지 바다를 건너 21.2Km 거리에서 실시하였으며, 데이터 전송 속도는 7~13Mbps가 관찰되었다(그림 9).

상기 시험 환경에 대한 통신 링크 버짓을 계산한 결과는 표 7과 같다. 표의 시험 1,2,3,4는 그림 9의 (AP, Station) 조합 (1x18dBi, 1x18dBi), (4x5dBi, 1x18dBi), (4x5dBi, 4x5dBi), (4x7dBi, 4x7dBi)에 각각 해당한다. 신호의 크기가 충분하여 데이터 통신이 가능함을 알 수 있다. 경로 손실 계산을 위해서는 자유공간 감쇄를 가정하였다.

## IV. 결 론

본 논문에서는 5.8GHz 대역에서 중장거리 통신거리를 제공하면서 영상 데이터의 손실률을 저하시키는 무선 영상전송 방식을 제안하였다. 무선 환경에서 수십 km 이상의 중장거리 통신이 가능하도록 다중 안테나를 통한 빔 형성 방식을 적용하고 신뢰성 높은 영상데이터 전송을 위하여 MCS와 재전송을 결합한 영상전송 방식을 제안하였다.

제안한 방식을 적용하여 80dB 감쇄의 실내 환경에서 1,000바이트의 페이로드 길이를 사용하고 10ms의 타임아웃 시간을 적용한 FPING을 통해 TCP단에서 최소 0.92%의 패킷손실률이 달성됨을 확인하였다. 또한, 제안된 영상전

송 방식은 무선채널 환경 하에서 일정 수준 이상의 영상성능이 보장되는 경우에는 영상품질을 향상시키는 반면에 그렇지 않은 경우에는 영상품질 향상에 큰 영향을 미치지는 않는다는 것을 확인하였으며 재전송의 수가 증가할수록 영상품질이 향상되는 MCS가 존재한다는 것을 확인하였고 채널 열화 감내 능력이 높은 MCS로 변화시킴에 따라 재전송이 영상품질 성능을 급격히 향상시킨다는 것을 확인할 수 있었다. 빔형성 기능을 통해 옥외환경에서 최대 전송속도 13Mbps 수준에서 21.2Km의 비가시 전송이 가능함을 확인했다.

추후 연구에서는 특정 채널환경하에서 재전송의 효과가 구현될 수 있는 최적의 MCS를 동적으로 찾아 전송률도 높이면서 동시에 영상품질도 개선되는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌 (References)

- [1] Bokyun Jo, Doohyun Lee, and Doug Young Suh, "Adaptive QoS Study for Video Streaming Service In MMT Protocol" JBE Vol. 20, No. 1, pp.40-47, January 2015.
- [2] Myung Chul Park and Dong Seog Han "Analysis of Spatial Modulation MIMO Reception Performance for UHDTV Broadcasting" JBE Vol. 20, No. 6, pp.837-847, November 2015.
- [3] In Cheol Shin and Dong-Hoi Kim, "New Retransmission Method using the minimum MPDU starting Spacing in Two-level Aggregation of IEEE 802.11n" JBE Vol. 20, No. 2, pp.300-309, March 2015.
- [4] M.-S. Alouini and A. J. Goldsmith, "Adaptive modulation over Nakagami fading channels," Kluwer J. Wireless Commun., vol. 13, no. 1 - 2, pp. 119 - 143, May 2000.
- [5] D. L. Goeckel, "Adaptive coding for time-varying channels using out-

- dated fading estimates,” IEEE Trans. Commun., vol. 47, pp. 844 - 855, June 1999.
- [6] A. J. Goldsmith and S.-G. Chua, “Adaptive coded modulation for fading channels,” IEEE Trans. Commun., vol. 46, pp. 595 - 602, May 1998.
- [7] A. J. Goldsmith, Soon-Ghee Chua, “Variable-rate variable-power MQAM for fading channels,” IEEE Trans. Commun., vol. 45, pp. 1218 - 1230, Oct. 1997.
- [8] K. J. Hole, H. Holm, and G. E. Oien, “Adaptive multidimensional cod-
- ed modulation over flat fading channels,” IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 18, pp. 1153 - 1158, July 2000.
- [9] E. Malkamaki and H. Leib, “Performance of truncated type-II hybrid ARQ schemes with noisy feedback over block fading channels,” IEEE Trans. Commun., vol. 48, pp. 1477 - 1487, Sept. 2000.
- [10] Qingwen Liu, Shengli Zhou, and Georgios B. Giannakis, “Cross-Layer Combining of Adaptive Modulation and Coding With Truncated ARQ Over Wireless Links,” IEEE Trans. on Wireless Commun., vol. 3, no. 5, sept. 2004

---

## 저자 소개

---

### 백정훈



- 2002년 9월 ~ 현재 : 동아방송예술대학교 방송기술계열 교수
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0003-2022-1487>
- 주관심분야 : 방송네트워크 기능 고도화 및 성능분석

### 김남호



- 2000년 7월 ~ 현재 : 씽위즈노바, 차장
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0002-0727-5969>
- 주관심분야 : Hardware Design

### 지민기



- 2011년 1월 ~ 현재 : 씽위즈노바 주임연구원
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0002-3237-0933>
- 주관심분야 : MAC(Media Access Control)