Journal of the KIMST, Vol. 18, No. 4, pp. 423-431, 2015
ISSN 1598-9127
DOI http://dx.doi.org/10.9766/KIMST.2015.18.4.423

Research Paper 정보 · 통신 부문

무선 IP 네트워크에서 전용선 모뎀 사용가능성 검증

박민호*,1) · 백해현1) · 금동원1) · 최형석1) · 이종성1)

1) 국방과학연구소 전술정보통신체계단

The Investigation of the Leased Line Modem Usability in the Wireless Internet Protocol Network

MINHO PARK*,1) · Hae Hyeon Baek1) · Dong Won Kum1) · Hyungseok Choi1) · Jong Sung Lee1)

1) *Tactical Information Communications Network(TICN), Agency for Defense Development, Korea*

(Received 5 December 2014 / Revised 2 June 2015 / Accepted 3 July 2015)

ABSTRACT

A leased line modem usability was evaluated and investigated in the wireless internet protocol(IP) network. The signal of the modem in the circuit switching network was translated to IP packet by using several voice codecs (PCM, G.711A, G.711μ, and etc.) and transmitted through the wireless IP network. The wireless IP network was simulated by the Tactical information and communication network Modeling and simulation Software(TMS). The performance and usability of the leased line modem are simulated using the system-in-the-loop(SITL) function of TMS with respect to packet delay, jitter, packet discard ratio, codecs, and wireless link BER.

Key Words : TMS, OPNET, SITL

1. 서 론

우리 군이 운용중인 전술통신체계는 음성과 데이터를 전송하고 있으며 향후 음성과 데이터가 TCP/IP를 기반으로 하는 무선 IP 망에서 송수신될 것이다. 차후의 전술통신체계에서는 2008년 기준으로 군이 운용중인 약 2만 회선의 회선 망 방식 장비[1,2]를 상호운용하기 위해서는 별도로 사용가능성을 검증해야할 것이다.

차후의 무선 IP 망 방식의 전술통신체계를 모의하기 위하여 OPNET을 기반으로 하는 대형 자치망(AS : Autonomous System) 수준의 '통신망 시뮬레이터 TMS'[3,4]가 보고되었고, 이 시뮬레이터를 통하여 링크의 장애 및 복구 시간을 최적화하는 기준값을 도출할 수 있었으며[5], TMS 시뮬레이터의 여러 기능이 보고된 바 있다[6]. TMS를 이용하여 회선 망 방식 장비 FAX의 운용가능성이 지터(jitter), 패킷손실률, 무선 전송로의 비트오율(BER : Bit Error Rate)에 따라 검증되었다[7].

본 논문에서는 TMS 시뮬레이터의 실체계 연동 기능(SITL : System-In-The-Loop)[6]을 이용하여 회선 망 방식 기반 저속(9600 bps) 전용선 모뎀인 BR-DM9600의 전술통신망에 대한 사용가능성을 검증한다. 이후 이

* Corresponding author, E-mail: mhpark2@add.re.kr
Copyright ⓒ The Korea Institute of Military Science and Technology

결과를 이용하여 AS 수준의 무선 IP 망 방식의 전술통신망에 적합한 매개 변수를 추출하는 기준값으로 활용할 수 있을 것이다. 본 논문의 매개변수로 지터 내성, 지터, 전송지연(지터의 지연시간), 패킷 손실률, 무선 전송 구간의 BER, 음성 코덱의 종류에 따라서 전송 성능을 측정하였다. 2장에서는 망구성, 장비구성, TMS 구성 등의 시험 구성에 대하여 기술하고, 3장에서는 측정 조건과 변수들에 따른 측정 결과 및 분석 내용을 기술하였으며, 끝으로 결론을 맺었다.

2. 시험 필요성 및 구성

2.1 시험 구성 및 매개변수

차후의 전술통신체계는 TCP/IP를 기반으로 하는 무선 IP 네트워크가 될 것이며 FAX, 전용선 모뎀과 같은 회선 방식의 장비들의 운용가능성을 검토해야 한다. AS 수준의 통신망에서는 기반 링크로 사용하는 수십여 개의 대형 무선 전송로가 있어야 하며 소형 무선 전송로는 수백여 개이다. 따라서 전용선 모뎀의 신호가 전송되는 구간은 무선 전송로가 될 것이므로 이 무선 구간의 전송 지연 시간, IP 네트워크에서 각 패킷들의 도착 지연 시간의 차이를 나타내 음성이나 영상의 질과 관련이 있는 지터, BER, 패킷 손실률이 운용가능성에 영향을 줄 것이다.

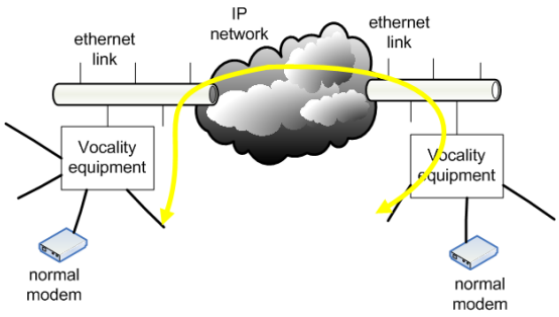


Fig. 1. Conceptual diagram of test network

Fig. 1의 시험망 구성은 TMS 시뮬레이터에 전용선 모뎀 장비를 연결하여 구성한다. 무선 IP 망에 회선망 기반의 전용선 모뎀은 직접적으로 연동이 가능하지 않기 때문에 회선망 방식의 아날로그 데이터를 IP 패킷망 방식의 디지털 데이터로 변환해주는 장비가 필요하다. 본 논문에서는 Fig. 1에서 보이듯이 Basics Hybrid (Vocality 사)[8]라는 장비를 전용선 모뎀과 TMS 시뮬레이터(IP network) 사이에 연결하도록 구성하여 상호 연동을 수행하였다. 따라서 Basics Hybrid의 지터 버퍼, 음성 코덱의 종류가 운용가능성에 영향을 줄 것이다.

2.2 TMS의 SITL 시험 구성

전용선 모뎀은 Basics Hybrid에 연결되고 Basics Hybrid에서 회선망 방식의 장치를 IP 패킷망에 맞도록 상호 변환해서 전송이 되도록 구성하였으며 무선 패킷망은 TMS를 이용하여 모의하고 SITL 기능으로 Basics Hybrid를 TMS에 연동하였다.

2.2.1 하드웨어 연결

Fig. 1과 같은 환경을 구성하기 위하여 Fig. 2와 같이 기존에 구축되어 있는 TMS 시험 환경에 Basics Hybrid 두 대(Fig. 2의 BASICS 1, BASICS 2)를 각각 스위치에 연결하고 그 뒤에 전용선 모뎀을 연결하였다. 전용선 모뎀은 Basics Hybrid의 오디오 포트에 각각 연결하였다. 전용선 모뎀은 회선망 장비이며, Basics Hybrid는 IP 패킷망과 회선망을 연결하는 역할을 하고, 군단급 시뮬레이터(TMS)는 SITL 기능과 IP 패킷망의 모의 기능을 제공한다.

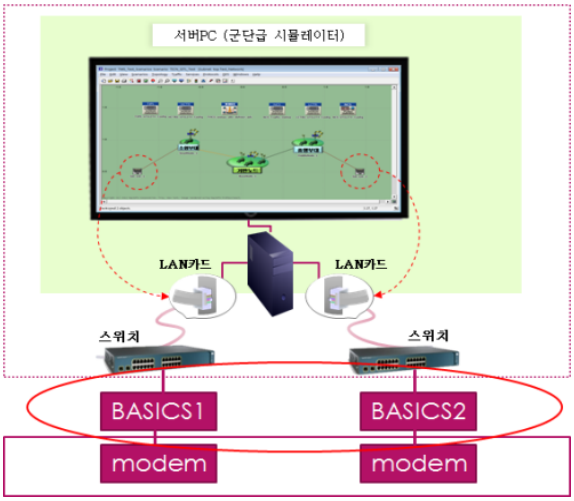


Fig. 2. Test diagram for the performance of the leased line modem

2.2.2 TMS 설정

Fig. 3은 TMS의 소프트웨어 내부의 시험 환경을 도시하고 있는 것으로 Fig. 2의 BASICS 1에 해당하는

노드는 'Node B'로 명명하였고, BASICS 2에 해당하는 노드는 'Node A'로 명명하였으며, 각각의 IP 주소를 172.16.1.200(Node A), 192.168.10.211(Node B)로 설정하였다. 또한 BASICS 상호 간에 고유 기능인 IP aggregation을 설정하였다.

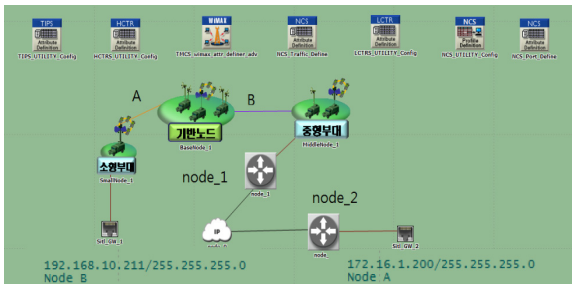


Fig. 3. TMS test scenario

Fig. 3에서 Node B는 소형부대와 랜(유선)으로 연결되어 있으며, 소형부대는 무선 링크 A로 기반노드와 연결된다. 기반노드는 무선 링크 B를 통하여 중형부대에 연결되고, 그 연결은 지터 설정을 위하여 OPNET 고유의 IP cloud 기능(Fig. 3의 구름 모양)을 거쳐서 Node A에 연결된다. Fig. 3 내부의 IP cloud 양 쪽 라우터인 node_1, node_2는 IP cloud가 이더넷 링크로 직접 연결을 할 수 없어서 DS3(T3)급의 TDM 다중화 방식으로 링크를 연결하였다. 따라서 DS3 링크는 실제 시뮬레이션에 거의 영향을 주지 않는다. 본 논문의 시험에서는 무선 링크 A의 BER을 가변하고, IP cloud에서는 정규 분포로 지터를 설정했으며 패킷손실율(PDR : Packet Drop Ratio)을 조절했다. TMS의 무선 링크의 전송 지연 시간은 0으로 설정하여 이상적인 망으로 간주하였기 때문에 위와 같은 설정은 전체 망에 대한 성능을 모의하는 것으로 간주할 수 있다.

2.2.3 전용선 모뎀 및 측정 장비 설정

전용선 모뎀 BR-DM9600은 기본 설정인 'P-P General 1' 설정을 하여 9600 bps의 전송속도로 운영한다. 측정장비 Fireberd 6000A(FB6000A)는 9600 bps를 측정할 수 있도록 장비의 'Synth Freq' 값을 9.6으로 설정한다. Auxiliary 항목 Char Format에서 패리티(parity)를 none으로 설정하며, Act Syn Loss는 Cont로 설정한다. 이는 패리티 비트를 설정하지 않아서 에러 확인 시 패리티 확인은 하지 않고, 동기화가 깨진 경우에도 성능 측정을 계속하도록 한다. ITU-T의 G.821, G. 826 측정 표준[9,10]에서는 동기화가 깨진 경우는 성능 측정에 넣지 않도록 하지만, 이 논문의 경우는 동기화가 깨진 경우도 성능 측정에 포함시켜 더 나쁜 환경에서도 측정하도록 하였다. 기본 설정으로 block length는 1000 bits로 하여 block error(BLER)를 측정한다. Auxiliary 항목에서 측정 시간은 무선 전송 링크의 BER 설정값에 따라서 다르게 설정한다. 무선 전송 링크의 BER과 측정 시간의 관계는 2.2.4 절에서 다룬다.

Pseudo random bit sequence(PRBS)를 2^{15}-1로 설정한다. 일반적으로 9600 bps부터 56 kbps에는 2^{11}-1패턴으로 하는 것을 권고하지만, 이 논문에서는 더 열악한 환경에서 측정하도록 2^{15}-1로 설정했다. 이는 64 kbps부터 6312 kbps까지에 권고되는 패턴이다[9,10].

2.2.4 측정 시간

BER 측정 시간은 Table 1에 정리돼 있다.

Table 1. The measurement time of BER (reliability 99 %)

BER 측정 상한값	측정 시간
10^{-6}	465.168초 (7분 46초)
10^{-7}	4651.68초 (1시간 17분 32초)
10^{-8}	46516.8초 (12시간 56분)

Table 1의 측정시간은 다음과 같은 공식에서 계산되었다.

$$t = -\frac{\ln(1-c)}{b \cdot r} \quad (1)$$

식 (1)[11]에서 t는 측정시간(초), c는 신뢰도, b는 BER 측정 상한값, r은 전송률(bps)을 의미한다. 식 1에 의하여 99 %의 신뢰도, 9600 bps의 전송률과 Table 1의 BER 측정 상한값을 넣으면 Table 1의 측정시간이 계산된다[11]. 따라서 9600bps 급의 전송속도를 갖는 전용선 모뎀에서는 10^{-8}보다 크고 10^{-7}보다 작은 값의 BER을 측정하기 위해서는 Table 1에 따라서 약 13시간의 측정이 필요했고, 10^{-7}보다 크고 10^{-6}보다 작은 값의 BER을 측정하기 위해서는 약 1시간 20분이 소요됐다.

3. 시험 및 분석

3.1 시험 조건

3.1.1 성능 변수

시험 조건은 크게 지터, 지터 내성, codec의 세 가지 변수를 가변하여 선택하였다. 성능은 평균 end-to-end BER(AVG BER), non-severely error second BER(BER-SES), BLER, severely error second ratio(SESR)로 측정하였고, severely error의 기준은 BER이 10^{-3}보다 큰 경우[9,10]이며, block은 1000 bits이다.

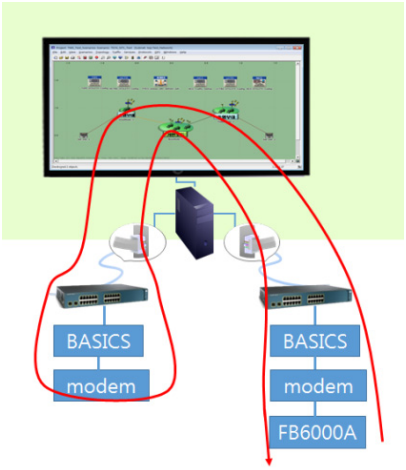


Fig. 4. The flow of data for measuring

또한 Fig. 4에서 측정 장비 FB6000A는 한쪽 전용선 모뎀에 연결하고 다른 쪽 모뎀에서는 loopback을 시켜 측정하였기에, 지터와 무선 전송 링크의 BER은 성능에 모두 두 번 영향을 미친다.

3.1.2 목표 성능

Table 2. The criteria of the usability

구 분	값
AVG BER	10^{-5} 이하
BLER	2×10^{-4} 이하
SESR	0.2 % 이하

PSTN(Public Switched Telephone Network)의 기준인 ITU-T G.174[12]에서는 10^{-5} 이하, IMT-2000(International Mobile Telecommunications-2000)의 기준인 ITU-R M.1225[13]에서는 음성은 10^{-3} 이하, 데이터는 10^{-6} 이하를 요구하여 이 논문에서는 10^{-6}을 기준으로 삼는다. BLER은 ITU-T G.174에서는 10^{-2} 이하, ISDN(Integrated Service Digital Network)의 기준인 ITU-T G.826[10]에서는 2×10^{-4} 이하를 요구하므로 이 논문에서는 2×10^{-4} 이하를 기준으로 하였다. SESR은 ITU-T G.826[10]과 ITU-T G.821[9]에서 0.2 %를 요구하여 이 논문에서 0.2 %를 기준으로 하였다.

3.2 측정 결과

3.2.1 지터 내성에 따른 성능

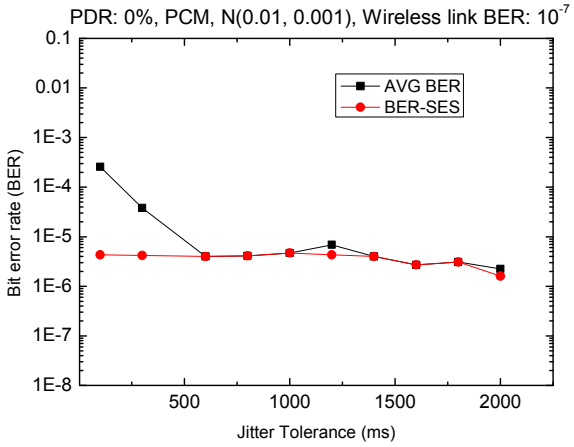


Fig. 5. The BER performance with respect to the jitter tolerance

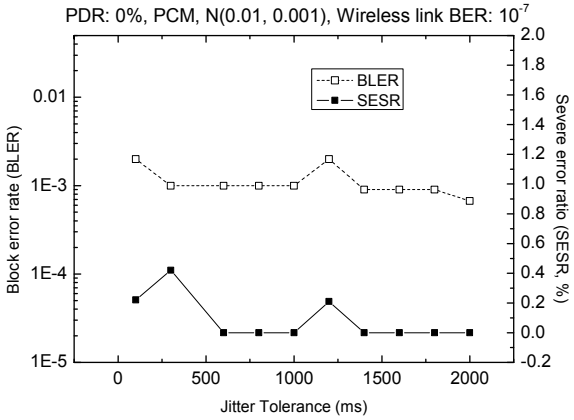


Fig. 6. The performance of BLER and SESR with respect to the jitter tolerance

Fig. 5에서 PDR은 패킷손실률(packet drop ratio), PCM (Pulse Code Modulation)은 음성 코덱이며 wireless link BER은 Fig. 3의 무선 링크 A의 BER 설정이다. 무선 링크 B는 에러가 없는 상태로 설정했고 N(0.01, 0.001)에서 N은 정규 분포(normal distribution)을 의미하고 0.01은 단위가 초(second)로 평균 지연 시간이고, 0.001은 분산값이다.

Vocality 사의 Basics Hybrid 장비의 지터 내성에 따른 평균 AVG BER과 BER-SES 성능은 Fig. 5에 나와 있고, Fig. 5에 따르면 지터 내성이 클수록 성능이 좋으나, 600 ms이상에서는 큰 변화가 없다.

Fig. 6에서도 지터 내성의 변화에 따라서 BLER, SESR이 Fig. 5와 같은 경향이며 지터 내성이 클수록 성능이 좋아서, 지터 내성은 Basics Hybrid 장비에서 제공하는 최고 큰 값인 2000 ms로 선택하는 것이 더 나은 성능을 보장하나 1600 ms 이상이면 양호하다.

3.2.2 무선 링크의 BER 변화에 따른 성능

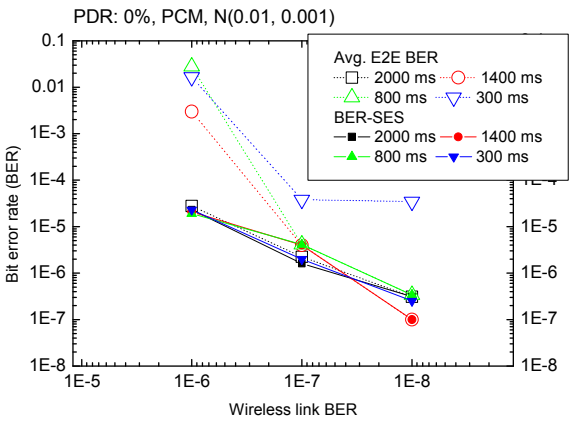


Fig. 7. The BER performance with respect to the jitter tolerance and the wireless link BER

무선 전송 구간의 BER 설정을 바꾸면서 측정한 성능은 Fig. 7과 8에 나타나고 있으며, Fig. 7에서 BER, SES-BER은 무선 전송 구간의 BER 10^{-7}에서 오차 범위 이내로 같아진다. Fig. 8의 BLER, SESR도 Fig. 7의 결과와 유사하게 무선 전송 구간의 BER 10^{-7}이 변곡점이 된다.

즉 BER, SES-BER, BLER, SESR은 무선 전송 구간의 BER이 작아짐에 따라서 성능이 좋아지는 것을 알 수 있으며, 지터 내성이 클수록 성능이 좋아지는 것을 알 수 있다. Fig. 8의 SESR에서 알 수 있듯이 지터 내성이 300 ms 이상인 경우 SESR의 성능이 같아지지만, BLER, BER, BER-SES를 고려하면 지터 내성이 큰 것이 성능이 좋다.

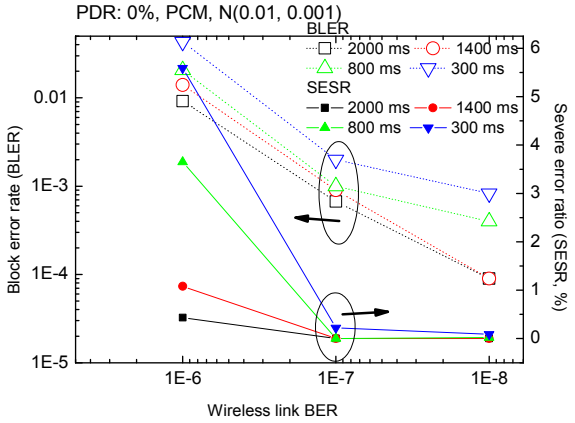


Fig. 8. The BLER and SESR performance with respect to the jitter tolerance and the wireless link BER

Fig. 5에서 8의 결과를 정리하면 더 좋은 성능을 얻기 위해서는 지터 내성과 무선 전송 구간의 BER은 Vocality사의 Basics Hybrid 장비의 지터 내성의 최대값인 2000 ms로 설정하고 무선 전송 구간의 BER을 10^{-7} 이하로 유지해야 한다.

3.2.3 지연 시간에 따른 성능

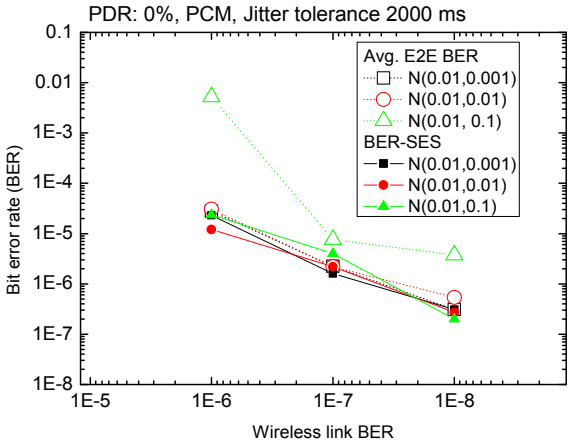


Fig. 9. The BER performance with respect to the jitter distribution

Fig. 9에서 지터 분산이 0.1에서는 BER이 급격하게 안 좋아지지만, 그 이하인 0.01, 0.001에서는 성능에 미치는 영향이 미미하다. 하지만 Fig. 10의 SESR 측면에서는 지터 분산이 적을수록 더 좋은 성능을 보인다. G.821 측정 표준에서 지시하는 SESR 0.2 %보다 좋으려면 분산값이 0.1보다 작은 경우에는 분산보다는 무선 전송 링크의 성능 BER이 더 큰 영향을 준다.

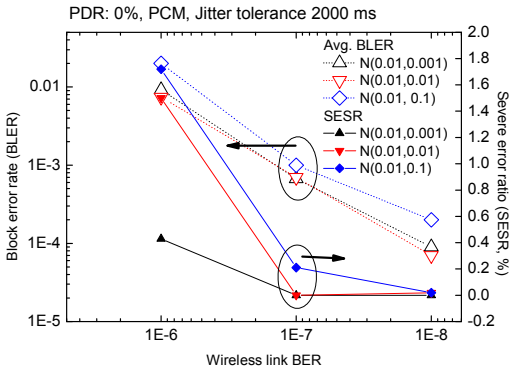


Fig. 10. The BLER and SESR performance with respect to the jitter distribution

Fig. 11과 12의 결과는 지터의 평균(지연 시간)을 변화시키며 측정한 결과로 분산을 일정하게 한 조건에서의 지연 시간은 오차범위 이내에서 성능에 영향을 주며 무선 전송 링크의 BER 성능이 더 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 또한 무선 전송 링크의 BER 10^{-7}이하면 지금까지의 경향과 마찬가지로 SESR은 0 %이다.

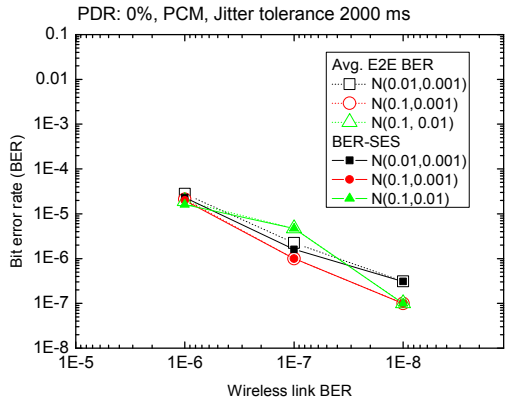


Fig. 11. The BER performance with respect to the mean jitter value(delay time)

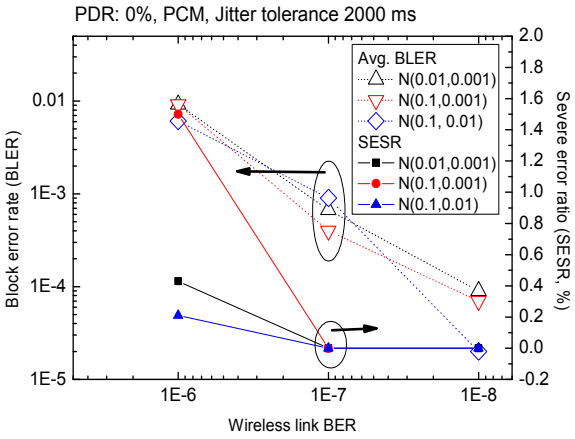


Fig. 12. The BLER and SESR performance with respect to the mean jitter value(delay time)

3.2.4 패킷손실률에 따른 성능

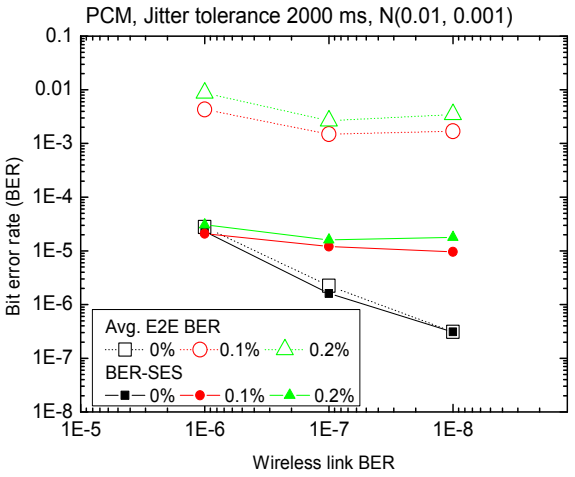


Fig. 13. The BER performance with respect to PDR

Fig. 13과 14의 성능 결과는 TMS에서 IP cloud의 기능 중에 패킷손실률을 이용하여 패킷을 손실시켜 성능을 측정한 것으로 0.1%만 손실되도 성능이 미치는 영향이 커져서, 무선 링크의 BER이 10^{-8}일 때 BER은 10^{-1} 단위, BER-SES는 10^{-2} 단위, BLER은 10^{-4} 단위의 영향을 미친다. 따라서 무선 패킷 망을 이용하여 전용선 모뎀의 신호를 전송하기 위해서는 PDR이 최소가 되도록 최우선순위를 부여하여야 한다. 실제 IP 기반 무선망인 전술통신체계에서는 외부의 간섭을 배제하여 수 시간 에러가 없는 무선 전송 환경을 유지하는 링크가 다수 있다.

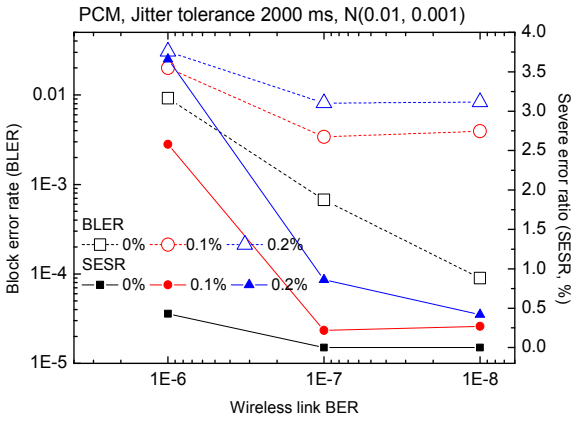


Fig. 14. The BLER and SESR performance with respect to PDR

3.2.5 음성 코덱에 따른 성능

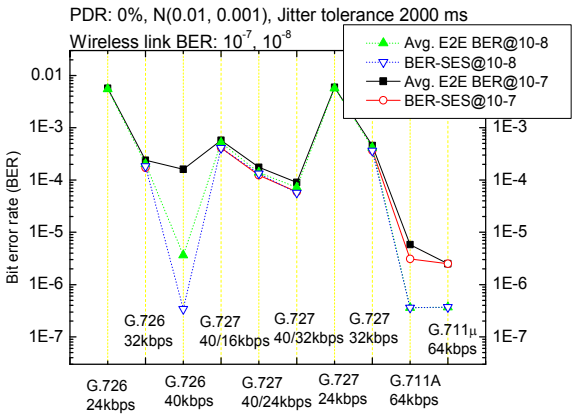


Fig. 15. The BER performance with respect to codec

Fig. 15, 16에서는 코덱을 바꾸면서 성능을 측정하였다. G.727 24 kbps, G.726 24 kbps의 두 가지 경우는 SESR, BER-SES 값이 측정되지 않았는데, SES의 기준이 BER 10^{-3}이므로 Fig. 15에서는 이보다 나쁜 성능이 측정되었으므로 측정 장비에 표시되지 않아 그림에도 표시되지 않았다. 또한 G. 726 40 kbps, G. 711A, G.711μ는 무선 전송 링크의 BER이 좋아지면 성능이 개선되었으나, 다른 코덱은 성능에 유의미한 변화가 없었다. SESR에서 G. 726 40 kbps, G. 711A, G.711μ를 비교하자면, G.711 계열이 무선 전송 링크의 BER에 영향을 적게 받으므로 G.711이나 전술된 PCM 계열 코덱의 성능이 제일 좋았음을 알 수 있다.

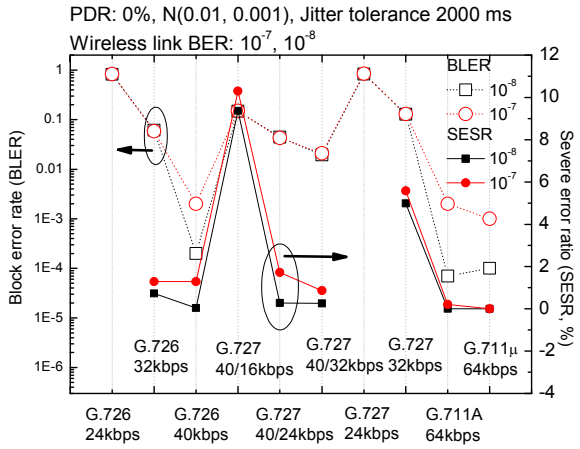


Fig. 16. The BLER and SESR performance with respect to codec

3.2.6 음성 코덱에 따른 throughput

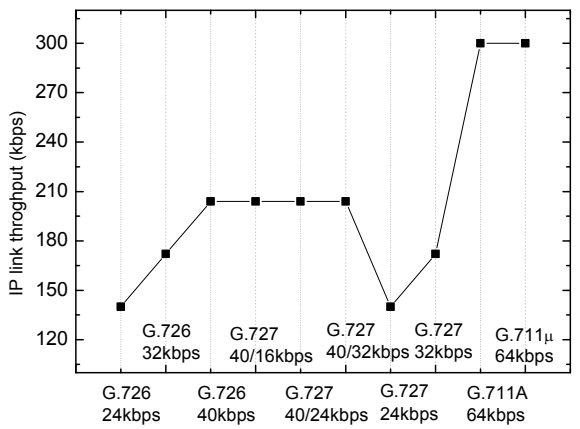


Fig. 17. The throughput of the IP network with respect to codec

Fig. 17에서는 각 코덱에 따른 전송요구량을 측정한 것이다. G.711, PCM 계열의 전송요구량이 가장 커서 상대적으로 더 많은 많은 패킷을 보내줘야 하지만, BER 성능은 제일 좋다. 또한 전송요구량과 성능을 고려하면 G.726 40 kbps는 두 번째 대안으로 생각할 수도 있을 것이다.

4. 결 론

아래의 Table 3은 전용선 모뎀을 이용하기 위한 무선 패킷 망의 전송 조건을 정리한 것이며 지터, BER은 최악의 조건을 가정하여 시뮬레이션 했으므로 실제 운용 환경은 Table 3보다 좋을 것이다.

Table 3. The recommended link condition of transmission for wireless IP network

구 분	값
지터 분산	0.1 이하
전송 지연 시간 (지터의 평균값)	0.1 sec 이하
무선 전송 링크 BER	10^{-7} 이하
PDR	0
코덱	PCM 또는 G.711 계열
지터 내성	2000 ms

본 논문에서 살펴본 전용선 모뎀의 운용가능성은 디지털 신호 전송 품질 권고안 ITU-T G.821, 826, 174, ITU-R M.1225의 항목을 기준으로 선별하여 측정하였고 [9,10,12,13] Table 3의 조건을 만족시킨다면 Basics Hybrid 장비를 이용하여 무선 패킷 망에 전용선 모뎀 9600 bps급을 연동하여 운용이 가능하리라 판단된다. 이와 같은 상용 장비(Basics Hybrid)는 새로운 전용 장비의 개발과 비교할 때 기간 단축, 비용 절감의 효과가 있으나 결국 회선망 장비는 도태시켜 IP 망으로 전환할 필요성이 있다.

단 Fig. 5와 6에서 지터 내성이 1200 ms인 경우, Fig. 7과 8에서 BER이 10^{-8}일 때 지터 내성이 2000 ms보다 1400 ms가 더 좋은 성능을 보이는 경우와 Fig. 12에서 BER이 10^{-6}일 때 SESR 붉은 점의 경우 데이터가 이상 현상을 보이는 것은 측정의 오차인지 특별한 다른 사유가 있는지 추후 확인할 필요가 있다.

현재 우리나라의 전술통신체계의 구조는 모두 무선 링크를 기반으로 망을 구성하고 있으므로 종단(end-to-end) 간의 통신 성능을 확인하기 위한 더 많은 검증이 이뤄져야 할 것이다. 본 측정의 결과로 객관적 표준을 설정하기에는 무리가 있으나 회선망과 무선 IP 망의 연동 가능성을 확인하게 된 것이 본 연구의 성과이다.

References

[1] Korea Information Society Development Institute (KISDI), Policy Research 13-03 The Evaluation of Telecom Market Competition Situation, 2013.

[2] Korea Institute for Defense Analyses(KIDA), The Basic Study for the Establishment of the Plan of the Consolidation Development for the Defense Information Communications Network, 2008.

[3] Sang-heon Shin, et al., “Design and Implementation of Tactical Communication Network Simulator,” Proc. of The 13th Comm. & Elec. Conference, pp. 165~168, 2012.

[4] Kim Soo Hyun, et al., “A Study on Building M&S-based Test Bed for Network Performance Test,” Proc. of The 13th Comm. & Elec. Conference, pp. 232~235, 2012.

[5] Minho Park, et al., “A Study on the Update Time of the Routing Table in the Corps-Level Tactical Communication Network usign OSPF Routing Protocol,” KIMST Annual Conference Proceedings, pp. 329~330, 2013.

[6] Jeong-In Choi, et al., “Implementation of Network Level Simulator for Tactical Network Performance Analysis,” Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 16, No. 5, pp. 666~674, Oct. 2013.

[7] Minho Park, et al., “The Investigation of Facsimile Usability in the Wireless Packet Switching Network,” KIMST Annual Conference Proceedings, pp. 442~443, 2014.

[8] www.vocality.com/all-products/basics-hybrid

[9] International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector(ITU-T), “G.821: Error Performance of an International Digita l Connection Operating at a Bit Rate Below the Primary Rate and Forming Part of an Integrated Services Digital Network,” 2012.

[10] International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector(ITU-T), “G.826: End-to-end Error Performance Parameters and Objectives for International, Constant Bit-Rate Digital Paths and Connections,” 2012.

[11] Justin Redd, “Calculating Statistical Confidence Levels for Error-Probability Estimates,” Lightwave Magazine, Vol. 17, No. 5, pp. 110~114, April 2000.
[12] International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector(ITU-T), “G.174: Transmission Performance Objectives for Terrestrial Digital Wireless Systems using Portable Terminals to Access the PSTN,” June 1994.
[13] International Telecommunication Union - Radiocommunication Sector(ITU-R), “M.1225: Guidelines for Evaluation of Radio Transmission Technologies for IMT-2000,” 1997.