

Energy Efficient Transmit and Receive Strategy for Green Communications: K users extension

Changyoon Oh *

Abstract

We investigate multi user joint rate scheduling and power allocation problem for a delay sensitive CDMA systems. First, we characterize the existing two user joint rate scheduling and power allocation. We then extend the problem to the case of the multi user systems. In general, there is no simple optimum solution for the multi user scheduling problem. To that end, we propose a sub optimum solution, termed 'virtual user approach'. We show the performance of the virtual user approach to verify the benefit of complexity.

▶ Keyword : Virtual user approach, Allocation, power

I. Introduction

1. Related works

1.1 국내 동향

Green Communications (녹색 통신) 이 통신시스템 연구에서 주요 연구 분야가 되어가고 있다[1,2]. 일례로, 2010년 11월에 개최된 WWRF 25차 회의에서는 Green Radio 기술 개발에 대한 깊이 있는 논의가 이루어졌다. 이러한 논의는 에너지 절감 기술에 대한 관심이 차세대 이동통신에서도 적용되어야 한다는 메시지로 이해할 수 있다. 이를 근거로 볼 때, 앞으로 개발될 차세대 이동통신 시스템에서도 친환경 또는 저탄소 배출을 목적으로 하는 Green Cellular Network 개발이 주요 화두가 될 것으로 전망한다.

이러한 친환경 녹색 통신시스템을 구축하기 위하여 본 논문에서는 간섭을 고려한 통신 시스템에서 에너지 효율적인 전송률 스케줄링을 연구한다. 기존 연구 [3]에서는 두 개의 단말 ($K=2$) 사용자 환경에서 에너지 최적화된 전송 방법의 스케줄링 전략 방안을 살펴보았다. 본 논문에서는 다수개의 사용자

($K>2$) 환경으로 연구주제를 확장하여 최적화 조건을 살펴보고, 최적화 기법에 성능이 근접하는 준 최적화 방안을 도출하고자 한다.

II. Preliminaries

1. Related works

1.1 국내 동향

앞서 언급한 바와 같이 전송에너지 최적화는 저탄소 발생을 통한 친환경 통신시스템 구축으로 연결된다. Non Real time 데이터를 여러 명의 사용자가 전송해야 하는 경우에는 사용자 간 간섭이 발생하지 않도록 스케줄링하여 전송하면 에너지 최적화 방안이 된다. 반면, Real time 데이터를 여러 명의 사용자가 전송하는 경우에는 간섭 발생은 피할 수 없다면, 이 경우 다

• First Author: Changyoon Oh, Corresponding Author: Changyoon Oh

*Changyoon Oh(changyoonoh@inhac.ac.kr), Dept. of Information & Communications Engineering, Inha Technical College

• Received: 2016. 07. 08, Revised: 2016. 08. 02, Accepted: 2016. 10. 05.

양한 전송률 조합중에서 최적의 전송률 조합을 선택하는 것이 최적화 방안이 된다 [2]. 특히, [3]에서는 전송하는 단말이 두 개만 존재, 즉, $K=2$, 인 경우에 대한 최적화 문제를 다루었다.

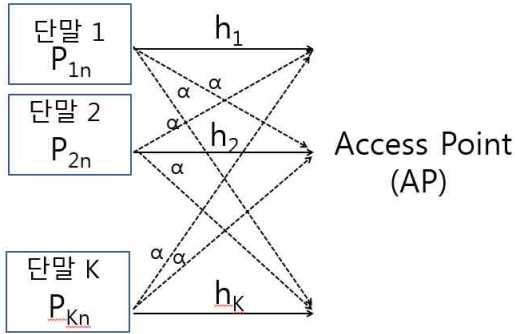


Fig. 1. System Model

요구하는 데이터를 한정된 시간슬롯 구간동안 두 개의 단말이 사용하여 전송하기 때문에 단말간의 간섭은 불가피하다. 간섭의 증가는 전송에너지의 증가를 가져온다. [3]에서는 에너지 최적화를 위한 전송률 조합의 다양한 분석을 통하여 에너지 최적화를 위하여 전송률 조합 조건을 정리하여 제안하였다.

본 논문에서는 최적화 문제를 $K=2$ 에서 $K>2$ 로 일반화하고, 이에 대한 준최적화 해법으로 Virtual User Approach를 제안하고자 한다.

3.1. System Model

[3]에서는 두 개의 단말($K=2$)이 $N(N \geq 2)$ 개의 시간 슬롯에서 데이터를 전송하는 시스템을 고려하였다. 본 연구에서는 이를 확장하여 ($K>2$)개의 단말이 $N(N \geq 2)$ 개의 시간 슬롯에서 데이터를 전송하는 시나리오를 고려한다. K 개의 단말이 동일한 시간슬롯을 이용하여 데이터를 전송하고, 하나의 AP가 이를 수신하는 과정에서 단말끼리의 간섭이 발생한다. 간섭 발생 정도는 기존 연구 결과에서의 간섭모델[4]을 적용하기로 한다. 즉, α ($0 < \alpha < 1$) 은 AP가 단말 i 의 데이터를 수신하는 과정에서 단말 j ($j \neq i$) 로 부터 받는 간섭 정도를 나타낸다. 일례로, n 번째 시간슬롯에서 단말 i 와 단말 j 의 송신 전력값이 각각 p_{in} , p_{jn} 이고, 단말 i , 단말 j ($j \neq i$) 와 AP 간의 채널이득값이 각각 h_{in} , h_{jn} 이라고 한다면, AP는 단말 i 의 데이터를 수신하는 과정에서 단말 j ($j \neq i$) 로 부터 $\alpha p_{jn} h_{jn}$ 만큼의 간섭을 받게 된다. 특히, 본 논문에서는 단말 i 의 채널이득이 N 시간슬롯 구간동안 일정한 값을 가지는 quasi static 이라고 가정한다. 따라서, 단말 i, j 의 채널이득은 $h_{in} = h_i$, $h_{jn} = h_j$ 이다. 단말 i 의 신호대 간섭비 (SIR)는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$SIR = \frac{p_{in} h_{in}}{\alpha p_{jn} h_{jn} + I} \quad (1)$$

여기서, I 는 열잡음과 인접셀 간섭을 포함한 간섭성분이다. n 번째 시간슬롯에서 단말 i 의 전송률은 다음과 같다.

$$R_{in} = \log_2(1 + k \cdot SIR) \quad (2)$$

k 는 SIR 이격도(GAP), $k = -\frac{\ln(5BER)}{1.5}$ 을 나타낸다 [6].

여기서 BER(Bit Error Rate) 는 비트 오류율을 의미한다. 각각의 단말 i ($i=1,2$) 이 $N(N \geq 2)$ 개의 시간슬롯에서 T_i 만큼의 데이터를 기지국에 전송해야 하므로, 이를 수식적으로 표현하면 $\sum_{n=1}^N R_{in} = T_i$ ($R_{in} \geq 1$) 와 같다.

3.2. Problem Formulation

본 논문에서 고려하는 최적화 문제는 각각의 단말 i ($i=1,2,\dots,K$) 가 주어진 $N(N \geq 2)$ 시간슬롯 구간동안 요구하는 전송률을 만족하도록 두 개의 사용자의 전송률 벡터 $R = [R_{11}, \dots, R_{1N}, \dots, R_{K1}, \dots, R_{KN}]$ 와 전송 전력 벡터 $P = [P_{11}, \dots, P_{1N}, \dots, P_{K1}, \dots, P_{KN}]$ 를 구하는 것이며, 이를 수학적으로 도식화 하면 다음과 같다.

$$\min \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^K p_{in} \quad (3)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{n=1}^N R_{in} = T_i \quad \forall i = 1, 2, \dots, K \quad (4)$$

여기서 T_i 는 사용자 i 가 N 시간 슬롯 구간동안 전송해야 할 데이터양이다. $K=2$ 인 경우에는 논문 [3]에서 제안하는 방법을 적용하여 에너지 최적화가 가능하다. 하지만, $K>2$ 인 경우에는 에너지 최적화를 위해서 모든 경우의 전송률벡터를 탐색해야 하는 것이 불가피하다. 이는 모든 전송률벡터를 탐색하는 과정에서 많은 양의 복잡도를 필요로 한다. 3.3절에서는 먼저 $K=2$ 인 경우 에너지 최적화 과정[3] 을 살펴보고, 3.4 절에서 $K=2$ 의 최적화 과정을 기반으로 $K>2$ 인 경우의 해법을 제안하고자 한다.

3.3. Optimum Solution for K=2 CASE

$K=2$ 의 경우에 대한 에너지 최적화 기법은 [3]에 잘 정리되어 있으며, 3.3 절에서는 3.4절에 적용하기 위해 필요한 주요 결과 위주로 설명하도록 한다. 동일한 시간슬롯에서는 단말끼리 서로 간섭을 일으킨다. 따라서, 특정 시간슬롯에서의 개별 단말의 에너지 최적화된 전송전력은 두 단말의 전송전력을 포함하는 연립방정식을 풀어서 얻을 수 있다. 시간슬롯 n 에서 단말 i 의 수신전력 q_{in} 은 송신전력 P_{in} 와 채널이득 h_i 의 곱으로 표현된다. 즉,

$$q_{in} = P_{in} h_i \quad (5)$$

을 q_{in} 에 관한 R_{1n}, R_{2n} 의 함수로 표현하면 다음과 같다.

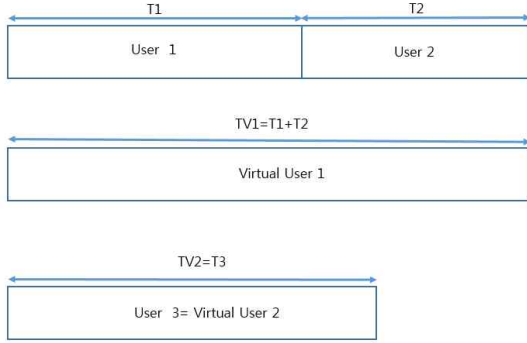


Fig. 2. Virtual User Construction (K=3 Case)

$$q_{1n}(R_{1n}, R_{2n}) = \quad (6)$$

$$\frac{I}{D(R_{1n}, R_{2n})} \cdot SIR(R_{1n}) \cdot (1 + \alpha \cdot SIR(R_{2n}))$$

$$q_{2n}(R_{2n}, R_{1n}) = \quad (7)$$

$$\frac{I}{D(R_{2n}, R_{1n})} \cdot SIR(R_{2n}) \cdot (1 + \alpha \cdot SIR(R_{1n}))$$

특히, $q_{1n}(R_{1n}, R_{2n}), q_{2n}(R_{2n}, R_{1n})$ 는 R_{1n} 과 R_{2n} 에 증가하는 Convex function 임을 이차미분을 통하여 확인할 수 있다. $q_{1n}(R_{1n}, R_{2n})$ 는 간섭 단말인 단말2의 n 번째 시간슬롯에서의 전송률이 R_{2n} 일 때, 단말 1가 n 번째 시간슬롯에서 R_{1n} 의 전송률을 위해서 요구되는 수신전력값을 나타낸다. $SIR(R_{1n})$ 는 전송률 R_{1n} 을 위해 요구되는 SIR 이며, 식 (2)로부터 구할 수 있다. $D(R_{1n}, R_{2n})$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$D(R_{1n}, R_{2n}) = 1 - \alpha^2 \cdot SIR(R_{1n}) \cdot SIR(R_{2n}) \quad (8)$$

수식 (8)에서 수신신호 값을 얻기 위해서는 $D(R_{1n}, R_{2n}) > 0$ 를 만족해야 한다. 개별 단말에서의 최적화된 송신전력은 수식 (5)를 이용하여 수신전력값인 수식 (6), (7)에 각각의 단말의 채널이득값인 h_i 의 역수를 곱하여 구할 수 있다.

3.3.1 Transmission Rate Conditions

먼저 2개의 시간슬롯 ($N=2$)만을 고려하여 전송전력 최적화를 위한 전송률 조건을 알아보기로 한다.

Proposition 1. 두개의 시간슬롯, 일예로 $n=1, n=2$ 에서 단말1의 전송률 R_{11}, R_{12} 의 크기관계가 $R_{11} \geq R_{12}$ 일 때, 에너지 최적화를 위해서 단말2의 전송률 R_{21}, R_{22} 의 크기관계는 반드시 $R_{21} \leq R_{22}$ 가 되어야 한다.

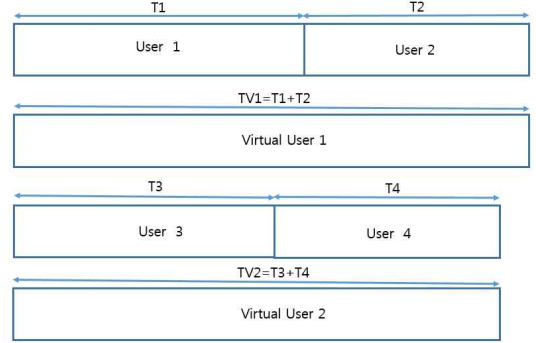


Fig. 3. Virtual User Construction (K=4 Case)

다음에서 설명하는 Proposition 2는 Proposition 1에서 도출한 2개의 시간슬롯 구간에서의 전송률 조건을 N 개의 시간슬롯으로 확장하여, 단말1과 단말2가 만족해야 하는 전송률 벡터 $R = [R_{11}, \dots, R_{1N}, R_{21}, \dots, R_{2N}]$ 의 조건을 제시하고 있다.

Proposition 2. 단말 1의 전송률 벡터 크기가 $R_{11} \geq R_{12} \geq \dots \geq R_{1N}$ 와 같은 순서일 때, 에너지 최적화를 위한 단말2의 전송률 벡터 조건은 식 (9)와 같은 순서이다. $R_{21} \leq R_{22} \leq \dots \leq R_{2N}$ (9)

Proposition 2에 의해서 최적화를 위한 전송률 조합의 경우의 수는 줄어들었다. 3.3.2에서 설명하는 Search Space Reduction(SSR)를 통해서 전송률 조합의 경우의 수를 추가적으로 줄일 수 있다.

3.3.2 Search Space Reduction

이번 절에서는 전송률 조건이 $R_{11} \geq R_{12} \geq \dots \geq R_{1N}$ 와 같을 때, 에너지 최적화를 위한 개별단말, 즉 단말1의 전송률 $R_{1j} (1 \leq j \leq N)$ 의 조건을 살펴보고자 한다.

Proposition 3. 시간슬롯1에서의 단말1의 전송률 R_{11} 의 범위는 식 (10)과 같다.

$$\frac{T_1}{N} \leq R_{11} \leq T_1 - (N-1) \quad (10)$$

Proposition 4. 시간슬롯2에서의 단말1의 전송률 R_{12} 의 범위는 식 (11)과 같다.

$$\frac{T_1 - R_{11}}{N-1} \leq R_{12} \leq \min(R_{11}, T_1 - R_{11} - (N-2)) \quad (11)$$

Proposition 5. 시간슬롯 i 에서 단말1의 전송률 R_{1i} 의 범위는 식 (12)와 같다.

$$\frac{T_1 - \sum_{j=1}^{i-1} R_{1j}}{N - (i-1)} \leq R_{1i} \leq \min(R_{1(i-1)}, T_1 - \sum_{j=1}^{i-1} R_{1j} - (N-i)) \quad (12)$$

Proposition 6. 시간슬롯 N에서의 단말2의 전송률 R_{2N} 의 범위는 식 (13)과 같다.

$$\frac{T_2}{N} \leq R_{2N} \leq T_2 - (N-1) \quad (13)$$

Proposition 7. 시간슬롯 i에서 단말1의 전송률 R_{2i} 의 범위는 식 (14)와 같다.

$$\frac{T_2 - \sum_{j=i}^N R_{2j}}{i} \leq R_{2i} \leq \min(R_{2(i+1)}, T_2 - \sum_{j=i}^N R_{2j} - (i-1)) \quad (14)$$

3.4. Optimum Solution for K>2 Case

$K=2$ 인 경우에는 앞서 요약 설명한 바와 같이 전송률 벡터 범위를 축소하여 복잡도를 완화한 최적화 방법이 존재한다. 하지만, $K>2$ 인 경우에는 에너지 최적화를 위해서 모든 경우의 전송률벡터를 탐색해야 하는 것이 불가피하다. 이는 모든 전송률벡터를 탐색하는 과정에서 많은 양의 복잡도를 필요로 한다. 일례로, K 개의 사용자가 T 개의 데이터를 N 시간슬롯 동안에 전송해야 하는 경우 그 복잡도는 단말의 수 K 에 지수적으로 증가한다. 따라서, 복잡도가 크지 않으면서 에너지 최적화에 근접한 성능을 가지는 방법이 현실적인 대안이 될 수 있다. 3.4.1절에서는 $K=2$ 의 최적화 과정을 활용하여 $K>2$ 의 경우에서 복잡도는 줄이면서 전송에너지는 최적화기법에 근접하는 준최적화 해법(Suboptimum solution)인 Virtual User Approach 를 제안하고자 한다.

3.4.1 Virtual User Approach

$K=2$ user 의 경우에 적용되었던 기법을 가공하여 $K>2$ 의 경우에 활용하고자 한다. $K=2$ 의 경우에는 Proposition 1부터 Proposition 7을 적용하여 에너지 최적화를 위한 전송률 벡터 범위를 줄일 수 있으며, 또한 최단거리 기법을 적용하여 부가적인 복잡도 완화를 기대할 수 있다.

Virtual User Approach 에서는 $K>2$ 개의 사용자를 2개의 그룹으로 나누어 각각의 그룹이 하나의 Virtual User 가 되며, 이후의 최적화 과정은 2-user 의 경우에 적용했던 과정을 따른다. 일례로, Fig. 2. 에서와 같이 $K=3$ 의 경우를 예를 들어 설명하면 다음과 같다. User 1, User 2, User 3 이 각각 전송해야 할 전송량은 $T1, T2, T3$ 이다. Virtual User Approach 를 User 1 와 User 2에 적용하여 Virtual User 1이 신규로 구성되며, 여기서 구성된 Virtual User 1가 전송해야 할 총 전송량은 $TV1=T1+T2$ 가 된다. Virtual User Approach를 적용한 후 해결해야할 문제는 전송해야 할 전송량이 각각

$TV1=T1+T2, T3$ 를 가지는 $K=2$ (Virtual User 1과 User 3) 의 스케줄링 문제로 전환된다. 전환된 문제는 $K=2$ 에 해당하므로, Optimum scheduling for $K=2$ 를 적용하여 해결이 가능하다.

또 다른 예시로 Fig. 4. 에서는 $K=4$ 의 경우를 예를 들어 설

명하고 있다. User 1, User 2, User 3, User 4 이 각각 전송해야 할 전송량은 $T1, T2, T3, T4$ 이다. User 1 과 User 2에 Virtual User Approach 를 적용하여 신규로 Virtual User 1을 구성하며, Virtual User 1가 전송해야 할 총 전송량은 $TV1=T1+T2$ 가 된다. User 3 와 User 4에 Virtual User Approach 를 적용하여 신규로 Virtual User 2 를 구성하며, Virtual User 2가 전송해야 할 총 전송량은 $TV2=T3+T4$ 가 된다. 즉, 해결해야할 문제는 전송해야 할 전송량이 각각 $TV1=T1+T2, TV2=T3+T4$ 를 가지는 $K=2$ (Virtual User 1 과 Virtual User 2) 의 스케줄링 문제로 전환된다.

3.5. Algorithm

3.4.1 절 에서 설명한 내용을 포함한 알고리즘 수행절차를 정리하면 다음과 같다.

Step 1. Virtual User Approach 적용

$K>2$ 개의 사용자를 두 개의 Virtual User Group (Virtual User 1, Virtual User 2)로 나눈다.

이 때, 각각의 Virtual User 에서의 총 전송률은 Virtual Group 에 포함되는 각각의 사용자 전송률의 합과 같다.

Step 2. $K=2$ 최적화 알고리즘 [3] 적용

3.6. Numerical Examples

[5]의 실험환경을 참고하여 총 노이즈와 외부셀 간섭량은 $I=10^{-11}$ WATTS 로 설정한다. 식 (2) 에서 SIR 인자값 k 는 $k=8.13$ 으로 설정하며, 이는 $BER=10^{-6}$ 에 해당하는 값이다. 다양한 전송률 조합을 포함하도록 하기 위하여 간섭량 비율은 $0 < \alpha \leq 0.1$ 범위로 설정한다. 단말 i 와 AP 사이의 채널 이득(channel gain) 값은 $h_{in} = \frac{r_{in}}{d_i^4}$ 로 모델링하며, 여기서 d_i

는 AP 와 단말 i 사이의 거리이며, 50m 와 500m 사이에서 균등분포 함수이다. r_{in} 는 분산값(Variance) $8dB$ 을 가지는 로그노말 페이딩의 생성값을 나타낸다. 본 실험에서는 4개의 단말($K=4$)이 하나의 AP에 $T=10$ 의 데이터를 3 개의 시간슬롯동안 전송해야 하는 환경에서 각각의 알고리즘이 소모하는 에너지량과 복잡도 성능을 알아보았다.

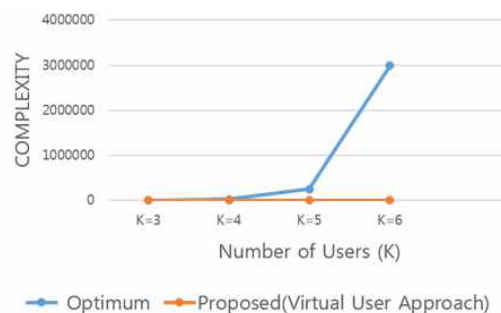


Fig. 4. Complexity Comparison

Fig 4. 는 제안하는 Virtual User Approach 와 최적화 방법에 대하여 단말의 수가 증가함에 따른 복잡도 성능을 비교하고 있다. 여기서 복잡도는 고려해야할 전송을 조합의 수를 의미한다. 예를 들어, 본 논문의 최적화 방법에서는 모든 경우의 전송을 조합에 해당하는 전송에너지 값을 계산하고 그중 최적의 전송에너지를 소모하는 전송을 조합을 최적화 해법으로 찾아낸다. 최적화 방법에서는 K 개의 사용자가 T 개의 데이터를 N 시간슬롯 동안에 전송해야 하므로, 복잡도는 K 에 지수적으로 증가한다. 반면, Virtual User Approach를 사용하는 경우에는 단말의 수인 K 의 증가에 선형적 증가를 보임을 확인할 수 있다. 모든 경우의 전송을 조합을 계산해야 하는 최적화 기법은 복잡도에 비례하는 연산복잡도(Computational Complexity)를 요구하는 단점을 가지게 된다.

Fig 5. 는 제안하는 Virtual User approach 방법과 최적화 방법의 에너지 소모량을 비교하고 있다. 특히, 본 논문에서는 제안하는 방안인 Virtual User Approach 가 최적화 방법 대비 얼마만큼의 추가적인 전송에너지를 소모하는지를 알아보기 위하여, Virtual User Approach 적용시 전송에너지 소모량 (E_{VUA}) 최적화 방안 적용시 전송에너지 (E_{op}) 로 나눈 소모에

너지 비율 $\frac{E_{VUA}}{E_{op}}$ 을 살펴보았다. Virtual User Approach 를 적용한 준 최적화 방법을 사용하는 경우 최적화 방법을 사용하는 경우보다 0.1% 이내의 추가적인 전송에너지 소모가 필요하며, 이는 Fig.4 에서의 복잡도에서의 이득을 가지는 것에 대한 에너지 추가적 소모로 해석할 수 있다. 본 논문이 제안하는 기법은 최적화 기법대비 0.1% 이내의 추가적인 전송에너지 소모하는 단점을 가진 반면, 연산량 복잡도에서 이득을 가지는 장점을 가진다.

두 가지 방법 모두 전송시간 슬롯이 많아질수록 에너지 소모량은 작아짐을 알 수 있다. 이는 전송시간 슬롯의 수가 많아질수록 각각의 시간슬롯에서 간섭을 회피하거나 간섭의 양을 적게 받으면서 전송할 수 있는 전송을 조합을 선택할 가능성이 더 많아지기 때문이다. 또한, Virtual User Approach 의 grouping 과정시, 채널이득이 되도록 유사한 사용자에게 적용하는 경우가 그렇지 않은 경우보다 에너지 소모량에서 좀 더 효과적임을 실험을 통하여 확인하였다.

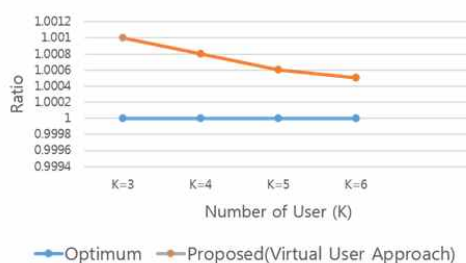


Fig. 5. Transmit Energy Consumption Comparison

IV. Conclusions

본 논문에서는 Virtual User Approach를 제안하였으며, 실험을 통하여 복잡도 완화측면에서 최적화 기법보다 성능이 우수함을 확인하였다. 또한, 에너지 소모량 측면에서도 제안하는 기법이 최적화기법에 근접함을 확인하였다. 이를 근거로 볼 때 본 논문이 제안하는 Virtual User Approach 다. 본 논문에서 제안하는 준최적화 기법은 최적의 전송을 벡터를 탐색하는 데 필요한 복잡도를 시간슬롯 증가에 선형적 증가를 보이고 있는 장점을 가진다. 따라서, 전송에너지 효율뿐만 아니라, 최적의 전송을 벡터를 탐색 및 계산하는 과정에서 소모하는 프로세싱 에너지의 효율을 기대할 수 있다.

REFERENCES

- [1] Z. Hasan et al., "Green Cellular Networks: A Survey, Some Research Issues and Challenges," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 13, no. 4, p534-540, Fourth Quarter 2011.
- [2] J. Wu, Green Communications: Theoretical Fundamentals, Algorithms and Applications, CRC Press, 2012.
- [3] C. Oh, Energy Efficient Transmit and Receive Strategy for Green Communications, Journal of The Korea Society of Computer and Information, 53(7):1210 - 1219, April 2016.
- [4] Changyoon Oh, Energy Optimized Transmission Strategy in CDMA Reverse Link: Graph Theoretic Approach, Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers, Vol. 52, NO.6, June 2015.
- [5] C. Oh et al. A., "Downlink Throughput Maximization for Interference Limited Multiuser Systems: TDMA versus CDMA," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 6, no.7, pp.2454 - 2463, July 2007.
- [6] A. J. Goldsmith and S. G. Chua., "Variable-rate variable-power MQAM for fading channels," IEEE Transactions on Communications, 45:1218-1230, October 1997.

Authors



Changyoon Oh received the B.S. degree in Electrical Engineering from Yonsei University, Korea in 1999 and M.S. and Ph.D. degrees in Electrical Engineering from Pennsylvania State University, U.S.A in 2001, 2005, respectively.

Dr. Oh joined the faculty of the Department of Information & Communications Engineering at Inha Technical College, Incheon, Korea in 2011.

He is currently an associate Professor in the Department of Information & Communications Engineering at Inha Technical College. He is interested in Physical Layer Issue and wireless standard.