

# CDMA시스템에서 전체 자원요구량에 근거한 새로운 우선권기반의 호 수락제어 알고리즘

학생회원 박 세 권\*, 정회원 박 용 완\*

## A Novel Priority Call Admission Control Algorithm Based on Total Resource Requirements for CDMA Systems

Shi-quan Piao\* *Student Member*, Yong-wan Park\* *Regular Member*

### 요 약

CDMA시스템에서 서로 다른 종류의 호에 서로 다른 우선권을 할당하는 호 수락제어(CAC: Call Admission Control)기법은 많은 연구가 이루어졌다. 본 논문에서는 사용자의 전체 자원요구량에 근거하여 같은 종류의 호에도 서로 다른 우선권을 할당하는 호 수락제어기법을 제안하고 그 성능을 분석한다. 제안하는 알고리즘은 한 기지국에서의 자원요구량이 아닌 전체 시스템에서의 자원요구량에 근거하여 같은 종류의 호에 서로 다른 우선권을 할당한다. 새로운 호의 호 신청수락여부를 결정할 때 시스템에 충분한 여유용량이 있으면 모든 호를 수락하지만 모든 호들을 받아들일 수 없으면 우선권이 높은 호부터 받아들인다. 분석결과는 제안된 알고리즘이 같은 종류의 호에 서로 다른 우선권을 할당하지 않는 알고리즘보다 호 차단확률과 통화품질 저하확률 및 전송부하에서 모두 우수한 성능을 나타냄을 보여준다.

Key Words : CDMA; CAC; priority; blocking probability.

### ABSTRACT

CAC (Call Admission Control) schemes for different service class are studied in many papers. A novel priority CAC algorithm, which gives priority to a same class call according to the total resource requirements is proposed and analyzed in this paper. The proposed algorithm provides a priority according to the total resource requirements other than only in a base station. If there are efficient residual resources in the system, it will accept all new calls. Otherwise, it will selectively accept these new calls according to the total resource requirements. The results show that the proposed algorithm provides better call blocking probability, outage probability and throughput than the conventional algorithm.

### 1. 서론

호 수락제어기법은 호 수락여부에 대한 제어를 통하여 CDMA시스템의 서비스품질(QoS : Quality of Service)을 보장해주는 중요한 기법이며<sup>[1-12]</sup>, 시스템의 무선자원을 적절히 분배함으로써 시스템의 유효용량

을 효과적으로 증대시킬 수 있다<sup>[11-12]</sup>. 호 수락제어 기법들 중 각 사용자가 시스템의 통화품질에 주는 영향에 따라 서로 다른 우선권을 할당하는 우선권에 기반한 호 수락제어 기법에 대한 연구가 많이 이루어졌다. 우선권에 기반한 호 수락제어기법은 시스템의 서비스 품질을 효과적으로 유지하고 무선자원을 효율적

\* 영남대학교 정보통신공학과 이동통신 연구실 (ywpark@yu.ac.kr)

논문번호 : #KICS2004-07-074, 접수일자 : 2004년 7월 4일

※본 연구는 2003학년도 영남대학교 학술 연구조성비에 의한 것임.

※본 연구는 정보통신부 ITRC 사업의 지원 결과임.

으로 활용한다<sup>11-13)</sup>. 이러한 호 수락제어방식은 서로 다른 종류의 호에 서로 다른 우선권을 할당하고 우선권이 할당된 호에 대해서는 특정된 무선자원을 남겨 놓음으로써 시스템의 통화품질을 보장해준다. 이동통신시스템에서 핸드오프 호의 호 절단률은 새로운 호의 호 차단률보다 서비스품질에 미치는 영향이 훨씬 크다. 따라서 핸드오프 호에 더 높은 우선권을 할당하는 우선권기반의 호 수락제어기법이 많이 제안되었다. Hong과 Rappaport는 음성 이동통신시스템에서 핸드오프 호에 우선권을 할당하는 호 수락제어 기법을 제안하였다<sup>11)</sup>. 이 논문에서 제안한 알고리즘은 일정한 수의 채널을 핸드오프 호만을 위하여 할당하고 나머지 채널을 새로운 호와 핸드오프 호가 공유하는 방식의 핸드오프 호 우선권 기법을 제안하였다. 논문 [2]에서는 이러한 기법을 멀티미디어 환경으로 확대하였다. 논문 [5]에서는 트래픽의 변화에 따라 동적으로 보호채널을 변화시키는 동적인 호 수락제어기법을 제안하였다. 동적 보호채널 알고리즘은 핸드오프 될 사용자의 수 혹은 대역요구량을 예측하고 예측값에 근거하여 보호채널을 변화시킨다. 또한 동적 보호채널의 성능을 향상시키기 위하여 퍼지 로직과 같은 인공지능기법을 사용하여 최적의 보호채널 값을 얻었다<sup>6-7)</sup>. 우선권을 할당하는 방식에서 핸드오프 호와 새 호만을 구별하여 서로 다른 우선권을 할당하는 방식과는 달리 Jeon 등은 핸드오프 호와 새 호에 서로 다른 우선권을 할당할 뿐만 아니라 같은 핸드오프 호 혹은 새로운 호의 서비스 종류가 다른 트래픽 사이에도 서로 다른 우선권을 할당하였다<sup>3-4)</sup>. 이런 우선권 할당 호 수락제어 알고리즘은 모두 서로 다른 종류의 호(핸드오프 호와 새로운 호, 혹은 데이터 호와 음성 호 등)에 서로 다른 우선권을 할당하는 방식이다.

CDMA 시스템은 간섭제한적인 시스템으로 시스템의 용량은 시스템에서 수용할 수 있는 간섭량에 의해 결정된다. 이러한 간섭량은 목표 셀 내에 있는 사용자의 수, 이웃 셀에 있는 사용자의 수 및 이웃 셀에 있는 사용자와 목표 셀에 있는 기지국사이의 전파환경에 의해 결정된다. 완벽한 전력제어가 이루어지는 시스템에서 기지국이 자신의 셀 내 한 사용자로부터 받는 간섭량은 일정하지만 이웃 셀내 한 사용자로부터 받는 간섭량은 큰 차이가 있다. CDMA 시스템에서 용량은 전체 수신한 간섭량으로 나타낼 수 있으므로 한 사용자가 이웃 셀에 주는 간섭량은 이 사용자가 이웃 셀에서 점유하는 용량으로 생각할 수 있다. 사용자가 자기 셀에서 점유하는 용량은 일정하지만, 다른 셀에서 점유하는 용량은 상이하므로 한 셀이 아닌 전체

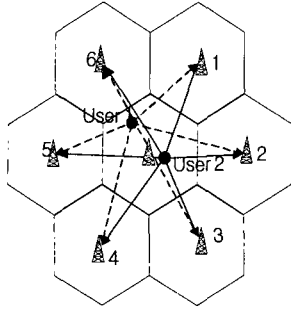
시스템의 차원에서 보면 한 사용자가 전체 시스템에서 점유하는 용량은 같지 않다. 따라서 동일한 종류의 호라 할지라도 시스템의 서비스품질에 주는 영향은 다르며 이에 근거하여 같은 종류의 호에도 서로 다른 우선권을 할당할 수 있을 것이다. 하지만 기존의 우선권에 기반한 호 수락제어 방식은 모두 서로 다른 종류의 호에 우선권을 할당하는 방식에만 제한되었다. 서로 다른 종류의 호에 서로 다른 우선권을 할당하는 호 수락제어 방식은 시스템의 서비스품질은 효과적으로 보장할 수 있지만 시스템의 실질적인 용량이득 획득에는 제한이 있었다. 같은 종류의 호(예를 들면 모두 새 음성 호일 경우)에 대해 서로 다른 우선권을 할당하는 방식은 거의 제안되지 않았다. 본 논문에서는 전체 자원요구량에 근거하여 같은 종류의 호에 서로 다른 우선권을 할당하는 호 수락제어 알고리즘을 제안하고 제안한 알고리즘의 성능을 분석한다.

제안하는 호 수락제어 기법에서는 한 사용자가 호 신청을 하면 전파환경에 대한 판단을 통하여 이 사용자가 전체 시스템에서 요구하는 용량을 예측한다. 예측한 전체 자원요구량에 근거하여 호 신청을 하는 사용자를 도착한 순서가 아닌 예측한 전체 자원요구량에 근거하여 우선권을 할당한다. 다음 사용자가 접속한 셀에서 여유용량을 체크하여, 충분한 여유용량이 있으면 모든 사용자를 수락하고 그렇지 않으면 여유용량만큼 높은 우선권이 할당된 사용자를 수락한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 1장의 서론에 이어 2장에서는 한 사용자가 시스템차원에서 요구하는 전체 자원요구량에 대해 분석한다. 3장에서는 전체 자원요구량에 근거하여 같은 종류의 호에 서로 다른 우선권을 할당하는 호 수락제어 알고리즘과 그 성능에 대해 분석하며 4장에서는 수치적 분석결과를 이용하여 제시한 알고리즘의 성능을 검증한다. 5장은 본 논문의 결론이다.

## II. 한 사용자의 전체 자원요구량에 대한 분석

무선 전파환경에는 거리에 따른 전파감쇄와 장애물로 인한 쇄도우잉 및 다중경로로 인한 빠른 페이딩이 있다. 거리에 따른 전파감쇄는 보통 거리의 4승에 반비례하고 쇄도우잉은 로그노말 분포를 가진다. 거리에 따른 전파감쇄의 작용으로 한 사용자가 목표 셀의 기지국에 가까이 위치하고 기타 이웃 셀로부터 먼 거리에 위치하게 되면 이웃 셀에 주는 간섭이 약하며, 반대로 목표 셀의 기지국으로부터 먼 거리에 위치하면 이웃 셀에 주는 간섭량도 커지게 된다. CDMA 시스템



User 1 required resource [resources 1-6]   
 User 2 required resource [resources 2-6]   
 그림 1. 셀룰라 시스템에서 서로 다른 사용자가 이웃 셀에 요구하는 자원요구량

은 간접제한적인 시스템이므로 한 사용자가 이웃 셀에 주는 간섭의 영향을 이웃 셀에서의 자원요구량으로 정의하며 전체 시스템에 주는 간섭의 영향을 전체 자원요구량으로 정의한다. 그러므로 같은 위치라도 사용자와 목표 셀 사이 쇠도우잉, 사용자와 이웃 셀 사이 쇠도우잉의 작용으로 전반 시스템에서 요구하는 전체 자원요구량도 다르게 된다.

그림 1은 한 사용자가 이웃 셀에서 요구하는 전체 자원요구량에 대한 개념을 설명한다. 여기서 셀 0은 사용자 1과 사용자 2가 접속해 있는 셀이고 셀 1~6은 셀 0주위에 있는 6개의 이웃 셀이다. 그림에서 동일한 셀에 접속해 있는 사용자 1과 사용자 2는 자신의 셀에서는 같은 자원요구량을 가지게 된다. 하지만 두 사용자의 위치와 두 사용자와 셀 0~6 사이의 거리 및 쇠도우잉의 크기가 상이하므로 사용자 1과 사용자 2가 이웃 셀에서의 자원요구량 및 전체 자원요구량은 상이하게 된다.

셀룰라 시스템에서 한 사용자의 전체 자원요구량은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Psi_j = \Psi_{j,h} + \Psi_{j,n} = P_j^r \cdot (10^{\xi_{j,i}/10} r_{j,i}^{-a}) + \sum_{n=1, n \neq i}^N P_j^r \cdot (10^{\xi_{j,n}/10} r_{j,n}^{-a}) \quad (1)$$

여기서  $\Psi_j$ 는 셀  $i$ 에 있는 사용자  $j$ 의 전체 셀룰라 시스템에서의 자원요구량이고  $\Psi_{j,h}$ 와  $\Psi_{j,n}$ 는 홈 셀에서의 자원요구량과 이웃 셀에서의 자원 요구량이다.  $N$ 는 전체 시스템에 있는 셀의 수이고  $P_j^r$ 는 셀  $i$ 에 있는 사용자  $j$ 의 송신전력이다.  $\xi_{j,i}$ 와  $\xi_{j,n}$ 는 정규분포를 따르며 각각 사용자  $j$ 와 셀  $i$ , 셀  $n$ 사이의 쇠도

우잉 모델로 사용된다.  $r_{j,i}$ 와  $r_{j,n}$ 는 각각 사용자  $j$ 와 셀  $i$ , 셀  $n$ 사이의 거리를 나타낸다.  $a$ 는 전파감쇄지수를 나타낸다. 완벽한 전력제어가 이루어지는 시스템에서 셀  $i$ 의 기지국에서 셀  $i$ 에 있는 사용자  $j$ 로부터 수신한 수신전력  $P_{j,i}^r$ 는 일정한 값을 가지게 된다. 따라서 위 식을 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} \Psi_j &= \Psi_{j,h} + \Psi_{j,n} \\ &= P_{j,i}^r \left( 1 + \sum_{n=1, n \neq i}^N \frac{10^{\xi_{j,n}/10} r_{j,n}^{-a}}{10^{\xi_{j,i}/10} r_{j,i}^{-a}} \right) \\ &= a(P^r) \times \left( 1 + \sum_{n=1, n \neq i}^N \frac{10^{\xi_{j,n}/10} r_{j,n}^{-a}}{10^{\xi_{j,i}/10} r_{j,i}^{-a}} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서  $a(P^r)$ 는 임의의 셀이 자신에 속한 임의의 사용자로부터 수신하는 수신 전력으로 완벽한 전력제어를 가정하면 상수 값을 가지고, 불완전한 전력제어 조건에서는 로그노말 분포로 나타낼 수 있다. 셀  $i$ 에 있는 사용자  $j$ 와 셀  $n$ 사이의 전파감쇄를  $X_{j,n}$ 라고 하면  $X_{j,n}$ 은 다음과 같이 표시된다.

$$X_{j,n} = \frac{10^{\xi_{j,n}/10} r_{j,n}^{-a}}{10^{\xi_{j,i}/10} r_{j,i}^{-a}} \quad (3)$$

이 전파감쇄 값의 평균과 분산은 다음과 같다<sup>16)</sup>.

$$E(X_{j,n}) = e^{(-\beta \mu_{j,n} + \beta^2 \sigma^2)} \quad (4)$$

$$Var(X_{j,n}) = e^{(-2\beta \mu_{j,n} + 2\beta^2 \sigma^2)} (e^{2\beta^2 \sigma^2} - 1) \quad (5)$$

여기서  $\beta = \ln(10)/10$  이고  $\sigma$ 는 전력제어 분산 값이며,  $\mu_{j,n} = 10 \log_{10} \left( \frac{r_{j,i}^{-a}}{r_{j,n}^{-a}} \right)$ 이다.

중심극한정리를 이용하여 한 사용자가 다른 셀에서의 자원요구량  $\Psi_{j,n}$ 은 정규분포로 나타낼 수 있으며 평균과 분산은 다음과 같다.

$$E(\Psi_{j,n}) = a(P^r) \sum_{n=1, n \neq i}^N e^{(-\beta \mu_{j,n} + \beta^2 \sigma^2)} \quad (6)$$

$$Var(\Psi_{j,n}) = (a(P^r))^2 \sum_{n=1, n \neq i}^N e^{(-2\beta \mu_{j,n} + 2\beta^2 \sigma^2)} (e^{2\beta^2 \sigma^2} - 1) \quad (7)$$

따라서 한 사용자가 전체 시스템에서의 전체 자원요구량  $\Psi_j$ 도 정규분포를 따르며 식 (2), (6), (7)로부터 다음과 같은 평균과 분산을 얻을 수 있다.

$$E(\Psi_{ij}) = a(P^r) \left( 1 + \sum_{n=1, n \neq i}^N e^{(-\beta\mu_{v,n} + \beta^2\sigma^2)} \right) \quad (8)$$

$$Var(\Psi_{ij}) = (a(P^r))^2 \sum_{n=1, n \neq i}^N e^{(-2\beta\mu_{v,n} + 2\beta^2\sigma^2)} (e^{2\beta^2\sigma^2} - 1) \quad (9)$$

실제시스템에서 전체 자원요구량에 대한 정보는 다음과 같은 방식으로 얻을 수 있다. 만일 홈 셀  $i$ 에서 셀  $i$ 와  $n$ 의 기지국에서 전송한 파일럿 신호의 세기  $P_i^{t,pilot}$ ,  $P_n^{t,pilot}$ 의 정보와 셀  $i$ 의 사용자  $j$ 가 셀  $i$ 와  $n$ 의 기지국으로부터 수신한 파일럿 신호의 세기  $P_{j,n}^{r,pilot}$ ,  $P_{j,i}^{r,pilot}$ 의 정보를 얻을 수 있다고 가정하면,  $X_{j,n}$ 를 다음과 같이 얻을 수 있다<sup>[12-13]</sup>.

$$X_{j,n} = \frac{10^{\xi_{v,n}/10} r_{j,n}^{-a}}{10^{\xi_{v,i}/10} r_{j,i}^{-a}} \quad (10)$$

$$= \frac{P_{j,n}^{r,pilot} / P_n^{t,pilot}}{P_{j,i}^{r,pilot} / P_i^{t,pilot}}$$

위의 방식으로 얻은 이웃 셀에서의 자원요구량을 이용하면 한 사용자가 전체 시스템에서 요구하는 자원요구량은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$X_{j,n} = a(P^r) \left( 1 + \sum_{n=1, n \neq i}^N X_{j,n} \right) \quad (11)$$

$$= a(P^r) \left( 1 + \frac{\sum_{n=1, n \neq i}^N \frac{P_{j,n}^{r,pilot} / P_n^{t,pilot}}{P_{j,i}^{r,pilot} / P_i^{t,pilot}}}{P_{j,i}^{r,pilot} / P_i^{t,pilot}} \right)$$

### III. 전체 자원요구량에 근거한 우선권에 기반한 호 수락제어 알고리즘

#### 3.1. 제안된 알고리즘

제안된 우선권에 기반한 호 수락제어 기법의 흐름도는 그림 2에 표시한 바와 같다.

그림에서  $\Delta$ 는 매 차의 호 수락제어에서 처리하는 새로운 호의 수를 나타내고  $K$ 는 시스템의 여유용량을 나타낸다. 제안한 알고리즘은 호 신청을 하는 사용자의 수가  $\Delta$ 에 이르면  $\Delta$ 명의 사용자의 전체 시스템에서의 자원요구량을 II장에서 설명한 방법에 따라 측정한다. 다음  $\Delta$ 명의 사용자를 호 신청을 한 선후순서가 아닌 전체 자원요구량에 근거하여 재 정렬하여 전체 자원요구량이 가장 적은 사용자에게 가장 높은 우선권을 할당한다. 만약 접속하려는 셀에 한 명의 사용자만 받아들일 수 있는 여유용량이 있으면  $\Delta$ 명의

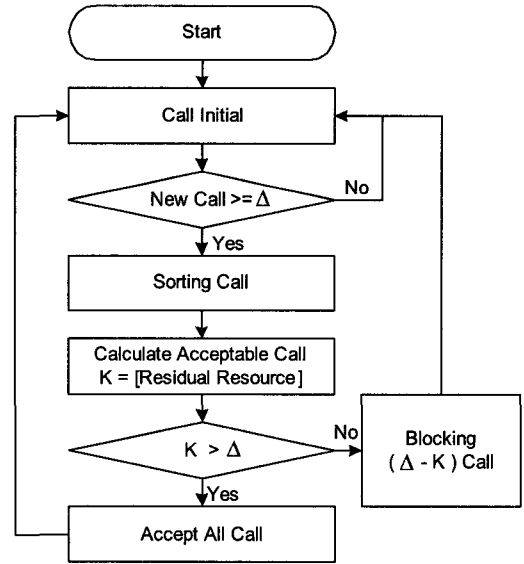


그림 2. 자원요구량에 기반한 우선권 할당 호 수락제어 기법

사용자들 중에서 가장 높은 우선권이 할당된 사용자만 받아들인다. 목표 셀의 특정된 이웃 셀에서 가장 높은 우선권을 할당 받은 사용자의 자원요구량이 기타  $(\Delta-1)$ 명의 사용자의 자원요구량보다 반드시 작은 값을 가진다고 할 수 없지만 가장 높은 우선권을 가진 사용자를 받아들이는 것은 전반 시스템 측면에서는 간섭을 줄일 수 있다.

전체 자원요구량에 근거하여 새로운 호에 우선권을 할당하기 위하여 우선 각 기지국 파일럿 채널 신호세기를 측정한다. 측정된 파일럿 채널 신호세기에 근거하여 새 호와 기지국사이의 전파환경과 전체 자원요구량을 예측한다. 재 정렬 알고리즘은 각사용자를 가장 적은 전체 자원요구량을 가지는 사용자를 제일 앞에, 가장 많은 자원요구량을 가지는 사용자를 제일 뒤에 정렬한다.

새 사용자에 대한 재 정렬 후, 제안 한 호 수락제어 알고리즘은 새 사용자가 접속을 시도하는 셀에서 여유용량을 체크한다. 만일 셀에서  $\Delta$ 명의 사용자 전부를 받아들일 수 있는 용량이 있으면  $\Delta$ 명의 사용자를 모두 받아들일 수 있다. 하지만 셀에  $K$ 명의 사용자를 받아들일 수 있는 여유용량만 있다면 가장 높은 우선권이 할당된 호부터  $K$ 명의 사용자만 받아들인다. 이때 나머지  $(\Delta-K)$ 명의 사용자의 호는 차단된다. 비록 홈 셀에서는 여유용량에 근거하여 기타 알고리즘과 똑 같은 수의 사용자를 받아들이지만 제안한 알고리즘에서 다른 셀에 주는 간섭이 제일 적은 사용자를 받아들이므로 이웃 셀에서 용량이익을 기대할 수 있

다. 같은 방식으로 기타 셀에서 제안한 호 수락제어 알고리즘을 사용하였을 때 홈 셀에서도 같은 용량이득이 생길 수 있다.

3.2. 같은 종류의 호에 같은 우선권을 할당하는 호 수락제어기법의 성능평가

많은 호 수락제어와 관련된 논문에서 제안되는 호 수락제어 알고리즘은 모두 같은 종류의 호에 같은 우선권을 할당하는 알고리즘으로 분류할 수 있다. 기존에 CDMA 시스템에서 같은 종류의 호에 같은 우선권을 할당하는 알고리즘의 성능은 시스템이 요구하는 비트에너지-대-잡음비를 만족하지 못할 확률로 계산되었다<sup>[14]</sup>. 이 방식에서  $N$ 명의 사용자가 있을 때 호 차단확률은 다음 식과 같다.

$$P_{blo}^{pre}\left(\frac{\lambda}{\mu}\right) = Q\left[\frac{A - \frac{\lambda}{\mu}\rho(1+f)\exp[(\beta\sigma)^2/2]}{\frac{\lambda}{\mu}\rho(1+f)\exp[2(\beta\sigma)^2]}\right] \quad (12)$$

여기서  $\lambda/\mu$ 는 열량부하,  $\rho$ 는 음성활동도,  $f$ 는 다른 셀의 간섭인자를 나타내며,  $\sigma$ 는 전력제어 분산 값,

$Q(x) = \int_x^{-\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx$ 를 나타낸다.  $A$ 는 다음과 같이 표시된다.

$$A = \frac{(W/R)(1-\eta)}{\exp(\beta m)} \quad (13)$$

여기서  $W$ 는 확산대역폭,  $R$ 는 데이터율,  $m$ 는 평균 수신 비트에너지-대-잡음비이다.

식 (12)는 호 차단으로 인한 시스템의 상태변화를 고려하지 않은 결과이다. 따라서 호 차단으로 인한 시스템의 상태변화를 구하기로 한다. CDMA 시스템에서 전체 사용 가능한 채널코드의 개수가  $M$ 일 때, 열량부하가  $\lambda/\mu$ 인 상황에서 시스템에 항상  $\lambda/\mu$ 명의 사용자가 있는 것이 아니라, 임의의  $i(0 \leq i \leq M)$ 명의 사용자가 있을 수 있다. 다만 부하가 다름에 따라 각 상태(시스템에  $i(0 \leq i \leq M)$ 명의 사용자가 있음)에 있을 확률이 달라질 뿐이다. 따라서 이 장에서는 호가 차단된 후의 시스템의 상태확률과 요구하는 비트에너지-대-잡음비를 동시에 고려하여 정확한 호 차단확률을 도출한다.

호 수락제어를 고려하지 않았을 때, 시스템이 상태  $i-1$ 에서 상태  $i$ 로 천이할 확률은 다음과 같다.

$$P(i) = \frac{\lambda}{i\mu} P(i-1) \quad (14)$$

여기서  $P(i)$ 는 시스템이 상태  $i$ 에 있을 확률이다. 하지만, CDMA 시스템에서 요구하는 통화품질을 만족하지 못하여 호가 수락되지 않을 확률을 고려하면, 호 도착율  $\lambda$ 에 따라 도착하는 호 중에서 일부만 수락되므로 상태 천이에 기여하는 호 도착율은 적어진다. 상태  $i$ 에서 호가 수락될 확률은 수식 (12)를 이용하여 나타낼 수 있으므로 비트에너지-대-잡음비 조건을 고려한 CDMA 시스템에서 식 (14)는 다음과 같이 수정된다.

$$P(i) = \frac{(1 - P_{blo}^{pre}(i-1))\lambda}{i\mu} P(i-1) \\ = \frac{\left\{1 - Q\left[\frac{A - (i-1)\rho(1+f)\exp[(\beta\sigma)^2/2]}{(i-1)\rho(1+f)\exp[2(\beta\sigma)^2]}\right]\right\}\lambda}{i\mu} \times P(i-1) \quad (15)$$

또한 시스템의 전체 상태확률은 다음과 같은 조건을 만족해야 한다.

$$\sum_{i=1}^M P(i) = 1 \quad (16)$$

위의 식 (15)과 (16)로부터 시스템의 전부의 상태확률을 구할 수 있다. 한 사용자가 호 신청을 할 때 시스템에  $i$ 명의 사용자가 있을 확률은 시스템의 상태확률  $P(i)$ 와 같으며, 호가 차단될 확률은 각 시스템의 상태확률과 그 상태에서 요구하는 비트에너지-대-잡음비를 만족하지 못할 확률로 표시된다. 따라서 CDMA 시스템에서 정확한 호 차단확률은 다음과 같은 방법으로 구할 수 있다.

$$P_{blo}^{new}\left(\frac{\lambda}{\mu}\right) = \sum_{i=0}^M P(i) P_{blo}^{pre}(i) \quad (17)$$

호 차단확률이 정해지면 호 수락제어기법을 적용한 시스템에서 전송부하(Carrier Load)는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$L_{carrier}\left(\frac{\lambda}{\mu}\right) = \frac{\lambda}{\mu} \left(1 - P_{blo}^{new}\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)\right) \quad (18)$$

윗 식에서  $L_{carrier}$ 는 호 수락제어기법을 적용한 후 시스템에서 처리되는 부하이다. 호 수락제어기법을 적용한 시스템에서 현재 호 신청이 수락되어 활성화되어 있는 사용자의 수는 실제 시스템에서 처리되는 부하에 의하여 결정된다. 따라서 호 수락제어기법을 적용한 시스템에서의 통화품질저하확률은 다음과 같다.

$$P_{out}\left(\frac{\lambda}{\mu}\right) = Q \left[ \frac{A - \frac{\lambda}{\mu} \left(1 - P_{blo}^{new}\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)\right) \rho (1 + f) \exp[(3\sigma)^2/2]}{\frac{\lambda}{\mu} \left(1 - P_{blo}^{new}\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)\right) \rho (1 + f) \exp[2(\beta\sigma)^2]} \right] \quad (19)$$

### 3.3 제안된 알고리즘의 성능평가

제안한 우선권에 기반한 호 수락제어 알고리즘에서는 각 사용자의 호 차단확률이 시스템의 평균 호 차단확률과 같지 않다. 그림 2의 알고리즘 설명에서 알 수 있는 것처럼 전체 자원요구량이 많은 호는 낮은 우선권을 할당 받으므로 호 차단확률이 평균 호 차단확률보다 높아지고, 전체 자원요구량이 적은 호는 높은 우선권을 할당 받아 호 차단확률이 평균보다 낮아진다. 제안하는 호 수락제어 알고리즘에서 한번에 처리하는 사용자의 수가  $\Delta$ 명이라고 하고  $U_1, U_2, \dots, U_\Delta$ 를 전체 자원요구량에 근거하여 재정렬한 후의 사용자라고 하면, 셀  $i$ 에서 각 사용자의 자원요구량은  $\Psi_{iU_1} \leq \Psi_{iU_2} \leq \dots \Psi_{iU_\Delta}$ 로 된다. 각 사용자는 정렬순서에 따라 서로 다른 우선권을 할당 받게 되므로 전체 자원요구량이 다른 각 사용자의 호 차단확률도 다르게 된다. 각 사용자의 호 차단확률은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \hat{P}_{blo}\left(U_1, \frac{\lambda}{\mu}\right) &\approx P_{blo}^{new}\left(\frac{\lambda}{\mu}\right) \\ \hat{P}_{blo}\left(U_2, \frac{\lambda}{\mu}\right) &\approx P_{blo}^{new}\left(\frac{\lambda}{\mu}\right) \times \left(1 - \hat{P}_{blo}\left(U_1, \frac{\lambda}{\mu}\right)\right) \\ &\vdots \\ \hat{P}_{blo}\left(U_\Delta, \frac{\lambda}{\mu}\right) &\approx P_{blo}^{new}\left(\frac{\lambda}{\mu}\right) \times \left(1 - \hat{P}_{blo}\left(U_{\Delta-1}, \frac{\lambda}{\mu}\right)\right) \end{aligned} \quad (20)$$

따라서 제안한 알고리즘에서  $\Delta$ 명의 사용자의 호 수락을 처리했을 때 전체 시스템에서 증가하는 자원요구량의 평균 증가량은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\bar{\Psi}(U_\Delta) = \frac{\sum_{i=1}^{\Delta} \left[ \left(1 - \hat{P}_{blo}\left(U_i, \frac{\lambda}{\mu}\right)\right) \times \Psi_{iU_i} \right]}{\sum_{i=1}^{\Delta} \left(1 - \hat{P}_{blo}\left(U_i, \frac{\lambda}{\mu}\right)\right)} \quad (21)$$

우선권을 할당하지 않는 호 수락제어 알고리즘에서 전체 자원요구량의 평균값은 호 수락제어의 영향을 받지 않는다. 제안한 우선권에 기반한 알고리즘에서 호 수락제어 후, 사용자의 전체 자원요구량의 평균값의 변화는 셀 사이 간섭의 변화에 영향 준다. 한 사용자의 전체 자원요구량의 평균값의 감소 혹은 증가

는 곧 다른 셀 사이 간섭의 감소 혹은 증가로 볼 수 있다. 따라서 우선권에 기반한 알고리즘과 우선권에 기반하지 않은 알고리즘의 셀 사이 간섭비를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{\bar{f}}{f} &= \frac{\bar{\Psi}(U_\Delta)}{\Psi_{ij,n}} \\ &= \frac{\sum_{i=1}^{\Delta} \left[ \left(1 - \hat{P}_{blo}\left(U_i, \frac{\lambda}{\mu}\right)\right) \times \Psi_{iU_i} \right]}{\left[ \sum_{i=1}^{\Delta} \left(1 - \hat{P}_{blo}\left(U_i, \frac{\lambda}{\mu}\right)\right) \right] \Psi_{ij,n}} \end{aligned} \quad (22)$$

따라서 제안하는 전체 자원요구량에 따른 우선권을 할당하는 알고리즘을 적용할 경우 호 차단확률과 전송부하 및 통화품질저하확률은 (17), (18), (19)와 유사한 방법으로 각각 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} P_{blo}^{pri}\left(\frac{\lambda}{\mu}\right) &= \sum_{i=0}^M \bar{P}(i) P_{blo}^{pre}(i) \\ &= \sum_{i=0}^M \left\{ \frac{\prod_{i=0}^M Q \left[ \frac{A - (i-1)\rho(1+f)\exp[(3\sigma)^2/2]}{(i-1)\rho(1+f)\exp[2(\beta\sigma)^2]} \right] \lambda}{i\mu} \right\} \\ &\quad \times Q \left[ \frac{A - (i-1)\rho(1+f)\exp[(3\sigma)^2/2]}{(i-1)\rho(1+f)\exp[2(\beta\sigma)^2]} \right] \end{aligned} \quad (23)$$

$$L_{carrier}^{pri}\left(\frac{\lambda}{\mu}\right) = \frac{\lambda}{\mu} \left(1 - P_{blo}^{pri}\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)\right) \quad (24)$$

$$\begin{aligned} P_{out}^{pri}\left(\frac{\lambda}{\mu}\right) &= Q \left[ \frac{A - \frac{\lambda}{\mu} \left(1 - P_{blo}^{new}\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)\right) \rho (1 + f) \exp[(3\sigma)^2/2]}{\frac{\lambda}{\mu} \left(1 - P_{blo}^{new}\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)\right) \rho (1 + f) \exp[2(\beta\sigma)^2]} \right] \end{aligned} \quad (25)$$

다음 장에서 제안한 알고리즘의 성능에 대하여 구체적으로 토론한다.

## IV. 결과 및 고찰

제안하는 알고리즘의 성능분석을 위하여 다음과 같은 시스템 환경을 고려한다.  $W = 3.84 MHz$ ,  $R = 14.4 Kbps$ ,  $\eta = 0.1$ ,  $m = 7 dB$ ,  $\sigma = 2.5 dB$ 이며 음성 활동도는 고려하지 않는다. 제안한 알고리즘의 성능을 분석하기 위하여 우선 전체 자원요구량에

표 1.  $\Delta$ 명의 사용자를 전체 자원요구량에 근거하여 재 정렬 했을 때, 각 사용자의 전체 자원요구량의 평균값

파라미터	$\Delta=2$	$\Delta=3$	$\Delta=4$
$\Psi_{i1}$	1.17168	1.08768	1.0579
$\Psi_{i2}$	1.646719	1.323024	1.202296
$\Psi_{i3}$	—	1.818085	1.452449
$\Psi_{i4}$	—	—	1.929393

근거하여 재 정렬하였을 때 각 사용자의 평균자원요구량을 구해야 한다. 본 논문에서는 재 정렬 후의 각 사용자의 평균자원요구량을 시뮬레이션을 통하여 구한다. 표 1은  $\Delta$ 명의 사용자를 전체 자원요구량에 근거하여 재 정렬 했을 때, 각 사용자의 전체 자원요구량의 평균값을 나타낸다. 표 1의 값을 이용하여 우리는 제안한 알고리즘에서 부하에 따른 평균 자원요구량을 구할 수 있다. 그림 3은 제안한 알고리즘과 같은 종류의 호에 같은 우선권을 할당하는 알고리즘의 각 부하에 대응하는 자원요구량을 비교한 것이다.

위 그림에서 같은 종류의 호에 같은 우선권을 할당하는 알고리즘은 모든 부하에 걸쳐 모두 같은 값을 가진다는 것을 알 수 있다. 이것은 호 신청이 수락된 호나, 호 신청이 거절된 호나 모두 호 수락제어를 하지 않았을 때의 호의 평균자원요구량과 같기 때문이다. 위 그림에서 제안한 알고리즘의 경우, 한 사용자의 평균 자원요구량은 같은 종류의 호에 같은 우선권을 할당하는 알고리즘보다 낮다는 것을 알 수 있다. 부하가 낮을 경우, 제안한 알고리즘에서의 평균 자원요구량은 같은 종류의 호에 같은 우선권을 할당하는 알고리즘과 비슷한 값을 가지지만 부하의 증가와 함께 제안한 알고리즘에서의 한 사용자의 평균 자원요구량은 현저히 감소됨을 알 수 있다. 이것은 낮은 부하에서는 시스템의 여유용량이 충분하므로 우선권할당에 관계없이 모든 호를 받아들이에 우선권을 할당하지 않은 알고리즘과 큰 차이가 없기 때문이다. 하지만 부하가 증가함에 따라 시스템의 여유용량이 적어지며 시스템은 많은 호의 호 신청을 수락할 수 없게 된다. 이 때, 우선권을 할당하는 알고리즘에서는 전체 자원요구량이 많은 호의 호 신청을 수락하지 않고, 전체 자원요구량이 적은 호의 호 신청을 받아들이게 되므로, 호 차단확률이 같을 때, 한 사용자의 평균자원요구량은 감소하게 된다. 부하가 증가하게 되면 호 차단확률이 계속 증가하게 되며, 한 사용자의 평균자원요구량도 따라서 감소하게 된다. 또한 같은 부하에서  $\Delta$ 값이 증가함에 따라 전체 자원요구량의 평

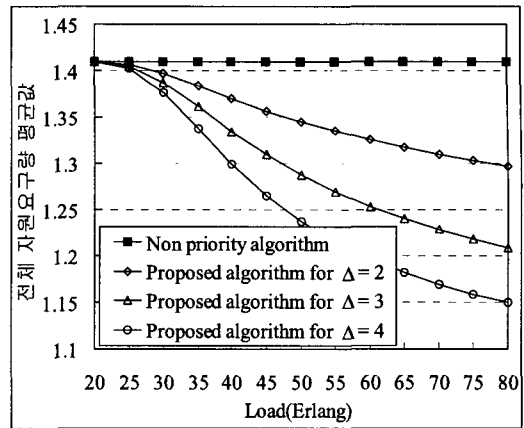


그림 3. 제안한 알고리즘에서 각 부하에 따른 전체 자원요구량의 변화 (데이터 전송율: 14.4kbp)

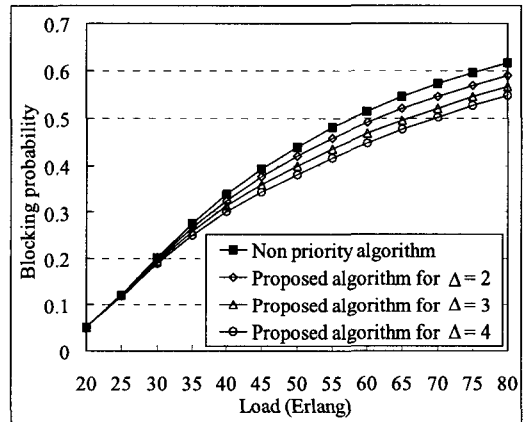


그림 4. 제안한 알고리즘에서 각 부하에 따른 호 차단확률의 변화 (데이터 전송율: 14.4kbps)

균값도 감소함을 알 수 있다.

부하의 증가에 따른 호 차단확률의 성능은 그림 4에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있는 것처럼 제안한 알고리즘은 각  $\Delta$ 에 값에 대하여 모두 같은 종류의 호에 우선권을 할당하지 않는 호보다 낮은 호 차단확률을 나타낸다는 것을 알 수 있다. 또한 부하의 증가와 함께 호 차단확률성능에서 얻을 수 있는 이득도 증가한다. 제안한 알고리즘의 통화품질저하확률은 그림 5에 나타내었다. 그림 5에서 보면 각  $\Delta$ 값에 대하여 제안한 알고리즘의 통화품질저하확률은 우선권을 할당하지 않은 알고리즘과 거의 유사한 값을 나타낼 수 있다. 더욱 정확하게 분석하면 중 부하 (30~45 Erlang)에서는 우선권을 할당하지 않은 알고리즘보다 약간 좋은 성능을 나타내는 반면, 과부하에서 (60~80 Erlang)에서는 약간 나쁜 성능을 나타낼 수

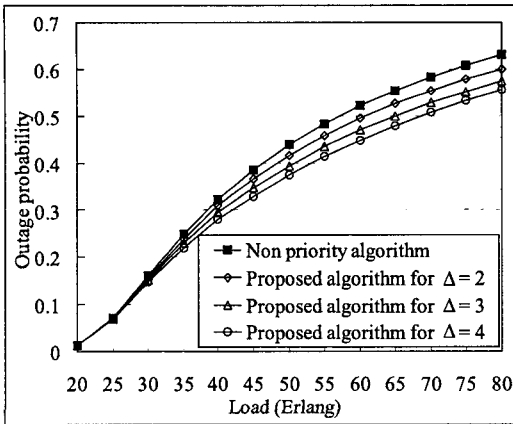


그림 5. 제안한 알고리즘에서 각 부하에 따른 통화품질저하 확률의 변화 (데이터 전송율: 14.4kbps)

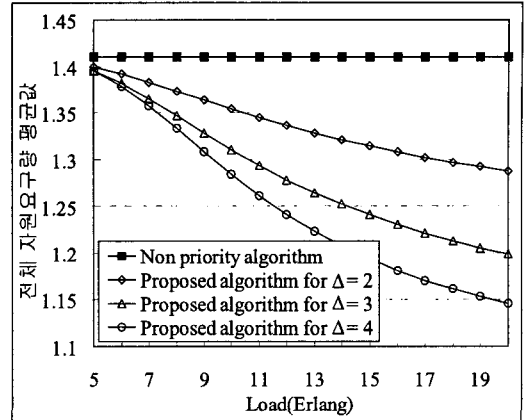


그림 7. 제안한 알고리즘에서 각 부하에 따른 전체 자원요구량의 변화 (데이터 전송율: 64kbps)

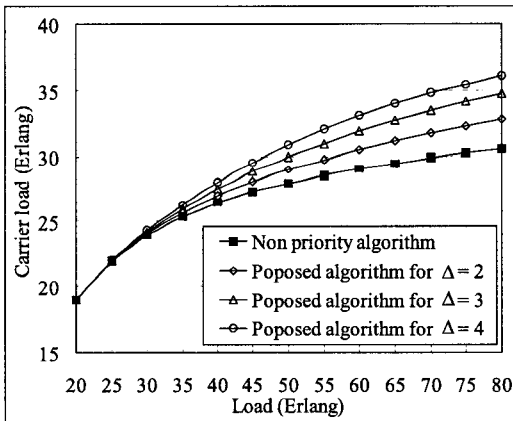


그림 6. 제안한 알고리즘에서 각 부하에 따른 전송용량의 변화 (데이터 전송율: 14.4kbps)

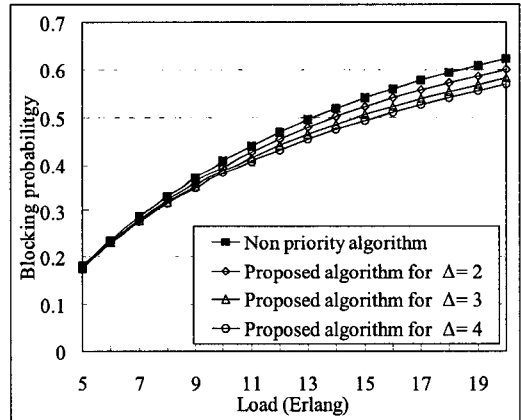


그림 8. 제안한 알고리즘에서 각 부하에 따른 호 차단확률의 변화 (데이터 전송율: 64kbps)

있다. 이는 제안한 알고리즘이 우선권을 할당하는 방식으로 셀 사이 간섭을 감소시키지만, 다른 한편으로 높은 전송부하를 가지기 때문에 분석할 수 있다. 제안한 알고리즘의 전송부하는 그림 6에서 관찰할 수 있다. 그림에서 우선권을 할당하지 않는 알고리즘의 전송부하는 부하가 증가함에 따라 일정한 값을 유지하게 된다. 제안한 알고리즘은 부하가 증가함에 따라 전송부하도 계속 증가함을 알 수 있다. 이것은 부하에 따른 전체 자원요구량의 변화로부터 추측할 수 있다. 그림 3에서 보면 전체 자원요구량은 부하에 따라 감소하며 이는 외부 셀로부터 받는 간섭비가 부하가 증가함에 따라 감소함을 설명한다. CDMA 시스템에서 외부 셀의 간섭의 감소는 곧 홈 셀에서 수용할 수 있는 사용지수의 증가를 뜻하며 이로 하여 그림 6과 같

은 전송부하성능을 얻게 된다. 또한 제안한 알고리즘은  $\Delta$ 값이 증가함에 따라 전송부하의 성능이 더욱 우수해짐을 알 수 있다.

제안한 알고리즘의 고속데이터서비스 환경에서의 성능을 평가하기 위하여 높은 데이터율을 가지는 서비스에서의 성능에 대해 살펴보기로 한다. 선택하는 시스템환경은 데이터율을 64Kbps로 변경하는 것 이외에 다른 환경은 앞에서 설명한 환경과 같다고 가정한다. 데이터율이 높은 만큼 부하가 5얼랑에서 20얼랑일 때 까지의 조건에서 제안한 알고리즘과 우선권을 할당하지 않는 알고리즘의 성능을 비교하기로 한다. 데이터율이 64kbps인 환경에서의 전체 자원요구량 평균값, 호 차단확률, 통화품질저하확률, 전송부하 등 성능은 각각 그림 7, 그림 8, 그림 9, 그림 10에



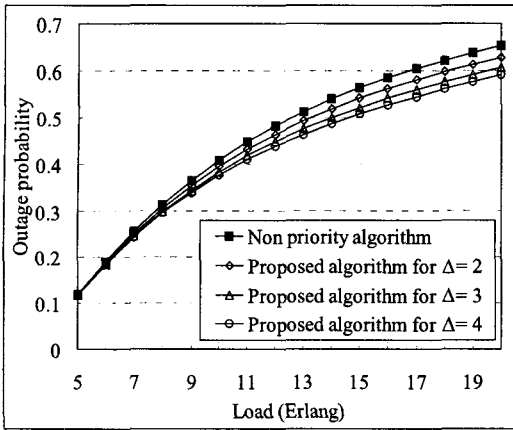


그림 9. 제안한 알고리즘에서 각 부하에 따른 통화품질저하 확률의 변화 (데이터 전송율: 64kbps)

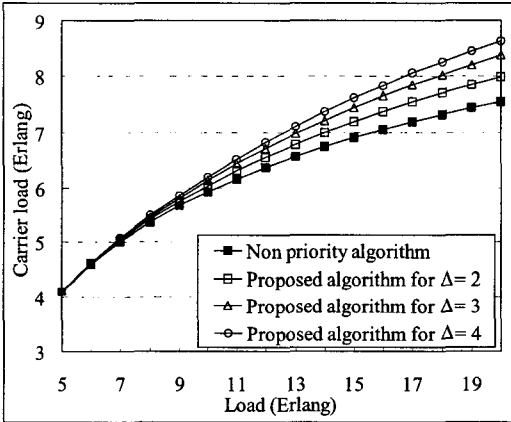


그림 10. 제안한 알고리즘에서 각 부하에 따른 전송용량의 변화 (데이터 전송율: 64kbps)

나타내었다. 그림 7의 전체 자원요구량을 살펴보면 데이터율이 64Kbps인 환경에서도 제안한 알고리즘은 데이터율이 14.4Kbps일 때와 비슷한 성능을 나타낼 수 있다. 즉, 제안한 알고리즘에서 전체 자원요구량은 부하에 따라 감소하며 같은 부하에서는  $\Delta$ 값이 증가할수록 전체 자원요구량이 더 낮은 값을 가진다는 것을 알 수 있다. 그림 8의 호 차단성능에서도 제안한 알고리즘은 각  $\Delta$ 값에 대하여 모두 우선권을 할당하지 않는 알고리즘보다 우수한 성능을 나타내며,  $\Delta$ 값이 증가함에 따라 호 차단확률이 더욱 낮아짐을 알 수 있다. 이는  $\Delta$ 값과 부하의 증가와 함께 제안한 알고리즘에서 전체 자원요구량이 감소함으로써 홈 셀에서는 더욱 많은 사용자를 받아들일 수 있기 때문이다. 그림 9의 통화품질저하확률에서는 제안한 알고리즘이

우선권을 할당하지 않는 알고리즘과 거의 유사한 성능을 보인다. 이는 제안하는 알고리즘에서 셀 간 간섭이 감소했지만 실제 서비스를 받는 사용자의 부하가 증가했기 때문이다. 그림 10은 제안한 알고리즘이 우선권을 할당하지 않는 알고리즘보다 얼마만큼 더 많은 트래픽을 받아들일 수 있는지를 보여준다.

## V. 결론

본 논문에서는 새로운 우선권에 기반한 알고리즘 기법을 제안하고 제안한 알고리즘의 성능을 분석하였다. 기존의 우선권에 기반한 알고리즘은 서로 다른 종류의 호에 서로 다른 우선권을 할당하는 방식인데 비하여 제안하는 알고리즘은 동일한 종류의 호에 대해서도 서로 다른 우선권을 할당하는 방식이다. 우선권할당은 각 호의 전체 자원요구량에 근거하여 결정하며 각 호의 전체 자원요구량은 각 호와 각 지국 사이의 전파환경에 의하여 결정된다. 전파환경과 전체 자원요구량은 각 지국으로부터 전송된 파일럿 신호를 이용하여 예측할 수 있다. 비슷한 시간에 도착하는 여러 개의 호에 대해 전체 자원요구량에 근거하여 우선권을 할당하며 시스템의 여유용량을 체크하여 높은 우선권, 즉 전체 자원요구량이 적은 사용자부터 받아들인다. 그러므로 제안된 알고리즘은 전체 시스템에서 셀 사이의 간섭을 줄일 수 있으며 간섭의 감소로 시스템의 성능향상을 기대할 수 있었다.

기존에 CDMA 시스템에서 호 차단확률 값을 간섭량의 확률적 통계치에만 근거하여 계산된다. 이런 호 차단확률 값을 시스템의 상태확률을 고려하지 않았으므로 정확한 호 차단확률을 구할 수 없었다. 따라서 본 논문에서는 간섭량과 상태확률을 동시에 고려하여 CDMA 시스템에서의 호 차단확률을 계산하였다.

제안한 알고리즘의 성능은 같은 종류의 호에 우선권을 할당하지 않았을 때의 알고리즘과 비교하였다. 제안한 알고리즘은 호 차단확률과 통화품질 저하확률 및 전송부하성능에서 같은 종류의 호에 우선권을 할당하지 않는 알고리즘보다 우수한 성능을 나타내고 있음을 보여준다.

## 참고 문헌

- [1] D. Hong, and S. Rappaport, "Traffic Model and Performance Analysis for Cellular Mobile Radio Telephone Systems with Prioritized and Nonprioritized Handoff Procedures," *IEEE*

- Trans. Technol.*, 35, pp. 77-92, Aug 1986.
- [2] B. Epstein, and Schwartz, "Reservation strategies for multi-media traffic in a wireless environment," *IEEE VTC*, 1, pp. 165-169, July 1995.
- [3] O. Yu, and V. Leung, "Adaptive resource allocation for prioritized call admission over an ATM-based wireless PCN," *IEEE JSAC*, 15, pp. 1208-1225, Sept 1997.
- [4] P. Ramanathan, K. Sivalingam, P. Agrawal, and S. Kishore, "Dynamic resource allocation schemes during handoff for mobile multimedia wireless networks," *IEEE JSAC*, 17, pp. 1270-1283, July 1999.
- [5] H. Chen, S. Kumar, and C. Kuo, "Dynamic Call Admission Control Scheme for QoS Priority handoff in Multimedia Cellular Systems," *WCNC2002*, 1, pp. 114-118, Mar 2002.
- [6] Y. Ko, S. Park, C. Chun, H. Lee, and C. Cho, "An adaptive QoS provisioning distributed call admission control using fuzzy logic control," *ICC 2001*, 2, pp. 356-360, 2001.
- [7] J. Ye, X. Shen, and J. Mark, "Call admission control in wideband cdma cellular networks by using fuzzy logic," *WCNC 2003*, 3, pp. 1538-1543, 2003.
- [8] W. Jeon, and D. Jeong, "Admission Control of Multimedia Calls in CDMA Mobile Systems," *IEEE VTC*, 2, pp. 886-890, 2001.
- [9] W. Jeon, and D. Jeong, "Call Admission Control for Mobile Multimedia Comm. with Traffic Asymmetry between Uplink and Downlink," *IEEE Trans. Vehicular Technology*, 50, pp. 59-66, Jan 2001.
- [10] S. Piao, and Y. Park, "Call admission scheme using ranking new calls according to total resource requirements in CDMA systems," *IEEE VTC*, 1, pp. 442-446, April 2003.
- [11] S. Piao, J. park, and Y. Park, "A Study on Call Admission Control Scheme Based on Multiple Criteria in CDMA system," *IEICE Trans. Communication*, E87, pp. 2264-2272, Aug 2004.
- [12] Z. Liu, and M. Zarki, "SIR-Based Call Admission Control for DS-CDMA Cellular Systems," *IEEE JSAC*, 12, pp. 638-644, May 1994.
- [13] I. Kim, B. Shin, and D. Lee, "SIR-based call admission control by intercell interference prediction for DS-CDMA systems," *IEEE Communications Letters*, 4, pp. 29-31, Jan 2000.
- [14] A.M. Viterbi, and A.J. Viterbi, "Erlang capacity of a power controlled CDMA system," *IEEE JSA*, 11, pp. 892-900, Aug 1993.
- [15] A.J. Viterbi, A.M. Viterbi, and E. Zehavi, "Other-cell interference in cellular power-controlled CDMA," *IEEE Trans. Communication*, 42, pp. 1501-1504, Feb 1994.
- [16] S. Anand, and A. Chockalingam, "Performance analysis of voice/data cellular cdma with sir-based admission control," *IEEE JSAC*, 21, pp. 1674-1684, Dec 2003.

박 세 권 (Shi-quan Piao)

학생회원



1999년 7월 : 북경대학교 전자공학과 졸업

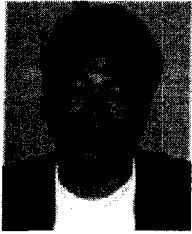
2002년 2월 : 영남대학교 정보통신공학과 석사

2002년 3월~현재 : 영남대학교 정보통신공학과 박사과정

<관심분야> 무선통신, 호 수락제어, 스케줄링

박 용 완 (Yong-wan Park)

정회원



1982년 2월 : 경북대학교 전자공  
학과 졸업

1984년 2월 : 경북대학교 전자공  
학과 석사

1989년 2월 : 뉴욕주립대 전자공  
학과 석사

1992년 2월 : 뉴욕주립대 전자공

학과 박사

1992년 10월~1993년 12월 : 캘리포니아 공과대학  
Research Fellow

1994년 1월~1996년 8월 : SKT기술 연구 부장

1996년 9월~현재 : 영남대학교 전자정보공학부 부교  
수

2000년 1월~2000년 2월 : NTT DoCoMo 연구소 초  
빙교수

2003년 1월~2004년 1월 : UC Irvine 방문교수

<관심분야> 무선통신, 디지털통신