

LTE 자가 구성 네트워크망에서 물리적 셀 ID할당 방법 연구

A Study of PCI (Physical Cell Identification) Assignment in LTE (Long Term Evolution) SON (Self-Organization Network)

양 모 찬*★

Yang Mochan*★

Abstract

In this paper, the author analyzed the PCI (Physical Cell Identification) allocation methods in the LTE (Long Term Evolution) SON (Self Organization Network) environment. A variety of techniques have been proposed for how to allocate PCI, and the LTE standard fundamentally explained that collision between a cell and neighbor cells arise while a cell assign the PCI. Therefore, in this paper, the author examined the scenarios of PCI collision, weak collision, and confusion proposed by LTE specification. In addition, the cell central approach and the distributed approach were discussed as solutions for each scenario. In this paper, the author reviewed the approach of graphic coloring technique which was studied recently and explained the strategy of central approach.

요 약

본 논문에서는 LTE(Long Term Evolution) SON(Self Organization Network) 환경에서 PCI(Physical Cell Identification)를 할당하는 방법에 대하여 분석하였다. PCI를 할당하는 방법에 다양한 기법들이 제시되었고 규격에서는 기본적으로 PCI를 할당하는 과정에서 다른 셀과 ID가 '충돌'(Collision) 또는 '혼란'(Confusion)을 일으킬 수 있다는 것을 제시하였다. 따라서 본 논문에서는 LTE 규격에서 제시하는 PCI '충돌', '약한충돌'(Weak Collision) 그리고 '혼란'의 시나리오가 무엇인지 내용을 살펴보았다. 또한, 각 시나리오에 대한 해결 방법으로 셀 중앙적접근과 분산적 접근 방법에 대해 살펴보았다. 논문에서는 최근 연구되고 있는 그래픽 컬러링(Graphic Coloring) 기법에 대한 접근 방법에 대해 살펴보았고 중앙접근적 방법에 대한 전략에 대해 설명하였다.

Key words : Self Organization Network, Physical Cell Identification Assignment, Long Term Evolution, PCI Collision, PCI Weak Collision, PCI Confusion, Graph Coloring

1. 서론

소형기지국(Femto Cell)은 LTE(Long Term Evolution) 또는 LTE-Advanced에서 HeNB(Home enhanced

Node Base station)라고 공식적으로 불리는 AP (Access Point)는 실내 환경에서 신호 통달거리를 확장이 가능하고, QoS(Quality of Service)를 향상시킬수 있으며, 데이터 트래픽을 실내 기지국으로

* Land System Team, Hanwha Systems

★ Corresponding author

E-mail : ymc0124@hanwha.com, Tel : +82-31-8091-7310

Manuscript received Sep. 2, 2019; revised Sep. 25, 2019; accepted Sep. 26, 2019.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

이전하여 사용자에게 고품질의 통신서비스를 제공하는 것이 가능하다[1-4].

소형셀의 필요성은 스마트폰, 태블릿, 웨어러블 기기의 증가로 인해 모바일 데이터 사용량이 급속도로 증가한데 있다. 소형 기지국을 운용시 대형 기지국과 비교하여 운용비용이 현저하게 감소하고 실내 환경에서는 통달거리나 높은 데이터 용량을 제공한다. 소형 기지국의 운용은 LTE에서부터 시작되었지만 5G의 주요 요소로 고려된다.

소형셀에서 효율적 기지국 설계는 비용적인 측면을 고려하여 SON(Self Organization Network) 기술을 활용하는 것을 적극 고려중이다. SON 기술은 크게 나누어 Self-Configuration, Self-Optimization, Self-Healing으로 구성된다[5-6].

Self-Configuration 기술은 주로 셀을 초기단계에 설정하는 부분을 담당하는데, 주요 기술로는 각각의 셀이 처음 셀을 생성 시에 충돌이나 혼란을 방지하기 위한 PCI(Physical Cell Identity)를 생성하는 기술이 있다. ANR(Automatic Neighbor Relation)은 셀 초기 생성 시 주변 셀이 사용하는 PCI를 파악하여 자동으로 주변 셀 테이블을 생성하고 관리한다[7-10].

Self-Optimization은 Self-Configuration 이후 생성된 셀을 최적의 상태로 유지시켜주는 셀 계획법이다. 주로 셀과 셀 사이의 핸드오버나 셀이 허용하는 커버리지 그리고 셀 간 간섭의 기술이 여기에 해당한다. 또한 Self-Optimization은 Self-Configuration의 네트워크 설정 후에 전파 경로 환경이나 트래픽 행동, 기지국 배치 변화와 같은 네트워크 환경의 변화에 따라 최적의 파라미터를 설정하기 위하여 필요하다[5].

마지막으로, Self-Healing은 Self-Optimization에서 셀의 관리가 실패한 항목들을 찾아내고 해당하는 파라미터를 조정하는 단계이다. 위 3가지 Self-Configuration, Self-Optimization, Self-Healing은 상호 연관적이고 보완적이다[5].

본 논문에서는 위 기술 중에서도 Self-Configuration의 PCI (Physical Cell Identification) 할당 기술에 대해 분석하였다.

II. PCI 충돌 및 시나리오

1. PCI 충돌 및 혼란 시나리오 및 배경

LTE 네트워크에서 셀 ID는 504 개의 PCI(Physical Layer Cell Identities)를 기반으로 한다.

$$PCI = 3 \times N_{ID}^1 + N_{ID}^2 \quad (1)$$

총 168개의 물리적 셀 ID 그룹과 3개의 특정한 셀 섹터 ID를 고려한다. 각 PCI는 셀의 PSS(Primary Synchronization Signal)과 SSS(Secondary Synchronization Signal)로 구분되고 PSS 신호는 셀 섹터 ID에 기반하여 생성이 되고 SSS 신호는 셀 그룹 ID에 기반하여 생성된다[6]. PCI가 동일한 경우 동기 신호가 충돌이 발생하여 단말이 기지국으로 접근조차 못하는 경우가 발생한다. 또한 PCI는 채널을 추정하기 위한 참조 신호(Reference Signals)의 RB(Resource Block) 위치를 구분하기 위한 파라미터로 사용되어 PCI가 채널추정 신호의 RB 사용이 유사 패턴을 가지는 경우 셀과 셀사이 간섭을 발생시켜 결과적으로 채널 추정 성능을 떨어뜨려 전체적인 모뎀 성능 열화를 발생시킨다. 이와같은 심각한 문제점을 인지하여 LTE 규격에서는 PCI를 할당하는 과정에서 생길 수 있는 문제점을 시나리오로 규격화 하였다[11].

- (1) 충돌 ('Collision') : 같은 셀 ID가 이웃하는 셀에서 사용되는 경우 동기를 추정하는 신호의 강한 간섭으로 Call Fail이 발생하게 되고 단말이 네트워크에 접근하지 못하는 현상이 발생하게 된다.
- (2) 약한 충돌 ('Weak Collision') : 이웃하는 셀이 다른 셀 ID를 사용하여도 참조신호가 동일한 시간 및 주파수 자원을 사용하는 경우이다. 이와 같은 경우는 LTE에서 정의된 PCI modulo 6 라는 기준을 사용하면서 생기는 결과이다 [6]. 참조신호는 6의 값을 차이로 반복되는 시간-주파수 사용 패턴을 가진다. 예를들어, PCI 1과 7은 동일한 시간-주파수를 사용한다는 것이다. 이와 같은 문제는 채널추정시 이웃 셀에 의한 간섭으로 인해 성능을 급격하게 열화시켜서 call drop을 야기할 수도 있다.
- (3) 혼란 ('Confusion') : 어떤 한 개의 셀이 동일한 PCI를 가지는 두 개 이상의 이웃셀과 인접한 경우이다. 이러한 경우 기지국은 두 개 기지국을 구별하지 못하게 되는 문제점이 발생한다. 결국 이 문제는 UE가 다른 셀로 핸드오버 할 때 잘못된 기지국으로 데이터를 오프로딩('offloading') 하면서 핸드오버가 실패하게 될 확률을 높이게 된다.

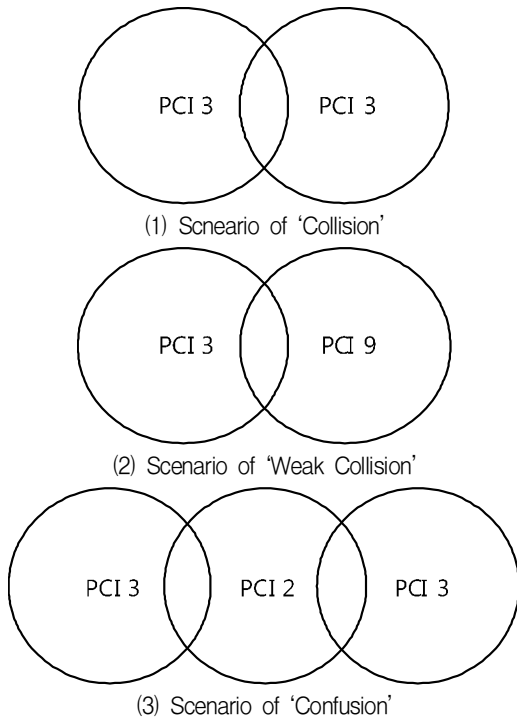


Fig. 1. Scenarios of 'Collision', 'Weak Collision', and 'Confusion' in PCI allocation.

그림 1. PCI 할당에서 '충돌', '약한충돌' '혼란' 시나리오

약한 충돌에서 문제점을 해결하기 위해서 LTE 표준 Release 11에서는 FeICIC (Further Enhanced Intercell Interference Coordination) 기술로 수신단 측에서 간섭을 제거하는 방법에 대해 제시되었다 [12]. 기본적인 접근방법은 가장 강한 간섭 신호를 결정하고 제거하는 방법이다. 이 동작을 가능하게 하기 위해서는 UE에서 추가적인 자원 사용에서 손해가 있어야 하는데 PDSCH를 전달하지 않는 ('muting') 하는 방식이기 때문이다. 이와 같은 trade-off로 인해서 약한 충돌에서 간섭 발생은 계속 이슈로 남아있게 된다.

III. 자동 PCI 할당 관련 연구

3GPP 규격에서 접근 하는 SON PCI 할당 방법은 중앙집중적 접근 방법과 분산적 접근 방법으로 나누어 볼 수 있다. 중앙집중적 접근 방법은 OAM (Operation, Administration and Maintenance) 시스템에서 모든 기지국을 직접 관리하여 PCI를 할당하는 방법이고, 분산적 접근 방법은 기지국이 OAM에서 전달한 PCI 세트를 전달받아 그 중에 임의로 셀 ID를 선택하는 방법이다. 분산적 접근 방

법은 약한 충돌의 가능성이 존재한다.

1. 요구사항을 고려한 전략적 PCI 할당 방법

2.1에서 살펴본 '충돌', '약한충돌', '혼란'의 상황을 고려하여 전략적인 PCI 할당 방법이 제시되었다 [13]. 기본적으로 동일한 PCI 값을 공유하는 C1 과 C2 사이에 있는 셀의 개수를 여유도 즉, 'SM (Safety Margin)'이라 명한다. 그림 2에서 보는 것처럼 SM이 0이면 바로 인접한 이웃간에 동일한 PCI를 공유하여 충돌이 나게된다. 문제를 방지하기 위해서 SM을 2로 고려하면 충돌은 회피가 되고 혼란까지도 방지되는 것이 가능해진다.

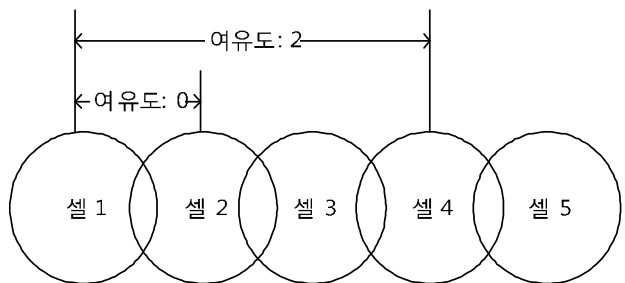


Fig. 2. Example of Safety Margin between cells.

그림 2. 셀과 셀사이에서 Safety Margin의 예

셀 확장 개념에서 더 큰 SM이 필요하게 되는데, 이때 새로 PCI 값을 배정하지 않아도 더 큰 SM을 사용하여 새로운 셀에 기존에 사용하던 PCI 값을 할당하는게 가능해진다.

2. 그래프 컬러링 기반 PCI 할당 방법

셀 ID를 할당하는 방법 중 그래프 컬러링(Graph Colouring) 기법은 셀을 정점(Vertex)과 엣지(Edge)로 나누어 관리하는 것이다. 여기서 엣지는 PCI 충돌이 발생하는 연결로 고려한다. 그래프 컬러링의 가능한 해결 방법은 ILP(Integer Linear Programming)로 복잡도가 높은 방법으로 실질적으로 구현적 측면에서는 현실성이 떨어진다. 그래프 컬러링 기법은 그래프의 노드에 채색을 입히는 방법이다. 두 개의 노드를 엣지로 연결시에 최소한의 색상을 할당하면서도 동일한 색상이 되지 않게 할당하는 것이다. 최소한의 색상을 할당하는 문제는 NP-Complete [14] 문제로 확인되었다. 여기서 최소값을 받음계 (Chromatic) 번호라고 지칭한다.

그래프 컬러링을 수행하기 위해서는 셀의 구조가

다음은 기준으로 그래프 형태로 변환되어야 한다.

- (1) 셀은 정점 (Vertices)으로 묘사된다.
- (2) 네트워크에서 인접 셀을 나타내는 정점은 엣지(Edge)로 연결된다.

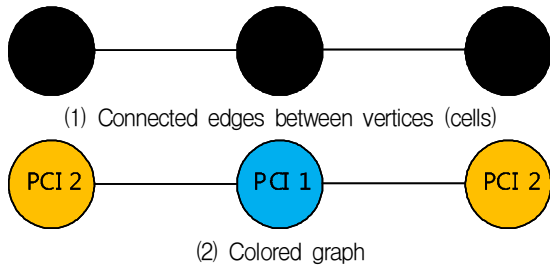


Fig. 3. Example of graph coloring with PCI collision-free allocation.

그림 3. PCI 충돌회피의 그래프 컬러링의 예

정점과 엣지가 전부 배치된 후에는 그림 3-(1)과 같이 그래프에 색상이 입혀지게 된다. 색상은 PHY ID로 변환되어 추후 무선매개변수 구성에 사용된다. Welsh and Powell[15]의 알고리즘은 매우 간단한 Greedy 알고리즘으로 해결책이 있다고 판단이 되면 알고리즘의 최적의 성능을 보장하지는 못하지만 해결책을 간단히 찾을 수 있다.

그림 3-(1)에서 보면 B는 양쪽으로 동일한 색상으로 아직 ‘혼란’의 문제가 해결되지 않은 경우이다. 이 문제를 해결하기 위해서 그림 4와 같이 그래프 컬러링에서는 이웃 노드의 이웃 노드로 엣지를 확장해야 된다.

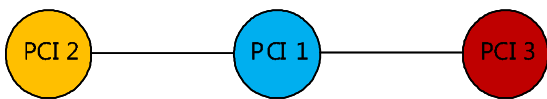


Fig. 4. Example of graph coloring with PCI collision and confusion-free allocation.

그림 4. PCI 충돌 및 혼란 회피의 그래프 컬러링의 예

3. 중앙집중적 PCI 할당 방법

PCI 충돌을 완화하는 방법을 중앙집중적 접근으로 제시되었다[16]. PCI 할당 방법에서 사용된 주요 파라미터는 RSRP(Reference Signal Reference Power)로 모든 셀은 새로 발견된 셀의 RSRP를 측정하고 결과를 중앙 노드로 전달하여 OAM이 직접 컨트롤 하는 것을 고려하였다.

논문에서는 RSRP 값을 양방향으로 고려하고 그 중에 큰 값을 고려하여 충돌의 값으로 설정하였다.

표 1은 각각의 셀들이 자신의 셀 ID로 측정된 RSRP 값이다.

Table 1. Collision matrix table example.

표 1. 충돌 행렬 예제

(1) RSRP measurement matrix

Cell	1	2	3	4
1	-	-82.4	-	-
2	-86.2	-	-	-119.3
3	-	-	-	-98.2
4	-	-119.3	-95.8	-

(2) RSRP based CLmat

Cell	1	2	3	4
1	-	-82.4	-	-
2	-82.4	-	-	-119.3
3	-	-	-	-95.8
4	-	-119.3	-95.8	-

위 그림과 같이 셀 1과 셀 2사이에 충돌이 있고 표 1-(1)에서는 그 채널이 완전히 대칭적이진 않기 때문에 그 값에 차이가 있는 것을 확인할 수 있다. 논문에서는 $\max(\text{RSRP}_{ij}, \text{RSRP}_{ji})$ 의 값을 고려하여 표 1-(2)와 같이 CLmat를 생성하였다.

계속해서, 셀 충돌행렬인 CLmat를 정리하여 혼란행렬인 CFmat를 정리할 수 있다. 1은 혼란을 일으키는 셀이 1개 이상 존재하는 경우이고 0은 혼란을 일으키는 셀이 없는 경우이다. 예를들어 셀 1과 4 사이에 RSRP가 측정되지 않아 충돌은 없지만 그 사이에 셀 2가 각각 셀 1과 4에서 모두 측정되어 셀 1과 셀 4사이에 혼란이 존재한다고 고려하여 다음 그림과 같이 1로 세팅한 것이다.

Table 2. Confusion matrix table example.

표 2. 혼란 행렬 예제

Cell	1	2	3	4
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	1	0	0
4	1	0	0	0

계속해서, 셀 2는 셀 1 그리고 셀 4와 충돌이 있는데 셀 3은 셀 4하고만 충돌이 있어 셀 2와 셀 3

이 동일한 셀 ID를 생성시 충돌은 없지만 셀 4와 혼란을 일으킬 여지가 있다.

기본적인 셀 ID 할당 원칙은 다음과 같습니다.

- (1) Free-PCI를 사용할 수 있는 경우 : 주어진 PCI 후보에서 ‘충돌’, ‘약한충돌’ 그리고 ‘혼란’을 제외한 후 PCI를 랜덤하게 선택
- (2) 최소 ‘약한충돌’이 있는 경우 : ‘약한충돌’을 일으킬 수 있는 PCI를 선택
- (3) 최소한의 충돌을 고려하는 경우 : 1)과 2) 모두 불가능한 상황에서는 충돌을 회피하는게 불가피 하다면 최소한의 충돌이 생기는 PCI를 선택

논문에서는 위와 같은 PCI 할당 원칙을 기반으로 표 1과 표 2에 나타난 충돌행렬과 혼란행렬을 생성하여 최선의 PCI 선택 방법을 제시하였다.

4. ‘혼란’의 또 다른 시나리오와 제거 방법

새로 셀을 생성하는 경우 본인의 PCI만 ‘충돌’과 ‘혼란’이 없게 잘 생성해야 되는 경우도 있지만, 생성되는 셀의 인접셀이 PCI를 변경해야 하는 경우도 있다. 이 경우는 다음 그림과 같다.

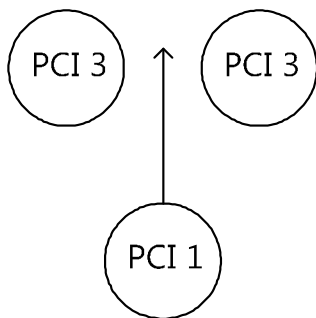


Fig. 5. Newly introduced cell gets confused by existing cells with identical PHY ID.

그림 5. 동일한 PHY ID를 가지는 셀 사이에 새로운 셀이 도입되는 경우의 예

기존 두 개의 셀 사이로 새로운 셀이 추가되는 경우 새로운 셀 주위 인접한 셀이 동일한 PCI를 사용하고 있었다면 ‘혼란’의 문제가 생기고 새로운 셀은 양쪽 인접 셀에 PCI를 변경하라고 요청해야 한다.

IV. 결론

본 논문에서는 SON 기술 중 Self-Configuration의 PCI 할당 기술에 대해 분석하였다. PCI는 물리

적 셀 ID로 규격에서 정의하는 것은 총 504개로 구분된다. 한정적인 셀 ID 개수이다 보니 셀의 개수가 많아질수록 ‘충돌’이나 ‘혼란’과 같은 상황이 발생할 확률도 높아지게 된다.

본 논문에서는 ‘충돌’, ‘약한충돌’ 그리고 ‘혼란’에 대한 정의를 설명하였고, 각각의 문제점에 대한 대처 방법에 대해서 중앙집중적 접근 방법과 분산적 접근 방법이 있음을 설명하였다. 기존 기법에서 널리 사용되는 그래프 컬러링 기법과 중앙집중적 접근 방법에서 전략적 PCI 할당 방법에 대해 설명하였다.

마지막으로 ‘혼란’의 또 다른 시나리오를 설명하였다. 마지막 시나리오에서는 새로운 셀이 생성되면서 인접한 셀들이 ‘혼란’의 상황이 생길수 있고 새로운 셀이 아닌 인접 셀이 PCI를 바꿔야 하는 경우가 발생하는 것을 설명하였다.

References

- [1] C. B. Sankaran, “Data Offloading Techniques in 3GPP Rel-10 Networks: A Tutorial,” *IEEE Commun. Magazine*, vol.50, no.6, pp.46-53, 2012. DOI: 10.1109/MCOM.2012.6211485
- [2] A. Damnjanovic, J. Montojo, J. Cho, H. Ji, J. Yang, and P. Zong, “UE’s Role in LTE Advanced Heterogeneous Networks,” *IEEE Commun. Magazine*, vol.50, no.2, pp.164-176, 2012. DOI: 10.1109/MCOM.2012.6146496
- [3] J. Zhang, G. de la Roche, “Femtocells: Technologies and Deployment,” *IEEE*, John Wiley & Sons Ltd., 2010.
- [4] 4G Americas, “Self-Optimizing Networks in 3GPP Release 11: The Benefits of SON in LTE,” <http://www.4gamericas.org>, 2013.
- [5] 3GPP TS 36.300, 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2 (Release 11).
- [6] 3GPP TS 36.211, 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial

Radio Access (E-UTRA); Physical Channels and Modulation (Release 10).

[7] M. Amirijoo, P. Frenger, F. Gunnarsson, H. Kallin, J. Moe, K. Zetterberg, "Neighbor Cell Relation List and Physical Cell Identity Self-Organization in LTE," in *Proc of IEEE International Conference on Communications (ICC)*, pp.37-41, 2008. DOI: 10.1109/NOMS.2008.4575129

[8] P. Lee, J. Jeong, N. Saxena, J. Shin, "Dynamic Reservation Scheme of Physical Cell Identity for 3GPP LTE Femtocell Systems," *Journal of Information Processing Systems*, 2009.

DOI: 10.1145/2108616.2108619

[9] 3GPP TSG-RAN WG3 #60 R3-081414, Exchange of eUTRAN neighbour information, 3GPP, 2008.

[10] 3GPP TSG-RAN WG3 #61 R3-082228, Framework for distributed PCI selection, 3GPP, 2008.

[11] 3GPP : 'LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Self-configuring and self-optimizing network use cases and solutions (Release 9)', TR 36.902, V9.0.0, 2009.

[12] 3GPP, "Overview of 3GPP Release 11," v.0.2.0, 2014.

[13] S. S. Mwanje, J. A. Tolppa, "Layer-independent PCI assignment method for ultra-dense multi-layer co-channel mobile networks," in *Proc of the 2017 IFIP/IEEE Symposium on Integrated Network and Service Management (IM)*, pp.353-360, 2017. DOI: 10.23919/INM.2017.7987298

[14] R. M. Karp, "Reducibility among combinatorial problems," in *Complexity of Computer Computations*, R. E. Miller and J. W. Thatcher, Eds., pp.85-103. Plenum Press, 1972.

[15] D. J. A. Welsh and M. B. Powell, "An upper bound for the chromatic number of a graph and its application to timetabling problems," *The computer Journal*, vol.10, no.1, pp.85-86, 1967.

DOI: 10.1093/comjnl/10.1.85

[16] A. Wielgoszewsk, D. L. Perez, H. Claussen, H. Gacanin, "A Centralized Method for PCIA assignment with Common Reference Signal Frequency Shift Control," in *Proc of IEEE*

International Conference on Communications (ICC), pp.1-6, 2016.

DOI: 10.1109/ICC.2016.7511228

BIOGRAPHY

Mochan Yang (Member)



2005 : BS degree in Electrical and Electronic Engineering, Soongsil University.

2009 : MS degree in Information and Communications Engineering, Soongsil University

2014 : PhD degree in Information and Communications Engineering, Soongsil University

2015 : Senior researcher, GCT Research

~Present : Senior researcher, Hanwha Systems, Korea