김희동
KT스카이라이프 대리

EXPERT
KNOW-HOW

이동통신과 위성통신 네트워크의 품질보장 QoS(Quality of Service)

+ 김희동 KT스카이라이프 대리

네트워크시스템의 분석, 설계, 구축, 운용 및 복구에 관한 업무를 담당하는 엔지니어라면 늘 따라다니는 용어가 있습니다. 바로 QoS(Quality of Service)입니다. 직역하자면 서비스 품질로, 통신 사업자가 제공하는 서비스를 이용하는 고객들이 어느 정도 만족하는지를 나타내는 척도로도 쓰이나 포괄적으로 특정 네트워크상에서 데이터의 전송을 원활하게 해주는 일련의 기술을 뜻합니다. 이는 어디까지나 통신영역의 용어였으나 방통 융합으로 통신네트워크로 방송이 전송되면서 정의가 애매모호해진 것 또한 사실입니다.

이동통신의 경우 음성은 2G, 3G 모두 *회선교환방식(Circuit Switching System)이, IP 기반의 4G에 와서는 패킷교환방식(Packet Switching System)으로 적용되면서 진정한 HD Voice인 VoLTE(Voice over LTE) 서비스가 가능하게 되었습니다. 3G 또는 4G 망에서 인터넷(데이터)과 분리되었던 음성은 유·무선이 통합된 ALL-IP 기반 환경에서 인터넷(데이터)과 합쳐지면서 우선순위가 필요하게 되었으며 이동통신사들은 이를 QCI(QoS Class Identifier)로 QoS를 보장하고 있습니다. 또한 예전에는 통화품질의 척도가 '끊기지 않는 것'에 초점이 맞춰졌던 것에서 음질이 더 중요해져 3G(WCDMA) 규격에서는 회선의 종류나 상황에 따라 전송률을 달리하는 AMR(Adaptive Multi-Rate) 코덱이, 4G(LTE IP 망) 환경에서는 AMR-Wide Band 코덱이 각각 사용되고 있습니다. 이런 QoS를 보장하기 위해 이동통신사들은 전파음영지역을 최소화한 초소형 LTE 기지국인 펨토셀(Femto-Cell)과 Advanced Scan의 일환으로 기존 한 기지국에 있는 두 개의 안테나와 송수신을 하던 단말을 인접 기지국의 두 개의 안테나를 더해 총 네 개의 안테나로 속도가 두 배 빨라지는 쿼드(Quad) 안테나 또는 기지국간 협력통신기술 CoMP(Coordinate Multi-Point)를 도입하고 있습니다.

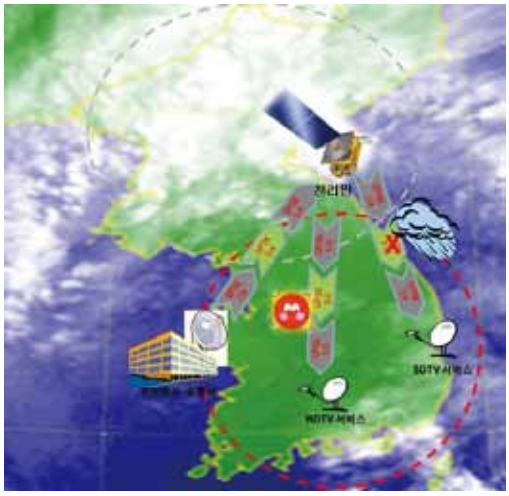


그림 1. Ka 대역 천리안 위성을 이용한 강우 적응형 스케일러블 서비스 예시

대부분의 가정에서 35,800km 상공의 위성으로부터 방송신호를 직접 수신하는 KT스카이라이프 DTH(Direct-to-Home) 위성 네트워크의 경우 유·무선망의 전송망, 교환망, 제어망을 포함하는 전달망이 없어 QoS로 접근할 수 없지만 방송 플랫폼의 핵심인 '끊김없는(Seamless) 서비스'의 관점에서 주변 환경의 전파통로인 채널상태에 따른 전송방식(DVB-S의 QPSK에서 DVB-S2의 32APSK까지) 중 수신기에서 최적의 변조방식을 택함으로써(강우 시 HD에서 SD로 화질이 떨어진다는 단점이 있음) 화면이 끊기는 현상을 막아주어 어느 정도의 서비스 품질을 보장하는 시도를 하고 있습니다. 이를 채널 적응형 코딩 및 변조방식(Channel Adaptive Coding and Modulation) 또는 강우 적응형 스케일러블 기술(Rainfall Adaptive Scalable Service)이라 부르며 KT스카이라이프와 ETRI는 지난 9월 네덜란드 암스테르담에서 열

린 2013 IBC 국제방송장비전시회에서 비가 오는 정도에 따라 서비스 품질을 조절하여 서비스 중단을 최소화하는 적응형 광대역 위성 방송 서비스 기술을 시연하여 큰 호응을 얻은 바 있습니다. 따라서 본고에서는 이동통신과 위성방송 네트워크의 특징을 비교해보고 서비스 품질을 보장해주는 기술에 대해 알아보도록 하겠습니다.

회선교환방식 & 패킷교환방식 : 전송 선로를 통하여 정보를 전송하는 유선통신은 전용회선을 이용하는 방식과 교환 회선을 이용하는 방식으로 나뉘는데 전용회선은 고정대역폭으로 품질이 우수한 반면 유휴 대역이 빈번하여 효율이 떨어지는 단점이 있음. 따라서 교환회선은 품질성은 떨어질 수 있으나 여러 사람이 사용하여 효율성을 높이는데 초점이 맞춰져 회선교환방식은 송·수신 간 경로를 설정하여 전용회선처럼 사용하며(예: PSTN, 2G음성망), 패킷교환방식은 경로설정 없이 음성을 IP(패킷) 데이터로 전송하는 방식을 뜻함.(예: LTE망)

이동통신 네트워크에서의 품질보장 QoS

이동통신의 경우 각 통신사들은 저마다 LTE Advanced 조기 상용화에 총력을 기울이고 있으며 HD Voice라 할 수 있는 VoLTE는 3G 음성통화에 비해 2.2배 넓어진 주파수 대역폭에 고음질 음성 코덱을 사용하여 HD급 음질을 제공합니다. 통화연결시간 또한 0.25~2.5초미만으로 3G의 평균 5초에 비해 최대 20배 향상되어 음성과 데이터가 통합되는 ALL-IP 환경에서 이동통신의 특성상 유선 네트워크와 달리 음성에 최우선권이 필요하게 되었으며, 통신사들은 이를 위해 QCI(QoS Class Identifier) 기술을 적용해 HD Voice를 최우선 처리하여 서비스 품질의 안정성을 확보하고 있습니다. QCI는 QoS 우선순위를 정수값인 1~9로 표현한 것으로 표준에 근거하여 낮을수록 높은 우선권을 갖습니다. Resource Type은 대역폭을 보장받는 GBR(Guaranteed Bit Rate)과 대역폭을 보장받지 못하는 Best Effort Type의 Non-GBR로 나뉘며, Priority는 QCI#1이 1이 되면 패킷이 음성을 전송하고 있음을 뜻하고, QCI#9는 9가 되면 인터넷 데이터가 이에 해당합니다. 이와 더불어 패킷 지연 허용치와 손실 허용치를 각각 50ms~300ms, 10^{-2}에서 10^{-6}까지 분류하여 우선순위가 정해집니다.

	QCI#1	QCI#9
Resource Type	GBR	Non-GBR
Packet Relay Budget	100ms	300ms
Priority	1	9
Example Service	Voice	Internet
Packet Loss Rate	10^{-2}	10^{-6}

표 1. HD Voice QoS를 보장하기 위한 LTE 네트워크 내에서의 QCI 예

AMR(Adaptive Multi-Rate) 코덱은 휴대전화의 음성 부호화 방식으로 주변 환경에 따라 달라지는 전송오율(Error Rate)을 고려하여 3G의 경우 4.75kbps~12.2kbps의 8개 전송속도 중 가변적으로 최적의 전송률을 선택하여 음성 압축 성능을 향상시켜주며, 3G 네트워크상에서 음성 대역폭만 넓혀준 AMR 와이드밴드 오디오의 경우 6.6kbps~12.65kbps를, 4G VoLTE는 6.6kbps~23.85kbps 중 하나를 선택하고 있습니다.

	HD Voice	Wideband Audio	3G Voice
전송 주파수 대역	50~7,000Hz	50~7,000Hz	200~3,400Hz
통화중 영상통화연결	가능	불가능	불가능
통화 연결 시간	0.25~2.5초 (평균1초)	평균 5초	평균 5초
교환 회선	패킷(Packet) 교환	서킷(Circuit)교환	서킷(Circuit)교환
전송률(kbps)	AMR-WB(6.6~23.85)	AMR-WB(6.6~12.65)	AMR(4.75~12.2)

표 2. 3GPP에서 규정하고 있는 VoLTE, Wideband Audio, 3G 일반 통화 비교

패킷교환방식을 사용하고 있는 VoLTE의 네트워크에 과부하가 걸리거나 커버리지를 벗어나 전파음영지대에 있게 되면 통화는 끊기게 됩니다. 하지만 전자의 경우 QCI 기술로 음성이 최우선을 가져 거의 희박하며 설령 LTE 네트워크로 통화가 어렵다 하더라도 이통사들은 SRVCC(Single Radio Voice Call Continuity) 기술을 활용하여 비록 4G(VoLTE)에서 WCDMA(3G)로 음질이 떨어지더라도 'Seamless Service'로 QoS를 보장하고 있습니다.

위성통신 네트워크에서의 품질보장 QoS

이동통신과 위성통신의 특성은 크게 전파전파(Radio Wave Propagation) 통로(Channel)와 수신 단말의 이동 유·무 그리고 사용주파수에 의해 분류할 수 있습니다. 대류권(지표~10km)에서 통신이 이루어지는 이동통신은 단말이 움직인다는 특성상 감쇠보다는 전파의 통로인 공간상태의 변화로 수신점의 전계강도가 변해 발생하는 페이딩의 영향을 많이 받습니다. 이와 달리 위성통신은 대부분의 수신기가 고정돼있어 페이딩의 영향은 덜 받지만 대류권과 전리층을 통과해 35,800m 상공의 위성까지 다다르기까지 전파의 에너지는 산소, 수증기에 의한 분자흡수 및 빗방울 등의 작은 입자에 의한 산란 등을 받아 감쇠가 가장 크게 작용합니다.

사용 주파수를 보더라도 이동통신은 800MHz~2.6GHz까지 L~S Band에 속해 12~18GHz를 사용하고 있는 위성방송의 Ku Band에 비해 강우에 의한

김희동
KT스카이라이프 대리

감쇠가 적어 링크 마진 측면에서 보다 더 유리합니다. 감쇠가 크다는 것은 신호를 송수신하는데 있어 많은 제약을 가져옵니다. 우리는 이미 섀넌의 한계[Shannon's Limit, C(bps) = Blog2$^{(1+\frac{S}{N})}$]에서 어떤 채널을 통해 전송할 수 있는 용량(Capacity)은 채널의 대역폭(Bandwidth)과 신호대잡음비(S/N)에 비례한다는 것을 알고 있습니다. 직관적으로 대역폭이 클수록 전송 용량이 커지기는 하지만 이와 함께 부가백색가우스잡음(Additive White Gaussian Noise) 또한 증가하며 한정된 자원의 주파수를 특정신호 전송에 많이 할당할 수도 없습니다. 얼마 전 이통3사가 수십MHz의 LTE 대역폭 주파수 경매에 천문학적인 금액을 들인 것을 보면 스펙트럼 효율(Spectrum Efficiency)과 비록 대수적으로(Logarithmically) 증가하기는 하나 신호대잡음비를 높이는 것이 가장 현실적인 대안입니다.

스펙트럼 효율이란 할당된 주파수자원을 얼마나 사용하여 주어진 대역폭 내에서 최대로 가능한 전송률로 채널에 알맞은 변조방식과 코딩을 택하는 것이 중요합니다. 내부도체에 흐르는 신호가 절연체와 외부도체 및 피복으로 보호되어 일정한 임피던스매칭, 외부잡음에 의한 왜곡, 감쇠가 적은 디지털케이블의 경우 높은 S/N비가 보장되어 구조가 간단하면서 다치 변조가 가능하여 효율이 우수한 진폭변조와 위상변조를 합친 QAM(Quadrature Amplitude Modulation) 변조를 사용합니다.

Satellite EIRP (dBW)	51		53.7	
System	DVB-S	DVB-S2	DVB-S	DVB-S2
Modulation & Coding	QPSK2/3	QPSK3/4	QPSK7/8	8PSK2/3
Symbol Rate (Mbaud)	7.5(α=0.35)	0.9(α=0.2)	27.5(α=0.35)	29.7(α=0.25)
C/N (in 27.5MHz) (dB)	5.1	5.1	7.8	7.8
Useful Bitrate (Mbit/s)	33.8	46 (gain=36%)	44.4	58.8 (gain=32%)
Number of SDTV Programmes	7 MPEG-2 15 AVC	10MPEG-2 21 AVC	10 MPEG-2 20 AVC	13 MPEG-2 26 AVC
Number of HDTV Programmes	1-2 MPEG-2 3-4 AVC	2 MPEG-2 5 AVC	10 MPEG-2 5 AVC	3 MPEG-2 6 AVC

표 3. DVB-S1과 DVB-S2의 특성 비교

반면에 위성통신은 전파전파 특성상 감쇠가 심해 효율은 떨어지나 잡음에 강한 PSK 계열의 변조방식을 사용합니다. 한 번에 2개의 비트를 반송파의 4개 위상에 실어 전송하는 QPSK(Quadrature Phase Shift Keying)보다 3개의 비트를 8개의 위상에 실어 전송하는 8PSK와 4비트, 16개 위상의 16PSK

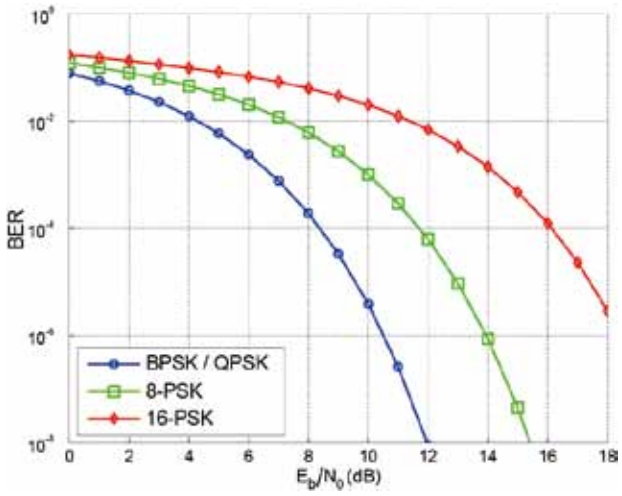


그림 2. Bit Error Rate Curbs for PSK MOD.

가 주파수 효율 측면에서는 유리합니다. 하지만 성상도(constellation)상에서 심볼 간의 거리가 짧아 잡음에 의한 에러 확률이 높아져 사용하기가 어렵습니다.

이는 잡음(AWGN)과 ISI(심볼 간 간섭,InterSymbol Interference)이 없다는 가정 하에 최대 전송률(bps)을 정의한 나이퀴스트(Nyquist) 채널 용량 C = 2Blog2^{M}과 전송 오율이 없는 환경에서의 섀넌의 채널 용량 C(bps) = Blog2$^{(1+\frac{S}{N})}$을 비교해 보면 M^2=1+S/N이 되어 다치 변조(Multi-level Modulation) 시 에러 확률 또한 높아져 높은 S/N비를 요한다는 것을 뜻합니다. 보통 S/N비가 신호대잡음의 비율로 아날로그 통신시스템의 성능을 나타내는 수치라면 E_b/N_o는 비트 당 에너지와 잡음전력 스펙트럼 밀도의 비율로 디지털통신 성능평가에 많이 사용됩니다. 위 BER 곡선에서 보듯이 10^{-4}, 즉 만 번의 데이터를 전송하여 1번의 에러가 발생하는 비율을 만족하기 위해서 QPSK는 E_b/N_o가 대략 9dB가 요구되며 8PSK와 16PSK는 각각

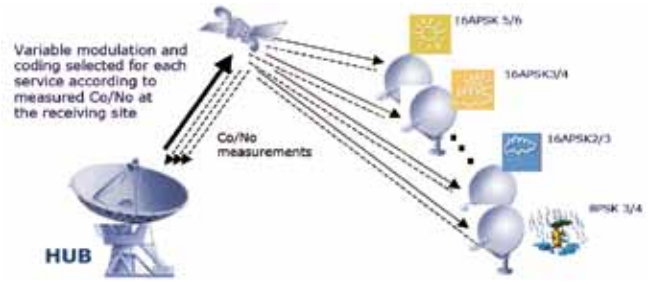


그림 3. 수신 사이트별 C/N비를 기준으로 다양한 변조방식과 코딩방식의 예시

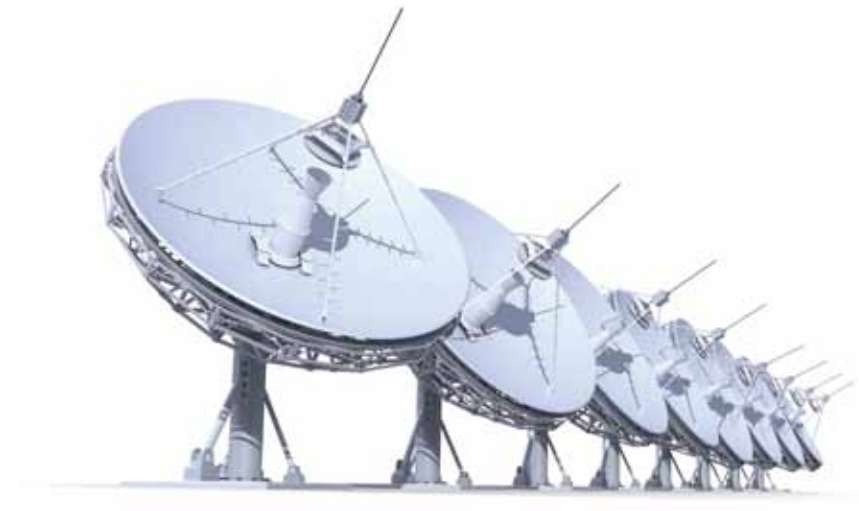
12dB, 16dB 만큼 신호전력이 커야한다는 것을 알 수 있습니다.

하지만 신호전력을 키우는 것 또한 한계가 있어 디지털케이블의 QAM과 같이 보다 더 효율적인 변조방식인 반송파의 진폭에도 신호를 싣는 APSK(Amplitude Phase Shift Keying) 변조기법이 위성방송 DVB-S2의 새로운 표준으로 채택되어 주파수를 효율적으로 이용할 수 있게 되었습니다. 이는 기존 DVB-S1의 순방향 에러 정정 코드(Forward Error Correction)인 길쌈부호(Convolution Code)와 리드-솔로몬부호(Reed-Solomon Code)로는 감쇠가 매우 심한 위성신호 반송파의 진폭에 신호를 싣기가 매우 어려웠으나 Shannon의 채널용량 이론적 한계에 근접한 강력한 채널 코딩인 BCH(Bose, Chaudhri, Hocquenghem) Code와 저밀도 패리티 체크(Low Density Parity Check) Code의 개발로 가능해 졌습니다.

	DVB-S1	DVB-S2
변조방식	QPSK, 8PSK	QPSK, 8PSK, 16/32APSK
오류정정부호	Reed-Solomon, Convolution	BCH, LDPC (30% 채널용량증대)
적응형 품질서비스	불가능	가능(ACM/VCM)

표 4. DVB-S1과 DVB-S2의 변조방식, 채널코딩 및 부가서비스 비교

[표 4]에서 보듯이 DVB-S2는 스펙트럼 효율의 증대와 더불어 적응형 품질서비스가 가능하다는 것이 가장 큰 특징입니다. KT스카이라이프는 DVB-S1의 Ku-Band 링크가용율을 약 99.9%를 충족시키기 위해 목동 주송신국과 용인 부송신국 그리고 용인 주송신국과 금산 부송신국으로 Site Diversity를 구축하고 강우감쇠로 인한 신호미약을 고려하여 6~8dB 이상의 링크마진을 높여 운용하고 있습니다. 이는 곧 위성 전력이나 주파수 효율측면에서 개선할 필요성이 생기게 되었고 DVB-S2는 이 문제를 적응형 코딩 및 변조방식(ACM/VCM)으로 맑은 하늘에서는 32APSK 변조로 고품질의 UHD or HD 서비스를 제공하고, 구름이 많을 때는 8PSK로 HD를 전송하며 비가 올 경우는 QPSK로 전송률을 낮춰 SD 방송으로 시청이 가능한 끊임없는(Seamless) 서비스를 목표로 하고 있습니다.

ACM(Adaptive Coding and Modulation)은 수신기의 상태를 송신기가 알 수 있는 리턴링크(Return Link)가 반드시 필요하며 단말의 수신 상태를 파악하여 전력제어를 할 수 있는 이동통신과 같은 점대점(Point to Point) 통신에 적합한 반면 위성통신은 특성상 모든 수신기 주변의 채널환경을 모니터링 할 수 있는 리턴링크가 불가능하여 같은 콘텐츠를 다양한 변조 및 코딩방식으로 시분할다중화(Time Division Multiplexing)하여 전송하고 수신기는 채널상태에 따른 최적의 방식을 택하는 VCM(Variable Coding and Modulation)이 적합하나 TDM을 사용하면 송신측 MUX와 수신측 DEMUX가 반드시 필요해 시스템이 복잡해지는 단점이 있습니다.

지금까지 이동통신과 위성통신에서 품질을 보장해 주는 여러 QoS에 대해 알아보았습니다. 이통 3사 모두 새로이 부여받은 대역폭과 망 고도화로 시간의 문제이긴 하나 광대역 LTE 서비스 상용화를 통해 데이터 전송속도, 전파 범위(Coverage) 경쟁은 무의미해 질 것입니다. 위성방송은 DTH Only에서 DCS(Dish Convergence Solution), MDU(Multi-Dwelling Unit) 등 위성 네트워크와 IP 유선망 및 IP 무선망(LTE) 등의 융합서비스를 시도하고 있습니다. 사용자 이용/경험(UI/UX)이 향후 ICT 키워드가 될 전망아래 망 사업자와 플랫폼 사업자들은 가상재화(Virtual Goods)나 킬러 콘텐츠(Killer Contents) 확보와 더불어 사용자가 원활히 이용할 수 있는 'Seamless Service'를 경쟁적으로 도입할 것으로 예상됩니다.