

개인휴대통신의 수신 시스템에 대한 성능분석

정회원 주재한*, 양홍영**, 류재민***

Performance Analysis for Receiving System of Personal Communication Service

Jae-Han Ju*, Hong-Young Yang**, Jae-Min Ryu*** *Regular Members*

요약

본 논문에서는 개인휴대통신의 최소 규격인 J-STD-018을 기준으로 수신 파라미터들의 규격에서 각각 잡음지수와 이득, IIP3를 구하고 시뮬레이션을 통하여 분석하였다. 시뮬레이션 결과 수신감도 규격에서는 전체 잡음지수가 6.4382dB이고 이득은 46.5dB이며 IIP3는 -6.6352dBm이었다. 또한 단일 톤 둔감도 및 상호변조 스퓨리어스에 의한 응답감쇄 규격에서는 전체 잡음지수가 6.4382dB이고 이득은 43.5dB이며 IIP3는 -6.6352dBm이었다.

ABSTRACT

In this paper, we examined receiving parameters of receiver and also analyzed them through simulation based on J-STD-018, which is the minimum specification of PCS mobile station. The result of simulation was as follows: In sensitivity specification, the total noise figure was 6.4382dB and the gain was 46.5dB and the IIP3 was -6.6352dBm.

In single tone desensitization and intermodulation spurious response attenuation specification, the total noise figure was 6.4382dB and the gain was 43.5dB and the IIP3 was -6.6352dBm.

I. 서론

가입자 수용 용량의 포화에 대처하고, 새롭게 등장하는 다양한 형태의 무선통신 서비스를 수용하기 위한 방안으로서 이동통신 분야에서는 1990년대에 아날로그 셀룰러와 동일한 주파수 대에서 아날로그 셀룰러에 비해 수용 용량이 더 크고 데이터 서비스나 다양한 형태의 부가 서비스 등 새로운 서비스의 수용이 용이한 디지털 셀룰러 방식으로 전환하였다.

이동통신 수요에 대한 용량의 한계를 극복하기 위한 DS/CDMA(direct sequence code division multiple access)방식은 이동통신 환경에서의 유연성, 보안성 등의 이점을 가지며 매우 효과적으로 주파수 대역을 이용할 수 있다는 점에서 월등한 사용자 수용 능력을 가진다^{[1][2]}. 따라서 DS/CDMA 방식을

채택함으로써 개인휴대통신의 표준안으로서 이동국의 최소 규격인 J-STD-018이 표준화 되었다^[3].

본 논문에서는 저잡음증폭기와 혼합기를 MMIC(microwave monolithic intergrated circuit)화 한 칩을 사용한 수신 시스템으로 능동 더블 밸런스 혼합기를 사용하기 때문에 이득을 높일 수 있지만 IIP3(third-order intercept point)가 낮은 수신 시스템의 수신 성능을 개선하기 위해 개인휴대통신의 최소 규격인 J-STD-018을 기준으로 수신 성능에 대한 최소 규격인 수신 감도, 단일 톤 둔감도, 상호변조에 의한 스퓨리어스 응답 감쇄 등을 이용하여 잡음지수, 이득, IIP3 등과 같은 수신 파라미터들을 유도하고 이러한 파라미터들이 수신 시스템을 구성하는 각각의 소자들에 미치는 영향을 측정하여 수신 성능 개선을 위한 수신 시스템을 분석하고자 한다.

* 동강대학 정보통신과

** 동강대학 전자과

*** 동강대학 정보통신과

논문번호 : 99014-0409, 접수일자 : 1999년 4월 9일

II. 수신 파라미터

2.1 수신 감도

수신 감도(receiver sensitivity)는 어느 정도의 미약한 전파까지를 수신하여 충실하게 정보를 재생할 수 있는가를 나타내며 외부의 간섭없이 주어진 신호 대 잡음 비를 얻는데 필요한 최소 수신 신호 레벨에 의해서 정의된다. 따라서 수신기의 잡음이 적을수록 감도는 향상된다^{[4][5]}.

수신 시스템의 잡음계수는 다음 식과 같다.

$$F = \frac{C}{KT} \frac{N_o}{E_b} \frac{1}{R_b} \quad (1)$$

위 식에서 C는 수신기로 입력된 신호전력, K는 볼츠만상수, T는 절대온도, N_o은 잡음전력 스펙트럼 밀도, R_b는 비트율이다.

잡음이 발생하는 소자들이 다단의 종속 연결시 전체 수신 시스템의 잡음계수는 다음 식과 같다^[6].

$$F_{TOT} = F_{dub} + \frac{(F_{LNA} - 1)}{G_{dub}} + \frac{(F_{SAW} - 1)}{G_{dub}G_{LNA}} + \dots \quad (2)$$

위 식에서 F_{TOT}는 전체 시스템의 잡음계수, F_{dub}는 듀플렉서의 잡음계수, F_{LNA}는 저잡음 증폭기의 잡음계수, F_{SAW}는 SAW필터의 잡음계수, G_{dub}는 듀플렉서의 이득, G_{LNA}는 저잡음 증폭기의 이득이다.

2.2 단일 톤 둔감도

희망 신호 주파수로부터 어느 정도 주파수 이격된 간섭신호가 수신기로 입력될 때 그 간섭의 영향을 배제할 수 있는 능력이 단일 톤 둔감도(single tone desensitization)이며 이 특성으로부터 수신기의 선택도를 결정할 수 있다.

낮은 레벨의 희망파를 수신하고 있을 때 높은 레벨의 방해파가 들어오면 수신기 출력의 잡음은 희망파만의 경우에 비해 증가한다. 이 방해파는 부변조이고, 송신기 잡음은 매우 작으며 수신기의 선택도가 충분한 경우에 있어서도 이 현상을 일으킬 수 있다. 이러한 현상은 수신기의 선택도를 결정하고 있는 중간 주파수단(IF SAW 필터) 보다 전단의 주파수 단(LNA) 혹은 주파수 변환단(mixer)의 회로가 과대한 장애파 레벨에 의해 포화 상태에 달하여 중간 주파수 단의 입력까지의 증폭도를 저하하는 등의 원인이 있어 감도를 저하시킨다.

전체 잡음 전력 밀도는 다음 식과 같다.

$$N_t = N_o + N_i = KTF + \frac{P_i - 10 \frac{L_f(f)}{10}}{B} = KTF_i' \quad (3)$$

위 식에서 N_t는 간섭에 의한 잡음전력 밀도, P_i는 간섭전력, L_f(f)는 수신필터의 선택도로 주파수함수, F_i'는 간섭신호가 존재할 때의 새로운 잡음계수이다.

2.3 상호변조에 의한 스퓨리어스 응답감쇠

상호변조의 원인은 저잡음 증폭기 또는 혼합기의 비선형 때문에 발생되며 혼 변조와 마찬가지로 3차, 5차, ...등의 기수차 변조적이 문제로 되는 경우가 많다. 따라서 두 개이상의 신호성분이 비선형 소자를 통과하게 되면 상호변조 스퓨리어스가 발생된다. 상호변조 스퓨리어스중에서 제 2고조파 성분과 제 3고조파 성분이 가장 크며 이중에서도 고려의 대상이 되는 것은 제 3고조파 성분이다. 이것은 제 2고조파 성분이 희망 주파수로부터 멀리 떨어져 있는 반면 제 3고조파 성분은 희망 주파수에 인접해 있어서 복조시에 간섭을 가장 많이 일으키기 때문이다. 그러므로 입력신호의 전력이 커질수록 제 3고조파에 의한 영향은 급격히 증가하게 된다.

스퓨리어스 신호가 있을 때 새로운 잡음계수는 다음 식과 같다.

$$NF_s' = 10 \log(F + \frac{P_s}{KTW}) \quad (4)$$

위 식에서 P_s는 스퓨리어스 전력이다.

비선형 소자가 다단의 종속 연결시 제 3고조파 차단점은 다음 식과 같다^[6].

$$IIP3_{TOT} = \frac{1}{\frac{1}{IIP3_{dub}} + \frac{G_{dub}}{IIP3_{LNA}} + \dots} \quad (5)$$

위 식에서 IIP3_{TOT}는 전체 시스템의 3차 고조파 차단점, IIP3_{dub}는 듀플렉서의 3차 고조파 차단점, IIP3_{LNA}는 저잡음 증폭기의 3차 고조파 차단점이다.

III. 수신 시스템의 구성 및 분석

전체적인 수신 시스템의 구성에서 수신 시스템에 영향을 주는 고주파 변환부인 듀플렉서, 저잡음 증폭기, RF SAW필터, 혼합기, IF SAW필터, 자동이득 조절기 등과 같은 소자반으로 그림 1과 같은 수신 시스템을 구성하였다.

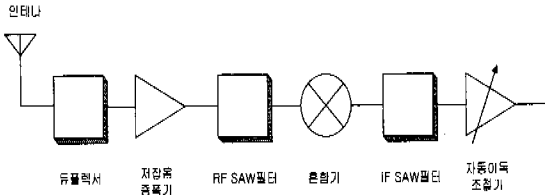


그림 1. 수신 시스템의 구성도

그림 1과 같이 수신 시스템을 구성하였을 때 듀플렉서는 송수신을 약 40dB정도 격리시킨 모토로라사의 KFF6568A를 사용하였다.

MMIC(microwave monolithic intergrated circuit)로 제작된 RF Micro Devices사의 RF9986은 저잡음 증폭기와 혼합기로 구성되어있다.

RF SAW필터는 마쓰시다사의 EFCH1855MTE4를 사용하였으며, IF SAW필터는 NDK사의 85S Z10L을 사용하였다.

자동이득 조절기는 켈컴사의 Q5500을 사용하였으며 ±45dB의 이득을 조절할 수 있다.

3.1 수신 감도

J-STD-018에 의한 이동국의 수신 감도란 프레임 오류가 명시된 값을 초과하지 않는 이동국 안테나 접속부에서 측정할 최소 수신 전력이다.

개인휴대통신의 최소 규격인 J-STD-018에서 규정하고 있는 수신 감도의 시험 파라미터는 표 1과 같다¹⁾.

표 2는 그림 1과 같이 수신 시스템을 구성하여 표 1의 시험 파라미터를 이용하여 구하고 -104 dBm의 최소 입력 신호 전력과 외부 간섭이 없는 수신기의 성능을 나타낸다. 저잡음 증폭기, 혼합기

와 자동 이득 조절기의 이득은 다음 단의 켈컴 BBA 칩 셋에 입력 레벨이 최소 -57.5dBm을 요구하기 때문에 자동 이득 조절기의 출력 단에서 최소 신호를 -57.5dBm으로 증폭하기 위해 높게 설정된다. 외부 간섭이 없다고 가정했기 때문에 자동 이득 조절기의 이득은 신호와 잡음 전력에만 관계된다. 이 경우 식 (2)와 식 (5)를 이용하면 수신 시스템의 잡음지수는 실온에서 약 6.4382dB정도이고 이득은 46.5dB이며 IIP3는 -6.6352dBm이다.

표 1. 수신 감도의 시험 파라미터.

파라미터	단 위	시험 1	시험 2
수신 전력	dBm/1.23MHz	-104	-25
(Pilot E _c)/I _{or}	dB	-7	
(Traffic E _c)/I _{or}	dB	-15.6	

3.2 단일 톤 둔감도

J-STD-018에 의한 이동국의 단일 톤 둔감도는 할당 채널의 중심 주파수로부터 주어진 주파수 오프셋(Offset)만큼 떨어진 곳에 단일 톤이 존재할 때 할당된 채널 주파수에서 CDMA 신호를 수신하는 수신기 능력의 측정치이다.

개인휴대통신의 최소 규격인 J-STD-018에서는 표 3과 같은 시험 파라미터로 최소 성능 시험을 한다¹⁾.

표 4는 수신 시스템의 단일 톤 둔감도에 대한 중속적인 회로에서의 파라미터 특성을 나타낸 것이다. 저잡음 증폭기, 혼합기 및 자동 이득 조절기로 구성되어 있으며, 간섭 톤이 존재할 때 중속적인 회로에서의 이득을 표시하였다. 자동 이득 조절기의 출력

표 2. 수신 감도 시험

입력 파라미터 :							
볼츠만 상수 (K)	1.38E-23	-228.6	잡음 전력(dBm/Hz)		-113.1		
절대온도 (°K)	290	24.62	수신 전력		-104		
대역폭 (MHz)	1.23	60.9	(dBm/1.23MHz)				
파라미터	시스템 설계치	듀플렉서	저잡음증폭기	RF SAW필터	혼합기	IF SAW필터	자동이득조절기
잡음지수 (dB)	6.4382	3	1.4	3	5.5	13	8
이득 (dB)	46.5	-3	12	-3	15.5	-13	38
IIP3 (dBm)	-6.6352	100	5.5	100	-0.5	100	100
중속 이득(dB)		-3	9	6	21.5	8.5	46.5
신호전력 레벨(dBm)	-104	-107	-95	-98	-82.5	-95.5	-57.5

이득은 -57.5dBm으로 간섭 톤의 레벨이 -30dBm일 때 저잡음 증폭기, 혼합기 등의 이득이 변함에 따른 차이이다.

표 3. 단일 톤 둔감도의 시험 파라미터.

파라미터	단 위	시험 1	시험 2
중심 주파수로 부터 톤 이격	MHz	+1.25	-1.25
톤 전력	dBm	-30	
수신전력	dBm/1.23MHz	-101	
(Pilot E _c)/I _{or}	dB	-7	
(Traffic E _c)/I _{or}	dB	-15.6	

단일 톤 둔감도에서 간섭 톤은 IF SAW필터에 의해서 45dB 감소된다. 결과적으로 간섭 톤이 자동 이득 조절기의 입력 단까지 들어오며 희망 신호보다 26dB 더 강하다. 물론 자동 이득 조절기의 이득은 자동 이득 조절기의 출력 단에 간섭 전력이 포함된 전체 출력 전력이 -57.5dBm으로 일정하게 유지하기 위하여 조정한다.

전체 수신 시스템의 잡음지수는 6.4382dB이고 이득은 43.5dB이며 IIP3는 -6.6352dBm이다.

그림 2와 같이 수신 신호의 중심 주파수는 1.855 GHz이고 이 수신 신호로부터 +1.25MHz이격된 지점인 1.85625GHz에 단일 톤 신호를 넣었다.

단일 톤 신호는 J-STD-018의 최소 규격대로 -30.31dBm을 넣었으며 수신 신호가 -90dBm부터 -105dBm까지 가변할 때 성능을 분석하였다.

표 4. 단일 톤 둔감도 시험

입력 파라미터 :							
볼츠만 상수(K)	1.38E-23	-228.6	잡음 전력(dBm/Hz)	-113.1			
절대온도(K)	290	24.62	수신 전력	-101			
대역폭(MHz)	1.23	60.9	(dBm/1.23MHz)				
파라미터	시스템 설계치	듀플렉서	저잡음증폭기	RF SAW필터	혼합기	IF SAW필터	자동이득조절기
잡음지수(dB)	6.4382	3	1.4	3	5.5	13	8
이득(dB)	43.5	-3	12	-3	15.5	-13	35
IIP3(dBm)	-6.6352	100	5.5	100	-0.5	100	100
중속 이득(dB)		-3	9	6	21.5	8.5	43.5
신호전력레벨(dBm)	-101	-104	-92	-95	-79.5	-92.5	-57.5
1.25MHz오프셋 톤 신호전력레벨(dBm)	-30	-33	-21	-24	-8.5	-66.5	-31.5

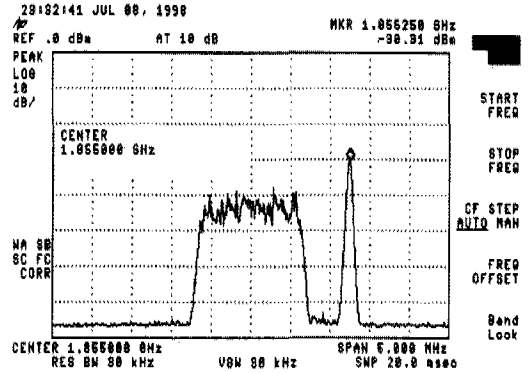


그림 2. 중심 주파수로부터 +1.25MHz 톤 이격

그림 3과 같이 수신 신호의 중심 주파수는 1.855 GHz이고 이 수신 신호로부터 -1.25MHz 이격된 지점인 1.85375GHz에 단일 톤 신호를 넣었다.

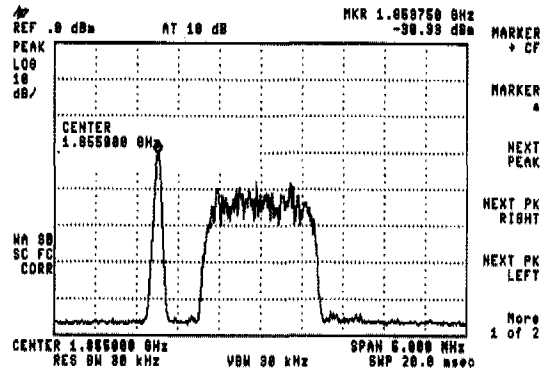


그림 3. 중심 주파수로부터 -1.25MHz 톤 이격

단일 톤 신호는 J-STD-018의 최소 규격대로 -30.33dBm을 넣었으며 수신 신호가 -90dBm부터 -105dBm까지 가변할 때 성능을 분석하였다.

3.3 상호변조에 의한 스푸리어스 응답 감쇄

상호변조에 의한 스푸리어스 응답 감쇄는 두 개의 간섭 CW(continuous wave)톤이 존재할 때 할당된 채널 주파수상에서 CDMA신호를 수신하는 수신기 능력의 측정치이다. 이 톤들은 두 개의 간섭 CW톤의 3차 혼합이 수신기의 비선형 소자에서 발생하여, 원하는 CDMA 신호의 대역내에 간섭 신호를 일으킬 수 있도록 할당된 채널 주파수로부터 분리된다.

개인휴대통신의 최소 규격인 J-STD-018에서는 표 5와 같은 시험 파라미터로 최소 성능시험을 한다³⁾.

표 6은 수신 시스템의 상호변조에 의한 스푸리어스 응답 감쇄에 대하여 종속적인 회로에서의 파라미터 특성을 나타낸 것이다. 자동 이득 조절기의 출력 이득을 -57.5dBm으로 고정시켰을 경우, 두 개의 간섭 톤이 -43dBm으로 들어 왔을 때 종속적인 회로의 이득 및 손실에 의해 레벨의 변동을 표시하였다.

전체 수신 시스템의 잡음지수는 6.4382dB이고 이득은 43.5dB이며 IIP3는 -6.6352dBm이다.

그림 4와 그림 5는 상호변조에 의한 스푸리어스

응답 감쇄를 분석하기 위해서 수신 신호의 중심 주파수는 1.855GHz이고 이 수신 신호로부터 각각 +1.25MHz, -1.25MHz이격된 지점인 1.85625 GHz, 1.85375GHz에 톤 신호를 약 -43dB레벨로 넣고 동시에 각각 +2.05MHz, -2.05MHz 떨어진 지점인 1.85705GHz, 1.85295GHz에 톤 신호를 약 -43dB 레벨로 각각 넣어서 수신 신호를 가변하여 분석하였다.

표 5. 상호변조에 의한 스푸리어스 응답 감쇄의 시험 파라미터

파라미터	단위	시험 1	시험 2
중심 주파수로부터 톤 1의 이격	MHz	+1.25	-1.25
톤 1의 전력	dBm	-43	
중심 주파수로부터 톤 2의 이격	MHz	+2.05	-2.05
톤 2의 전력	dBm	-43	
수신 전력	dBm/1.23MHz	-101	
Pilot E _c I _{or}	dB	-7	
Traffic E _c I _{or}	dB	-15.6	

표 6. 상호변조에 의한 스푸리어스 응답 감쇄 시험

입력 파라미터 :							
볼츠만상수(K)	1.38E-23	-228.6		잡음 전력(dBm)		-113.1	
절대온도(°K)	290	24.62		수신 전력		-101	
대역폭(MHz)	1.23	60.9		(dBm/1.23MHz)			
파라미터	시스템 설계치	듀플렉서	저잡음증폭기	RF SAW필터	혼합기	IF SAW필터	자동이득조절기
잡음지수(dB)	6.4382	3	1.4	3	5.5	13	8
이득(dB)	43.5	-3	12	-3	15.5	-13	35
IIP3(dBm)	-6.6352	100	5.5	100	-0.5	100	100
종속 이득(dB)		-3	9	6	21.5	8.5	43.5
신호전력레벨(dBm)	-101	-104	-92	-95	-79.5	-92.5	-57.5
1.25MHz오프셋 톤 신호전력레벨(dBm)	-43	-46	-34	-37	-21.5	-79.5	-44.5
2.05MHz오프셋 톤 신호전력레벨(dBm)	-43	-46	-34	-37	-21.5	-79.5	-44.5

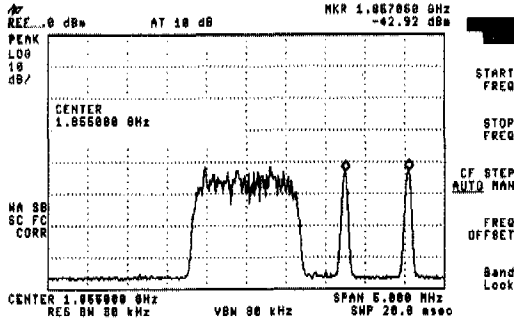


그림 4. 중심 주파수로부터 +1.25MHz, +2.05MHz 톤 이격

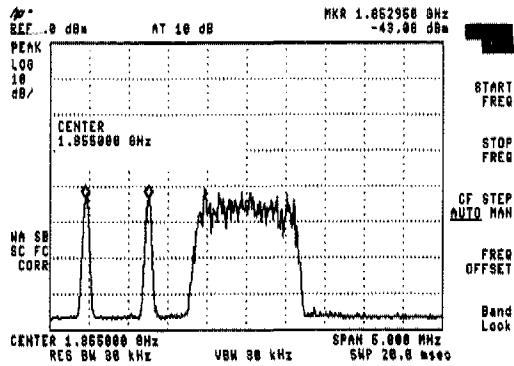


그림 5. 중심 주파수로부터 -1.25MHz, -2.05MHz 톤 이격

V. 결론

수신 시스템의 고주파 변환부에서 각 소자들의 파라미터들이 변할 때 통화중의 음질 향상과 간섭에 의한 호 절단율을 없애고 수신 시스템의 수신 성능 개선을 위해 수신 시스템을 구성하였다.

따라서 본 논문에서는 개인휴대통신의 최소 규격인 J-STD-018의 항목중에서 수신 감도, 단일 톤 문 감도, 상호변조에 의한 스퓨리어스 응답 감쇄 등을 이용하여 수신 파라미터인 이득, 잡음지수, IIP3등을 구하고 이러한 파라미터들이 변할 때 수신 시스템에 미치는 영향을 분석하였다.

시뮬레이션 결과 수신 시스템에서 수신 감도의 전체 잡음지수는 6.4382dB이고 이득은 46.5dB, IIP3는 -6.6352dBm이었다.

또한 자동 이득 조절기의 출력 레벨에서 1.25 MHz이격된 간섭 톤 신호의 전력 레벨은 -31.5 dBm으로 신호 전력 레벨보다 26dB 높다. 단일 톤 문감도의 전체 수신 시스템의 잡음지수는 6.4382 dB이고 이득은 43.5dB이며 IIP3는 -6.6352dBm이

다.

또한 자동 이득 조절기의 출력 레벨에서 1.25 MHz 및 2.05MHz이격된 간섭 톤 신호의 전력 레벨은 -44.5dBm으로 신호 전력 레벨보다 13dB 높다. 상호변조에 의한 스퓨리어스 응답 감쇄의 전체 수신 시스템의 잡음지수는 6.4382dB이고 이득은 43.5dB이며 IIP3는 -6.6352dBm이다. 따라서 수신 파라미터들에 의한 잡음지수와 이득, IIP3등이 이동국의 최소 규격인 J-STD-018에 해당함을 알 수 있었다.

참고 문헌

- [1] B. Azhang and H. V. Poor, Performance of DS/CDMA communications in impulsive channels-Part I:Linear Correlation Receivers, IEEE Trans. Commun., pp.1179-1188, Nov., 1987.
- [2] Theodore S. Rappaport, Wireless Communications, IEEE Press, Ch. 10, 1996.
- [3] TIA/EIA, J-STD-008 : Personal Station-Base Station Compatibility Requirements for 1.8 to 2.0GHz Code Division Multiple Access Personal Communications Systems, March, 1995.
- [4] TIA/EIA, J-STD-018:Recommended Minimum Performance Requirements for 1.8 to 2.0GHz Code Division Multiple Access Personal Stations, Nov., 1995.
- [5] K. Gilhousen, et al, On the capacity of a Cellular CDMA system, IEEE Trans. on Veh. Tech., VT-40, pp.301-312, May, 1991.
- [6] M. Heath, P. Newson, On the capacity of spread spectrum CDMA for mobile radio, IEEE VTC '92, Denver, CO, pp.985-988, May, 1992.
- [7] A. Viterbi, Principles of Spread Spectrum Multiple Access Communication. Qualcomm, ch. 5, pp.142-148, April, 1994.

주 재 한(Jae Han Ju)

정회원



1989년 : 조선대학교 공과대학
전자공학과 졸업
(공학사)

1991년 : 조선대학교 대학원
전자공학과 졸업
(공학석사)

1999년 : 조선대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박
사)

<주관심 분야> 이동통신, 신호처리 및 제어분야

양 흥 영(Hong Young Yang)정회원



1982년 : 조선대학교 공과대학
전자공학과 졸업
(공학사)

1984년 : 조선대학교 대학원
전자공학과 졸업
(공학석사)

1994년 : 조선대학교 대학원 박사과정 수료

1987년~현재 : 동강대학 전자과 부교수

<주관심 분야> 전자회로 및 시스템 설계, 멀티미디어
영상통신, 이동통신용 IC통신

류 재 민(Jae Min Ryu)

정회원



1981년 2월 : 조선대학교 공과대
학 전자공학과 졸업
(공학사)

1986년 2월 : 조선대학교 산업대
학원 전자계산학과 졸업
(공학석사)

1997년 2월 : 조선대학교 대학원 전기공학과 졸업(공
학박사)

1985년~현재 : 동강대학 정보통신과 부교수

<주관심 분야> 디지털신호처리, 패턴인식, 디지털통
신네트워크