

Link budget을 이용한 HSDPA 시스템의 sector throughput 분석

정희원 이요섭*, 김상범**, 종신회원 홍대형**, 정희원 장병렬***, 문순주***

HSDPA Sector Throughput Analysis With Modified Link Budget

Yoserb Yi*, Sangbum Kim** *Regular Members*, Daehyung Hong** *Lifelong Member*,
Byunglyerl Jang***, Soonjoo Moon*** *Regular Members*

요약

본 논문에서는 High Speed Data Packet Access(HSDPA) 시스템의 평균 sector throughput 분석 방법을 개발하였다. 제안하는 성능 분석 방법은 Adaptive Modulation and Coding(AMC)와 scheduling 기법, multi-code 전송의 영향을 반영할 수 있으며, link budget을 응용한 간단한 계산 과정들을 통해, HSDPA의 성능을 분석할 수 있다. 일반적으로, link budget은 셀 coverage를 산출하는 목적으로 사용되었으나, 본 논문에서는 AMC가 적용되는 CDMA 시스템 환경에서 특정 위치에 있는 사용자의 C/I를 계산할 수 있도록 변형하였다. 또한, 개발된 분석 방법을 활용하여, scheduling 기법과 multi-code 전송이 HSDPA 시스템 성능에 미치는 영향을 분석하였다.

Key Words : WCDMA, HSDPA, capacity, throughput, link budget

ABSTRACT

In this paper, we develop a method that derive the average sector throughput of HSDPA system. This proposed method reflects the effects of AMC, scheduling and multi-code transmission, and is performed by simple calculation procedures such as link budget analysis. Link budget table is used to estimate a cell coverage in general. We modify the link budget table in order to calculate C/I of the user according to the location of the user in CDMA packet system employing AMC. Furthermore, we utilize the proposed method to analyze the effects of scheduling and multi-code transmission.

I. 서론

이동통신 시장의 성장과 함께, 기존의 음성 및 SMS 서비스 외에 패킷 데이터 서비스에 대한 수요가 증가하고 있다. 이러한 경향은 고속의 패킷 데이터 서비스가 가능한 차세대 이동통신 시스템의 필요성을 부각시키고 있다. 3GPP Release5에는 데이터 서비스를 위한 방법으로 기존의 패킷 데이터 전

송 방법인 Dedicated CHannel(DCH)와 Downlink Shared CHannel(DSCH)에서 진화된 형태인 High Speed Downlink Packet Access(HSDPA)를 제안하였다. HSDPA는 고속의 packet data service를 위하여 채널 환경에 따라 전송률이 가변하는 Adaptive Modulation and Coding(AMC)기법을 사용하여 최대 10.8Mbps의 전송률이 가능하게 되었다. AMC는 단말의 채널환경에 따라 변조 방식(modulation) 및

※본 연구는 SK 텔레콤(주) 지원 및 서강대학교 공과대학 산업기술 연구소 관리로 수행되었습니다.

* 삼성전자 정보통신총괄 (yoserb.yi@samsung.com),

** 서강대학교 전자공학과 통신시스템 연구실 (sbkim@eeecom1.sogang.ac.kr, dhong@sogang.ac.kr),

*** SK 텔레콤 ({bljang, sjmoon}@sktelecom.com)

논문번호 : KICS2006-03-128, 접수일자 : 2006년 3월 27일, 최종논문접수일자 : 2006년 5월 4일

coding rate을 변화하여 전송률을 변화시키는 것을 말한다. 예를 들어, 기지국 근처에 있는 단말처럼 채널 상태가 좋은 경우 16QAM 및 높은 coding rate을 사용하여 전송률을 높이고, 셀 경계영역 근처에 있는 단말처럼 채널 상태가 열악한 경우에는 QPSK 변조와 낮은 coding rate을 사용하여 전송률을 낮추어 안정적인 통신이 되게 한다.

본 논문에서는 이러한 AMC기법을 사용하는 HSDPA 시스템의 sector throughput을 도출하는 방안으로, link budget을 응용하는 방법을 제안하였다. 기존의 link budget은 maximum pathloss를 산출하여 셀 coverage를 도출하는 목적으로 주로 사용되었다^[1-2]. 본 논문에서는 AMC(Adaptive Modulation and Coding)가 적용되는 시스템 환경에서 특정 위치에 있는 사용자의 C/I를 계산할 수 있도록 변형하였다. 계산된 C/I에 따라 선택되는 MCS(Modulation & Coding Scheme)와 특정 영역의 사용자가 서비스 받을 확률, multi-code수 등을 고려하여 average sector throughput을 도출하였다. 또한 데이터 전송에 사용되는 multi-code수와 Round Robin, Max C/I 등의 스케줄링 기법이 avg. sector throughput에 미치는 영향을 분석하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 link budget을 이용하여 sector throughput을 도출하는 방법 및 과정에 대하여 설명하였으며, 3절에서는 논문에서 사용된 link budget table에 대하여 구체적으로 설명하였다. 4절에서는 서비스 받는 사용자가 특정 영역에 위치할 확률 분포에 관한 내용을 설명하였으며, 5절에서는 논문에서 제시한 방법으로 도출된 HSDPA 시스템의 sector throughput결과를 설명하였다. 6절에서는 본 논문의 결론을 맺었다.

II. Link budget을 통한 sector throughput 분석 방법

일반적으로 link budget은 셀 coverage를 도출하는 방법으로 사용되었으나, 본 논문에서는 HSDPA와 같이 전송률제어가 적용되는 시스템의 sector throughput을 도출하는 방법으로 활용하였다. Link budget을 이용하여 sector throughput을 도출하는 과정은 다음과 같다.

- ① Link budget을 이용하여 셀 중심으로부터 거리에 따른 C/I 분포를 도출.
- ② 셀 내의 특정영역에서 사용자가 서비스 받을 확률 도출

- ③ 셀 내의 각 영역에 위치한 사용자가 서비스 받을 확률과 가능한 전송률, 전송에 사용되는 multi-code 수, Frame Error Rate(FER)을 곱하여 sector throughput 도출

과정 ③을 수식으로 표현하면 식(1)과 같다.

$$\text{avg. sector throughput} = \sum_d p(d) \cdot r(d) \cdot (1 - FER(d)) \cdot M \tag{1}$$

여기서 $p(d)$ 는 셀 내의 특정 영역 d 에 위치한 사용자가 서비스 받을 확률을 나타낸다. 분석에서의 특정 영역 d 는 표 3에서와 같이, 기지국으로부터의 거리를 50m 단위로 나누어 구분하였다. $r(d)$ 는 셀 내의 특정 영역 d 에서 선택된 전송률 $r(d)$ 의 frame error rate을 나타내며, M 은 전송에 사용된 multi-code 수를 나타낸다. 위 과정에서는 사용자들은 셀 내에 균등한 분포로 발생되며, 기지국에는 항상 전송해야 할 데이터가 존재함을 가정하였다. 또한 상향 링크의 동작은 고려하지 않았으며, 최대 사용 가능한 multi-code의 수는 15개를 가정하였다.

III. HSDPA Link Budget

표 1은 sector throughput 도출에 사용된 link budget을 나타낸다. 분석을 위해, 참고문헌 [1-2]에

표 1. HSDPA link budget table

Transmitter (Base-station)	parameter	value
Number of channel	a	3
Base Total Power [W]	bb	20
Base Total Traffic Power [W]	b	16
HSDPA channel power [W]	c=b/a	5.33
Tx Antenna gain [dBi]	d	18
Cable loss [dB]	e	2
Tx EIRP [dbm]	f=10*log(1000*c)+d-e	53.27
Thermal Noise density [dBm/Hz]	g	-174
MS noise figure [dB]	h	8
Receiver Noise density[dBm/Hz]	i=g+h	-166
Receiver Noise power [dBm]	j=i+10*log(3840000)	-100.157
above in W	jj=10*(0.1+j)*0.001	9.6*10 ⁻¹⁴
MS distance from BS[m]	dd	200
Max pathloss [dB]	k=13.937+38.963log(dd)	103.59
Received HSDPA power[dBm]	r=f-k	-50.322
orthogonality factor	m	1.0
other cell Tx power [dBm]	n	59.01
othercell interference power[W]	o=시퀀스리전을 통해 각 셀에서부터 수신되는 간섭 전력계산	4.87*10 ⁻⁸
intracell interference power[W]	lsc=(1-m)*10*(n-k)	0
total interference power [W]	p=o+lsc+jj	4.88*10 ⁻⁸
above in dBm	oo=10*log(1000*p)	-73.18
C/I [dB]	q=r-oo	22.8

서 제시된 link budget를 응용하였으며, 기존의 link budget에서와는 달리 셀 영역을 1km로 고정하였다. 일반적으로 사용된 link budget과는 달리 HSDPA 시스템의 sector throughput을 도출하기 위해 다음과 같은 점들이 고려되었다.

3.1 AMC 및 Multi-code

HSDPA에서는 효율적인 패킷 데이터 전송을 위해 AMC 및 Multi-code 기법이 사용된다. 이러한 HSDPA 시스템의 성능을 분석하기 위해서는 AMC와 Multi-code의 동작이 반영되어야 한다. Link budget에는 multi-code가 적용되어 각 code마다 동일한 전력이 분배되도록 하였다. 전체 기지국 전력 중 80%(=16W)가 패킷 트래픽 전송에 사용되는 것을 가정하였으며, 각 코드에 할당되는 전력은 패킷 트래픽 전력을 multi-code 수로 나눈 것과 같다. AMC를 적용하기 위해 [5-6]에서 C/I vs FER 성능을 나타낸 link simulation 결과를 사용하였다. 본 논문에서 고려된 target FER은 10^{-2} 을 가정하였다. 전송률 및 coding rate은 특정 영역에서 link budget을 통해 계산된 C/I를 이용해 target FER을 만족하는 전송률 중 가장 높은 전송률이 선택된다. 본 논문에서 고려된 MCS와 target FER 10^{-2} 을 만족시키는 target C/I는 표 2와 같다.

표 2. HSDPA에 사용되는 Modulation and Coding Scheme

MCS level	Modulation	Code rate	Info. bit rate [kbps]	Target C/I [dB]
1	QPSK	1/4	120	-4.75
2		1/2	240	1.25
3		3/4	360	1.30
4	16 QAM	1/2	480	7.0
5		3/4	720	11.30

3.2 Other-cell interference

기존의 link budget에는 인접 셀에서부터 오는 간섭을 고려하기 위해 inter-to-intra cell interference ratio를 이용하였다^[1-4]. 기존의 link budget에서 적용된 C/I를 표현하면 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{C}{I_i} = \frac{P_i}{I_{sc} + I_{oc} + N_oW} = \frac{P_i}{I_{sc} + f \cdot I_{or} + N_oW} \quad (2)$$

$f = \frac{I_{oc}}{I_{or}}$: inter-to- intra cell interference ratio

P_i : 사용자 i 의 desired signal의 수신 전력

I_{sc} : 동일 셀로부터 오는 간섭 전력

I_{oc} : 인접 셀로부터 오는 간섭 전력

N_oW : 열잡음 전력

I_{or} : 동일 셀에서 송신한 신호의 총 수신 전력

기존의 간섭전력을 계산하는 방법에서는 모의실험을 통해 결정된 inter-to-intra cell interference ratio parameter값을 이용하여 수신 신호의 크기에 따라 간섭전력이 결정되게 된다. 이러한 방법을 이용하게 되면 기지국에서 가까운 거리에 있는 단말기는 수신신호의 크기가 크므로, 고정된 inter-to-intra cell interference ratio parameter에 의해서 간섭 전력량도 크게 계산되며, 셀 경계영역에 있는 단말기는 기지국의 수신 신호 크기가 작으므로 간섭 전력량도 작게 계산된다. 따라서 이러한 방법을 이용하는 경우 단말이 셀 중심에 위치하거나 셀 경계영역에 위치할 경우라도 수신 C/I 값이 거의 일정하게 계산된다. 이러한 방법은 전력제어가 수행되는 기존의 CDMA 무선망에서 C/I를 계산하기에는 적합한 방법이지만, HSDPA와 같이 전력제어를 수행하지 않고, 수신 C/I에 따라 modulation 및 coding rate이 결정되는 시스템에는 적합하지 않다. HSDPA의 경우 기지국은 고정된 전력으로 단말기에게 데이터를 전송한다. 이러한 시스템에선 기지국 근처에 있는 단말기는 높은 C/I를 갖게 되며, 셀 경계영역에 있는 단말은 낮은 C/I 값을 갖게 된다. 본 논문에서는 이러한 현상이 C/I를 도출하는 과정에 반영되도록 간섭 전력량을 수신신호에 관계없이 사용자의 위치에 따라 계산하였다.

그림 1은 위의 두 가지 간섭 전력을 고려하는 방법을 이용하였을 경우 C/I 분포를 비교한 그림이다.(기존의 방법을 적용한 경우 inter-to-intra cell interference ratio=0.5로 가정). 이때 고려된 환경은, 셀 반경은 1km이며, 셀 모양은 육각 셀을 고려

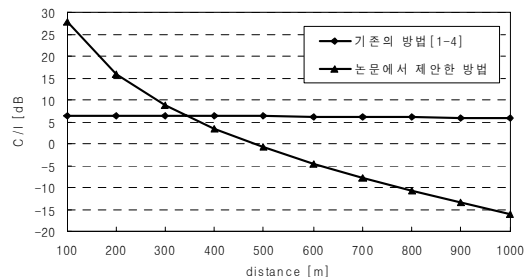


그림 1. 간섭량 계산 방법에 따른 C/I 분포 비교

하였으며 중심 기지국 주변에 위치한 6개의 셀만이 간섭에 영향을 미치는 것으로 가정하였다(1-tier). Sectorization은 고려하지 않았다. Pathloss 모델로는 Extended Okumura-Hata model을 적용하였다⁷⁾. 그림 1에서 확인 할 수 있듯이 기존의 방법에서는 셀 내의 사용자 위치에 관계없이 거의 동일한 C/I가 도출된 반면, 논문에서는 사용자의 위치에 따라 간섭량을 계산하여 적용하였기 때문에 셀 중심에서는 높은 C/I값이, 셀 경계영역에서는 낮은 C/I 값이 도출되었다.

그림 2는 HSDPA link budget을 이용하여 셀 중심으로부터 거리에 따른 C/I 분포를 나타낸 결과이다. HSDPA 채널의 C/I는 셀 중심에서 멀어질수록, 사용되는 multi-code의 수가 증가 할수록 감소한다. 셀 중심에서 셀 경계영역으로 갈수록 HSDPA 채널의 수신 전력은 감소하지만 간섭전력이 증가하므로 C/I는 감소하며, 사용되는 multi-code의 수가 증가 할수록 HSDPA channel에 할당되는 전력이 감소하기 때문에 C/I 값이 낮아지게 된다.

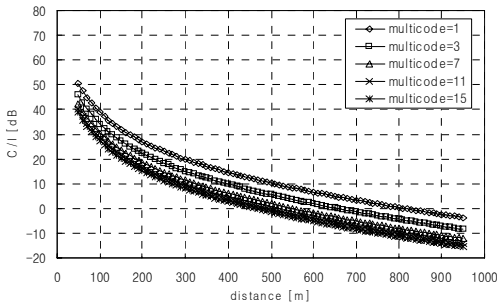


그림 2. multi-code 개수에 따른 C/I 분포

IV. 서비스 받는 사용자가 특정 영역에 위치할 확률 분포

표 3에서는 식 (1)에서 서비스 받는 사용자가 특정 영역에 위치할 확률 분포 $p(d)$ 를 나타내었다. $p(d)$ 는 Round Robin(RR) 기법과 max C/I 스케줄링 기법이 적용된 경우를 나누어 고려하였으며, 모의실험을 통해 도출하였다. RR 스케줄링 기법에서는 사용자의 위치와 채널 환경 등에 관계없이 모든 사용자가 동등한 기회로 서비스를 제공하며, max C/I 스케줄링 기법에서는 여러 사용자들 중에서 C/I 값이 가장 좋은 사용자가 서비스를 제공한다. RR을 적용한 경우, 서비스를 받을 사용자의 비율 $p(d)$ 는 특정 영역의 면적에 비례함을 확인하였다. 반면,

표 3. 서비스 받는 사용자의 위치 분포

d	RR	Max. C/I				
		1명	10명	20명	30명	100명
0-50 [m]	0.0025	0.0025	0.034	0.064	0.085	0.255
50-100	0.0075	0.0075	0.085	0.165	0.219	0.442
100-150	0.0125	0.0125	0.127	0.216	0.261	0.238
150-200	0.0175	0.0175	0.147	0.206	0.216	0.058
200-250	0.0225	0.0225	0.149	0.154	0.132	0.006
250-300	0.0275	0.0275	0.14	0.102	0.06	0
300-350	0.0325	0.0325	0.114	0.058	0.019	0
350-400	0.0375	0.0375	0.084	0.026	0.007	0
400-450	0.0425	0.0425	0.058	0.009	0.001	0
450-500	0.0475	0.0475	0.032	0.002	0	0
500-550	0.0525	0.0525	0.019	0	0	0
550-600	0.0575	0.0575	0.007	0	0	0
600-650	0.0625	0.0625	0	0	0	0
650-700	0.0675	0.0675	0	0	0	0
700-750	0.0725	0.0725	0	0	0	0
750-800	0.0775	0.0775	0	0	0	0
800-850	0.0825	0.0825	0	0	0	0
850-900	0.0875	0.0875	0	0	0	0
900-950	0.0925	0.0925	0	0	0	0
950-1000	0.0975	0.0975	0	0	0	0

max C/I 스케줄링을 사용하는 경우, 사용자들 중에서 C/I가 양호한 사용자부터 우선적으로 서비스를 제공받는다. 따라서 셀 경계영역에 위치한 사용자는 수신 C/I가 상대적으로 열악하며, 서비스를 제공 받을 확률은 매우 적어지게 된다. 또한, 셀당 사용자의 수가 증가할수록, 셀 중심부근의 영역에 사용자가 분포할 확률이 증가하므로, 셀 경계영역에 위치한 사용자들이 서비스 받을 확률은 낮아진다.

V. 결과

본 절에서는 2-4절에서의 방법을 이용해 HSDPA 시스템의 sector throughput을 도출하였다. 3절에서 언급한 HSDPA link budget을 이용하여 셀 내에서 C/I 분포를 도출하여 특정 영역에서 가능한 전송률을 계산하였다. 이 결과에 FER, multi-code 수, 특정 영역에서 사용자가 서비스 받을 확률을 곱하여 average sector throughput을 도출하였다. 그림 3은 RR 스케줄링 방법을 사용한 경우 사용되는 multi-code 수에 따른 average sector throughput을 분석한 결과이다. RR 스케줄링을 사용하는 경우 최대 가능한 avg. sector throughput은 2.58 Mbps로 분석되었다. 전송에 사용된 multicode 수가 많을수록 sector throughput을 향상되었다. 사용되는 multi-code가 증가할수록 그림 2에서 확인 할 수 있듯이 HSDPA channel에 할당되는 전력이 감소하므로 C/I 값은 낮아지게 되어 낮은 전송률의 MCS가 선택되지만, multi-code 수가 증가하게 되어 결과적으로 sector throughput은 증가하게 된다. 그림 4는 max C/I를 적용한 경우, average sector throughput을 도출한 결과이다. max C/I를 적용한 경우, 셀 내에 사용자가 증가할수록 average sector throughput은 증가하였다. 30명 이상의 사용자가 있는 경우 HSDPA

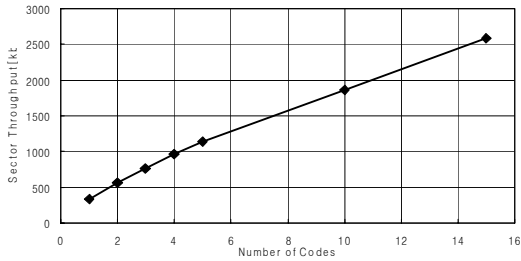


그림 3. Round Robin을 사용한 경우 avg. sector throughput

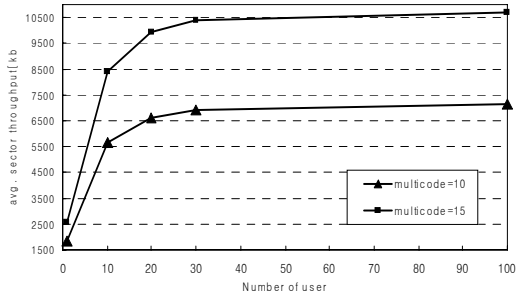


그림 4. max C/I 를 사용한 경우 avg. sector throughput

최대 throughput인 10.8Mbps에 가까운 avg. sector throughput이 가능한 것으로 분석되었다.

VI. 결론

본 논문에서는 link budget을 이용한 HSDPA 시스템의 sector throughput 도출 방법을 제안하였다. 모의실험을 통해, 사용자의 위치에 따라 달라지는 other-cell interference값을 도출하였고, link budget 분석에 그 영향을 반영하였다. RR 스케줄링 기법을 적용한 경우, sector throughput은 2.58Mbps이었다. Max C/I 스케줄링 기법을 사용하는 경우, 사용자 수가 증가할수록 sector throughput은 증가하였다. 그러나 30명 이상의 사용자가 사용하는 경우 HSDPA 시스템의 sector throughput은 최대 전송률인 10.8Mbps에 근접한 값으로 수렴하였다. Multi-code의 개수를 증가시키면, sector throughput은 증가하였다. 본 논문에서 사용된 분석 방법은 AMC, multi-code 등과 같은 전송률제어 방법이 고려된 시스템의 sector throughput을 도출하는데 유용하게 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

[1] H. Holma and A. Toskala, *WCDMA for*

UMTS. John Wiley and Sons, Ltd, 2000.

[2] Jaana Laiho and Achim Wacket, *Radio Network Planning and Optimization for UMTS*. John Wiley and Sons, Ltd, 2000.

[3] K.Sipilä, et al., "Estimation of capacity and required transmission power of WCDMA downlink based on a downlink pole equation," in *Proc. VTC-2000 spring*, May 2000, pp.1002~1005.

[4] K.Hiltunen and R.Debernardi, "WCDMA downlink capacity estimation", in *Proc. VTC2000 spring*, May 2000, pp. 1002~1005.

[5] 3GPP TSG-RAN-1, Nortel, "Validation of system-level HSDPA results for CDMA & OFDM in a flat fading channel," Document R1-03-249, Meeting #31, Tokyo, Japan, Feb.18-21, 2003.

[6] 3GPP, TS 25.848, V4.0.0, Physical layer aspects of UTRA High Speed Downlink Packet Access.

[7] T. S. Rappaport, *Wireless Communications : principles and practice*. Prentice-Hall, 1996.

이 요 섭 (Yoserb Yi)

정회원



2003년 2월 서강대학교 전자공학과 학사 졸업
 2005년 2월 서강대학교 전자공학과 석사과정졸업
 2005년 3월~현재 (주) 삼성전자 정보통신 총괄 연구원

<관심분야> OFDMA, 이동통신 시스템, 무선망 운용 및 제어기술

김 상 범 (Sangbum Kim)

정회원



2000년 2월 서강대학교 전자공학과 졸업
 2002년 2월 서강대학교 전자공학과 석사
 2002년 3월~현재 서강대학교 전자공학과 박사과정

<관심분야> CDMA, 무선통신 시스템, 무선망 설계 및 성능분석, 무선망 운용 및 제어기술

홍 대 형 (Daehyoung Hong)

중신회원



1977년 서울대학교 전자공학과 학사

1982년 State University of New York at Stony Brook, Electronic Engineering, 석사

1986년 State University of New York at Stony Brook,

Electronic Engineering, 박사

1977년~1981년 공군사관학교 교수부 교관

1986년~1992년 (미)Motorola 연구소, Senior Staff Research Engineer

1998년~1999년 (미)Center for Wireless Communication, UCSD 방문교수

1992년~현재 서강대학교 전자공학과 교수

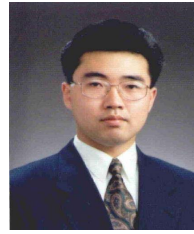
1999년~현재 한국통신학회 상임 이사

2003년~현재 TTA PG302 2.3GHz 휴대인터넷 프로젝트 그룹 의장

<관심분야> 무선통신 시스템, 무선망 설계 및 성능분석, 무선망 운용 및 제어기술

장 병 렬 (Byunglyerl Jang)

정회원



1994년 2월 한양대학교 전자공학과 졸업

1994년~1997년 (주)현대전자 통신연구소

1997년~2006년 (주)SK텔레콤 Access기술연구원 선임연구원

<관심분야> CDMA, WCDMA, OFDMA 이동통신 시스템, Network Engineering & Optimization

문 순 주 (Soonjoo Moon)

정회원



1991년 2월 서울대학교 산업공학과 졸업

1993년 2월 서울대학교 산업공학과 석사

1993년 2월~1997년 1월 고등기술연구원, 주임연구원

1997년 2월~현재 SK Telecom

Access기술연구원, 차장

<관심분야> Access망 엔지니어링, Beyond 3G 시스템, 무선 데이터 트래픽 모델링