JKIICE Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering

한국정보통신학회논문지(J. Korea Inst. Inf. Commun. Eng.) Vol. 19, No. 3 : 514~522 Mar. 2015

장거리 무선 링크의 가용도 보장을 위한 적응전송 기법

윤종택[1*] · 김용이[2] · 임영갑[3] · 김영호[4]

Adaptive Transmission Techniques for the Availability Assurance of Long-distance Radio Link

Jong-Taek Youn[1*] · Yongi Kim[2] · Young-Gap Lim[3] · Young-Ho Kim[4]

[1*]LIG NEX1 Co.,Ltd / NCW Engineering, Ajou University, Suwon 443-749, Korea
[2]LIG NEX1 Co.,Ltd, Seongnam 463-400, Korea
[3]NCW Engineering, Ajou University, Suwon 443-749, Korea
[4]Korea Institute for Defence Analyses / NCW Engineering, Ajou University, Suwon 443-749, Korea

요 약

Microwave 무선 링크에서 거리에 따라 고 품질의 무선 링크를 지속적으로 보장하기 위해서는 무선 페이딩에 대한 고려가 필요하다. 링크 거리에 따라 동일한 고정 변조 방식을 적용할 경우 거리에 따른 페이딩 발생 확률의 증가로 장거리의 경우 요구 가용도를 지속적으로 보장하기 어렵다. 이를 위해 AM(Adaptive Modulation)이 유용하지만 AM 만으로는 가변되는 전송량으로 인해 가용도 보장에 제한사항이 있다. 이전 연구에서 링크 거리를 고려한 전송 성능 향상 기법을 제안 했었다. 그러나, 이전 방법은 변수를 고려한 수식을 제시하지 않아 공통 적용을 위해서는 보완이 필요하였다. 본 논문에서는 장거리 무선 링크에서 가용도 보장을 위한 페이드 마진을 고려한 AM에 기반한 우선순위 트래픽 전송량 산출식을 제시하고 채널 대역폭 비교를 통한 최적화된 적응 전송 기법을 제안한다.

ABSTRACT

In Microwave Radio Link, it is necessary to consider the radio fading to consistently assure the radio link of the high quality as the distance. If the fixed modulation is used for the microwave radio link, it is difficult to keep the high availability of link for the case of the long distance. Adaptive Modulation(AM) provide good quality on microwave link, but the application of the only-AM is not enough to provide the availability assurance due to the fluctuating characteristics of link capacity. Our previous study has proposed the improvement method of transmission in association with the distance, however the previous method needed to make up for the common application. There was no suggestion of a mathematical formula with a variable. In this paper, we propose an optimized Adaptive Transmission Techniques with calculating formula of the priority traffic transmission capacity based on AM in consideration of the fade margin for the availability assurance as the distance and the comparison of the channel bandwidth for Long-distance Radio Link.

키워드 : 비가용도 또는 가용도, 거리, 적응변조, 대역폭

Key word : Unavailability, Distance, AM(Adaptive Modulation), Bandwidth

접수일자 : 2015. 01. 25 심사완료일자 : 2015. 02. 16 게재확정일자 : 2015. 03. 02

*** Corresponding Author** Jong-Taek Youn(E-mail:jtyoun37@lignex1.com, Tel:+82-31-8026-4565)
LIG NEX1 Co.,Ltd / NCW Engineering, Ajou University, Suwon 443-749, Korea

Open Access http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2015.19.3.514 print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

ⓒThis is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/li-censes/by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright Ⓒ The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

Ⅰ. 서 론

최근 Microwave 무선 링크 시스템은 고속으로 대용량의 데이터를 안정적으로 전송하는 경제적이고도 효율적인 방안으로 적용되고 있다. 특히, 군에서는 미래 NCW(Network Centric Wafare)로의 전장 환경 진화에 발맞추어 장거리 무선 통신 기반 체계의 경제성과 신뢰성 측면을 고려한 효과적인 향상과 효율적인 성능 개선을 위해 기존의 전송 방식을 활용하면서 혼용하여 적용이 가능한 개선된 전송 기술이 요구되어지고 있다. 이러한 무선 전송 링크는 열잡음과 간섭에 기인한 페이딩과 다중 경로로 야기되는 신호의 왜곡에 대해 극복이 가능한 고 품질의 신뢰성이 요구된다. 고 품질의 신뢰성을 지닌 망을 설계하기 위한 척도로써 가용도가 사용된다. 가용도는 Microwave의 경우 페이딩으로 인한 장애나 문제에도 불구하고 장애 없이 운용되는 시간을 의미한다. Microwave 무선 링크 예측 방법은 장거리에서 링크를 설계하는데 있어 중요한 요소이다. 장거리일수록 페이딩 발생 확률의 증가로 고 신뢰의 QoS 를 지속적으로 보장하기 어려울 수 있다[1]. 무선 링크에서 고 품질의 무선링크를 지속적으로 보장하기 위해서는 거리에 따른 채널 페이딩 환경에 대한 고려가 필요하다.

기존의 고정된 변조방식(Fixed Modulation)은 전송속도는 변하지 않으나, 거리에 따라 변경됨 없이 동일한 고정된 변조방식을 적용하고 있으며, 이로 인해 거리에 따른 페이딩 발생 확률의 증가로 무선 링크의 품질은 변화될 수 있으며, 높은 가용도를 지속적으로 유지하기는 어려울 수 있다. 이를 개선하고 변화하는 무선 링크 환경에 적응하여 높은 가용도로 고 품질의 신뢰성을 지닌 망을 유지하기 위해 AM(Adaptive Modulation)기법을 통해 성능 향상이 가능하다. 하지만 거리가 멀어질수록, 임의 시간 페이딩 발생 시간이 길어지는 경우 AM 만으로는 가변되는 전송속도로 인해 전송 지연 등 QoS 보장을 제공함에 있어 제한사항이 발생할 수 있다. 기존의 고정 변조 방식의 무선링크와 가변 적응형 변조 방식 적용시 성능 분석을 통해 무선 전송의 효율적인 보장 및 향상 방안과 관련된 연구가 필요하다.

본 논문에서는 요구 가용도 보장을 위해 거리에 따른 최적 변조 스킴을 기반으로 한 트래픽과 최적 대역폭 할당을 고려한 효과적인 적응전송 기법을 제안한다. 우리는 앞선 연구에서 가용도와 링크 거리를 고려한 전송 성능 향상 기법을 제안 했었다[9]. 그러나, 앞선 제안 기법에서는 변수를 고려한 수식을 제시하지 않아 계산 과정이 다소 복잡하였다. 여기서는 수신신호 세기와 가용도 및 거리값을 변수로 하여 대역폭과 관계하여 회선 설계를 위한 우선순위 트래픽 전송량 설정 산출식을 제시하고 이를 통해 장거리 가용도 보장을 위한 적응 전송 기법을 제안한다.

제안한 기법은 군 장거리 Micro wave 무선 전송 시스템 분석을 수행하여 무선 링크 환경을 모델링하고 모의 실험 및 분석을 통해 기존 고정 변조 기법과 가용도를 고려한 거리별 트래픽 전송의 개선된 AM 기법과의 비교를 정량적으로 수행하였다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. Ⅱ장에서는 관련 부분의 고찰 내용을 기술하였다. Ⅲ장에서는 제안하는 Microwave 무선 링크에서의 가용도와 무선 링크 거리를 고려하여 도출된 산출 수식을 제시하고 적응 전송 기법을 설명하며 Ⅳ장에서는 실험 및 분석 결과를 제시한다. 마지막으로 Ⅴ장에서 결론을 맺는다.

Ⅱ. 관련 연구

무선 링크에서의 AMC 기반 트래픽 제어를 통해 높은 가용도 경로 설정, 예비 채널 경로, 트래픽 흐름에 따른 대역폭 재할당 기법을 [2]에서 제안하고 있지만 이들 연구는 거리에 따른 적응 변조 적용 방법과 운용 회선을 고려한 최적의 채널 대역폭 선택에 대해서는 고려되지 않았다. [3]에서와 같이 반자동화된 Microwave Radio Link Planning Tool을 활용해 링크 버짓 예측이 가능하지만 거리와 AM은 고려되지 않고 있다. [4]에서는 AM기술 적용 QoS 트래픽을 고려할 경우의 링크 가용도의 평가에 집중하고 있으며, [5]에서는 AM Microwave 무선 링크에 대한 채널 코딩과 신호 복구 내용을 다루고 있다. 이러한 연구 내용에서 AM 적용의 경우에도 가용도, 링크 거리, Fade Margin, 채널 대역폭 할당을 함께 고려하여 설계에 적용하지는 않고 있다.

Microwave 무선 전송 링크를 포함하는 장거리 무선 통신 환경에서 고품질의 강건하고 효과적인 망을 설계하기 위해서는 무선 구간에 대한 링크 버짓이 중요

하다. 링크버짓에서 2개 노드간 모든 이득(G) 과 손실(L)을 고려하여 송신출력(TP:Transmitter Power)과 수신신호세기(RL:Receive Level) 간의 관계식은 다음과 같다.

$$\text{RL[dBm]=TP[dBm]+G(dB)-L(dB)} \quad (1)$$

상기에서 송신기와 수신기 간에 LOS(line of sight) 환경이 보장되고 무선 링크 주변에 장애물이 없는 환경에서 적용하는 Free space model 에 대한 경로 손실 관계식은 다음과 같이 표현된다.

$$L(dB) = 32.5 + 20\log(d) + 20\log(f) \quad (1)\text{-}1$$

d = 거리(km)
f = 주파수(MHz)

여기서 d 와 f 에 따른 L값과 가용한 TP 와 안테나 이득 G를 적용, 전송라인에 의한 L값을 포함하여 식 (2)로부터 무선 링크 구간에 대해 수신신호 세기를 구할 수 있다.

수신신호세기(RL)와 수신감도(Rth) 사이의 차이를 Fade Margin 으로 나타낸다.

$$\text{RL(dBm)-Rth(dBm)=Fade Margin(dB)} \quad (2)$$

여기서, 수신감도의 산출식[8]은 다음과 같다.

$$R_{th}(dBm) = N_o + 10\log B_n + NF + SNR \quad (3)$$

N_O = 열 잡음 전력(dBm/Hz)
B_n = $n\,MHz$ 채널대역폭에서의 $-3dB$대역폭(Hz)
NF = 잡음지수(dB)
SNR = 신호대잡음비(dB)($BER = 10^{-n}$)

상기 수식에서 수신감도와 수신신호세기 산출이 가능하고 차이 값을 통해 Fade Margin이 도출된다.

무선 링크에서의 비가용도 예측 방법에서 B-V (Barnett-Vigants)와 ITU Model에 대한 Micro wave 링크 예측 방법의 비교[1]를 통해 장거리 구간에서 B-V모델이 Multipath에 기인한 비가용도가 ITU Model 에 비해 높은 결과를 나타냄을 확인할 수 있고, 거리에 따른 Fade Margin이 링크의 가용도에 가장 중요한 요소로 작용함을 알 수 있다. B-V model 비가용도(P)에서 도출된 Fade Margin(M)은 다음과 같다.

$$M(dB) = -10\log_{10}(P/(6\times10^{-7} \cdot C \cdot f \cdot d^{3.0})) \quad (4)$$

C = 기후및지형지수
f = 주파수(GHz)
d = 거리(km)

디지털 무선 중계 시스템에 대한 목표 비가용도[10, 11]는 다음과 같다.

$$SESR = 0.00054 \times d(km) / 2500 \quad (5)$$

$SESR(Severely\ Error\ Second\ Ratio)$: 임의 달 0.054% 이상동안 10^{-3}

$$DMR = 0.004 \times d(km) / 2500 \quad (6)$$

$DMR(Dergraded\ Minutes\ Ratio)$ = 임의 달 0.4% 이상동안 10^{-6}

식 (3)에서 대역폭에 따라 수신감도의 값이 변화하게 된다. 거리에 대한 Fade Margin 변화를 고려한 AM 적용 기법과 고 신뢰의 QoS 보장을 위한 효과적인 전송을 위해서는 대역폭[6,7]에 대한 검토가 필요하다. N 개의 waveform에 대한 심벌 레이트(Rs)와 대역폭(B), 전송량(Rb)은 다음과 같다.

$$R_b(bps) = m \times R_s \quad (7)$$

심벌당 비트의 수 $m = \log_2 N$
($64QAM$의 경우 $N = 64$, $128QAM$의 경우 $N = 128$)

$$B(MHz) = 2 \times K(a) \times f_{CLK} \quad (8)$$

B = $Occupied\ bandwidth$
$K(a)$ = $a\ function\ of\ roll-off\ factor$
f_{CLK} = $Clock\ frequency$

무선 링크에서 장거리일수록 페이딩 발생 확률의 증가로 가용도가 낮아질 수 있는데, 적응변조 기법의 적용으로 저차 변조시 수신감도 성능 향상, Fade Margin 확보를 통해 가용도 보장이 가능하다. 이 경우 적시에 보내고자 하는 전송량과 이와 관련된 대역폭에 대한 연구가 필요하며, 이를 통해 다수 채널 운용 필요시 대역폭 가변 할당과 무선 전송거리를 고려한 최적 적응 변조 전송 기법으로 성능 개선 효과를 기대할 수 있다.

Ⅲ. 장거리 무선 링크에서의 가용도 보장을 위한 적응 전송 기법

본 장에서는 무선 링크에서의 거리에 따른 요구 가용도 보장을 위한 Fade Margin 변화를 고려한 최적 변조 스킴을 기반으로 우선순위 트래픽 전송, 최적 대역폭 할당을 통한 적응 전송 기법을 제안한다.

제안 기법에 대한 적용 계통도는 Fig. 1 과 같다. 우선순위 전송량, 최적 대역폭, 최저 QAM, 최대 QAM 설정으로 적응 변조를 수행하여 입력 포트에서 우선순위 트래픽 포트와 일반 트래픽 포트를 통해 전송하도록 한다.

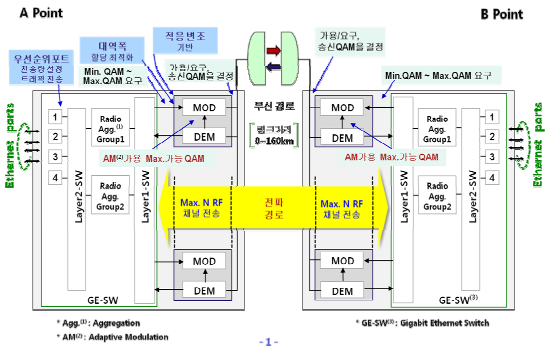

그림 1. 제안 기법의 계통도
Fig. 1 Block Diagram of Techniques for proposal

상기 Fig. 1 변조 스킴 동작시 변조차수에 따라 수신 감도도 변화하게 된다. 여기서, 요구 가용도와 거리를 고려 다음 조건을 충족하는 최저 QAM 변조시 트래픽 전송량을 우선순위 전송량으로 전송 설계토록 한다.

$$RL(dBm) - M(dB) \geq R_{th}(dBm) \qquad (9)$$

무선 경로에 대한 링크 버짓은 식 (1)과 식 (2)를 통해 알 수 있고, 수신감도는 식 (3)에서 나타내었고, Fade Margin(A(dB))은 식 (4)와 같다. 이를 통해 수신신호세기(RL)와 Fade Margin(M), 수신감도와의 관계식은 (9)를 활용하여 정리하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$RL - M - (N_o + 10\log B_n + NF) \geq SNR \qquad (10)$$

SNR = 신호대잡음비$(dB)(BER = 10^{-6})$

여기서 $RL - M - (N_o + 10\log B_n + NF) = ASNR$ (dB)(Available SNR)이라고 하면 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} ASNR &= RL - M - (N_o + 10\log B_n + NF) \qquad (11)\\ &= RL + 10\log_{10}(P/((6\times 10^{-7} \cdot C \cdot f \cdot d^{3.0}))) \\ &\quad -(N_o + 10\log_{10} B_n + NF) \end{aligned}$$

여기서, No=-174(dBm/Hz), NF=3(dB)를 적용하여 계산하면 다음과 같은 결과가 도출된다. 비가용도(P)와 거리값(d)을 변수로 하여 대역폭을 고려한 우선순위 트래픽 전송량 설정 산출식을 제시한다.

$$ASNR = RL + 10\log(P/Cfd^3) + 159.38 + \Delta b \qquad (12)$$

$$\begin{pmatrix} If\ (B = 30MHz), \Delta b = 0 \\ If\ (B = n\,MHz), \Delta b = 10\log(B_{30}/B_n)\ \ n = 40,56 \end{pmatrix}$$

여기서 B 는 점유 주파수 대역폭을 의미이며, Δb는 -3dB 대역폭에 대한 차이값이다.

거리 d 에서의 우선순위 트래픽 설정 전송량(C_p)은 다음과 같이 표현 된다.

$$C_p = m \times R_{Sn} \qquad (13)$$

R_{sn} : $n\,MHz$ 채널 대역폭에서의 심벌 레이트

$$\begin{pmatrix} If\ (B = 30MHz), R_{S30} = 24.192\,Mbps \\ If\ (B = 40MHz), R_{S40} = 32.064\,Mbps \\ If\ (B = 56MHz), R_{S56} = 48.384\,Mbps \end{pmatrix}$$

m : 심벌당 비트수
$(If\ ASNR = (1) : (9), m = 2 : 10)$

여기서 R_{S30}, R_{S40}, R_{S56} 은 채널 대역폭 30(MHz), 40(MHz), 56(MHz) 에 대한 심벌 레이트를 의미한다. m 은 식 (12)에 의해 ASNR값이 산출되며, Table 1.에서 ASNR 각 행별 (1)로부터 (9)에 이르는 MIN. QAM MOD(최저 QAM변조) 중 m 값 2에서 10까지의 수 중에서 해당하는 심벌당 비트의 수이다.

Table 1에서 SNR8Q 는 8QAM 변조시의 SNR값이며, SNR16Q ... SNR1024Q 또한 동일한 의미이다.

표 1. ASNR에 대한 전송량
Table. 1 Capacity about ASNR

ASNR(dB)	NO.	MIN. QAM MOD	m	Priority Capacity(C_p)(Mbps)		
				Bandwidth		
				30(MHz)	40(MHz)	56(MHz)
SNR_{8Q} 〉 ASNR	(1)	QPSK	2	48.384	64.128	96.768
SNR_{16Q}〉 ASNR≥SNR_{8Q}	(2)	8QAM	3	72.576	96.192	145.152
SNR_{32Q}〉 ASNR≥SNR_{16Q}	(3)	16QAM	4	96.768	128.256	193.536
SNR_{64Q}〉 ASNR≥SNR_{32Q}	(4)	32QAM	5	120.960	160.320	241.920
SNR_{128Q}〉 ASNR≥SNR_{64Q}	(5)	64QAM	6	145.152	192.384	290.304
SNR_{256Q}〉 ASNR≥SNR_{128Q}	(6)	128QAM	7	169.344	224.448	338.688
SNR_{512Q}〉 ASNR≥SNR_{256Q}	(7)	256QAM	8	193.536	256.512	387.072
SNR_{1024Q}〉 ASNR≥SNR_{512Q}	(8)	512QAM	9	217.728	288.576	435.456
ASNR≥SNR_{1024Q}	(9)	1024QAM	10	241.920	320.640	483.840

식 (12)에서 대역폭을 고려하여 요구 가용도, 거리 입력 후 ASNR이 산출되고, Table 1.에서 해당 ASNR 에 적용되는 QAM 변조시의 BER=10E-n에서의 SNR값과의 차이값과 해당 m 값을 확인하고 대역폭에 맞는 심벌 레이트를 곱하여 우선순위 트래픽 전송량을 산출한다. 이 때의 QAM MOD를 최저 QAM 으로 설정이 가능하고 최대 QAM을 기반하여 AM을 동작하도록 한다. 목표 가용도 산출식 (5),(6)에 의거 우선순위 전송량과 전체 전송량을 고려하여 채널 수를 선정하도록 한다.

무선 전송 링크에서 채널 환경이 페이딩의 발생으로 열악해지는 경우 적응 변조 기반 우선순위 트래픽 전송을 통해 링크의 품질 저하에 대한 대비가 가능하도록 한다. 가용도 보장을 위한 우선순위 트래픽 속성에 의한 전송량을 설정하고, 주파수 자원을 고려하여 기존 대역폭 또는 추가 가용 대역폭 할당을 통해 최저 전송량과 최대 전송량에서의 전송 트래픽의 속성을 반영하여 일반 트래픽 전송량을 설정하도록 한다.

이상에서 기술한 장거리 무선 링크에서의 가용도 보장을 위한 적응 전송 기법에 대한 산출식을 토대로 하여 실제 적용을 위한 절차를 Fig 2.에 제시하였다. 이 절차는 Microwave 링크 구성은 물론, 무선 백홀 네트워크, 무선 데이터 링크와 같은 무선 전송 시스템에 적용이 가능한 절차이다. 1.프로파일로 링크 거리와 요구 가용도를 확인하고 2.링크 버짓 계산을 통해 3.대역폭을 고려한 ASNR 값을 도출한다. ASNR 값이 최대 QAM에서의 SNR 값보다 클 경우, 4.최대 QAM 변조로 전송량을 설정하여 5.고정 대역폭과 채널 수를 결정한다. ASNR 값이 최대 QAM 에서의 SNR 값보다 작을 경우, 4.최저 QAM 변조에 대해 우선순위 전송 가용량으로 설정하고 5.전송할 트래픽의 속성을 확인하여 일반 전송량을 포함하는 전체 전송량에 대한 6.적응변조 스킴과 7.채널 수를 설정하도록 한다. 보내고자 하는 전송량이 전체 채널 전송량에서 수용가능한지 확인하고, C/I (원하는 신호와 원하지 않는 신호와의 비)값이 보호비이상인지 각 채널 별로 확인 후 설정을 완료토록 한다.

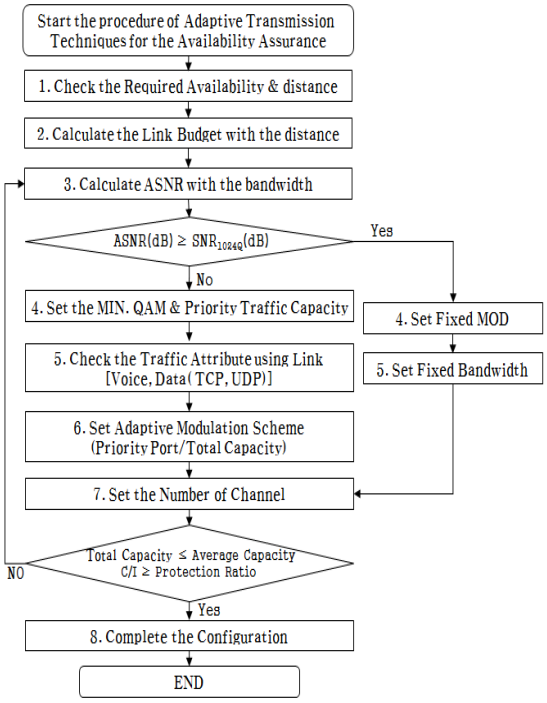

그림 2. 가용도 보장을 위한 적응 전송 기법의 절차도
Fig. 2 Flow Chart with the procedure of Adaptive Transmission Technique for the Availability Assurance

본 논문에서 제시하는 기법은 기존의 고정 변조방식 대비 링크 거리별 적응 변조 기반 대역폭을 고려한 우선순위 전송량 설정과 적응 전송 기법을 통해 기존 고정 변조 방식 또는 단순히 AM만 적용할 경우 거리의 증가로 인해 발생될 수 있는 링크 품질 저하에 대비가 가능하다. 장거리에서의 무선 환경에서 효과적인 무선 전송 성능 향상 기법을 제시하고 있으며, 무선 전송 링크 및 나아가 무선 네트워크 설계와 연관하여 기술적, 경제적인 측면에서의 장점이 있다.

Ⅳ. 모의실험 및 분석

제안된 기법의 성능을 평가하기 위해 제작된 장치에서의 값을 이용하여 상기 Fig 1.과 (12),(13)에 근거한 동작을 통해 Table 2의 파라미터 값으로 MatLab을 활용한 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 모의실험을 수행하였다. 그리고, 성능을 분석하기 위해 군 MicroWave 통신 거리에 대해 적용 가능한 장치의 파라미터 수치를 입력하여 시뮬레이션을 통한 모의 실험을 실시하여 ASNR, 전송량, 비가용도 비교를 통해 분석하였다.

표 2. 시뮬레이션 파라미터
Table. 2 The parameter of the simulation

파라미터	설정/값
무선전송 방식	Frequency Division Duplex
주파수(F)	7.4 GHz
수신레벨(RL)	-35 dBm, -40 dBm
링크 거리(D)	10 ~ 160 Km(10km 단위)
기후 및 지형지수	평균 환경기후, 건조한 산악지역

제안한 식 (12)에서 요구 비가용도를 식 (6)에서 거리별로 산출된 값을 적용하였으며, Table 3.은 수신신호 세기를 -40(dBm)으로 가정하였고, SNR (BER=10E-6) 기준은 ITU-R F.1101에 제시된 값을 근거로 하였다[12]. Table 3은 우선순위 전송을 위한 전송량과 최대 전송량에 대해 거리별로 수행한 결과이다. 전송량은 Guard frame, QoS파라미터, 데이터 압축 전송 등에 의해 변동될 수 있다.

요구 가용도를 보장하기 위한 대역폭을 고려한 최저 QAM과 최대 QAM의 선정이 가능하다.

대역폭이 클수록 장거리에서 전송효율이 취약하게 나타나고 있다. 이와 같은 결과는 대역폭에 따른 ASNR 값의 차이가 전송하고자 하는 심벌당 비트 수 선택에 영향을 미친다는 것을 확인할 수 있다.

거리에 따라 고정 변조의 경우 가용도는 변화할 수 있으며, 가변 변조 적용시 장거리일수록 심벌당 전송 비트의 수를 고려해야함을 보여주고 있다.

다이버시티 방식은 적용하지 않은 경우의 결과이므로 실제 장거리의 경우 다이버시티 방식을 적용할 경우 요구 가용도보다 개선된 결과로 나타난다.

표 3. 가용도 보장을 위해 요구되는 변조 스킴 설계와 전송량 시뮬레이션 결과 (수신신호세기 기준 = -40dBm)
Table. 3 The Result of the Required Modulation Scheme design & Throughput for the Availability Assurance (The Reference of RL = -40dBm)

category	Ch.Bandwidth:30 (MHz)		Ch.Bandwidth:40 (MHz)		Ch.Bandwidth:56 (MHz)	
Distance	Priority Capacity (Mbps)	Max. Capacity (Mbps)	Priority Capacity (Mbps)	Max. Capacity (Mbps)	Priority Capacity (Mbps)	Max. Capacity (Mbps)
d(km)	MIN. QAM	MAX. QAM	MIN. QAM	MAX. QAM	MIN. QAM	MAX. QAM
10	1024QAM	1024QAM	1024QAM	1024QAM	1024QAM	1024QAM
	241.92	241.92	320.64	320.64	483.84	483.84
20	1024QAM	1024QAM	512QAM	1024QAM	512QAM	1024QAM
	241.92	241.92	288.576	320.64	435.456	483.84
30	256QAM	1024QAM	256QAM	1024QAM	256QAM	1024QAM
	193.536	241.92	256.512	320.64	387.072	483.84
40	128QAM	1024QAM	128QAM	1024QAM	128QAM	1024QAM
	169.344	241.92	224.448	320.64	338.688	483.84
50	128QAM	1024QAM	64QAM	1024QAM	64QAM	1024QAM
	169.344	241.92	192.384	320.64	290.304	483.84
60	64QAM	1024QAM	64QAM	1024QAM	32QAM	1024QAM
	145.152	241.92	192.384	320.64	241.92	483.84
70	64QAM	1024QAM	32QAM	1024QAM	32QAM	1024QAM
	145.152	241.92	160.32	320.64	241.92	483.84
80	32QAM	1024QAM	32QAM	1024QAM	32QAM	1024QAM
	120.96	241.92	160.32	320.64	241.92	483.84
90	32QAM	1024QAM	32QAM	1024QAM	16QAM	1024QAM
	120.96	241.92	160.32	320.64	193.536	483.84
100	32QAM	1024QAM	16QAM	1024QAM	16QAM	1024QAM
	120.96	241.92	128.256	320.64	193.536	483.84
110	32QAM	1024QAM	16QAM	1024QAM	16QAM	1024QAM
	120.96	241.92	128.256	320.64	193.536	483.84
120	16QAM	1024QAM	16QAM	1024QAM	8QAM	1024QAM
	96.768	241.92	128.256	320.64	145.152	483.84
130	16QAM	1024QAM	16QAM	1024QAM	8QAM	1024QAM
	96.768	241.92	128.256	320.64	145.152	483.84
140	16QAM	1024QAM	16QAM	1024QAM	8QAM	1024QAM
	96.768	241.92	128.256	320.64	145.152	483.84
150	16QAM	1024QAM	8QAM	1024QAM	8QAM	1024QAM
	96.768	241.92	96.192	320.64	145.152	483.84
160	16QAM	1024QAM	8QAM	1024QAM	8QAM	1024QAM
	96.768	241.92	96.192	320.64	145.152	483.84

Fig 3은 링크 거리 100(km)에서 최저 QAM 과 최대 QAM 시의 3가지 대역폭에 대한 비가용도(P) 변화를 나타낸다. 가용도 보장을 위해 적응 변조 기반 거리에 따른 우선순위 트래픽 설정과 전송 설계가 필요함을 보여준다. 심벌 당 비트 수가 많은 QAM 변조와 대역폭이 클수록 비가용도가 증가함을 확인할 수 있다.

Fig 4의 전송량 시뮬레이션은 각 거리에서 본 제안이 적용된 AM 기법에 의한 최저 QAM에 해당하는 심벌당 비트(Priority Capacity), 여기서 최대 QAM의 심벌당 10개 비트가 전송되는 변조 스킴으로 동작(Average Capacity)하는 환경과 고정 변조(Fixed Modulation)로 동작하는 환경으로 구분하여 수행하였다.

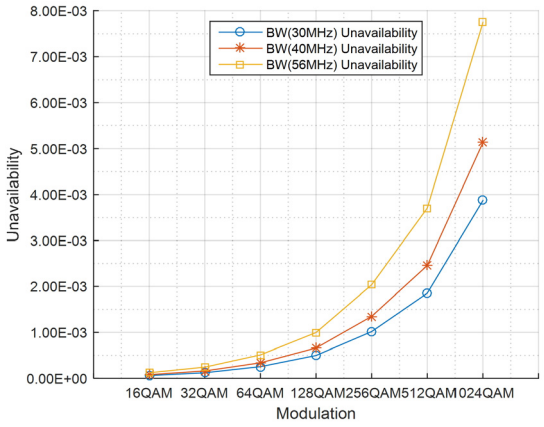

그림 3. 거리 100 km에 대한 QAM변조에 따른 비가용도
Fig. 3 Unavailability as QAM modulation for 100 km distance

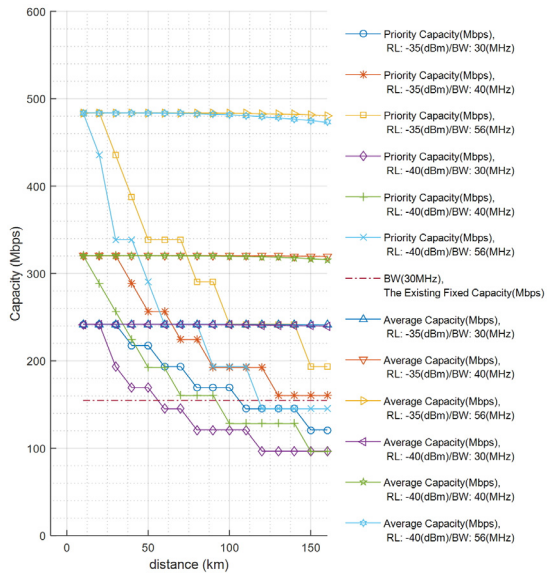

그림 4. 거리에 따른 우선순위와 평균 전송량
Fig. 4 The priority & average Capacity as the distance

대역폭 30MHz, 40MHz, 56MHz 에 대한 모의실험 결과이다. 거리에 따라 전송하고자 하는 전체 전송량은 평균 전송량보다 적어야 하고 요구 가용도를 충족하는 우선순위 전송량을 통해 효과적인 전송이 가능함을 나타내고 있다. 평균 전송량이 장거리일수록 수신신호 세기에 따라 차이가 발생하더라도 우선순위 전송량에 대한 차이는 대역폭이 적을수록 적어지며, 전송효율이 더 높음을 보여주고 있다.

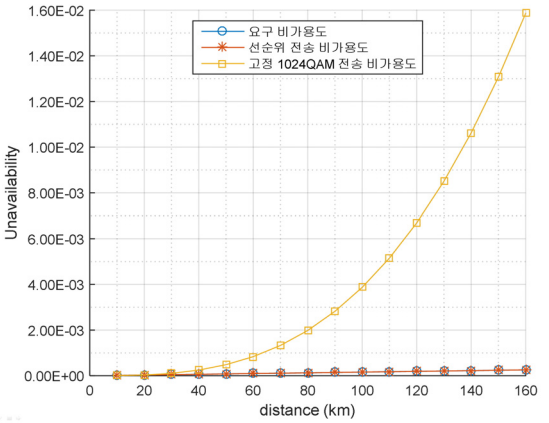

그림 5. 거리에 따른 제안된 기법과 비가용도 비교
Fig. 5 The comparison of unavailability for proposed technique as the distance

Fig 5는 거리에 따른 요구가용도 대비 본 제안 기법 적용 동작에 의한 우선순위 전송과 고정1024QAM 전송시의 비가용도를 나타내고 있다. 본 제안 적응전송기법 적용의 경우 거리에 따라 요구 비가용도 이하를 유지하는 양호한 결과 값을 보여주고 있다.

Ⅴ. 결 론

본 논문에서는 장거리 무선 통신 환경의 다양한 링크에서 가용도를 보장하기 위한 링크 거리를 고려한 가변변조 기반 우선순위 전송량 설계와 산출식을 제시하고 대역폭 최적화를 고려한 적응 전송 기법을 제안하였다. 적용 가능한 장비의 파라미터 수치를 활용하여 실험하고 결과에 대해 고찰하였다. 거리가 증가할수록 제안된 기법은 전송 효율, 비가용도 측면에서의 효과적인 차별화된 성능을 확인하였다. 동일한 방법으로 거리별 다양한 무선 링크에 적용시 효과를 발휘할 것으로 예상되며, 장거리 통신, 데이터링크 분야에서도 유용하게 활용이 가능할 것이다. 본 연구를 기반으로 향후 장거리 무선 통신망과 데이터링크의 무선 전송 성능 향상 방안에 중점을 두고 연구를 수행하고자 한다.

REFERENCES

[1] B.L.Agba, R.Morin, and G.Bergeron, “Comparison of microwave links prediction methods: Barnett-vigants vs. ITU models,” in *Proc. PIERS*, pp.788-792, Xi’an, China, Mar. 2010.

[2] Jun Nishioka, Tomohiko Yagyu, “Availability Constrained Traffic Control for AMC-enabled wireless Mobile Backhaul Networks,” *IEICE*, pp.1~6, 2012.

[3] W.M.D.R. Gunathilaka, H.G.C.P. Dinesh, K.M.M.W.N.B. Narampanawe, "Semi-Automat ed Microwave Radio Link Planning Tool," *ICIIS 2011*, pp.16-19, Sri Lanka, Aug. 2011.

[4] Mohamed L. Ammari, Francois Gagnon, Jean Belzile and Naim Batani, “Increasing the rate of wireless link when multiple QoS traffic are considered,” *IEEE 59th, VTC,* Vol.2, pp.1209-1212, Spring 2004.

[5] Stefano Chinnici, Carmelo Decanis, “Channel Coding and Carrier Recovery for Adaptive Modulation Microwave Radio Links,” *2010 15th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference*, pp.6-11, MELCON, 2010.

[6] Recommendation ITU-R F.1191-3, “Necessary and occupied bandwidths and unwanted emissions of digital fixed service systems,” ANNEX1. section 2.1, pp.7-8, 2011.

[7] Dakeda, Anand., Microwave Equipment Technical Document, Fujitsu Wireless Systems Ltd., Feb. 2014.

[8] Kyoung-Whoan Suh, Joohwan Lee, "Derivation of Protection Ratio and its Calculation for Microwave Relay System Based upon Composite Fade Margin and Availability," *KIEES*, Vol.18 No.3, pp.341-350, 2007.

[9] Youn Jong Taek, Lim Young Gap, Kim Young Ho, "Improving Transmission in Association with the Distance for Military Microwave Communications," *KICS*, Vol.39 No.11, pp.1042-1049, 2014.

[10] Rec. ITU-R F.634-4, "Error performance objectives for real digital radio-relay links forming part of the high-grade portion of international digital connections at a bit rate below the primary rate within an integrated services digital network," 1997.

[11] Roger L. Freeman, “Radio System Design for Tele-communications,” John Wiley & Sons, Inc., pp. 155~162, 2007.

[12] Rec. ITU-R F.1101, "Characteristics of digital fixed wireless systems below about 17 GHz," 2004.

윤종택(Jong-Taek Youn)

1996년 6월 통신장교 전역
2010년 8월 아주대학교 정보통신대학원(공학 석사)
1996년 7월~현재 LIG넥스원 통신연구센터 수석연구원
※관심분야 : 무선전송, 무선 네트워크 설계, MAC

김용이(Yongi Kim)

1998년 2월 한국과학기술원 학사
2000년 2월 한국과학기술원 석사
2010년~현재 LIG넥스원 통신연구센터 선임연구원
※관심분야 : 무선통신, WLAN, Ad-hoc network, 라우팅

임영갑(Young-Gap Lim)

1999년 1월 국방대학교 안전보장학 군사전략과 석사
2007년 2월 아주대학교 정보통신학과 석사
2011년 2월 아주대학교 NCW학과 박사과정 수료
※관심분야 : 무선네트워크 정보 교환성능, 무선네트워크 정보 보호

김영호(Young-Ho Kim)

1983년 3월 육군사관학교 물리과 학사
1988년 8월 CREOL, Univ. Central Florida, 전자공학과 석사
1997년 8월 ARRI, Univ. of Texas, Arlington, 전자공학과 박사
1999년 8월 Who's Who In the World 2000 등재
2000년 8월 Who's Who In Science and Engineering 2001 등재
2000년 6월~현재 한국국방연구원 획득연구센터 근무
2000년 6월~현재 아주대학교 정보통신대학원 겸임교수
※관심분야 : C2/전술통신체계 획득분석, MANET 프로토콜, 로봇제어, 인공지능