

# 인접 셀 간섭을 고려한 상향링크 전력제어 알고리즘 연구

하재우\*, 홍인기°, 나지현\*,  
 김경숙\*, 김대익\*

## A Study on the Uplink Power Control Algorithm Considering Inter-Cell Interference

Jae-Woo Ha\*, Een-Kee Hong°, Jee-Hyeon Na\*,  
 Kyung-Sook Kim\*, Dae-Ik Kim\*

### 요약

본 논문은 LTE 시스템 상향링크에서 인접 셀 간섭을 고려한 전력제어 기법을 제안하였다. 제안하는 기법을 통해 인접 셀에 간섭의 영향이 높은 UE(User Equipment)는 송신 전력을 낮추고 간섭의 영향이 낮은 UE의 송신 전력을 높여 인접 셀의 간섭을 줄이면서 셀의 수율을 높일 수 있음을 확인하였다.

**Key Words** : LTE, Uplink Power Control, Inter-cell Interference

### ABSTRACT

In this letter, we proposes uplink power control algorithm considering inter-cell interference in LTE system. The proposed algorithm mitigates the inter-cell interference by reducing transmit power of cell-edge UEs and provides better throughput by increasing transmit power of UEs that cause small inter-cell interference.

### 1. 서론

상향링크 전력제어는 셀 간 간섭을 제한하고 채널 페이딩을 보상하기 위해 필수적으로 필요하다. 따라서 상향링크 전력제어의 성능을 개선하기 위해 다양한 연구가 활발히 이루어지고 있다<sup>1,2</sup>. 전력제어에서는 User Equipment (UE)가 기지국으로부터 받은 신호를 통해 경로손실을 추정한 뒤 전력을 보상하는 개루프(Open Loop) 전력제어와 기지국이 내려주는 TPC(Transmit Power Control) 명령으로 전력을 조절하는 폐루프(Close Loop) 전력제어가 있다. 현재 사용되고 있는 상향링크 개루프 전력제어에서는 경로손실을 얼마나 보상해주는냐에 따라 인접 셀 간섭영향이 달라진다. 경로손실 값을 모두 보상하게 되면 (II장 식 (1)의  $\alpha$ 값을 1로 하였을 경우) 인접 셀 간섭 영향이 큰 셀 가장자리 UE의 경로손실을 모두 보상해주어 큰 전력으로 송신하게 되고 인접 셀 간섭이 커지게 된다. 일반적으로 인접 셀 간섭을 고려하여 사용하는  $\alpha$ 값은 0.7~0.8이다. 본 논문에서는 인접 셀 간섭 영향을 줄이고 전체 시스템의 수율을 올리기 위해 전력제어 파라미터 중 UE-Specific한 파라미터인  $P_{0,UE,PUSCH}$  값을 UE의 위치에 따라 다르게 설정하여 간섭 영향이 적은 UE의 송신전력을 높게 설정하고 간섭 영향이 큰 UE의 송신전력을 낮춰 셀 간 간섭을 줄이면서 시스템 전체 수율을 높이는 기법을 제안한다.

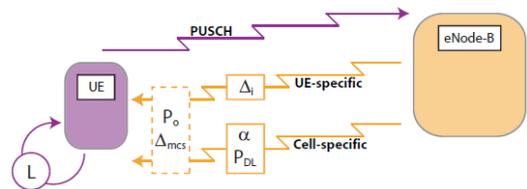


그림 1. 전력 제어 시그널링<sup>1)</sup>  
 Fig. 1. Power Control Signaling<sup>1)</sup>

\* 이 논문은 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터 (No.2014-0-00282, 초연결 스마트 서비스를 위한 5G 이동통신 핵심 기술 개발)와 과학기술정보통신부 및 정보통신기술진흥센터의 대학 ICT연구센터육성지원사업 (IITP-2017-2016-0-002 91)의 연구결과로 수행되었음

• First Author : (ORCID:0000-0002-3632-7318)KyungHee University Department of Electronic and Radio Engineering, hajaewoo@khu.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : (ORCID:0000-0001-5086-4008)KyungHee University Department of Electronic Engineering, ekhong@khu.ac.kr, 중신회원

\* (ORCID:0000-0002-4129-977X)Electronics and Telecommunications Research Institut, jhna@etri.re.kr, 정희원, dikim@etri.re.kr, newday@etri.re.kr

논문번호 : KICS2017-05-162, Received May 31, 2017; Revised November 14, 2017; Accepted March 3, 2018

## II. 기존 전력제어 알고리즘

상향링크 전력에서 Physical Uplink Shared Channel(PUSCH)의 전력제어는 식(1)과 같다<sup>3)</sup>.

$$P_{PUSCH} = \min \{ P_{CMAX,c} - P_{PUCCH}, P_{0,PUSCH} + \alpha \cdot PL_{DL} + 10 \cdot \log_{10}(M_{PUSCH}) + \Delta_{MCS} + \sigma \} \quad (1)$$

여기서,

$P_{CMAX,c}$  : 셀에 설정된 UE의 최대 전송전력

$P_{PUCCH}$  : PUCCH(Physical Uplink Control Channel)의 전송전력

$P_{0,PUSCH}$  : RB(Resource Block)별 할당되는 전력크기,  $P_{0,NOMINAL,PUSCH} + P_{0,UE,PUSCH}$ 로 결정

$P_{0,NOMINAL,PUSCH}$  : Cell-specific한 파라미터로(5-bit) [-127,-96]dB 사이의 값

$P_{0,UE,PUSCH}$  : UE-specific한 파라미터로(4-bit) [-8,7]dB 사이의 값

$\alpha$  :  $0 \leq \alpha \leq 1$ , 경로손실 보상 정도를 결정하는 파라미터

$PL_{DL}$  : 하향링크를 통해 UE에서 추정된 경로손실

$M_{PUSCH}$  : PUSCH전송에 할당받은 RB 개수로 표현된 대역폭

$\Delta_{MCS}$  : 특정 MCS level을 만족시키기 위한 SINR 보정 파라미터

$\sigma$  : TPC(Transmit Power Control)명령

$\alpha \cdot PL_{DL}$ 는 개루프 전력제어를 위한 값으로써 하향링크를 통해 추정된 경로손실 값에  $\alpha$  값을 곱하여 경로손실 보상 정도를 결정한다.  $\alpha$  값은  $0 \leq \alpha \leq 1$ 의 값으로 결정되는데  $\alpha$  값이 1일 때는 경로손실을 완전히 보상해 주어 큰 전력으로 송신하게 되고 셀 가장자리 UE들이 인접 셀에 끼치는 간섭의 영향이 크다.  $\alpha$  값을 낮추게 되면 인접 셀의 간섭 영향이 줄어들지만 UE 들의 경로손실을 보상해주는 정도가 낮아 수율이 줄어들게 된다. 간섭의 영향과 수율을 고려하여 일반적으로 사용되고 있는  $\alpha$  값은 0.7~0.8이다<sup>11)</sup>.

## III. 제안 전력제어 알고리즘

기존 방법에서  $\alpha$  값을 조절하여 인접 셀 간섭의 영향을 조절할 수 있지만 간섭을 줄이기 위해  $\alpha$  값을 낮추게 되면 UE의 경로손실 보상 값이 크게 줄어들어 낮은 전력으로 송신하여 수율이 줄어들게 된다. 따라

서 모든 UE에 대하여 일정한 경로손실 보상값을 적용하기 보다는 UE가 미치는 간섭 영향에 따라 경로손실 보상값을 다르게 설정하여 시스템 성능을 향상시킬 수 있다. 즉 인접셀 영향이 큰 UE에 대한  $\alpha$  값은 작게, 영향이 적은 UE는  $\alpha$  값을 크게 적용하는 것이 효과적이다. 하지만  $\alpha$  값을 셀내 모든 UE에 동일하게 적용되기 때문에 별도의 설정이 불가능하다.

본 논문에서는 UE별 위치에 따른  $\alpha$  값 조절과 동일한 효과를 얻기 위하여 UE별 설정 파라미터인  $P_{0,UE,PUSCH}$ 를 조절하여 인접 셀의 간섭을 최대한 줄이면서 수율을 높이는 방법을 제시하였다. 즉, 셀 안쪽 UE는 인접 셀 간섭 영향이 적기 때문에 큰  $P_{0,UE,PUSCH}$ 의 값을 설정하여 송신 전력을 높여 수율을 향상시키고 반대로 셀 가장자리에 위치한 UE는 인접 셀 간섭 영향이 크기 때문에 작은  $P_{0,UE,PUSCH}$ 의 값을 설정하여 전송 전력을 낮춰 간섭을 줄인다.

$P_{0,UE}$ 의 값을 결정하는 경계 값을 결정하기 위해 UE의 위치에 따라 인접 셀 간섭 영향을 측정하였다. 그림 2와 같이 5명의 UE를 기지국으로부터 거리(경로손실)가 동일하게 위치시키고 거리(경로손실)를 변형하면서 인접 셀 간섭을 측정하였다.

그림 3을 보면 경로손실(혹은 기지국과 UE의 거리)이 증가할수록 UE는 셀 가장자리에 위치하게 되고 인접 셀에 간섭영향이 커지게 된다. 인접 셀의 간섭이 커지기 시작하는 90부터 95, 100의 경로손실을 기준으로 경계 값보다 낮은 경로손실을 갖는 UE는  $P_{0,UE}$ 의 값을 +2dB 혹은 +3dB로 설정하고 경계 값보다 높은 경로손실을 갖는 UE는  $P_{0,UE}$ 의 값을 -1dB로 설정하여 인접 셀 간섭을 줄인다.

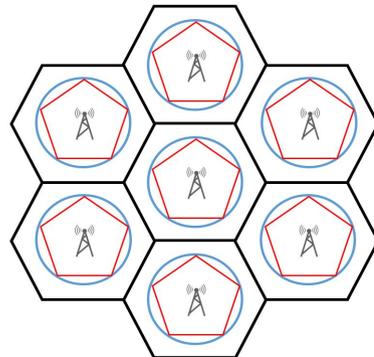


그림 2. 기지국과의 거리에 따른 인접 셀 간섭 영향을 측정하기 위한 UE 위치  
Fig. 2. UE location to measure inter-cell interference according to distance from base station

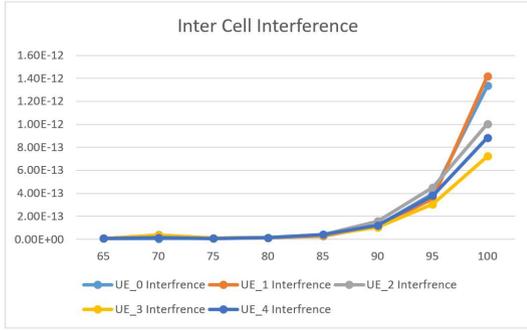


그림 3. 경로손실에 따른 UE별 인접 셀 간섭 영향  
Fig. 3. Effect of Inter-cell Interference per UE according to pathloss

#### IV. 시뮬레이션 및 결과

제안 알고리즘의 성능 분석을 위해 기존전력제어 방법과 알고리즘 적용 없이 셀 전체 UE의  $P_{0,UE}$  값을 +2~4dB로 설정한 방법, 제안 알고리즘 방법인 경로손실이 90, 95, 100을 기준으로 경계 값보다 작은 UE는  $P_{0,UE}$ 를 +2dB와 +3dB로, 경계 값보다 경로손실이 큰 UE는  $P_{0,UE}$ 를 -1dB로 설정하는 방법으로 각각 시뮬레이션 하여 간섭과 수율에 대한 결과를 얻었다.

시뮬레이션은 7개의 다중 셀에서 셀 당 5명의 UE가 임의로 분포하고 각 셀에서 UE는 Proportional Fairness(PF)방법으로 스케줄링 하였다. 500ms동안 시뮬레이션이 진행되었고 100번의 시뮬레이션 결과를 평균하여 분석하였다. 시뮬레이션에 사용된 파라미터는 표 1과 같다.

셀 전체 UE의  $P_{0,UE}$  값을 높게 설정하는 방법은 기존의 방법보다 수율이 올라가지만 인접 셀의 간섭이

표 1. 시뮬레이션 파라미터  
Table 1. Simulation Parameter

Parameter	Value
Simulation scenario	7 cell
Number of UE	5 UE per cell
System Bandwidth	10MHz
Number of RBs	50
Carrier frequency	2.0GHz
TTI	1ms
Max UE Tx Power	23dBm
UE Distribution	Random
Subcarrier BW	15kHz
$\alpha$	0.8

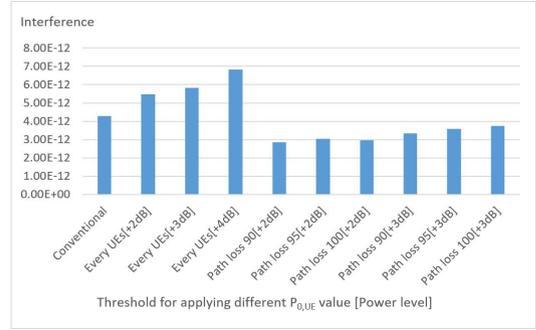


그림 4. 각 알고리즘 별 간섭  
Fig. 4. Interference for each algorithm

커지게 되는 것을 확인 할 수 있다. 또한  $P_{0,UE}$ 의 값이 +2dB에서 +4dB로 점점 올라갈수록 인접 셀에 끼치는 간섭 영향이 커져 오히려 수율이 점점 떨어지는 것을 알 수 있다. 따라서 경계 값을 기준으로 인접 셀에 간섭의 영향이 낮은 UE는  $P_{0,UE}$ 의 값을 높게 설정하고 인접 셀에 간섭의 영향이 큰 UE는  $P_{0,UE}$ 의 값을 낮게 설정하는 제안 알고리즘이 전체 시스템의 간섭을 줄이면서 수율을 더 높일 수 있음을 확인하였다. 전송전력을 높여 자신의 셀에 대한 수율을 높이는 것과 인접셀 간섭 영향을 줄이는 것 사이의 trade-off가 있고 제안 알고리즘 중 100dB의 경로손실 값을 경계 값으로 가지고 경계 값을 기준으로  $P_{0,UE}$ 의 값을 각각 +2dB, -1dB로 설정한 방법이 가장 성능이 좋았다. 경계 값이 90dB일 때는 경계 값 안쪽 UE의  $P_{0,UE}$ 의 값을 +3dB로 설정한 방법이 +2dB로 설정한 방법보다 더 높은 수율을 보이지만 100dB일 때에는 +2dB로 설정하는 방법이 더 높은 수율을 보이는데 이는 경계 기준 값이 커짐에 따라, 즉 셀 가장자리에 경계 값이 근접할수록 인접 셀에 간섭 영향을 크게 미치는 UE들도 높은 전력으로 송신하여 인접 셀 간섭이 커지기 때문

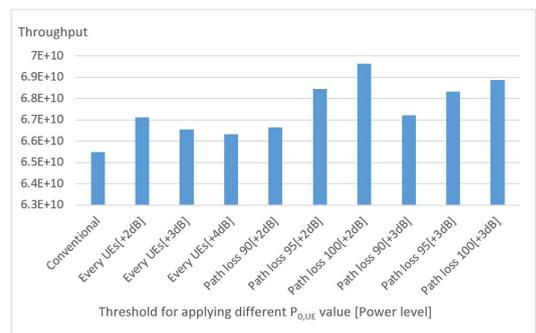


그림 5. 각 알고리즘 별 수율  
Fig. 5. Throughput for each algorithm

이다.

## V. 결 론

상향링크 전력제어에서 수율을 높이기 위해 셀 전체의 전력을 올리게 되면 인접 셀에 간섭 영향이 큰 셀 가장자리 UE들의 송신전력 또한 커져 간섭의 영향 또한 크게 작용한다. 본 논문에서 제안한 알고리즘으로  $P_{0,UE}$  값을 경로손실 기준 값을 토대로 인접 셀에 간섭 영향이 적은 UE의 전력은 높게 설정하고 인접 셀에 간섭 영향이 높은 셀 가장자리 UE의 전력은 낮게 설정하여 인접 셀의 간섭은 줄어들면서 수율을 높일 수 있음을 확인하였다.

## References

- [1] C. U. Castellanos, D. L. Villa, C. Rosa, K. I. Pedersen, F. D. Calabrese, P.-H. Michaelsen, and J. Michel, "Performance of uplink fractional power control in UTRAN LTE," in *Proc. IEEE Veh. Technol. Conf.*, pp. 2517-2521, May 2008.
- [2] T. W. Ban and B. C. Jung, "Interference analysis based on system level simulation in LTE networks," *J. KICS*, vol. 16, no. 11, pp. 71-77, Nov. 2012.
- [3] 3GPP, Evolved Universal Terrestrial Radio Access, Physical channels and modulation, *3GPP TS 36.211 v11.0.0*, Oct. 2012.