

다수 개의 액세스 포인트 환경에서 전송전력 제어

(Transmit Power Control for Multi-Access Points Environment)

오창윤^{1)*}

(Changyoon Oh)

요약 다중 액세스 포인트에서 적용을 위한 전송전력 알고리즘을 연구한다. 개별 단말은 여러 개의 액세스 포인트 중에서 하나의 액세스 포인트에 신호를 전송한다. 각각의 액세스 포인트는 수신이 예정된 단말로 부터 신호를 수신하기도 하지만, 인접한 단말들로 부터 간섭도 수신한다. 본 논문에서는 각각의 단말에 요구되는 신호대 간섭비를 만족하면서 모든 단말들의 총 전송전력이 최소화되도록 전송전력 알고리즘을 제안한다. 특히, 액세스 포인트 개수의 증가가 단말들이 소모하는 총 전송전력에 미치는 영향을 살펴본다. 이를 기반으로, 단말들의 총 전송전력을 최소화하는 반복적 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 목표 신호대 간섭비에 항상 수렴함을 이론적 기법을 통해 증명한다. 또한, 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 단말들이 소모하는 전송전력을 최적화함을 증명하도록 한다. 실험 결과를 통해 다음과 같은 두 가지 사항, 1) 제안하는 전송전력 최적화 알고리즘은 액세스 포인트 개수와 관계없이 목표로 하는 신호대 간섭비에 수렴하며, 이때 개별 단말들은 최적의 전송전력을 소모한다. 2) 통신시스템에 액세스 포인트의 개수가 증가할수록 단말들이 소모하는 전송전력은 감소함을 확인하였다.

핵심주제어: 액세스 포인트, 수렴, 전력제어, 신호대 간섭비, 전송전력

Abstract We investigate the transmit power control algorithm for multi-access points environment. Each terminal may transmit a signal to one of these access points. Each access point may receive a signal from desired terminals as well as interference from neighbor terminals. In this paper, a transmit power control algorithm is developed such that the total transmit power is minimized, while each terminal meets the target signal to interference ratio (SIR) requirement. In particular, the effect of increasing the number of access-points on the total transmit power consumption is analyzed. Based on this analysis, we propose a convergence guaranteed power control algorithm. We prove that the proposed iterative algorithm always converges to the target SIR. In addition, we show that the proposed algorithm optimizes the transmit power level. Simulation results show that the proposed algorithm guarantees convergence regardless of the number of access points. We also observed that increasing the number of access points reduces the total transmit power consumption.

Keywords: Access point, Convergence, Power control, SIR, Transmit power

* Corresponding Author: changyoonoh@inhac.ac.kr
Manuscript received March 27, 2020 / revised April 10,
2020 / accepted April 12, 2020

1) 인하공업전문대학 정보통신과, 제1저자

1. 서론

주파수를 재사용하는 통신시스템에서 간섭제어를 목적으로 전송전력 제어알고리즘을 제안한다. 통신링크의 송신단과 수신단 사이에서 발생하는 채널이득은 일반적으로 거리에 반비례하여 발생한다. 예를 들어, 거리가 멀어질수록 전송전력은 커진다. 따라서, 필요한 전송전력을 감소시키는 방법은 경로손실을 줄이는 방법이다. 한정된 주파수 자원을 효율적으로 사용하기 위해서는 통신링크 간에 주파수 재사용이 필요하다. 하지만, 주파수 재사용은 인접 통신링크끼리 간섭의 영향을 준다. 개별 통신링크에서의 효과적인 전송전력 제어가 인접 통신링크에 간섭을 줄여줄 수 있다. 본 논문에서는 다수 개의 액세스 포인트를 운용하여 인접한 액세스 포인트끼리 간섭을 주고받는 환경에서 전송전력 레벨을 결정하는 알고리즘을 제안한다. 간섭 문제를 해결하고자 MAC 레벨 (Hermeto et. al, 2017), Load Balancing 기법 (Kralevska et. al., 2018), 분산적 기법 (Hwang et. al., 2017)을 적용하여 간섭 문제를 해결하고자 하였다. Chung et. al. (2015)은 신호처리 기술을 수신단에서 빔포밍을 활용하여 간섭을 관리하고 있다. Razali et. al. (2014)는 HARQ (Hybrid ARQ) 기술을 적용하여 전송전력을 최적화하고 있다. Son and Kim (2004)는 라우팅 프로토콜을 고려하여 에너지 효율적 방법을 제안하였다.

Hua and Lau (2010)은 스케줄링과 토폴로지 제어를 접목하여 간섭 문제를 처리하였다. Barceló et. al. (2015)은 스케줄링, 라우팅 그리고 채널 할당을 활용하여 간섭 관리를 진행하였다. 수신단에서 빔포밍을 적용하여 간섭을 제어하는 방법도 연구되었다. Jayaprakasam et. al. (2017)은 전송전력과 빔포밍을 함께 적용하고 있으며, Du et. al. (2018)은 빔포밍을 기반으로 데이터 라우팅을 동시에 적용하고 있다. Cha (2014)은 센서네트워크의 에너지 효율적인 프로토콜을 제안하고 있으며, Choi (2012)은 클러스터링 프로토콜을 제안하였다. Yoo (2012)은 센싱 알고리즘의 소프트웨어 프레임워크를 다루고 있다.

기존 연구들은 하나의 액세스 포인트에 접속

하는 환경을 고려하고 있다. 따라서, 액세스 포인트끼리 간섭의 영향을 주지 않음을 가정하고 있다. 즉, 다른 액세스 포인트로부터의 간섭은 고려하고 있지 않다. 본 논문은 다음과 같은 두 가지 사실(Fact)에서 시작한다. 1) 액세스 포인트 개수의 증가는 액세스 포인트끼리 상호 간섭을 유발해 소모하는 전송전력의 증가라는 결과를 가져올 수 있지만, 2) 단말과 액세스 포인트 사이의 채널이득이 좋아져서 소모하는 전송전력을 감소시킬 수 있다. 그렇다면, 액세스 포인트의 개수를 늘리는 것이 소모하는 전송전력을 감소 측면에서 좋은 것인가? 이러한 질문에 대한 해답을 본 논문을 통해 얻고자 한다. 본 연구에서는 1) 액세스 포인트의 증가에 의한 간섭 환경을 극복하고자 반복적 알고리즘을 통한 전송전력 최적화 방안을 제안한다. 2) 액세스 포인트 개수의 증가가 소모하는 전송전력에 미치는 영향을 실험을 통해 살펴본다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2.1장에서는 고려하는 시스템 모델을 설명한다. 2.2장에서는 최적화하고자 하는 문제를 정의한다. 2.3장에서는 액세스 포인트의 증가가 전송전력에 미치는 영향을 살펴본다. 3장에서는 실험 결과를 분석한다. 4장에서는 본 논문을 요약 정리한다.

2. 시스템 모델 및 문제 정의

2.1 시스템 모델

Fig. 1은 시스템 모델이다. 단말은 하나의 액세스 포인트에 신호를 전송하며, 이때, 나머지 액세스 포인트에게는 간섭의 영향을 준다. h_{ij} 는 송신단 단말 i 와 수신단 액세스 포인트 j 사이의 채널이득이다. 액세스 포인트 l 에 신호를 전송하는 단말 그룹을 G_l ($l=1, \dots, L$)로 표시한다. 프로세싱 이득 (Processing gain) N 을 가지는 DS-CDMA (Direct sequence code division multiple access) 시스템을 고려한다. n 은 평균이 0, $E(nm^T) = \sigma^2 I_N$, 크기가 N 인 가우시안 벡터이다. 통신시스템은 L 개의 액세스 포인트를 운용한다.

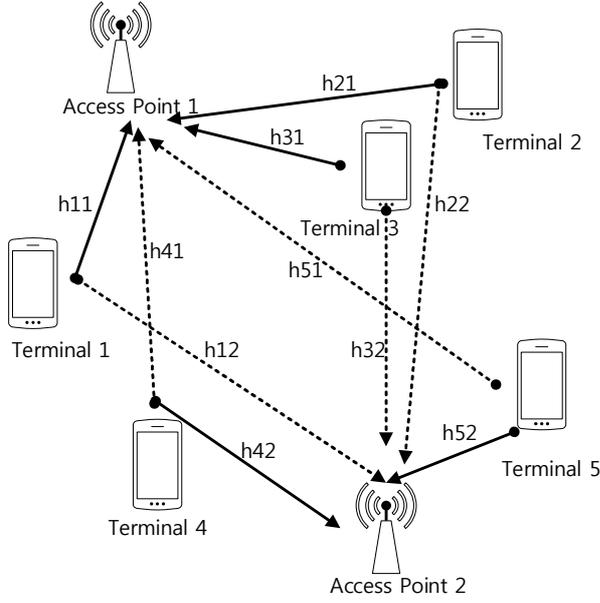


Fig. 1 System Model

2.2 문제 정의

단말에게 요구되는 신호대 간섭비 (SIR)는 γ^* 이며 식 (1)과 같다.

$$SIR \geq \gamma^* \quad (1)$$

본 논문에서의 최적화 문제는 식 (4)의 모든 단말들에 대하여, 신호대 간섭비 요구조건인 식 (3)을 충족하면서 단말들의 전송전력 합인 식 (2)을 최소화하는 것이다.

$$\min \sum_{l=1}^L \sum_{i \in G_l} p_i \quad (2)$$

$$\text{s.t. } SIR_i = \frac{p_i h_{ia(i)} (s_i^T s_i)^2}{P_{i,same} + P_{i,different} + P_{i,noise}} \geq \gamma^* \quad (3)$$

$$i = 1, \dots, K \quad (4)$$

p_i , $h_{ia(i)}$, 는 각각 단말 i 의 전송 전력, 단말 i 와 단말 i 가 접속한 액세스 포인트 $a(i)$ 사이의 채널 이득이다. s_i 는 길이 N 인 단말 i 의 시그너처 시퀀스이다. $P_{i,same}, P_{i,different}, P_{i,noise}$ 는 각각 단말 i 와 동일 그룹 단말로부터의 간섭, 단말 i

와 다른 그룹 간섭, 그리고 노이즈를 나타내며, 식 (5), (6), (7)과 같다.

$$P_{i,same} = \sum_{j \in NG_i} p_j h_{ja(i)} (s_j^T s_i)^2 \quad (5)$$

$$P_{i,different} = \sum_{k \notin G_i} p_k h_{ka(i)} (s_k^T s_i)^2 \quad (6)$$

$$P_{i,noise} = \sigma^2 (s_i^T s_i)^2 \quad (7)$$

최적화 문제인 식 (2), (3), (4)를 식 (8), (9), (10)과 같이 정리할 수 있다.

$$\min \sum_{l=1}^L \sum_{i \in G_l} p_i \quad (8)$$

$$\text{s.t. } p_i \geq \frac{P_{i,same} + P_{i,different} + P_{i,noise}}{(s_i^T s_i)^2 h_{ia(i)}} \gamma^* \quad (9)$$

$$i = 1, \dots, K \quad (10)$$

따라서, 최적화 문제는 식 (10)의 모든 단말들은 식 (9)의 최소 전송전력 요구사항을 만족하면서 식 (10)의 모든 단말들의 전송전력을 최소화하고 것이다. 식 (9)에서 다른 단말들의 전송전력이 단말 i 의 전송전력 요구조건을 결정함을 확인할 수 있다. 예를 들어, 다른 단말들의 전송전력을 작게 할수록 단말 i 의 전송전력 요구조건은 작아진다. 식 (9)에서 오른쪽 항을 함수화하여 표현하고, 이를 단말 i 의 간섭함수 (Interference function)로 정의하며, 식 (11)과 같다.

$$I_i(P) = \frac{P_{i,same} + P_{i,different} + P_{i,noise}}{(s_i^T s_i)^2 h_{ia(i)}} \gamma^* \quad (11)$$

$$P = [p_1, \dots, p_{k-1}, p_k, p_{k+1}, \dots, p_K] \quad (12)$$

$$I(P) = [I_1(P), \dots, I_K(P)] \quad (13)$$

여기서, 식 (12)는 모든 단말들의 전송전력 벡터이며, 식 (13)은 모든 단말들의 간섭함수벡터이다. 본 논문에서는 전송전력의 합인 식 (8)를 최소화하는 Iterative Algorithm을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 각각의 단말이 간섭함수인 식 (13)을 순차적으로 적용하면 모든 단말들의 전송전력 벡터는 수렴하게 된다. 또한, 수렴한 전송전력 벡터는 식 (8)를 만족하는 전송전력 벡터가 된다.

$$P(n+1) = I(P(n)) \quad (14)$$

식 (14)는 n 번째 Iteration에서의 간섭함수 $I(P(n))$ 을 이용해서 $n+1$ 번째 Iteration에서의 전송전력 $P(n)$ 으로 업데이트하는 과정이다. (Yates, 1996) 는 어떠한 함수가 세 가지 수렴조건을 충족하면 함수의 반복적 과정의 결과는 하나의 값에 수렴하고, 수렴된 결과값은 최소의 전송전력을 소모함을 수학적으로 증명하였다. 따라서, 전송전력의 최적화를 위하여 식 (13) 에서 제안한 함수가 세 가지 수렴조건에 충족되면 함수의 반복과정에 의해 수렴된 결과값은 유일한 (Unique) 최소 전력값이 된다. 이러한 함수를 Standard Interference Function이라고 부른다. Standard Interference Function을 충족하는 세 가지 조건은 아래와 같으며, Proposition 1, 2, 3을 통해 본 논문에서 제안하는 식 (13)이 Standard Interference Function임을 증명한다.

조건 1. Positivity:

$$I(P) > 0$$

조건 2. Monotonicity:

$$\text{If } P \geq \bar{P}, \text{ then } I(P) \geq I(\bar{P})$$

조건 3. Scalability:

$$\text{For all } \alpha > 1, \alpha I(P) \geq I(\alpha P)$$

Proposition 1. 식 (13) 은 Positivity를 만족한다. 즉, $I(P) > 0$ 이다.

증명)

식(7)에서 $P_{i,noise} = \sigma^2 (s_i^T s_i)^2 > 0$ 이며 요구하는 SIR 이 $\gamma^* > 0$ 이므로, 식 (15)가 성립한다. 즉, 항상 $I_i(P) > 0$ 이다.

$$I_i(P) = \frac{P_{i,same} + P_{i,out} + P_{i,noise}}{h_{ia(i)}} \gamma^* > 0 \quad (15)$$

따라서, $I(P) > 0$.

Proposition 2. 식 (11) 은 Monotonicity 를 만족한다. 즉, If $P \geq \bar{P}$, then $I(P) \geq I(\bar{P})$.

증명)

P 와 \bar{P} 를 각각 식 (16), (17) 와 같이 정의한다.

$$P = [p_1, \dots, p_{k-1}, p_k, p_{k+1}, \dots, p_K] \quad (16)$$

$$\bar{P} = [\bar{p}_1, \dots, \bar{p}_{k-1}, \bar{p}_k, \bar{p}_{k+1}, \dots, \bar{p}_K] \quad (17)$$

$P \geq \bar{P}$ 이므로, 개별 전송전력에 적용하면 식 (18)과 같다.

$$p_k \geq \bar{p}_k \quad (18)$$

전송전력 벡터 $P = [p_1, \dots, p_{k-1}, p_k, p_{k+1}, \dots, p_K]$ 의 간섭 성분은 식 (19), (20), (21) 과 같다.

$$P_{i,same} = \sum_{j \in NG_i} p_j h_{ja(i)} (s_j^T s_i)^2 \quad (19)$$

$$P_{i,different} = \sum_{k \in G_i} p_k h_{ka(i)} (s_k^T s_i)^2 \quad (20)$$

$$P_{i,noise} = \sigma^2 (s_i^T s_i)^2 \quad (21)$$

$\bar{P} = [\bar{p}_1, \dots, \bar{p}_{k-1}, \bar{p}_k, \bar{p}_{k+1}, \dots, \bar{p}_K]$ 에 대하여 간섭 성분은 식 (22), (23), (24) 와 같다.

$$\bar{P}_{i,same} = \sum_{j \in NG_i} \bar{p}_j h_{ja(i)} (s_j^T s_i)^2 \quad (22)$$

$$\bar{P}_{i,different} = \sum_{k \in G_i} \bar{p}_k h_{ka(i)} (s_k^T s_i)^2 \quad (23)$$

$$\bar{P}_{i,noise} = \sigma^2 (s_i^T s_i)^2 \quad (24)$$

동일 그룹 간섭인 식 (19), (22) 을 비교하면 식 (25) 와 같다.

$$\begin{aligned} P_{i,same} &= \sum_{j \in NG_i} p_j h_{ja(i)} (s_j^T s_i)^2 \geq \\ \bar{P}_{i,same} &= \sum_{j \in NG_i} \bar{p}_j h_{ja(i)} (s_j^T s_i)^2 \end{aligned} \quad (25)$$

다른 액세스 포인트 그룹 간섭인 식 (20), (23) 을 비교하면 식 (26)와 같다.

$$\begin{aligned} P_{i,different} &= \sum_{k \in G_i} p_k h_{ka(i)} (s_k^T s_i)^2 \geq \\ \bar{P}_{i,different} &= \sum_{k \in G_i} \bar{p}_k h_{ka(i)} (s_k^T s_i)^2 \end{aligned} \quad (26)$$

식 (21), (24)에 의하여 노이즈 간섭량은 동일하다. 따라서, 식 (25), (26) 에 의하여 식 (27)이 성립한다.

$$I_i(P) \geq I_i(\bar{P}) \quad (27)$$

그러므로, $I(P) \geq I(\bar{P})$.

Proposition 3. 식 (11) 은 Scalability를 만족한다. 즉, For all $\alpha > 1$, $\alpha I(P) > I(\alpha P)$.

증명)

$$I_i(\alpha P) = \frac{\alpha P_{i,same} + \alpha P_{i,different} + P_{i,noise}}{(s_i^T s_i)^2 h_{ia(i)}} \gamma^* \quad (28)$$

$$\alpha I_i(P) = \frac{\alpha P_{i,same} + \alpha P_{i,different} + \alpha P_{i,noise}}{(s_i^T s_i)^2 h_{ia(i)}} \gamma^* \quad (29)$$

식 (28), (29) 에서

$$\alpha P_{i,noise} > P_{i,noise}, \quad \alpha I_i(P) > I_i(\alpha P)$$

그러므로, $\alpha I(P) > I(\alpha P)$.

제안하는 Algorithm은 Fig. 2. 와 같다.

Step 1. 초기 전송 전력값

$$P = [0, 0, \dots, 0]$$

Step 2. 간섭함수로 전송전력 업데이트

$$P(n) = I(P(n-1))$$

Step 3. 전송전력 수렴 확인

If $P(n) \neq P(n-1)$,

$$n = n + 1;$$

Go to Step 2

else

Go to Step 4

Step 4. END

Fig. 2의 알고리즘은 식 (13) 에서 제안한 간섭함수가 전송전력값이 수렴할 때까지 반복적으로 수행하도록 도식화한 것이다. 제안하는 식 (13) 의 간섭함수는 Proposition 1, 2, 3 을 통해 Standard Interference Function 이 되기 위한 세 가지 수렴조건을 만족함을 증명하였다.

2.3 액세스 포인트 증가의 영향

엑세스 포인트의 증가가 총 전송전력에 주는 영향을 살펴보기 위하여, 전송전력, 수신전력, 채널이득, 요구하는 신호대 간섭비, 접속 단말 개수 간의 관계를 수식으로 살펴보기로 한다. 모든 단말들의 요구하는 신호대 간섭비가 γ^* 와 같이 동일하다고 가정하면, 전송전력 알고리즘이 수렴 후, 단말 i 의 전송전력은 식 (30), (31) 과 같게 된다.

$$p_i = Q_{Access\ Point\ i} \times \frac{1}{h_i} \quad (30)$$

$$Q_{Access\ Point\ i} = f(\gamma^*, K) \quad (31)$$

식 (30)은 전송전력 (Transmit power), 수신전력 (Received power), 그리고 채널이득 간의 관계를 나타낸다. 식 (31)은 수신전력 (Received Power)를 나타낸다. 단말 i 의 전송전력 p_i 는 $Q_{Access\ Point\ i}$ 에 대응되는 수신단에서의 수신전력 $Q_{Access\ Point\ i}$ 를 채널 이득 h_i 로 나눈 값이다. 수신전력 $Q_{Access\ Point\ i}$ 는 식 (31) 와 같이 요구하는 신호대 간섭비인 γ^* 와 알고리즘에 참여하는 모든 단말들의 개수인 K 값의 함수이다. 구체적으로, $f(\gamma^*, K)$ 는 모든 단말들의 전송전력과 채널이득을 행렬로 표현하고, 이를 역행렬을 구해서 얻을 수 있으며 식 (32)와 같다.

$$f(\gamma^*, K) = \frac{\gamma^* \sigma^2}{1 - \frac{\gamma^* (K-1)}{N}} \quad (32)$$

특히, $f(\gamma^*, K)$ 는 γ^* 와 K 의 증가에 지수적으로 증가한다. 서로 다른 액세스 포인트는 일반적으로 서로 다른 값을 가진다. 따라서, 요구하는 신호대 간섭비가 동일한 경우에는 하나의 액세스 포인트에서는 수신단에서의 수신 전력은 $Q_{Access\ Point\ i} = f(\gamma^*, K)$ 와 같이 동일하며, 전송전력

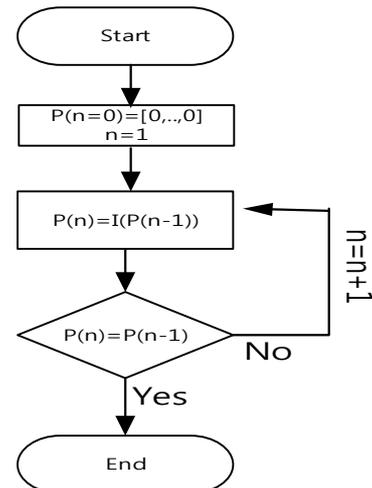


Fig. 2 Proposed Algorithm

은 $Q_{Access\ Point\ i} = f(\gamma^*, K)$ 를 채널이득, h_i 으로 나누어 식 (31)을 얻게 된다. 따라서, 액세스 포인트의 개수가 증가하게 되더라도 알고리즘에 참여하는 단말의 수가 일정하다면 수신 신호 전력은 동일하다. 하지만, 단말들은 좀 더 가까운 액세스 포인트에 접속하기 때문에 채널 이득 $h_{ia(i)}$ 가 커지게 되고, 전송전력은 감소하게 된다.

3. 실험 결과

실험 환경에서 간섭은 $\sigma^2 = 10^{-13}$ 이다. 프로세싱 이득 (Processing gain)은 $N=128$ 으로 설정한다. 요구하는 신호대 간섭비 (SIR)는 $\gamma^* = 5$ 이다. 송수신기 사이의 채널이득은 $\frac{r}{d^4}$ 이다. r 은 variance $8dB$ 인 log normal fading 이다. d 는 송수신기 사이의 거리이다.

Fig. 3 은 액세스 포인트 개수와 단말 수는 각각 $L=3, K=20$ 인 환경에서 전송전력 제어 알고리즘의 수렴도이다. 실험 목적은 알고리즘의 수렴성능을 보고자 함이다. 알고리즘에서는 모든 단말들의 전송전력 초기값은 0이다. 모든 링크에서 알고리즘은 10회 이하에서 목적으로 하는 SIR 값에 수렴하는 것이 확인되었다. 알고리즘 시작 신호대 간섭비 값이 작은 단말은 수렴 속도가 늦음을 확인하였다. 알고리즘 시작단계에서 모든 단말들의 전송전력은 0에서 시작한다. 알고리즘의 반복 과정에서 단말들의 전송전력이 업데이트되어 증가하게 된다. 이에 따라 신호대 간섭비도 증가한다. 전송전력이 수렴값에 도달하면 목표로 하는 신호대 간섭비에 도달하게 된다.

Fig. 4 에서는 액세스 포인트 개수를 다르게 설정 ($L=4$) 로 설정하였다. 목적은 액세스 포인트의 증가가 본 논문이 제안하는 반복적 알고리즘에 미치는 영향을 보고자 함이다. 마찬가지로, $K=20$ 개별 단말의 신호대 간섭비가 목표값에 수렴하고 있음을 보여준다. 액세스 포인트 개수의 증가에 상관없이 본 논문이 제안하는 알고리즘은 목표로 하는 신호대 간섭비에 수렴함을 확인하였다.

Fig. 5 는 액세스 포인트 개수가 $L=1,2,3,4$

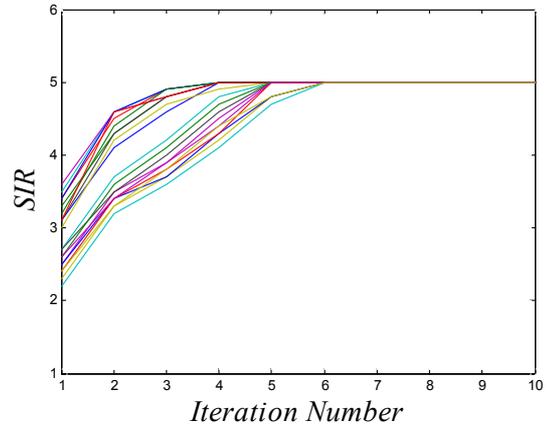


Fig. 3 SIR Convergence (L=3)

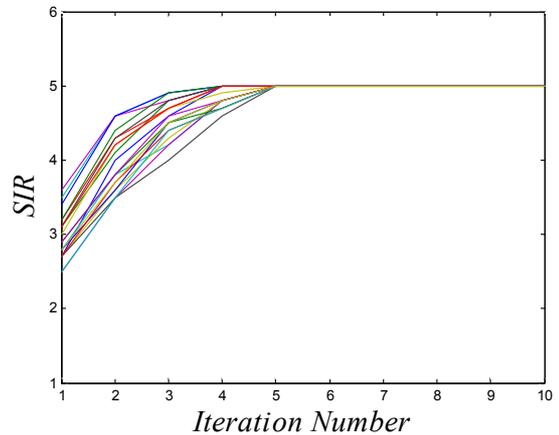


Fig. 4 SIR Convergence (L=4)

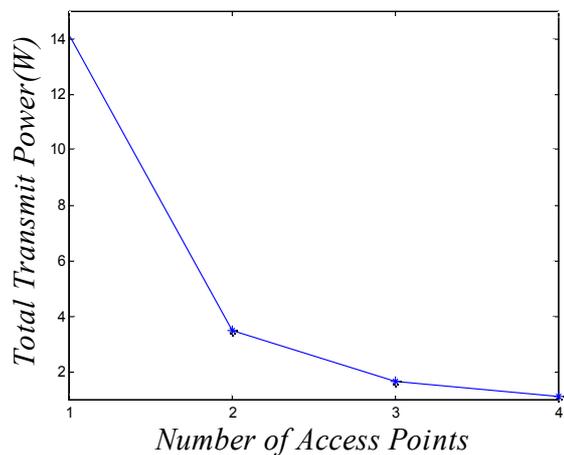


Fig. 5 Transmit Power Consumption

에 대한 $K=20$ 인 경우에 소모하는 총 전송전력을 보여준다. 목적은 기존 연구 결과(하나의 액세스 포인트만을 운용하여 액세스 포인트 간의 간섭을 고려하지 않은 기존 연구 결과)와 다수 개의 액세스 포인트를 운용하는 경우에 대한 소모 전송전력 성능을 비교하고자 함이다. 특히, 액세스 포인트가 하나인 경우 ($L=1$)는 액세스 포인트끼리의 간섭이 존재하지 않는다. 간섭을 고려하지 않은 경우로 본 논문에서 제안하는 사항인 ($L>1$) 인 경우와 소모하는 전송전력을 비교할 수 있다. 액세스 포인트가 증가할수록 소모되는 총 전송전력은 감소함을 확인할 수 있다. 즉, 액세스 포인트의 증가에 따른 간섭의 증가가 가져오는 소모하는 전송전력의 증가보다 액세스 포인트의 증가에 따른 채널이득의 증가가 가져오는 소모하는 전송전력의 감소가 더 크다는 점을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 액세스 포인트 간의 간섭의 영향을 줄 수 있는 환경에서 적용 가능한 전송전력 알고리즘을 제안하였다. 1) 제안하는 전송전력 알고리즘은 동일한 액세스 포인트에 접속하는 다른 단말들의 간섭의 영향뿐만 아니라, 인접한 액세스 포인트에 접속하는 단말들로부터 받는 간섭의 영향도 고려하였다. 2) 액세스 포인트 개수의 증가는 커버리지 확장 (Coverage extension) 효과로 인하여, 전송전력의 감소 효과를 가져온다. 전송전력의 감소는 인접한 단말들에게 간섭 세기의 감소 영향을 준다. 다만, 본 논문에서 제안하는 기술적인 사항은 크게 두 가지 부분이다. 1) 많은 수의 액세스 포인트 운용, 2) 단말의 실시간 전송전력 업데이트 수행능력이다. 셀룰라 시스템과는 다르게 저가 (Low cost)의 단말이 적용되는 센서 네트워크에서 많은 수의 액세스 포인트의 적용과 실시간 전송전력 업데이트는 현실적으로 부담이 될 수 있다.

References

- Barceló, M., Correa, A., Vicario, J., and Morell, A. (2015). Joint Routing, Channel Allocation and Power Control for Real Life Wireless Sensor Networks, *IEEE Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 26(5), 945-956.
- Cha, H. (2014). A Design of an Energy-Efficient Application Protocol for the Sensor Networks, *Journal of the Korea Industrial Information Systems Research*, 19(2), 23-30.
- Choi, H. (2012). CUCE: Clustering Protocol using Node Connectivity and Node Energy, *Journal of the Korea Industrial Information Systems Research*, 17(4), 41-50.
- Chung, S., and Joe, I. (2015). Intelligent Transmission Power Allocation for Distributed Beamforming in Wireless Sensor Networks, *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 11(6), 1-10.
- Du, R., Özçelikkale, A., Fischione C., and Xiao, M. (2018). Towards Immortal Wireless Sensor Networks by Optimal Energy Beamforming and Data Routing, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 17(8), 5338-5352.
- Hermeto, R., Gallais, A., and Theoleyre, F. (2017). Scheduling for IEEE802.15.4-TSCH and Slow Channel Hopping MAC in Low Power Industrial Wireless Networks: A Survey, *Computer Communications*, 114, 84-105.
- Hwang, R. H., Wang, C. C., and Wang, W. B. (2017). A Distributed Scheduling Algorithm for IEEE 802.15.4e Wireless Sensor Networks, *Computer Standards & Interfaces*, 52, 63-70.
- Hua, Q., and Lau, F. (2010). *Joint Link Scheduling and Topology Control for Wireless Sensor Networks with SINR*

Constraints, Handbook of Research on Developments and Trends in Wireless Sensor Networks: From Principle to Practice, IGI Global, pp. 184-208.

Kralevska, K., Vergados, D. J., Jiang, Y., and Michalas, A. (2018). Load Balancing Algorithm for Resource Allocation in IEEE 802.15.4e Networks, *2018 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops)*, pp. 675-680.

Razali, S. M., Mamat, K., Abdul-Basit K., and Ali, F. H. M. (2014). Performance Enhancement of Wireless Sensor Network (WSN) with the Implementation of Hybrid ARQ (HARQ) and Transmission Power Control (TPC), *2014 IEEE Conference on Wireless Sensors (ICWiSE)*, pp. 36-40.

Son, B., and Kim, J. (2004). Energy Efficient Routing Protocol in Wireless Sensor Network, *Journal of the Korea Industrial Information Systems Research*, 9(2), 65-73.

Yoo, S. (2012). A Software Framework for Verifying Sensor Network Operating and Sensing Algorithms, *Journal of the Korea Industrial Information Systems Research*, 17(1), 63-71.

Yates, R. (1996). A Framework for Uplink Power Control in Cellular Radio Systems, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 13(7), 1341-1347.

Jayaprakasam, S., Rahim, S., and Leow, C. (2017). Distributed and Collaborative Beamforming in Wireless Sensor Networks: Classifications, Trends, and Research Directions, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19(4), 2092-2116.



오 창 윤 (Changyoon Oh)

- 정회원
- 연세대학교 전기공학과 학사
- 펜실베이니아 주립대학교 전기공학과 석사
- 펜실베이니아 주립대학교 전기공학과 박사
- (현재) 인하공업전문대학 정보통신과 부교수
- 관심분야: 이동통신 표준화 PHY/MAC, D2D