

U-Army의 VoIPv6 망 성능 시뮬레이션을 이용한 망 설계 방안

준회원 이현덕*, 정회원 민상원*

Network Simulation and Design Guideline for VoIPv6 Network of U-Army

Hyun-Duck Lee* Associate Member, Sang-Won Min* Regular Member

요 약

본 논문에서는 군의 요구사항을 고려하여 군 통신망의 서비스와 관련 파라미터들을 연구하고, u-Army 실험망을 시뮬레이션을 통해 성능 측정을 하였다. 이를 바탕으로 전 군에 VoIP를 적용할 수 있는 VoIP 설계 가이드라인을 제시하였다. 측정은 패킷과 콜 시그널링 관점에서 지연과 손실에 관하여 몇 가지 시나리오에 대해 측정하였다. 첫 번째는 독립적인 네트워크 서비스에 따라 만족하는 요구사항을 측정하였다. 두 번째는 통합 서비스에서 지연과 손실에 관하여 백그라운드 트래픽을 증가시키면서 그 결과를 측정하였다. 마지막으로 시뮬레이션에 근거하여 IP PBX 장비의 설치 위치에 따라 네트워크의 구성을 분류하여 설계 가이드라인을 제시하였으며, 현재 군의 고정된 링크의 상황에 맞추어 VoIP 단말기의 수를 정할 수 있도록 계산 방법을 제시하였다.

Key Words : VoIPv6, u-Army, Simulation, IP PBX, AGW

ABSTRACT

In this paper, we consider the military requirement, study the military network services and their related traffic parameters, evaluate the performance the experimental army network, and then suggest the design guideline of applying VoIP to the whole military. We evaluate the performance of the delay and loss in the viewpoint of packet and call levels for the several scenarios. First, the performances of separate network service were considered and the satisfaction of the requirement was obtained. Secondly, the delays and losses of the integrated network services were calculated as the amount of the background traffic increases. Finally, based on the simulation results, we presented the design guideline which classified network configurations for applying VoIP equipment and helped estimate the number of VoIP terminals in the existing link.

I. 서 론

최근 들어 정보통신 기술분야에 있어서 다양한 개발로 인해 기술, 서비스, 산업 등 다양한 분야에서 서의 융합 및 통합이 본격화 되고 있으며, 특히 음

성과 데이터간의 통합이 빠르게 발전되고 있다. 상용망에서는 이러한 변화를 반영하여 VoIP를 도입하고 있다^{[1][2]}. 군에서도 이를 반영하여 u-Army를 만들기 위해 실험 부대를 지정하여 첨단 미래 과학군을 양성하기 위한 구축을 시도하고 있다.

※ “본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과와 2008년 광운대학교 교내연구비 지원으로 수행되었음” (IITA-2008-C1090-0804-0007)

* 광운대학교 전자통신공학과 통신프로토콜공학연구실

논문번호: KICS2008-04-183, 접수일자: 2008년 4월 21일, 최종논문접수일자: 2008년 9월 17일

하지만 현재의 군 통신망은 PBX가 설치되어 기존 방식으로 전화서비스를 제공하고 있으며, 여하 여단 및 대대에는 상용 교환기 없이 전술 교환망으로 전화서비스를 제공하고 있으므로 현재 기반체계로는 VoIP 서비스 제공이 불가능하다. 현 국방정보통신망은 IPv4를 적용하고 있어 IPv6를 수용할 수 없다. 또한 상용망의 VoIP 시스템에는 없는 군 전용의 서비스인 일제지령과 동시착신 서비스가 존재함에 따라 시뮬레이션을 수행하여 효율적인 VoIP 망설계를 고려해야 한다.

본 논문에서는 군의 요구사항을 고려하여 군 통신망의 서비스와 관련 파라미터들을 연구하고, 군 실험망에서 ns-2를 이용하여 성능 측정을 하였다³⁾. 이를 바탕으로 전 군에 VoIP를 적용할 수 있는 VoIP 설계 가이드라인을 제시하였다.

본 논문의 II장에서는 u-Army와 VoIPv6를 설명하고, III장에서는 VoIPv6 망 모델링을 기술하였다. IV장에서는 시뮬레이션 결과를 보이고 V장에서는 u-Army의 망 설계 방안에 대하여 기술하였다. 마지막 VI장에서는 결론을 도출하였다.

II. 군통신망과 VoIPv6

미군은 현재 운용하고 있는 전술 제대급의 통신체계인 MSE(Mobile Subscriber Equipment) 체계에서는 현재의 한국군과 같이 VoIP를 적용하지 않고 있다. 하지만 전략 제대급의 고정시설에는 VoIP를 도입 운용하고 있다. 미군은 미래 전장의 변화에 따라 미국의 미래 군 통신망의 개념을 NCW(Network Centric Warfare)라는 네트워크중심전투의 새로운 패러다임을 도입하였다⁴⁾⁵⁾.

우리 군에서는 이러한 사항을 인지하고 TICN(Tactical Internet Information Network)을 구축하려고 하고 있다. TICN은 지휘통제 및 전장상황 공유를 위한 수직·수평적 정보전송을 지원하며, 감시·결심·타격간 실시간 정보공유를 지원한다⁶⁾.

이러한 미래 전술망을 지원하기 위하여 전략망을 실험부대를 지정하여 VoIP를 서비스 하려하고 있다. VoIP 서비스는 인터넷을 통한 실시간 음성 데이터를 인터넷 프로토콜 데이터 패킷으로 변환하여 일반 전화망에서의 전화 통화와 같이 음성 통화를 가능하게 해주는 일련의 통신서비스 기술이다⁷⁾. 현재 VoIP 장비와 서비스에 구현되고 있는 프로토콜로는 SIP(Session Initiation Protocol), H.323, MGCP, Megaco/H.248 등이 있고 ITU-T(International Telecommunication

Union - Telecommunication Standardization Sector), IETF(Internet Engineering Task Force)가 꾸준히 표준화 작업을 진행 중이다⁸⁾⁹⁾.

u-Army를 위해 다원화 되어 있는 통신망을 일원화하기 위해서는 현재 상용 기술로 각광을 받고 있는 음성과 데이터가 통합되어 운용되는 VoIP를 이용하여 통신망을 구성하여야 한다.

u-Army는 군 최초로 실험 사단을 대상으로 음성과 데이터를 통합하는 통합망 구성과 지휘정보체계 구축 및 u-IT관련 기술을 도입하여 시행하고 있다. 그 중 가장 중요한 통합망 구성으로 인한 음성과 데이터의 통합은 전군으로 확대되어 미래의 전술 통신망으로 이어지는 중요한 기반 망이 될 것이고 이에 대한 효율적인 망 설계를 하고 구축하기 위해서 실험 사단의 실제 데이터양과 전화 통화의 패턴을 분석하고 시뮬레이션을 수행함으로써 망 설계의 기준을 마련하여 육군 표준 모델의 기준을 제시하여야만 한다.

III. u-Army의 VoIPv6 망 모델링

3.1 실험망의 VoIPv6 망

그림 3.1은 u-Army를 위한 군 통신망에서 IPv6 기반의 VoIP를 적용한 실험망을 나타낸 것으로 인터넷과 전화망이 통합된 것을 볼 수 있다.

3.2 망 구성요소 모델링

망 구성요소의 모델링은 크게 노드와 링크를 모델링 하는 것으로 나누어진다. 그림 3.2와 표 3.1에 망 구성요소 모델링에 관하여 나타내었다. N8에 연결된 노드는 사단 및 사단과 연결된 예하부대이며, N26에 연결된 노드는 여단 및 여단내의 예하부대이다. Link1은 45Mbps, Link2는 100Mbps, Link3은 10Mbps, Link 4는 2Mbps이다.

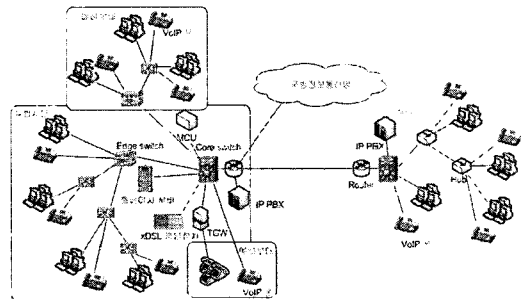


그림 3.1 u-Army를 위한 실험사단의 VoIP 망

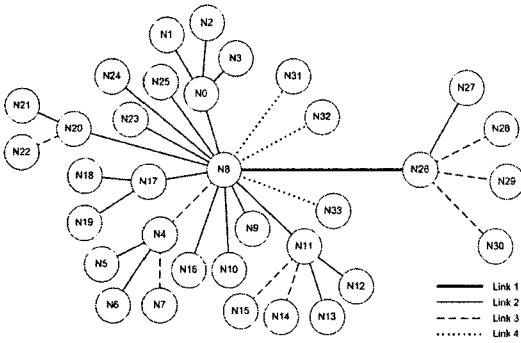


그림 3.2 u-Army 실험사단 시뮬레이션 네트워크 구성

3.3 IPv6 기반의 VoIP 트래픽 모델링

본 시뮬레이션 모델링 과정 중에 음성 코덱으로 사용한 것은 모든 VoIP 장치가 필수적으로 사용해야만 하는 코덱인 G.711을 사용하였다. 표 3.2에 IPv6를 사용할 때의 VoIP 오버헤드에 관하여 나타내었다^{[10][11][12]}. 본 논문에서는 IPv6 기반에서 VoIP 트래픽에 관련한 시뮬레이션을 수행함으로 104kbps의 음성 트래픽 패턴을 사용하였다^{[13][14]}. 표 3.3에서는 트래픽의 유형별로 3가지 유형으로 구분 짓고 그에 따른 특징을 모델링한 결과를 나타낸 것이다^[15].

표 3.2 IPv6에서 코덱별 VoIP 오버헤드 (20ms sampling rate)

	G.711	G.723.1		G.729a
Raw BW in bps	64,000	5,300	6,300	8,000
VoIP payload (bytes)	160	13	16	20
VoIP overhead (802.3)	98	98	98	98
VoIP overhead (PPP)	67	67	67	67
BW in bps (802.3)	103,200	44,400	45,600	47,200
BW in bps (PPP)	90,800	32,000	33,200	34,800

표 3.3 트래픽 유형별 모델링

Traffic type	Application	Codec	Feature	Packet size	Bandwidth
1	Voice	G.711	Exponential	260 byte	104 kbps
2	Image	H.263	CBR	8 kbyte	1 Mbps
3	Data(Text)	-	Exponential	2 kbyte	20 kbps

3.4 u-Army 서비스 모델링

u-Army의 VoIPv6 망에서 VoIP 서비스는 단순 전화 서비스, 다자간 회의 서비스, 동시 착신 서비스, 일제 지령 서비스, 보이스 메일 서비스 등이 있으며, 일제 지령 서비스와 동시 착신 서비스의 경우 군의 계급별 지휘통제 체계와 특수한 상황에 맞춘 서비스로 상용망에는 없는 서비스이다. 이에 대한 서비스 모델링 결과를 표 3.4에 정리하였다.

표 3.4 서비스 별 모델링

서비스	Traffic 1	Traffic 2	Traffic 3	Unicast	Multicast
단순전화	○	x	x	○	x
동시착신	x	x	○	x	1:3
일제지령	○	x	x	x	1:16
다자간회의	○	○	x	x	1:6
보이스메일	○	x	x	○	x
통합서비스	○	○	○	○	1:n

IV. VoIPv6 망 성능 시뮬레이션

4.1 u-Army의 VoIPv6 망 성능 측정 요소

VoIP 망의 성능 측정 요소는 통화의 품질과 호 접속 품질로 나누어진다. 통화품질의 요소로는 종단간 지연, 패킷 손실, 지터 등이 있고, 호 접속 품질의 요소로는 호 접속 성공률이 있다. 표 4.1은 군 통신망의 VoIP 서비스별로 성능 측정을 해야 할 측정 요소를 나타낸 것이다.

표 4.1 서비스 별 망 성능 측정 요소

서비스	망 성능 측정 요소
단순전화	지연, 패킷 손실률, 지터 지연, 호접속 성공률
동시착신	호접속 성공률
일제지령	지연, 패킷 손실률, 지터 지연
다자간회의	지연, 패킷 손실률, 지터 지연, 호접속 성공률
보이스메일	패킷 손실률

4.2 VoIPv6 망 성능 측정

VoIPv6 망 성능 측정은 그림 3-2에서 제시한 시뮬레이션 네트워크를 이용하여 시뮬레이션을 진행하였다. 서비스 한가지만을 시뮬레이션 하는 것과 모든 서비스가 같이 수행되고 있는 경우를 나누어 수행하였으며 시뮬레이션에 사용한 조건은 모든 링크에서 데이터 트래픽이 링크의 20%를 차지하고 있다고 가정하였다.

독립적인 서비스를 수행한 시뮬레이션에서 백그라운드 트래픽의 변화에 따라 각각의 서비스를 독립적으로 수행한 결과 VoIP를 서비스하는데 큰 무리가 없었다.

통합서비스 시나리오에 대한 시뮬레이션은 단순 폰 서비스, 다자간 회의 서비스, 일제지령 서비스, 보이스 메일 서비스, 동시착신 서비스의 5가지 서비스를 동시에 실시할 경우에 대하여 평균 지연, 평균 지터, 평균 손실률, 호접속 성공률에 대하여 측정하였다. 통합시나리오 서비스를 수행한 시뮬레이션에서 백그라운드 트래픽의 변화에 따른 결과는 그림 4.1, 그림 4.2, 그림 4.3, 그림 4.4와 같다.

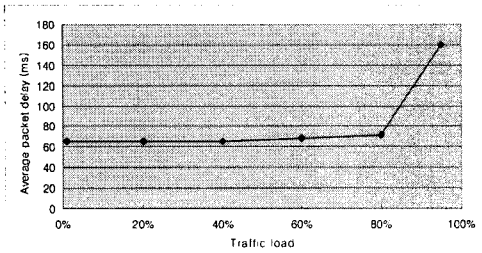


그림 4.1 트래픽에 따른 통합시나리오의 패킷 지연

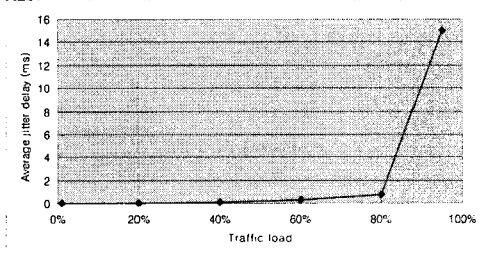


그림 4.2 트래픽에 따른 통합시나리오의 지터 지연

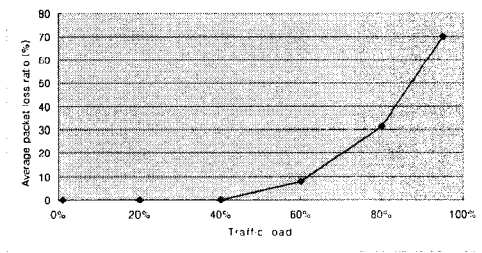


그림 4.3 트래픽에 따른 통합시나리오의 패킷 손실률

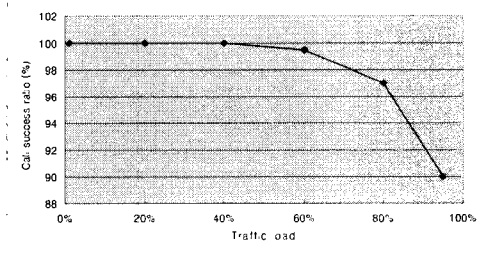


그림 4.4 트래픽에 따른 통합시나리오의 호접속 성공률

시뮬레이션 수행 조건은 1650명의 사용자가 평균 3분 통화를 하고 8분마다 전화를 하는 것이다. 백그라운드 트래픽이 90%이상일 경우 급속히 지연이 증가하여 150ms 이상 지연이 발생하며, 지터 지연은 15ms, 패킷 손실은 70%, 호 접속 성공률은 90%의 결과가 나왔다. 통합시나리오 서비스를 수행한 시뮬레이션에서 call interarrival time의 변화에 따른 결과는 그림 4.5와 같다.

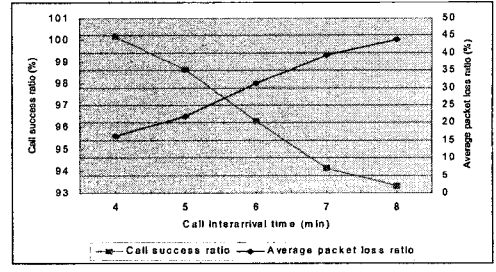


그림 4.5 Call interarrival time에 따른 통합시나리오의 패킷 손실률과 호접속 성공률

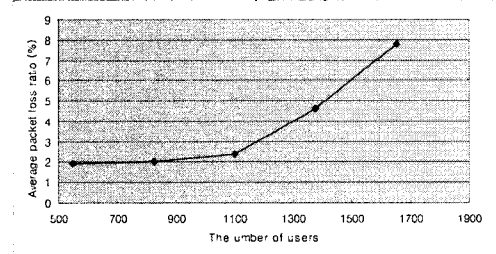


그림 4.6 사용자 수에 따른 통합시나리오의 패킷 손실률

조건은 동일하고 백그라운드 트래픽이 55%일 경우이다. Call interarrival time이 8분일 경우에 2%의 손실이 발생하며, 4분일 경우 45%의 손실이 발생하고 호 설정 성공률은 95%이다. 통합시나리오에서 사용자 수의 변화에 따른 결과는 그림 4.6과 같다. 동일한 조건에 사용자의 수가 800명을 넘어서면서 2%의 손실을 보이며, 1600명을 넘어서면서 8%의 손실률을 보이고 있다.

V. 군 VoIPv6 설계 방안

5.1 설계 기준

VoIP 설계를 할 때 고려해야 할 사항으로는 대기 시간, 지터, 손실, 호 접속 성공률 등이 있다. 이 중 한 가지만을 만족 시킨다고 해서 VoIP를 원활하게 서비스 할 수 있는 것이 아니며 모두 만족시켜야지만 VoIP를 사용할 수 있는 환경이 만들어진 것이다. 따라서 VoIP망을 설계할 때 종단간 평균 패킷 지연은 150ms 이하, 패킷 손실률은 2% 이하, 지터는 20ms 이하, 호 접속 성공률은 95% 이상이어야 한다. 이러한 기준은 실험 네트워크에서 실험한 결과를 사용한 것이며, 이러한 기준을 충족시켜야 최소한의 통신 품질을 보장할 수 있다¹⁶⁾.

5.2 설계 방안

군 통신망에서 VoIP를 설치할 경우 어느 부대가

지 IP PBX를 편성하고 각 부대에서 사용하는 링크의 대역폭을 감안하여 사용 가능한 단말의 수를 고려하여야 한다.

VoIP를 이용하여 전화를 할 때 call signaling의 경우 IP PBX를 경유하여 전화 대상자에게 신호가 전달된다. 신호가 전달되어 통화를 시작하게 되면 VoIP 트래픽은 IP PBX를 사용하지 않고 전화 대상자와 직접 송수신하게 된다. AGW를 사용하는 경우 call signaling 처리를 위해 IP PBX로 신호가 전달되어 전화 상대방에게 전송되지만 통화가 연결된 후에 발생하는 VoIP 트래픽은 AGW만을 경유하여 트래픽이 송수신 된다. 따라서 IP PBX를 반드시 설치해야 하는 부대와 설치가 필요 없는 부대를 유형별로 나누어 줄 필요가 있다.

군 통신망에서 VoIPv6를 설계할 수 있는 유형은 IP PBX의 설치 여부와 부대의 규모에 따라 크게 4가지로 구분된다. 그 유형은 표 5.1에 나타내었다. 군 통신망의 분류는 인원 편성이 많은 지역사단 유형과 인원 편성이 적은 동원사단 유형으로 나뉘며, 각각의 유형별로 2가지 분류로 다시 나뉜다.

지역사단의 경우 유형 1, 유형 2로 PBX 설치 위치에 따라 분류가 되고 동원사단의 경우도 PBX의 설치 위치에 따라 유형 3, 유형 4의 유형으로 나뉜다. 그림 5.1은 유형 1에 대한 군 통신망의 유형으로 대대급에 IP PBX를 편성한 모델이다. 이 경우는 지역사단의 대대급에 인원편성이 많기 때문에 IP PBX를 설치하여 VoIP를 설계하는 것으로 각 부대별로 독립적인 VoIP 운용이 가능하다.

표 5.1 군 통신망의 설계 유형

분류	지역사단 유형	동원사단 유형
대대급 IP PBX 설치 여부	유형 1	유형 3
연대급 IP PBX 설치 여부	유형 2	유형 4

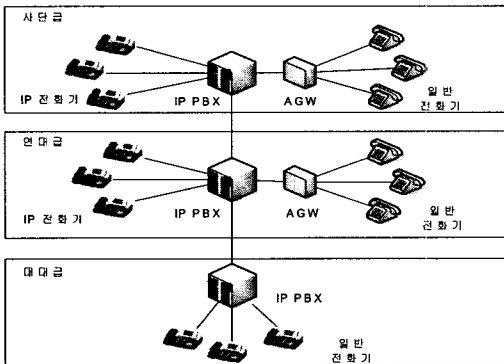


그림 5.1 유형 1

그림 5.2는 유형 2에 대한 군 통신망의 유형으로 대대급에 AGW를 편성한 모델이다. 이 경우 연대급까지 IP PBX를 편성하고 대대급에서 상위 부대로 전화의 통화 빈도수가 크지 않을 경우 가능한 모델이다. 이 경우 대대급에 IP 단말기가 편성되지 못하는 부대에서 설치가 가능하다. IP 단말기가 편성 가능하다면 AGW를 스위치로 대체하여 설계하면 된다.

그림 5.3은 유형 3에 대한 군 통신망의 유형으로 연대급에 IP PBX를 편성한 모델이다. 이 모델은 연대급에 IP PBX가 편성되고 대대급에 AGW가 편성되는 구조를 갖는다. 이 경우 인원 편성이 적은 동원사단에 해당하는 것으로 통화 빈도수가 적은 대대급에 AGW를 설치하고 연대급에 IP 단말기만을 수용하도록 설계하여 전체 통화 시도가 크지 않은 경우 설계 가능한 모델이다.

그림 5.4는 유형 4에 대한 군 통신망의 유형으로 연대급에 AGW를 편성한 모델이다. 이 경우 연대급과 대대급에서 사용하는 통화의 빈도수가 적고 상위 부대로 통화의 양이 많지 않을 경우에 가능한 설계이다. 연대급과 대대급에 IP 단말기를 수용하도

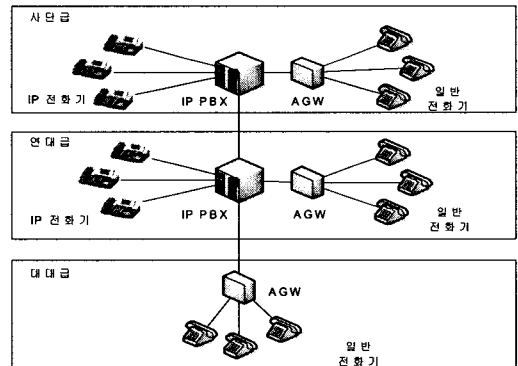


그림 5.2 유형 2

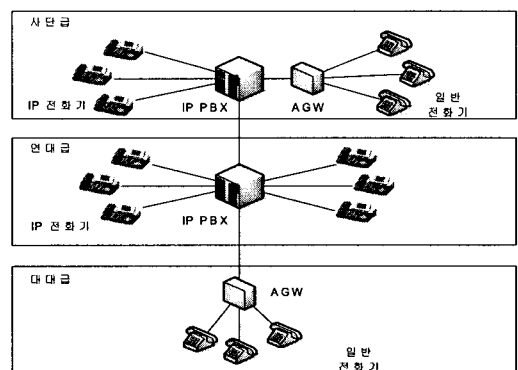


그림 5.3 유형 3

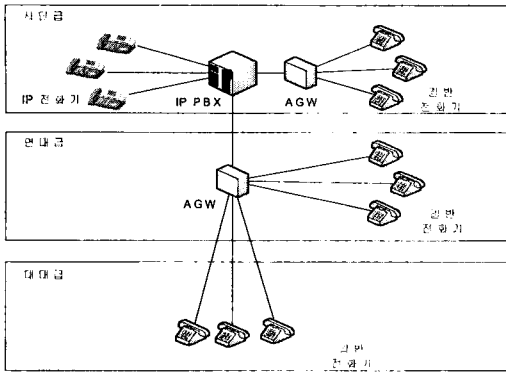


그림 5.4 유형 4

록 하기 위해서는 AGW를 스위치로 대체하여 설계 하면 된다.

5.3 제한된 링크에서 수용 가능한 단말수 계산

VoIP를 설계할 경우 군 부대의 인원 에 따른 VoIP 단말기의 편성 및 그에 필요한 링크의 대역폭 을 산정하여 망 설계를 해야 하지만 군 내에서 기존의 링크상황에 맞추어 단말기의 편성을 고려하여 설계할 필요가 있다. VoIP 단말수를 결정하기 위해서는 사용하는 링크의 대역폭에서 백그라운드를 제외하고 가용 대역폭을 산정한 후 음성과 영상코덱의 대역폭을 감안하여 동시통화 가능 채널을 결정하여 단말수를 결정해야 한다.

링크의 가용 대역폭 산정에 따른 영상의 동시통화 채널수, C_i , 음성의 동시통화 채널 수, C_v , 는 식 (1)과 같다.

$$C_i = \frac{(B_{link} - B_{bc}) \times 70\%}{B_i}$$

$$C_v = \frac{(B_{link} - B_{bc}) \times 70\%}{B_v} \quad (1)$$

여기서 B_{link} 는 링크의 대역폭, B_{bc} 는 백그라운드의 대역폭을 의미하며, B_i 는 영상 코덱의 대역폭, B_v 는 음성 코덱의 대역폭을 의미한다. 이때 전체 링크의 대역폭에서 백그라운드 대역폭을 제외한 가용 대역폭으로 70%를 사용하도록 하였으나 burst traffic의 차이에 따라 상대적으로 $\pm 20\%$ 내에서 유동적인 적용이 가능하다.

영상과 음성을 사용할 때 동시통화 가능 채널 수는 식 (2)를 만족하는 조합으로 나타낼 수 있다. 여기서 CAC(Call Admission Control)는 고려하지 않았다. 따라서 링크의 사용 대역폭을 초과하는 통화에 대해서는 가능한 동시통화 채널에 포함시키지 않았다.

$$B_i \times C_i - B_v \times C_v \leq (B_{link} - B_{bc}) \times 70\% \quad (2)$$

VI. 결 론

시뮬레이션 결과를 토대로 제시한 군 통신망에 적절한 기준으로 통합서비스의 경우 사용자는 800 명 이내로 설계하여야 하며, call interarrival time은 8분 이상, 백그라운드 트래픽은 60% 이하가 되어야 한다.

본 논문에서는 이러한 시뮬레이션 결과를 바탕으로 군 통신망에서 VoIP를 설계할 경우 나올 수 있는 유형을 크게 4가지로 분류하였으며 군통신망의 각 부대별 규모와 IP PBX의 편성 위치에 따라 모델을 제시하였다. 또한 부대의 링크를 설계방안에서 제시한 방법에 따라 동시통화 가능 채널을 계산하여 적용함으로써 전체 군통신망의 설계시 적절한 설계가 가능하도록 단말수를 계산하는 방법을 제시 하였다. 이러한 설계를 바탕으로 향후 VoIP 체계를 확장할 때 정보보호 정책을 수립하고 생존성 보장을 할 수 있는 이중화 방안과 정전시 대책 방안에 대하여 추가로 고려하여야 한다.

본 논문에서 시뮬레이션을 통하여 얻은 결과를 바탕으로 제시한 기준으로 망 설계를 할 경우에 수용 가능한 인원수를 예측가능하며, 서비스의 사용 여부에 따라 망 설계를 할 수 있을 것이다. 또한 군 통신망에서 발생할 수 있는 자원의 낭비를 줄일 수 있으며 통합망 설계에 따른 망 관리의 효율성이 증대 될 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] H. Olivier, P. Jean-Pierre, G. David, IP Telephony: Deploying voice-over-IP Protocol, John wiley & Sons, 2005.
- [2] H. Oliver, G. David, P. Jean-Pierre, IP Telephony, Addison-Wesley, 2000.
- [3] "The network simulator-ns 2," <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
- [4] S. Alberts et. al., "Network Centric Warfare: Developing and Leveraging Information Superiority", CCRP, February 2000.
- [5] Y. Yamakura, "Network-Centric Warfare: It's Implications for Japan Self-Defense Force", Japan Air Self-Defense Force, August 2005.
- [6] 김종만, 서형준, "한국군 C4ISR 체계의 추진상

황진단 및 발전 방향”, 국방정책연구, 2004.

- [7] A. Percy, “Understanding Latency in IP Telephony,” Brookroot Technology, 1996.
- [8] ITU-T Recommendation H.323, “Packet-based multimedia communication systems,” November 2000.
- [9] M. Handly, et. al., SIP: “Session Initiation Protocol,” RFC 2543, 1999.
- [10] ITU-T Recommendation G.711, Appendix B, “A comfort noise payload definition for ITU-T G.711 use in packet-based multimedia communication systems,” February 2000.
- [11] ITU-T Recommendation G.723.1, “Dual Rate Speech Coder for Multimedia Communications Transmitting at 5.3 and 6.3 kbit/s,” 1996.
- [12] ITU-T Recommendation G.729, Annex B, “A silence compression scheme for G.729 optimization for terminals conforming to recommendation V.70,” November 1996.
- [13] J. Davies, Understanding IPv6, Microsoft, 2003.
- [14] B. Thompson and X.Liu, “Bandwidth Management for the University Edge,” Cisco, 2005
- [15] ITU-T Recommendation H.263, “Series H: Audiovisual and multimedia systems Infrastructure of audiovisual services-Coding of moving,” January 2005.
- [16] 박진삼, 민상원, “VoIP 망에서의 QoS 성능측정에 관한 연구”, 통신학회논문지 심사증.

이현덕 (Hyun-Duck Lee)

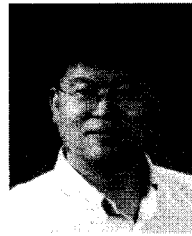
준회원



2006년 2월 광운대학교 전자공학부 졸업
 2008년 2월 광운대학교 전자통신공학과 석사
 2008년 3월~현재 티맥스소프트 <관심분야> IPv6, 리눅스, VoIP, QoS

민상원 (Sang-Won Min)

정회원



1988년 2월 광운대학교 전자통신공학과 졸업
 1990년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학 석사
 1996년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학 박사
 1990년 1월~1999년 3월 LG정보통신 선임 연구원

1999년 3월~현재 광운대학교 전자통신공학과 정교수
 <관심분야> Next-Generation Mobile/Convergence Network, Engineering Education, USN, ITS