



PCS용 음성 부호화 기술

이 인 성*, 강 상 원**

(*충북대 공대 전파공학과 교수, **한양대 공대 제어계측공학과 조교수)

1. 서 론

개인통신서비스 (PCS-Personal Communication Service)는 사용자가 휴대단말로 언제, 어디서, 누구와도 통신이 가능하도록 하기 위해 저속을 포함한 고속 이동시에도 지속적인 통신을 제공하는 이동통신 서비스로서, PCS 시스템은 신규로 2 Ghz대 내외에서의 운용주파수를 이용하여 음성을 비롯한 데이터의 고품질, 고용량의 서비스를 제공하며, 단말의 이동성 뿐만 아니라 개인 이동성, 서비스의 다양성 등의 고도화된 서비스를 제공하여야 한다. PCS 시스템에 대한 연구 및 표준화 활동이 현재 선진 각국에서 활발히 진행되고 있으며, 국내에서도 CDMA 다중접속방식을 이용한 개인통신방식의 표준화가 현재 진행 중에 있다.

PCS 시스템이 제공하는 중요한 서비스 중 하나인 고품질의 음성서비스를 위해서는 되도록 적은 전송지연과 무선 채널에러에의 강인함을 가지면서 Toll 음질을 제공할 수 있어야 하며, 할당된 스펙트럼당 사용자 밀도를 의미하는 PCS의 주파수 효율이 음성부호화기의 전송속도와 직접 관련되는 만큼 고품질을 만족하면서 전송비트율이 낮으며, 그리고 전력소모가 적고 크기가 적은 단말기 구현을 위해 알고리즘의 복잡도가 적은 개인통신용 음성 부호화기의 개발이 필수 불가결하다. 이제까지 여러개의 음성 부호화기들이 국제적 혹은 지역적 표준안으로 제안되어져 왔다. 국제적으로 제안된 음성 부호화기로는, 최근 ITU-T로 이름이 바뀐 CCITT에 의해 제안된 64 kbps PCM(G.711), 40, 32, 24, 16 kbps ADPCM (G.726) 및 16 kb/s LD-CELP(G.728) 등이 있다. 지역적 표준안은 주로 디지털 셀룰라용 음성 부호화기에 관한 것으로서, 북미 디지털 셀룰라를 위한 7.9 kbps VSELP (IS-54), 8kbps QCELP(IS-96), 범유럽 디지털 이동 무선시스템을 위한 13 kbps RPE-LTP, 그리고 일본의 디지털 셀룰라를 위한 6.7 kb/s VSELP 등을 들 수 있다. 또한 Half-rate 부호화기에 대한 표준화가 현재 진행중에 있다. 그런데 불행히도 이러한 부호화기들은 저속에서 Toll 음질을 제공하지 못한다. 그래서 최근 국제 통신 표준화기구인 ITU-T의 SG15에서는

PCS와 미래 공중 육상 이동통신 시스템(FPLMITS-Future Public Land Mobile Telecommunication System)에 응용하기 위해, 8 kbps의 전송속도로 유선망에서의 음성품질을 제공하는 Conjugate Structure Algebraic CELP(CS-ACELP)방식을 작년 11월에 제안하였으며, Qualcomm사는 현재 CDMA 디지털 이동통신시스템에서 사용되고 있는 8 kbps QCELP를 음질 측면에서 크게 개선한 13 kbps QCELP의 개발을 완료하였다. 그리고 OKI사는 유선망에 쓰여온 32 kbps ADPCM을 무선채널 환경에 적용할 수 있도록 보완한 Advanced ADPCM (AADPCM) 방식을 제안하였다. 국내에서의 개인통신용 음성 부호화기에 관한 직접적인 연구 및 표준화 활동은 아직 구체적으로 이루어지고 있지 않고 있으며, 업체와 연구소를 중심으로 DSP칩에 근거한 13 kbps QCELP의 구현이 진행중에 있다.

본 논문에서는 개인통신 시스템을 위한 음성 부호화기의 요구사항을 언급하고, 현재 PCS용 음성 부호화 기술로 제안 혹은 개발된 몇몇 주요한 음성 부호화 기술들을 소개하며, 각 주요 성능별 비교를 수행한다.

2. 개인 휴대 통신 시스템(PCS)을 위한 음성 부호화기의 요구사항

개인 휴대 통신 시스템(PCS)을 위한 음성 부호화기의 요구조건들은, 일반적으로 디지털 셀룰라 시스템(DCS)에서 요구되는 요구조건과 비슷하며 최근의 음성 부호화 기술의 발달로 거의 공중통신망(PSTN)에서와 동일한 음질과 전송지연의 감소를 요구하는 것이 크게 다를 뿐이다.

일반적으로 이동통신 시스템용 음성 부호화 방식에서 고려되어야 사항들은 크게 전송률, 음질, 전송지연, 구현 상의 복잡도를 들 수 있는데, 이중에서 공중 주파수의 효율적인 사용을 위해 전송률과 이에 따른 음질이 가장 중요한 요소가 되고 있다. 초기의 보행자 중심의 PCS 시스템(low-tier PCS)에서는 계산량이 적게들며 간단하게 구현할 수 있는 32 kbps ADPCM을 많이 사용하였으나 차량 운행시 음질이 저하하는

표 1. ITU-T 8kbps 음성부호화기 CS-ACELP(G.729)의 성능 요구사항

고려사항	최소요구조건	목표
전송에러 없음시 음질	32kbps ADPCM(G.726) 보다 나쁘지 않아야 함	
BER 0.1%에서 음질 저하	G.726보다 나쁘지 않아야 함	16kbps LDCELP (G.728)과 같아야 함
3%프레임 손실시 음질 저하	0.5 MOS 이내 저하	가능한 적어야 함
알고리즘 지연 총 코덱 지연	16 ms 이내 32 ms 이내	5 ms 이내 10 ms 이내
입력레벨에 따른 음질 저하	G.726보다 나쁘지 않아야 함	가능한 적어야 함
전송본 전송능력	DTMF, CCITT No.5,6,7, CCITT R2,Q.23,Q.35,V.25	
탄뎀 연결시 음질 저하	2개의 코덱연결시 음질 저하는 4개의 G.726의 연결보다 적어야 함	3개의 코덱연결시 음질 저하는 4개의 G.726의 연결보다 적어야 함
구현 방법	고정소수점 구현	
배경 잡음시 음 질	G.726보다 나쁘지 않아야 함	

단점과 고전송률을 사용함으로 전체적 용량이 감소하는 단점을 갖고 있다. 이에 반해 기존의 셀룰라 시스템(DCN)을 개량하여 설계된 high-tier PCS 시스템에서는 기존 DCN의 음성 전송률과 같은 13 kbps나 8 kbps 전송률을 사용하고 있다. 그러나 이러한 방식은 복잡한 부호화 방식으로 인해 계산량이 많이 요구되어 가격이 비싼 DSP 칩을 사용하는 단점이 있으나 반도체 기술의 발달로 앞으로 큰 문제가 되지 않으리라 보며, 최근의 음성 부호화 기술의 발달로 13 kbps나 8 kbps에서 명료한 음질(Toll quality)을 내는 음성 부호화 방법이 많이 발표되는 추세로 보아 PCS 시스템의 전송률은 13 kbps나 8 kbps에서 사용되리라 예견된다.

PCS에서의 음질의 요구조건은 초기 시스템에서는 기존의 DCN과 같은 음질(MOS 3.5 이상)을 요구하였으나 기존의 공중 통신망과의 경쟁성 확보와 다른 PCS 시스템과의 차별성을 유지하기 위해 현재 대부분의 PCS 시스템은 Toll 음질(MOS 4.0 이상)을 요구하고 있다. 또한 여러 주변 잡음이 있는 환경에서의 음질 저하 정도, 무선 채널 에러 발생시 음질 저하 정도, 여러단의 음성 부호화기 연결시 음질 저하 정도, 입력 신호 크기에 따른 음질 저하 정도는 ITU-T 표준 방식(G.726)보다 떨어지지 않음을 요구하고 있다.

또하나의 중요한 요구조건 중의 하나는 음성 부호화에서의 전송지연이다. 저전송률에서 좋은 음질을 내기 위해서는 입력 신호를 지연시켜 음성 특징 파라미터를 추출하는 것이 필수적이다. 일반적으로 전송지연을 증가시킴으로써 음질 개선의 효과도 크다. PCS용 음성부호화기의 전송지연에 대한 ITU-T SG15에서 제안한 최소요구사항은, 알고리즘 지연과 총 코덱 지연이 각각 16ms와 32ms이다. 최근의 ITU-T 표준 방식은(CS-ACELP, G.729) 약 16 ms정도의 알고리즘 지연을 갖고 있다.

마지막으로 고려하여야 할 사항은 음성 부호화 방식의 계

산량이다. 일반적으로 계산량이 증가하면 음질 개선을 이룰 수 있으나 이럴 경우 고가의 DSP칩을 요구하게 되어 가격의 상승을 초래한다. 따라서 음성 부호화 방식은 1개의 DSP칩으로 구현 가능하여야 한다. 현재 대략 40 mips의 성능을 내는 DSP칩이 나와 있으므로 이를 만족하는 계산량이 요구된다.

ITU-T의 G.729(CS-ACELP) 표준안을 채택시 요구된 조건들은 표 1에 나타나 있다. 일반적으로 기존의 ITU-T 음성 부호화 표준 방식보다는 성능이 떨어지지 않아야 하나 전송 지연은 증가함을 알 수 있다. 이러한 요구 조건은, 앞으로 국내의 PCS 시스템의 음성 부호화기 표준채택시 이용해야할 조건들의 방향을 제시하여 준다.

3. PCS용 음성 부호화 방식들

현재 PCS 시스템에서 사용되는 음성 부호화 방식은, 보행자 중심의 Low-tier PCS 시스템에서는 ADPCM 방식이 많이 사용되고 있으며, 차량 전화가 가능한 High-tier PCS 시스템에서는 QCELP, ACELP, RPE-LTP 등 분석/합성(Analysis-by-Synthesis) 방식의 부호화 방식이 사용되고 있다. '95년 11월 국제통신 표준협회(ITU-T)에서는 PCS와 차세대 공중 육상 통신 시스템(FPLMTS)에 주로 적용하기 위한 8 kbps 전송률의 CS-ACELP 음성 부호화 방법을 표준안으로 채택하였다. 본 논문에서는 ADPCM, QCELP, ACELP, CS-ACELP 음성 부호화 방법을 간략하게 소개하고 비교한다.

3.1 32 kbps ADPCM(Adaptive Differential Pulse Code Modulation) 부호화기

CT-2나 DECT, PHS 등의 Low-tier PCS 시스템에서 주로 사용되고 있으며 음성 파라미터를 추출하는데 있어 역방향 적응 방식을 사용하기 때문에 전송 지연이 없고 계산량도 분석/합성 방식의 약 1/10밖에 되지 않아 구현하기 쉽다. 그러나 본래 유선 통신에 사용하기 위해 설계되어졌기 때문에 전송 에러에 음질 저하가 심하다. 또한 높은 전송률을 사용하고 있어 이동통신 시스템 용량의 제한성을 갖고 있다. 따라서 채널 부호화기를 포함하지 않는 보행자 중심의 PCS 시스템에 적합하다. 일본의 OKI사에서 제안한 Wideband CDMA 방식의 PCS 시스템에서는 전송 에러에 대한 음질 저하를 막기 위해 음성 파라미터 적응 방법을 변경하여 사용함으로써 채널 에러에 강인성을 증가 시켰다.

3.2 13 kbps ACELP(Algebraic Code Excited Linear Prediction) 부호화기

TDMA(Time Division Multiple Access) 방식의 PCS 시스템인 PCS1900에서 사용되는 방식으로, 초기의 13 kbps RPE-LTP(Regular Pulse Excited-Long term Prediction)를 대체한 음성 부호화 방법이다. 음질 개선을 위해 Fractional 피치

주기, LSP 파라미터의 벡터 양자화 방법 등의 보다 복잡한 방법들을 사용하였다. 음성 품질은 여러 환경에서 32 kbps ADPCM보다 조금 우수하거나 같은 음질을 보인다. ACELP를 비롯하여 다음에 소개될 QCELP 및 CS-ACELP 방식의 전체적 구조는, 일반적으로 인코딩 과정은 분석/합성 구조(CELP 구조)를 사용하여 LPC(Linear Prediction Coefficient) 파라미터, 피치 파라미터, 여기 신호를 검출하고 이를 전송 코드로 변환하여 전송한다. 분석/합성 구조로 피치 파라미터, 여기신호를 검색함으로써 많은 계산량과 메모리가 요구되며, 이러한 계산량을 줄이기 위해 여러 특수한 구조를 갖는 벡터 양자화 코드북을 사용한다. ACELP에서는 여기 신호 벡터를 간단한 균일 간격의 펄스로 구성하여 여기 신호의 벡터 양자화 과정의 계산량을 줄였다. 전체적으로 ACELP 알고리즘을 수행하기 위해서는 16 mips(million instruction per second)의 계산량이 요구된다. 다음에 소개될 QCELP 알고리즘은 이웃하는 코드 벡터 사이에는 겹쳐지는 구조를 사용함으로써 길쌈과정에서의 계산량을 줄였다. 13 kbps ACELP에서 각 파라미터에 할당된 비트는 표 2에 주어진다. 비교적 여기 신호를 나타내는데 많은 비트를 할당하였으며 LPC에 적은 비트를 할당함을 볼 수 있다. 디코더 단에서는 수신된 음성 파라미터로부터 그림 1과 같은 합성기를 통해 음성이 재생된다. 이러한 구조는 대부분의 합성/분석 방식의 부호화기에 적용되며, 단지 일부 파라미터 종류 및 여기 신호 벡터의 코드북의 구조가 다를 뿐이다.

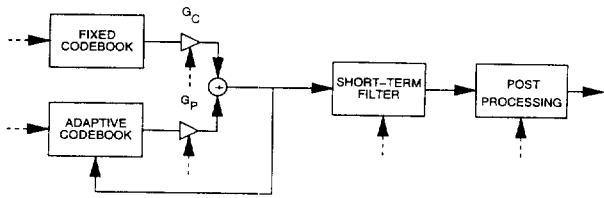


그림 1. CELP 부호화기의 합성모델

표 2. 13 kbps ACELP의 비트 할당

Parameter	Bits per 20 ms frame
LP coefficient	38
LTP lag	30
LTP gain	16
Algebraic codebook gain	20
Algebraic codevector	148
Parity bits	8
Total	260

3.3 13 kbps QCELP 부호화 방식

현재 한국에서 서비스되고 있는 CDMA 디지털 이동통신 시스템은 최대 전송률 8 kbps를 갖는 QCELP 알고리즘을 사

용하고 있다. 그러나 PCS 시스템에서는 Toll 음질을 갖는 최대 13 kbps QCELP 알고리즘이 사용된다. 음성 코더에서의 전송률 증가는 채널 코더에서 전송률을 감소시킴으로써, 전체 전송률은 같게 유지된다. QCELP 알고리즘의 가장 큰 특징은, CDMA 방식의 이동통신 시스템에 적합한 가변 전송률 음성 부호화 방법을 사용한다는 점이다. 넓은 주파수 대역을 여러 사람이 동시에 사용함으로써 통화하지 않는 묵음 부분에서 최대 전송률(13 kbps)대신 1 kbps 전송률을 사용함으로써 다른 사용자에게 신호대 잡음비를 높여주는 효과를 얻을 수 있다. 가변 전송률 방식을 통해, 전체적으로 약 1.7배의 용량 증대를 쉽게 얻을 수 있다. QCELP 방식도 분석/합성 구조를 갖는 부호화 방식으로 ACELP와 비슷한 구조를 가지나, 여기 신호 벡터를 표현하는데 중복된 코드북(Overlapped codebook)을 갖는 것이 큰 차이로 할 수 있다. ACELP에서와 마찬가지로 음질 개선을 위해 Fractional 피치 주기, 벡터 LSP 양자화기

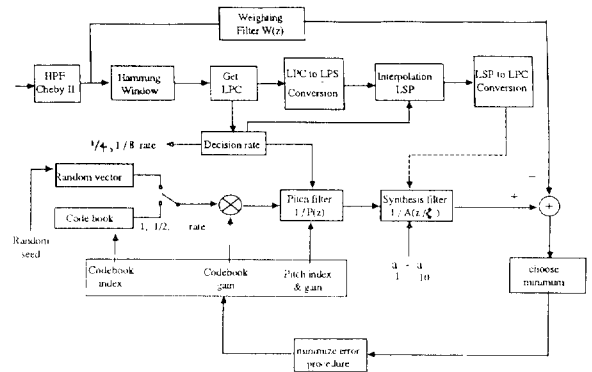


그림 2. 가변 전송률 13 kbps QCELP 부호화기의 인코딩 과정

표 3. 13 kbps 가변 전송률 QCELP의 비트 할당

LPC 프레임 피치 부프레임 코드북 부프레임	<table border="1"> <tr><td colspan="4">32</td></tr> <tr><td>11</td><td>11</td><td>11</td><td>11</td></tr> <tr><td>12</td><td>12</td><td>12</td><td>12</td></tr> </table>	32				11	11	11	11	12	12	12	12	총 264 비트 2 개의 사용하지 않는 비트
32														
11	11	11	11											
12	12	12	12											
전송률 1 킬릿에 대한 비트 할당														
LPC 프레임 피치 부프레임 코드북 부프레임	<table border="1"> <tr><td colspan="4">32</td></tr> <tr><td>11</td><td>11</td><td>11</td><td>11</td></tr> <tr><td>12</td><td>12</td><td>12</td><td>12</td></tr> </table>	32				11	11	11	11	12	12	12	12	총 124비트
32														
11	11	11	11											
12	12	12	12											
전송률 1/2 킬릿에 대한 비트 할당														
LPC 프레임 피치 부프레임 코드북 부프레임	<table border="1"> <tr><td colspan="4">32</td></tr> <tr><td colspan="4">0</td></tr> <tr><td>4</td><td>4</td><td>4</td><td>4</td></tr> </table>	32				0				4	4	4	4	총 52 비트 2 개의 사용하지 않는 비트
32														
0														
4	4	4	4											
전송률 1/4 킬릿에 대한 비트 할당														
LPC 프레임 피치 부프레임 코드북 부프레임	<table border="1"> <tr><td colspan="4">10</td></tr> <tr><td colspan="4">0</td></tr> <tr><td colspan="4">6</td></tr> </table>	10				0				6				총 16 비트 4 개의 사용하지 않는 비트
10														
0														
6														
전송률 1/8 킬릿에 대한 비트 할당														

등 더욱 복잡한 알고리즘을 사용한다. 인코딩 과정은 그림 2에 나타나 있고 각 전송률에 따른 각 파라미터에 대한 할당 비트는 표 3에 나타나 있다.

음질은 13 kbps ACELP와 마찬가지로 Toll 음질을 내고 있고, 주변 잡음과 전송 에러에도 비교적 강한 특징을 나타낸다. 계산량은 기존의 8 kbps QCELP보다 약간 증가하였으며 약 27 mips가 소요된다.

3.4 8 kbps CS-ACELP(Conjugate Structure-Algebraic Code Excited Linear Prediction) 부호화 방식

1995년 11월에 ITU-T에서 8 kbps 음성 부호화 표준으로 결정한 부호화 방식으로 저전송률에서 Toll 음질을 갖는 부호화 방식이다. 아직까지 PCS 시스템에는 적용되지 않았으나 FPLMTS등 차기 이동 통신 시스템에서 많이 채택하리라 예상된다. 전술한 ACELP와 QCELP 방식과는 음성 프레임의 크기가 20 ms(160 샘플)에서 10 ms(80 샘플)로 줄어들며, 전체적 전송 지연은 16 ms로 감소되었다. 프레임 크기의 감소

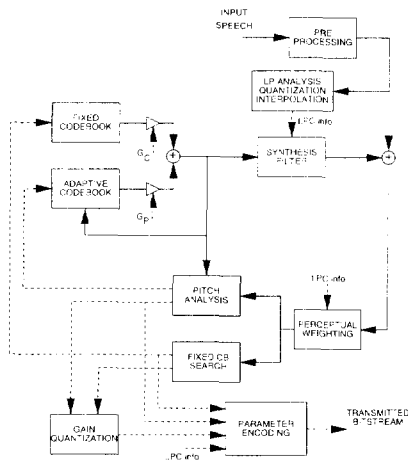


그림 3. 8 kbps CS-ACELP 부호화기의 인코딩 과정

표 4. 8 kbps CS-ACELP의 비트 할당

Parameter	Subframe		Bits per frame
	1	2	
Line Spectrum Pairs			18
Adaptive-codebook delay	8	5	13
Pitch-delay parity	1		1
Fixed-codebook index	13	13	26
Fixed-codebook sigma	4	4	8
Codebook gains(stage 1)	3	3	6
Codebook gains(stage 2)	4	4	8
Total			80

로 인한 LPC 파라미터 예측의 부정확성은 비대칭 윈도우의 사용으로 보완하였다. 전체적 구성도와 비트 할당은 그림 3과 표 4에 나타나 있다. 비교적 여기신호(고정 코드북)에 많은 비트를 할당하였으며, LPC와 파라미터에 적은 비트를 할당하였다. 고정 코드북 비트 증가에 따른 검색시 계산량 증가는 Algebraic 코드 구조를 이용함으로써 줄었다. CS-ACELP 방식의 성능은 앞절에서 제시한 요구 조건을 모두 만족하는 방식으로 Toll quality 이상의 음질을 갖고 있으며 현재 약 29 mips 정도의 계산량이 소요된다.

4. 각 부호화 방식별 기술 비교

앞장에서 설명한 4 종류의 음성 부호화 방식을 포함하여 현재 PCS 시스템에서 사용되는 음성 부호화 방식에 대한 기술 비교는 표 5에 나타나 있다. 일반적으로 나중에 결정된 부호화 방식은 기존의 방식보다 나은 성능을 갖고 있다. 최근에 발표된 부호화 방식들은 Toll 음질을 내고 있으며, 전송률 등을 감안한다면, 현재까지는 1995년 11월 결정된 CS-ACELP

표 5. PCS용 음성 부호화 방식의 기술 비교

	ADPCM	AADPCM	RPE-LTP	ACELP	13kbps QCELP	CS-ACELP (G.729)
전송률 (kbps)	32	32	13	13	Variable (13)	8
부호화 방식	Waveform	Waveform	Hybrid	Hybrid	Hybrid	Hybrid
프레임크기 (msec)	0	5	20	20	20	10
전송지연 (msec)	0	5	20	20	27.5	15
복잡도	1	2	5	10	10	10
적용 시스템	CT-1, DEC, PHS	Wideband CDMA	DCS 1800	PCS 1900	QUALCOMM CDMA	ITU-T 표준안
가변 전송률	가능	가능	가능	가능	포함	가능
음질(MOS) (0%BER)	3.9	3.9	3.5	4.0	4.0	4.0
음질(MOS) (0.1%BER)	3.0	3.5	3.0	3.6	3.6	3.6

방식이 가장 나은 성능을 나타냄을 알 수 있다. 그러나 표준안 결정이 최근에 이루어져 아직까지 PCS 시스템에서 구현한 경우는 없다. 한국의 CDMA 방식의 PCS 시스템의 부호

화 방식으로 사용하기 위해서는 가변 전송률 기능 부가, 지워진 패킷(Erased packet) 수신 등 여러 특수한 상황에서의 처리 루틴이 보완되어야 한다. ADPCM 방식은 가장 간단한 방법이나 고전송률, 전송에러 발생시 음질 저하등으로 인해 앞으로의 이동통신 시스템에서는 많이 사용되지 않으리라 예견되어진다. 무선 멀티미디어 서비스를 비롯한 다양한 종류의 서비스를 음성 통신과 병행하여 사용하기 위해서는 가능한 낮은 전송률을 갖는 음성 부호화 방식에 대한 연구가 더욱 필요하다. 이러한 작업은 이미 ITU-T SG15에서는 무선 화상 전화를 위한 저전송률 음성 부호화 방식 표준 작업이 시작되었고 국내에서도 활성화되어야 하는 연구 분야일 것이다.

5. 결 론

개인통신용 음성 부호화 방식은 PCS시스템에서 유선망 수준의 음성 서비스를 제공하며, 통신 채널용량을 증대시키고, 데이터 통신 등 다양한 서비스를 가능하게 하는 핵심기술로서 매우 중요하다. 특히 Toll 음질을 제공하면서, 8~13kbps 수준에서 동작하는 음성 부호화 방식들이 현재 선진 각국에서 PCS에 응용하기 위해 제안되고 있다. 그리고 북미, 유럽, 일본 등 지역별로 표준화된 PCS방식에 따라, 각기 다른 음성 부호화 방식을 채택할 것으로 예상된다.

현재 국내에서는 음성 부호화 방식에 대한 표준안을 갖고 있지 못하며, 몇몇 연구기관 및 업체들에 의해 기존의 음성 코딩기술을 구현해 본 수준에 머물고 있다. 따라서 해외 선진 각국에 대한 의존도가 높으며, 기술의 종속성을 벗어나지 못

하고 있는 실정이다. PCS시스템의 핵심 기술 중 하나인 음성 부호화기의 기술력 향상을 위해서는 국내의 연구소 및 대학들도 국제 표준화 노력에 적극 동참할 필요가 있으며, PCS용 음성 부호화기를 위한 국내의 독자적인 표준화 위원회의 설립이 시급하다.

참 고 문 헌

- [1] R. Steels, "Speech codecs for personal communications," IEEE Comm. Mag., Vol. 31, No. 1, pp. 76~83, Nov. 1993.
- [2] ETSI/GSM, GSM 06.10, "GSM full-rate transcoding," Tech. Rep. version 3.2, July 1989.
- [3] R. Salami 외 3인, "A toll quality 8 kb/s speech codec for the personal communications system (PCS)," IEEE Trans. Veh. Technol., Vol. 43, No. 3, pp. 808~816, Aug. 1994.
- [4] G. Schroeder, "Standardization process for the proposed ITU-T 8 kb/s speech coding standard," IEEE Speech Coding Workshop, Annapolis, 1995.
- [5] ITU-T Recommendation G.721, "32 kb/s adaptive differential pulse code modulation (ADPCM)," 1988.
- [6] TIA/EIA/IS-96 Interim standard, "Speech service option for wideband spread spectrum digital cellular system," 1994.
- [7] Qualcomm Inc., "High rate speech service option for wideband spread spectrum communications system," Feb. 1995.

저 자 소 개



이인성(李寅誠)

1960년 6월 8일생. 1983년 2월 연세대 공대 전자공학과 졸업. 1985년 2월 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1992년 2월 Texas A&M Univ. 전기공학과 졸업(공학). 1986년 5월-87년 7월 한국통신 연구개발단 전임연구원. 1989년 9월-92년 8월 Texas A&M Univ. 연구조교. 1993년 2월-95년 9월 한국전자통신연구소 이동통신기술연구단 선임연구원. 1995년 10월-현재 충북대 공대 전기전자공학부 조교수. 관심분야 : 음성 및 영상신호 압축, 이동통신, 적응필터.



강상원(姜尙遠)

1958년 3월 20일생. 1980년 한양대 공대 전자공학과 졸업. 1982년 서울대 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1990년 Texas A&M Univ. 전기공학과 졸업(공학). 1982년 12월-94년 2월 한국전자통신연구소 신호처리연구실장. 1994년 3월-현재 한양대 공대 제어계측공학과 조교수. 관심분야 : 음성신호처리, 이동통신.