

논문 2007-44TC-8-1

CDMA망의 우선순위 데이터서비스를 지원하는 자원할당 알고리즘의 성능평가 실험

(Performance Evaluation Experiments on a Resource Allocation Algorithm for Prioritized Data Services in CDMA Networks)

정 보 환*, 홍 순 목**

(Bo-Hwan Jung and Sun-Mog Hong)

요 약

이 논문에서는 실시간 및 비실시간 데이터 서비스를 지원하는 CDMA 무선망에서 사용자들 사이에 상대적 우선순위 데이터 서비스를 지원하는 자원할당 알고리즘의 성능을 수치실험을 통해 평가하였다. 성능지수는 가중치가 부여된 총 데이터처리량이며 가중치는 상대적 우선순위가 부여된 서비스 등급을 의미한다. 상대적 우선순위가 부여된 서비스는 효율적인 전력과 확산이득 할당으로 성능지수를 최대화함으로써 수행된다. 전형적인 파라미터에 대해 준최적 자원할당 알고리즘의 성능을 평가했다.

Abstract

In this paper, we evaluate a performance on a resource allocation algorithm for prioritized data services in CDMA networks supporting real-time and non-real-time data services. The weighted aggregate data throughput is used to characterize the performance of the prioritized data service. Our prioritized data service is implemented so that the weighted aggregate data throughput is maximized via efficient power and spreading gain allocation. Numerical experiments are performed to evaluate a suboptimal resource allocation algorithm for typical parameters.

Keywords : resource allocation, CDMA networks, prioritized services, power constraints

I. 서 론

이동 무선망을 통한 데이터통신의 증가로 무선데이터 통신에서 제한된 무선자원의 효율적 사용이 중요한 문제로 대두되고 있다. 음성통화와 비교해 볼 때, 데이터통신은 대체로 시간지연에 덜 민감하지만 오류에 더 민감하기 때문에 'Best-Effort' 서비스를 기본으로 한다. 효과적인 무선자원할당을 통해 높은 총 데이터처리량을

얻기 위해서 데이터통신에서의 시간지연허용을 활용한 연구가 수행되어 왔다. 이런 연구 중 하나로 DS-SS-CDMA 시스템에서 총 데이터처리량을 최대로 하기 위해 전력제어와 확산이득 할당이 시도된바 있다^[1-5]. 논문 [3]과 [4]는 DS-SS-CDMA 무선 데이터망에서 사용자의 전송전력과 확산이득을 제어하여 각 사용자에게 상대적 우선순위가 부여된 서비스를 제공하는 무선자원할당 문제를 다루었다. 특히, 논문 [4]는 전력제약 하에서 실시간 및 비실시간 사용자들 동시에 지원하는 CDMA 시스템의 우선순위 데이터서비스를 효과적으로 제공하는 자원할당 알고리즘을 제안했다. 자원할당 전략은 최대 전송전력 제약 그리고 비실시간 사용자에 의한 기지국에서의 총 수신전력 제약 하에서 다루어 졌다. 총 수신 전력에 대한 제약은 비실시간 데이터 사용자에 의한 간섭을 제한함으로써 실시간 사용자의 QoS를 만족시키기

* 정희원, 용인송담대학 정보미디어학부
(Dept. of Information and Communication, Yongin Songdam College)

** 정희원, 경북대학교 전자전기컴퓨터학부
(School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University)

※ 이 연구는 BK21 사업의 지원에 의해 수행되었음.
접수일자: 2007년7월11일, 수정완료일: 2007년7월30일

위해 부여된다^[2]. 사용자의 우선수준은 그 사용자의 데이터처리량의 가중치로 표현된다^[3]. 여기에서는 논문 [4]에서 제안한 우선순위 데이터서비스를 지원하는 자원할당 알고리즘에 대하여 폭넓은 수치실험을 통해 평균 데이터처리량과 전송지연시간을 얻어 그 성능을 평가하였다.

II. 시스템 모델

시스템은 단일 기지국과 M 명의 비실시간 무선 데이터 사용자로 구성되는 DS-CDMA 무선 이동 데이터망의 역방향 링크를 고려한다. 임의의 시점에서 i 번째 사용자와 기지국 사이에 무선채널의 순간이득을 g_i ($g_i > 0$)로 정의한다. 채널이득 g_i 의 크기는 전파손실과 페이딩에 영향을 받는다. 또한 i 번째 사용자의 순간 데이터처리량의 가중치를 w_i ($w_i > 0$)로 정의하며 w_i 의 값은 i 번째 사용자의 상대적 우선수준을 나타낸다. w_i 의 값이 크면 클수록 더 높은 우선수준을 가진다. 우선수준의 수는 L 이고 수준 l 의 가중치는 $w^{(l)}$ 로 표현한다. $w^{(1)} > \dots > w^{(L)}$ 을 가정하며 여기서 $w_i \in \{w^{(l)} : l = 1, \dots, L\}$, $i = 1, 2, \dots, M$ 이다. 그리고 $w_1 g_1 > \dots > w_M g_M$ 을 가정한다. 각 사용자는 0과 최대 전력 p_{\max} 사이의 제한된 전송전력과 양의 실수 확산이득을 가진다. i 번째 사용자의 비트당 에너지에 대한 간섭밀도 비 E_b/I_0 를 γ_i 로 표현하면 다음과 같다.

$$\gamma_i = \frac{N_i p_i g_i}{\alpha \sum_{j=1, j \neq i}^M p_j g_j + q}, \quad (1)$$

여기서 p_i 와 N_i 는 사용자 i 의 전송전력과 확산이득을 각각 나타낸다. q 는 기지국에서 셀 간의 간섭과 잡음 전력의 합을 나타내며 α 는 사용자들의 확산코드 사이의 통계적인 특성에 종속하는 상수이다. 슬롯 t 에서 총 가중된 데이터처리량은 각 사용자 처리량의 가중된 합으로 다음과 같다^[3].

$$C(\mathbb{P}, \mathbb{N}) = \sum_{i=1}^M \frac{w_i \beta}{N_i} f_s(\gamma_i), \quad (2)$$

여기서 β 는 패킷당 비트수에 대한 사용자들에 의해 결정되는 채널부호율 (channel code rate) 비이다. 벡터 \mathbb{P} 와 \mathbb{N} 은 (p_1, p_2, \dots, p_M) 과 (N_1, N_2, \dots, N_M) 을 각각 나타낸다. 합

수 $f_s(\gamma_i)$ 는 패킷전송이 성공할 확률로써 사용자의 E_b/I_0 를 변수로 가진 단조증가 함수이다. 우선수준은 가중치로 표현되므로 한 쌍의 가중치 비는 각 우선수준을 갖는 두 사용자 사이의 상대적 우선순위의 비율이 된다.

III. 전력제약 하에서 최적 확산이득과 최적 전력할당

DS-CDMA 시스템에서 총 가중된 데이터처리량을 최대화하기 위해 다중접속간섭(MAI : Multiple Access Interference)과 시변채널에 의한 영향을 최소화하는 것이 필수적이다.

여기서는 기지국에서 비실시간 사용자로부터 받는 수신 전력에 대해 $0 \leq p_i \leq p_{\max}$, $i = 1, \dots, M$ 와 $\sum_{i=1}^M p_i g_i \leq P_R^{\max}$ 인 제약조건에서, 전력과 확산이득의 효율적인 할당을 통해 가중된 데이터처리량 $C(\mathbb{P}, \mathbb{N})$ 를 최대화하는 것이 목적이다. 가중된 데이터처리량 최대화 문제는 결국 전력과 확산이득 할당의 최적 조합을 얻는 문제로 볼 수 있다. 그러므로 식 (2)의 성능지수를 최대화하는 사용자의 전송전력과 확산이득 값을 구하는 최적화 문제는 다음과 같다^[4].

$$\max_{(\mathbb{P}, \mathbb{N}) \in \mathcal{F}} C(\mathbb{P}, \mathbb{N}) \quad (3)$$

여기서 최적해가 존재하는 영역 \mathcal{F} 는 다음과 같다.

$$\mathcal{F} = \left\{ (\mathbb{P}, \mathbb{N}) : 0 \leq p_i \leq p_{\max}, N_i > 0, i = 1, 2, \dots, M, \text{ and } \sum_{i=1}^M p_i g_i \leq P_R^{\max} \right\}.$$

1. 최적 확산이득

식 (2)의 성능지수는 확산이득 \mathbb{N} 에 대해 분리 가능하므로 최적화 문제 식 (3)을 해결하기 위해 각 사용자의 채널이득과 전송전력으로 결정되는 최적의 확산이득을 먼저 구한다. 최적 확산이득 할당 후 \mathbb{P} 에 대한 성능지수를 최대화한다. 다시 표현하면 최적 확산이득이 결정된 후 최적화 문제 식 (3)은 보다 단순한 전력할당 문제로 된다.

i 번째 사용자의 최적 확산이득 N_i^* 는 참고문헌 [1]의 결과를 다음과 같이 적용할 수 있다.

$$N_i^* = \frac{\gamma^* (q + \alpha \sum_{j=1, j \neq i}^M p_j g_j)}{p_i g_i}, \quad (4)$$

여기서 $\gamma^* = \arg \max_{\gamma \geq 1} \left\{ \frac{1}{\gamma} f_s(\gamma) \right\}$ 이다. 식 (4)에서 최적 확산이득 N_i^* 는 사용자의 SINR에 반비례함을 볼 수 있다. 전송률은 확산이득과 반비례하므로 확산이득과는 반대로 사용자의 SINR이 증가함에 따라 함께 증가한다.

2. 최적 전력할당

식 (4)를 식 (2)에 대입하여 정리하면 가중치가 부여된 총 데이터처리량은 단지 전송전력 \mathbb{P} 에 의존함을 알 수 있다. 우선순위 서비스를 제공하는 데이터망의 성능지수는 다음과 같이 표현된다.

$$C(\mathbb{P}, \mathbf{N}^*(\mathbb{P})) = \frac{\beta}{\gamma^*} f_s(\gamma^*) \sum_{i=1}^M \frac{w_i p_i g_i}{\alpha \sum_{j=1, j \neq i}^M p_j g_j + q}. \quad (5)$$

$C(\mathbb{P}, \mathbf{N}^*(\mathbb{P}))$ 을 $\tilde{C}(\mathbb{P})$ 로 나타내면 전력제어 문제를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\max_{\mathbb{P} \in \mathcal{L}} \tilde{C}(\mathbb{P}) \quad (6)$$

여기서 최적해가 존재하는 영역 \mathcal{L} 은 다음과 같다.

$$\mathcal{L} = \left\{ \mathbb{P} : 0 \leq p_i \leq p_{\max}, i = 1, 2, \dots, M \text{ and } \sum_{i=1}^M p_i g_i \leq P_R^{\max} \right\}.$$

최적화 문제 식 (6)에 대한 최적해의 특성들과 의미는 논문 [4]에 정리되어 있다.

IV. 전력제약 하에서 최적 및 준최적 할당 알고리즘

여기에서는 성능평가 대상인 논문 [4]에서 제시한 자원할당 알고리즘에 대해 정리한다. 우선, 최적 자원할당 알고리즘은 논문 [4] 정리 [2-5]의 필요조건을 위반하지 않는 모든 후보 해들을 발생시킨 후, 이들 중 가장 큰 성능지수를 이루는 해를 최적해로 한다. 최적 자원할당 알고리즘보다 간단하고 수행시간이 짧은 준최적 자원할당 알고리즘은 최적 자원할당 알고리즘에 비해 매우 빠름을 알 수 있으며 또한 준최적 해로 얻어진 가중치가 부여된 총 데이터처리량은 이론적인 최대 한계치와 거의 같다는 것을 보여 주었다^[4]. 논문 [4]에서 제시한 준

최적 자원할당 알고리즘은 다음과 같다. I_p 를 전력을 할당받는 사용자의 인덱스 집합으로 하며, 준최적 알고리즘은 $I_p = \emptyset$ 으로 시작하여 준최적 해로 I_p 를 반환한다.

준최적 알고리즘 (SUB)

단계 1 : 우선순위와 채널이득의 곱의 내림차순으로 사용자에게 일련번호로 양의 정수를 부여한다. $I_p = \emptyset$, $\tilde{C}_{\max} = 0$, $\bar{i} = 1$ 로 설정한다.

단계 2 : $\sum_{i \in I_p \cup \{\bar{i}\}} p_{\max} g_i \geq P_R^{\max}$ 이면 단계 5로 간다. 그렇지 않으면 $I_p \cup \{\bar{i}\}$ 인 사용자에게 p_{\max} 를 할당한 후 성능지수 \tilde{C} 를 계산한다.

단계 3 : $\tilde{C} < \tilde{C}_{\max}$ 이면 멈추고 I_p 를 반환한다. 그렇지 않으면 I_p 를 $I_p \cup \{\bar{i}\}$, \tilde{C}_{\max} 를 \tilde{C} 로 각각 갱신한다.

단계 4 : I_p 의 원소 수가 M 이면 멈추고 I_p 를 반환한다. 그렇지 않으면 i 를 1 증가시킨 후 단계 2로 간다.

단계 5 : I_p 의 사용자에게 p_{\max} 를 할당하고 \bar{i} 사용자에게 $(P_R^{\max} - \sum_{i \in I_p} p_{\max} g_i) / g_{\bar{i}}$ 를 할당한다. 성능지수 \tilde{C} 를 계산한 후 $\tilde{C} < \tilde{C}_{\max}$ 이면 멈추고 I_p 를 반환한다. 그렇지 않으면 멈추고 $I_p \cup \{\bar{i}\}$ 를 I_p 로 반환한다.

만약 SUB가 단계 5에서 $\tilde{C} \geq \tilde{C}_{\max}$ 로 정지한다면, 전송전력 $(P_R^{\max} - \sum_{i \in I_p} p_{\max} g_i) / g_{\bar{i}}$ 를 사용자 \bar{i} 에 할당하며 I_p 의 나머지 사용자에게 p_{\max} 를 할당한다. 다른 모든 경우 I_p 의 모든 사용자에게 p_{\max} 를 할당한다. 최대 전송전력 p_{\max} 를 사용자에게 할당하였을 때 가중된 총 데이터처리량이 감소하거나 또는 총 수신전력이 P_R^{\max} 를 초과할 때까지, 준최적 자원할당 알고리즘 SUB는 우선순위에 상관없이 가중된 채널이득의 내림차순으로 최대 전송전력 p_{\max} 를 할당한다. 이와 같은 할당기법으로 SUB는 항상 논문 [4] 정리 [2-5]의 필요조건을 위반하지 않는 해를 발생시킨다. SUB의 단계 2에서 전력할당 \mathbb{P} 에 대응하는 최적 확산이득 $\mathbf{N}^*(\mathbb{P})$ 를 이용하여 가중된 총 데이터처리량을 계산한다.

V. 수치실험

준최적 자원 (전력과 확산이득) 할당 알고리즘의 성

능을 평가하기 위해 수치실험을 수행했다. 성능평가를 위해 $L=2$ 이며 각 사용자의 수준을 나타내는 가중치는 각각 $w^{(1)}=1.0$ $w^{(2)}=0.1$ 로 설정했다. 사용자의 순간 채널이득은 음영 페이딩을 갖는 거리손실모델^[7]을 이용하였으며 매 슬롯 마다 사용자는 임의의 위치에 분포한다. $q=-90$ dB, $p_{\max}=100$ mW, $\alpha=1$ 이라 가정했으며 P_R^{\max} 는 -80 dB와 -75 dB인 두 가지 경우를 고려했다. 모든 사용자가 동일한 가중치 값을 갖는 SUB (EQWT)와 보다 높은 우선순위를 갖는 모든 사용자의 서비스가 완료된 후 낮은 수준 사용자가 서비스되는 엄격한 우선순위 데이터서비스 (STR)에 대해서도 성능을 얻었다.

1. 평균 데이터 처리량

먼저, 알고리즘의 슬롯당 사용자당 평균 데이터처리량과 가중치가 부여된 평균 데이터처리량을 100,000 슬롯 시간 동안 각각 얻었다. 이 실험에서 사용자의 수는 항상 6, 12 그리고 24명인 세 가지 경우를 고려했다. 최

고수준 (Level 1)의 사용자 수는 6명인 경우 1, 2, 3명, 12명인 경우 1, 2, 4, 6명 그리고 24명인 경우 1, 2, 4, 8, 12명으로 각각 나누어 수치실험을 수행했다. 수치실험 결과는 표 1, 표 2 그리고 표 3에 각각 나타내었다. 수치실험 결과로부터 최고수준의 사용자 수가 증가함에 따라 가중치가 부여된 데이터처리량은 증가한다는 것을 알 수 있다. 또한, P_R^{\max} 가 증가함에 따라 보다 많은 사용자에게 전력을 할당할 수 있으므로 데이터처리량이 증가한다는 것을 보여 준다. 그러나 사용자 수의 증가에 따라 간섭 또한 증가하므로 이로 인해 각 사용자에 대한 데이터처리량은 감소한다.

다음은 알고리즘 사이의 성능 비교를 위해 데이터처리량 비를 살펴보았다. 표 1은 전체 사용자가 6명이며 최고수준 사용자 수는 1, 2, 3명인 경우 평균 데이터처리량을 나타낸다. P_R^{\max} 가 -80 dB인 경우 가중치가 부여된 데이터처리량의 비는 각각 0.83, 0.90, 0.88 (STR/SUB) 그리고 0.86, 0.87, 0.89 (EQWT/SUB)이다.

표 1. $M=6$ 인 경우 평균 데이터처리량

Table 1. Average weighted and unweighted data throughput for $M=6$.

Level 1	Average Weighted Data Throughput (per slot per user)						Average Unweighted Data Throughput (packets/slot/user)						
	1		2		3		1		2		3		
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	
P_R^{\max}													
EQWT	3.86	4.92	6.18	7.86	8.54	10.82	15.50	19.70	15.50	19.70	15.50	19.70	
SUB	4.46	5.52	7.11	8.79	9.52	11.80	13.61	17.74	12.98	17.04	13.15	17.21	
STR	3.72	4.44	6.46	7.75	8.45	10.19	3.72	4.44	6.46	7.75	8.45	10.19	

Units : ($\times 10^{-2}$), P1 : ($P_R^{\max} = -80$ dB), P2 : ($P_R^{\max} = -75$ dB)

표 2. $M=12$ 인 경우 평균 데이터처리량

Table 2. Average weighted and unweighted data throughput for $M=12$.

Level 1	Average Weighted Data Throughput (per slot per user)								Average Unweighted Data Throughput (packets/slot/user)							
	1		2		4		6		1		2		4		6	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
P_R^{\max}																
EQWT	2.11	2.84	3.02	4.06	4.84	6.5	6.65	8.92	12.09	16.29	12.09	16.29	12.09	16.29	12.09	16.29
SUB	2.53	3.25	3.76	4.79	5.92	7.57	7.74	10.01	10.75	14.85	9.99	14.01	9.62	13.55	9.95	13.86
STR	1.85	2.21	3.24	3.85	4.97	6.02	5.94	7.24	1.85	2.21	3.24	3.85	4.97	6.02	5.94	7.24

Units : ($\times 10^{-2}$), P1 : ($P_R^{\max} = -80$ dB), P2 : ($P_R^{\max} = -75$ dB)

표 3. $M = 24$ 인 경우 평균 데이터처리량

Table 3. Average weighted and unweighted data throughput for $M = 24$.

Level 1	Average Weighted Data Throughput (per slot per user)										Average Unweighted Data Throughput (packets/slot/user)									
	1		2		4		8		12		1		2		4		8		12	
P_R^{max}	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
EQWT	1.24	1.80	1.58	2.30	2.25	3.29	3.58	5.22	4.93	7.16	8.97	13.03	8.97	13.03	8.97	13.03	8.97	13.03	8.97	13.03
SUB	1.48	2.04	2.03	2.75	3.01	4.04	4.62	6.25	5.59	8.17	8.15	12.12	7.59	11.47	7.00	10.76	6.86	10.47	7.24	10.84
STR	0.93	1.11	1.62	1.96	2.48	3.03	3.24	4.00	3.53	4.39	0.93	1.11	1.62	1.96	2.48	3.03	3.24	4.00	3.53	4.39

Units : ($\times 10^{-2}$) , P1 : ($P_R^{max} = -80$ dB), P2 : ($P_R^{max} = -75$ dB)

사용자당 슬롯당 데이터처리량 (unweighted data throughput)의 비는 각각 0.24, 0.41, 0.54 (STR/EQWT) 그리고 0.87, 0.83, 0.84 (SUB/EQWT)이다. P_R^{max} 가 -75 dB인 경우 가중치가 부여된 데이터처리량의 비는 각각 0.80, 0.88, 0.86 그리고 0.89, 0.89, 0.9이다. 사용자당 슬롯당 데이터처리량의 비는 각각 0.22, 0.39, 0.51 그리고 0.90, 0.86, 0.87이다. 둘째, 표 2와 표 3은 전체 사용자 수가 12명과 24명인 경우 최고수준 사용자 수에 대한 평균 데이터처리량을 각각 나타낸다. 가중치가 부여된 데이터처리량의 비는 앞의 경우와 동일하게 STR과 EQWT에 비해 SUB가 보다 높은 상대적 우수성을 나타낸다. 사용자당 슬롯당 데이터처리량의 비는 STR과 SUB에 비해 앞의 경우와 동일하게 EQWT가 보다 높은 채널효율을 나타낸다. 수치실험 결과로부터 SUB는 가중치가 부여된 경우와 그렇지 않은 경우 STR 보다 우수하다는 것을 보여 준다. 또한, SUB는 엄격한 우선 수준과 채널효율 사이의 균형 (trade-off)을 수행한다는 것을 명백히 보여 준다.

2. 평균 데이터 전송지연시간

여기에서는 여러 가지 파라미터 변화에 대해 준최적 자원할당 알고리즘의 상대적 우선순위 서비스를 평가 하였다. 5,000회의 Monte Carlo 시뮬레이션을 통해 평균 데이터 전송지연시간을 얻었다. 수치실험에 필요한 공통된 파라미터와 그 값은 표 4와 같다^[2]. 할당전략은 최대 전송전력 제약과 비실시간 사용자에 의한 기지국에서의 총 수신전력 제약 하에서 다루어 졌다. 각 셀의 사용자는 슬롯 시간당 평균 λ 를 갖는 포아송 (Poisson)으로 분포한다. λ 가 낮은 구간과 λ 가 높은 구간이 존재하며 시간대별 (초 단위)로 각 사용자들의 평균 데이터 전송지연시간을 측정한다. 구간 [0, 5]초와

[15, 30]초 사이에서 $\lambda_1 = 3 \times 10^{-4}$ 그리고 [5, 15]초 구간에서 $\lambda_2 = 3 \times 10^{-3}$ 로 설정한다. 각 데이터 사용자의 수는 100 패킷을 전송한다. 그리고 각 셀 당 실시간 사용자의 수는 5명으로 제한하였다. 우선수준의 수 $L = 2$ 이며 수준 1과 수준 2의 가중치는 각각 $w^{(1)} = 1.0$, $w^{(2)} = 0.1$ 로 설정한다. 사용자가 수준 1과 수준 2에 속하는 확률은 각각 0.1과 0.9이다. 평균 데이터 전송지연시간은 영역 1과 영역 2로 나누어 측정하였다. 여기서 영역 1은 기지국으로부터 500m 이내를 그 이상을 영역 2로 설정했다. 인접한 기지국과의 거리는 2 km이며 셀의 반경은 1 km이다. 전형적인 파라미터 변화에 대한 수치실험은 다음과 같다.

가. 우선순위에 대한 성능 비교

가중된 채널이득의 내림차순으로 전력을 할당하는 상대적 우선순위 데이터서비스와 보다 높은 우선수준을

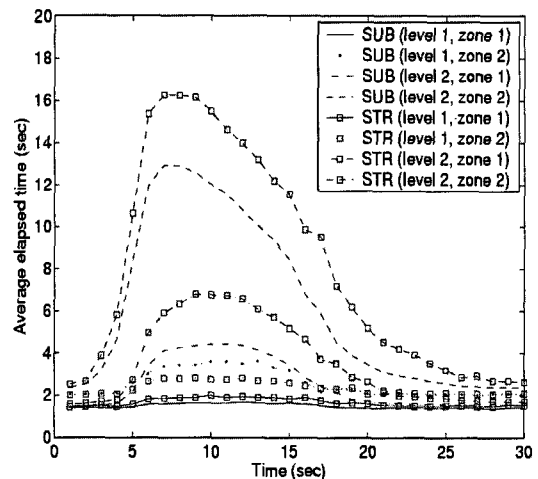


그림 1. SUB와 STR 알고리즘
Fig. 1. SUB and STR algorithm.

갖는 모든 사용자의 서비스가 완료된 후 낮은 수준 사용자가 서비스되는 엄격한 우선순위 데이터서비스를 비교하였다. 그림 1은 SUB와 STR 알고리즘의 전송지연 시간을 보여 준다. 수준 1 사용자의 평균 데이터 전송 지연시간은 영역 1에서 1.68초 (SUB)와 2.00 (STR) 그리고 영역 2에서 3.68초와 2.82초 이하를 유지하였다. 수준 2인 경우 영역 1 사용자는 4.44초와 6.80초 그리고 영역 2 사용자는 12.9초와 16.27초에 이르렀다. 수준 1 사용자 경우 STR와 SUB 간의 차이는 미미하지만, 수준 2인 경우 STR는 SUB에 비해 전송지연시간이 보다 더 증가하였다. 이는 수준 1 사용자의 서비스가 완료된 후 수준 2 사용자가 서비스되기 때문이다. 수치실험 결과로부터 시변채널상태를 효과적으로 대응하지 못하는 엄격한 우선순위 데이터서비스는 종종 채널효율을 저하시킬 수 있음을 보여 준다.

나. 우선순위 확률에 대한 성능 비교

수준 1과 수준 2에 속하는 확률 변화에 대해 사용자의 평균 데이터 전송지연시간을 조사하였다. 이를 위해 수준 1과 수준 2의 확률 값을 [0.05, 0.95] 그리고 [0.3, 0.7]로 각각 설정하였으며 나머지 파라미터는 실험 (가)의 SUB 경우와 동일하다. 그림 2 (a)는 SUB가 보다 많은 자원을 수준 1 사용자에게 할당하므로 수준 1 사용자의 평균 데이터 전송지연시간은 영역 1에서 1.68초와 영역 2에서 3.75초 이하를 유지함을 나타낸다. 수준 2인 경우 영역 1 사용자는 4.33초 그리고 영역 2 사용자는 12.46초에 이르렀다. EQWT인 경우 영역 1 사용자는 3.78초와 영역 2 사용자는 12.12초 이하를 유지하였다.

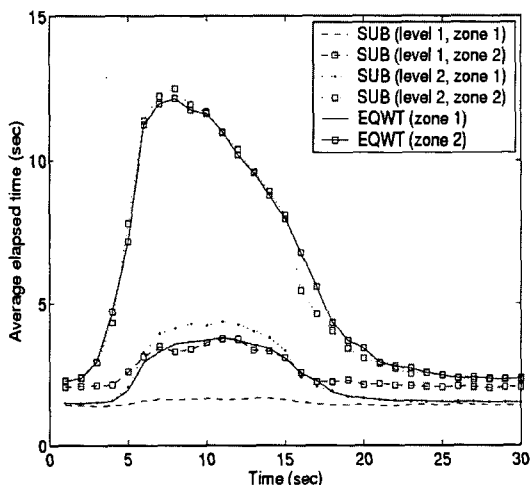


그림 2 (a). 수준 1에 속할 확률 : 0.05
Fig. 2 (a). Probability of level 1 : 0.05.

그림 2 (b)는 수준 1 사용자의 평균 데이터 전송지연시간은 영역 1에서 2.00초와 영역 2에서 4.87초 이하를 유지함을 보여 준다. 수준 2인 경우 영역 1 사용자는 6.14초 그리고 영역 2 사용자는 13.98초에 이르렀다. EQWT인 경우 사용자의 수준에 상관없이 채널이득의 내림차순으로 전력을 할당하므로 두 경우 동일하다. 수치실험 결과로부터 SUB인 경우, 보다 많은 자원을 수준 1 사용자에게 할당하므로 사용자가 수준 1에 속할 확률이 증가함에 따라 수준 2 사용자의 평균 전송지연시간은 수준 1 사용자에게 비해 상대적으로 보다 더 증가함을 알 수 있다.

다. 전송패킷 수에 대한 성능 비교

이 실험에서 고려하는 파라미터 변화는 전송패킷 수이며 나머지는 실험 (가)의 SUB 경우와 동일하다. 이 예에서 고려하는 전송패킷의 수는 각각 50과 200 패킷이다. 그림 3 (a)는 SUB인 경우 수준 1 사용자의 평균 데이터 전송지연시간은 영역 1에서 0.77초와 영역 2에서 1.35초 이하를 유지함을 나타낸다. 수준 2인 경우 영역 1 사용자는 1.24초 그리고 영역 2 사용자는 3.3초에 이르렀다. EQWT인 경우 영역 1 사용자는 1.13초와 영역 2 사용자는 3.08초 이하를 유지하였다. 그림 3 (b)는 수준 1 사용자의 평균 데이터 전송지연시간은 영역 1에서 3.38초와 영역 2에서 10.13초 이하를 유지함을 보여 준다. 수준 2인 경우 영역 1 사용자는 13.17초 그리고 영역 2 사용자는 34.33초에 이르렀다. EQWT인 경우 영역 1 사용자는 10.95초와 영역 2 사용자는 32.79초 이

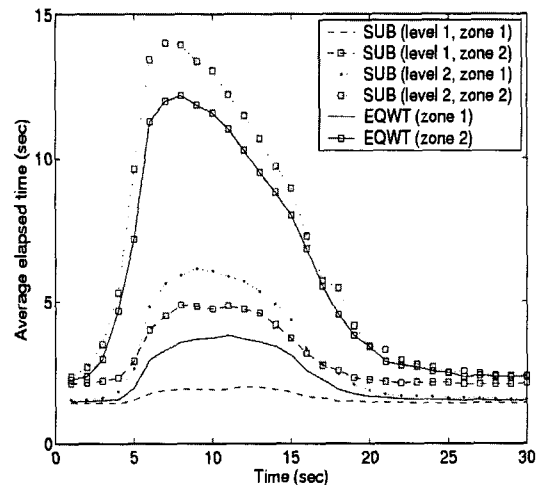


그림 2 (b). 수준 1에 속할 확률 : 0.3
Fig. 2 (b). Probability of level 1 : 0.3.

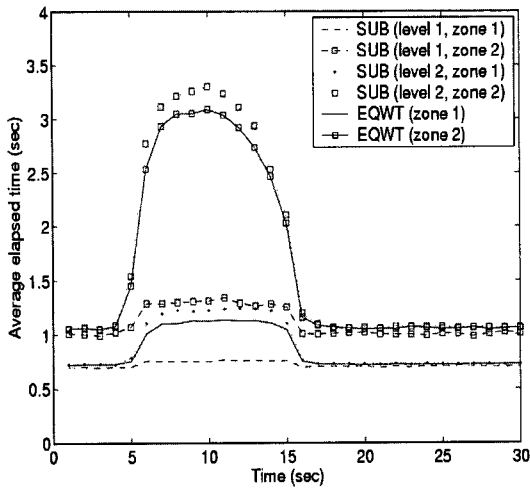


그림 3 (a). 전송패킷의 수 : 50
Fig. 3 (a). Number of transmission packets : 50.

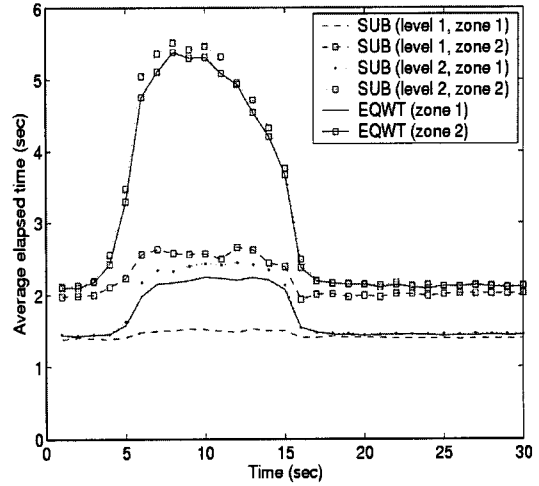


그림 4 (a). $\lambda_l = 1.5 \times 10^{-4}$ 과 $\lambda_h = 1.5 \times 10^{-3}$
Fig. 4 (a). $\lambda_l = 1.5 \times 10^{-4}$ and $\lambda_h = 1.5 \times 10^{-3}$.

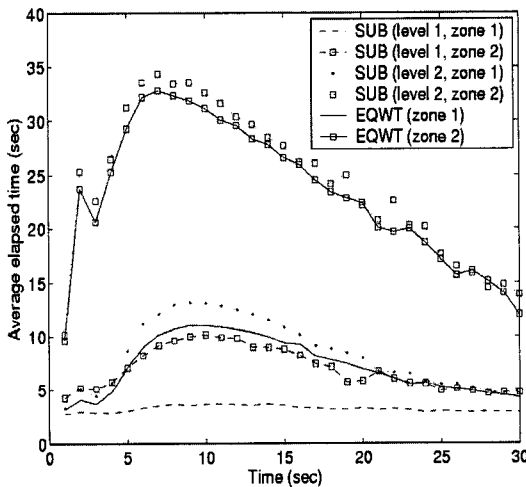


그림 3 (b). 전송패킷의 수 : 200
Fig. 3 (b). Number of transmission packets : 200.

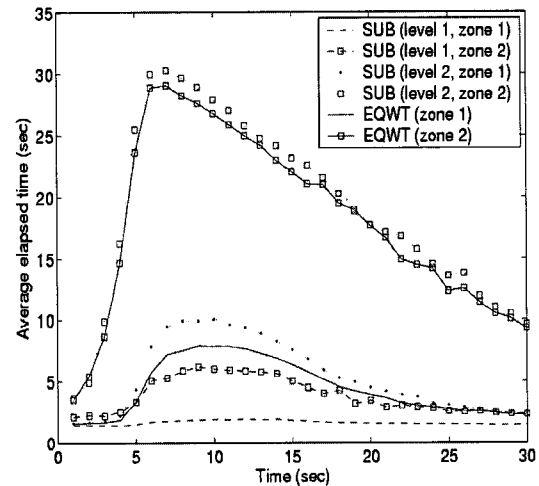


그림 4 (b). $\lambda_l = 6 \times 10^{-4}$ 과 $\lambda_h = 6 \times 10^{-3}$
Fig. 4 (b). $\lambda_l = 6 \times 10^{-4}$ and $\lambda_h = 6 \times 10^{-3}$.

하를 유지하였다. 전송패킷 수가 증가함에 따라, 수준 1 사용자 보다 수준 2 사용자의 전송지연시간이 상대적으로 보다 더 증가함을 알 수 있다.

라. 사용자 수에 대한 성능 비교

이 실험에서 고려하는 파라미터 변화는 λ 값이며 나머지는 실험 (가)의 SUB 경우와 동일하다. 그림 4 (a)는 $\lambda_l = 1.5 \times 10^{-4}$ 그리고 $\lambda_h = 1.5 \times 10^{-3}$ 인 경우이다. SUB인 경우 수준 1 사용자의 평균 전송지연시간은 영역 1에서 1.52초와 영역 2에서 2.66초 이하를 유지하였다. 수준 2인 경우 영역 1 사용자는 2.44초 그리고 영역 2 사용자는 5.51초에 이르렀다. EQWT인 경우 영역 1 사용자는 2.25초와 영역 2 사용자는 5.37초 이하를 유지하였다. 그림 4 (b)는 $\lambda_l = 6 \times 10^{-4}$ 그리

고 $\lambda_h = 6 \times 10^{-3}$ 인 경우 이다. SUB인 경우 수준 1 사용자의 평균 데이터 전송지연시간은 영역 1에서 1.94초와 영역 2에서 6.20초 이하를 유지하였다. 수준 2인 경우 영역 1 사용자는 10.04초 그리고 영역 2 사용자는 30.25초에 이르렀다. EQWT인 경우 영역 1 사용자는 7.89초와 영역 2 사용자는 29.05초 이하를 유지하였다. λ 즉, 사용자 수가 증가함에 따라 수준 1 사용자 보다 수준 2 사용자의 평균 전송지연시간이 상대적으로 보다 더 증가함을 알 수 있다.

위의 수치실험 예에서 장점이 두드러지지 않지만 일반적으로 EQWT는 SUB에 비해 보다 높은 채널효율을 갖는다. 그러나 EQWT는 어떠한 우선순위 서비스를 제공하지 못한다. STR는 보다 높은 우선수준을 갖는 모

표 4. 수치실험에 사용되는 파라미터와 값
Table 4. Parameters and their values.

파라미터	값
시간 슬롯 길이	2.5 msec
전송 주파수	1.8 GHz
셀의 수 / 셀 반경	7 / 1000 m
기지국 안테나 높이 / 사용자 안테나 높이	20 m / 1.5 m
셀 당 실시간 사용자 수	5
거리 손실 지수	4.0
실시간 사용자 평균 On 시간 / Off 시간	1.5 sec / 1 sec
비실시간 사용자 평균 On 시간 / Off 시간	1.5 sec / 1 sec
비실시간 사용자 최대 속도	36 km/h
실시간 사용자 최대 속도	108 km/h
비실시간 사용자 정지 확률	0.5
로그 정규 램덤 변수의 로그 표준편차	6 dB
실시간 사용자의 최대 전송 전력	30 dBm
실시간 사용자로부터의 목표 수신 신호 전력	-90 dBm
배경 잡음 전력	-100 dBm
비실시간 사용자의 최대 전송 전력	20 dBm

든 사용자의 서비스가 완료된 후 낮은 수준 사용자가 서비스되므로 채널효율이 종종 저하된다. 전형적인 파라미터 변화에 따른 수치실험 수행결과는 우선수준 서비스에 대한 준최적 알고리즘의 상대적 우수성을 보여 주었다. 상대적 우선수준 서비스는 데이터서비스 요구가 순간적으로 크게 나타나는 상황에서 고급 서비스 수준을 유지하는데 유용할 것으로 기대된다.

VI. 결 론

본 논문에서 실시간 및 비실시간 데이터서비스를 지원하는 CDMA 무선망에서 사용자들 사이에 상대적 우선수준 데이터서비스를 지원하는 자원할당 알고리즘의 성능을 평가하였다. 성능평가를 위해 평균 데이터처리량 및 전송지연시간에 대해 살펴보았다. 수치실험 결과 SUB는 엄격한 우선수준과 채널효율 사이의 균형(trade-off)을 수행함을 알 수 있었다. 상대적 우선수준 서비스는 채널효율을 합리적으로 유지하면서 데이터서비스 요구가 순간적으로 크게 나타나는 상황에서 고급 서비스 수준을 유지하는데 유용할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] S. J. Oh and K. M. Wasserman, "Optimality of greedy power control in DS-CDMA mobile networks," in Proc. ACM/IEEE 5th Annual Internat. Conf. Mobile Comput. and Network.

(MobiCom'99), Seattle, WA, 1999.

[2] S. J. Oh, Danlu Zhang, and K. M. Wasserman, "Optimal resource allocation in multiservice CDMA networks," IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 2, no. 4, pp. 811-821, July 2003.
 [3] K. S. Jung and S. M. Hong, "Power and spreading gain allocation in CDMA data networks for prioritized services," IEICE Trans. Commun., vol. E87-B, no. 6, pp. 1972-1977, July 2004.
 [4] B. H. Jung, S. M. Hong, and K. S. Jung, "Power and spreading gain allocation in CDMA networks for prioritized data services under power constraints," IEICE Trans. Commun., vol. E89-B, no. 6, pp. 1807-1814, June 2006.
 [5] Y. Guo and H. Chaskar, "Class-based quality of service over air interface in 4G mobile networks," IEEE Commun. Mag., vol. 40, no. 3, pp. 132-137, March 2002.
 [6] R. T. Rockafellar, Convex Analysis, Princeton Univ. Press, Princeton, NJ, 1970.
 [7] G. L. Stüber, Principles of Mobile Communication, Kluwer Academic Publishers, Boston, MA, 1997.

저 자 소 개



정 보 환(정회원)

1987년 경북대학교 전자공학과 학사 졸업.

1992년 경북대학교 전자공학과 석사 졸업.

2006년 경북대학교 전자공학과 박사 졸업.

1992년~1998년 (주)대우중공업

1995년~1997년 TRW 파견 근무

1998년~현재 용인송담대학 정보미디어학부 정보통신전공 부교수

<주관심분야 : 무선자원할당, 표적추적>

홍 순 목(정회원)

대한전자공학회 논문지

제43권 SC편 제1호 참조

현재 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 교수