

무선 멀티 서비스 WCDMA 네트워크에서의 형평성을 고려한 하향링크 서비스 수락 설계

(Fairness-Based Service Admission Scheme for Downlink in
Wireless Multi-Service WCDMA Networks)

노상현* 김동우**
(Sanghyun Noh) (Dongwoo Kim)

요약 본 논문에서는 멀티 서비스 WCDMA 이동 시스템을 위한 새로운 서비스 품질 예측 지표를 사용함으로써 사용자들의 QoS 요구치를 고려한 순방향 서비스 수락 기준을 제안한다. 제안된 순방향 서비스 수락 기준은 상대적인 외부 셀의 간섭을 가정하고 각 서비스의 평균 수신 전력을 계산함으로써 얻어진다. 제안한 방법을 이용하여 우리는 서로 다른 서비스의 사용자들이 허용될 수 있는 순방향 서비스 수락 영역을 얻는다. 그리고 제안한 순방향 서비스 수락 기준에 형평성을 고려하여 각각의 서비스를 사용하는 사용자들을 위한 또 다른 순방향 서비스 수락 기준을 제시한다. 수치적 예에서 음성 서비스와 데이터 서비스들의 형평성을 고려한 순방향 서비스 수락 영역과 형평성을 고려하지 않은 순방향 서비스 수락 영역은 제안된 각각의 순방향 서비스 수락 기준들을 이용하여 얻을 수 있다.

키워드 : 서비스 수락 제어, 형평성, WCDMA 네트워크

Abstract In this paper, we propose a downlink service admission strategy that considers users QoS requirements by using a novel service quality prediction index for multi-service WCDMA mobile systems. The proposed downlink service admission strategy is obtained by computing average received power of each service, assuming a relative other-cell interference factor. With the proposed method we obtain a downlink service admission region where users of different services properly can be admitted. And adding the fairness at the proposed downlink service admission strategy, we propose another downlink service admission strategy. In the numerical examples, the downlink service admission region with fairness and the downlink service admission region without fairness of voice service and data services are obtained by proposed downlink service admission strategies, respectively.

Key words : Service Admission Control, Fairness, WCDMA Networks

1. 서론

3세대 통신시스템에서는 패킷 스위칭 통신이 점점 중요하게 생각되고 있다. 패킷 기반의 데이터 통신에서는 음성, 데이터, 영상 등과 같은 혼합된 트래픽을 지원할 수 있다. WCDMA 무선 시스템에서 기지국의 용량은 순방향링크와 역방향링크로 나누어 살펴볼 수 있다. 역

방향링크의 용량은 전송률과 QoS에 따라 각각의 사용자에게 할당되는 용량의 크기가 달라진다. 즉, 높은 전송률과 QoS를 가진 사용자가 낮은 전송률과 QoS를 가진 사용자보다 역방향링크 용량을 더 많이 사용한다[1]. 일반적으로 음성 전송을 위주로 하는 종래의 CDMA 시스템에서는 기지국 전체 용량이 역방향링크의 용량에 의해 제한되었으나, 증대되는 무선 인터넷 접속 수요를 지원하기 위한 3세대 통신 시스템에서는 순방향링크에 더 많은 트래픽 부하가 걸리게 되므로 순방향링크에서 다양한 서비스들을 위한 서비스 수락 기준이 필요해진다[2]. 본 논문에서는 이러한 개념을 순방향링크의 용량에 적용하여 서로 다른 서비스를 사용하는 사용자들을 위한 서비스 수락 기준으로 서비스별 품질 예측 지표를

* 이 논문은 2000년 한양대학교 교내연구비 지원으로 연구되었음

† 비회원 : 한양대학교 전자전기제어계측공학부
asurada001@ihanyang.ac.kr

** 정회원 : 한양대학교 전자컴퓨터공학과 교수
dkim@hanyang.ac.kr

논문접수 : 2002년 5월 3일

심사완료 : 2002년 10월 29일

제시하려 한다. 기지국은 서로 다른 서비스의 데이터 전송률과 QoS 요구치를 기반으로 다른 서비스의 사용자에게 각기 다른 전력을 할당하고, 전력 할당 알고리즘을 통하여 적절한 순방향링크 서비스 수락 기준 영역을 제시하는 것이 목적이다. 그리고 제시된 순방향링크 서비스 수락 기준에 형평성을 적용한 다음 제시된 순방향링크 서비스 수락 기준과 비교해 보겠다. 본 논문에서 제시된 형평성 적용 방법은 지연 시간, 총 전력, 전송 성능 등으로 무선 자원 할당을 하여 형평성을 고려한 기존의 연구[3]와 달리 여러 사용자들이 사용하는 서로 다른 서비스들 사이에 자원 할당의 형평성을 적용하는 새로운 방법이다.

최근에 호 수락 제어(Call Admission Control)에 대한 많은 연구가 진행되고 있다[4]-[6]. 이 연구에서는 SIR(Signal-to-Interference Ratio)를 기반으로 하여 호 블로킹 확률 또는 호 드롭핑 확률 등을 구한다음, 그 값으로 호 수락 제어를 하고 있다. 이것은 단지 각각의 호에 대한 수락 제어를 하는 것이다. 그러나 3세대 통신 시스템에서는 음성, 데이터, 영상등과 같은 여러 서비스 유형을 지원한다. 따라서 본 논문에서는 기존의 연구처럼 각각의 호에 대한 호 수락 제어를 하는 것이 아니라, 각각의 호를 포함하는 서비스의 유형에 따라 각각의 서비스에 대한 서비스 수락 제어 기준을 제시하려 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 1장의 서론에 이어서 2장에서는 본 연구를 위한 시스템 모형을 소개한다. 3장에서는 최적의 전력 할당을 위한 전력 제약식을 유도하고, 4장에서는 본 논문에서 주장하는 순방향링크 서비스 수락 기준을 제시한다. 5장에서는 형평성에 대한 내용을 설명하고 6장에서는 수치적 예시를 보여주고 결과를 분석한다. 7장에서는 결론을 내리며 향후 연구 방향을 제시한다.

2. 시스템 모형

이 논문에서는 음성 서비스와 데이터 서비스를 제공하는 WCDMA 시스템을 고려한다[7]. 간섭을 감소시키고 시스템 용량을 증가시키기 위해, 우리는 셀들이 이상적으로 구분되어 있다고 가정한다. 본 논문에서는 WCDMA 시스템의 순방향링크를 연구한다. 각각의 서비스 사용자를 위해 우리는 다음과 같이 한다. P_{oc} 는 외부의 셀로부터 받은 평균 수신 전력이라 하고, P_{ic} 은 현재 사용자가 있는 셀의 수신 전력이라고 표기한다. 외부의 셀로부터 받은 평균 간섭은 상대적인 외부 셀 간섭 요인($f \equiv P_{oc} / P_{ic}$)에 의해서 나타낼 수 있다.

서비스의 유형이 M 개 있다고 가정하자. 편의를 위해

유형 i 서비스를 받는 사용자를 유형 i 서비스 사용자라고 부른다. 유형 i 서비스 사용자를 위한 처리 이득을 F_i 라고 표시한다($F_i = W/r_i$). W 는 확산 대역폭이고, r_i 는 데이터 전송률이다. 특정 셀에서 우리는 유형 i 서비스 사용자들이 k_i 명이 있고 전력 제어는 이상적이라고 가정한다.

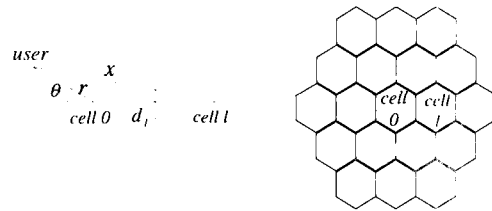


그림 1 평균 수신 전력을 구하기 위해 고려된 셀의 모형

순방향링크에서는 수신 전력이 거리에 영향을 받으므로 다음과 같이 가정한다. 유형 i 서비스 사용자들은 셀 내에 일정하게(uniformly) 분포되어 있고, 유형 i 서비스 사용자들이 있는 셀의 평균 수신 전력량을 P_i 라고 가정한다($i = 1, 2, \dots, M$). 서로 다른 서비스 품질 요구치를 갖는 멀티서비스 데이터의 순방향링크 서비스 수락 기준을 만들기 위해 본 논문에서는 유형 i 서비스 사용자들을 위한 서비스 수락 기준 요구치를 Q_i 로 표시한다. Q_i 는 서비스별 품질 예측 지표이다. 결과적으로, 유형 i 서비스 사용자를 위한 Q_i 는 다음 식과 같이 정의하자[8].

$$Q_i = \frac{P_i}{\left(\sum_{j=1}^M k_j P_j \right) (1+f) - \delta P_i + \eta} \frac{W}{r_i} \quad (1)$$

$$= \frac{P_i F_i}{\sum_{j=1}^M k_j (1+f) P_j - \delta P_i + \eta}$$

여기서 η 는 유형 i 서비스 사용자의 수신기에서 측정된 열 잡음(thermal noise)이고, δ 는 순방향링크 직교 요인(orthogonal factor, $0 \leq \delta \leq 1$)이다[9]. f 는 앞에서 설명된 외부 셀 간섭 요인이다. 위에서 정의된 서비스별 품질 예측 지표 Q_i 는 유형 i 서비스에게 할당된 비트당 수신 전력의 크기가 전체 수신 전력에서 차지하는 비율이다. 식 (1)에 사용된 평균 수신 전력을 구하는 방법은 3장에서 소개된다. 평균 수신 전력을 구하기 위해 제시된 모형은 그림 1과 같이 나타내며 유형 i 서비스 사용자가 있는 중심 셀 주위 18개의 셀들이 있다고 가정한다[10, 11].

3. 최적의 전력 할당

사용자가 (r, θ) 에 있고 그 사용자가 송신 전력 $t(r, \theta)$ ($\leq T_0$)를 할당 받았을 때 유형 i 서비스를 받는 사용자의 수신된 SIR(Signal-to-Interference Ratio)은 다음과 같이 표현된다[10].

$$SIR(r, \theta) = \gamma_i = \frac{F_i L_o(r, \theta) t_i(r, \theta)}{\delta L_o(r, \theta) (T_i - t_i(r, \theta)) + \sum_{j=1}^M L_i(r, \theta) T_j + \eta} \quad (2)$$

여기서 T_0 는 사용자가 현재 위치해 있는 셀 O 의 최대 송신 전력이고, T_i 은 다른 셀들의 최대 송신 전력이다. L_o 와 L_i 은 경로 손실(Path-loss)을 나타내는 것으로 셀 O 와 셀 i 에 따라 각각 다르게 구한다. 따라서 유형 i 서비스를 받는 사용자의 송신 전력은 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$t_i(r, \theta) = \frac{\gamma_i}{F_i + \delta \gamma_i} \left[\left(\sum_{j=1}^M \frac{L_j(r, \theta)}{L_o(r, \theta)} T_j + \delta T_o \right) + \frac{\eta}{L_o(r, \theta)} \right] \quad (3)$$

$$L_o(r, \theta) = \begin{cases} \epsilon, & \text{if } 0 \leq r \leq \sqrt{\frac{h}{\epsilon}} \\ \frac{h}{r^2}, & \text{if } \sqrt{\frac{h}{\epsilon}} < r \leq R \end{cases}, \text{ where } \sqrt{\frac{h}{\epsilon}} = \zeta = 100m$$

$$L_i(r, \theta) = \frac{h}{x^2} = \frac{h}{(d_i^2 + r^2 + 2d_i r \cos \theta)^2}$$

여기서 h 은 상수이고 d_i 은 중심 셀과 이웃에 있는 셀 간 거리를 나타낸다.

수신 전력은 송신 전력과 경로 손실(Path-loss)의 곱으로 나타내므로, 유형 i 서비스를 받는 사용자가 있는 셀 O 의 수신 전력은 다음과 같다.

$$t_i(r, \theta) L_o(r, \theta) = \frac{\gamma_i}{F_i + \delta \gamma_i} \left[\left(\sum_{j=1}^M L_j(r, \theta) T_j + \delta T_o L_o(r, \theta) \right) + \eta \right] \quad (4)$$

서비스 사용자들이 셀 내에 일정하게 분포(uniformly distributed)되어 있다고 가정하면, 각 서비스 사용자에게 할당된 평균 수신 전력은 다음 식을 이용하여 구할 수 있다.

$$\bar{P} = \int_0^R \int_0^{2\pi} t_i(r, \theta) L_o(r, \theta) \frac{r}{\pi R^2} d\theta dr \quad (5)$$

식 (4)를 식 (5)에 대입을 하면, 셀 O 안에 있는 유형 i 서비스를 받는 사용자들을 위한 평균 수신 전력을 구할 수 있다.

$$\bar{P} = P_i = \frac{\gamma_i}{F_i + \delta \gamma_i} \left(h \sum_{j=1}^M \frac{T_j}{(d_j^2 - R^2)^2} + \frac{\delta T_o}{R^2} A + \eta \right) \quad (6)$$

$$A = \epsilon \zeta^2 - h \left(\frac{1}{R^2} - \frac{1}{\zeta^2} \right)$$

위에서 구한 평균 수신 전력을 이용하여 유형 i 서비스 사용자들에게 q_i 이상의 자원을 할당하고자 한다면 다음과 같은 식을 만족하여야 한다.

$$Q_i \geq q_i, \text{ for all } i \quad (7)$$

여기서 q_i 는 망 운용 목적에 따라 결정되는 서비스별

품질 요구 조건이다.

이제 식 (7)을 2장에서 제시한 식 (1)과 관련하여 다시 표현하면,

$$\sum_{j=1}^M k_j P_j \leq P_i \frac{\delta + \frac{F_i}{q_i} - \frac{\eta}{P_i}}{1+f}, \text{ for all } i, 1 \leq i \leq M \quad (8)$$

이 된다. 따라서, 어떤 서비스 사용자가 평균 수신 전력 벡터(power vector) $\vec{P} = (P_1, P_2, \dots, P_M)$ 을 알 수 있고, 식 (7)의 부등식이 모든 $i(1 \leq i \leq M)$ 에 대해 만족한다면, 모든 서비스 사용자들은 그들의 서비스별 품질 요구치를 만족할 수 있다. 다음 정리에서 우리는 위의 문제를 간단히 하기 위해 어떤 제한 사항이 첨가될 수 있다는 것을 증명한다[5, 8].

정리 1 : 각각의 유형 i 서비스에 대한 사용자수 k_i, k_2, \dots, k_M 이 주어지고 만약 식 (8)을 만족하는 평균 수신 전력 벡터 $\vec{P} = (P_1, P_2, \dots, P_M)$ 가 있다면 아래의 식 (9)와 식 (10)을 만족하는 평균 수신 전력 벡터(power vector) $\vec{P}^* = (P_1^*, P_2^*, \dots, P_M^*)$ 이 있다.

$$P_i \frac{\delta + \frac{F_i}{q_i} - \frac{\eta}{P_i^*}}{1+f} = P_j^* \frac{\delta + \frac{F_j}{q_j} - \frac{\eta}{P_j^*}}{1+f}, \text{ for all } i \text{ and } j \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^M k_j P_j^* \leq P_i \frac{\delta + \frac{F_i}{q_i} - \frac{\eta}{P_i^*}}{1+f}, \text{ for all } i, 1 \leq i \leq M \quad (10)$$

<증명> 식 (9)를 만족하는 평균 수신 전력 벡터(power vector)가 있다고 가정하자. 그리고 식 (11)을 만족하는 k (정수)가 있다고 하자.

$$P_k \frac{\delta + \frac{F_k}{q_k} - \frac{\eta}{P_k}}{1+f} \leq P_j \frac{\delta + \frac{F_j}{q_j} - \frac{\eta}{P_j}}{1+f}, \text{ for all } j, 1 \leq j < M \quad (11)$$

여기서 $P_k^* = P_k$ 라고 하고 식 (12)가 만족한다고 하자.

$$P_j^* = P_k^* \frac{\delta + \frac{F_j}{q_j} - \frac{\eta}{P_j^*}}{\delta + \frac{F_k}{q_k} - \frac{\eta}{P_k}} \text{, for all } j \neq k, 1 \leq j \leq M \quad (12)$$

그러면 $P_j^* \leq P_j$ 가 되는 것은 확실하고 그에 따라 식 (13)과 같이 된다.

$$\sum_{j=1}^M k_j P_j^* \leq \sum_{j=1}^M k_j P_j \leq P_k \frac{\delta + \frac{F_k}{q_k} - \frac{\eta}{P_k}}{1+f} = \quad (13)$$

$$P_k^* \frac{\delta + \frac{F_k}{q_k} - \frac{\eta}{P_k^*}}{1+f} = P_i^* \frac{\delta + \frac{F_i}{q_i} - \frac{\eta}{P_i^*}}{1+f} \text{ for all } i, 1 \leq i < M$$

따라서, 식 (10)이 만족한다는 것을 증명할 수 있다.

위의 정리 1의 식 (9)로부터 우리는 다음과 같은 전력 제약식을 이용하여 평균 수신 전력을 구할 수 있다.

$$\frac{P_i}{P_j} = \frac{\delta + \frac{F_j - \eta}{q_j} - \frac{\eta}{P_j}}{\delta + \frac{F_i - \eta}{q_i} - \frac{\eta}{P_i}}, \text{ for all } i \text{ and } j \quad (14)$$

이 식을 P_i 와 P_j 에 대한 식으로 다시 쓰면,

$$\frac{P_i}{P_j} = \frac{\delta + \frac{F_j}{q_j}}{\delta + \frac{F_i}{q_i}}, \text{ for all } i \text{ and } j \quad (15)$$

가 된다.

정리 1로부터 구한 전력 제약식 (14)는 4장의 순방향 링크 서비스 수락 기준과 5장의 형평성을 고려한 순방향 링크 서비스 수락 기준을 구하는데 사용될 것이다.

4. 호 수락 기준

이 장에서 우리는 동시에 모든 사용자들의 서비스 품질 요구치를 만족하는 순방향링크 서비스 수락 기준을 제시한다[5, 8]. 순방향링크 서비스 수락 기준은 3장에서 구한 전력 제약식 (14)를 이용하여 구해진다.

정리 2 : k_1, k_2, \dots, k_M 이 주어지고 식 (8)과 아래의 식 (16)의 두 식이 서로 필요 충분 조건이 되게 하는 평균 수신 전력 벡터(power vector) $\vec{P}=(P_1, P_2, \dots, P_M)$ 가 있다.

$$\sum_{j=1}^M \frac{k_j}{\delta + \frac{F_j - \eta}{q_j} - \frac{\eta}{P_j}} \leq \frac{1}{1+f} \quad (16)$$

<증명> 식 (8)을 만족하는 평균 수신 전력 벡터(power vector) $\vec{P}=(P_1, P_2, \dots, P_M)$ 가 있다고 가정하자. 정리 1에 의하여 우리는 전력 제약식 (14)를 만족하는 평균 수신 전력 벡터(power vector) $\vec{P}=(P_1, P_2, \dots, P_M)$ 을 정할 수 있다. 그리고 식 (8)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sum_{j=1}^M k_j \frac{P_j}{P_i \left(\delta + \frac{F_j - \eta}{q_j} - \frac{\eta}{P_j} \right)} \leq \frac{1}{1+f} \quad (17)$$

식 (17)에 전력 제약식 (14)를 적용하면 정리 2의 식 (16)이 된다.

이제 필요 충분 조건을 반대로 증명해보자. 식 (16)을 만족한다고 하자. 그리고 유형 1 서비스 사용자를 위한 평균 수신 전력 P_1 을 임의적으로 선택하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$P_i = P_1 \frac{\delta + \frac{F_1 - \eta}{q_1} - \frac{\eta}{P_1}}{\delta + \frac{F_i - \eta}{q_i} - \frac{\eta}{P_i}}, \text{ for all } i, 2 \leq i \leq M \quad (18)$$

결과적으로 우리는 앞에서 나온 전력 제약식 (14)를 얻을 수 있다. 따라서, 식 (16)은 전력 제약식 (14)를 이

용하여 식 (17)과 같이 나타낼 수 있다. 위 식 (17)을 정리하면 결국 식 (8)이 된다. 따라서, 식 (8)과 정리 2의 식 (16)이 서로 필요 충분 조건이라는 것이 증명된다.

위의 정리 2로부터 사용자들의 서비스 품질 요구치를 만족시키기 위한 순방향링크 서비스 수락 기준은 식 (16)과 같다.

본 논문에서 제시한 방법은 전력 제약식 (14)를 이용하여 유형 i 서비스를 받는 사용자들의 평균 수신 전력을 구한 다음 유형 i 서비스를 위한 품질 요구 조건에 따라 순방향링크 서비스 수락 기준을 정하는 것이다. 이제 여기서 구해진 순방향링크 서비스 수락 기준에 형평성을 적용하는 것을 5장에서 설명할 것이다.

5. 형평성의 문제

본 장에서는, 음성 서비스와 데이터 서비스를 제공하는 시스템 내에 있는 각각의 사용자들을 위해, 4장에서 구한 순방향링크 서비스 수락 기준에 형평성(fairness)을 적용하는 것에 대해 설명할 것이다. 무선 채널상의 특성들을 이용하여 지연 시간, 전송률등에 형평성을 적용한 기존의 연구[12]와 달리 여기서는 음성 서비스를 제외한 데이터 서비스에만 형평성을 적용할 것이다. 다음과 같은 3가지 방법을 이용하여 데이터 서비스에 형평성을 적용할 수 있겠다. P_{di} 는 데이터 i 서비스 사용자에게 할당된 평균 수신 전력이고, k_{di} 는 데이터 i 서비스를 사용하는 사용자 수이다. 그리고 r_{di} 은 데이터 i 서비스 사용자에게 할당된 데이터 전송률이다.

$$\text{Fairness 1. } P_{di} = P_{dj}$$

$$\text{Fairness 2. } k_{di} P_{di} = k_{dj} P_{dj}$$

$$\text{Fairness 3. } k_{di} r_{di} = k_{dj} P_{dj}$$

5.1 Fairness 1 : 할당된 평균 수신 전력만 이용

Fairness 1은 음성 서비스를 제외한 모든 데이터 서비스 사용자들에게 평균 수신 전력을 동일하게 할당하는 방법이다. 이 방법은 데이터 서비스 사용자들의 전송률이나 서비스 유형에 상관없이 평균 수신 전력이라는 요소에만 형평성을 부과한다. 앞의 4장에서 제안된 순방향링크 서비스 수락 기준은 각 서비스 유형에 따라 할당되는 평균 수신 전력이 다르다. 4장에서 제안된 순방향링크 서비스 수락 기준과 비교를 위해 Fairness 1을 이용한다. 서비스의 유형으로는 음성 서비스, 데이터1 서비스와 데이터2 서비스로 총 3가지 유형만 있다고 가정하여 설명하겠다.

이제 Fairness 1을 적용한 순방향링크 서비스 수락 기준을 유도한다. 앞의 4장에서 설명한 순방향링크 서비스

수락 기준식 (16)에 Fairness 1을 적용하면 아래의 식과 같이 나타낼 수 있다. Fairness 1을 나타내는 식 (19)를 순방향링크 서비스 수락 기준식 (16)에 적용하기 위해 3장에서 제시한 전력 제약식 (14)를 이용한다. 데이터1 서비스의 평균 수신 전력과 데이터2 서비스의 평균 수신 전력이 같기 때문에 식 (20)에서 보여주듯이 두 서비스의 비율은 1이 된다. 따라서, 데이터1 서비스와 데이터2 서비스의 전력 제약식을 앞서 제시한 순방향링크 서비스 수락 기준식 (16)에 대입 하면 Fairness 1이 적용된 순방향링크 서비스 수락 기준식 (21)을 얻을 수 있다.

$$P_{d1} = P_{d2} \quad (19)$$

$$\frac{P_{d1}}{P_{d2}} = \frac{\delta + \frac{F_{d1}}{q_{d1}} - \frac{\eta}{P_{d1}}}{\delta + \frac{F_{d2}}{q_{d2}} - \frac{\eta}{P_{d2}}} = 1 \quad (20)$$

$$k_{d1} \leq \left(\frac{1}{1+f} \right) \left(\delta + \frac{F_{d1}}{q_{d1}} - \frac{\eta}{P_{d1}} \right) - k_r \left(\frac{\delta + \frac{F_{d1}}{q_{d1}} - \frac{\eta}{P_{d1}}}{\delta + \frac{F_{r1}}{q_{r1}} - \frac{\eta}{P_{r1}}} \right) - k_{d2} \quad (21)$$

5.2 Fairness 2 : 사용자의 수와 할당된 평균 수신 전력 이용

Fairness 2는 음성 서비스를 제외한 각각의 데이터 서비스 유형별로 사용자의 수와 할당된 평균 수신 전력의 곱을 동일하게 할당하는 방법이다. Fairness 2는 데이터 서비스를 위한 순방향링크 서비스 수락 영역을 결정하는 요소로 각 데이터 서비스에 할당된 평균 수신 전력을 이용한다. 따라서, 각 데이터 서비스 유형별 사용자의 수는 할당된 평균 수신 전력의 비로 표현된다. Fairness 2는 Fairness 1과는 다르게 할당된 평균 수신 전력이 데이터 서비스 유형별로 각각 값이 다르다. 서비스의 유형으로는 5.1절에서처럼 음성 서비스, 데이터1 서비스와 데이터2 서비스로 총 3가지 유형만 있다고 가정하여 설명하겠다.

이제 Fairness 2를 적용한 순방향링크 서비스 수락 기준을 유도해 볼 것이다. 앞에서 언급된 Fairness 2는 식 (22)와 같이 나타낼 수 있다. 이 식 (22)를 4장에서 제안된 순방향링크 서비스 수락 기준식 (16)에 대입을 하면 Fairness 2가 적용된 순방향링크 서비스 수락 기준식 (23)을 얻을 수 있다. 식 (23)에서 데이터1 서비스 사용자 수를 구하고 그 구한 값을 다시 식 (22)에 대입하여 데이터2 서비스 사용자 수를 구한다.

$$k_{d1} = K_{d1} \left(\frac{P_{d1}}{P_{d2}} \right) \quad (22)$$

$$k_{d1} \leq \left(\frac{1}{2} \right) \left(\frac{1}{1+f} \right) \left(\delta + \frac{F_{d1}}{q_{d1}} - \frac{\eta}{P_{d1}} \right) - \left(\frac{1}{2} \right) k_r \left(\frac{P_{r1}}{P_{d1}} \right) \quad (23)$$

5.3 Fairness 3 : 사용자의 수와 할당된 전송률 이용

Fairness 3는 음성 서비스를 제외한 각각의 데이터 서비스 유형별로 사용자의 수와 할당된 데이터 전송률의 곱을 동일하게 할당하는 방법이다. Fairness 3은 데이터 서비스를 위한 순방향링크 서비스 수락 영역을 결정하는 요소로 각 데이터 서비스에 할당된 데이터 전송률을 이용한다. 따라서, 각 데이터 서비스 유형별 사용자의 수는 할당된 데이터 전송률의 비로 표현된다. 서비스의 유형으로는 앞서와 마찬가지로 음성 서비스, 데이터1 서비스와 데이터2 서비스로 총 3가지 유형만 있다고 가정하여 설명하겠다.

이제 Fairness 3을 적용한 순방향링크 서비스 수락 기준을 유도해 볼 것이다. 앞에서 언급된 Fairness 3은 식 (24)와 같이 나타낼 수 있다. 이 식 (24)를 4장에서 제안된 순방향링크 서비스 수락 기준식 (16)에 대입을 하면 Fairness 3이 적용된 순방향링크 서비스 수락 기준식 (25)를 얻을 수 있다. 식 (25)에서 데이터1 서비스 사용자 수를 구하고 그 구한 값을 다시 식 (24)에 대입하여 데이터2 서비스 사용자 수를 구하는 것이다.

$$k_{d2} = k_{d1} \left(\frac{r_{d1}}{r_{d2}} \right) \quad (24)$$

$$k_{d1} \leq \left(\frac{1}{1+f} - \frac{k_r}{\delta + \frac{F_{r1}}{q_{r1}} - \frac{\eta}{P_{r1}}} \right) \quad (25)$$

$$\left(\frac{\left(\delta + \frac{F_{d1}}{q_{d1}} - \frac{\eta}{P_{d1}} \right) \left(\delta + \frac{F_{d2}}{q_{d2}} - \frac{\eta}{P_{d2}} \right)}{\left(\delta + \frac{F_{d1}}{q_{d1}} - \frac{\eta}{P_{d1}} \right) + \frac{r_{d1}}{r_{d2}} \left(\delta + \frac{F_{d2}}{q_{d2}} - \frac{\eta}{P_{d2}} \right)} \right)$$

다음 장에 소개될 수치적 예를 통해 4장에서 제안된 순방향링크 서비스 수락 기준과 본 장에서 설명한 형평성이 고려된 순방향링크 서비스 수락 기준을 각각 비교하여 보겠다.

표 1 시뮬레이션에서 사용된 파라미터

유형 1 서비스(음성서비스)	
데이터 전송률(r_{d1})	12.2 Kbps
SIR 값(q_{d1})	3.5dB
유형 2 서비스(데이터1 서비스)	
데이터 전송률(r_{d1})	240 Kbps
SIR 값(q_{d1})	5dB
유형 3 서비스(데이터2 서비스)	
데이터 전송률(r_{d2})	15 Kbps
SIR 값(q_{d2})	2dB
칩 비율(chip rate)	3.84 Mbps
상대적인 외부 셀 간섭 요인(f)	0(single cell)/0.55
셀 반경(R)	2km
최대 송신 전력	20W

6. 수치적 예시

이 장에서는 음성 서비스와 데이터 서비스를 제공하는 시스템에서 앞의 4장에서 제안된 순방향링크 서비스 수락 기준을 이용한 수치적 예를 제시한다. 그리고 5장에서 설명된 데이터 서비스를 위해 형평성이 고려된 순방향링크 서비스 수락 기준에 대한 수치적 예를 제시한다. 연구된 시스템의 파라미터는 표 1과 같다. 칩 전송률(Chip rate)은 3.84Mbps이고 상대적인 외부 셀 간섭 요인(f)은 0(셀 하나의 경우)과 0.55(여러 셀의 경우)를 선택했다. 서비스 유형은 음성 서비스, 데이터1 서비스, 그리고 데이터2 서비스로 총 3가지이다. 음성 서비스 사용자들은 유형 1 서비스 사용자로 하고, 데이터1 서비스 사용자들을 유형 2 서비스 사용자로 선택하고 데이터2 서비스 사용자들을 유형 3 서비스 사용자로 각각 선택했다.

수치적 예를 다음 조건아래서 구한다. 망 운용 목적에 따라 결정되는 서비스별 품질 요구 조건 q_i 와 유형 i 서비스를 받는 사용자의 수신된 SIR($=\gamma_i$)는 일반적으로 같지 않지만 수치적 실험을 위해 같다고 가정한다($q_i = \gamma_i$).

6.1 순방향링크 서비스 수락 영역

이 절에서는 서비스별 품질 예측 지표(Q_i)와 유형 i 서비스를 받는 사용자의 수신된 SIR($=\gamma_i$)값을 이용하여 4장에서 제안된 서비스별 사용자들의 순방향링크 서비스 수락 기준을 설명한다. 식 (7)과 표 1의 파라미터들을 식 (16)에 적용하면 우리는 다음과 같은 순방향링크 서비스 수락 기준을 얻을 수 있다.

$$\frac{k_v}{\delta + \frac{F_v}{q_v} - \frac{\eta}{P_v}} + \frac{k_d}{\delta + \frac{F_d}{q_d} - \frac{\eta}{P_d}} + \frac{k_{d2}}{\delta + \frac{F_{d2}}{q_{d2}} - \frac{\eta}{P_{d2}}} \leq \frac{1}{1+f} \quad (26)$$

위 식 (26)을 다시 정리하면 다음과 같이 된다.

$$k_{d2} \leq \left(\frac{1}{1+f} \right) \left(\delta + \frac{F_{d2}}{q_{d2}} - \frac{\eta}{P_{d2}} \right) - k_v \frac{\left(\delta + \frac{F_{d2}}{q_{d2}} - \frac{\eta}{P_{d2}} \right)}{\left(\delta + \frac{F_v}{q_v} - \frac{\eta}{P_v} \right)} - k_d \frac{\left(\delta + \frac{F_{d2}}{q_{d2}} - \frac{\eta}{P_{d2}} \right)}{\left(\delta + \frac{F_d}{q_d} - \frac{\eta}{P_d} \right)} \quad (27)$$

식 (27)의 순방향링크 서비스 수락 기준을 이용하여 상대적인 외부 셀 간섭 요인(f)이 0과 0.55일 때의 순방향링크 서비스 수락 영역을 나타내면, 각각 그림 2와 그림 3과 같이 된다. 그림 2는 음성 서비스 사용자 수가 0명일 때, 데이터1 서비스와 데이터2 서비스 사용자들을 순간적으로 수용할 수 있는 최대 수를 나타낸다. 그래프

의 아래부분은 데이터1 서비스와 데이터2 서비스를 이용하는 사용자들이 허용될 수 있는 시스템의 순방향링크 서비스 수락 영역이 된다. 예를 들어 외부 셀 간섭 요인(f)이 0일 때, 순방향링크 서비스 수락 기준식 (27)을 만족한다면, 이 시스템은 데이터1 서비스 사용자가 전혀 없을 때 순간적으로 최대 162명의 데이터2 서비스 사용자들을 동시에 수용할 수 있고, 또는 데이터2 서비스 사용자가 전혀 없을 때 순간적으로 최대 6명의 데이터1 서비스 사용자들을 동시에 수용할 수 있다. 그림 3은 음성 서비스 사용자 수가 50명일 때, 데이터1 서비스와 데이터2 서비스 사용자들을 순간적으로 수용할 수 있는 최대 수를 나타낸다. 예를 들어 외부 셀 간섭 요인(f)이 0일 때, 순방향링크 서비스 수락 기준식 (27)을 만족한다면, 이 시스템은 데이터1 서비스 사용자가 전혀 없을 때 순간적으로 최대 104명의 데이터2 서비스 사용자들을 동시에 수용할 수 있고, 또는 데이터2 서비스 사용자가 전혀 없을 때 순간적으로 최대 3명의 데이터1 서비스 사용자들을 동시에 수용할 수 있다.

그림 2와 그림 3은 또한 순방향링크 직교 요인(δ)이

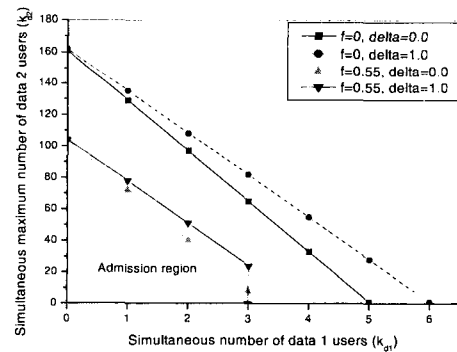


그림 2 순방향링크 서비스 수락 영역 ($k_v=0$ 일 때)

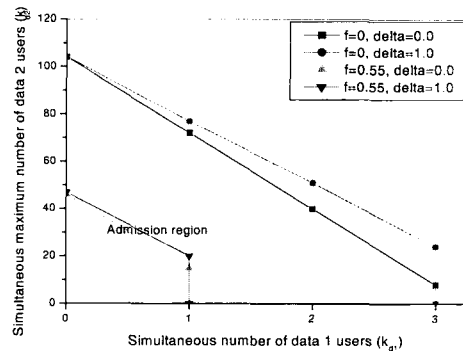


그림 3 순방향링크 서비스 수락 영역 ($k_v=50$ 일 때)

0.0과 1.0일 때 서로 다른 순방향링크 서비스 수락 영역을 보여준다. 순방향링크 직교 요인(δ)이 0.0일 때는 이 시스템의 비교적 낮은 범위(lower bound)를 나타내고, 순방향링크 직교 요인(δ)이 1.0일 때는 이 시스템의 비교적 높은 범위(upper bound)를 나타낸다. 왜냐하면 순방향링크 직교 요인(δ)에 따라서 간섭량이 달라지기 때문이다. 예를 들어, 그림 2를 보면 순방향링크 직교 요인(δ)이 0.0일 때는 3명의 데이터1 서비스 사용자와 65명의 데이터2 서비스 사용자들을 동시에 수용하고 순방향링크 직교 요인(δ)이 1.0일 때는 3명의 데이터1 서비스 사용자와 82명의 데이터2 서비스 사용자들을 동시에 수용할 수 있다

그림 4는 외부 셀 간섭 요인(f)이 0.55이고 순방향링크 직교 요인(δ)이 0.0일 때 음성 서비스 사용자 수가 변할 때 데이터1 서비스 사용자와 데이터2 서비스 사용자들을 수용할 수 있는 시스템의 순방향링크 서비스 수락 영역을 보여준다. 음성 서비스 사용자 수가 증가할수록 데이터 서비스를 이용하는 사용자 수가 감소하는 것을 알 수 있다. 그림 5는 각 서비스 사용자들의 수에 대한 총 전송률을 나타낸 것이다. 최대 총 전송률은 SIR값이 가장 작은 데이터2 서비스 사용자들을 가장 많이 수용할 때 얻을 수 있다. 그림 5는 SIR값이 가장 큰 데이터1 서비스 사용자의 수가 변할 때 음성 서비스 사용자 수와 데이터2 서비스 사용자 수에 따른 총 전송률을 보여준다. 음성 서비스 사용자 수와 데이터1 서비스 사용자 수가 0명일 때 최대 총 전송률(1560kbps)이 된다. 그림 5는 또한 데이터1 서비스 사용자 수가 증가할 때 총 전송률이 감소함을 보여준다.

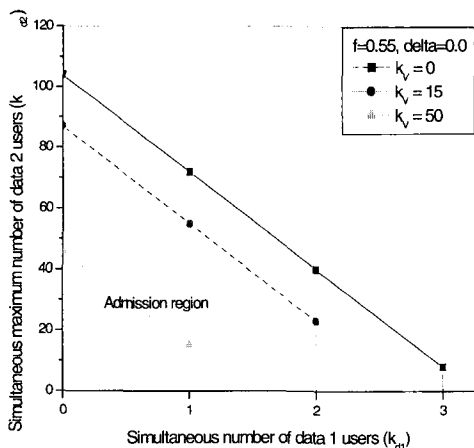


그림 4 순방향링크 서비스 수락 영역(k_v 가 변할 때)

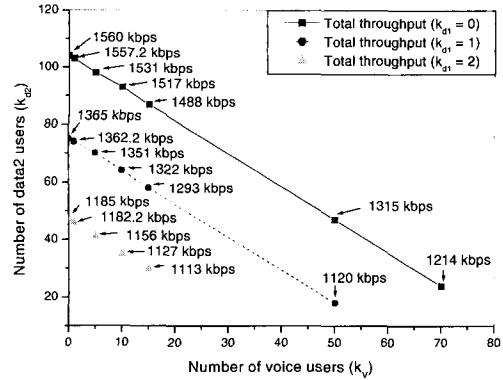


그림 5 음성 서비스 사용자에 따른 최대 총 전송률

6.2 Fairness 1이 적용된 순방향링크 서비스 수락 영역

이 절에서는 5.1절에서 나타나 있는 Fairness 1이 적용된 순방향링크 서비스 수락 기준식 (21)에 대한 수치적 예를 그래프로 나타내었다. Fairness 1은 데이터1 서비스와 데이터2 서비스에 할당된 평균 수신 전력이 같게 하는 것이다. 사용된 서비스 종류는 앞서 말한 것과 같이 3가지이고 음성 서비스를 제외한 데이터 서비스들 에게만 형평성을 적용할 것이다.

Fairness 1은 두 데이터 서비스별로 다른 값을 가지고 있는 처리 이득(F_i)이나 요구되는 SIR(q_i)과 같은 시스템 특성을 고려하지 않고 단지 두 데이터 서비스들에게 할당되는 평균 수신 전력의 비율이 1이 되도록 한 것이다. 이것은 6.1절에서 제시한 순방향링크 서비스 수락 기준식 (27)과 비교할 수 있다. 순방향링크 서비스 수락 기준식 (27)은 각 서비스별로 가지고 있는 특성을 고려한 것이다. 그러나, Fairness 1을 적용한 순방향링크 서비스 수락 기준식 (21)은 각 서비스별로 가지고 있는 특성을 고려하지 않았기 때문에 6.1절에서 보인 순방향링크 서비스 수락 영역보다 더 많은 사용자들을 수용할 수 있는 순방향링크 서비스 수락 영역을 얻을 수 있다. 그림 6과 그림 7은 순방향링크 직교 요인(δ)이 모두 0.0이고 외부 셀 간섭 요인(f)이 각각 0과 0.55일 때 Fairness 1이 적용된 순방향링크 서비스 수락 영역을 보여준다. 본 연구에서 서비스별 특성을 고려하지 않은 Fairness 1을 적용한 순방향링크 서비스 수락 기준식 (21)을 예시로 한 것은 6.1절에서 제시한 서비스별 특성을 고려한 순방향링크 서비스 수락 기준식 (27)과 비교함이 목적이다.

그림 6과 그림 7을 보면 6.1절에서 제시한 순방향링크 서비스 수락 영역보다 더 많은 사용자들을 순간적으

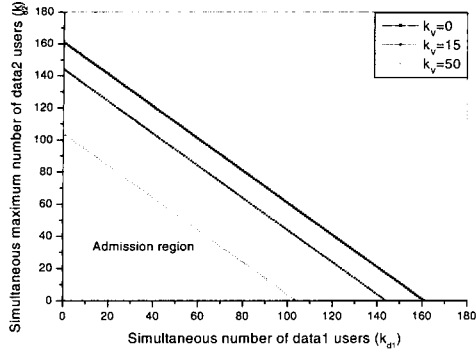


그림 6 Fairness 1이 적용된 순방향링크 서비스 수락 영역($f=0, \delta=0.0$ 일 때)

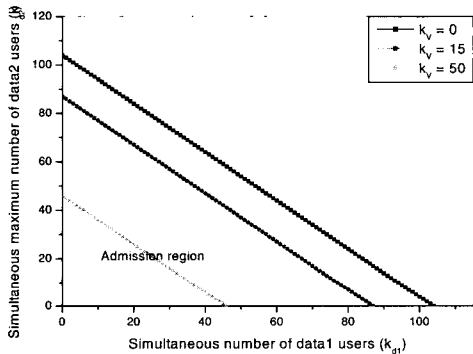


그림 7 Fairness 1이 적용된 순방향링크 서비스 수락 영역($f=0.55, \delta=0.0$ 일 때)

로 수용할 수 있다. Fairness 1을 적용한 순방향링크 서비스 수락 기준식 (21)을 보면 음성 서비스 사용자들을 고정시켰을 때 데이터2 서비스 사용자 수가 데이터1 서비스 사용자 수에 단지 1만큼 차이가 나기 때문이다. 예를 들어 그림 6을 보면 음성 서비스 사용자 수가 0명일 때 데이터1 서비스 사용자 수가 0명이면 데이터2 서비스 사용자 수는 최대 161명을 순간적으로 수용할 수 있다. 여기서 데이터1 서비스 사용자 수가 1명씩 증가할 때 데이터2 서비스 사용자 수도 1명씩 감소한다. 이는 두 데이터 서비스의 평균 수신 전력이 같은 Fairness 1을 적용하였기 때문에 두 데이터 서비스를 사용하는 사용자들이 같은 전력을 할당 받기 때문에 데이터1 서비스 사용자 수가 증가하면 데이터2 서비스 수가 그와 비례하여 감소하는 것이다.

6.3 Fairness 2가 적용된 순방향링크 서비스 수락 영역

이 절에서는 5.2절에서 나타나 있는 Fairness 2가 적

용된 순방향링크 서비스 수락 기준식 (23)에 대한 수치적 예를 그래프로 나타내었다. Fairness 2는 데이터1 서비스에 할당된 평균 수신 전력과 데이터1 서비스 사용자의 수의 곱과 데이터2 서비스에 할당된 평균 수신 전력과 데이터2 서비스 사용자의 수의 곱이 같게 하는 방법이다. 서비스 종류는 음성 서비스, 데이터1 서비스 그리고 데이터2 서비스로 3가지이다. 그리고, 음성 서비스를 제외한 데이터1 서비스와 데이터2 서비스에만 Fairness 2를 적용한다.

Fairness 2는 데이터1 서비스와 데이터2 서비스에 할당된 평균 수신 전력의 비율에 맞게 각 데이터 서비스의 사용자 수를 구하는 방법이다. 이것은 Fairness 1과는 다르게 두 데이터 서비스들이 갖고 있는 시스템의 특성들을 이용하는 것이다. 6.1절에서 제시된 순방향링크 서비스 수락 기준식 (27)을 보면 각각의 서비스 사용자 수가 독립적으로 변한다. 그러나 Fairness 2를 적용한 순방향링크 서비스 수락 기준식 (23)은 데이터1 서비스 사용자와 데이터2 서비스 사용자의 수를 각각의 데이터 서비스에 할당한 평균 수신 전력의 비율에 비례한다. 그림 8과 그림 9는 순방향링크 직교 요인(δ)이 0.0이고 외부 셀 간섭 요인(f)이 0과 0.55일 때 Fairness 2가 적용된 순방향링크 서비스 수락 영역을 보여준다. Fairness 2가 적용된 순방향링크 서비스 수락 기준식 (23)은 6.1절에서 제안된 순방향링크 서비스 수락 기준식 (27)보다 더 적은 순방향링크 서비스 수락 영역을 가진다. 예를 들어, 그림 8을 보면 음성 서비스 사용자 수가 0명일 때 데이터1 서비스 사용자 수는 2명이고 데이터2 서비스 사용자 수는 57명이다. 4장의 그림 2을 보면 음성 서비스 사용자 수가 0명이고 데이터1 서비스 사용자 수가 2명일 때 데이터2 서비스 사용자 수는 97명이다.

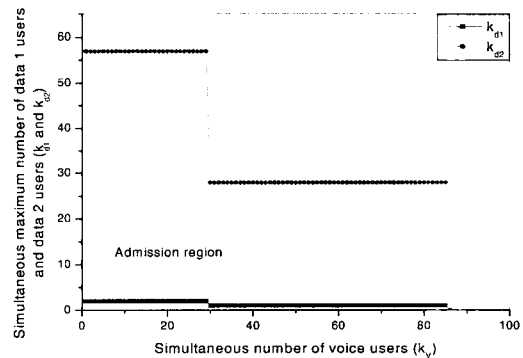


그림 8 Fairness 2가 적용된 순방향링크 서비스 수락 영역($f=0, \delta=0.0$ 일 때)

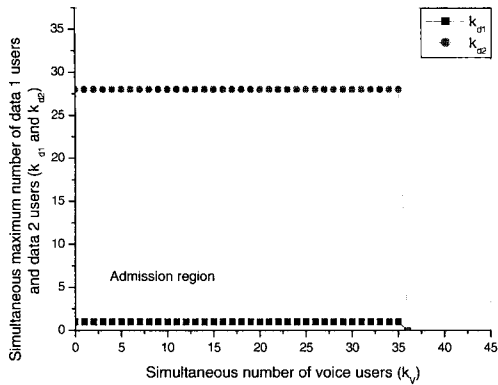


그림 9 Fairness 2가 적용된 순방향링크 서비스 수락 영역($f = 0.55, \delta = 0.0$ 일 때)

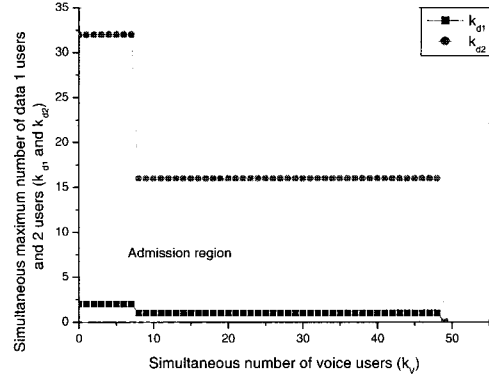


그림 10 Fairness 3이 적용된 순방향링크 서비스

6.4 Fairness 3이 적용된 순방향링크 서비스 수락 영역

이 절에서는 5.3절에서 나타나 있는 Fairness 3가 적용된 순방향링크 서비스 수락 기준식 (25)에 대한 수치적 예를 그래프로 나타낸 것을 보여준다. 이 절에서는 6.1절에서 제안된 순방향링크 서비스 수락 기준식 (27)에 Fairness 3을 적용한다. Fairness 3은 데이터1 서비스에 할당된 데이터 전송률과 데이터1 서비스 사용자의 수의 곱이 데이터2 서비스에 할당된 데이터 전송률과 데이터2 서비스 사용자의 수의 곱이 같게 하는 것이다. 서비스 종류는 음성 서비스, 데이터1 서비스 그리고 데이터2 서비스로 3가지이고 앞에서와 마찬가지로 음성 서비스를 제외한 데이터1 서비스와 데이터2 서비스에만 Fairness 3을 적용하려는 것이다.

Fairness 3은 데이터1 서비스와 데이터2 서비스에 각각 할당된 데이터 전송률의 비율에 맞게 각 데이터 서비스를 사용하는 사용자의 수를 구하는 것이다. 이것은 Fairness 2처럼 두 데이터 서비스들이 갖고 있는 시스템의 특성들을 이용하는 것이다. 6.1절에서 제시된 순방향링크 서비스 수락 기준식 (27)을 보면 각각의 서비스 사용자 수가 독립적으로 변한다. 그러나 Fairness 3을 적용한 순방향링크 서비스 수락 기준식 (25)는 데이터1 서비스 사용자와 데이터2 서비스 사용자의 수가 각각의 데이터 서비스에 할당된 데이터 전송률의 비율에 비례한다. 그림 10과 그림 11은 순방향링크 직교 요인(δ)이 0.0이고 외부 셀 간섭 요인(f)이 0과 0.55일 때 Fairness 3이 적용된 순방향링크 서비스 수락 영역을 보여준다. Fairness 3이 적용된 순방향링크 서비스 수락 기준식 (25)은 6.1절에서 제안된 순방향링크 서비스 수락 기준

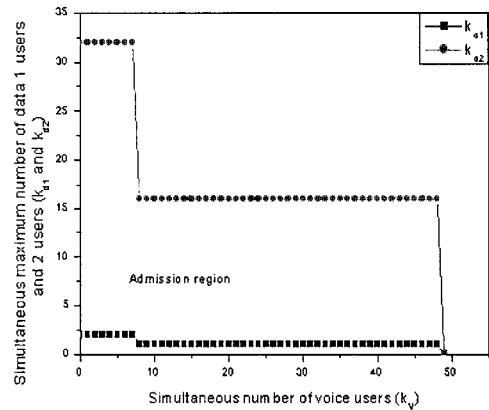


그림 11 Fairness 3이 적용된 순방향링크 서비스 수락 영역($f=0.55, \delta=0.0$ 일 때)

식 (27)보다 더 적은 순방향링크 서비스 수락 영역을 가진다. 예를 들어, 그림 10을 보면 음성 서비스 사용자 수가 0명일 때 데이터1 서비스 사용자 수는 3명이고 데이터2 서비스 사용자 수는 48명이다. 4장의 그림 2을 보면 음성 서비스 사용자 수가 0명이고 데이터1 서비스 사용자 수가 3명일 때 데이터2 서비스 사용자 수는 65명이다.

7. 결론

우리는 이 논문에서 음성 서비스와 데이터 서비스를 제공하는 WCDMA 시스템에서 서비스별 품질 예측 지표(Q)를 이용하여 사용자들의 서비스별 품질 요구치를 만족시키기 위한 호 수락 기준을 제시하였다. 수치적 결론은 순방향링크 직교 요인(δ)과 상대적인 외부 셀 간섭 요인(f)에 의하여 이 시스템이 수용할 수 있는 음

성 서비스 사용자와 데이터 서비스 사용자들의 순간적인 수가 변한다는 것을 보여준다. 순방향링크는 사용자의 분포가 같은 서비스라 할지라도 지역에 따라 수신 전력이 모두 다르다. 이 문제를 해결하기 위해 본 논문은 평균 수신 전력에 의한 서비스별 품질 예측 지표를 정의하였다. 순방향링크의 수신 지역에 사용자가 일정하게(uniformly) 분포되어 있고, 4th 전파 감쇠 모형을 가정한 뒤, 제안된 방법을 이용하여 순방향링크의 평균 수신 전력을 계산하고, 평균 수신 전력에 따른 순방향링크 서비스 수락 기준을 제시하였다. 또한 3가지의 형평성을 고려한 순방향링크 서비스 수락 기준을 제시하여 비교하여 보았다. 앞에서 설명된 정리 1과 정리 2는 각각 최적의 평균 수신 전력을 정하는 방법과 평균 수신 전력에 따른 순방향링크 서비스 수락 기준을 제시했다. 향후 연구 방향으로 제안된 서비스별 품질 예측 지표에 대한 연구가 계속 되어야 하겠다.

참 고 문 헌

- [1] Hyoung Goo Jeon, Soo Kun Kwon, and Chang Eon Kang, "Reverse Link Capacity Analysis of a DS CDMA Cellular System with Mixed Rate Traffic," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E81-B, no. 6, pp. 1280-1282, June 1998.
- [2] D. Kim and D. G. Jeong, "Capacity unbalance between uplink and downlink in spectrally overlaid narrowband and wideband CDMA mobile systems," *IEEE Trans. on Veh. Technol.*, vol. 49, no.4, pp.1086-1093, July 2000.
- [3] Xin Liu, Edwin K. P. Chong, and Ness B. Shroff, "Transmission Scheduling for efficient wireless utilization," in Proc. *IEEE INFOCOM 2001*, vol. 2, pp. 776-785, 2001.
- [4] Zhao Liu and M. El Zarki, "SIR based call admission control for DS CDMA cellular systems," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 12, no. 4, pp. 638-644, May 1994.
- [5] T. H. Lee and J. T. Wang, "Admission Control for Variable Spreading Gain CDMA Wireless Packet Networks," *IEEE Trans. on Veh. Technol.*, vol. 49, no. 2, pp. 565-575, Mar. 2000.
- [6] Wha Sook Jeon and Dong Geun Jeong, "Admission control of multimedia calls in CDMA mobile systems," in Proc. *IEEE Veh. Technol. Conf'01*, vol.2, pp. 886-890, 2001.
- [7] Harri Holma and Antti Toskala, *WCDMA for UMTS*, WILEY, 2000.
- [8] 노상현, 김동우, "무선 멀티 서비스 DS-CDMA 네트워크를 위한 순방향링크 서비스 수락 설계", 한국통신학회 추계종합학술발표회 논문집, vol.24, pp.[1-6], 2001년 11월.
- [9] A. J. Viterbi, *CDMA Principles of Spread Communication*, Addison-Wesley, 1995.
- [10] D. Kim, "Location Dependent Downlink Capacity Loss due to Introducing a High Data-Rate User in CDMA Cellular System with Multiple Low Data-Rate Users," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E85-B, no. 3, pp. 678-681, Mar. 2002.
- [11] Kyoung Il Kim, "CDMA Cellular Engineering Issues," *IEEE Trans. on Veh. Technol.*, vol. 42, no.3, pp. 345-350, Aug. 1993.
- [12] Songwu Lu, Bharghavan, V. and Srikant, R., "Fair Scheduling in Wireless Packet Networks," *IEEE/ACM Trans. on Networking*, vol. 7, pp. 473-489, Aug. 1999.



노 상 현

2001년 2월 한양대학교 전자공학과 졸업(학사). 2001년 3월~현재 한양대학교 전자전기 제어계측공학과 석사과정. 관심분야는 호 수락 제어, 무선 자원 관리, 패킷 스케줄링 등



김 동 우

1994년 8월 한국과학기술원 통신공학 박사. 1994년 7월~2000년 2월 (주)신세기 통신 기술연구소 선임P연구원. 2000년 3월~현재 한양대학교 전자컴퓨터공학부 조교수. 관심분야는 무선통신망 설계 등