

무선인지 환경에서의 송신전력 제어

임수열, 전형석, 김유민, 이혁재
한국정보통신대학교
{iamsyim, hschun, ymkim81, hjlee}@icu.ac.kr

Transmit Power Control for Cognitive Radio Networks

Sooyeol Im, Hyongsuk Jeon, Youmin Kim, Hyuckjae Lee
Information and Communications University (ICU)

요 약

최근 들어 cognitive radio(인지무선)이 주파수 사용의 효율성을 높일 수 있는 기술로서 관심을 받고 있다. 하지만 primary user(주 사용자)에게 면허권이 있는 주파수 대역을 secondary user(2 차 사용자)가 기회적으로 사용하기 위해선, 우선권이 있는 주 사용자의 quality of service(QoS) 요구사항이 보장되어야 하고, 2 차 사용자의 QoS 요구사항 또한 만족해야 자신이 신뢰성 있는 통신을 할 수 있다. 본 논문에서는 본래 셀룰라 네트워크에서 사용되던 송신전력 제어를 인지무선 환경에 적용해서, 주 사용자와 2 차 사용자의 QoS 요구사항을 동시에 만족시키는 송신전력 제어 방법을 제안한다. 제안하는 방법의 원리는 모든 2 차 사용자들의 통신으로 인해 주 사용자가 받는 interference temperature(간섭온도)가 주 사용자가 견딜 수 있는 한계보다 작도록 각각의 2 차 사용자의 송신전력을 제한하는 것이다.

I. 서론

최근 다양한 무선 서비스의 출현으로 인해 주파수 자원의 수요가 급증하고 있는 반면 공급은 한정되어 있어서 주파수 부족현상이 발생할 것으로 예상된다. Federal Communications Commission(FCC)의 조사결과 현재 거의 모든 주파수 대역의 사용률이 30% 정도로 낮다는 것이 알려졌다[1]. 이러한 비효율적인 주파수 사용의 원인인 현재의 고정된 주파수 관리 정책을 재검토한 결과, 2004 년에 FCC는 면허권이 없는 사용자가 TV 주파수 대역을 간섭 없이 융통성 있게 사용하는 것을 제안 하였다[2].

이러한 상황에서, FCC의 제안을 실현할 수 있는 기술로서 cognitive radio(인지무선)이 관심을 받고 있다. 인지무선 환경에서 TV와 면허권이 없는 사용자는 각각 주 사용자와 2 차 사용자이다. 즉, 주 사용자에게 면허권이 있는 주파수 대역을 인지무선 네트워크 내의 2 차 사용자가 해로운 간섭 없이 기회적으로 사용하는 것이 허용된다. 이러한 간섭의 정도를 정량화 하기 위해 interference temperature(간섭온도)라는 척도가 수립되었다 [1],[3]. 본래의 인지무선 기술은 2 차 사용자가 유휴 주파수 대역을 식별하고, 그 대역을 기회적으로 사용하는 것이다[4]. 하지만, 주 사용자가 주파수 대역을 사용하고 있더라도, 주 사용자의 interference temperature limit(ITL; 간섭온도 한계)를 넘지 않는 범위 내에서 2 차 사용자가 그 대역을 공유하는 좀 더 적극적인 인지무선 방식이 소개되었다[1].

본래 셀룰라 네트워크에서 사용되었던 송신전력 제어를 통해 2 차 사용자가 주 사용자의 간섭온도 한계를 넘지 않는 범위 내에서 주파수 대역을 공유할 수 있다. 하지만 인지무선 환경에서는 2 차 사용자의 quality of service(QoS) 뿐만 아니라 주 사용자의 QoS 도 보장해야 하므로, 송신전력 제어가 셀룰라 네트워크의 경우보다 복잡해진다. 주 사용자는 해당 주파수 대역의 면허권을 갖고 있으므로, 우선적으로 보호되어야 한다.

인지무선 환경에서 송신전력 제어는 크게 중앙 집중된 방법과 분산적인 방법으로 나뉜다. 중앙 집중된 방법은 중앙의 관리자가 필요한 모든 정보를 이용해서 자신이 담당하는 모든 2 차 사용자들의 송신전력을 제어하는 것이다. 반면에, 분산적인 방법은 각각의 2 차 사용자가 국부적인 정보만을 이용해서 자신의 송신전력을 스스로 제어하는 것이다. 하지만 각각의 사용자가 국부적인 정보만을 이용하여 모든 2 차 사용자에게 의한 주 사용자의 간섭온도를 알 수 없으므로 주 사용자의 QoS 요구사항이 보장되기 어렵다. 따라서 이를 위한 추가적인 과정이 필요하다. 주 사용자를 보호하기 위해 'Genie'를 사용하는 방법이 [5]에서 소개되었다. 하지만 이 방법은 추가적인 과정 때문에 송신전력 제어가 단번에 시행되지 못하는 단점이 있다.

본 논문에서는 인지무선 환경에서 추가적인 과정이 없는 분산적인 송신전력 제어 방법을 제안한다. 모든 2 차 사용자들의 통신에 의해 주 사용자가 받는 간섭에 대한 제한을 각각의 2 차 사용자의 송신전력에 대한 제한으로 바꿈으로써, 분산적인 방법을 사용해서 추가적인 과정 없이 쉽게 주 사용자를 보호할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서는 본 논문에서 사용된 시스템 모델이 소개되고, III 장에서는 분산적인 송신전력 제어를 다시 살펴보고, IV 장에서는 본 논문에서 제안하는 방법들을 설명하고, V 장에서는 모의 실험 환경과 결과들을 분석한다. 마지막으로 VI 장에서 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

A. 네트워크 구조

본 논문에서는 그림 1에 나타난 것처럼 하나의 주 사용자(TV)와 N 개의 2 차 사용자가 존재하는 인지무선 네트워크를 고려하였다. 이러한 환경에서, 스펙트럼은 겹치지 않는 직교한 채널들로 나누어지고, TV와 2 차 사용자들이 하나의 채널을 공유하는 상황이다. 각각의 사용자

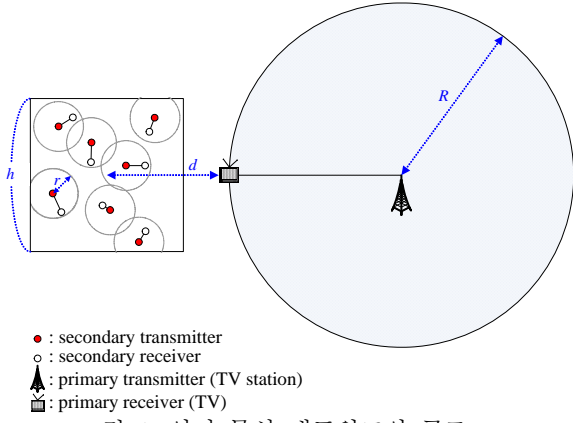


그림 1. 인지 무선 네트워크의 구조

들은 송신-수신 쌍으로 구성되고, 모든 2 차 사용자들은 $h \times h$ 의 정사각형 지역 내에 위치하고 있다. 그 지역의 중심과 주 수신기(TV 수신기) 사이의 거리는 d 이다. 각각의 2 차 사용자들의 전송 범위는 r 이다. 주 송신기(TV 국)의 송신전력은 P_{TV} 이고, 전송 범위는 R 이다. TV 수신기는 2 차 사용자와의 거리가 가장 가까운 전송 범위 경계에 위치해 있다.

송신전력이 오직 거리에 따라 감소하는 경로손실 모델을 가정하였고, TV 와 2 차 사용자의 경로손실 계수는 각각 α_1 과 α_2 이다. TV 국은 높은 TV 안테나이고 2 차 사용자들은 지면에 위치하므로, 2 차 사용자의 신호가 TV 국의 신호보다 상대적으로 빨리 감소한다. 따라서 TV 국의 경로손실 계수가 2 차 사용자의 그것보다 작다.

이러한 무선인지 환경에서, TV 와 2 차 사용자의 QoS 요구사항을 동시에 만족시키면서 TV 와 채널을 공유하는 2 차 사용자의 수를 최대 하도록 2 차 송신기의 송신전력을 제어하는 것이 목적이다.

B. 두 가지 QoS 요구사항

1) 주 사용자의 간섭온도

주 사용자는 그 채널의 면허권을 갖고 있기 때문에, 언제든지 통신할 수 있어야 한다. 그러므로, 모든 2 차 사용자들의 통신으로 인한 주 수신기에서의 총 간섭량이 주 수신기의 간섭온도 한계보다 작아야 한다. 간섭온도 한계는 주 사용자가 견딜 수 있는 간섭온도의 경계 값이다.

2 차 사용자 i 로부터 TV 수신기까지의 채널이득을 $G_{TV,i}$ 라고 정의하고, 2 차 사용자 i 의 송신전력을 P_i 라고 정의하면, 주 수신기의 QoS 요구사항은

$$\xi_{TV} = \sum_{i=1}^N G_{TV,i} P_i \leq \xi_{TV}^{thr} \quad (1)$$

로 표현되고, ξ_{TV}^{thr} 은 미리 정의된 주 수신기의 간섭온도 한계이다.

2) 2 차 사용자의 수신 SINR

2 차 사용자들이 주 사용자의 채널을 사용해서 신뢰성 있는 통신을 하기 위해선, 2 차 사용자의 수신 SINR 값이 신뢰성 있는 통신에 요구되는 경계 값보다 커야 한다.

2 차 사용자 j 로부터 2 차 사용자 i 까지의 채널이득을 $G_{i,j}$ 라고 정의하고, TV 국으로부터 2 차 사용자 i 까지의 채널이득을 $G_{i,TV}$ 라고 정의하고, TV 국의 송신전력을 P_{TV} 라고 정의하고, 수신기 잡음전력을 N_0 라고 정의하면, 2 차 사용자 i 의 QoS 요구사항은

$$\gamma_{SU_i} = \frac{G_{i,i} P_i}{\sum_{j=1, j \neq i}^N G_{i,j} P_j + G_{i,TV} P_{TV} + N_0} \geq \gamma_{SU_i}^{thr} \quad (2)$$

로 표현되고, $\gamma_{SU_i}^{thr}$ 은 미리 정의된 경계 값이다. 모든 2 차 사용자들이 식 (2)를 만족해야 한다.

III. 송신전력 제어

송신전력 제어의 본래의 목적은 사용자의 송신전력을 신뢰성 있는 통신을 위한 SINR 을 달성하는데 요구되는 최소한의 값으로 유지하는 것이다. 송신전력을 최소로 함으로써 에너지 효율을 최대로 할 수 있다.

2 차 사용자의 QoS 요구사항인 식 (2)는

$$P_i \geq \gamma_{SU_i}^{thr} \left(\sum_{j=1, j \neq i}^N \frac{G_{i,j}}{G_{i,i}} P_j + \frac{G_{i,TV}}{G_{i,i}} P_{TV} + \frac{N_0}{G_{i,i}} \right) \quad (3)$$

로 다시 표현될 수 있고, 이 식은 2 차 사용자 i 가 신뢰성 있는 통신을 하기 위해 요구되는 송신전력을 의미한다. 식 (3)을 2 차 사용자 i 가 아닌 모든 사용자에 대한 행렬 형태로 나타내기 위해서 $N \times N$ 의 행렬 \mathbf{H} 를

$$h_{i,j} = \begin{cases} \gamma_{SU_i}^{thr} \frac{G_{i,j}}{G_{i,i}}, & \text{for } i \neq j \\ 0, & \text{for } i = j \end{cases} \quad (4)$$

로 정의하고, $N \times 1$ 의 벡터 \mathbf{U} 를

$$u_i = \gamma_{SU_i}^{thr} \frac{G_{i,TV} P_{TV}}{G_{i,i}} + \gamma_{SU_i}^{thr} \frac{N_0}{G_{i,i}} \quad (5)$$

로 정의하면, 식 (3)은 $P_i \geq \sum_{j=1}^N h_{i,j} P_j + u_i$ 로 다시 쓰일 수 있다. 따라서 선형 부등식 (3)은 행렬 형태의 부등식인

$$(\mathbf{I} - \mathbf{H})\mathbf{P} \geq \mathbf{U} \quad (6)$$

로 표현될 수 있다. 여기서 \mathbf{I} 는 $N \times N$ 의 단위행렬이고, \mathbf{P} 는 송신전력 벡터 $\mathbf{P} = (P_1, P_2, \dots, P_N)^T$ 이다.

행렬 \mathbf{H} 의 최대 고유치 값이 1 보다 작으면, 식 (6)을 만족하는 음이 아닌 원소를 갖는 송신전력 벡터 \mathbf{P} 가 존재한다. 그러므로 $\gamma_{SU_i}^{thr}$ 을 달성할 수 있고, 이러한 경우에 Pareto 최적 송신전력 벡터는

$$\mathbf{P}^* = (\mathbf{I} - \mathbf{H})^{-1} \mathbf{U} \quad (7)$$

이다. 하지만, 사용자의 최대 송신전력이

$$0 \leq P_i \leq P_{SU_i}^{\max}, \text{ for all } i \in \{1, 2, \dots, N\} \quad (8)$$

와 같이 제한되므로, 식 (7)의 결과가 식 (8)의 범위 내에 있어야 알맞은 송신전력 할당이 된다. 식 (7)을 분산적으로 풀기 위해 [6]에서 소개된 2 차 사용자 i 에 대한 반복적인 송신전력 제어 방법은

$$P_i(t+1) = \frac{\gamma_{SU_i}^{thr}}{G_{i,i}} \left(\sum_{j=1, j \neq i}^N G_{i,j} P_j(t) + G_{i,TV} P_{TV} + N_0 \right) = \frac{\gamma_{SU_i}^{thr}}{\gamma_{SU_i}(t)} P_i(t), \quad t = 0, 1, \dots \quad (9)$$

이고, $\gamma_{SU_i}(t)$ 와 $P_i(t)$ 는 각각 t 번째 반복에서 2 차 사용자 i 의 수신 SINR 과 송신전력이다.

최대 송신전력의 제한 때문에, 식 (9)의 반복적인 방법은

$$P_i(t+1) = \min \left(\frac{\gamma_{SU_i}^{thr}}{\gamma_{SU_i}(t)} P_i(t), P_{SU_i}^{\max} \right), \quad t = 0, 1, \dots \quad (10)$$

와 같이 송신전력이 제한된 형태로 변경되어야 한다. 이것이 [7]에 소개된 DCPC이다. DCPC는 송신전력이 $P_{SU_i}^{\max}$ 인 사용자를 제외한 모든 사용자의 수신 SINR이 $\gamma_{SU_i}^{thr}$ 로 수렴한다.

DCPC 의 단점은 사용자가 신뢰성 있는 통신에 요구되는 SINR 을 달성할 수 없는 경우에도 그 사용자가 최

대 송신전력을 사용한다는 것이다. 따라서 그 사용자는 최대 송신전력을 사용하더라도 신뢰성 있는 통신을 할 수 없다. 이러한 점은 에너지 낭비의 원인이 되고, 다른 사용자에게 굉장한 간섭으로 작용한다.

이러한 DCPC의 단점을 보완하기 위해 GDCPC가[8]에서 소개되었다. 사용자가 신뢰성 있는 통신에 요구되는 SINR을 달성할 수 없으면, DCPC처럼 무조건 최대 송신전력을 사용하는 것이 아니라 자신의 송신전력 범위 내의 임의의 전력을 사용함으로써, 에너지 효율을 높일 수 있고 다른 사용자에게로의 간섭을 줄일 수 있다. 네트워크 내의 다른 사용자들이 간섭을 덜 받기 때문에, 그 사용자들은 같은 전력을 사용하더라도 더 높은 SINR을 달성할 수 있게 된다. 결국 DCPC의 경우보다 많은 사용자가 신뢰성 있는 통신을 할 수 있게 된다.

이러한 GDCPC에서, 2 차 사용자 i 에 대한 반복적인 송신전력 제어 방법은

$$P_i(t+1) = \begin{cases} \frac{\gamma_{SU}^{thr}}{\gamma_{SU_i}(t)} P_i(t), & \text{if } \frac{\gamma_{SU}^{thr}}{\gamma_{SU_i}(t)} P_i(t) \leq P_{SU}^{max} \\ \tilde{P}, & \text{if } \frac{\gamma_{SU}^{thr}}{\gamma_{SU_i}(t)} P_i(t) > P_{SU}^{max} \end{cases} \quad (11)$$

이고, \tilde{P} 는 $0 \leq \tilde{P} \leq P_{SU}^{max}$ 범위 내의 임의의 값이다. 낮은 \tilde{P} 를 선택할수록 다른 사용자에게 주는 간섭량이 작아지고, $\tilde{P} = P_{SU}^{max}$ 를 선택한다면 GDCPC는 DCPC와 같아진다.

IV. 인지무선 환경에서의 송신전력 제어

DCPC와 GDCPC는 식 (1)에 있는 주 사용자의 QoS 요구사항은 고려하지 않기 때문에, 그 결과가 주 사용자의 간섭온도 한계보다 클 수도 있다. 따라서, DCPC와 GDCPC를 인지무선 환경에 적용하기 위해선 추가적인 제한사항이 고려되어야 한다. [5]에서 이러한 제한사항을 보장하기 위한 과정이 본래의 송신전력 제어 과정에 추가되었다. 이러한 방법은 추가적인 과정 때문에 송신전력 제어가 단번에 실행될 수 없다.

이번 장에서는 추가적인 절차가 필요 없는 무선인지 환경에서의 분산적인 송신전력 제어 방법을 제안한다. 다시 말해서, 각각의 2 차 사용자가 주 사용자의 QoS 요구사항을 고려하면서 DCPC와 GDCPC를 시행하는 방법을 제안한다. 각각의 2 차 사용자는 국부적인 정보만을 이용해서 자신의 송신 전력을 제어하기 때문에, 네트워크 내의 다른 2 차 사용자의 송신전력을 알지 못한다. 그러므로 자신을 포함한 모든 2 차 사용자의 통신으로 인해 주 사용자가 받는 간섭온도를 알 수 없다. 하지만, 이번 장에서 제안하는 방법은 모든 2 차 사용자의 통신의 합에 대한 제한사항을 각각의 2 차 사용자의 개인적인 송신전력 제한으로 바꾸으로써 주 사용자의 QoS 요구사항이 쉽게 보장될 수 있다.

식 (1)에 있는 주 사용자의 QoS 요구사항은

$$G_{TV,i} P_i \leq \frac{\zeta_{TV}^{thr}}{N} \quad \text{for all } i \in \{1, 2, \dots, N\} \quad (12)$$

이 만족된다면 보장된다. 이 식은 모든 2 차 사용자의 통신으로 인해 주 사용자가 받는 간섭온도의 제한사항이 모든 2 차 사용자들에게 동등하게 나누어지는 것을 의미한다. 그러므로 식 (12)를 주 사용자를 보호하기 위한 2 차 사용자 i 의 송신전력 제한으로 바꾸면,

$$P_i \leq \frac{\zeta_{TV}^{thr}}{G_{TV,i} N} \quad (13)$$

으로 표현된다.

하지만 식 (13)에 나타난 것처럼, 각각의 2 차 사용자

가 네트워크내의 2 차 사용자 수 (N), TV의 간섭온도 한계 (ζ_{TV}^{thr}), TV 수신기와 자신 사이의 채널 이득 ($G_{TV,i}$)를 알아야 한다. 게다가 반복적인 방법을 사용하는 송신전력 제어 과정 동안 네트워크 상태가 변하지 않아야 한다. 즉 사용자들의 움직임이 없고, 그들간의 채널 상태가 변하지 않고, 총 사용자수가 변하지 않아야 한다. 각각의 2 차 사용자는 ad-hoc routing 프로토콜을 사용해서 네트워크내의 2 차 사용자의 수를 알 수 있다[9]. Ad-hoc routing에서는 네트워크내의 모든 사용자에 관한 연결 정보가 공유된다. [10]에서 소개된 beacon을 사용하는 방법처럼, TV 수신기가 beacon 전력과 자신의 간섭온도 한계에 관한 정보를 beacon에 실어서 전송하고 2 차 사용자가 그 beacon을 수신하면 TV 수신기와 자신 사이의 채널 이득 및 TV의 간섭온도 한계를 알 수 있다.

모든 2 차 사용자의 통신으로 인한 총 간섭량이 주 사용자의 간섭온도 한계를 넘지 않도록 각각의 2 차 사용자의 송신전력이 제한되므로, 주 사용자의 QoS 요구사항이 언제나 보장될 수 있다.

A. Autonomous DCPC

주 사용자의 QoS 요구사항을 보장하기 위한 추가적인 최대 송신전력 제한사항이 고려되어야 하므로, 2 차 사용자 i 의 최대 송신전력은

$$P_{SU_i}^{max} = \min \left(P_{SU}^{max}, \frac{\zeta_{TV}^{thr}}{G_{TV,i} N} \right) \quad (14)$$

로 다시 표현될 수 있다.

결과적으로, 2 차 사용자 i 의 t 번째 반복에서의 송신전력 갱신 방법은

$$P_i(t+1) = \min \left\{ \frac{\gamma_{SU}^{thr}}{\gamma_{SU_i}(t)} P_i(t), \min \left(P_{SU}^{max}, \frac{\zeta_{TV}^{thr}}{G_{TV,i} N} \right) \right\} \quad (15)$$

이다.

B. Autonomous GDCPC

Autonomous DCPC와 마찬가지로, autonomous GDCPC에서도 주 사용자의 QoS 요구사항을 보장하기 위한 추가적인 최대 송신전력 제한사항이 고려된다. 따라서 2 차 사용자 i 의 최대 송신전력은 autonomous DCPC와 같고, 2 차 사용자 i 의 t 번째 반복에서의 송신전력 갱신 방법은

$$P_i(t+1) = \begin{cases} \frac{\gamma_{SU}^{thr}}{\gamma_{SU_i}(t)} P_i(t), & \text{if } \frac{\gamma_{SU}^{thr}}{\gamma_{SU_i}(t)} P_i(t) \leq P_{SU_i}^{max} \\ \tilde{P}_i, & \text{if } \frac{\gamma_{SU}^{thr}}{\gamma_{SU_i}(t)} P_i(t) > P_{SU_i}^{max} \end{cases} \quad (16)$$

이고, 임의의 송신전력 값은 $\tilde{P}_i = \min(\tilde{P}, P_{SU_i}^{max})$ 이다.

V. 모의 실험

본 논문에서 제안하는 방법들의 성능을 증명하기 위해 이번 장에서는 몇 가지의 모의 실험 결과들이 제공된다. 그림 1의 인지무선 환경에서 본 논문에서 제안된 방법들의 성능을 평가한다. $N = 50$ 개의 송신-수신 쌍으로 구성된 2 차 사용자들이 $2000 \text{ m} \times 2000 \text{ m}$ 의 정사각형 지역 내에 위치하고 있다. 2 차 사용자들의 전송 범위는 $r = 200 \text{ m}$ 이다. 2 차 송신기들이 정사각형 지역 내에 균일하게 분포하고 있고, 2 차 수신기는 해당 송신기의 전송 범위 내에 균일하게 분포하고 있다. 2 차 사용자의 최대 송신전력은 $P_{SU}^{max} = 100 \text{ mW}$ 이고, TV 국의 송신전력은 $P_{TV} = 100 \text{ kW}$ 이고, TV 국의 전송 범위는 $R = 70 \text{ km}$ 이다. 수신기 잡음 전력은 $N_0 = 10^{-11} \text{ mW}$ 이다. 주 사용자와 2 차 사용자의 QoS 요구

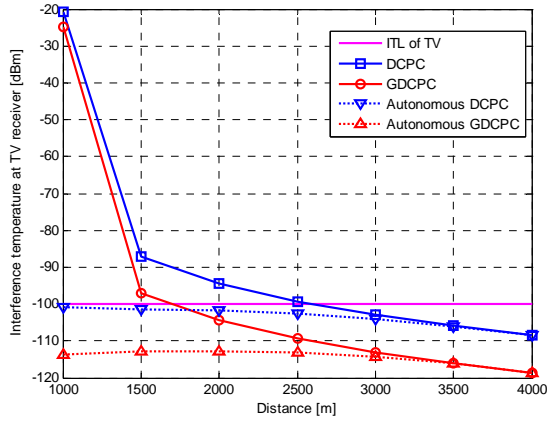


그림 2. TV 수신기에서의 간섭온도 비교

사항은 각각 $\xi_{TV}^{thr} = -100$ dBm과 $\gamma_{SU}^{thr} = 3$ dB이다. TV와 2 차 사용자의 경로손실 계수는 각각 3 과 4 이다. DCPC와 GDCPC의 반복적인 송신전력 갱신 방법에서 최초의 전력 값은 식 (8)의 범위에서 무작위로 선택되고, 제안된 방법에서는

$$0 \leq P_i \leq P_{SU_i}^{\max} \quad \text{for all } i \in \{1, 2, \dots, N\} \quad (17)$$

의 범위 내에서 무작위로 선택된다. GDCPC 에서 임의의 전력 값은 $\bar{P} = 0$ mW 를 선택하였다.

이러한 네트워크에서, TV 수신기와 정사각형 지역 중심 사이의 거리인 d 를 1000 ~ 4000 m 까지 변화시켰다. 거리 d 는 TV 수신기에서의 간섭온도에 영향을 미친다.

그림 2는 2 차 사용자들의 통신에 의한 TV 수신기에서의 간섭온도를 거리 d 에 대해 나타내었다. 전체적으로 거리 d 가 가까워질수록 TV 수신기가 받는 간섭온도가 커지지만, autonomous GDCPC의 경우에는 거리 d 가 매우 가까워지면 TV 수신기의 QoS 요구사항을 보장하기 위해 송신전력이 $\bar{P}_i = 0$ 으로 되는 2 차 사용자가 많아져서 간섭 온도가 오히려 작아진다. 또한 GDCPC가 DCPC보다 전력을 덜 사용하므로, GDCPC의 결과로 인해 TV가 받는 간섭온도가 DCPC의 결과에 의한 것보다 작다. DCPC와 GDCPC는 TV 수신기의 간섭온도 한계를 고려하지 않으므로, 거리 d 가 가까워지면 2 차 사용자들의 통신으로 인해 TV 수신기가 방해 받는다. 그림 2의 결과에서 볼 수 있듯이 본 논문에서 제안하는 방법의 결과가 TV 수신기의 간섭온도 한계를 넘지 않으므로 주 사용자인 TV 수신기를 보호할 수 있다.

그림 3은 신뢰성 있는 통신을 할 수 있는 2 차 사용자의 수를 거리 d 에 대해 나타내었다. 다시 말해서, 수신 SINR이 γ_{SU}^{thr} 이상인 2 차 사용자의 수를 나타내었다. DCPC와 GDCPC는 TV 수신기의 QoS 요구사항을 고려하지 않으므로 결과가 거리 d 에 관계없이 일정하지만, 거리 d 가 커질수록 TV로부터 받는 간섭이 작아지므로 결과가 약간 증가한다. 하지만 본 논문에 제안된 방법을 사용하면, TV 수신기를 보호하기 위한 최대 송신전력 제한이 신뢰성 있는 통신에 요구되는 수준보다 낮은 2 차 사용자가 존재하게 된다. 주 사용자인 TV가 우선적으로 보호되어야 하므로, 그러한 2 차 사용자는 그 네트워크 내에서 신뢰성 있는 통신을 할 수 없다. 또한 GDCPC는 다른 사용자에게 주는 간섭량을 줄이므로, DCPC의 경우보다 많은 2 차 사용자가 신뢰성 있는 통신을 할 수 있다.

거리 d 가 충분히 멀어지면 2 차 사용자의 통신이 TV 수신기에 거의 영향을 주지 않는다. 그림 2와 그림 3에 나타난 것처럼, 거리 d 가 충분히 멀어지면 이전의 방법들과 제안된 방법들의 결과가 같아진다.

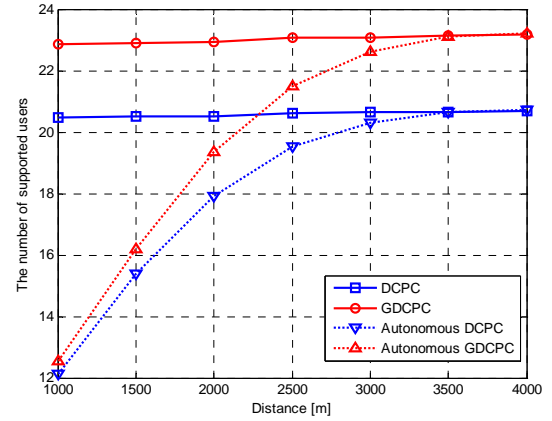


그림 3. 통신할 수 있는 2 차 사용자수의 수 비교

VI. 결론

본 논문에서는 주 사용자의 채널을 공유하는 2 차 사용자의 송신전력 제어에 대해 알아보았다. 이러한 인지무선 환경에서 주 사용자와 2 차 사용자의 QoS 요구사항을 동시에 만족시키는 2 차 송신기의 송신전력 제어 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 모든 2 차 사용자의 통신에 의한 간섭의 합에 대한 제한을 각각의 2 차 사용자의 송신전력 제한으로 바꿈으로써, 국부적인 정보만을 이용하는 분산적인 송신전력 제어에서도 쉽게 주 사용자를 보호할 수 있다. 모의 실험 결과를 통해, 제안된 방법이 주 사용자의 우선권을 보장하는 것을 확인하였다.

VII. 참고문헌

- [1] FCC, "Spectrum Policy Task Force," *ET Docket No. 02-135*, Nov., 2002.
- [2] FCC, "Notice of Proposed Rule Making," *ET Docket No. 04-113*, May, 2004.
- [3] FCC, "Notice of Inquiry and Notice of Proposed Rule Making," *ET Docket No. 03-289*, Nov., 2003.
- [4] S. Haykin, "Cognitive Radio: Brain-Empowered Wireless Communications," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 23, No. 2, Feb., 2005.
- [5] L. Qian, X. Li, J. Attia, and Z. Gajic, "Power Control for Cognitive Radio Ad Hoc Networks," *IEEE Local and Metropolitan Area Networks*, Jun., 2007.
- [6] G. K. Foschini and Z. Miljanic, "A Simple Distributed Autonomous Power Control Algorithm and its Convergence," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 42, No. 4, Nov., 1993.
- [7] S. A. Grandhi, J. Zander, and R. Yates, "Constrained Power Control," *Wireless Personal Communication*, Vol. 1, No. 4, Dec. 1994.
- [8] F. Berggren, R. Jantti, and S. Kim, "A Generalized Algorithm for Constrained Power Control With Capability of Temporary Removal," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 50, No. 6, Nov. 2001.
- [9] C. E. Perkins and E. M. Royer, "Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing," *IEEE Mobile Computing Systems and Applications*, Feb., 1999.
- [10] S. Mangold, A. Jarosh, and C. Monney, "Operator Assisted Cognitive Radio and Dynamic Spectrum Access with Dual Beacons," *IEEE Communication System Software and Middleware*, Jan., 2006.