Preparation of Papers for the Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications

First A. Author1, Second B. Author2, Third C. Author2, Fourth D. Author3   
*1Federal University of Southern and Southeastern Pará, Fl. 04 LT Especial, Marabá-PA, Brazil 68505-080 {hugo, marcela.alves}@unifesspa.edu.br,*

*2SFederal University of Par[econd B. Author and Third C. Authors´ affiliation and address including e-mails*  
*3Fourth D. Author’s affiliation and address including e-mail*

*Abstract*— These instructions give you guidelines for preparing papers for the Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications (JMOe). Use this document as a template if you are using Microsoft Word (preferable). Otherwise, use this document as an instruction set. Each paper must have an abstract of about 200 words. Define all symbols used in the abstract. Do not cite references in the abstract.

*Index Terms*— About four key words or phrases in alphabetical order, separated by commas.

# introduction

A proliferação de dispositivos multimídias e o advento da Internet das Coisas tem intensificado a demanda por serviços de conexão de dados em alta velocidade. De acordo com o relatório Visual Networking Index 2017-2022 da Cisco [1], o tráfego de dados móveis à nível global aumentará sete vezes entre 2017 e 2022, chegando a 77.5 exabytes por mês até 2022.

Esta crescente demanda no volume de dados transportados pelas redes móveis, tem sido impulsionada, sobretudo, pela demanda por serviços relacionados à realidade virtual e aumentada, vídeos de alta definição e Internet tátil [2], aumentando cada vez mais a exigência por serviços de banda larga móvel, com confiáveis níveis de Qualidade de Serviço (QoS) [3], especialmente quando relacionados à requisitos específicos de coverage, latency, energy consumption ou achievable downlink rate.

It has benn widely accepted that the infraestrutura atual de redes de banda larga móvel seja capaz de atender de modo satisfatório algumas destas aplicações, porém alguns destes serviços ou aplicações irão requerer requisitos adicionais e diversos sobre operadores de redes móveis, que provavelmente devem ser efetivamente atendidos apenas pelas próximas gerações de redes móveis. Neste contexto, dentre as estratégias de projeto para o 5G, observa-se a consolidação do conceito de ultra densificação de rede (UDN), by the adoption of low-powered and short-range Small Base Station (SBSs) [3]. Com a implantação de estações base adicionais é possível ampliar a área de cobertura da rede para mais próximo dos dispositivos dos usuários finais, e assim proporcionar melhorias relacionadas à eficiência espectral, desempenho e capacidade de serviço do sistema.

In fact, to enhance traffic volume, 3rd Generation Partnership Project (3GPP) proposes a multi-tier Heterogeneous Network (HetNets) by the use of long-term evolution advanced (LTE-A), in which SBSs are laid under MBSs to fullfill QoS requirements and traffic volume, e assim, com a utilização de arquiteturas HetNets, os sistemas de comunicação móveis possuem a habilidade de prover diferentes configurações em termos de potência de transmissão, cobertura, quantidades de antenas, proporcionando diversas opções de capacidade de atendimento [4].

Porém a densificação da rede com diferentes tipos de BSs tende a provocar um considerável problema de desbalanceamento na rede, dado que a potência de transmissão de uma MBS pode ser 100x maior que a potência de uma SBS [5]. Desta forma, a política convencional de associação baseada na maior potência, na qual o equipamento do usuário (UE) tende a se associar à célula com a maior potência de downlink percebida, tende a desbalancear a carga de usuários e serviços ao longo da rede [6].

Desta forma, o problema de balanceamento de carga acaba se tornando uma das problemáticas centrais do 5G, de tal modo que o processo de associação entre usuários e BSs, deve observar o melhor aproveitamento possível dos recursos da rede, para prover melhor atendimento e qualidade de experiência aos usuários finais. Uma das alternativas para um melhor balanceamento de usuários na rede móvel é uma técnica padronizada pelo 3GPP conhecida como Cell Range Expansion (CRE) [7], [8], onde, um fator de bias é assinalado à cada SBS de uma dada camada da HetNet, de modo a virtualmente ampliar ou reduzir a área de cobertura desta SBS, levando assim, que os dispositivos de usuário possuam maiores chance de se conectarem a uma SBS, e desta forma prover melhor balanceamento à rede e a consequente melhor exploração dos recursos de rádio da rede móvel.

Ao se considerar os desafios de implementação do CRE, podemos destacar o cálculo adequado dos valores de bias para cada uma das camadas de uma HetNet, ou ainda através do cálculo de um valor de bias específico para cada small BS [9]. Tais abordagens tem sido implementadas principalmente por meio de métodos que requerem a resolução de problemas de otimização combinatória, cujo tempo de resolução, em geral podem não ser compatíveis com o tempo esperado de solução dado os aspectos de operação em tempo real inerentes à questões de associação e balanceamento de carga em uma rede móvel.

Uma abordagem promissora está na utilização de algoritmos evolucionários, aplicados como ferramenta de otimização de processos em redes móveis, em especial ao se considerar o contexto relacionado à self-organized networks [10]. Tais técnicas podem ser utilizadas para realizar um cálculo eficiente de valores de CRE bias em cenários de tempo real. In fact, embora existam diversas técnicas propostas na literatura para melhorar diretamente o desempenho de técnicas de associação de usuário em HetNets, lidar automaticamente com a complexidade de processos de operação e otimização em HetNets por meio de técnicas e algoritmos evolutivos tem se tornado um tópico de pesquisa quente [10]–[12].

Evolutionary approaches and other artificial inteligence related techniques may include multi-disciplinary techniques from machine learning, bio-inspired algorithms, fuzzy neural network and so on. They have been extensively studied and applied to optimize computer systems and networks in diverse scenarios and complicated environments [10]. The collective behavior of social species, for example, can help humans manage complex systems, and bio-inspired algorithms have already given us some illumination on designing, maintaining and optimizing artificial self-organized Networks [13].

These techniques have relatively lower complexity enabled by recursive feedback-based learning and local interactions, and hence faster speed of finding sub-optimal solutions compared to conventional techniques [10]. Assim, a integração de técnicas bio-inspiradas à técnicas de operação de redes tem se tornado um campo de aplicação promissor, e podem ser aplicadas para melhorias nos processos de balanceamento de carga e associação de usuários em uma HetNet.

## Related Work

Considerando que a área de pesquisa sobre HetNets está baseada em cenários cada vez mais dinâmicos, heterogêneos, de larga escala e complexos, há diversos trabalhos que tem buscado realizar a aplicação de técnicas de inteligência computacional aos processos inerentes de operação e otimização de uma HetNet [12]–[14].

In [14] it is discussed the application of AI-based techniques for evolving the smarter HetNets infrastructure and systems, focusing on the research issues of self-configuration, self-healing, and self-optimization, presenting a discussion about the pros e cons of use each one of technique related.

Em [13] é dado particular atenção à aplicação de mecanismos bio-inspirados de forma a examinar diversos algoritmos que tem sido aplicados em artificial SON systems. Some open research issues are shown in [13] including SON designing tradeoffs, Self-X capabilities in LTE-Advanced systems, cognitive machine-to-machine (M2M) self-optimization, cross-layer design, resource scheduling, and power control.

Os autores de [15] propoem um algoritmo baseado em Particle Swarm Optimization (PSO) para buscar a maximização de diferentes key performance indicators (KPIs) como user throughput, através da alocação de elementos virtuais chamados de Reusable Functional Blocks (RFBs), que estão relacionados ao contexto de Software Defined Networks, enquanto que o estudo apresentado em [16] utiliza Particle Swarm Optimisation (PSO) to assign each small cell BS a certain biasing value with the objective of maximising the achievable throughput and controlling the load per-BS, however not considering user-specific traffic requirement.

Apesar dos esforços de pesquisa quanto a aplicabilidade de técnicas computacionais ao contexto de HetNet serem promissoras, no melhor de nosso conhecimento, os estudos sobre a estratégia CRE, a qual está associada a uma HetNet, permanece em aberto e requer pesquisas que investiguem o processo de associação do usuário. Para isso, recent works had surveyed about user association problem [6], [17], presenting different schemes for user association and load-balancing in a HetNet environment em especial realizando a adoção de técnicas relacionadas à teoria dos jogos, otimização combinatória, geometria estocástica, ou ainda, processo markoviano de decisão.

Os autores em [18] analisam o problema de associação do usuário por meio da aplicação de um algoritmo que representa um jogo bayesiano para seleção de BSs, de modo a considerar as características das SBSs e o tipo de requisitos de tráfego do usuário, buscando aumentar as chances de uma associação apropriada que venha reduzir a latência fim-a-fim dos usuários. The proposed approach is evaluated in terms of the probability of proper association and the achieved latency with respect to conventional CRE and Max-SINR based cell selection/user association algorithms used in LTE-Advanced, e apesar de apresentar resultados satisfatórios, não apresenta os detalhes de parametrização considerados para a abordagem CRE.

No estudo apresentado em [5], técnicas de geometria estocástica são utilizadas para analisar o problema de associação do usuário, de modo a se ponderar sobre valores ótimos de bias que tendem maximizar as taxas de dados obtida pelos usuários móveis. Ainda assim, uma das limitação do trabalho é não considerar características específicas de tráfego do UE para realizar uma análise mais criteriosa do processo de associação.

Em [19] é proposto um mecanismo para seleção de célula e alocação de recursos, que visa reduzir a carga de usuários das macro cells, buscando liberar a maior quantidade possíveis de Resource Blocks (RBs). Apesar dos resultados obtidos por meio de simulação serem promissores, e mostrarem que o esquema proposto pode ser melhor que o esquema de CRE, uma das principais desvantagens observadas é que assume-se um conjunto de non-standardized sinalizações, que podem representar um overhead excessivo, tornando a proposta inadequada para cenários de redes ultra densas.

Os autores de [20] apresentam uma abordagem de associação e balanceamento de carga baseado no algoritmo Knapsack Optimization (KO), de forma a tentar a distribuição dos UE’s ao longo das camdas de SBSs, obedecendo um conjunto de restrições relacionadas à capacidade de atendimento das BSs e do quantitativo requerido de RBs pelos UEs para o correto atendimento de seus requisitos de QoS. Porém, conforme citado pelo autores, à medida que o número de usuários e BSs aumenta, o problema em questão se torna NP-hard, podendo a solução não apresentar escalabilidade e tempo de convergência necessária para Multi-tier HetNets.

However, most of the aforementioned works are limited to use the Shannon’s equation, as opposed to the standard 3GPP-LTE discrete modulation-and-coding- scheme (MCS) function, to estimate the UE’s SINR to a downlink rate. This overestimates the network capacity, dado que a utilização de uma função MCS discreta will significantly complicate selecting the right association for cell-edge users since it does not have the convexity and strictly-increasing properties of the Shannon’s equation [21].

Diante dos esforços de pesquisa sobre biased user association, nenhuma atenção significativa tem sido dada a análise de valores de bias per-BS. Equilibrar a carga por camada pode fazer com que algumas BSs sejam sobrecarregadas ou levemente carregadas. Assim, é essencial equilibrar a carga por BS, e além disso, agregar otimização de recursos de rede em tempo computacional compatível com operação de redes móveis em tempo real, sem a adoção de mecanismos de sinalização adicionais, visando buscar um melhor atendimento dos requisitos de tráfego e de qualidade de experiência dos dispositivos móveis.

Desta forma, este trabalho busca apresentar uma proposta de implementação de CRE apoiada por meio de uma técnica de computação bio-inspirada referenciada como algoritmo de otimização por enxame de partículas, de forma a realizar o computo de valores de bias para cada SBS da rede móvel, em um tempo computacional aceitável, buscando o máximo aproveitamento de recursos de rede, com o objetivo de considerar o atendimento dos requisitos de tráfego dos usuários como métrica de avaliação de desempenho.

## Contributions

The main contributions of this paper are summarized as follows:

* We develop um abordagem bio-inspirada de cell range expansion considerando o atendimento dos requisitos específicos de tráfego dos usuário móveis e um melhor controle de balanceamento da rede. A utilização do PSO como ferramenta de otimização é utilizada para o cálculo dinâmico dos valores de bias de cada uma das SBSs;
* Nós formulamos um problema de associação de usuário que busca maximizar o quantitativo de usuários com requisitos de downlink atendidos, assim como o quantitativo de BSs que possuem usuários associados, diferentemente da literatura relacionada, que busca maximizar apenas o valor médio de throughput obtido pelos usuários móveis;
* We comprehensively analyze the objective function performance under different bias values, investigate their optimal combination e sua influência no problema de associação de usuário e balanceamento de carga na rede.
* Através de resultados numéricos extensivos on a large multi-macro cell HetNet obtained by developing a detailed simulator, we evaluate the performance of our scheme by comparing it to the conventional static biasing scheme. The results show that our proposed scheme can be de promissora aplicação para HetNets ultra densas, por conseguir níveis interessantes de atedimento de usuários e balanceamento de carga na rede móvel.

## Organization

The remainder of this study is organized as follows. O modelo do sistema é apresentado na seção II de modo a descrever a implementação do cenário e as variáveis de decisão utilizadas. Na seção III é realizada a formulação analítica do problema. A seção IV apresenta um breve relato sobre computação bio-inspirada, de forma a destacar algumas das principais características do algoritmo de otimização por enxame de partículas. Na seção V são apresentados os experimentos realizados e parâmetros utilizados no trabalho, enquanto que a seção VI apresenta uma discussão sobre os resultados numéricos obtidos enquanto que a seção VII apresenta as conclusões e considerações finais do trabalho.

# system model

We consider a downlink HetNet, which comprises independent network tiers of BSs with and a typical mobile user at . A localização dos usuários e BSs são obtidas por meio de amostras de distribuições de Processos de Ponto de Poisson Homogêneas independentes (HPPPs). De modo geral, a *k*-ésima camada possui densidade , e suas BSs são geradas aleatoriamente a partir de uma HPPP , enquanto o posicionamento dos usuários são gerados por uma HPPP .

Ao se considerar um modelo de 02 (duas) camadas, por exemplo, temos e podemos considerar a tier-1 como a representação das BSs que possuem mais altas potências (High Power Nodes - HPNs) e baixa densidade de presença em uma dada topologia, enquanto que a tier-2 representa as BSs que possuem baixa potência (LPN), que possuem altas densidades de distribuição dentro no cenário. Assim, podemos assumir que and .

Denoted by , the set of all BSs, where and denotes the set of MBSs, which is represented by , and the set of SBSs is denoted by , where is indexed by . The set of UEs is denoted by , with , and is the set of bias values for SBSs.

The -th user requests a class service defined as the tuple , where and are the average flow size (Mbps) and compression factor (ratio of processed-to-raw data) respectively. Hence, the -th UE’s required data rate can expressed by the product .

## Cell Range Expansion for Max-SINR

There are several cell association algorithms based on metrics like *RSRQ, RSRP* or *SINR* [22], [23]*. RSRP* and *RSRQ* are the ones with lowest additional communication complexity, since these parameters have already been specified in LTE [17]*.* In [24], the user association process is evaluated considering these metrics, and its shown that SINR-based selection can performs a better downlink rate.

Hence, in this model we assume that received SINR is key indicator of user rate and outage performance duo its direct relationship with Shannon’s theorem [5]. Com o critério de associação Max-SINR, the -th UE tende se associar à -th BS, tal que . Considering that MBSs typically have much higher transmission power , the UEs tend to be associated mainly with MBSs. By adding a CRE bias to the SINR of each SBS, the UEs tend to be better dsitributed between BSs and each UE possibily can achieve a better long-term rate. When the -th UE tends to associate with the MBS tier (tier-1), selecting a MBS , the received SINR satisfies (1) and (2).

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1) |
|  | (2) |

In addition, by the adoption of CRE, the -th UE selects an SBS , when the received SINR satisfies (3) and (4):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3) |
|  | (4) |

By setting proper CRE bias values for the SBSs as described above, the SBSs expand or shrink their downlink coverage such that more or less users are associated to the SBSs. In this way, the burden on the MBS is reduced, and the SBS resources tend to be better utilized.

## User Rate Analysis

When the -th UE is associated with -th BS, the downlink SINR can be expressed as:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (5) |

where is the transmission power of the -th BS, is the effective gain channel between the -th UE and the -th BS and represents the thermal power noise. Hence, the achievable per-channel downlink rate at the -th UE from -th BS can be expressed as:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (6) |

where represents the per-subcarrier efficiency in terms of bits per symbol for a given threshold SINR. Hence, is obtained through a MCS function, denoted by . The terms , and are respectively the number of subcarriers in one channel, number of OFDM symbols in one subframe and duration of a subframe.

By considering a proportional resource allocation scheme, which the total number of resource blocks are divided between the associated users considering their downlink requirements., the total number of RBs obtained by -th UE can be expressed as:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (7) |

where represents the total number of resource blocks available in BS , whilst denota uma variável de associação entre o -th UE and the -th BS, descrita pela Eq. (8). Como na maioria da literatura relacionada à questões de associação, the load of -th BS is defined as, which represents the total number of UEs associated with BS . Por fim, a Tabela I apresenta um resumo dos acrônimos utilizados.

Table I. brief description of acronyms

|  |  |
| --- | --- |
| **Notation** | **Description** |
|  | Set of all BSs |
|  | Set of MBSs |
|  | Set of SBSs |
|  | Set of User Equipment |
|  | Set of Small Cell Bias |
|  | Density of BSs |
|  | Density of Users |
|  | HPPP to constitute the k-tier |
|  | HPPP to constitute the UE’s positions |
|  | Required class service of UE |
|  | Average flow size |
|  | Ration of processed-to-raw-data for UE |
|  | Downlink SINR at UE from BS |
|  | Transmission power of BS |
|  | Effective gain channel between the UE and the BS |
|  | Thermal power noise |
|  | Per-channel downlink rate at UE from BS |
|  | Per-subcarrier efficiency |
|  | Number of OFDM symbols per subframe |
|  | Subframe duration |
|  | Discrete MCS function |
|  | Amount of RBs available at BS |
|  | Current load of BS |

## Decision Variables

As presented below, is binary matrix that expresses the assoaction between the -th UE and the -th BS. Hence, the element can be expressed by the Eq. (8):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (8) |

In addition, denotes also a binary matrix which expresses the fulfillment of the UE downlink requirements, i.e., the element , if the BS can meet the downlink requirements of -th UE, according with Eq. (9):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (9) |

Moreover, represents an array of binary values which the element denotes when the -th BS is serving at least one UE, as described by Eq. (10):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (10) |

Por fim, representa a soma de todas as taxas de downlink obtidas pelos UEs, conforme descrita pela Eq. (11).

|  |  |
| --- | --- |
|  | (11) |

# problem formulation

Nesta seção, considerando os critérios e métricas de desempenho adotados neste trabalho, formulamos um problema de otimização modelado pela função objetivo conforme:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (12) |

O objetivo de (11) é maximizar a taxa total de dados obtida pelos UEs, por meio da maximização do quantitativo de usuários com requisitos de downlink atendidos e do quantitativo de BSs que possuem usuários conectados. Os Parâmetros e balanceiam as contribuições das componentes da função objetivo. Em adição, o objetivo de maximização está baseado na escolha de valores do conjunto , que influenciam diretamente nos valores obtidos de e . De maneira complementar, a função objetivo apresentada em (12) está sujeita às seguintes restrições:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (13) |
|  | (14) |
|  | (15) |

Constraint ([[eq:13]](#eq:13)) guarantees that each UE is associated with at most one BS. Constraint ([[eq:14]](#eq:14)) ensures that the number of resource blocks used by the UEs associated with BS j is less than total number of resource blocks available by the BS j. Finally, the constraint ([[eq:15]](#eq:15)) guarantees the feasibility of the solution by assure that the number of served users by the -th BS is lesser than size of UE set.

acknowledgment

references

[1] C. Visual and N. Index, “Cisco Visual Networking Index : Global Mobile Data Traffic Forecast , 2017 – 2022,” 2019.

[2] R. Vannithamby and S. Talwar, “Introduction,” in *Towards 5G: Applications, Requirements and Candidate Technologies*, Wiley, 2017.

[3] A. Osseiran *et al.*, “Scenarios for 5G mobile and wireless communications: The vision of the METIS project,” *IEEE Commun. Mag.*, 2014.

[4] A. J. Fehske, I. Viering, J. Voigt, C. Sartori, S. Redana, and G. P. Fettweis, “Small-cell self-organizing wireless networks,” *Proc. IEEE*, 2014.

[5] G. Hattab and D. Cabric, “Rate-Based Cell Range Expansion for Downlink Massive MIMO Heterogeneous Networks,” *IEEE Wirel. Commun. Lett.*, vol. 7, no. 3, pp. 296–299, Jun. 2018.

[6] D. Liu *et al.*, “User Association in 5G Networks: A Survey and an Outlook,” *IEEE Communications Surveys and Tutorials*. 2016.

[7] A. Damnjanovic *et al.*, “A survey on 3GPP heterogeneous networks,” *IEEE Wirel. Commun.*, 2011.

[8] D. López-Pérez, I. Güvenç, G. De La Roche, M. Kountouris, T. Q. S. Quek, and J. Zhang, “Enhanced intercell interference coordination challenges in heterogeneous networks,” *IEEE Wirel. Commun.*, 2011.

[9] X. Dong, F.-C. Zheng, X. Zhu, and J. Luo, “HetNets with Range Expansion: Local Delay and Energy Efficiency Optimization,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, 2019.

[10] X. Wang, X. Li, and V. C. M. Leung, “Artificial intelligence-based techniques for emerging heterogeneous network: State of the arts, opportunities, and challenges,” *IEEE Access*, 2015.

[11] O. G. Aliu, A. Imran, M. A. Imran, and B. Evans, “A survey of self organisation in future cellular networks,” *IEEE Communications Surveys and Tutorials*. 2013.

[12] Z. S. Zhang, W. Huangfu, K. P. Long, X. Zhang, X. Y. Liu, and B. Zhong, “On the designing principles and optimization approaches of bio-inspired self-organized network: A survey,” *Science China Information Sciences*. 2013.

[13] Z. Zhang, K. Long, J. Wang, and F. Dressler, “On swarm intelligence inspired self-organized networking: Its bionic mechanisms, designing principles and optimization approaches,” *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, 2014.

[14] W. Wang, X. Wu, L. Xie, and S. Lu, “Femto-matching: Efficient traffic offloading in heterogeneous cellular networks,” in *Proceedings - IEEE INFOCOM*, 2015, vol. 26, pp. 325–333.

[15] M. Shojafar, L. Chiaraviglio, N. Blefari-Melazzi, and S. Salsano, “P5G: A Bio-Inspired Algorithm for the Superfluid Management of 5G Networks,” in *2017 IEEE Global Communications Conference, GLOBECOM 2017 - Proceedings*, 2018.

[16] T. M. Shami, D. Grace, and A. Burr, “Load Balancing and Control Using Particle Swarm Optimisation in 5G Heterogeneous Networks,” in *2018 European Conference on Networks and Communications, EuCNC 2018*, 2018.

[17] H. Ramazanali, A. Mesodiakaki, A. Vinel, and C. Verikoukis, “Survey of user association in 5G HetNets,” in *2016 8th IEEE Latin-American Conference on Communications (LATINCOM)*, 2016, pp. 1–6.

[18] M. Elkourdi, A. Mazin, and R. D. Gitlin, “Towards Low Latency in 5G HetNets: A Bayesian Cell Selection/User Association Approach,” in *IEEE 5G World Forum, 5GWF 2018 - Conference Proceedings*, 2018.

[19] W. K. Lai and J.-K. Liu, “Cell Selection and Resource Allocation in LTE-Advanced Heterogeneous Networks,” *IEEE Access*, vol. PP, p. 1, 2018.

[20] K. M. Nasr and K. Moessner, “Knapsack Optimisation Versus Cell Range Expansion for Mobility Load Balancing in Dense Small Cells,” in *2018 European Conference on Networks and Communications (EuCNC)*, 2018, pp. 1–9.

[21] A. Shaverdian, J. Ghimire, and C. Rosenberg, “Simple and efficient network-aware user association rules for heterogeneous networks,” *Comput. Networks*, vol. 156, pp. 20–32, 2019.

[22] H. S. Jo, Y. J. Sang, P. Xia, and J. G. Andrews, “Heterogeneous cellular networks with flexible cell association: A comprehensive downlink SINR analysis,” *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, 2012.

[23] K. Da Costa Silva, Z. Becvar, and C. R. L. Frances, “Adaptive Hysteresis Margin Based on Fuzzy Logic for Handover in Mobile Networks with Dense Small Cells,” *IEEE Access*, 2018.

[24] J. Sangiamwong, Y. Saito, N. Miki, T. Abe, S. Nagata, and Y. Okumura, “Investigation on Cell Selection Methods Associated with Inter-cell Interference Coordination in Heterogeneous Networks for LTE-Advanced Downlink,” *Wirel. Conf. 2011 - Sustain. Wirel. Technol. (European Wireless), 11th Eur.*, 2011.