

Multirate 통신환경에서 DAMA 스케줄러를 이용한 슬라이스 채널 할당방법

Sliced Channel Allocation Method for Multirate Communication Environments using DAMA Scheduler

유병관 · 김해기 · 안치훈 · 김 남 · 김수형

Byung-Kwan Yu · Hae-Ki Kim · Chy-Hun An · Nam Kim · Soo-Hyung Kim

요 약

본 논문에서는 이동 무선 시스템 설계시 중요한 채널 할당에 대한 TFS(Time-Frequency Slice) 할당 방법을 제시하였다. 시간-주파수-코드영역을 슬라이스화 하고 요구할당 다중접속(DAMA) 스케줄러를 이용하여 채널을 할당하는 경우 TA(Traditional Assignment) 방식에 비해서 호 차단 확률을 낮추게 된다. 통화량 부하 $\rho=0.8$ 이고 요구되는 호 차단 확률이 2%일 때 TA(Traditional Assignment) 방식에서는 사용자들에게 11개의 슬라이스를 할당할 수 있지만, TFS방식에서는 36개의 슬라이스를 할당할 수 있다. 통화량 부하 $\rho=0.9$ 일 때 TA방식에서 1%의 호 차단 확률을 기준으로 13개 이상의 슬라이스를 할당할 수 없지만, TFS(Time-Frequency-Code sliced) 방식에서는 40개의 슬라이스를 할당함으로써 TA방식보다 3.07배 향상되었다. 이러한 TFS방식은 다중속도 사용자들이 많은 시스템구현에 적합한 방법이다.

Abstract

In this paper the new channel allocation method which is important in designing mobile radio system, is proposed. If the channel is allocated by time-frequency-code sliced and using DAMA scheduler, the blocking probability is lower than TA channel allocation method. With traffic load $\rho=0.8$ and 2% of blocking probability, TFS method can allocate 36 slices compared to 11 slices in TA method. At traffic load $\rho=0.9$ and 1% of blocking probability, the maximum available slices are 13 in TA method, but in TFS method 40 slices are allocated to user, so TFS method is better frequency availability by 3.75 times than TA method. TFS method could be suitable for system planning to multirate communication users.

I. 서 론

이동무선 시스템의 설계시 고려되는 중요한 사

항은 한정된 주파수 자원을 효율적으로 할당하는 방법이다. 서비스에 대한 요구는 급증하지만, 한정된 무선 주파수 스펙트럼으로 인해 시스템 설계자와 장비 제조업자들은 효율적으로 스펙트럼을 이용하

충북대학교 정보통신학과(Dept. of Computer and Communication Engineering, Chungbuk National University)

· 논문 번호 : 980716-064

· 수정완료일자 : 1998년 12월 28일

기 위한 기술을 연구하고 있다^[1]. 고정채널 할당방법(fixed channel allocation : FCA)은 비규칙적인 전파 조건과 통화량 분산에 대해서 기지국이 채널을 미리 할당한다는 것은 거의 불가능하기 때문에 마이크로 셀룰러 시스템에서는 실용적이지 못하다^[2]. FCA방식과는 대조되는 동적 채널 할당방법(dynamic channel allocation : DCA)은 채널을 재할당하는 것이 필요하지 않기 때문에 보다 중요한 채널 할당 알고리즘으로 인식되고 있다. FCA는 구성이 간단하다는 장점이 있으며 주파수는 장기간에 걸친 통화량 요구에 따라 미리 배정되지만 이것은 셀 사이의 통화량 변화에 적절히 대응하지 못하는 결점을 가지고 있으므로 스펙트럼 이용도가 상당히 낮은 것이다. 그러나 DCA는 셀에서의 채널 할당이 셀내의 통화량 요구에 바탕을 두어 실시간으로 채널의 할당이 이루어지고 일시적이고 공간적으로 변하게 되는 통화량이 존재할 때 상당히 향상된 대역폭의 이용도를 갖는다.

무선망 채널 할당방법은 FDMA, TDMA 등에서 CDMA와 Advanced TDMA(RACE 2084), Enhanced TDMA(IS-54)로 Hybrid FDMA/TDMA 형태로 전환하고 있다. 무선채널을 이용자들에게 할당하는 FCA와 DCA는 특정한 GOS(grade of service)와 전송서비스에 대해서 스펙트럼 이용과 복잡성간에 보상관계를 제공한다^{[3],[4]}. 많은 통신시스템은 광범위한 사용을 위한 다양한 접속 속도를 제공하여야 하며, 각 데이터 속도에 알맞는 cost-effective 측면과 높은 스펙트럼 효율을 가져야 한다. 본 논문은 저가의 접속 비용을 유지하면서 스펙트럼 효율을 증대하기 위해서, 사용자들의 전송 요구에 따라서 시간과 주파수, 코드 영역을 슬라이스화 하여 채널을 할당하는 방법을 제안하였다. 채널 할당은 각 사용자들의 요구에 의해서 이루어지는 요구할당 다중접속방법(DAMA)을 이용하였다.

II장에서는 슬라이싱 기술을 이용한 시간-주파수-코드 슬라이싱 기술에 대한 전반적인 내용, III장에서는 시간-주파수-코드 슬라이싱 할당방법

에 따른 TFS(Time-frequency-code-slicing)방법과 TA(Traditional assignment)방법의 호 차단 확률을 분석하였으며 이 결과에 대한 TA와 TFS방식 사이의 Erlang용량 변화에 대해서 비교설명하였다. IV장에서는 결과 및 분석을 하였고 V장에서는 결론을 맺었다.

II. 시간-주파수-코드 슬라이싱(TFS) 채널 할당 방법

시분할 다중 접속 방법이 고속의 데이터 속도를 요하는 사용자들과 저속의 데이터 속도를 요하는 사용자들이 통신자원을 공유하도록 하지만, 저속의 데이터 속도를 요하는 사용자들도 빠른 접속 할당을 요구하기 때문에 시스템의 비용뿐만 아니라 시스템을 더욱 복잡하게 하는 요인이 되고 있다. FDMA의 경우 사용자가 아주 짧은 시간 동안에 많은 대역폭을 요구하더라도 동시에 여러 주파수에 대한 접속이 가능한 다중 전송기를 가지고 있지 않다면 사용자의 최대 할당 대역은 제한되게 된다. 또한 현재의 이동 통신 환경에서는 데이터가 일률적이지 않고 돌발적인 특성을 지니고 있으며, 가장 일반적인 음성뿐만 아니라 데이터, 영상처럼 다른 데이터 속도를 처리하는 복합적인 시스템의 실현이 필요하다.

그림 1은 시스템의 용량이 사용자 전체 요구대역의 합인 고정된 시스템과 역동적인 시스템과의 차이를 보여주고 있다. 채널을 역동적으로 할당하게 되면 시스템의 용량은 사용자들의 요구에 대해서 평균값이 된다^[1]. 이러한 요구할당 다중접속구조를 이용하여 낮은 비용의 접속을 유지하면서 효율적으로 스펙트럼을 이용하기 위해서 본 논문에서는 시간-주파수-코드영역에서의 슬라이스 기법을 통한 채널 할당방법을 제안하며, 시스템은 전송 통화량에 대한 요구에 바탕을 두어 자원을 할당한다.

본 논문의 연구관점은 시스템의 요구할당 다중 접속구조를 이용한 스케줄링을 통해서 광대역 사

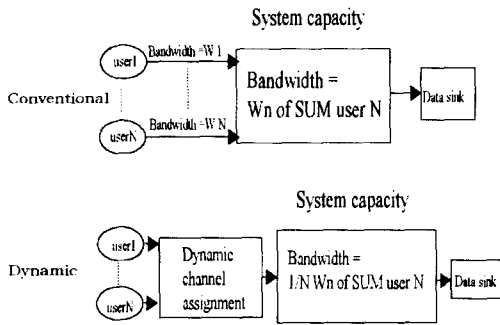


그림 1. Dynamic 채널 할당을 이용한 시스템의 용량 변화

Fig. 1. System capacity variation using dynamic channel assignment.

용자와 협대역 사용자들이 같은 시간 슬롯에서 각기 다른 주파수로 전송하도록 스케줄 될 수 있기 때문에 일반적인 TDMA나 FDMA 방식에서 보다 효율적으로 스펙트럼을 활용할 수 있다는 것이다. 시간-주파수-슬라이스 시스템에서 시간-주파수 할당은 연결이 지속되는 동안 반복되는 시간 프레임에서 재 할당이 없다면 계속 할당받게 되며, 슬라이스에 대한 요구는 요구할당 접속프로토콜(distribute-queuing request update multiple access : DQRUMA)에 의해서 각각의 전송을 조정할 것이다^[5].

그림 2는 비연속적인 주파수 할당을 받는 시간-주파수-슬라이스된 시스템을 나타내고 있다. 고속의 데이터 속도를 요하는 사용자들이 연속적인 슬라이스를 요구하지만, 멀티톤(multitone)과 같은 변조기술을 이용하여 연속적으로 슬라이스를 이용하는 것과 같은 효과를 가져올 수 있으며, 이러한 변조 기술은 인접하는 요구조건들에 대해서 어느 정도의 유연성을 가질 수 있다^[6]. 따라서 사용자의 데이터 요구들은 그림 2의 B처럼 한 개 혹은 그 이상의 시간슬롯들 내에서 가능한 비연속적으로 주파수 대역을 스케줄하게 된다. 그림 2에서처럼 A, B, G, L 사용자는 비연속적으로 여러 슬라이스를 할당받을 수 있는 고속의 데이터 사용자이며,

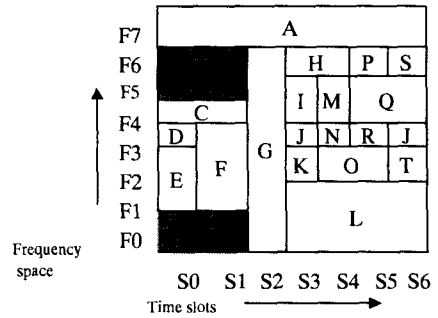


그림 2. 비연속적인 채널 할당을 가지는 시간-주파수로 슬라이스된 시스템

Fig. 2. An example of a time-frequency-sliced system with noncontiguous frequency assignment.

연속적으로 슬라이스를 할당받는 C, E, F, H, I, J, M, O, Q 사용자들은 중간정도의 데이터 속도를 요구하는 사용자가 된다. 또한 단위슬라이스를 할당받는 D, K, N, P, R, S, T의 사용자들은 저속의 데이터속도를 가지는 사용자가 된다. 이처럼 슬라이스화된 자원을 비연속, 혹은 연속적으로 할당 받을 수 있으며 할당받을 슬라이스로 통신 가능한 시스템이 바로 TFS시스템이 되는 것이다. 또한 시간과 주파수를 슬라이스화 한 TFS 시스템에 CDMA 시스템의 코드를 사용하여 슬라이스를 할당하는 방법의 예가 그림 3에 나타나 있다. 이러한 모든 스케줄링을 처리하는 것은 사용자가 아닌 시스템에서 이루어지기 때문에 시스템의 처리능력 및 부하가 충분히 크다고 가정한다. 그림 2에서 설명한 것처럼 여러 사용자들이 채널 할당요구를 하면, 시스템은 시간-주파수 슬라이스 방법을 기반으로 하여 각 사용자의 요구에 적합한 코드를 할당하게 된다. F라는 사용자는 F1, F2, F3의 주파수를 S1 시간슬롯에 할당받게 되며 C0코드를 할당받게 된다. 같은 시간 슬롯에서 C사용자는 C1코드를 할당받게 되어 같은 시간, 같은 대역에서 통신이

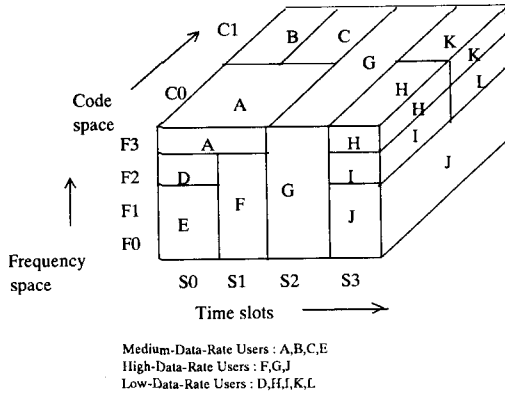


그림 3. 시간-주파수-코드로 슬라이스된 시스템
 Fig. 3. An example of a time-frequency-code sliced system.

가능하게 된다. 이처럼 사용자들의 슬라이스 요구 수가 많게 되면, 시스템은 여러 코드를 이용할 수 있으며, 그렇지 않을 경우에는 코드를 사용하지 않고 슬라이스를 할당 할 수 있는 것이다. 또한 A 사용자와 같이 F3 주파수에서 S0, S1의 시간슬롯을 이용하고 C0코드를 이용하여 연속적인 시간슬롯에 바탕을 두어 슬라이스를 할당받을 수 있다. 이러한 시스템의 구성은 데이터량이 복잡해져 가는 데이터 패킷통신과 음성과 같은 데이터 속도가 그리 빠르지 않고 지연속도가 적어야 하는 복합적인 통신방법이 같이 사용될 수 있는 시스템 방식이 될 수 있다. 이러한 코드를 이용한 TFS-CDMA 시스템 설계시 가장 고려해야 하는 점은 수신기에서의 잡음전력의 분포이다. 따라서 시스템의 총 용량은 신호대 간섭 잡음비를 임계값 이하로 유지시키는 범위로 제한을 받게 되며, 용량을 늘이기 위한 하나의 방법은 기지국과 이동체 간에 개방루프 전력 제어와 폐쇄루프 전력제어기법을 이용하여 원근 효과로 인한 간섭비를 줄이는데 있다^[7].

협대역 신호들이 최소한의 전력 P_{\min}^{signal} 으로 곱하여진 전력으로 전송된다고 가정하고 확산 코드가 같은 칩속도를 가지고 있다고 가정하면, 코드 슬롯은 확산 코드의 속도 R^{code} 로 확산될 때 수

신단에서 받게 되는 협대역의 신호의 전력 P_{\min}^{signal} 인 Hz당 잡음밀도로서 정의된다. 단위 슬라이스 한 시간 슬롯당 하나의 주파수 대역에서 코드속도 R^{code} 로 확산되는 최소 전력 P_{\min}^{signal} 을 전송하는 Hz당 잡음밀도의 일부분에 해당하는 것이다. 일반적으로 시간-주파수-코드 슬라이싱 기술은 다른 속도로 확산하도록 하여 코드확산 속도의 최대치를 R_{\max}^{code} 로 정의하고 전체 주파수 공간의 대역폭에 해당하는 칩속도로도 정의한다. 임의의 확산코드 속도 R_i^{code} 는 다음과 같이 정의한다.

$$R_{\max}^{code} = k R_i^{code} \quad (1)$$

여기서 k는 양의 정수이다. 코드의 확산속도가 증가할수록 Hz당 잡음정도는 더욱 낮아지게 되며, 식 (1)에서 다른 확산 코드를 가지는 잡음정도는 언제나 코드슬롯의 정수배가 된다. 이러한 것은 단위 슬라이스를 한 시간슬롯 동안에 한 주파수 대역을 점유하는 전체 무선자원의 일부분으로서 정의하며 수신단에서 코드의 최대속도 R_{\max}^{code} 를 가지는 최소 전력신호 P_{\min}^{signal} 의 전력과 같은 잡음전력에 해당하는 것이다. 사용자는 칩속도 R_i^{code} 와 연관된 확산방법에 따라서 충분한 주파수 대역을 할당받을 수 있다. 모든 사용자들이 고정된 BER 임계값을 가지며, 칩속도가 일정하다고 가정하면, 일반적으로 고속의 비트 속도를 가지는 사용자들은 고정된 비트당 에너지를 유지하게 되지만, 높은 전력준위로 전송하게 되어 저속의 사용자들보다 간섭잡음에 더 많이 기인하게 된다. 따라서 스케줄링 과정은 사용자들에게 모든 전송기로부터 간섭의 총 준위로 인해 야기되는 BER이 임계값 이하로 되도록 하기 위해서 멀티코드 CDMA시스템과 같은 많은 코드들로 이루어진다^{[8],[9]}.

시간-코드 슬라이싱 접근방법에서 코드들은 다른 시간 동안에 재 사용될 수 있으며 따라서 많은 사용자들이 비교적 작은 수의 코드로 사용할 수 있으며 사용자가 점유하고 있는 일정량의 코드는

그 전송속도와 연관되어 있다. 시간-코드 슬라이스 된 시스템에서 스케줄러와 시간 슬롯들은 시간슬롯에 접속하는 사용자들의 수를 직접적으로 제어하도록 함으로써 대다수의 사용자들에 대해서 특정한 서비스의 질을 보장해 준다.

III. TA 방식과 TFS 방식의 호 차단 확률 분석

현재의 이동통신 환경에서 여러 가지 다른 형태의 데이터들이 복합적으로 존재하므로 서로 다른 데이터들에 대한 자원의 할당은 통신 자원을 효율적으로 이용하는 방법일 것이다. 예를 들어 영상통신에서는 수많은 슬라이스들이 요구되는 반면 음성과 같은 경우에는 작은 수의 슬라이스를 할당하는 것만으로도 충분하다. 멀티미디어 통신의 경우 통화량은 본질적으로 연속이지만 다른 통화량은 요구에 의해서 할당받을 필요성이 있다.

연속적인 형태의 통화량에 대해 슬라이스들은 매 프레임당 주기적으로 할당받게 되며 데이터 혹은 영상과 같이 비연속적으로 도착하는 통화량에 대해서 할당요청이 이루어지고 이러한 요청은 전송기의 민첩을 또는 최대 확산코드 속도와 같은 사양과 함께 전송되는 데이터 양을 나타내는 정보를 같이 전송한다. 시간-주파수-코드 슬라이싱기법의 장점은 호 차단 확률이 상당히 감소하는 것이다. TFS 시스템에서 주기적인 프레임당 F 개의 주파수 대역과 T 개의 시간슬롯들이 있으며 통화량 부하는 ρ 의 확률로 busy하다고 가정하면, 호 차단 확률은 실제적으로 대기(idle)주파수들이 각 시간슬롯에서 연속적이 될 것이므로 이러한 독립적인 가정들을 이용하여 얻어지는 효과들은 연속적인 주파수 할당보다 낮을 것이다. TA 방식은 주파수 스펙트럼을 같은 크기의 대역으로 분할하고 사용자마다 하나의 송신기를 가지고 있기 때문에 한 시간 슬롯당 하나의 주파수 대역이 사용자에게 할당된다. 그러나 다른 주파수들도 다른 시간슬롯에서 같은 사용자에게 할당될 수 있다. TFS 시스템

에서 사용자의 대역폭 요구는 주파수 F 와 시간슬롯 T 간에 슬라이스화 된 FT 단위 슬라이스로 요구된다. 이와는 대조적으로 일반적인 할당 구조에서의 대역폭 요구는 최대로 T 단위 슬라이스에 대해 이뤄질 수 있다.

한 개의 특정 시간슬롯을 고려할 때 시간슬롯에서 F 개의 주파수가 있으며 각각은 ρ 의 확률로 busy하다고 하자. $P_F(m)$ 이 연속적인 대기 총 주파수의 최대수가 m 과 같거나 혹은 더 크다고 하는 확률을 나타낸다면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P_F(1) = 1 - \rho^F \quad (2)$$

$$P_F(F) = (1 - \rho)^F \quad (3)$$

여기서 $1 - \rho^F$ 가 타임 슬롯에서 적어도 1개의 대기 주파수가 있을 확률이며 $(1 - \rho)^F$ 는 모든 F 개의 주파수가 대기인 상태의 확률이다. $m > F$ 인 경우에 $P_F(m) = 0$ 이다. $2 \leq m \leq F-1$ 범위에서 $P_F(m)$ 을 $P_1(m)$, $P_2(m)$, $P_{F-m}(m)$ 의 함수로 표현하면 아래와 같은 식으로 표현된다.

$$P_{F(m)} = (1 + \rho)(1 - \rho)^m + \sum_{f=2}^{F-1} [1 - P_{f-1}(m)] \rho (1 - \rho)^m \quad (4)$$

식 (4)에서 $[1 - P_{f-1}(m)]$ 은 처음의 $f-1$ 주파수보다 낮은 m 개의 연속적인 대기 주파수가 있을 확률이다. 이 항은 ρ 로 곱해지며 ρ 는 f 번째 주파수인 다음 주파수가 busy하고 다음의 m 개의 주파수들이 대기상태가 됨으로써 시간슬롯에서 적어도 m 개의 연속적인 대기 주파수를 낳게 하는 확률 $(1 - \rho)^m$ 에 의해서 곱해진다. 더욱이 식 (4)의 합은 $f=2$ 부터 시작하기 때문에 $P_F(m)$ 을 얻기 위해 $(1 - \rho)^m$ 과 $\rho(1 - \rho)^m$ 을 첨가해야 하는데 이 항은 각각 첫 번째 주파수들이 대기인 상태의 확률과 첫 번째 주파수가 busy하지만 다음의

m 주파수들이 대기인 확률을 나타낸다. 식 (4)를 이용하여 많은 주파수들을 반복하여 $P_F(m)$ 을 계산할 수 있다. $(m+1)$ 주파수인 경우에는 첫 번째로 $P_{m+1}=(1+\rho)(1-\rho)^m$ 을 계산하여야 한다. 그리고 $P_{m+1}(m), P_{m+2}(m), \dots$ 마지막으로 $P_F(m)$ 을 계산한다.

최대 연속 대기주파수가 $1 \leq m \leq F$ 사이의 범위에 있는 모든 m 에 대해서 m 과 같거나 혹은 큰 확률을 계산한 후에 총 F 중에서 한 시간 슬롯에서 연속 대기 주파수의 최대수가 정확히 m 과 같을 확률 $Q_1(m)$ 은 식 (5)와 같다.

$$Q_1(m) = P_F(m) - P_F(m+1) \quad (5)$$

$Q_1(m)$ 에서 '1'은 하나의 시간슬롯에 해당하는 것이며 총 대역폭이 음성통화량에 요구된 대역폭보다 크지 혹은 같은지를 확인하는 것이다. T 개의 시간슬롯들을 반복하고 다음의 컨볼루션을 이용하면 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} Q_t(k) &= Q_{t-1}(k) * Q_1(k) \\ &= \sum_{j=0}^k Q_{t-1}(j) \cdot Q_1(k-j) \end{aligned} \quad (6)$$

식 (6)에서 $Q_t(k)$ 는 총 대역폭 유용성이 t 시간 슬롯에서 k 개일 확률을 나타낸다. 결국 프레임당 F 개의 주파수와 T 개의 시간슬롯에서 TFS 시스템에 대한 호 차단 확률은 다음과 같다.

$$Blocking \ Prob(TFS) = \sum_{k=0}^{B-1} Q_T(k) \quad (7)$$

식 (7)에서 B 는 단위슬라이스에서 대역폭 요구를 나타내며 TFS 시스템에서의 대역폭은 $1 \leq B \leq FT$ 의 범위의 임의의 값을 가지지만, TA 시스템에서의 대역폭은 시간 T 혹은 주파수 F 에 대해서 대역폭이 정해진다. 식 (7)식에 대한 일반적인 식의 유도를 위해서 $V_1(m)$ 을 어느 특정한 시간

슬롯에서 전체 대역폭 F 중 m 개의 사용 가능한 주파수가 존재할 확률이라고 가정하면

$$V_1(m) = \binom{F}{m} (1-\rho)^m \rho^{F-m} \quad (8)$$

W_{min} 과 W_{max} 를 사용자가 시간슬롯에서 사용 가능한 최소 대역폭과 최대 대역폭으로 정의하자. 그러면 W_{min} 과 W_{max} 는 연속적인 주파수 슬롯의 수로 표현할 수 있다. $W_{min} = W_{max}$ 가 되는 특별한 경우에는 일정 대역폭에 해당하게 되는 것이다. 앞의 식 (8)에서 V_1 에 대해서 간략히 정의하면, 만일 $m < W_{min}$ 또는 $m > W_{max}$ 라면 $V_1^T(m) = 0$ 가 되고, $W_{min} \leq m \leq W_{max}$ 인 경우에는 $V_1^T(m) = V_1(m)$ 이 된다. $m = W_{max}$ 라면 $V_1^T(m) = \sum_{r=m}^F V_1(r)$ 이 된다. 이처럼 $V_1^T(m)$ 은 앞서 설명한 것처럼 모든 경우에 대한 일반적인 식으로 쓸 수 있다. 모든 시간슬롯에 대해서 접속할 수 있는 대역폭의 이용성을 합하게 되면 아래와 같은 컨볼루션 형태를 띄게 된다.

$$\begin{aligned} V_n^T(k) &= V_{n-1}^T(k) * V_1^T(k) \\ &= \sum_{r=0}^k V_{n-1}^T(r) \cdot V_1^T(k-r) \end{aligned} \quad (9)$$

식 (9)는 아래와 같이 쓸 수 있다.

$$Blocking \ Prob(TFS) = \sum_{k=0}^{B-1} V_i^{FT}(k) \quad (10)$$

위와 같은 해석형태는 $W_{min} = 1$ 이고 $W_{max} = F$ 인 특별한 경우에 간략화된 식이며, 호 차단 확률은 단순히 총 FT 로부터 B 개의 대기 단위 슬라이스보다 더 작은 확률이 된다.

$$\begin{aligned} Blocking \ Prob(TFS) &= \\ &= \sum_{k=0}^{B-1} \binom{FT}{k} (1-\rho)^k \rho^{FT-k} \end{aligned} \quad (11)$$

위 식에서 TA 방식과의 차이점은 TFS 방식은 시간과 주파수를 슬라이스 하여 채널 대역폭을 결정하지만, TA 방식에서는 단일 영역에서의 주파수 할당이 가능하기 때문에 총대역폭이 변하게 된다. 예를들어 주파수 분할 방식에서는 $T=1$ 이 되고, 시분할 방식에서는 $F=1$ 이 되어 식 (11)이 TA 방식과 TFS 방식의 호 차단 확률을 표현한 것이다. 또한 코드영역에서 사용될 때 Erlang 용량과 호 차단 확률의 관계를 분석하면, K 명의 역 방향링크 사용자들이 존재하며, $K+1$ 번째 사용자들에 대해서 K 명의 사용자들의 전력은 간섭원으로 간주된다. 신호의 전파특성과 K 사용자들에 대한 총 전력은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$P_{TOT} = v_1 P_1 + v_2 P_2 + \dots + v_K P_K + N_0 W$$

$$= I_0 W \quad (12)$$

여기에서 W 는 CDMA 대역확산의 대역폭이며 v_i 는 음성활성 인자가 된다. N_0, I_0 는 각각 잡음과 전체 간섭 스펙트럼 밀도를 나타내며 P_i 는 i 번째 사용자의 랜덤한 신호전력을 나타낸다. 식 (12)을 데이터 속도 R_b 를 갖는 $I_0 R_b$ 로 정규화시키면 다음과 같이 표현되며

$$\frac{P_{TOT}}{I_0 R_b} = Z_K + \frac{N_0}{I_0} \cdot \frac{W}{R_b} \equiv \frac{W}{R_b} \quad \text{또는}$$

$$Z_K = \sum_{i=1}^K v_i \frac{E_{bi}}{I_0} = \sum_{i=1}^K v_i \gamma_i = \frac{W}{R_b} (1 - \eta) \quad (13)$$

여기서 $\eta \equiv N_0/I_0$ 로 CDMA 시스템의 부하를 나타내며, v_i 는 음성 활성인자이고 W/R_b 는 PG를 나타낸다. Z_K 의 랜덤변수분포에서 $K+1$ 번째 사용자가 차단될 확률은 Z_K 가 어떤 임계값 Z_{crit} 을 초과할 확률로서 나타낼 수 있다.

$$B_{CDMA} = \Pr \left\{ Z_K > \frac{W}{R_b} \cdot (1 - \eta_{crit}) \right\}$$

$$= Q_Z \left(\frac{Z_K - E(Z_K)}{\sqrt{Var(Z_K)}} \right) \quad (14)$$

η_{crit} 은 η 의 임계값을 나타내며 $Q_Z(\cdot)$ 는 Z_K 에 대한 정규화 된 누적분포함수이다. 다음으로 호 차단 확률을 구하기 위해서 Z_K 의 평균과 분산값을 구하면 E_{bi}/I_0 의 값은 로그노말 분포를 띄게 된다. 단일 로그노말 변수들이 이상적으로 분포된 로그노말 변수(identically distributed log-normal variables)들에 대한 합을 계산하는 방법으로, 여러 사용자들의 간섭신호를 고려한다면 각각의 확률분포는 중앙극한정리를 이용하면 가우시안 분포로 근사화 될 수 있다^{[11],[12]}. 따라서 E_{bi}/I_0 는 평균값 $m_{dB} = 7$ dB이고 표준편차 $\sigma_{dB} = 2.5$ dB인 가우시안 분포로 근사화할 수 있다. 결과적으로 Z_K 의 평균과 분산값을 이용하여 호 차단 확률을 구하게 되면 다음과 같은 식으로 표현 가능하다^[12].

$$B_{CDMA} = Q \left(\frac{\frac{W}{R_b} \cdot (1 - \eta_{crit}) - 1.18 \overline{K v_i r_{med}} (1 + F)}{\sqrt{1.94 K v_i^2 r_{med}^2 (1 + F')}} \right) \quad (15)$$

여기서 $r_{med} = Med\{r_i\}$, $r_i = E_{bi}/I_0$ 로서 신호대 간섭비의 평균값으로 정의되며, $F' = \frac{r_{med}^2(other\ cell)}{r_{med}^2(same\ cell)}$ 로서 $1 + F'$ 는 간섭전력의 제곱근에 대한 reuse factor이다. 또한 reuse fraction 이라고 정의한 F 는 $F = \frac{r_{med}(other\ cell)}{r_{med}(same\ cell)}$ 로 정의되고, erlang 용량은 \overline{K} 가 된다.

IV. 결과 및 분석

그림 4는 통화량 부하 ρ 를 고정시키고 TA 방식과 TFS 방법에 대한 호 차단 확률을 나타낸 것이다. $\rho = 0.8$ 인 경우에서 시간슬롯 T 를 12로 하

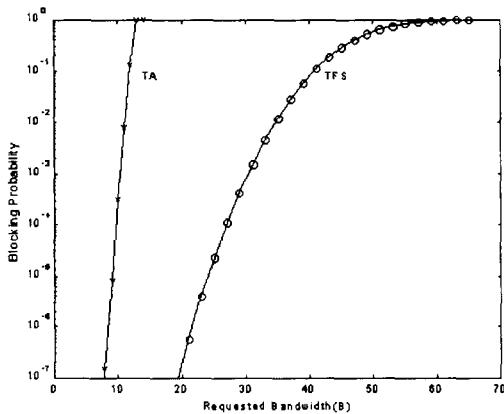


그림 4. $F=20, T=12, \rho=0.8$ 인 경우 요구 대역폭에 대한 호 차단 확률
 Fig. 4. Blocking probability of bandwidth request for $F=20, T=12, \rho=0.8$.

고 주파수 F 를 20으로 하여 비교한 그림이다. TA 방식과 TFS 방식의 호 차단 확률은 식 (11)을 이용하여 나타낸 것이다. 요구되는 대역폭은 사용자가 요구하는 단위슬라이스의 수를 나타내는 것이다. $\rho=0.8$ 인 경우에 요구되는 호 차단 확률이 2%인 경우라면 TA 방식의 시스템에서 할당 가능한 슬라이스는 11개가 되며 13개 이상의 슬라이스 요구시에 호 차단 확률은 1이 되어 모든 사용자들의 호 요구는 차단된다. 하지만 TFS 방식에서는 사용자에게 할당 가능한 슬라이스의 수가 36개가 된다. 따라서 사용자가 요구하는 슬라이스의 수가 많을수록 시스템은 많은 데이터 처리를 할 수 있으며, 저속의 데이터에 대한 호 처리를 가능하게 한다.

그림 5에서는 $\rho=0.9$ 인 경우에 그림 4에서와 같은 조건으로 호 차단 확률을 분석한 결과이다. TA 방식에서 사용자의 요구 대역폭이 13 이상인 경우에 사용자들의 모든 통화량 요구는 차단된다. 또한 1%의 호 차단 확률을 기준으로 했을 경우에 할당 가능한 대역폭은 8이 된다. 하지만 TFS 방식에서 사용자들의 대역폭 요구가 모두 차단될 수

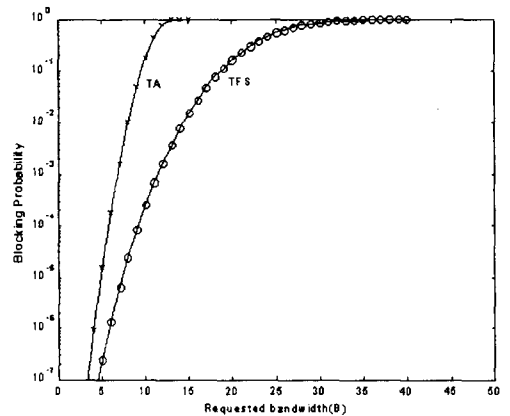


그림 5. $F=20, T=12, \rho=0.9$ 인 경우 요구 대역폭에 대한 호 차단 확률
 Fig. 5. Blocking probability of bandwidth request for $F=20, T=12, \rho=0.9$.

있는 요구 대역폭은 40으로서 TA 방식과 상당한 차이를 나타내었다. 1%의 호 차단 확률을 기준으로 했을 경우에 TFS 방식에서는 할당 가능한 요구 대역폭은 30이 되어 TA 방식보다 그 성능이 3.75배 향상됨을 알 수 있다. 하지만 실제적으로 사용자들에게 대역폭을 할당하는데 있어서 모든 채널이 사용자의 데이터나 음성전송에 사용되는 것이 아니며 제어채널과 사용자의 통화량 요구에 사용됨으로 인해 실제적인 향상폭은 이론적인 계산치보다 낮을 수 있다.

그림 6은 TA 방식과 TFS 방식에 있어서 통화량의 변화에 대한 호 차단 확률을 나타낸 것이다. 이때의 주파수는 20으로 하고 시간슬롯을 12로 설정하여 TA 방식에서의 통화량을 0.8로 하고 TFS 방식에서의 통화량을 0.8, 0.85, 0.9로 변화하면서 분석한 결과이다. ρ 의 값이 TFS가 0.9인 경우와 TA 방식에서 0.8인 경우의 결과를 살펴보면 요구되는 대역폭이 9일 때 TA 방식에서의 호 차단 확률은 8.12×10^{-6} 이지만 TFS 방식에서는 8.32×10^{-5} 가 된다. 하지만 통화량을 TA에서는 0.8 그리고 TFS 방식에서는 0.9로 비교한 경우 TFS에서

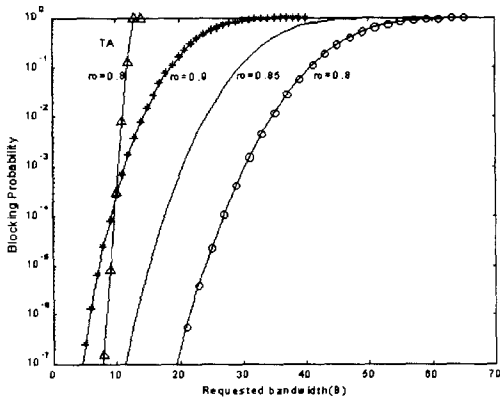


그림 6. $F=20, T=12, \rho=0.8, 0.85, 0.9$ 인 경우 요구 대역폭에 대한 호 차단 확률
 Fig. 6. Blocking probability of bandwidth request for $F=20, T=12, \rho=0.8, 0.85, 0.9$.

의 통화량이 좀더 많지만 TA 방식보다 개선된 성능을 나타내었다. 만일 요구되는 호 차단 확률이 1%인 경우에서 TA와 TFS 방식에서의 할당 가능 대역폭을 살펴보면 먼저 $\rho=0.8$ 인 경우의 TA 방식에서는 11개의 단위 슬라이스를 할당할 수 있는 반면, $\rho=0.8$ 인 경우에 TFS 방식에서는 35개의 슬라이스를, $\rho=0.85$ 인 경우에는 26개가 되고 $\rho=0.9$ 인 경우에는 14개의 단위 슬라이스를 할당할 수 있다.

그림 7은 사용 가능한 주파수를 15부터 30까지 변화하면서 $\rho=0.8$ 로 고정시키고 시간슬롯을 12로 한 경우에 호 차단 확률을 분석하였다. 음성의 경우에 요구되는 호 차단 확률이 2%라고 한다면 $F=15$ 에서는 할당 가능한 대역폭은 26개가 되고 $F=20$ 에서는 36개, $F=25$ 에서는 46개, $F=30$ 에서는 56개로 F 가 5만큼 증가함에 따라서 사용자에게 할당 가능한 대역폭은 10만큼 증가한다는 것을 알 수 있다. 하지만 실제적으로 사용 가능한 주파수 대역을 시스템 자체적으로 늘리는 것은 불가능한 것이므로 이미 할당된 채널 내에서 요구되는 최소 대역폭을 기준으로 주파수를 분할하는 것이 필요

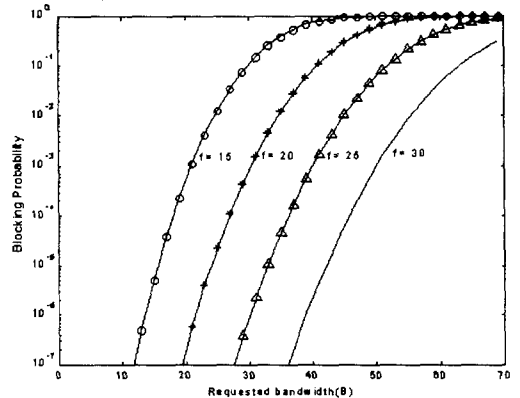


그림 7. $T=12, \rho=0.8, F=15, 20, 25, 30$ 인 경우 요구 대역폭에 대한 호 차단 확률
 Fig. 7. Blocking probability of bandwidth request for $T=12, \rho=0.8, F=15, 20, 25, 30$.

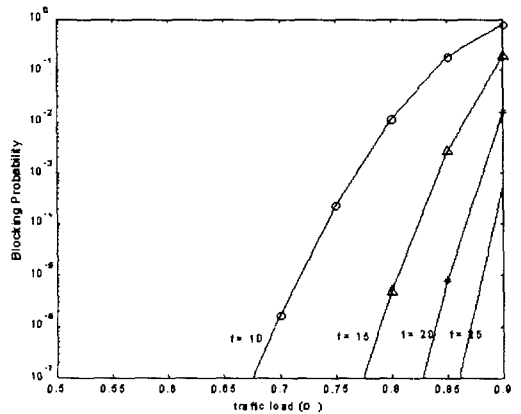


그림 8. $T=20, B=15, F=10, 15, 20, 25$ 인 경우 통화량 ρ 에 대한 호 차단 확률
 Fig. 8. Blocking probability of traffic load ρ for $T=12, B=15, F=10, 15, 20, 25$.

하다.

그림 8은 ρ 를 변화시키면서 호 차단 확률을 측정 한 결과이다. 이때의 측정값은 F 를 10부터 5씩 증가하여 나타낸 호 차단 확률을 나타낸 것이며, 2%의 호 차단 확률값을 가정으로 요구 대역폭 $B=15$ 로 설정하고 $T=12$ 로 하여 분석한 결과이다.

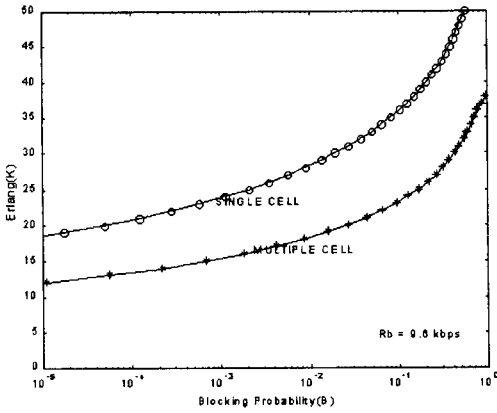


그림 9. 데이터 속도 $R_b=9.6$ kbps인 경우 호 차단 확률에 대한 Erlang 용량
 Fig. 9. Erlang capacity of blocking probability at data rate $R_b=9.6$ kbps.

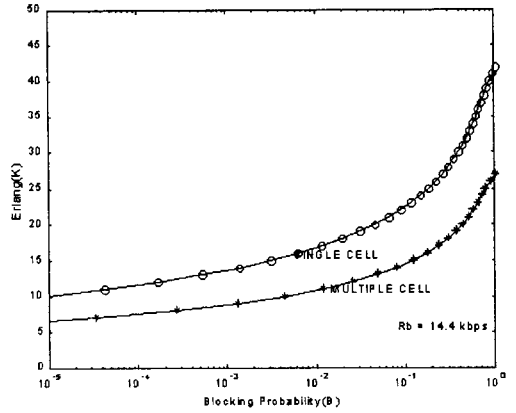


그림 10. 데이터 속도 $R_b=14.4$ kbps인 경우 호 차단 확률에 대한 erlang 용량
 Fig. 10. erlang capacity of blocking probability at data rate $R_b=14.4$ kbps.

그림 9와 10은 코드영역에서의 erlang 용량과 호 차단 확률값과의 관계를 나타내었다. 그림 9에서는 데이터 속도가 $R_b=9.6$ kbps일 경우 단일셀과 다중셀에서의 호 차단 확률값을 구한 것이다. 단일셀이라는 가정으로 TFS방식이 TA방식에서보다 호 차단 확률을 10%에서 1%로 낮출 수 있으면, 그에 따른 erlang 용량은 TA에서는 36이 되지만, TFS에서는 28로 낮아지게 된다. 하지만 erlang 용량의 정의는 채널당 전송할 수 있는 최대 통화량이 되므로 채널당 erlang 용량은 낮아지게 되지만 총 erlang 용량 측면에서의 제공되는 총 통화량은 상당히 증가됨을 알 수 있다. TA에서 10%의 호 차단 확률을 기준으로 할 때 다중셀에서의 erlang 용량은 23, TFS의 1%의 호 차단 확률에 대해서는 18로 erlang 용량이 낮아짐을 나타내었다. 하지만 다중셀의 경우에서도 총 erlang은 요구할당 다중접속 TFS방식에서 사용할 수 있는 채널로 인해서 증가한다.

그림 10은 그림 9와 같은 조건에서 데이터 속도 $R_b=14.4$ kbps일 경우에 호 차단 확률과 erlang 용량과의 관계를 나타낸 것이다. 그림 9와 비교해 볼 때 데이터 속도가 증가함에 따라서 erlang 용

량이 줄어들게 되었다. 데이터 속도가 증가함에 따라서 채널당 전송할 수 있는 erlang 통화량은 줄어들게 되지만 이러한 결과 역시 요구할당 다중접속 TFS방식에서는 채널의 증가로 인해 보다 개선된 결과를 얻을 수 있다.

V. 결 론

이동무선 시스템 특성상 기본적으로는 음성으로부터 멀티미디어 통신에 이르기까지 데이터 속도가 다른 여러 가지 통화량 형태들이 존재함에 따라서 사용자마다의 접속속도와 그에 따른 접속비용을 유동적으로 조절하며 한정된 주파수 스펙트럼에 대한 이용도를 최대한 활용하는 시간-주파수-코드를 슬라이스화 한 채널 할당 알고리즘을 제시하였고, 호 차단 확률을 통해서 분석하였다. 또한 코드 사용시 CDMA에서 사용되는 조건을 일반화하여 호 차단 확률과 erlang 용량과의 변화량을 분석하였다.

TA방식에 비해서 TFS방식이 통화량 요구 파라미터에 대해서 상당히 우수함을 나타내었다. ρ 가 0.8인 경우에 시간슬롯 T 를 12로 하고 주파수 F 를

20으로 했을 경우 요구되는 호 차단 확률을 1%라 하면 TA방식에서 사용자에게 할당 가능한 대역폭은 11개가 되고, 13개 이상의 슬라이스를 할당하였을 때 모든 사용자의 통화량 요구는 모두 차단되는 결과를 가져오지만, TFS방식을 이용하여 채널을 할당하는 경우에 36개의 슬라이스를 할당 가능하게 되며, 66개의 슬라이스를 할당하는 경우에 모두 차단되는 향상된 분석 결과를 얻었다. 하지만, TFS방식에서는 요구할당 다중접속 시스템 스케줄러의 사용으로 인해서 일정한 슬라이스가 통화량 요구를 위해 사용되게 됨으로써 분석된 결과치보다 실제로 할당할 수 있는 슬라이스가 작아질 수 있다. 통화량 ρ 가 0.8에서 0.9로 증가한 경우 1%의 호 차단 확률을 기준으로 했을 때 TA방식에서 사용자에게 할당 가능한 슬라이스의 수는 11개에서 8개로 감소하였지만, TFS방식에서는 36개에서 14로 감소하였다. TA에서 호 차단 확률을 10%로 기준하여 TFS방식으로 스케줄러에 의해서 사용자에게 슬라이스를 할당하는 경우에 erlang 용량의 변화는 다중셀의 경우에 23에서 18로 낮아지게 되지만, 사용자에게 가능한 슬라이스 수가 증가하기 때문에 이러한 erlang 용량의 변화는 할당되는 슬라이스의 증가로 충분히 보상되며, 보다 개선된 효과를 가져오게 된다.

이러한 요구할당 다중접속 스케줄러에 의한 시간-주파수-슬라이싱 할당 방법은 슬라이스 단위로 사용자에게 자원을 할당함으로써 호 차단 확률의 감소를 얻을 수 있다. 뿐만 아니라 호 차단 확률을 감소하게 됨으로써 보다 많은 사용자들에게 서비스를 가능하게 하는 활용성을 가진다. TFS방식은 서로 다른 속도를 갖는 사용자가 각자의 통신특성에 가장 적합한 채널을 할당받게 됨으로써 시스템 이용에 대한 효율을 높이기 위함이고, 저속도의 사용자들이 고속의 광대역 사용자들로 인해 불리한 여건을 최대한 극복하기 위한 하나의 방법이 될 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] B. Sklar, *Digital communications fundamentals and applications*, Prentice-Hall International Editions, 1996.
- [2] K. Hamabe and Y. Furuya, "Distributed dynamic channel allocation for the evolution of TDMA cellular systems," *IEICE Trans. Comm.*, vol. F79 B, no. 3, pp. 230-236, March 1996.
- [3] J. S. Lee and L. E. Miller, "On the erlang capacity of CDMA cellular systems," *IEEE Proceedings of the Globecom'95*, vol. 3, pp. 1877-1883, Sept. 1995.
- [4] W. C. Lee, *Mobile Cellular Telecommunications*, McGraw-Hill, 1995.
- [5] M. J. Karol, Z. Liu, and K. Y. Eng, "Distributed-queueing request update multiple access(DQRUMA) for wireless packet(ATM) network," *ICC'95 Conf. Rec.*, pp. 1224-1231, June 1995.
- [6] J. A. C. Bingham, "Multicarrier modulation for data transmission: An idea whose time has come," *IEEE Comm. Mag.*, vol. 28, pp. 5-14, May 1990.
- [7] J. D. Gibson, *The Mobile Communications Handbook*, CRC press, 1996.
- [8] H. Azad and A. F. Aghvami, "Multirate spread spectrum direct sequence CDMA techniques," in *IEE Colloquium on Spread Spectrum Techniques for Radio Communication Systems Digest*, pp. 4/1-4/5, April 1994.
- [9] C. L. I and R. D. Gitlin, "Multi-code CDMA wireless personal communications network," in *ICC'95 Conf. Rec.*, pp. 1060-1064, June 1995.
- [10] Peyton Z. Peebles, JR., *Probability, random*

variables, and random signal principles, McGraw-Hill, 1993.

- [11] L. F. Fenton, "The sum of log-normal probability distribution in scattered transmission systems," *IRE Trans. Comm. Syst., CS-8*, pp. 56-67, Mar. 1960.
- [12] A. M. Viterbi and A. J. Viterbi, "erlang capacity of a power controlled CDMA system," *IEEE Journal on Selected Areas in Comm.*, vol. 11, no. 6, pp. 892-900, Aug. 1993.
- [13] Q. Shen and W. A. Krzymien, "The effect of fading on the erlang capacity of the IS-95 CDMA cellular system," *Proceedings*

of the 1996 IEEE International Conference on Comm., vol. 3, pp. 1829-1833, July 1996.

- [14] F. Hendessi, et al., "A TDMA-CDMA cellular system," *IEEE Veh. Tech. Proceedings of the VTC'97*, vol. 1, pp. 373-376, May 1997.
- [15] 강창연, 강민구, 김 남, 조형래 공저, 셀룰라 이동통신 공학, 북두출판사, 1997.
- [16] M. G. Jansen and R. Prasad, "Capacity, throughput, and delay analysis of a cellular DS CDMA system with imperfect power control and imperfect sectorization," *IEEE Trans. Veh. Tech.*, vol. 44, no. 1, pp. 67-75, Feb. 1995.

유 병 관



1993년 2월: 충북대학교 정보통신공학과(공학사)
 1996년 2월~1998년 8월: 충북대학교 정보통신공학과(공학석사)
 [주 관심분야] CDMA, 무선통신시스템

김 남



1981년 2월: 연세대학교 전자공학과(공학사)
 1983년 2월: 연세대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 1988년 8월: 연세대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
 1992년 8월~1993년 8월: 미 Stanford대학 방문교수

1989년 2월~현재: 충북대학교 정보통신공학과 교수
 [주 관심분야] DS/CDMA, 전파전파, EMI/EMC, 전자과 해석

김 해 기



1998년 2월: 충북대학교 정보통신공학과(공학사)
 1998년 3월~현재: 충북대학교 정보통신공학과 대학원 석사과정
 [주 관심분야] 디지털 이동통신, 위성통신, 무선통신시스템

김 수 형



1977년 2월: 연세대학교 전자공학과(공학사)
 1978년 8월~1981년 2월: 연세대학교 전자공학과(공학석사)
 1993년 1월~1998년 1월: 한국통신 초고속통신추진본부 개발관리국(국장)

1998년 1월~현재: 한국통신 네트워크본부 통신망구축단 데이터망 구축팀(팀장)

안 치 훈



1996년 2월: 충북대학교 정보통신공학과(공학사)
 1998년 2월: 충북대학교 정보통신공학과(공학석사)
 1998년 3월~현재: 연세대학교 전자공학과 박사과정
 [주 관심분야] 디지털 이동통신, 위성통신, 무선통신시스템