

---

# IEEE802.11b WiFi 환경에서 음성코딩 방식에 따른 VoIP 용량분석

최대우\*

Evaluation of VoIP Capacity for IEEE802.11b WiFi Environment under Voice Coding Methods

Dae-Woo Choi\*

요 약

본 연구에서는 WiFi 망을 통한 VoIP 용량을 OPNET 모델러를 이용하여 컴퓨터 시뮬레이션으로 분석하였다. 연구결과 하나의 AP내에서 VoIP 호의 수가 일정수를 넘어가면 전체 호에서 급격한 통화 품질저하가 일어나며 그 원인은 AP내 다운링크의 큐잉지연으로 분석되었다. IEEE802.11b 환경에서 품질을 유지 (MOS > 2.5)하면서 수용가능한 호의 수는 G.711, G.729a, G.729a VAD 방식의 코덱을 사용할 경우 각각 5, 12, 27개인 것으로 분석되었다.

ABSTRACT

In this paper we simulate the capacity of VOIP calls through WiFi network by computer simulations using OPNET modeler. The results show that sudden quality degradations occur on all VoIP calls when the number of call of an AP(Access Point) increases beyond a specific value. The reason of the quality degradation was turned out to be the queueing delay at the down link of AP. Under the IEEE 802.11b environments, the maximum number of VoIP calls of an AP maintaining the required voice quality (MOS > 2.5), was evaluated as 5, 12, and 27 when we use G.711, G.729a, and G.729a VAD codec, respectively.

키워드

VOIP, WiFi, Internet Phone,  
와이파이, 인터넷 전화

## 1. 서 론

스마트폰 사용이 급증하면서 WiFi 무선인터넷을 통한 이동단말에서의 인터넷전화 즉, VoIP (Voice over IP)의 사용량도 증가하고 있다. WiFi를 통한 인터넷 전화의 경우 인터넷의 최선형 서비스 (best-effort service) 특성과 mobile IPv4를 통한 실시간 핸드오버 구현의 어려움 등으로 끊임이 없는 이동 VoIP

의 실현은 매우 어렵다. 그러나 WiFi 영역 내에서 핸드오버를 하지 않고 통화를 할 경우에는 높은 품질의 음성통화가 가능하다.

한국정보통신기술협회(TTA)에서는 2009년 모바일 인터넷전화에 관한 통화품질 기준을 제정하였으며[1] WiFi 망에서의 VoIP 트래픽 성능에 관한 연구와 [2][3], 모바일 VoIP 서비스 품질측정에 관한 연구가 보고되고 있다[4].

---

\* 동명대학교 전자공학과(wchoi58@gmail.com)

접수일자 : 2012. 02. 06

심사(수정)일자 : 2012. 03. 19

게재확정일자 : 2012. 04. 07

본 연구에서는 WiFi 망을 통한 VoIP의 용량을 분석하기 위해 동일 AP(Access Point) 내에서 품질기준을 만족하는 음성통화의 용량을 시뮬레이션을 통해 분석해 보았다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서 VoIP 기술의 개요를 살펴보고 제3장에서 VoIP 용량과 품질이 저하되는 원인을 분석하고 제4장에서 결론을 맺는다.

## II. VOIP 기술

### 2.1 음성코덱 기술

대표적인 스마트폰 운영체제중의 하나인 안드로이드 2.1/2.2에서 제공하는 VoIP를 위한 음성코덱으로는 G.711, 723, 729 및 AMR, AAC, G711-wide 등이 있다[5]. 대표적인 코덱의 특성을 요약하면 표 1과 같다.

표 1. 음성코덱의 종류와 특징  
Table 1. Characteristics of voice codec

코덱표준	코딩방식	프레임크기	코딩속도
G.711	PCM	10msec	64Kbps
G.729a	CS-ACELP	10msec	8Kbps
G.723.1	ACELP/MP-MLQ	30msec	5.3/6.3Kbps

### 2.2 WiFi 기술

#### 2.2.1 WiFi 표준

WiFi는 IEEE에서 제정한 근거리 무선 통신 표준으로 IEEE 802.11a/b/g/n 등의 규격이 나와 있다. 주파수 대역은 2.4~5GHz 대역을 사용하고 최대속도는 2~540Mbps, 실내에서의 전파 도달 거리는 25~125 미터이다. 표 2는 각 기술의 특징을 요약한 것이며[6] 이중 상용화 된 표준은 802.11b와 802.11g이다.

표 2. WiFi 표준별 특징  
Table 2. Characteristics of WiFi standards

표준	주파수대역 [GHz]	전송속도 [Mbps]		통신범위 [meter]	
		평균	최대	실내	실외
802.11a	5.15-5.85	25	54	25	75
802.11b	2.4-2.5	6.5	11	35	100
802.11g	2.4-2.5	25	54	25	75
802.11n	2.4 또는 5	200	540	50	125

### 2.2.2 WiFi MAC

WiFi의 MAC (Medium Access Control)계층 규격은 하나로 통일되어 있으며 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance)를 기반으로 하고있다[7].

CSMA/CA는 DCF (Distributed Coordination Function)에 기반을 두고 있으며 단말기 사이에서 매체접근의 우선순위를 허용하지 않는다. 따라서 다양한 QoS (Quality of Service)제공에 문제가 있어 이를 해결하기 위해 HCF (Hybrid Coordination Function)와 PCF (Point Coordination Function) 방식이 제안되었으나 구현된 상용제품은 거의 없는 실정이다[8].

DCF 방식에서는 매체접근시의 충돌을 회피하기 위한 방법으로 데이터 프레임 전송하기 전에 제어 프레임인 RTS와 CTS 신호를 교환하는 옵션과 긴 프레임을 분할해서 송출하는 프레임 분할 옵션이 있으며 조합해서 사용할 수 있다[9]. RTS/CTS 방식은 충돌의 사전방지 효과가 있으나 트래픽이 많은 경우 오히려 이 신호들로 인하여 충돌이 증가되고 프레임분할 방식은 방해전파가 있을 경우에 효과가 있으나 그렇지 않은 경우에는 오버헤드를 증가시켜서 WiFi 성능을 감소시키게 된다[10]. 시중에 나온 대부분의 AP 장비에서 RTS/CTS 옵션을 지원하지 않으며 프레임 분할옵션을 지원하는 경우는 있으나 디폴트로 프레임 길이가 1024 바이트를 넘는 경우에 분할토록 되어 있다.

### 2.3 VoIP 전송 기술

VoIP 트래픽은 코덱의 음성데이터가 RTP, UDP, IP 프로토콜로 차례로 캡슐화되며 OSI 계층2에서는 사용하는 기술에 따라 WiFi 또는 이더넷 프레임으로 캡슐화 되어 전송된다. 그림 1은 코덱별로 VoIP 패킷이 이더넷 프레임으로 캡슐화된 모습이다.

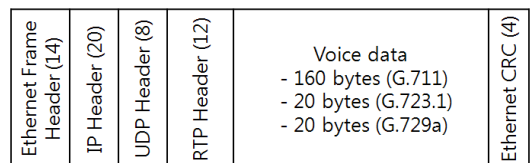


그림 1. VOIP 패킷 포맷  
Fig. 1 VoIP packet format

G.711 코덱의 경우 음성 샘플 160개 (160바이트)가 하나의 음성 프레임으로 만들어지며 20msec 마다 전송되어 64Kbps의 음성데이터를 만든다. 이 데이터가 이더넷으로 전송될 경우 음성 프레임당 이더넷 헤더 18바이트, IP 헤더 20바이트, UDP 헤더 8바이트, 그리고 RTP 헤더 12바이트의 오버헤드가 추가 되어 87.2Kbps로 전송되게 된다. 또 이더넷으로 프레임 전송시 프레임간 인터벌을 두게되며 이러한 오버헤드를 포함하면 88.8Kbps 정도가 된다. 같은 방법으로 G.729a에 따른 음성 프레임은 20msec 마다 20바이트, G.723.1에 따른 음성 프레임은 30msec 마다 20바이트 씩 전송되게 된다. 표 3은 코덱별 음성 데이터량과 이더넷으로 전송시 계층2에서의 전송률을 나타낸다.

표 3. 음성 코덱별 전송률  
Table 3. Data rates of voice codec

코덱	전송률	
G.711	음성데이터	64Kbps
	Ethernet	88.8Kbps
G.729a	음성데이터	8Kbps
	Ethernet	32.8Kbps
G.723.1	음성데이터	5.3Kbps
	Ethernet	21.9Kbps

## 2.4 VoIP 품질 기준

음성전화의 품질을 측정하는 방법으로 PESQ (Perceptual Evaluation of Speech Quality)와 E-model이 있다.

주관적 음성 품질 지표인 MOS (Mean Opinion Score)는 ITU-T에서 표준화한 것으로 사람들이 느끼는 전화 음성 품질의 만족도를 1~5 사이의 값으로 표현하며 5가 excellent, 4는 good, 3은 fair, 2는 poor, 그리고 1이 bad이다. 품질 측정값을 주관적인 MOS값으로 대응하기 위해 E-model이 제시되었다[4][11].

모바일 인터넷 전화의 품질은 TTA 표준인 TTAK.KO-01.0148에서 medium과 acceptable로 구분하며 정지와 이동간 모두 medium 품질로 MOS값 3.6 이상, acceptable 품질로 MOS값 2.5 이상을 요구하고 있다. 또한 단대단 지연은 300msec 이하, 호 성공률 95% 이상을 요구하고 있다[1].

## III. 무선 인터넷에서의 VoIP 용량분석

### 3.1 시뮬레이션 환경

본 절에서는 무선 인터넷에서의 VoIP의 용량을 분석하기 위하여 OPNET 모델러를 사용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였으며 그림 2는 사용된 망의 구조이다.

WiFi를 사용하는 스마트폰 VoIP 애플리케이션과 유선망 IP 전화간의 call을 가정하였다. WiFi 측인 AP(Access Point)와 랜 스위치, 랜 스위치와 라우터 사이는 100Mbps의 Fast Ethernet을 가정하고 로컬 라우터와 원격 라우터 사이에는 44.736Mbps의 DS3급으로 연결된 Internet backbone을 가정하였다. 이것은 일반적인 인터넷 연결구조에 해당된다.

WiFi를 사용하는 경우 단말이 이동하여 AP간 핸드오버를 할 경우 mobile IPv4로는 끊어짐 없는 핸드오버 처리가 불가능하여 VoIP가 의미가 없다. 따라서 단말은 이동하지 않는 것으로 하고 WiFi의 VoIP 수용 용량을 분석하기로 하며 AP와 단말기까지의 거리도 무시하였다.

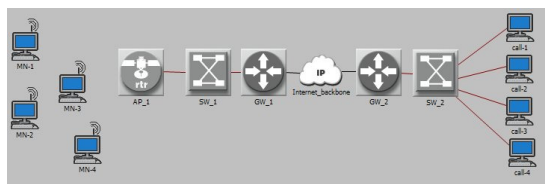


그림 2. VoIP 시뮬레이션 망 구성도  
Fig. 2 Structure of simulation network

본 연구에서는 다음과 같이 가정하였다.

첫째, 모바일 단말은 하나의 AP 영역내에서 WiFi로 통화를 시작하고 끝날때까지 머문다.

둘째, WiFi 지역은 11Mbps급의 IEEE802.11b를 적용하고 거리에 따른 무선환경 차이는 고려하지 않는다.

셋째, WiFi MAC 기능 중 RTS/CTS 옵션과 프레임 분할 옵션은 사용하지 않는다.

네째, 모든 호의 한쪽은 WiFi를 사용하는 무선 단말이고 다른 쪽은 유선망의 VoIP 단말이다.

다섯째, t=0에서 시뮬레이션이 시작되고 t = 180초에서 모든 호가 종료된다. 각호의 시작 시각은 t = 0

~10초 사이에서 랜덤하게 한다. 이것은 시뮬레이션 시작 순간의 과도한 충돌 가능성을 회피하기 위한 것이다.

여섯째, 호설정과 해제과정은 생략한다.

### 3.2 G.711 코덱 사용시 용량 분석

#### 3.2.1 Call 수의 증가에 따른 음성품질

그림 3은 64Kbps 전송속도를 갖는 G.711 코덱을 사용하는 경우 AP내에서 동시에 진행되는 call 수에 따른 MOS값의 변화를 보이고 있다. 백본망의 지연과 패킷 손실율이 0일 때 call 수 5개 까지는 MOS 값이 4.1 정도로 양호하나 call 수가 6개로 되면 급격히 품질이 떨어짐을 알 수 있다. 품질저하는 AP내 모든 VoIP 단말기에서 똑같이 나타났으며 유선망쪽 VoIP 단말기에서는 품질저하가 일어나지 않았다.

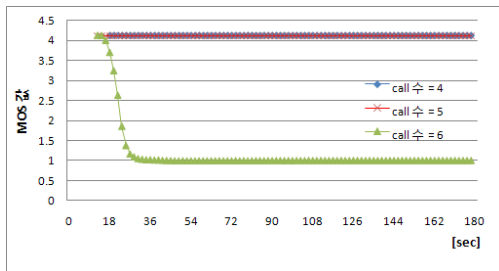


그림 3. Call 수에 따른 MN-1의 MOS값 변동 (백본지연 = 백본 패킷손실율 = 0)

Fig. 3 MOS values of MN-1 according to the number of calls (backbone delay = backbone packet loss = 0)

#### 3.2.2 음성품질 저하의 원인분석

품질저하의 원인을 분석해보면 다음과 같다. 그림 4는 WiFi쪽 이동 단말기의 응용계층 즉, 코덱에서의 음성데이터 송수신속도이다. 이동단말에서의 음성 송출속도는 8Kbyte/sec (즉 64Kbps) 인데 WiFi 구간에서 단말로 들어오는 역방향 트래픽 (상대방 음성 데이터)은 그보다 작다. 즉 하향 트래픽에서 손실이 있는 것인데 분석결과 패킷 손실이 발생하는 이유는 AP내 하향링크의 큐잉지연과 그로 인한 패킷 버퍼의 오버플로우로 밝혀졌다. Call 수가 6일때 모든 모바일 노드에서 하향트래픽의 지연이 급증하였으며 오버플로우가 확인되었다.

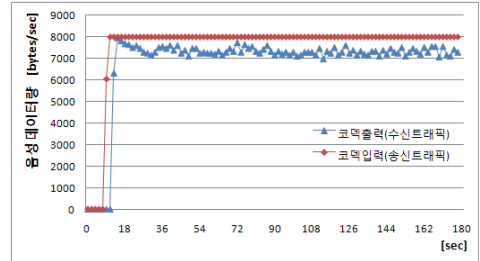


그림 4. Call수 = 6일 때 MN-1에서의 음성트래픽 송수신량 비교

Fig. 4 Transmitted/received rate of voice traffic at MN-1 when no. of call = 6

#### 3.2.3 백본 망의 영향에 대한 분석

Call수 5개인 경우에 백본망 패킷 손실율이 0~6%이고 RTP 패킷화 지연 20msec를 포함한 단대단 지연이 20~370msec일때의 MOS 값 변동은 그림 5와 같다.

백본망에서 패킷손실이 없을 경우 단대단 지연이 120msec를 초과하면 MOS는 3.6 정도로 떨어지며 약 270msec까지는 MOS값 2.5이상으로 유지됨을 알 수 있다. 그러나 백본망에서의 패킷손실율이 2, 4, 6%로 증가함에 따라 음성품질 기준 2.5를 만족할 수 있는 최대지연은 220msec에서 120msec까지 감소된다. 유선망의 VoIP단말기에서도 백본망의 지연과 패킷손실의 영향은 동일하게 검출되었다.

Call수가 6인 경우에는 백본망의 패킷손실율이 0%인 경우에도 앞절에서 분석한 큐잉지연의 영향으로 단대단 지연이 450msec 이상으로 나타나고 MOS 값은 1.1까지 감소되었다.

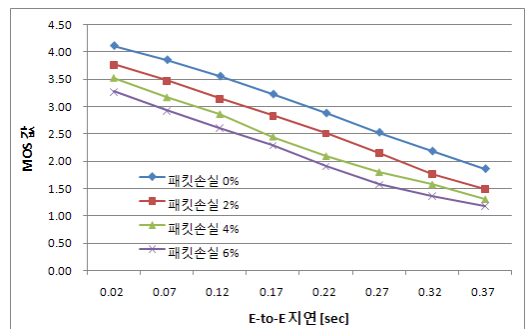


그림 5. 백본망 지연과 패킷손실율에 따른 MN-1에서의 MOS값 변동 (call 수 = 5)

Fig. 5 MOS value of MN-1 according to the delay and packet loss of backbone network (number of call = 0)

### 3.3 G.729a 코덱 사용시 용량 분석

G.729a 코덱의 음성 코딩속도는 8Kbps이며 목음구간과 유음구간을 검출하여 처리하는 VAD (Voice Activity Detection) 기능이 있다.

그림 6에는 G.711 및 G.729a 코덱을 적용했을 때의 AP내 call 수에 따른 MOS값의 변동을 나타내고 있다. 백본망 지연과 백본망 패킷손실율은 모두 0이며 시뮬레이션이 시작된지 150초 후에 측정된 값이다. 그러나 측정된 MOS값은 호의 지속시간 동안 계속 유지됨을 그림 3에서와 같이 확인되었다.

G.729a를 사용하는 경우 VAD를 적용하지 않았을 때 최대 call 12개 까지 동시통화가 가능하며 G.711 코덱 사용시의 5개에 비해 두 배 이상의 용량증대가 가능하다. 통화품질은 MOS값이 3.4 정도로 TTA 품질기준 medium에는 약간 못미치나 충분히 acceptable한 수준이다.

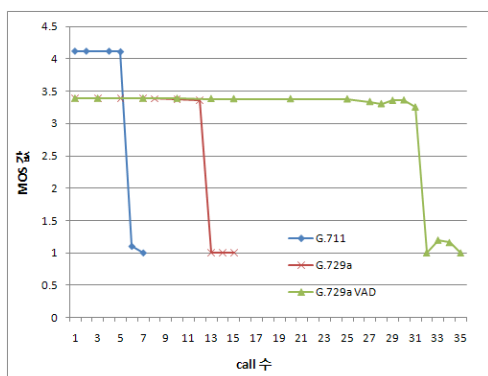


그림 6. 음성코덱 종류에 따른 최대수용가능 call의 수 (at t=150초, 백본 지연 = 백본 패킷손실율 = 0)

Fig. 6 Max. number of acceptable calls according to voice codec (at t=150sec, backbone delay = backbone packet loss =0)

G.729a에서 VAD를 적용할 경우에는 최대 수용 call 수는 순간적으로 31개로 측정되었는데 이때의 MOS 값은 그림 7에 보는 바와 같이 call 수가 늘어남에 따라 시간대별 변동폭이 커짐을 확인하였다. 변동의 원인은 음성트래픽이 랜덤하게 발생되기 때문이고 이 경우 최대수용가능 call 수를 결정하기 위한 기준은 나와있지 않으나 27~28 call 정도는 acceptable 품질을 유지하면서 수용 가능한 것으로 분석된다.

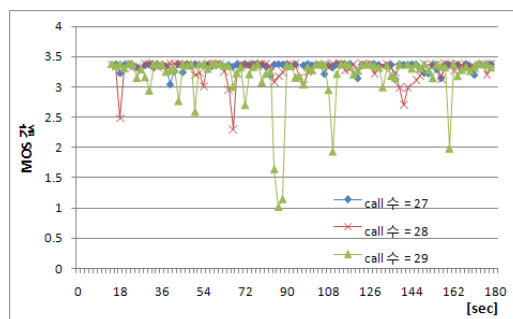


그림 7. G.729a VAD 적용시 call 수에 따른 MOS 변동 (백본 지연 = 백본 패킷손실율 = 0)

Fig. 7 MOS value according to the number of calls when G.729a with VAD is used

### 3.4 결과 분석

하나의 AP내 수용 가능한 VoIP 용량 분석에 관한 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 품질기준 MOS 2.5이상을 만족하면서 수용 가능한 최대 call의 수는 G.711의 경우 5개이나 G.729a의 경우 12개, G.729a에서 VAD를 적용할 경우 27~28개 까지 늘어난다.

둘째, 최대허용 call수를 초과하면 통화품질이 급격히 감소하는데 그 원인은 AP내 하향링크에서 발생하는 AP 내부 큐잉지연과 이에 따른 버퍼 오버플로우이다.

셋째, 백본망의 영향이 없을 때는 WiFi 영역에서 통화품질이 떨어지는 상황에서도 유선망 VOIP 단말기에서는 품질저하가 일어나지 않는다. 즉, AP의 상향링크에서는 문제가 발생하지 않는다.

네째, 백본망에서의 지연이나 패킷손실은 WiFi 측과 유선망의 VoIP 단말기에 동시에 품질저하를 초래한다.

## IV. 결론

본 연구에서는 WiFi를 통한 VoIP 용량을 OPNET 모델러를 이용한 컴퓨터 시뮬레이션으로 분석하였다.

무선 구간은 11Mbps급의 IEEE 802.11b 표준을 사용하였으며 이동단말은 통화 종료시까지 동일 AP내에서 머무는 것으로 가정하고 MAC의 옵션은 채택하지 않았다. 유선구간은 Fast Ethernet과 DS3급으로 전송되는 전형적인 인터넷으로 설정하였다.

분석결과 음성코덱으로 64Kbps급의 G.711을 사용하는 경우 최대 5개, 8Kbps의 G.729인 경우 12개, G.729에서 묵음구간 처리시 27~28개까지 VoIP 호가 품질기준 “MOS값 2.5이상”을 만족하였다. Call의 수가 더 늘어나면 WiFi측 VoIP 단말기의 MOS가 갑자기 떨어지는데 AP내 다운링크에서 발생하는 큐잉 지연과 오버플로우가 원인으로 밝혀졌다. 이는 스마트폰을 이용한 VoIP 통화가 늘어나면서 임계상황이 되면 AP내 모든 호에 갑작스런 품질저하가 발생할 수 있음을 의미한다. 백본망의 지연이나 패킷손실은 WiFi측과 유선망측 단말기에서 동시에 품질이 저하되었다.

54Mbps급의 IEEE 802.11g를 사용하는 경우 허용 call수는 증가될 것이지만 이때도 AP내 다운링크 측의 큐잉지연이 계속 문제가 될 것이다. 큐잉지연과 이에 따르는 오버플로우 문제를 해결하는 방안은 AP의 매체접근 우선순위를 높이거나 AP에서 하향링크로 한번에 여러개의 패킷 전송을 허용하는 것을 생각할 수 있는데 이는 향후의 연구과제이다.

### 참고 문헌

- [1] TTA.KO-01.0148, “모바일 인터넷전화 통화품질 기준”, 한국정보통신기술협회, 2009. 12. 22.
- [2] 김영동, “대규모 MANET에서 VoIP 트래픽의 중단간 성능”, 한국전자통신학회논문지, 6권, 1호, pp.49-54, 2011.
- [3] 김영동, “DDOS 침해가 있는 MANET에서 VoIP 트래픽 성능”, 한국전자통신학회 논문지, 6권, 4호, pp.493-498, 2011.
- [4] 김범준, “소프트웨어 기반 모바일 VoIP 서비스 품질 측정”, 한국전자통신학회논문지, 6권, 1호, pp.55-60, 2011.
- [5] <http://www.androidpub.com/1062673>
- [6] “WLAN 802.11n 표준화 동향”, 한국전파진흥원, 2007.5.
- [7] 한기준, “차세대 초고속망 통합을 위한 차세대 WLAN 기술 표준화동향 조사연구”, 정보통신연구진흥원, 2002.12.
- [8] 정영식, 김유진, 허재두, “IEEE 802.11e 무선 MAC 기술 및 표준화 동향”, 전자통신동향분석, 22권, 4호, pp.156-168, 2007.
- [9] ANSI/IEEE Std 802.11, “Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications 1999 Edition (R2003)”

- [10] 김철, 신상현, OPNET 기초다지기, 홍릉과학출판사, 2008.
- [11] ITU-T, “The E-Model, A Computational Model for Use in Transmission Planning, ITU-T Recommendation”, G.107, Dec. 1998.

### 저자소개



#### 최대우(Dae-Woo Choi)

1981년 경북대학교 전자공학과 공학사  
 1983년 경북대학교 전자공학과 공학석사

1997년 KAIST 전기및전자공학과 공학박사  
 1983.3~1999.2 ETRI 교환전송기술연구소 선임연구원  
 1999.3~현재 동명대학교 전자공학과, 부교수  
 ※ 관심분야 : TCP/IP, 통신프로토콜, 센서네트워크, 통신망