

패킷 중요도 결정에 의한 VoIP 통화 품질 향상 기술

Improving Speech Quality of VoIP by Packet Prioritization

윤 제 열*, 박 호 중*
(Jae-Yul Yoon*, Hochong Park*)

*광운대학교 전자공학과
(접수일자: 2010년 4월 7일; 채택일자: 2010년 5월 18일)

VoIP 시스템의 통화 품질은 패킷의 전송 손실에 의하여 크게 저하되며, 각 패킷의 손실에 의한 음질 저하 정도는 해당 패킷의 특성에 따라 결정된다. 따라서 각 패킷 손실에 의한 음질 저하를 미리 분석하여 전송 과정에서 손실되는 패킷을 선택적으로 조정하면 VoIP 통화 품질을 향상시킬 수 있다. 본 논문에서는 DS 기반의 네트워크를 사용하여 VoIP에서 각 패킷에 전송 우선순위를 할당하여 통화 품질을 향상시키는 구조를 제안하고, 이를 위한 패킷 중요도 결정 방법을 제안한다. Gilbert 모델에 따른 패킷 손실 환경에서 제안한 방법의 성능을 측정하였으며, 객관적 음질 평가와 주관적 음질 평가를 통하여 VoIP 통화 품질이 향상되는 것을 확인하였다.

핵심용어: VoIP, 패킷 손실, DiffServ, 패킷 중요도, 음성 부호화기

투고분야: 음성처리 분야 (2.1)

In VoIP system, the speech quality is seriously degraded due to packet loss, and the degree of degradation by each packet loss depends on the characteristics of the corresponding packet. Therefore, it is possible to improve the speech quality of VoIP by selectively controlling the packet to be lost during transmission based on the expected degradation by the loss of each packet. In this paper, a new scheme to improve speech quality of DiffServ-based VoIP by assigning priority to each packet is proposed, and a method to determine the priority of each packet is developed. The performance of proposed method was measured in packet loss environment based on Gilbert model, and it was verified both objectively and subjectively that the speech quality is improved by the proposed method.

Keywords: VoIP, Packet Loss, DiffServ, Packet Prioritization, Speech Codec

ASK subject classification: Speech Signal Processing (2.1)

1. 서론

최근 통신 네트워크가 IP (internet protocol) 기반으로 통합됨에 따라 IP 망을 이용한 음성 통신인 VoIP (voice over IP)의 사용자가 증가하고 있으며, 향후 PSTN (public switched telephone network) 기반의 음성 통신을 대체할 것으로 예상된다. 음성 통신 서비스의 기본 요구 사항은 고품질의 통화 음질이며, 실시간 음성 전송과 짧은 전송 지연이 동시에 보장되어야 한다. 그러나 IP 망은 근본적으로 지연된 실시간 정보 전송을 보장하지 못하는 구조이므로 VoIP에서는 음성 패킷 (packet)의 전송 손실이 발생하고 이로 인하여 통화 품질이 크게 저하된다.

IP 기반 음성 통신에서 패킷 손실에 의한 음질 저하를

해결하기 위하여 음성 부호화기에서 PLC (packet loss concealment) 기법을 사용하고 있다 [1-3]. 일반적인 PLC 방법은 패킷이 손실되면 과거의 정상 패킷을 기반으로 손실된 패킷을 복원하여 사용한다. 따라서 손실된 패킷이 이전의 정상 패킷과 유사하면 패킷 손실에 의한 음질 저하는 거의 발생하지 않고, 반면 손실된 패킷이 이전의 정상 패킷과 매우 다른 특성을 가지면 큰 음질 저하가 발생한다. 즉, PLC 방법은 손실된 패킷의 특성에 따라 복원 성능에 큰 차이를 가지며, 동일한 패킷 손실률을 가지더라도 어느 패킷이 손실되는가에 따라 최종 통화 품질은 크게 변한다. 따라서 각 패킷 손실에 의한 음질 저하를 미리 분석하여 전송 과정에서 손실되는 패킷을 선택적으로 조정하면 VoIP 통화 품질을 향상시킬 수 있다.

전송단의 QoS (quality of service) 모델은 크게 세 가

지로 나눌 수가 있다. BeS (best-effort service)는 서비스에 대한 품질은 보장 하지 않고 최단 경로 라우팅을 통해 패킷을 전송한다. IS (integrated service)는 트래픽이 지나가는 모든 경로에 RSVP (reservation protocol)로 자원 예약을 수행하여 가장 완벽한 QoS를 보장 할 수 있지만 라우터의 자원소모가 많고 구현하기에 어렵다는 단점이 있다. DS (differentiated services)은 패킷을 종류별로 구분하고 패킷 종류에 따라 선택적으로 패킷 전송을 수행 한다 [4-5].

본 논문에서는 DS 기반의 네트워크를 사용하는 다중 채널 VoIP에서 각 패킷에 전송 우선순위를 할당하여 통화 품질을 향상시키는 구조를 제안하고, 패킷 중요도를 결정하는 방법을 개발한다. 제안 방법의 핵심 개념은 각 패킷이 손실될 경우에 수신단의 PLC 동작에 의하여 발생하는 품질 저하 정도를 분석하여 각 패킷의 중요도를 결정하고, 그에 따라 DS 기반 네트워크의 출력 큐에서 패킷을 우선순위에 따라 전송하는 것이다. 제안 방법을 사용하면 평균 패킷 손실률은 유지한 상태에서 중요도가 높은 패킷의 손실률이 중요도가 낮은 패킷의 손실률보다 적어지므로 VoIP 통화 품질이 향상된다. 또한, 제안하는 중요도 판정 동작은 복호화 및 재부호화 과정 없이 패킷 영역에서 진행되어 매우 적은 계산량을 가지며, 라우터의 모든 채널에 간단히 적용하여 통화 품질 향상을 얻을 수 있다.

본 논문에서는 VoIP의 기본 음성 부호화기인 G.729를 기준으로 중요도 결정 방법을 설계한다 [1]. EVRC, AMR 등을 포함하여 모든 CELP (code-excited linear prediction) 기반의 음성 부호화기는 G.729와 동등한 음성 파라미터를 사용하고 매우 유사한 PLC를 사용하므로 본 논문에서 제안하는 방법을 다른 CELP 부호화기에 쉽게 적용할 수 있다 [6-7].

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 G.729를 기준으로 각 파라미터를 분석하여 패킷의 중요도를 결정하여 우선순위를 정하는 방법을 설명하고, 제안한 알고리즘을 IP 망에 적용하는 방법을 설명한다. 3장에서는 Gilbert 모델에 따른 패킷 손실 환경과 성능 평가 환경을 설명하고, 제안한 통화 품질 향상 방법의 성능을 객관적 평가와 주관적 청취 평가를 통하여 측정된 결과를 보여 준다.

II. 제안하는 패킷 중요도 결정 방법

2.1. 음성 파라미터 분석

(a) LPC (linear predictive coding) 파라미터

LPC 파라미터는 주파수 포락선 정보를 포함하고 있으므로 음질에 미치는 영향이 매우 크다. PLC는 이전 정상 패킷의 LPC 파라미터를 기반으로 현재 LPC 파라미터를 복원하므로 현재 프레임과 이전 프레임의 LPC 파라미터 차이에 따라 패킷 손실에 의한 음질 저하량이 결정되고, 따라서 LPC 파라미터 변화량이 패킷 중요도를 결정하는데 중요한 요소가 된다.

일반적으로 두 LPC 파라미터의 차이는 LPC 파라미터가 정의하는 두 스펙트럼의 차이로 정의한다. 그러나 G.729의 LPC 파라미터는 LSP (line spectrum pair) 형태로 전송되므로 스펙트럼 차이를 구하기 위하여 LSP를 LPC로 변환하고 다시 스펙트럼을 구하는 과정이 필요하여 많은 계산량이 요구된다. 본 논문에서는 보다 간단하게 두 패킷의 LPC 파라미터 차이를 측정하기 위하여 LSP 값을 직접 이용하는 방법을 제안한다.

음성 품질에 가장 큰 영향을 미치는 LPC 요소는 포먼트 (formant) 주파수이므로 LSP 값을 이용하여 대략적인 포먼트 위치를 추정하고, 특히 가장 큰 포먼트 주파수 위치의 변화를 분석하여 최종 LPC 차이를 계산한다. 현재 패킷의 LSP 값을 q_i 라 하고, 만일 해당 q_i 가 손실될 경우에 PLC 동작으로 복원되는 LSP 값을 구하고 이를 \hat{q}_i 라 한다. 다음, 식 (1)에 따라 q_i 와 \hat{q}_i 를 정규화 주파수 ω_i 와 $\hat{\omega}_i$ 로 각각 변환하고, 식 (2)에 따라 가중치 W_i 와 \hat{W}_i 를 구한다.

$$\omega_i = \arccos(q_i), \quad i=1, \dots, 10 \quad (1)$$

$$W_i = \begin{cases} 1.0 & , \text{ if } |1 - \omega_{i+1} + \omega_{i-1}| < 0 \\ 10(1 - \omega_{i+1} + \omega_{i-1})^2 + 1 & , \text{ otherwise} \end{cases} \quad i=1, 2, \dots, 10 \quad (2)$$

이 때, ω_0 와 ω_{11} 은 각각 0.04π 와 0.92π 로 한다. W_i 와 \hat{W}_i 는 해당 LSP 값에 대한 대략적인 주파수 포락선 정보를 제공하므로, 식 (3)에 따라 주파수 포락선 차이를 대략적으로 구할 수 있다.

$$\Delta envelope = \sum_{i=1}^{10} |W_i - \hat{W}_i| \quad (3)$$

또한, 가장 큰 포먼트 주파수 영역의 왜곡이 음질 저하에 큰 영향을 미치므로 제한하는 방법에서는 이것의 영향을 추가적으로 반영하기 위하여 가장 큰 가중치 값 차이인 $\Delta max_formant$ 를 식 (4)와 같이 정의하고, 식 (5)에 따라 최종적으로 두 패킷의 LPC의 차이 ΔLPC 를 정의한다.

$$\Delta max_formant = |\argmax_i\{W_i\} - \argmax_i\{\hat{W}_i\}| \quad (4)$$

$$\Delta LPC = \Delta max_formant \times 5 - \Delta envelope \quad (5)$$

그림 1은 음성이 시작되는 영역에 대한 ΔLPC 의 예를 보여준다. 안정적인 구간과 천이 구간에서 ΔLPC 의 뚜렷한 차이가 나타나는 것을 확인할 수 있다.

(b) 피치 지연

G.729의 PLC는 자연스러운 피치 변화를 위하여 이전 패킷의 피치 지연값을 1 증가시켜 손실된 패킷의 피치 지연값으로 사용한다. 따라서 이웃 프레임간의 피치 변화가 심하지 않는 구간은 PLC가 복구한 피치 지연값을 대신 사용하여도 되지만, 피치 지연값이 크게 변하는 구간에서는 PLC가 복구한 피치 지연값을 사용하면 심각한 신호 왜곡이 발생한다.

따라서, 복원된 피치 지연값과 실제 피치 지연값의 차이가 피치 지연값의 중요도를 결정하는 요인이 된다. G.729에서는 프레임을 2개의 부프레임으로 분할하고, 각 부프레임별로 피치 지연값을 할당한다. 각 부프레임의 피치 지연값을 \hat{T}_0, \hat{T}_1 이라 하고, PLC에 의하여 복원

된 피치 지연값을 \tilde{T}_0, \tilde{T}_1 이라 할 때, 본 논문에서는 두 피치 지연의 차이 $\Delta PITCH$ 를 식 (6)에 따라 정의한다.

$$\Delta PITCH = (|T_0 - \tilde{T}_0| + |T_1 - \tilde{T}_1|) \times 0.5 \quad (6)$$

그림 2는 천이 구간과 안정적 유성음 구간에서 $\Delta PITCH$ 의 예를 보여준다. 유성음 구간에서는 $\Delta PITCH$ 이 적고, 천이구간에서는 값이 큰 것을 볼 수 있다.

(c) 피치 이득과 코드북 이득

G.729의 PLC는 이전 정상 패킷의 피치 이득값과 코드북 이득값을 각각 0.9, 0.98의 비율로 감쇠하여 손실된 패킷의 이득값으로 사용한다. 현 프레임의 피치 이득값과 코드북 이득값을 각각 $g_0^i, g_1^i, \hat{g}_0^i, \hat{g}_1^i$ 라 하고, PLC에 의하여 복원된 피치 이득값과 코드북 이득값을 각각 $\tilde{g}_0^i, \tilde{g}_1^i, \hat{\tilde{g}}_0^i, \hat{\tilde{g}}_1^i$ 라 한다. 여기서, 아래 첨자는 각 프레임 내의 부프레임 인덱스이다. 이득값의 변화가 패킷의 중요도를 결정하는 요인이므로, 본 논문에서는 이득값의 변화량 $\Delta GAIN$ 을 식 (7)에 따라 정의한다.

$$\Delta GAIN = (|\hat{g}_0^i - \tilde{g}_0^i| + |g_1^i - \hat{g}_1^i| + |\hat{g}_0^i - \tilde{g}_0^i| + |\hat{g}_1^i - \tilde{g}_1^i|) \times 0.25 \quad (7)$$

또한 복음 구간을 간단히 판별하기 위하여 현재 피치 이득값을 모두 합하여 식 (8)에 따라 $VOICE_GAIN$ 을 정의 한다.

$$VOICE_GAIN = (g_0^i + g_1^i + \hat{g}_0^i + \hat{g}_1^i) \times 0.25 \quad (8)$$

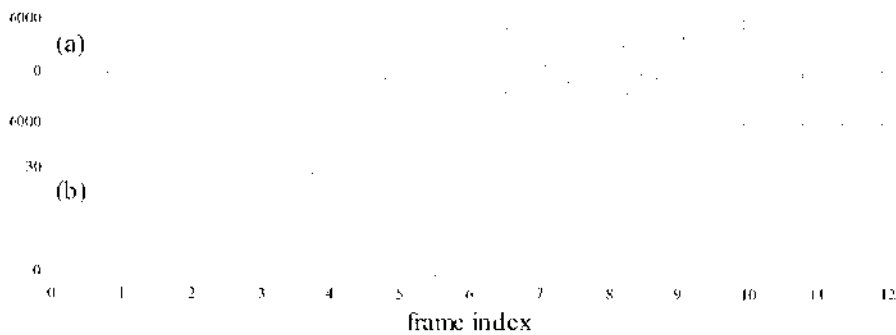


그림 1. LPC 변화량의 예. (a) 음성 파형. (b) LPC 변화량
Fig. 1. Example of LPC difference. (a) Speech waveform. (b) LPC difference.

그림 3은 음성 특성에 따른 $\Delta GAIN$ 값의 예를 보여주며, 파형의 시간축 에너지 변화를 정확하게 표현하는 것을 볼 수 있다.

2.2. 패킷 우선순위 결정

각 프레임별 패킷의 중요도는 각 패킷의 파라미터에 대하여 앞에서 정의한 값들을 사용하여 결정한다. 먼저 $VOICE_GAIN$ 에 따라 묵음 패킷을 선별하고, 묵음 패킷에는 가장 낮은 중요도 $PRIORITY=0$ 을 할당한다. 다음, 앞에서 제안한 ΔLPC , $\Delta PITCH$, $\Delta GAIN$ 을 사용하여 식 (9)에 따라 최종 $PRIORITY$ 값을 결정한다.

$$PRIORITY = \Delta LPC + \Delta PITCH + \Delta GAIN \quad (9)$$

다중 채널 VoIP를 위한 DS에서 각 프레임마다 VoIP 채널 수 만큼의 패킷을 전송해야 하고, 식 (9)에 따라 각 채널 패킷의 $PRIORITY$ 을 구하고, $PRIORITY$ 순으로 채널 패킷을 정렬하여 $PRIORITY$ 이 높은 채널의 패킷에 높은 우선순위를 할당한다.

2.3. 제안한 방법의 IP 네트워크 적용 구조

그림 4는 제안하는 방법을 DS 네트워크에 적용한 구조를 나타낸다. 다중 채널 (그림에서 5 채널)의 VoIP에서, 각 프레임마다 5개의 부호화된 패킷이 DS 네트워크에 입력되면 에지 (edge) 라우터에서 제안하는 중요도 결정 방법에 따라 각 채널 패킷의 중요도를 결정하여 우선순위를 판별하여 패킷에 마킹을 한다. 만일, 제안하는 방법이 적용되지 않으면 모든 채널의 패킷은 동일한 우선순위를 가진다. 코어 (core) 라우터는 네트워크 혼잡이 발생할 때 낮은 우선순위의 패킷을 먼저 손실시킴으로써 통화 품질 관점에서 중요한 패킷을 손실 없이 전달하여 음질을 향상시킬 수 있다. 본 예에서는 Ch2와 Ch4의 패킷 중요도가 낮아 이 두 패킷이 손실되는 경우를 보여주며, 중요도가 낮은 패킷이 손실되므로 Ch2와 Ch4의 통화 품질은 패킷 손실에도 불구하고 크게 저하되지 않는다. 만일 제안한 방법이 적용되지 않으면 입력 순서에 따라 패킷을 전송하므로 패킷의 특성과 무관하게 무작위로 패킷 손실이 발생한다. 이 경우에, Ch1, Ch3, 또는 Ch5의 패킷이 손실 될 수 있으며, 중요도가 낮은 Ch2 또는 Ch4의 패킷

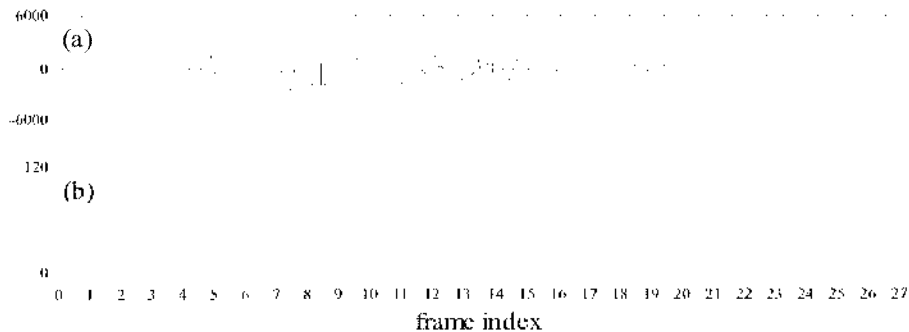


그림 2. 피치 지연 변화량의 예. (a) 음성 파형. (b) 피치 지연 변화량
Fig. 2. Example of pitch delay difference. (a) Speech waveform. (b) Pitch delay difference.

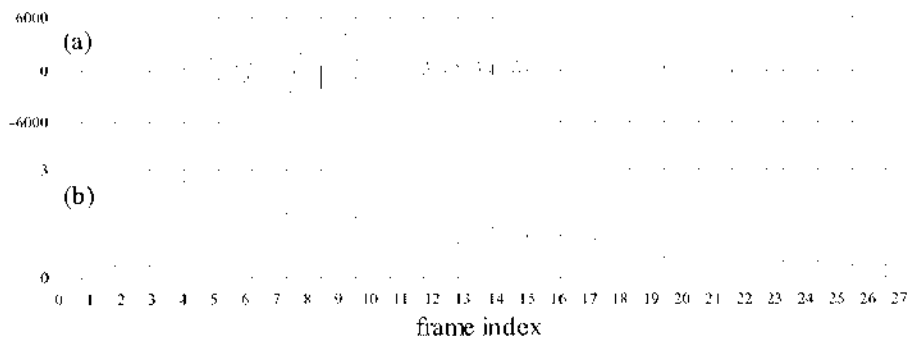


그림 3. 이득값 변화량의 예. (a) 음성 파형. (b) 이득값 변화량
Fig. 3. Example of gain difference. (a) Speech waveform. (b) Gain difference.

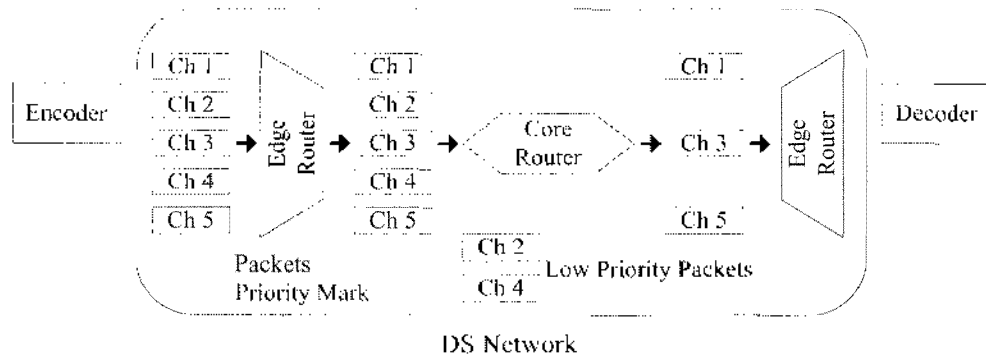


그림 4. 제안한 방법을 DS 네트워크에 적용한 구조
 Fig. 4. DS network structure with the proposed method.

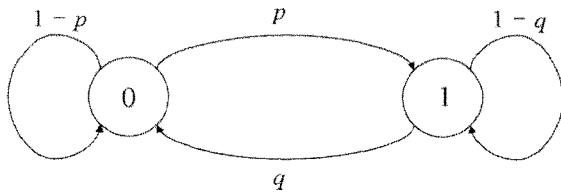


그림 5. Gilbert 모델의 상태 천이도
 Fig. 5. State diagram of Gilbert model.

이 손실될 경우에 비하여 해당 채널의 통화 품질이 저하된다.

이와 같은 과정으로 각 프레임마다 모든 채널의 패킷 중요도를 결정하여 중요한 패킷을 우선적으로 전송한다. 각 프레임에서 중요한 패킷에 해당하는 채널은 부작위로 분포하므로 손실되는 패킷은 각 채널별로 균등하게 나타나고, 각 채널별로 동일한 패킷 손실률을 유지하면서 중요도가 낮은 패킷만 손실되는 효과를 얻는다. 따라서 전체 네트워크의 평균 패킷 손실률은 변하지 않지만 VoIP 시스템이 제공하는 모든 채널의 통화 품질이 향상된다.

III. 성능 평가

3.1. 성능 평가 환경

IP 네트워크에서 트래픽이 증가하여 패킷 손실이 발생하는데, 패킷 손실은 주어진 손실률에 따라 완전히 독립적으로 발생하지 않고 이전 상태에 따라 연속적으로 발생하는 손실을 포함한다. IP에서의 패킷 손실 분포는 낮은 차수의 Markov 체인인 Gilbert 모델을 사용하여 나타내고, Gilbert 모델의 천이도는 그림 5와 같다 [8-9].

'0' 상태는 패킷 손실이 일어나는 상태이고, '1' 상태는 패킷 손실이 일어나지 않는 상태이다. p 는 현재 패킷이 손실 될 때 다음 패킷이 손실되지 않을 조건부 확률을

나타내고, q 는 현재 패킷이 손실되지 않을 때 다음 패킷이 손실될 조건부 확률이다. 이에 따라 임의의 패킷이 손실될 확률은 식 (10)이다.

$$P(Loss) = \frac{q}{q+p} \tag{10}$$

본 논문에서 제안하는 방법의 성능을 평가하기 위하여 Gilbert 모델에 따라 패킷 손실을 발생시키고 각 패킷 손실 환경에서의 품질을 측정한다. 평균 패킷 손실률은 1% ~ 30%를 사용하였다.

성능 평가에 사용된 음성은 남성 4명과 여성 4명이 발성한 신호이며, 각 신호는 3초 길이를 가진다. 각 신호가 8채널 VoIP의 각 채널로 동시에 입력되고, VoIP 네트워크에서 Gilbert 모델에 따라 패킷 손실이 발생한다고 가정한다. 이 때, 제안한 방법을 적용하지 않는 경우의 8채널의 수신 패킷과 제안한 방법을 적용한 경우의 8채널 수신 패킷을 각각 구하고, 각 패킷을 복호화하여 각 채널의 음성 신호를 구하고 품질을 측정하였다. 음성의 품질 측정은 ITU-T P.862 PESQ에 따른 객관적 평가와 CMOS 기반의 주관적 청취 평가를 동시에 진행하였다 [10-11].

3.2. 성능 평가 결과

그림 6은 PESQ로 측정된 성능 결과를 보여 준다. 8채널 VoIP 시스템의 종합 품질을 측정하기 위하여 8채널 출력 신호의 PESQ 평균값을 보여준다. 평균 패킷 손실률이 1%이면 패킷 손실이 거의 발생하지 않아 중요도 할당의 역할이 작고, 제안한 방법에 의한 성능 향상이 크게 나타나지 않는다. 그러나 평균 패킷 손실률 3% 이상에서는 중요도 할당의 역할이 뚜렷이 나타나고, 중요도에 따라 선별적으로 손실을 발생시켜 PESQ 0.1 ~ 0.4 정도에

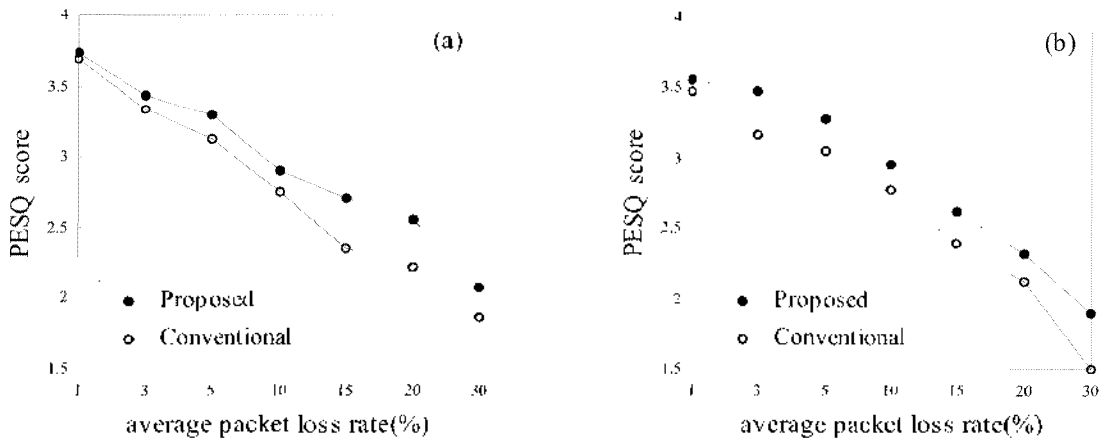


그림 6. PESQ로 측정된 제안한 방법의 성능. (a) 남성 음성, (b) 여성 음성
 Fig. 6. Objective performance of the proposed method measured in terms of PESQ. (a) Male speech. (b) Female speech.

표 1. 주관적 청취 평가 기준
 Table 1. Subjective evaluation scale.

Quality	Score	Quality	Score
Much Better	3	Slightly Worse	-1
Better	2	Worse	-2
Slightly Better	1	Much Worse	-3
About the Same	0		

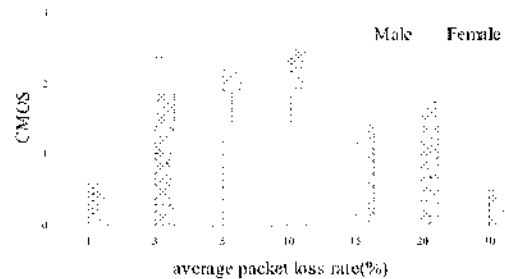


그림 7. 주관적 청취 평가로 측정된 제안한 방법의 성능
 Fig. 7. Subjective performance of the proposed method measured in terms of comparison score.

해당하는 품질 향상을 얻는 것을 확인할 수 있다.

주관적 음성 평가는 표 1의 기준에 따라 CMOS 기반으로 측정하였다 [11]. 동일한 패킷 손실률에 대하여 제안한 방법을 적용한 시스템의 출력 신호와 적용하지 않은 시스템의 출력 신호를 무작위로 청취하고 두 신호의 상대적 품질을 표 1의 기준에 따라 평가하며, 0보다 크면 제안한 방법을 적용한 음성의 품질이 더 우수한 것을 나타낸다. 주관적 평가에는 총 9명의 평가자가 참여하였다.

그런 다음 각 평균 패킷 손실률에서 주관적 청취 평가 결과를 보여준다. 모든 패킷 손실률에서 CMOS 0.5 이상의 성능 향상을 얻는 것을 확인하였고, 남성 화자의 경우가 여성 화자에 비하여 더 많은 성능 향상을 얻는 것을 알 수 있다.

이상의 객관적 평가와 주관적 평가로부터 제안하는 방법을 적용한 VoIP 시스템은 기존의 시스템에 비하여 우수한 통화 품질을 제공하는 것을 확인하였다. 특히, 동일한 평균 패킷 손실률에 대하여 간단한 중요도 결정 모듈만을 추가하여 매우 많은 품질 향상을 제공할 수 있어 간단한 모듈 추가를 통하여 VoIP 사용자의 만족도를 크게 향상시키고 VoIP 서비스의 경쟁력을 향상시킬 수 있을 것으로 예상된다.

IV. 결론

본 논문에서는 DS 기반 네트워크를 사용하는 VoIP의 통화 품질을 향상시키기 위하여 패킷의 우선순위에 따라 패킷을 전송하는 구조를 제안하고 이를 위하여 패킷의 중요도를 정하고 패킷의 우선순위를 결정하는 방법을 제안하였다. 기존 시스템에서는 패킷의 중요도에 상관없이 패킷의 도착 순서에 따라 손실 여부가 결정된다. 그러나 각 패킷이 손실될 때 음질에 미치는 영향에 차이가 있으므로 패킷의 중요도를 결정하고 이에 따른 우선순위를 기반으로 패킷을 전송함으로써 중요한 패킷의 손실을 방지하여 VoIP 통화 품질을 향상시킬 수 있다. 본 논문에서는 각 패킷 손실에 의한 영향을 LPC, 피치 지연, 피치 및 코드북 이득 파라미터를 기반으로 분석하여 패킷 중요도를 결정하는 방법을 제안하였다. 제안한 방법을 DS 네트워크에 적용하여 기존 VoIP에 비하여 통화 품질이 크게 향상되는 것을 객관적 평가와 주관적 평가를 통하여 검증하였다.

감사의 글

본 연구는 2009년 광운대학교 교내연구비 지원으로 이루어졌습니다.

참고 문헌

1. ITU-T G.729, *Coding of Speech at 8 kbit/s CS-ACELP Speech Coder*, 1996.
2. M. K. Lee, S. K. Jung, H. G. Kang, Y. C. Park, D. H. Youn, "A Packet-Loss Concealment Algorithm Based on Time-Scale Modification for CELP-type Speech Coders," *Proc. ICASSP*, 2003.
3. C. A. Rodbro, M. N. Murthi, S. V. Andersen, S. H. Jensen, "Hidden Markov model-based packet loss concealment for voice over IP," *IEEE Trans. on Audio, Speech and Language Processing*, vol. 14, no. 5, 2006.
4. S. Blake, D. Black, M. Carlson, E. Davies, Z. Wang, W. Weiss, "An Architecture for Differentiated Services," *RFC2475*, Dec, 1998.
5. L. Marnatas, V. Isaooussidis, "Differentiating Services with Non-Congestive Queuing (NCQ)," *IEEE Trans. Computers*, vol. 54, no. 1, May, 2009.
6. TIA/EIA IS-127, *Enhanced variable rate codec (EVRC), speech service option 3 for wideband spread spectrum digital systems*, 1997.
7. 3GPP TS 26.090, *AMR Speech Codec : Transcoding Functions*, 2002.
8. J. -C. Bolot, S. Fosse-Parisis, D. Towsley, "Adaptive FEC-based Error Control for Internet Telephony," *IEEE INFOCOM*, vol. 3, 1999.
9. N. Yoma, C. Busso, and I. Soto, "Packet-loss modelling in IP networks with state-duration constraints," *IEE Proc. Communications*, vol. 152, no. 1, Feb, 2005.
10. ITU-T REC. P.862, *Perceptual evaluation of speech quality (PESQ): An objective method for end-to-end speech quality assessment of narrow-band telephone networks and speech codecs*, 2000.
11. ITU-T P.800 *Methods for subjective determination of transmission quality, Appendix E*, 1996.

저자 약력

•윤 제 열 (Jae-Yul Yoon)

2007년 2월 : 광운대학교 전자공학과 (공학사)
 2007년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전자공학과 박사과정
 *주관심 분야 : 음성/오디오 신호처리, 통신 신호처리

•박 호 종 (Hochong Park)

1986년 2월 : 서울대학교 전자공학사 (공학사)
 1987년 12월 : Univ. of Wisconsin-Madison, 전자공학과 (M.S.)
 1993년 5월 : Univ. of Wisconsin-Madison, 전자공학과 (Ph.D.)
 1993년 9월 ~ 1997년 8월 : 삼성전자 선임연구원
 1997년 9월 ~ 현재 : 광운대학교 전자공학과 교수
 *주관심 분야 : 음성/오디오 신호처리, 통신 신호처리, 영상 신호처리