JKIICE Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering

한국정보통신학회논문지(J. Korea Inst. Inf. Commun. Eng.) Vol. 21, No. 3 : 537~542 Mar. 2017

TDD 셀룰러 네트워크를 위한 간섭 정보 기반의 상향 링크 스케쥴링 기법

조문제 · 반태원*

Uplink scheduling scheme based on interference information for TDD cellular networks

Moon-Je Cho · Tae-Won Ban*

Department of Information and Communication Engineering, Gyeongsang National University, Tongyeong 53063, Korea

요 약

본 논문에서는 시분할 이중화 상향링크 셀룰러 네트워크에서 사용자의 복잡도와 오버헤드를 줄이기 위한 새로운 스케쥴링 방법을 제안한다. 시분할 이중 통신 네트워크에서 사용자들은 주변의 기지국들로부터 전송된 신호를 측정함으로써 주변 기지국으로 야기하는 간섭량을 추정할 수 있다. 이를 바탕으로, 기존의 max SGIR 스케쥴링 방식은 사용자들의 신호 대 발생 간섭의 비율 (SGIR)을 계산하여 기지국으로 피드백하고, 기지국은 가장큰 SGIR 값을 가지는 사용자를 선택하여 데이터를 전송하게 한다. 이 방식은 기지국의 수가 증가할수록 사용자들이 측정하는 간섭 채널의 수가 증가하여 사용자의 하드웨어와 알고리즘 복잡도가 증가하는 문제점을 가지고 있다. 본 논문에서는, 사용자가 발생시키는 간섭 중 가장 큰 단일 간섭 정보만을 사용하여 SGIR 값을 예측함으로써 사용자의 복잡도를 낮출 수 있는 max SmGIR 스케쥴링 방식을 제안한다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 성능 분석 결과에 따르면, 제안 방식은 이러한 낮은 복잡도에도 기존의 max SGIR 방식과 유사한 성능을 보였다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a new scheduling scheme to reduce the complexity and overhead in TDD uplink cellular networks. In a TDD network, users can estimate the interference causing to neighboring BSs by measuring the signals transmitted from them. In the existing max SGIR scheduling scheme, each user calculates SGIR and feeds back to BS. Then, the BS selects a user having the largest SGIR value to transmit data. This scheme has a problem that as the number of BSs increases, the number of interference channels to be measured by the users increases, and thus the hardware and algorithm complexity of the user increases. We propose a max SmGIR (Signal-to-max generating interference ratio) scheduling scheme that can reduce the user complexity by predicting the SGIR value based on only the largest interference information. According to computer simulations, the proposed scheme has similar performance to the existing max SGIR scheme despite this low complexity.

키워드 : 상향링크 무선 네트워크, 간섭 측정, 신호 대 발생 간섭 비, 스케쥴링

Key word : Cellular wireless networks, interference measurement, SGIR, scheduling

Received 06 December 2016, **Revised** 06 December 2016, **Accepted** 09 December 2016

* **Corresponding Author** Tae-Won Ban(E-mail:twban35@gnu.ac.kr, Tel:+82-55-772-9177)
Department of Information and Communication Engineering, Gyeongsang National University, Tongyeong 53063, Korea

Open Access http://doi.org/10.6109/jkiice.2017.21.3.537 print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

ⓒThis is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/li-censes/ by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright Ⓒ The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

Ⅰ. 서 론

차세대 이동통신 네트워크에서는 좁은 공간에 많은 기지국들이 배치됨으로써 공간 재사용률이 높아지며, 이를 통해서 데이터 전송 용량이 획기적으로 개선될 수 있다. 그러나, 무선 네트워크에서 공간 재사용률이 높아질수록 네트워크 내에 사용자 혹은 기지국들 간 간섭이 급격히 증가하여 주파수 효율성이 낮아지는 문제점이 나타난다[1]. 기지국이 송신기가 되는 하향 링크에서는 기지국의 위치가 고정되어 있고 송신기가 각종 전송 제어 기능을 직접 수행하므로, 이러한 간섭 상황에 대처하기가 용이한 반면, 단말기가 송신기가 되는 상향 링크에서는 송신기의 위치가 셀마다 매 순간 변할 뿐만 아니라, 송신기 역할을 하는 단말과 전송 제어 기능을 수행하는 기지국이 분리되어 있으므로 간섭으로 인한 성능 저하가 뚜렷해진다. 특히, 상향링크에서 단말이 인접 셀에 미치는 간섭 영향을 전혀 고려하지 않고, 단말이 연결된 기지국과의 채널 정보만을 고려하는 max SNR (signal-to-noise ratio) 스케쥴링 방식에서는 간섭으로 인한 전체 네트워크의 성능 저하가 더욱 심각해진다[2].

이러한 간섭 문제를 해결하기 위하여 다양한 상향 링크 스케쥴링 기법에 대한 연구가 진행되었다[3,4]. 먼저, min INR (interference-to-noise ratio) 스케쥴링 방식은 인접 셀에 야기하는 총 간섭의 양이 가장 적은 단말을 선택하여 데이터를 전송하게 한다[3]. 이를 통해서, 간섭의 영향이 심각한 상황에서 네트워크의 전체적인 성능 저하를 방지할 수 있지만, 단말이 연결된 기지국과의 채널 정보를 전혀 고려하지 않음으로써 성능 개선 효과가 나타나는 환경이 제한적일 뿐만 아니라, 성능 개선의 효과가 크지 않다. 반면에, max SGIR (signal-to-generating interference ratio) 스케쥴링 방식은 단말이 연결된 기지국의 신호 정보와 그 단말이 인접 셀에 야기하는 총 간섭량의 비율이 가장 큰 단말로 하여금 데이터를 전송하게 한다[4].

즉, 단말이 인접 셀에 야기하는 간섭이 적을수록 또는 연결된 기지국과의 채널 상황이 좋을수록 기지국에 의해서 선택될 확률이 높아지므로, max SNR 방식와 min INR 방식의 장점을 모두 가지고 있다. 이러한 max SGIR 기반의 스케쥴링 방식은 그 우수한 성능에도 불구하고 단말의 복잡도 측면에서 많은 문제점을 가지고 있다. 먼저, 본 논문에서 고려하고 있는 TDD (time division duplex) 네트워크에서는 채널의 reciprocity로 인해 단말이 기지국으로부터 수신된 reference 채널을 측정함으로써 자신이 그 기지국에 야기할 간섭량을 측정할 수 있으며, 특정 단말이 주변의 모든 기지국으로부터의 reference 채널들을 측정함으로써 자신의 주변의 모든 기지국에 야기하게 될 총 간섭량을 추정할 수 있다[5-9]. 그리고, 자신이 연결된 기지국으로부터 수신된 reference 채널을 측정함으로써 자신의 SGIR 값을 계산할 수 있다. 모든 단말들은 자신의 SGIR 값을 기지국으로 피드백하고, 각 기지국은 가장 큰 SGIR 값을 가지는 사용자를 선택하여 데이터를 전송하게 한다. 그러나 좁은 면적에 많은 기지국이 존재하는 밀집 네트워크에서는 단말이 자신이 야기할 간섭량을 측정하기 위하여 채널을 추정하여야 하는 인접 기지국의 수가 증가하게 되며, 이로 인해 단말의 복잡도가 기하급수적으로 증가하게 된다.

따라서, 본 논문에서는 max SGIR의 이러한 문제점을 해결하기 위하여 새로운 max SmGIR(signal-to-max generating interference ratio) 스케쥴링 기법을 제안한다. 제안한 max SmGIR 방식은 각 단말이 주변의 기지국들에게 발생시키는 간섭 중에서 가장 큰 하나의 간섭량만을 측정함으로써 기존의 max SGIR 방식 대비 단말의 채널 측정 복잡도를 획기적으로 감소시킬 수 있다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 본 논문에서 고려하는 시스템과 채널 모델에 대하여 설명하고, 본 논문에서 제안하는 사용자의 간섭 측정 오버헤드를 줄이는 방법에 대하여 기술한다. III장에서 제안 방식의 성능을 데이터 전송율 측면에서 분석한 후 기존 방식과 비교한다. 마지막으로, IV장에서 본 논문의 결론을 제시한다.

Ⅱ. 시스템 모델 및 제안 방식

본 논문에서는 TDD 기반의 상향링크 다중 셀 시나리오를 잘 묘사하는 Interfering Multiple-Access Channel (IMAC) 모델을 고려한다. 전체 네트워크에는 K개의 셀이 존재하고 각 셀에는 하나의 기지국과 N명의 사용자가 존재한다. 그리고 각 지기국과 사용자는 단일 안테나를 가진다.

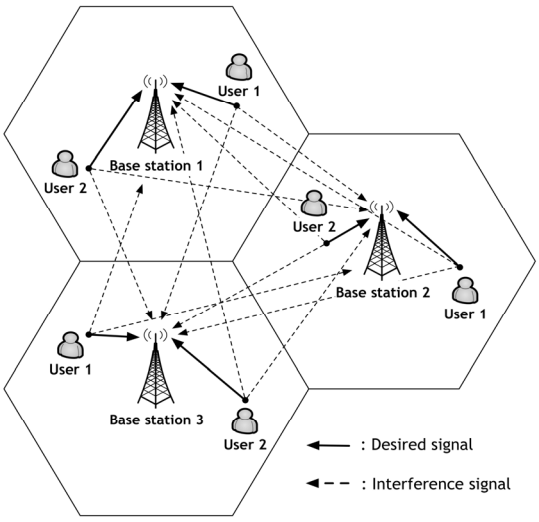

Fig. 1 System model and user signal flow where $K=3$ and $N=2$

그림 1은 기지국이 3개이고 각 기지국 당 사용자가 2명인 네트워크를 나타낸다. 각 기지국은 해당 셀 내에 있는 사용자들의 전송 제어만을 수행한다. 블록 페이딩을 가정하여 전송 블록 동안 채널 정보가 일정하게 유지되며, 모든 전송 블록 간에 독립적으로 그리고 확률적으로 변한다고 가정한다. $h_k^{[i,j]}$는 k번째 셀에 있는 사용자 i와 기지국 j간의 채널 벡터를 나타내며 $j,k \in \{1,\cdots,K\}$이고 $i \in \{1,\cdots,N\}$이다. 여기서 채널 모델을 단순화하기 위해서 모든 채널 벡터들은 평균이 0이고 분산이 1인 복소 가우시안 분포를 따르며 상호 독립이라고 가정한다. 모든 사용자의 전송 전력은 P로 동일한 것으로 가정한다. 백색 가우시안 잡음 밀도가 N_0일 때, P/N_0가 Signal to Noise Ratio (SNR)로 정의될 수 있다.

그림 2는 본 논문에서 제안하는 max SmGIR 기반의 스케쥴링 방식의 절차를 나타낸다. 먼저, 모든 기지국들이 고유의 파일럿 신호를 전송함으로써 각 사용자들은 주변 모든 기지국으로부터 수신되는 채널의 정보를 측정할 수 있다. 시분할 이중화 방식의 상호 호환성 특성을 이용하여 사용자들이 측정한 하향 링크 채널 정보는 상향 링크 채널 정보와 동일한 것으로 가정할 수 있다. 셀 k에 있는 사용자 i가 기지국 j에 발생시키는 간섭은 다음과 같이 계산될 수 있다.

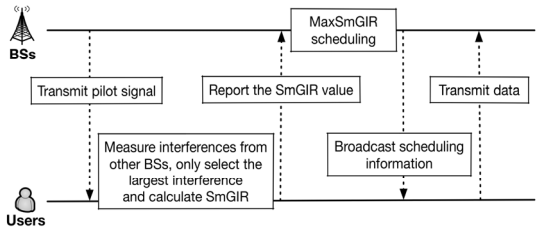

Fig. 2 Signalling procedure for proposed scheme

$$I_k^{[i,j]} = P\left|h_k^{[i,j]}\right|^2 \tag{2}$$

기존의 max SGIR 스케쥴링 방식에서는 셀 k에 있는 사용자 i가 주변 모든 기지국에 발생시키는 간섭의 총량은 다음과 같이 계산한다.

$$I_{conv,k}^i = \sum_{j=1, j\neq k}^{K} P\left|h_k^{[i,j]}\right|^2 \tag{3}$$

사용자는 자신의 SGIR 값을 결정한 후 기지국으로 피드백한다.

반면에, 제안 방식에서는 기존 방식과 달리 다음과 같이 자신이 발생시키는 간섭들 중에서 가장 큰 하나의 간섭만을 자신의 발생 간섭량으로 추정한다.

$$I_k^i = \max_{j, j\neq k} P\left|h_k^{[i,j]}\right|^2 \tag{4}$$

추정된 간섭량을 바탕으로 자신의 SmGIR 값을 계산하여 기지국으로 피드백한다. 각 기지국은 N명의 사용자가 피드백한 SmGIR 값들 중에서 가장 큰 값을 가지는 사용자를 선택하여 데이터를 전송하게 한다. 따라서 기지국 k에 의해서 선택된 사용자는 다음과 같다.

$$s_k = \arg\max_{i\in 1,\cdots,N} \frac{P\left|h_k^{[i,k]}\right|^2}{I_k^i} \tag{5}$$

Ⅲ. 성능 분석 및 결과

본 장에서는 다중 셀 기반의 TDD 상향링크 네트워크에서 제안한 방식의 성능을 분석하기 위해 Monte-Carlo기반의 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다.

시뮬레이션을 통해서 각 기지국에서 수신된 SINR값을 바탕으로 Shannon 공식을 적용하여 전체적인 평균 데이터 전송 효율을 분석하였다. 그리고 제안 방식의 성능은 기존의 max SNR 과 max SGIR 과 비교되었다. 여기서 max SNR 스케쥴링 방식은 인접 셀 간의 상호 간섭은 전혀 고려하지 않고 신호 세기가 가장 큰 사용자를 선택하는 반면, max SGIR 스케쥴링 방식은 각 사용자의 신호 세기 및 사용자가 유발하는 총 간섭량을 모두 고려하여 SGIR 지수가 가장 큰 사용자를 선택한다.

그림 3은 3개의 기지국이 존재하며 각 기지국 당 20명의 사용자가 서비스 받고 있는 경우에 기존 방식과 제안 방식의 평균 전송률의 합을 나타낸다. 제안 방식은 가장 큰 간섭만 측정함으로써 정확한 간섭 정보를 알 수 없음에도 불구하고 기존의 max SNR 보다 높은 전송률을 나타낸다. 그리고, 모든 간섭 정보를 측정하는 max SGIR 방식과 유사한 전송 효율을 나타낸다.

구체적으로, 낮은 SNR 환경에서는 간섭의 영향이 크지 않으므로 제안 방식은 max SGIR과 동일한 성능을 나타낸다. SNR로 증가할수록, 제안 방식의 전송률이 max SGIR 방식 대비 낮아지지만, 그 차이가 5% 이내에 불과하다. 그림 4는 사용자 수가 20명이고 SNR이 0dB일 때 기지국 수에 따른 전송률의 합을 나타낸다. SNR=0dB에서 기존 및 제안 방식은 기지국 수가 증가함에 따라 전체 전송률의 향상을 확인할 수 있다. 기존

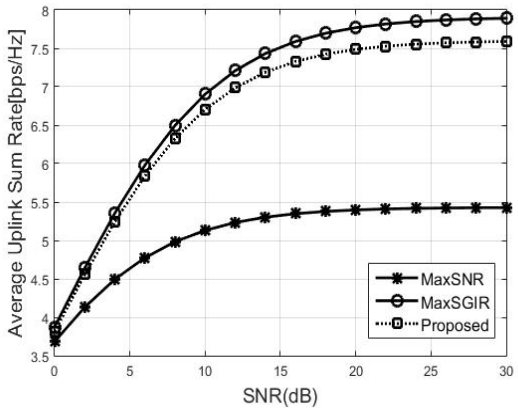

Fig. 3 Average sum-rates for varying SNR when $K=3$ and $N=20$.

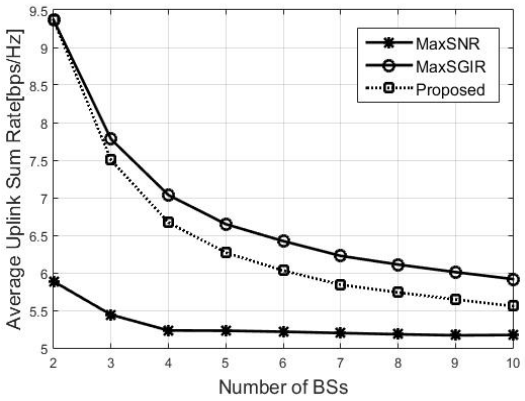

Fig. 5 Average sum-rates for varying the number of BSs when $N=20$ and SNR=20dB.

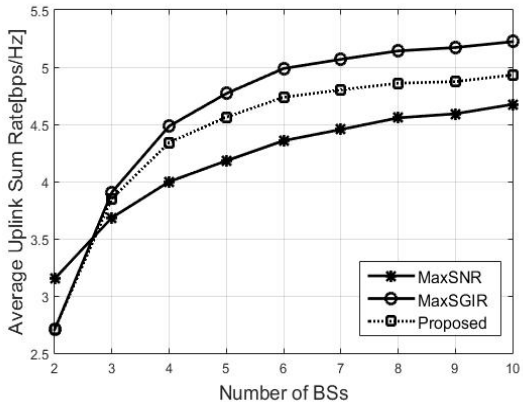

Fig. 4 Average sum-rates for varying the number of BSs when $N=20$ and SNR=0dB.

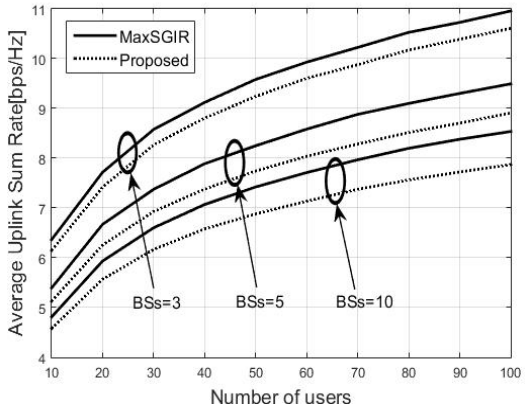

Fig. 6 Average sum-rates according to the number of users when $K=3,5,10$ and SNR=20dB.

max SGIR 방식은 기지국의 개수가 증가할수록 주변 간섭 정보를 측정하기 위한 오버헤드가 증가하는 반면, 제안 방식은 가장 큰 하나의 간섭 정보만을 측정함으로써 간섭 측정 오버헤드가 증가하지 않는다.

이때, 제안 방식의 max SGIR 대비 성능 저하는 5%보다 작다. 그림 5는 그림 4와 동일한 환경에서 SNR이 20dB일 때의 성능을 나타낸다. SNR이 높은 환경에서는 기지국의 개수가 증가할수록 간섭의 영향으로 전체적인 전송률은 감소한다. 또한, 기지국의 개수가 증가하더라도 Max SGIR과 제안 방식의 성능 차가 거의 일정하다는 것이 확인된다. 그림 6은 각 기지국 수가 3, 5, 10개이고 SNR=20dB일 때 사용자 수에 따른 전송률의 합을 나타낸다. 사용자 또는 기지국의 수의 증가할수록 간섭이 증가하여 모든 방식의 성능이 열화되지만, 제안 방식과 Max SGIR 방식의 성능 차이는 미미하다. Max SGIR 방식의 복잡도는 기지국의 수에 선형적으로 비례하는 반면, 제안 방식의 복잡도는 기지국 개수에 영향을 받지 않는다.

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 시분할 이중화 상향링크 셀룰러 네트워크에서 사용자의 간섭 측정 오버헤드를 줄이기 위한 스케쥴링 기법을 제안하였다. 기존의 max SGIR 스케쥴링 기법은 스케쥴링 지표에 사용자가 발생시키는 간섭 정보를 반영함으로써 성능을 획기적으로 개선할 수 있는 반면, 사용자들이 주변의 모든 기지국에 발생시키는 간섭을 측정하여야 하므로 알고리즘 및 하드웨어 복잡도가 증가하는 문제점이 있다.

본 논문에서 제안한 max SmGIR 스케쥴링 기법은 각 사용자가 주변 기지국들에 발생시키는 간섭 중에서 가장 큰 간섭 정보만을 측정하여 스케쥴링에 반영함으로써 이러한 복잡도를 획기적으로 개선할 수 있다. 제안 방식은 이러한 낮은 복잡도임에도 불구하고 기존 max SGIR 방식 대비 다양한 환경에서 5% 이내의 성능 저하만을 나타내었다.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by ICT R&D program of MSIP/IITP. [2015-0-00820, A research on a novel communication system using storage as wireless communication resource]

REFERENCES

[1] C. Yang, J. Li and M. Guizani, “Cooperation for spectral and energy efficiency in ultra-dense small cell networks,” *IEEE Wireless Communications*, vol. 23, no. 1, pp. 64-71, Feb. 2016.

[2] W. -Y. Sin, D. Park, and B. C. Jung, “Can one achieve multiuser diversity in uplink multi-cell networks?,” *IEEE Transactions on Communications*, vol. 60, no. 12, pp. 3535-3540, Dec. 2012.

[3] B. C. Jung and W. Y. Shin, “Opportunistic Interference Alignment for Interference-Limited Cellular TDD Uplink,” *IEEE Communications Letters*, vol. 15, no. 2, pp. 148- 50, Feb. 2011.

[4] B. Lee, H. Je. O.S. Shin, and K. B. Lee, “A novel uplink MIMO transmission scheme in a multicell environment,” *IEEE Transactions on Wireless Communication*, vol. 8, no. 10, pp. 4981-4987, Oct. 2009.

[5] 3GPP R1-114023, “Interference measurement based on CSI-RS,” Nov. 2011.

[6] 3GPP R1-081539, “UE interference measurement for CQI,” Apr, 2008.

[7] 3GPP R1-120377, “Additional results on CoMP interference estimation,” Feb. 2012.

[8] S. Nagata, W. Xi, X. Yun, Y. Kishiyama and L. Chen, “Interference Measurement Scheme for CoMP in LTE-Advanced Downlink,” *Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 2013 IEEE 77th, Dresden*, pp. 1-6, 2013.

[9] W. Xi, X. Yun, S. Nagata, Y. Kishiyama and L. Chen, “An enhanced interference measurement scheme for CoMP in LTE-Advanced downlink,” *2013 IEEE International Conference on Communications (ICC), Budapest*, pp. 4870-4874, 2013.

조문제(Moon-Je Cho)

2012년 8월 경상대학교 정보통신공학과 학사
2012년 9월 ~ 현재 경상대학교 정보통신공학과 석박사통합과정
※관심분야 : 이동통신, 신호처리, 다중안테나, 사용자 스케쥴링

반태원(Tae-Won Ban)

1998년 2월 경북대학교 전자공학과 학사
2000년 2월 경북대학교 전자공학과 석사
2010년 2월 KAIST 전기전자공학과 박사
2000년 2월 ~ 2012년 8월 KT 네트워크부문
2012년 9월 ~ 현재 경상대학교 정보통신공학과 부교수
※관심분야 : 이동통신, 자원관리, 간섭관리, 협력 및 중계통신, 인지통신, 주파수 공유