
1x EV-DO 서비스망을 위한 이동통신 중계기의 송신 다이버시티에 관한 연구

김선근* · 이영섭** · 김기문*

A Study on Transmit Diversity of Repeaters for 1x EV-DO Networks

Seon-Keun Kim* · Young-Sub Lee** · Ki-Moon Kim*

요 약

음성급의 무선 통신서비스에 있어 기지국과 단말기간의 다중경로에 의해 발생하는 레이라이 페이딩 현상은 통신품질의 열화(호의 끊어짐, error 발생 등)를 가져오게 된다. 초고속 무선 멀티미디어 서비스(1x EV-DO, W-CDMA 서비스)의 경우, 현재 2세대 이동통신 서비스(64kbps)보다 약 40배 정도 빠른 속도의 서비스를 제공하게 되므로, 이 경우에는 음성급에 비해 레이라이 페이딩 현상에 의한 통신 품질의 열화 문제가 더욱 심화될 것이 예상된다. 실제로 1x EV-DO의 경우 현장 시험결과 복조 방법에 따라 페이딩에 의한 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 이러한 기지국과 단말기간의 다중경로에 의한 레이라이 페이딩 문제를 해결하기 위해서는 이동통신 중계기에 송신 다이버시티 기능이 구현되어야 한다. 본 논문은 RF 중계기에 송신 다이버시티를 구현하여 1x EV-DO망에서 현장 시험을 한 결과에 관한 것이다. 시험결과 다이버시티가 없는 경우 보다 최대 데이터 rate가 약 2배 정도 증가되는 것을 확인할 수 있었다.

ABSTRACT

Rayleigh fading due to multi-path degrades the mobile service quality, especially high data rate mobile services such as 1xEVDO and W-CDMA. The field test showed that down load data rate of 1xEVDO is seriously affected by Rayleigh fading. To reduce the effect of Rayleigh fading, transmit diversity was implemented in RF repeater. In field test, transmit diversity function increased the data rate about twice comparing with no transmit diversity repeater. Recently high data rate service is getting more important, so transmit diversity function will be an important function in repeater.

키워드

Repeater, 1x EV-DO, data rate, Fading, Transmit Diversity

1. 서 론

음성 통신을 위한 무선 통신 서비스에 있어 기지국과 단말기간의 다중경로에 의해 발생하는 페

*한국해양대학교 전자통신공학과

** (주)사라콤 S/E사업부

이딩 현상은 통신 품질의 열화(호의 끊어짐, error 발생 등)를 가져오게 된다. 초고속 무선 멀티미디어 서비스 (1x EV-DO, W-CDMA 서비스)의 경우에는 현재 2세대 이동통신 서비스(64Kbps)보다 약 40배 정도 빠른 속도의 서비스를 제공하게 되는데, 이 경우에는 음성급에 비해 레이라이 페이딩 현상에 의한 통신 품질의 열화 문제가 더욱 심화될 것으로 예상된다. 실제로 1x EV-DO의 경우, 현장시험 결과 복조 방법에 따라 페이딩에 의한 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 이러한 기지국과 단말기간의 다중경로에 의한 레이라이 페이딩 문제를 해결하기 위해서는 이동통신 중계기에 송신 다이버스티 기능이 구현되어야 한다. 본 논문은 송신 다이버스티 기능이 구현된 이동통신 중계기에 관한 것이다.

연구내용으로는 1x EV-DO 환경에서의 이동통신 중계기의 통화 품질 및 특성을 분석하여 이를 바탕으로 RF 중계기에 송신 다이버스티의 기능을 구현하였다. 송신 다이버스티 기능이 구현된 RF 중계기에 대해 현장시험을 실시하여 송신 다이버스티 기능이 이동통신 품질 향상에 기여하는 것을 확인할 수 있었다. 시험결과는 송신 다이버스티가 구현되지 않는 중계기에 비해 송신 다이버스티가 구현된 중계기의 경우 최대 약 2배의 전송속도의 향상을 가져온다는 것을 알 수 있었다.

3세대 서비스는 음성급뿐만 아니라 초고속 무선 데이터 서비스가 주류를 이룰 것으로 예상되므로, 이 경우에는 송신 다이버스티 기능이 매우 중요한 중계기의 기능이 될 것으로 사료된다.

II. CDMA 전송 방식에서의 RAKE 수신기[1]

CDMA 방식의 중요한 특징 중의 하나가 레이크 수신 기능이 있다는 것이다. 레이크 수신기는 서로 시간차(지연)가 있는 두 신호를 분리해 낼 수 있는 기능을 가진 수신기를 말하는 것으로, CDMA의 대역 확산 원리에 의해서 얻을 수 있는 특성이다.

전자파를 이용하여 통신을 할 때 전송품질에 영향을 주는 현상 중에 가장 큰 영향을 주는 요인이 다중경로에 의한 페이딩이다. 다중경로에 의한 페이딩은 서로 다른 경로로 수신기에 도착한 신호의 위상차이(시간 지연 차이)에 의해서 발생하는 것이다. 이러한 페이딩은 신호의 크기를 감소시키므로, C/I를 악화시켜 전송에러를 집중적으로 발생시킨다. 그리고 시간지연은 신호간 간섭 (ISI :

Inter-symbol Interference)을 발생시킨다. 대개의 전파를 이용한 통신방식에서는 페이딩은 다이버스티 기법을 이용하여 어느 정도 극복을 하고 있으며, 시간지연은 각 시간지연을 보상하는 등화기(Equalizer)를 이용하여 ISI를 줄이고 있다.

CDMA 방식이 레이크 수신기를 사용할 수 있는 이유는 다음과 같다. 그림 1에서 보여주는 것처럼 다중경로에 의해서 수신기에 3개의 경로로, 3개의 신호가 시간차를 가지고 수신기에 도착했다고 하자. 이때 경로1 신호를 기준으로 보면, 경로2 신호는 약 0.5chip 정도(여기서 chip은 확산코드 한 펄스의 간격으로 데이터의 비트와 구별하여 사용한다. Q-CDMA인 경우 확산속도가 1.2288Mbps 이므로 1chip의 시간은 0.814μs 이다) 시간 차이를 가지고 있고, 경로3 신호는 2chip 정도의 시간차를 가지고 있다고 하자.

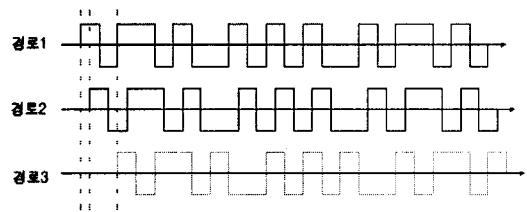


그림 1. 다중경로에 의한 신호
Fig. 1 Received Signal of Multipath Propagation.

여기서 수신기가 만일 경로1 신호에 동기를 맞추어서 역확산을 한다면, 경로2, 경로3 신호는 동기가 맞지 않기 때문에 역확산이 되지 않는다. 이미 설명한 바와 같이 동기가 맞지 않는 신호는 전혀 다른 신호 또는 전혀 다른 코드를 곱한 것과 같기 때문이다. 즉, 동일한 신호 3개가 서로 다른 시간차를 가지고 도착했는데 이 중에 경로1 신호만 역확산을 하여 신호를 복조할 수 있지만, 다른 경로로 도착한 신호는 역확산이 되지 않아 마치 3개의 신호 중에 경로1 신호만 추출한 것과 같다. 따라서 동기를 경로1 신호 대신에 2chip 만큼 지연을 주어서 경로3 신호에 맞추면 이번에는 경로3 신호만 추출할 수 있는 것이다.

즉 CDMA에서는 시간차를 가지고 수신되어도 서로 독립된 신호로 인식하므로 마치 시간 다이버시티와 같은 효과를 얻을 수 있는 것이다. 이와 같이 서로 다른 경로(또는 시간 차이)로 도착한 신호를 분리할 수 있는 이러한 수신기를 레이크 수신기라 한다.

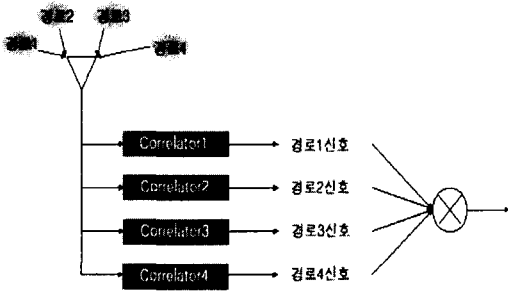


그림 2. 레이크 수신기의 개념도
Fig. 2 Conceptual Diagram of Rake Receiver.

그러나 그림 1에서 보는 것처럼, 경로1과 경로2의 시간차처럼 두 신호의 지연시간 차이가 1 chip 보다 짧으면 레이크 수신기에 의한 신호분리를 할 수 없으므로 이때는 신호에 나쁜 영향을 미치게 된다. 이동통신 환경(매크로 셀 : 셀반경이 5km~20km 정도 되는 셀인 경우)에서 나타나는 옥외의 지연특성은 약 $2\mu\text{s} \sim 3\mu\text{s}$ 정도로 알려져 있으므로, 이러한 환경에서는 레이크 수신기로 큰 효과를 얻을 수 있다. 그러나 마이크로 셀 환경이나 옥내 환경에서는 지연시간차가 $0.2\mu\text{s}$ 정도이므로 큰 효과를 얻을 수 없다. 옥내 환경에서도 충분한 레이크 수신기의 효과를 얻기 위해서는 적어도 확산 대역폭이 50MHz 이상 되어야 할 것이다.

이를 이용하여 그림 2에서 보여주는 것처럼 여러 개의 상관 검출기(Correlator)를 이용하여 레이크 수신기를 구현할 수 있다. 이러한 레이크 수신을 할 수 있는 수신기를 이동국은 3개, 기지국 4개를 가지고 있으며, 지연시간을 가지는 신호를 수신하는 것 외에도 소프트 핸드오버 시에 서로 다른 기지국에서 오는 신호를 동시에 수신하는 데도 사용된다.

III. 송신 다이버시티의 원리

그림 3은 송수신 다이버시티의 개념도이다. 송신 다이버시티란 중계기에서 이동국으로 가는 신호를 2개의 안테나 또는 복편파 안테나를 이용하여 두개의 독립된 신호를 보냄으로써 이동국의 레이크 수신기에 의해 신호의 E_c/I_o 를 향상시키는 것이다. 일반적으로 레이크 수신기는 1chip 이상의 시간차를 가져야만 그 신호를 독립적으로 분리할 수 있다. 따라서 1chip 이상의 시간차를 갖기 위해

서는 두개의 안테나가 수평적으로 5.5m 이상 떨어져야 약 3dB의 다이버시티 Gain을 갖는다는 실험 결과가 있다[2]. 그러나 현실적으로 중계기의 설치 환경에서 안테나를 수평적으로 5.5m 이상 떨어뜨려 설치하는 것은 그 공간적인 제약으로 인해 많은 어려움이 있다.

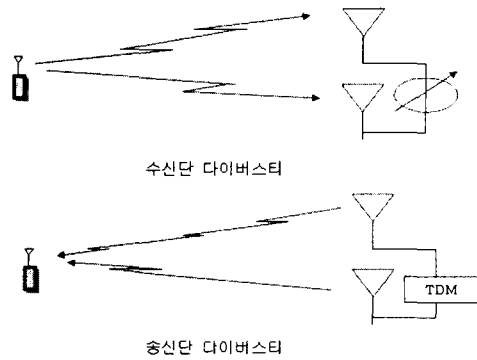


그림 3. 송수신 다이버시티의 개념도
Fig. 3 Conceptual Diagram of Diversity (Tx, Rx).

송신 다이버시티를 구현하는데 있어 두개의 안테나를 수평적으로 5.5m 이상 격리 설치하는 것이 현실적으로 어렵다는 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 다이버시티 모듈을 장착하여 이러한 문제를 해결하였다. 다이버시티 모듈은 레이크 수신기가 1chip 이상의 지연시간이 있을 때 다중 경로의 신호를 독립적으로 분리해 낼 수 있다는 원리를 이용하여 인위적으로 1chip 이상의 시간차를 발생시키는 역할을 한다. 송신 다이버시티가 구현된 RF 중계기의 구성은 그림 4와 같다.

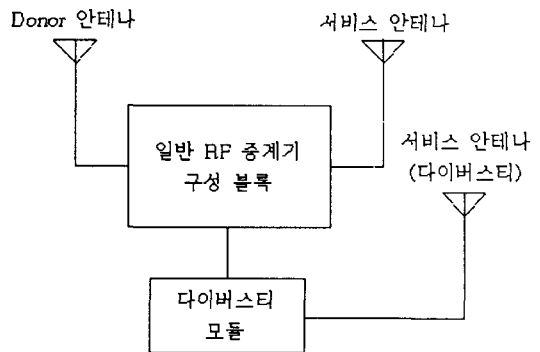


그림 4. 송신 다이버시티가 구현된 RF 중계기 구성
Fig. 4 Configuration of RF Repeater with Tx Diversity.

IV. 송신 다이버시티의 전송 시험 결과

4.1 송신 다이버시티가 구현된 RF 중계기

송신 다이버시티가 구현된 RF 중계기의 구성은 그림 4와 같으며, 다이버시티 모듈을 하나의 합체에 장착하였다.

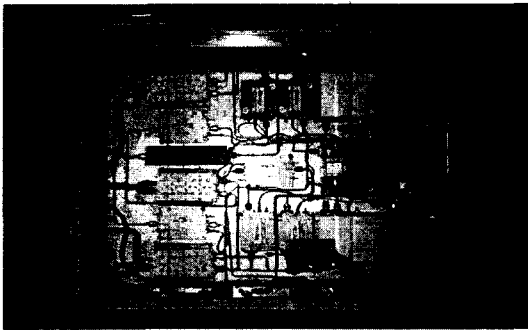


그림 5. 송신 다이버시티가 구현된 RF 중계기
Fig. 5 Prototype of RF Repeater with Tx Diversity.

송신 다이버시티가 구현된 RF 중계기의 제작된 시제품은 그림 5와 같다.

4.2 페이딩에 의한 전송 특성 열화

RF 중계기의 페이딩에 의한 전송 특성의 변화를 측정하기 위해 그림 6과 같이 RF 중계기를 대상으로 도너측 안테나의 방향을 0, 90, 180, 270 도로 변화시켜 임의로 페이딩된 신호를 받아 데이터 rate를 측정하였다.

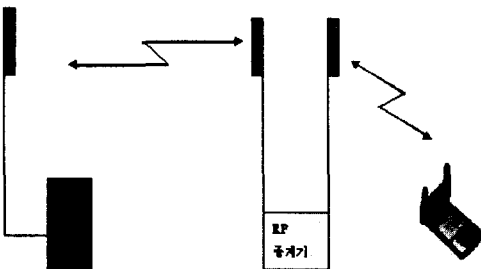


그림 6. 시험구성도
Fig. 6 Test Configuration

시험 결과는 그림 7과 같으며 이때의 변조방식은 Variable이었다. 시험 결과에서 보는 바와 같이 페이딩에 의해 데이터 Rate가 약 50% 정도 열화되

는 것을 알 수 있었다.

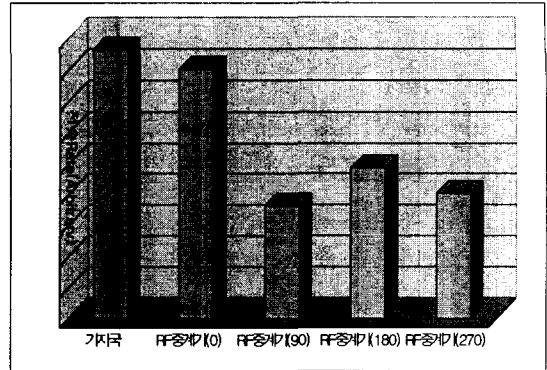


그림 7. 페이딩에 의한 영향
Fig. 7 Effect for Fading.

이러한 결과로 알 수 있는 초고속 데이터 서비스인 1x EV-DO 서비스의 신호는 페이딩에 약하다는 것을 알 수 있었다. 이는 RF 중계기의 경우 수신 다이버시티 뿐만 아니라 송신 다이버시티 기능이 추가되어야 함을 알 수 있다.

4.3 송신 다이버시티 전송 시험 결과

송신 다이버시티의 전송 시험을 위한 구성도는 그림 8과 같으며, Tx1이 없는 경우(No Diversity)와 Tx1이 있는 경우(Diversity)로 나누어 Variable과 QPSK 변조방식에 대해 측정하였다.

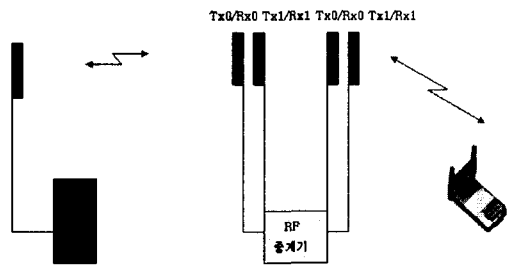


그림 8. 시험 구성도
Fig. 8 Test Configuration.

4.3.1 Variable 변조방식

표 1의 측정결과와 같이 Patch형 복편파를 이용한 순방향 다이버시티 기능을 채용한 중계기는 +45의 경우 RSSI가 다이버시티 경우와 유사함에도 불구하고 Data Rate에서는 다이버시티 경우의 25% 정도로 매우 낮은 결과를 나타냈다.

표 1. 송신다이버스티 시험결과
Table.1 Test Results of Tx Diversity.

중계기명	AN파 기명	변조 방식	DRC (dB)	단말기 RSSI (dBm)	C/I (dB)	FER (%)	전송속도(byte/sec)					한산 (Kbps)	
							1회	2회	3회	4회	평균		
A	무선 연결 (+45 -45)	Variable	DIV (+45 -45)	-59~ -62	5~0	1.0	48.39	49.93	60.47	60.92	54.93	440.97	
		Variable	No DIV (+45 -45)	-60~ -65	-5~ -10	1.0	15.52	14.12	13.98	17.86	12.30	100.73	
		Variable	No DIV (-45 -67)	-65~ -67	0~ -10	1.0	31.42	26.83	59.18	55.42	43.21	354.00	
B	무선 연결 (+45 -45)	QPSK (37/40)	DIV (+45 -45)	-59~ -62	0~5	1.0	32.01	47.22			39.62	324.53	
		QPSK (37/40)	No DIV (+45 -45)	-60~ -65	-5~ -10	10.0	측정불가 (Variable의 경우가 Max인)					0.00	0.00
		QPSK (37/40)	No DIV (-45 -67)	-65~ -67	0~ -10	1.0	12.65	25.68				19.17	157.00

-45 편파 안테나의 경우 RSSI가 다이버스티의 경우보다 5dB 정도 낮게 나타났으나, Data Rate에서는 다이버스티 경우 대비 78% 정도로 나타났다.

4.3.2 QPSK 변조방식

QPSK 변조방식은 2G 및 3G에서도 적용하는 변조방식이다. QPSK 변조방식에서도 순방향 다이버스티 효과는 매우 크다는 것을 알 수 있다. 즉, 다이버스티 기능이 구현된 중계기에서는 324 kbps를 지원하는데 비하여, +45편파 안테나에서는 RSSI값이 양호함에도 불구하고 측정이 되지 않았으며(이러한 경우는 요구하는 Data Rate와 주어진 환경에서 실제 지원 할 수 있는 Data Rate값의 차이가 매우 클 경우에 발생), -45 편파 안테나를 이용한 경우 다이버스티가 구현된 경우의 50% 정도로 나타났다.

4.3.3 결과 분석

1x Ev-Do 고속 데이터 서비스에서는 순방향 다이버스티 기능을 구현한 경우와 그렇지 않은 경우를 비교하여, 100Kbps 이상 고속 데이터 전송시 QPSK 변조방식에서도 순방향 페이딩 현상에 의한 Data Rate 열화가 심하다는 것을 알 수 있었으며, 편파 안테나를 이용할 경우에는 2G 중계기에서 최적화 방법(RSSI 기준)과 매우 상이한 결과를 얻었다.(즉, RSSI값이 적음에도 불구하고 Data Rate는 월등히 좋음)

특히, 순방향 다이버스티의 효과가 매우 크게 나타났다(27~400% 정도로 Data Rate 개선효과를 가져옴) 또한, 편파 안테나 방식의 중계기는 단말

기 안테나의 위치, 중계기 커버리지 안테나의 위치에 따라 Data Rate가 매우 민감하게 적용하지만, 순방향 다이버스티 기능을 구현한 중계기에 있어서는 이러한 방향 의존성(단말기 안테나 위치 및 중계기 커버리지 안테나 위치)이 매우 완화됨을 알 수 있었다.

본 시험결과를 통하여 1x Ev-Do의 고속 Data Rate를 중계기 지역에서도 안정적으로 제공하기 위해서는 순방향 다이버스티의 기능을 채용하는 것이 매우 적절하다는 결론이 도출 되었다.

4.4 송신 다이버스티 효과

본 절에서는 위 4.3절의 시험결과를 바탕으로 중계기에 송신 다이버스티가 구현되었을 때의 효과를 정리하였다.

4.4.1 커버리지의 확장 효과

현장시험을 통하여 일차적으로 분석된 데이터는 최소 2dB 이상의 커버리지 확장효과를 나타내었다. 이것은 W-CDMA에 있어서 커버리지 제한요소가 역방향 보다 순방향에 있기 때문에 3세대 시스템에서는 매우 중요한 의미를 가지다.

4.4.2 시스템의 신뢰성 확보

일반적으로 중계기는 LPA(Linear Power Amplifier)를 사용하여 출력을 발생시키는데, 최근의 2세대 중계기에 있어서 적용되는 LPA 출력은 60~80W 정도이다. 동등한 커버리지를 기준으로 할 때, 송신 다이버스티 기능을 채용한 중계기는 40~50W 정도의 LPA를 사용하여 동일한 결과를 발생한다는 것을 알 수 있었다. 한편 중계기에 있어서 대부분 발생하는 발열은 출력단인 LPA에 의한 것이고 또한 이러한 발열으로 인해 중계기의 구성품에 대한 고장의 원인이 되고 있는데, 저출력, 저발열을 위한 시스템의 구현은 중계기의 신뢰성을 획기적으로 개선할 수 있을 것으로 사료된다.

4.4.3 Pilot Pollution(셀 간의 간섭) 감소

CDMA 셀은 동일한 주파수를 사용하기 때문에 Pilot Pollution이 셀 용량에 상당한 악영향을 끼친다. 특히 대도시의 경우에는 마이크로 셀 개념에 해당되며, 셀 간의 간격은 평균 500m를 넘지 않는다. 이러한 환경에서는 Pilot Pollution을 줄이는 것은 매우 중요한 요소이며, 따라서 대도시에 적용되는 중계기에는 송신 다이버스티 기능을 도입하여 가능한 한 중계기의 물리적인 출력을 줄이면서, 커버리지의 확장효과를 증대시키는 것이 매우 중요하다.

4.4.4 원가 절감 효과

송신 다이버시티의 기능이 구현된 중계기의 구성은 일반 중계기와 비교하여 중계기의 기능 대비 원가의 상승부분이 매우 작은 것으로 조사되었다. 아울러 동일한 커버리지를 기준으로 할 때, 송신 다이버시티 기능을 채용함으로써 얻어지는 효과 즉, 저출력의 LPA(80W → 50W) 사용에 따른 비용 절감 효과 또한 실질적으로 중계기의 구현에 따른 원가의 비용을 줄이는 결과를 초래하므로 향후 중계기 생산 기업의 실질적인 원가 절감 효과에 많은 도움이 되리라 사료된다.

V. 결 론

본 논문에서는 초고속 무선 데이터 서비스인 1x EV-DO 서비스가 레이라이 페이딩에 의해 전송 특성이 열화되는 것을 시험적으로 알 수 있었다. 이러한 문제를 해결하기 위해 RF 중계기에 송신 다이버시티를 구현하여 현장에서 전송 상태를 시험하였고, 그 결과 송신 다이버시티로 인해 페이딩의 영향을 최소화 할 수 있다는 것을 알 수 있다.

QPSK 변조방식의 경우, 송신 다이버시티가 없는 경우에 비해 송신 다이버시티를 구현한 경우 약 2배 이상의 데이터 rate가 증가하는 것을 실험적으로 알 수 있었다.

이러한 송신 다이버시티는 커버리지의 확장 효과, 시스템 신뢰성, Pilot Pollution(셀 간의 간섭) 및 중계기의 원가 절감 등의 많은 이점이 있어 초고속 무선 데이터 서비스를 위한 중계기에서 가져가야 할 중요한 기능으로 판단된다. 특히 3세대 이동통신 서비스인 W-CDMA의 경우, 중계기에서의 송신 다이버시티 기능이 더욱더 중요한 기능이 될 것으로 판단된다.

참고문헌

[1] 하태숙, http://www.rfdh.com/tech/cdma/cdma_basic_prop.htm
[2] Jhon Reilly., "Understanding and

Maximizing Space Diversity Gain at 400Mhz", Sigma Wireless Technologies White Paper, 2001.

저자소개

김선근(Seon-Keun Kim)



1999년: 한국해양대학교 전자통신공학과(공학석사)
2002년 04월: 한국해양대학교 전자통신공학 박사 과정 수료
2004년 현재, KTF 네트워크 구축 담당

※관심분야 : W-CDMA, 해상통신

이영섭(Young-Sub Lee)

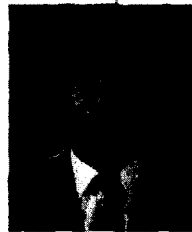


1992년: 한국해양대학교 전자통신공학과(공학사)
1994년: 한국해양대학교 전자통신공학과(공학석사)
2003년: 한국해양대학교 전자통신공학과(공학박사)

2002년~ 현재, (주)사라콤 S/E사업부 재직
2004년~ 현재, 한국해양대학교 전파·정보통신공학부 겸임교수

※관심분야 : W-CDMA, 해상통신, 영상처리, SI

김기문(Ki-Moon Kim)



1972년: 광운대학교 전파통신공학과(공학사)
1978년: 건국대학교 통신행정학 석사
1994년: 경남대학교 전파통신행정학 박사

1983년~ 현재, 한국해양대학교 전파·정보통신공학부 교수

※관심분야 : 정보공학, 통신행정, 전파행정