

Energy Efficient Transmit and Receive Strategy for Green Communications

Changyoon Oh*

Abstract

We consider energy efficient transmit and receive strategy for a delay sensitive data. More specifically, we investigate an energy optimum scheduling characteristics for the 2 user interference channel where each user interferes to each other. First, we determine the optimum transmission rate region each individual user may have for optimum transmission. Next, we consider the optimum transmission region of two users together. Shortest path algorithm can be used for further reduction of search space. Eventually, we can reduce computational complexity. We then examine the performance of the optimum transmission strategy for various system environments.

▶ Keyword : Energy, Scheduling, Transmission, Optimum

II. Preliminaries

I. Introduction

통신시스템 분야에서 친환경을 고려한 Green Communications (녹색 통신) 은 2010년 이후 그 중요성이 커지고 있다 [1]. 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. 따라서, 향후에 개발될 차세대 이동통신 시스템에서도 친환경 개념의 도입을 통한 Green Cellular Network 개발이 필수 불가결할 것으로 전망한다.

본 연구에서는 이러한 친환경 녹색 통신을 위하여 간섭을 고려한 통신 시스템에서 에너지 효율적인 전송률 스케줄링을 연구한다. 특히, 에너지 최적화된 전송 방법의 스케줄링 전략 방안을 살펴보고자 한다. 먼저, 개별 단말 관점에서 에너지 최적화를 위한 최적화 전송률 구간을 살펴보고, 이를 근거로 2 개의 사용자의 에너지 최적화를 위한 전송률 구간을 도출한다. 마지막으로 잘 알려진 최단거리 기법(Shortest Path Algorithm)을 적용하여 두 단말의 전송 에너지 최적화 방안을 도출한다

1. Related works

1.1 국내 동향

CDMA 시스템 전송률 스케줄링 문제는 이미 많은 논문에서 연구되어져 왔다. 일례로, [2]에서는 다중안테나를 기반으로 에너지 최적화 해법과 복잡도를 완화한 대안을 제시하고 있다. 하지만, [2]에서는 전송률을 최대화하고자 하는 것이 목적으로 각각의 사용자에 대한 fairness 는 고려하지 않고 있다. 이에 대한 대안으로 각각의 사용자에 대한 짧은 지연 요구사항을 만족하는 전송률 최적화 방안을 생각해 볼 수 있다. [3]에서는 각각의 사용자의 짧은 지연 요구사항을 만족하는 hybrid TDMA/CDMA 방안을 적용한 스케줄링 방안을 제안하였다. 그러나, 제안하는 방안은 경험적(Heuristic) 기법에 의존하고 있다. 이에 반해, [4]에서는 다중 코드(Multi code)를 기반으로 하는 CDMA 시스템에서 에너지 최적화 방안을 제시하고 있다. 최적화 방안의 목적은 주어진 시간 슬롯 동안에 각각의 사용자가 요구하는 총 전송량을 만족하면서 모든 사용자가 소모하는 에너지를 최소화하는 것이다. 특히, [5]에서는 상향링크에 대하여 그래프 이론을 기반으로 최단거리 기법을 적용하고 있다.

[6]에서는 게임이론적 관점에서 단말간 간섭을 고려한 상

*First Author: Changyoon Oh, Corresponding Author: Changyoon Oh

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

• Received: 2016. 02. 25, Revised: 2016. 03. 24, Accepted: 2016. 04. 18.

황에서 에너지 최적화 방안을 연구하였다.

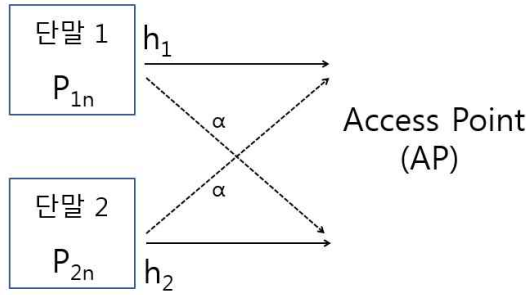


Fig. 1. System Model

[6] 에서 제안한 반복적 기법(iterative solution)은 알고리즘의 반복적 수행에 따라 전송에너지가 소정의 값에 감소 수렴하는 특징을 가지고 있지만, 반드시 최소의 에너지를 제공한다는 보장이 없다는 단점이 있다. [5]에서는 일반적인 간섭환경에서 상향링크에서의 전송률 최적화 해법과 하향링크의 전송률 최적화 해법이 서로 쌍대성적 특징을 가진다는 점을 살펴보았다. 특히, [5]에서는 최단거리기법을 적용하여 에너지 최적화를 위한 전송률벡터를 구하는 과정의 복잡도를 완화하였다.

본 논문에서는 [5]에 적용하였던 최단거리기법을 개선하여 에너지 최적화를 위한 전송률 벡터를 구하는 과정의 복잡도를 개선하고자 한다. 3.1절과 3.2절에서는 본 논문이 고려하는 시스템 모델과 해결하고자 하는 문제를 수식적으로 전개하고, 3.3절에서는 기본적인 전력할당 방법을 설명한다. 3.4절과 3.5절에서는 본 논문의 제안 방안을 설명한다. 구체적으로, 3.4절에서는 탐색과정을 줄이는 1단계 과정을 설명하며, 3.5절에서는 탐색과정을 줄이는 2단계 과정(Search Space Reduction)을 설명한다. 3.6절에서는 본 논문이 제안한 기법을 적용한 이후, [5]에서 적용한 최단거리 기법(SPA)를 적용하는 과정을 설명한다. 본 논문의 기여(Contribution)은 다음과 같다. Search Space Reduction (SSR) 기법을 제안하고 있으며, SSR 기법을 기존의 기법인 최단거리기법(SPA) 과 연동하여 즉 SSR+ SPA 을 적용하여, 최단거리기법만을 사용하는 경우보다 최적화 전송률을 탐색하는 복잡도를 완화하였다.

III. The Proposed Scheme

3.1. System Model

[6]에서는 두 개의 단말이 두 개의 시간 슬롯 $N=2$ 에서 데이터를 전송하는 시스템을 고려하였다. 본 연구에서는 이를 확장하여 두 개의 단말이 $N(N \geq 2)$ 개의 시간슬롯에서 데이터를 전송하는 시나리오를 고려한다. 두 개의 단말이 동일한 시간 슬롯을 이용하여 데이터를 전송하고, 하나의 AP 가 이를 수신

하는 과정에서 단말끼리의 간섭이 발생한다. 간섭 발생 정도는 기존 연구 결과에서의 간섭모델[7]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 AP간의 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. 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 SNR 이격도(GAP), $k = -\frac{\ln(5BER)}{1.5}$ 을 나타낸다

[8]. 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 $i(i=1,2)$ 이 주어진 $N(N \geq 2)$ 시간슬롯 구간동안 요구하는 전송률을 만족하도록 두 개의 사용자의 전송률 벡터 $R = [R_{11}, \dots, R_{1N}, R_{21}, \dots, R_{2N}]$ 와 전송 전력 벡터 $P = [P_{11}, \dots, P_{1N}, P_{21}, \dots, P_{2N}]$ 를 구하는 것이며, 이를 수학적으로 표현하면 다음과 같다.

$$\min \sum_{l=1}^n \sum_{i=1}^2 p_{il} \quad (3)$$

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

여기서 T_i 는 사용자 i 가 N 시간 슬롯 구간동안 전송해야 할 데이터양이다. 다음절에서는 먼저, 개별 시간슬롯에서 에너지 최적화를 위한 전력 할당을 도출한다. 개별 시간슬롯에서 얻어진 최적화된 전력할당을 기반으로 N 시간슬롯 구간동안의 에너지 최적화를 위한 전송률 조건을 살펴보기로 한다.

3.3. Power Allocation in an individual time slot

동일한 시간슬롯에서는 단말끼리 서로 간섭을 일으킨다. 따

라서, 특정 시간슬롯에서의 개별 단말의 에너지 최적화된 전송 전력은 두 단말의 전송전력을 포함하는 연립방정식을 풀어 얻을 수 있다. 시간슬롯 n 에서 단말 i 의 수신전력 q_{in} 은 송신

$$\text{전력 } P_{in} \text{와 채널이득 } h_i \text{의 곱으로 표현된다. 즉,}$$

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

수식(5)를 수식(1)에 대입하여 얻어진 두 개의 연립방정식을 q_{in} 에 관한 R_{1n}, R_{2n} 의 함수로 표현하면 다음과 같다. 여기서 단말 i 의 채널이득 h_i 는 N 시간슬롯 구간동안 일정한 값을 가지는 quasi static 이라고 가정한다.

$$q_{1n}(R_{1n}, R_{2n}) = \frac{I}{D(R_{1n}, R_{2n})} \cdot \text{SIR}(R_{1n}) \cdot (1 + \alpha \cdot \text{SIR}(R_{2n})) \quad (6)$$

$$q_{2n}(R_{2n}, R_{1n}) = \frac{I}{D(R_{2n}, R_{1n})} \cdot \text{SIR}(R_{2n}) \cdot (1 + \alpha \cdot \text{SIR}(R_{1n})) \quad (7)$$

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

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

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.

3.4. Minimum Conditions for Optimum Transmission Rate

Proposition 1에서는 2개의 시간슬롯 ($N=2$)만을 고려하기로 한다. $q_{1n}(R_{1n}, R_{2n})$ 와 $q_{2n}(R_{2n}, R_{1n})$ 이 전송률 R_{1n} 과 R_{2n} 에 대한 Convex Function임을 활용하여 에너지 최적화를 위한 전송률 벡터의 최소 조건(minimum condition)을 알아보고자 한다.

Proposition 1. 두개의 시간슬롯, 일례로 $n=1, n=2$ 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.

(증명) $R_{11} \geq R_{12}$ 와 $R_{21} > R_{22}$ 의 조건을 만족하는 전송률 벡터 $\bar{R} = [R_{11}, R_{12}, R_{21}, R_{22}]$ 가 최소의 에너지를 소모하는 전송률벡터라고 가정하고, 이를 ‘전송률 벡터 1’이라고 부르기로 한다.

전송률 벡터 1에 의한 시간슬롯1에서의 전송에너지 TP_1 는 다음과 같다.

$$TP_1 = \frac{1}{h_1} q_{11}(R_{11}, R_{21}) + \frac{1}{h_2} q_{21}(R_{21}, R_{11}) \quad (9)$$

마찬가지로, 전송률 벡터 1에 의한 시간슬롯 2에서의 전송에너지 TP_2 는 다음과 같다.

$$TP_2 = \frac{1}{h_1} q_{12}(R_{12}, R_{22}) + \frac{1}{h_2} q_{22}(R_{22}, R_{12}) \quad (10)$$

여기서, ‘전송률벡터 1’을 $\Delta > 0$ 만큼 수정한 전송률 벡터 $\bar{R}^* = [R_{11}, R_{12}, R_{21} - \Delta, R_{22} + \Delta]$ 를 ‘전송률 벡터 2’이라고 부르기로 한다. 가정에 의하면 ‘전송률 벡터1’이 최소의 에너지를 소모하는 전송률 벡터이므로, ‘전송률 벡터2’는 ‘전송률 벡터 1’보다 더 많은 전송에너지를 소모해야 한다.

전송률 벡터 2에 의한 시간 슬롯1에서의 전송에너지 TP_1^* 는 다음과 같다.

$$TP_1^* = \frac{1}{h_1} q_{11}(R_{11}, R_{21} - \Delta) + \frac{1}{h_2} q_{21}(R_{21} - \Delta, R_{11}) \quad (11)$$

마찬가지로, 전송률벡터2에 의한 시간슬롯 2에서의 전송에너지 TP_2^* 는 다음과 같다.

$$TP_2^* = \frac{1}{h_1} q_{12}(R_{12}, R_{22} + \Delta) + \frac{1}{h_2} q_{22}(R_{22} + \Delta, R_{12}) \quad (12)$$

여기서 $q_{1n}(R_{1n}, R_{2n}), q_{2n}(R_{2n}, R_{1n})$ 는 R_{1n} 과 R_{2n} 에 증가하는 Convex function이기 때문에 다음의 관계식이 성립한다.

$$TP_1 + TP_2 > TP_1^* + TP_2^* \quad (13)$$

수식 (13)은 ‘전송률 벡터2’가 소모하는 전송에너지가 ‘전송률 벡터1’이 소모하는 전송에너지보다 효율적임을 의미한다. 이는 ‘전송률 벡터1’이 최소의 에너지를 소모하는 전송률 벡터라고 가정이 모순임을 의미한다.

즉, 최적의 에너지를 소모하는 전송률 벡터 $\bar{R} = [R_{11}, R_{12}, R_{21}, R_{22}]$ 는 반드시 $R_{11} \geq R_{12}$ 와 $R_{11} \leq R_{12}$ 를 만족해야 한다. -증명 끝-

Proposition 2는 Proposition 1에서 도출한 2개의 시간슬롯 구간에서의 전송률 조건을 N 개의 시간슬롯으로 확장한다. 즉, 에너지 최적화를 위해서 단말1과 단말2가 만족해야 하는 전송률 벡터 $R = [R_{11}, \dots, R_{1N}, R_{21}, \dots, R_{2N}]$ 의 조건을 설명하고 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 벡터는 반드시 $R_{21} \leq R_{22} \leq \dots \leq R_{2N}$ 와 같은 순서이다.

증명) 전송률 벡터 $\bar{R} = [R_{11}, \dots, R_{1N}, R_{21}, \dots, R_{2N}]$

$(R_{11} \geq R_{12} \geq \dots \geq R_{1N}, R_{21} > R_{22} > \dots > R_{2N})$ 를 ‘전송률 벡터 1’ 이라고 칭하기로 한다. Proposition 1을 인접한 두 개의 시간슬롯에 적용하면 다음과 같다.

$$R_{11} \geq R_{12} \text{ and } R_{21} \leq R_{22}$$

$$R_{12} \geq R_{13} \text{ and } R_{22} \leq R_{23}$$

.....

$$R_{1(N-1)} \geq R_{1N} \text{ and } R_{2(N-1)} \leq R_{2N}$$

이들 관계를 하나로 표현하면 다음과 같다.

$$R_{11} \geq R_{12} \geq \dots \geq R_{1N} \quad R_{21} > R_{22} > \dots > R_{2N} \quad (14)$$

-증명 끝-

Proposition 1,2를 적용하게 되며, 단말1과 단말2의 모든 경우의 전송률 벡터를 고려할 필요 없이

$R_{11} \geq R_{12} \geq \dots \geq R_{1N}$ 와 $R_{21} > R_{22} > \dots > R_{2N}$ 에 해당하는 전송률 벡터만 고려하면 된다.

3.5. Search Space Reduction (SSR)

에너지 최적화를 위한 단말1과 단말2의 전송률 벡터를 구하기 위하여 Proposition 2를 적용하면 모든 경우의 수를 탐색할 필요가 없게 된다. 하지만, 여전히 많은 수의 전송률 벡터 탐색이 필요하다. 따라서, 이번 절에서는 탐색 구간을 줄이는 과정(Search Space Reduction)을 설명하고자 한다. 구체적으로 전송률 조건이 수식 (14) $R_{11} \geq R_{12} \geq \dots \geq R_{1N}$ 와 같을 때, 에너지 최적화를 위한 개별단말, 즉 단말1의 전송률 $R_{1j} (1 \leq j \leq N)$ 이 만족해야 할 조건을 살펴보고자 한다.

Proposition 3. 시간슬롯1에서의 단말1의 전송률 R_{11} 의 범

$$\text{위는 } \frac{T_1}{N} \leq R_{11} \leq T_1 - (N-1) .$$

증명) 단말1의 모든 시간슬롯에서의 전송률이 동일할 때, 즉,

$$R_{11} = R_{12} = \dots = R_{1N} = \frac{T_1}{N}, R_{11} \text{은 최소전송률인 } \frac{T_1}{N} \text{의 값을}$$

갖는다. $R_{12} = \dots = R_{1N} = 1$ 일 때, R_{11} 은 최대의 전송률인 $T_1 - (N-1)$ 의 값을 갖는다.

Proposition 4. 시간슬롯2에서의 단말1의 전송률 R_{12} 의 범

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

증명) R_{12} 의 최소값은 $R_{12} = \dots = R_{1N} = \frac{T_1 - R_{11}}{N-1}$ 일 때이

며, 이 때 최소값으로 $\frac{T_1 - R_{11}}{N-1}$ 의 값을 갖는다. R_{12} 의 최대값

은 R_{12} 보다 작은값들을 갖는 요소들이 모두 $R_{13} = \dots = R_{1N} = 1$ 를 만족할 때이며, 이때 $R_{12} = T_1 - R_{11} - (N-2)$ 이다. 특히, R_{12} 가 R_{11} 보다 클수는 없으므로, $\min(R_{11}, T_1 - R_{11} - (N-2))$.

Proposition 5. 시간슬롯 i에서 단말1의 전송률 R_{1i} 의 범위는

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

Proposition 6. 시간슬롯 N에서의 단말2의 전송률 R_{2N} 의

$$\text{범위는 } \frac{T_2}{N} \leq R_{2N} \leq T_2 - (N-1) .$$

Proposition 7. 시간슬롯 i에서 단말1의 전송률 R_{2i} 의 범위는

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

Proposition 3,4,5,6,7를 적용하게 되면, Proposition 1,2 만을 적용하는 경우보다 탐색해야할 전송률 벡터 경우의 수가 추가적으로 줄어든다.

3.6. Shortest Path Algorithm (SPA)

최단거리 기법(Shortest Path Algorithm(SPA)) [5]을 적용하게 되면 최적의 전송률을 탐색하는 데 소요되는 복잡도를 획기적으로 줄일 수 있다. 3.4절과 3.5절에서 설명한 Proposition 1,2 (Minimum Conditions)와 Proposition 3,4,5,6,7 (Search Space Reduction)을 먼저 적용할 경우, 탐색에 필요한 전송률 조건 범위가 좁아지게 되며, 이렇게 필터링된 전송률 조건 범위에서 SPA를 추가적으로 적용하게 되면, 즉 SSR+SPA를 적용하게 되면, 최단거리기법(SPA) 만을 적용하는 경우보다 최적화 전송률을 탐색하는 복잡도 완화가 가능하다. 예를 들어, SSR을 적용하지 않고 곧바로 SPA를 적용할 경우 SPA 시작단계에서 모든 전송률 경우의 수를 고려하여 SPA 알고리즘을 수행하게 된다. 반면, SSR을 적용할 경우, Proposition 3-Proposition 7에서 필터링을 거친 후, 전송률 범위에 해당되는 전송률 벡터만이 SPA 알고리즘의 적용대상이 된다.

3.7. Numerical Examples

[6]의 실험환경을 참고하여 총 노이즈와 외부셀 간섭량은 $I = 10^{-11}$ WATTS 로 설정한다. 식 (2)에서 SIR 인자값 k 는 $k = 8.13$ 이며, 이는 $BER = 10^{-6}$ 에 해당한다.

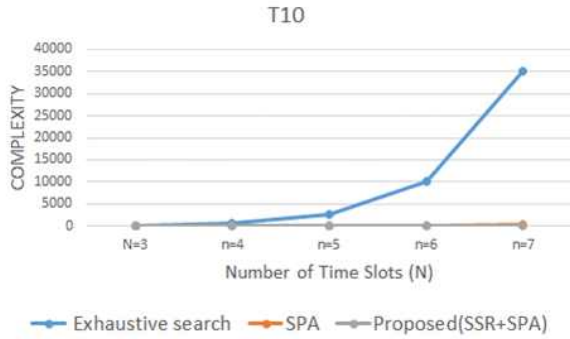


Fig. 2. Complexity vs. Number of Time Slots (T=10)

다양한 전송률 조합을 포함하도록 하기 위하여 간섭량 비율은 $0 < \alpha < 0.1$ 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) 8dB을 가지는 로그노말 페이딩의 생성값을 나타낸다.

Fig 2. 는 본 논문이 제안하는 에너지 최적화 알고리즘 Proposed (SSR+ SPA), 최단거리 기법만을 적용하는 방법 (SPA), 그리고 모든 경우의 전송률벡터를 탐색하는 방법 (Exhaustive Search)의 복잡도 비교를 하고 있다. 특히, 그림 2에서는 요구하는 전송량 $T_1 = T_2 = 10$ 인 경우 복잡도를 살펴보았다. 복잡도는 에너지 최적화를 위한 전송률 벡터를 도출하는데 필요한 Operation 수를 의미하며, 여기서 하나의 Operation 은 하나의 전송률 벡터에 의해 수행되는 계산과정을 포함한다. 모든 경우의 수를 고려하는 Exhaustive 방법의 경우 허용하는 시간슬롯의 개수가 증가함에 따라 복잡도 또한 기하급수적으로 증가하고 있다. 반면, 본 논문에서 제안하는 기법 Proposed(SSR+ SPA)을 적용하는 경우 허용하는 시간슬롯의 개수가 증가할수록 복잡도가 시간슬롯에 대한 선형적증가를 보이고 있다. 참고로, 그림 2에서는 Exhaustive 방법의 복잡도와 비교하여 Proposed(SSR+ SPA)과 최단거리기법(SPA)의 복잡도가 상대적으로 아주 작은 값을 가지므로, 겹쳐서 SPA 의 복잡도 값이 안보이고 있다.

Fig 3. 은 Proposed (SSR+ SPA)과 최단거리기법(SPA)의 복잡도 만을 비교하였다. 요구하는 전송량을 $T_1 = T_2 = 15$ 인 경우에서 복잡도를 살펴보았다. 시간 슬롯 (N) 값의 변화에 Proposed(SSR+ SPA)를

적용시, 최단거리기법(SPA)만을 적용하는 경우 대비 30% 만의 복잡도를 가지는 것을 확인할 수 있다. 이는 SSR+ SPA 방법을 적용하는 경우, SSR 과정에서 탐색 조건 필터링 과정으로 인하여 search space 가 이미 작아졌기 때문으로 해석할 수 있다.

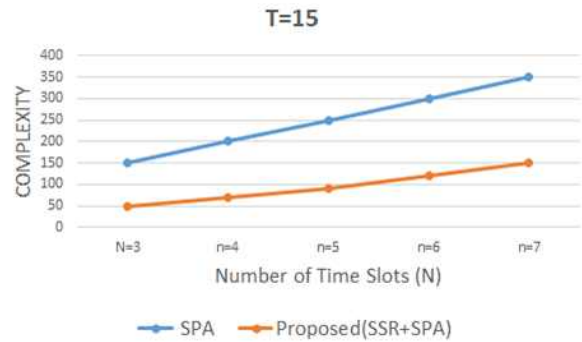


Fig. 3. Complexity vs. Number of Time Slots (T=15)

IV. Conclusions

본 논문에서는 단말의 사용자 환경에 관계없이 주어진 요구 조건을 만족하는 최소의 에너지를 소모하도록 전송에너지 값을 제공한다. 특히, 본 논문에서 제안하는 에너지 최적화 기법은 최적의 전송률 벡터를 탐색하는 데 필요한 복잡도를 시간슬롯 증가에 선형적 증가를 보이고 있는 장점을 가진다. 따라서, 전송에너지 최적화로 인한 에너지 효율뿐만 아니라, 최적의 전송률 벡터를 탐색 및 계산하는 과정에서 소모하는 프로세싱에너지의 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] Il-Min Kim, R. Yim, and H. Chaskar, Optimum scheduling for smart antenna systems in Rayleigh fading channels, IEEE Transactions on Communications, 53(7):1210 - 1219, July 2005.
- [3] Tao Shu and Marwan Krunz. Energy-efficient power/rate control and scheduling in hybrid TDMA/CDMA wireless sensor networks. Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking, Vol. 53 Issue 9, 1395-1408. June 2009.
- [4] Changyoon Oh, Energy Optimized Transmission Strategy in CDMA Reverse Link: Graph Theoretic Approach, Vol. 6, 2015.

- [5] Changyoon Oh Energy Optimal Transmission Strategy in CDMA System: Duality Perspective 61-66 vol 20 N0.9 2015 Journal of The Korea Society of Computer and Information.
- [6] Changyoon Oh Game Theoretic Approach for Energy Efficient Rate Scheduling on the interference channel 55-62 vol 19 N0.8 2014 Journal of The Korea Society of Computer and Information.
- [7] 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.
- [8] A. J. Goldsmith and S. G. Chua., "Variable-rate variable-power MQAM for fading channels," IEEE Transactions on Communications, 45:1218-1230, October 1997.

Author



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.