

실내 무선채널 환경에서 적응 알고리즘의 성능개선

정회원 이승대*, 백주기**, 이기학***, 진년강****

Performance Improvement of Adaptive Algorithm in Indoor Radio Channel Environment

Seung-Dae Lee*, Joo-Gi Baek**, Ki-Hak Lee***, Youn-Kang Chin**** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 기존의 보상 알고리즘보다 데이터의 보상능력이 우수한 다중 탭 갱신 알고리즘을 제안하고 실내 무선채널에서 평균 비트에러율과 수렴속도의 관점에서 비교, 분석하였다. 본 논문에서 제안한 MTU 알고리즘은 신호의 위상과 진폭이 빠르게 변화하는 광대역 시변 PCS 채널에 적용시킨 결과 RLS 알고리즘보다 평균 BER 이 10^{-1} 이상 향상됨을 확인하였다.

ABSTRACT

The purpose of this paper is to propose multitap update algorithm, which is superior to compensation capacity of data more than the conventional algorithm, and then compare and analyze it from the perspective of average bit error rate and convergence speed at indoor radio channel. It has been confirmed that more than 10^{-1} of average BER could be improved compared to the RLS algorithm if MTU algorithm proposed in this paper is applied to a rapidly changing signal phase and amplitude in broadband time-variant PCS channel.

I. 서 론

무선 이동통신 채널에서는 송신 심플간의 간섭, 서로 다른 사용자간의 간섭, 다중경로의 신호수신 및 시간에 따라 변하는 잡음 등의 왜곡이 발생됨으로 신뢰성 있는 통신을 위해서는 이러한 왜곡을 제거할 수 있는 신호처리 기술이 필수적이다. 따라서 이러한 왜곡의 영향을 없애기 위해 여러 가지 보상 기법이 도입되었으며 극심한 위상왜곡을 효과적으로 보상할 수 있고 하드웨어의 구현이 비교적 용이한 적응 등화기에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 또한 전세계적으로 관심이 고조되고 있는 CDMA 시스템에서 적응 등화기는 사용자 간섭으로 인한 원근문제, 다중경로 페이딩, 재밍 등을 극복할 수

있는 방법으로 알려져 있다.

지난 수십년 동안 등화기의 연구가 활발히 진행되어 더욱 빠른 수렴률, 낮은 BER, MSE와 함께 하드웨어 구현면에서도 다양한 시스템에 적용할 수 있는 새로운 적응 등화기 구조와 알고리즘이 계속 발전되어 왔으며 이들 연구는 모두 데이터의 비트 폭이 최대 다중경로 지연확산폭보다 큰 경우에 관한 것이었다^[1,2]. 그러나 데이터 및 동영상 정보를 송수신하는 시스템에서 고속의 데이터 전송이 발생할 경우에는 심각한 ISI가 발생하게 된다. 한편 기존의 논문에서는 여러 가지 가정을 도입하여 채널 환경을 특정채널로 모델링 함으로서 실제적인 채널에 대한 해석은 이루어지지 못했다.

이에 본 논문에서는 좀더 실제적인 시스템의 평가를 위해 미국 JTC(Joint Technical Committee)의

* 남서울대학교 전자정보통신공학부(seungdae@nsu.ac.kr),

** 남서울대학교 전자정보통신공학부(b1j2k3@chollian.net)

*** 안양과학대학 전자통신과(lkh0314@aytc.anyang-c.ac.kr),

**** 단국대학교 전자공학과(ykchin@ns.dankook.ac.kr)

논문번호 : 00003-0206, 접수일자 : 2000년 2월 6일

개인 휴대통신용 RF 채널특성 표준안을 사용하여 다중경로 전송에서의 도플러 현상과 시간지연 및 전송전력손실을 파라미터로 채널을 모델링하고 DSSS PSK 시스템의 평균 BER을 컴퓨터 모의실험을 통해 평가하였다. 또한 ISI를 극복하기 위해 비선형 펄스 지연선 구조를 사용하고 보상 알고리즘을 이용하여 펄스 계수를 갱신하는 구조를 도입하였다. 보상 알고리즘의 수렴특성이 펄스 지연선의 특정 펄스수에 대하여 하한값을 가짐으로 본 논문에서는 위와 구조를 확장하여 데이터의 보상능력이 우수한 다중 펄스 갱신(multitap update) 알고리즘을 제안하고 이를 광대역 시변 PCS 채널에 적용시킨 후 오율특성을 고찰하여 제안한 알고리즘의 우수성을 입증하였다.

II. 시변 PCS 채널 모델링

본 논문에서는 모의 실험에 미국의 JTC에서 개인 휴대통신의 RF 채널특성 및 시스템 성능평가를 위해 표준안으로 확정, 공고된 시변채널 모델을 사용하였다^[3]. PCS의 셀 크기와 안테나 높이가 기존의 셀룰러 방식과 달라지기 때문에 변화된 상황에 부합되는 채널의 모델링이 요구되었다. 이에 따라 JTC에서는 채널의 환경을 직접 측정하고 이 측정 통계값으로부터 채널의 모델링 방법을 제시하였다.

무선전송의 특성은 두가지 다른 현상으로 나누어 지는데 하나는 다중경로전송이며 또 하나는 심한 전송손실이다. 이동체 무선 전송채널은 시간과 주파수 및 공간의 이동에 따라 변환한다. 다중경로 성분은 반사와 굴절 및 산란현상 때문에 발생하게 되며 전파는 송신기에서 수신기까지 많은 경로를 통해 도달하게 된다. 이로인해 이러한 각각의 경로에 연관되는 시간지연은 시변특성을 갖는 선형필터의 형태가 된다.

광대역 펄스 지연선구조는 이동무선환경에서 다중 경로를 표현하는데 사용된다. 이 구조는 광의의 정상인 복소 가우시안 무상관 산란채널(complex Gaussian wide-sense stationary uncorrelated scattering channel)^[4]이라고 가정한다.

본 논문에서 고려한 실내 무선환경은 사무실과 같은 넓은 실내 공간이며 이동체의 속도는 1.5m/s이다. 이 채널환경에서는 사무실내에 있는 칸막이나 의벽 및 간유리등이 반사 및 산란체로 작용할 수 있다. 이는 평균이 0 인 독립 복소가우시안 시변과정에 의한 가중치가 곱해지고 시간지연된 입력신호

의 합으로 표현되는 이산적 WSSUS 채널 모델로 나타낼 수 있다. $x(t)$ 와 $y(t)$ 를 각각 채널입력 및 출력의 복소 저역통과 신호라 하면

$$y(t) = \sum_{n=1}^N \sqrt{P_n} g_n(t) x(t - \tau_n) + n(t) \quad (2.1)$$

로 나타낼 수 있다. 여기서 P_n 은 n 번째 가중치의 전력이며 $g_n(t)$ 는 n 번째 동일한 신호를 가중시킨 복소 가우시안 과정이다. 또한 τ_n 은 시간차이값 나타낸다. n 번째 경로의 도플러 스펙트럼이라 부르는 $g_n(t)$ 의 전력 스펙트럼은 n 번째 경로에 의한 페이딩율을 조절한다. 식 (2.1)과 같은 채널모델을 완전하게 정의하기 위해서는 펄스 가중치의 도플러 스펙트럼함인 $\{g_n(\nu); n=1, 2, \dots, N\}$ 과 펄스 지연항인 $\{\tau_n; n=1, 2, \dots, N\}$ 및 펄스 가중치의 크기 $\{P_n; n=1, 2, \dots, N\}$ 를 정의하기만 하면 된다. 도플러 스펙트럼을 나타내는 $g_n(\nu)$ 는 매우 많은 수의 수신파가 각 지연 구간에서 교각(elevation angle)과 방위각(azimuth angle)에 대해 균일하게 분포되어 도달하며 이는 도플러 스펙트럼이 거의 균일(flat)한 결과가 된다. 즉,

$$g_n(\nu) = \frac{\lambda}{2V} \quad |\nu| < \frac{V}{\lambda} \quad (2.2)$$

여기서 V 는 이동체의 속도이고 λ 는 반송파 주파수의 파장이다^[5]. 또한 표 2.1은 실내 채널환경에서의 펄스 지연선 파라미터를 나타내며 여기서 A는 적인 지연확산이 자주 발생하는 경우이고 채널 B는 중간 정도의 지연확산이 자주 발생하는 경우이며 채널 C는 많은 지연확산이 아주 가끔 발생하는 경우이다.

그림 2.1은 모의실험에 사용한 PCS 채널모델의 블록도를 나타내고 있다.

표 2.1 실내 사무실 환경에서의 펄스 지연선 파라미터

경로 수	채널 A		채널 B		채널 C	
	시변 지연 (msec)	평균 전력 (dB)	시변 지연 (msec)	평균 전력 (dB)	시변 지연 (msec)	평균 전력 (dB)
1	0	0.0	0	0.0	0	0.0
2	100	-8.5	100	-3.6	200	-1.4
3			200	-7.2	500	-2.4
4			300	-10.8	700	-4.8
5			500	-18.0	1100	-1.0
6			700	-25.2	2400	-16.3

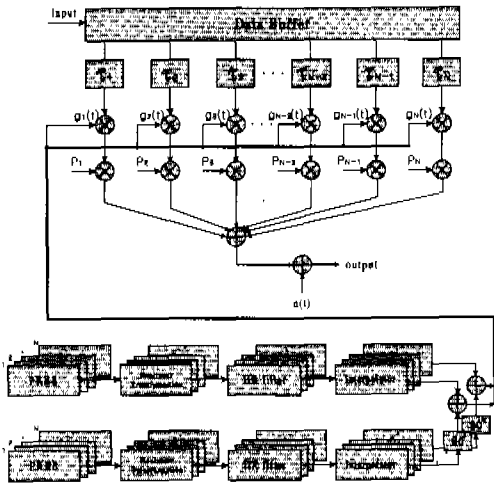


그림 2.1 PCS 채널 모델의 블록도

III. 비선형 탭 지연선 및 보상 알고리즘

1. 비선형 탭 지연선

비선형 탭 지연선 구조는 선형 탭 지연선 구조와 달리 심볼간격 T 와 동일한 탭 간격을 갖는 feedforward 부분과 feedback 부분의 2 가지 필터로 구성되어 있다. Feedforward 부분의 입력은 수신된 신호열 $\{u_k(n)\}$ 이며 feedback 부분은 이전에 검파된 심볼을 판정한 열을 입력으로 한다. Feedback 부분은 이전에 검파된 심볼에 의해 발생된 예측값에서 나타나는 상호부호간섭(ISI)의 부분을 제거하는데 사용된다. 이에 대한 블록도는 그림 3.1에 보인 바와 같다. 그림 3.1을 바탕으로 비선형 탭 지연선 구조의 출력을 나타내면 다음과 같다.

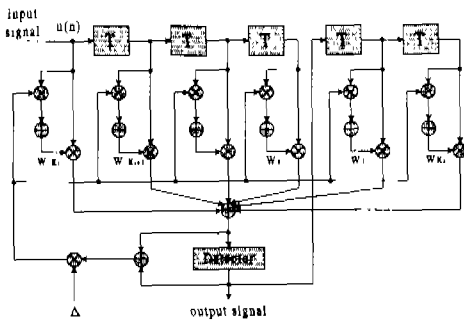


그림 3.1 비선형 탭 지연선 구조

$$\hat{I}_k = \sum_{j=-K_1}^0 w_j u_{k-j} + \sum_{j=1}^{K_2} w_j \hat{I}_{k-j} \quad (3.1)$$

여기서 \hat{I}_k 는 k 번째 정보심볼의 예측값이고 (w_j) 는 필터의 탭 계수이며 $\{I_{k-1}, I_{k-2}, \dots, I_{k-K_2}\}$ 는 이전에 검파된 정보심볼이다. 비선형 탭 지연선 구조는 feedforward 부분에 $K_1 + 1$ 개의 탭을 갖고 feedback 부분에 K_2 개의 탭을 갖는다고 가정하였다. 적응방식에서 탭 지연선의 탭 이득계수 (w_j) 는 탭 지연선 구조가 채널 응답에서 시간에 따라 변화할 수 있도록 순환적으로 조절된다. 이러한 목적으로 에러신호는 검파된 심볼 I_k 와 예측값 \hat{I}_k 사이의 차, 즉 $e_k = I_k - \hat{I}_k$ 로 만들어진다. 이 에러신호는 Δ 에 의해 크기가 조절되고 이 결과는 다음과 같은 steepest descent 알고리즘에 따라 계수를 조절하는데 사용된다.

$$w_{k+1} = w_k + \Delta e_k u_k^* \quad (3.2)$$

여기서 w_k 는 k 번째 신호순간에 탭 이득계수이고 벡터 u_k 는 $\{u_{k+K_1}, \dots, u_k, I_{k-1}, \dots, I_{k-K_2}\}$ 를 갖는다.

2. 제안한 다중 탭 갱신 알고리즘

기존의 탭 갱신 알고리즘 방식은 하나의 입력 신호에 대해 한번의 갱신 알고리즘을 수행하므로 탭 계수를 한번 갱신하는 단일 탭 갱신 알고리즘을 사용한다. 그러나 단일 탭 갱신 알고리즘은 탭 수를 증가시켜도 특정 탭 수 이상에서는 제곱평균에러가 더 이상 개선되지 않는다. 따라서 본 논문에서는 사용한 탭 수는 동일하면서도 수렴율을 줄일 수 있도록 하나의 입력 데이터를 L 번 반복적으로 처리하여 탭 계수를 갱신하는 다중 탭 갱신 알고리즘(multi-tap update algorithm)을 제안하였다.

기존 순차적 최소 제곱 알고리즘의 탭 계수 갱신 방정식으로부터

$$w(n) = w(n-1) + \sum_{i=0}^L k(n-i) \xi_i^*(n) \quad (3.3)$$

여기서

$$\xi_i^*(n) = d(n-i) - w_i^H(n-1) u(n-i) \quad (3.4)$$

이고 H 는 Hermitian 변환을 나타내며 $*$ 는 공액복소수이다. 식 (3.4)를 식 (3.3)에 대입하고 기대값을 취하면

$$E[\mathbf{w}(n)] = \left(I - \frac{1}{\alpha}\right)E[\mathbf{w}(n-1)] + \frac{1}{\alpha} \mathbf{w}_{opt} + \sum_{i=1}^L \left\{ \frac{1}{\alpha-i} (\mathbf{w}_{opt} - E[\mathbf{w}_i(n-1)]) \right\} \quad (3.5)$$

이 된다. 여기서 $\alpha = n - M - 1$ 이다.

또한 $\mathbf{w}(n)$ 의 기대값과 최적 탭 계수 \mathbf{w}_{opt} 간의 차이를 새로운 벡터 $f(n)$ 으로 정의하면 이는 다음과 같다.

$$f(n) = [f(n,0), f(n,1), \dots, f(n,L)]^T \quad (3.6)$$

여기서 L 은 벡터 $f(n)$ 의 원소의 갯수이다. 따라서

$$E[\mathbf{w}(n)] - \mathbf{w}_{opt} = IE[\mathbf{w}(n-1)] - \frac{1}{\alpha} E[\mathbf{w}(n-1)] + \frac{1}{\alpha} \mathbf{w}_{opt} - \mathbf{w}_{opt} - \sum_{i=1}^L \left\{ \frac{1}{\alpha-i} (E[\mathbf{w}_i(n-1)] - \mathbf{w}_{opt}) \right\} \quad (3.7)$$

이 되며 식 (3.7)을 새로 도입된 벡터 $f(n)$ 으로 표현하면

$$f(n) = \left(I - \frac{1}{\alpha}\right)f(n-1) - \sum_{i=1}^L \frac{1}{\alpha-i} f_i(n-1) \quad (3.8)$$

이 된다. 여기서 식 (3.8)을 임의의 j 번째의 원소값으로 나타내면

$$f_0(n, j) = f_0(n-1, j) \left(1 - \sum_{k=0}^L \frac{1}{\alpha-k}\right)^{j+1} \quad (3.9)$$

단 $\sum_{k=0}^L \frac{1}{\alpha-k} < 1$

이 된다. 위의 식으로부터 다중 갱신 알고리즘의 갱신율 I 가 증가할수록 현재의 탭 계수와 최적 탭 계수간의 간격이 $\left(1 - \sum_{k=0}^L (\alpha-k)^{-1}\right)^{j+1}$ 의 비율로 줄어들음을 알 수 있다^[5].

IV. 모의실험 결과 및 고찰

이 장에서는 II 장에서 고찰한 광대역 시변 PCS 채널을 사용하여 제안한 알고리즘의 타당성 및 시스템의 성능을 컴퓨터 모의실험을 통해 평가하였다. 컴퓨터 모의실험을 위해 사용된 데이터는 신호의 불규칙성을 만족시키기 위해 다음과 같은 생성다항식을 갖는 의사잡음 부호열을 사용하였다.

$$g(x) = 1 + x^2 + x^{12} + x^{16} \quad (4.1)$$

변조방식은 DSSS BPSK를 사용하였으며 반송파 주파수는 1920 MHz, 확산된 데이터의 전송속도는 10 Mcps가 되도록 하였다. 또한 수신단에서 비트동기는 정확히 이루어졌다고 가정하였다. 비선형 탭 지연선 구조의 탭수는 feedforward인 경우 11개, feedback인 경우 3개로 결정하였다. 제안한 다중 탭 갱신(MTU) 알고리즘의 갱신 횟수는 시스템의 복잡도와 성능개선의 두가지 측면을 고려하여 3회로 고정시켰다. LMS 알고리즘의 수렴조절 파라미터 $\mu=0.02$ 이고 RLS 및 MTU 알고리즘의 파라미터는 $\delta=0.004$, $\lambda=0.98$ 로 설정하였다. 그림 4.1은 제안한 다중 탭 갱신 알고리즘의 수신 블록도이다.

그림 4.2는 시불변 채널모델에 대한 MSE의 시물레이션 결과를 나타내고 있다. 이 결과는 본 논문에서 제안한 알고리즘의 타당성을 검증하기 위한 것이다. 그림 4.2로부터 기존의 LMS, RLS 알고리즘에 비해 MTU 알고리즘이 더 낮은 MSE에 좀더 빨리 수렴하는 것을 알 수 있다.

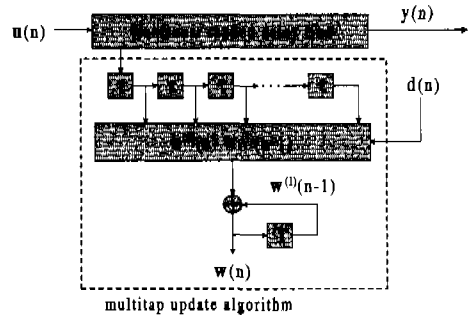


그림 4.1 제안한 다중 탭 갱신 알고리즘

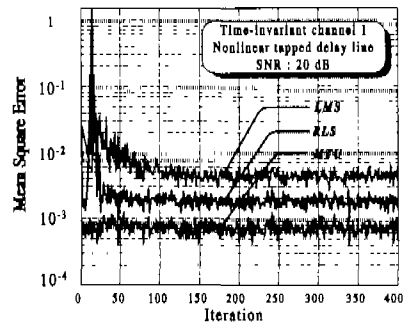


그림 4.2 시불변채널에 대한 MSE 성능곡선

그림 4.3과 그림 4.4는 각각의 시변채널에서 비선형 탭 지연선 구조의 BER 성능곡선을 나타내고 있

다. 이 결과로부터 알 수 있듯이 LMS, RLS 알고리즘보다 본 논문에서 제안한 MTU 알고리즘이 좀 더 우수한 성능을 나타냄을 알 수 있다.

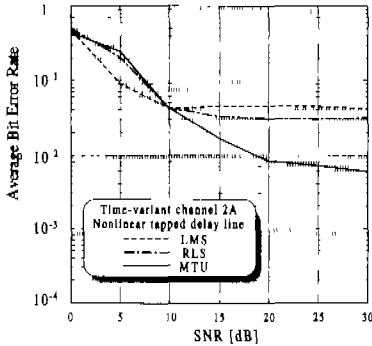


그림 4.3 시변채널에서의 BER 성능곡선(채널A)

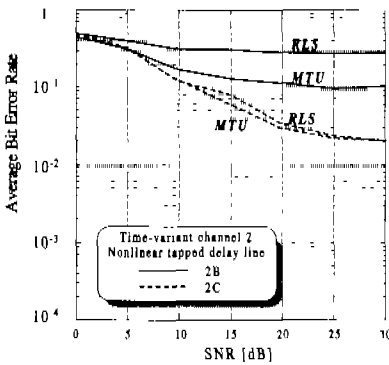


그림 4.4 시변채널에서의 BER 성능곡선(채널B,C)

V. 결론

본 논문에서는 시변 광대역 이동무선 채널에서 발생하는 심각한 주파수 선택성 페이딩과 전송손실은 보상하기 위해 비선형 탭 지연선 구조를 사용하고 각 지연선 구조의 탭 계수를 갱신하기 위한 알고리즘으로 LMS, RLS 및 제안한 다중 탭 갱신 알고리즘을 적용하였다. 1920 MHz의 반송파를 갖는 DSSS BPSK 시스템에 10 Mcps의 속도로 데이터를 송수신하고 수신 시스템의 성능을 제곱평균에러 및 평균 비트에러율 관점에서 평가하였다.

모의실험 결과에 의하면 시변채널을 통과한 고속의 신호는 페이딩에 의해 위상과 진폭이 임의로 변하기 때문에 신호대 잡음비를 특정값이상 증가시켜도 성능의 향상을 기대할 수 없었다. 또한 우수한 보상 알고리즘으로 알려진 RLS 알고리즘도 페이딩

이 빠르게 변화하는 채널상황에 충분히 적응하지 못하지만 본 논문에서 제안한 다중 탭 갱신 알고리즘은 RLS 알고리즘에 비해 평균 BER이 10^{-1} 이상 향상됨을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] G.L. Turin, "Introduction to Spread Spectrum Antimultipath Techniques and their Application to Urban Digital Radio," Proc. IEEE, pp. 328~353, Mar. 1980.
- [2] E.A. Geraniotis and M.B. Pursley, "Performance of Coherent Direct Sequence Spread Spectrum Communications over Specular Multipath Fading Channels," IEEE Trans. Comm., Vol. COM-33, pp. 502~508, June 1975.
- [3] Joint Technical Committee of Committee T1 R1P1.4 and 46.3.3/TR45.4.4 on Wireless Access, "RF Channel Characterization and System Deployment Modeling," Paper No. JTC(AIR)/ 94.9.23-065 R6, Sep. 23, 1994.
- [4] David Parson, The Mobile Radio Propagation Channel, Halsted Press, New York, 1992.
- [5] R.H. Clarke, "A Statistical Theory of Mobile Radio Reception," Bell Syst. Tech. J. Vol. 47, pp. 957~1000, July 1968.
- [6] 이승대, "광대역 이동통신 시변채널의 개선된 수신 알고리즘," 단국대학교, 1999.

이 승 대(Seung-Dae Lee) 정회원
 1990년 2월 : 단국대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1992년 2월 : 단국대학교 전자공학과(공학석사)
 1999년 8월 : 단국대학교 전자 공학과(공학박사)
 1995년 4월~현재 : 남서울대학교 전자정보통신 공학
 부 조교수
 <주관심 분야> 통신시스템, 디지털 이동통신기술

백 주 기(Joo-Gi Back) 정회원



1987년 2월 : 서울산업대학교
 전자공학과(공학사)
 1995년 2월 : 단국대학교
 전자공학과(공학석사)
 1999년 8월 : 단국대학교
 전자공학과(공학박사)

1995년 3월~현재 : (주)금강산업 통신과장
 1999년 3월~현재 : 남서울대학교 전자정보통신공학
 부 겸임교수
 <주관심 분야> 디지털 이동통신기술, 초고주파회로
 및 시스템

이 기 학(Ki-Hak Lee) 정회원



1973년 : 광운대학교
 무선통신과 졸업(공학사)
 1980년 : 연세대학교
 전자공학과(공학석사)
 1978년 4월~현재 :
 안양과학대 교수

<주관심 분야> 초고주파공학, 안테나공학

진 년 강(Youn-Kang Chin) 정회원
 1957년 2월 : 국립항공메트로폴리탄(공학사)
 1979년 2월 : 미국오레곤 주립대학교 대학원
 (공학석사)
 1982년 2월 : 미국오레곤 주립대학교 대학원
 (공학석사)
 1963년 3월~1977년 4월 : 한국항공대학교 전자과 교
 수
 1982년 8월~1983년 9월 : 미국 CUBIC 전자통회사
 Senior Engineer
 1983년 9월~현재 : 단국대학교 공과대학 전자컴퓨터
 공학부 교수
 <주관심 분야> 디지털 이동통신 기술, 초고주파 회
 로 및 시스템