PSO-Based Cell Range Expansion for Mobile Heterogeneous Networks

H. P. Kuribayashi1,2, M. A. de Souza1,2, J. S. da Silva1, D. de A. Gomes1, K. da C. Silva3, C. N. da Silva3, C. R. L. Francês2   
*1Federal University of Southern and Southeastern Pará, Fl. 17 Qd. 04 Lt Especial, Marabá-PA,*

*Brazil, 68505-080. {hugo, marcela.alves, jessicasoares, diagomes}@unifesspa.edu.br*

*2Federal University of Pará, Rua Augusto Corrêa n. 01, Belém-PA, Brazil 66080-110. rfrances@ufpa.br*    
*3Chalmers University of Technology. carlos.natalino@chalmers.se  
4Chalmers University of Technology. carlos.natalino@chalmers.se*

*Abstract*— ﻿The traffic demand in wireless communication systems has surged over the past few years. This growing traffic demand is likely to intensify further, given the explosive growth in mobile device usage and the increasingly stringent requirements for latency and throughput requirements, which combined with the increasingly complex Heterogeneous Network (HetNet) scenarios, represent challenges of service, coverage, and operation of the network. When considering traditional membership schemes based on maximum perceived power, HetNet tends to remain unbalanced, making it difficult to meet mobile users' traffic requirements. In this article, instead of trying to maximize the users sum rate, a Particle Swarm Optimizer is combined with Cell Range Expansion (CRE) engine to seeks the maximum number of users with downlink requirements met, while considering both loads of Base Stations (BS) and SINR (signal-to-interference-plus-noise ratio) experienced by the User Equipment (UE). Numerical results validate the efficiency of the proposed schemes, which seeks to achieve greater efficiency in the use of available radio resources on the network, in order to consider the specific downlink requirements of each user for the search of CRE bias, as well as make improvement in the mean data rate received by the mobile users.

*Index Terms*— Heterogeneous Mobile Networks, load balancing, particle swarm optimization, user association.

# 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 or 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:

* Desenvolvimento de uma 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 [25].

## 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 fair resource allocation scheme, which the total number of resource blocks are equally divided between the associated users, the total number of RBs obtained by -th UE from *j*-th BS 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). Além disso, 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 Equipments |
|  | 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 |
|  | Ratio 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 |
|  | Total of RBs available at BS |
|  | 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 a vector 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 por todos os UEs, como indicação da vazão total agregada obtida pelos usuário, conforme apresentado 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 (13) guarantees that each UE is associated with at most one BS, i.e. it is not considered a Coordinated Multipoint transmission scenario (CoMP). Constraint (14) ensures that the number of resource blocks used by the UEs associated with BS is less than total number of resource blocks available by the BS . Finally, the constraint (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.

# Bio-inspired Computing

O campo da computação bio-inspirada tenta replicar a maneira pela qual os organismos biológicos e sub-organismos operam usando ideias da computação abstrata de sistemas biológicos [26]. De modo geral, computação bio-inspirada busca otimizar um problema de forma a examinar iterativamente a melhora de uma solução candidata em relação a uma dada medida de qualidade. Sistemas biológicos fornecem abundante inspiração para a construção de alto desempenho de modelos de computação e algoritmos inteligentes, permitindo a produção de técnicas de resolução de problemas com robustez e flexibilidade sob otimização complexa de cenários [27].

Exemplos de aplicação de técnicas bio-inspiradas são as redes neurais, algoritmos genéticos, inteligência coletiva, técnicas de inteligência híbrida e aprendizagem por reforço, que tem sido aplicadas em diversas áreas do conhecimento, como bioinformática, finanças, controle, robótica, modelagem e predição de séries temporais, modelagem de fluxos de dados, redes complexas e análise de agrupamentos.

## Particle Swarm optimization Algorithm

O Algoritmo de Otimização por Enxame de Partícula (PSO) é inspirado em comportamento de grupos de animais. A população é chamada de enxame e cada indivíduo, no enxame, é conhecido como partícula [28]. The main idea of PSO is to perform a biased stochastic search of the global optimum solution through the search space of a problem. Um conjunto de partículas é usado em relação ao problema e representado em um espaço multidimensional. No início da execução, as partículas são aleatoriamente espalhadas no espaço de busca, então cada partícula representa uma solução com um valor de aptidão para classificar sua qualidade e eleger as melhores soluções. As partículas devem se mover de acordo com as Eq. (16) e (17) até o final das condições de processamento [29].

|  |  |
| --- | --- |
|  | (16) |
|  | (17) |

where represents the velocity vector of *i*-th particle and is the *i*-th particle location. The terms and correspond respectively to the cognitive and social coefficients. In addition, and are two uniformly distributed random numbers between [0,1]. The *i*-th particle stores its previous best position denoted as and the global best position of the swarm is represented by , representing a global memory exchanged between the particles.

A Fig. 1 apresenta o funcionamento do PSO, destacando seus principais componentes. The lines 2-3 initialize all the variable and calculate the best position among all particles, respectively. From lines 4-15, the algorithm executes the main loop. When a stop criterion matches the predefined practitioner’s criteria, then the main loop is finished. The inside loop (lines 5-14) updates the velocity, position and fitness of each particle with the influence of the inertia weight parameter and also checks if the new position is better than the old one (line 8), if true, the new position turns into the previous best position of the particle found so far (line 9). Finally, the global best position is checked for possible update (line 10–12). The result of the algorithm is the global best position (line 16).

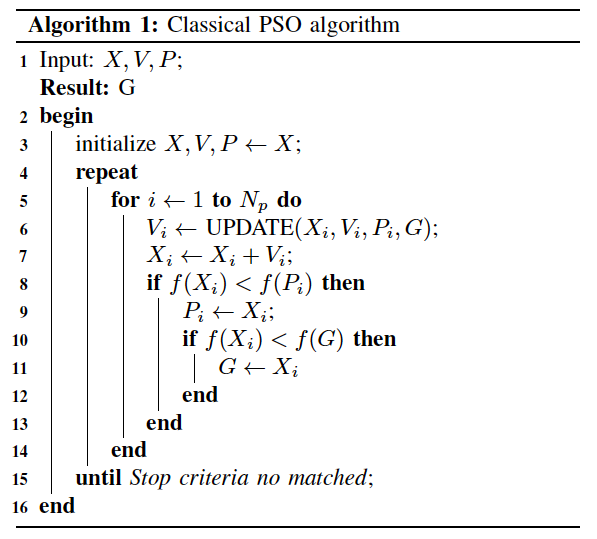


Fig. 1. Classical PSO Algorithm [30].

Since the first release of the PSO algorithm, some significant improvements were provided by the other research efforts and it has been successfully applied to many problems such as function optimization and others [31], [32]. Due to the ease of implementation and the fast convergence to acceptable solutions, PSO has received much more attention in recent years [32], and implicating in numerous PSO variants based on different velocity/position updating rules [33], different parameter values [34], use of dynamic and adaptive parameters [30], [35] and population sizing [36].

For instance, [37] introduces a parameter referred as inertia weight into original PSO, which moderates the particle current position, changing the definition of Eq. (16), as presented by Eq. (18). In [38] is proposed Decreasing-IW PSO, where the value of inertia parameter is decreased along the interaction number of algorithm. Os autores de [34] propõem a adoção de um fator de constrição que redefine o processo de atualização de velocidade conforme as Eq. (19), (20) e (21) de modo a criar um melhor coesão e balanceamento entre os processos de exploration and explotaition within the search space.

|  |  |
| --- | --- |
|  | (18) |
|  | (19) |
|  | (20) |
|  | (21) |

# Experiments

In this section, we consider multiple experiments in order to assess the adoption of Cell Range Expansion as related on literature and evaluate the use of proposed PSO-based approach. We use the distance-based path loss model and simulation parameters recommended by 3GPP [39], as shown in Table II, and we assume perfect measurements.

Table II. physical-layer parameters [39]

|  |  |
| --- | --- |
| **Notation** | **Description** |
| Carrier Frequency | 2 GHz |
| Environment | Urban |
|  | 1 ms |
|  | 14 |
|  | 12 |
| User noise power | -174 dBm/Hz |
| User antenna gain | 0 dBi |
| MBS antenna gain | 15 dBi |
| SBS antenna gain | 5 dBi |
| MSB-User Path Loss | , *d* in *m* |
| SBS-User Path Loss | , *d* in *m* |

Observations on how the performance change are made based on Monte Carlo simulation, na tentativa de emular um comportamento de longo-prazo do cenário proposto. In these simulations, the transmission power was set to 46 dBm for MBS and 23 dBm for SBS. Moreover, we consider a two-tier HetNet () with and .

We run 1000 simulations for each experiment, where in each one we generate the locations of BSs and UEs using their respective HPPP densities over an area of , connect UEs to their associated BSs using the given user association policy (Max-SINR). We then calculate the SINR of the links to compute the rate of each user using Eq. (5), where the rate per user is computed based on the number of resource blocks allocated per UE. In addition, we use the 15-rate MCS available in LTE, as shown in Table III, to parametrize the rate function defined in Eq. (6).

Table III. threshold SINR to efficiency (bits/symbol)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **SINR (dB)** | **-6.5** | **-4** | **-2.6** | **-1** | **1** | **3** | **6.6** | **10** | **11.4** | **11.8** | **13** | **13.8** | **15.6** | **16.8** | **17.6** |
|  |  | 0.23 | 0.38 | 0.6 | 0.88 | 1.18 | 1.48 | 1.91 | 2.41 | 2.73 | 3.32 | 3.9 | 4.52 | 5.12 | 5.55 |

Moreover, the class service requested by each UE, defined as the tuple , is sampled from an random uniform integer distribution parametrized by the integer interval [1,8], in accordance with values shown by Table IV. Para todos os experimentos conduzidos é considerado um cenário alternativo que não apresenta a adoção de CRE bias, para melhor avaliar a aplicação do CRE e o grau de desbalanceamento da rede, com base nas métricas e variáveis de decisão consideradas na função objetivo da Eq. (12).

Therefore, it is expected to assess the impact of the user association policy based on Max-SINR, in order to perform a quantitative analysis, based on the number of users with DL requirements met () and on the quantity of BSs that serve users (). The values for and were determined by a sensitivity analysis approach, whose results are reported in numerical results section.

Table IV. User application profile [40]

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **#** | **Application Profile** | **(Mbps)** |  |
| 1 | AV/VR | 100 | 0.6 |
| 2 | Factory Automation | 1 | 0.8 |
| 3 | Data Backup | 1 | 1 |
| 4 | Smart Grid | 0.4 | 0.3 |
| 5 | Smart Home | 0.001 | 1 |
| 6 | Medical | 2 | 0.2 |
| 7 | Environmental Monitoring | 1 | 0.1 |
| 8 | Tactile Internet | 200 | *0.8* |

## Experiment I: Unified CRE Bias

In this experiment, all SBSs adopt a unified CRE bias value. Thus, the main objective of this experiment is to evaluate the adoption of ordinary CRE bias values, without any kind of optimization technique, to observe its impact on the network balance and consequently its effect on UEs’ achievable rates, in compliance with the objective function (12).

Os valores utilizados de CRE bias estão definidos no intervalo discreto [-10.0, 85.0] dB, com intervalos de 5.0 dB. Assim, neste experimento são avaliados 20 valores distintos de CRE bias com base no conjunto . Com o experimento espera-se avaliar the level of unbalance of the network, which should be lower than that observed in the scenario without the adoption of bias, implying higher downlink rates for the UEs and a better distribution of load among the BSs of the scenario used. In the remainder of this work, the Unified Cell Range Expansion Bias approach is denoted by UCB for convenience reasons.

## Experiment II: PSO-Based CRE Bias

Neste experimento é realizada a adoção do algoritmo de otimização por enxame de partícula, para o cálculo dos valores de CRE bias a serem aplicados em cada uma das SBSs do cenário considerado. Assim, diferentemente da abordagem utilizada pelo experimento I, a partir da utilização do PSO busca-se realizar a adoção de um valor específico de CRE bias para cada uma das SBSs do conjunto , isto é, por meio de tal abordagem busca-se a definição dos elementos do conjunto .

Em adição, para o experimento considerado adota-se a variação de PSO com adoção do peso de inércia decrescente e com tamanho de enxame fixo (Decrease-IW PSO [38]). Além disso, ao se considerar a adoção do PSO e o contexto deste trabalho, cada partícula é uma solução candidata para o problema de otimização em um espaço *d*-dimensional, onde . Assim, a posição da *i*-th partícula é denotada por um vetor , onde , onde representa o número de partículas do bando.

A função de aptidão do PSO avalia as partículas do enxame com base nos critérios da função objetivo (12), de forma que ao final das condições de processamento, a melhor posição global atingida () representa a solução proposta para o conjunto de CRE bias . A Tabela V apresenta os parâmetros utilizados na implementação do PSO deste experimento, and similarly to the UCB approach, in the remainder of this work, the PSO-based CRE approach is denoted by PCB for convenience reasons.

Table V. PCB parameters

|  |  |
| --- | --- |
| **PCB Parameter** | **Value** |
| Swarm size |  |
| Maximum number of interactions |  |
| Static inertia weight |  |
| Random factor interval for and |  |
| Cognitive particle behaviour factor () |  |
| Social particle behaviour factor () |  |

## Experiment III: PSO Variants

Neste experimento é realizada a adoção de algumas implementações adicionais de PSO, de modo a explorar resultados adicionais, e variações do algoritmo clássico de PSO que possam melhor percorrer o espaço de busca, dado as características inerentes do problema e das variáveis de decisão consideradas. Em adição, como na maioria das meta-heurísticas de algoritmos de otimização, o PSO trabalha com diversos parâmetros, cuja definição podem representar um problema de otimização secundário. Assim, este experimento considera a utilização de algumas variantes clássicas tais como CoPSO [34], Increase-IW PSO [41], Stochastic-IW PSO [42], e AIWPSO [43], de forma a relacionar na Tabela VI, os parâmetros utilizados em cada uma das variantes clássicas selecionadas, com base nos valores apresentados em [32].

Em adição às variações clássicas utilizadas, uma variação da implementação Decrease-IW PSO com população variável é considerada neste experimento. Nesta variação, adota-se a média de avaliação das partículas do bando no *i*-th passo (), como um parâmetro de avaliação da convergência da solução. Assim, quando , há o indício de estabilização da avalição das partículas do enxame, e assim, todas as partículas com avaliação abaixo da média de avaliação do grupo são reinicializadas para novas posições aleatórias, fazendo com que a avaliação média do enxame provavelmente apresente comportamento decrescente no passo seguinte, porém passe a apresentar comportamento crescente nos passos seguintes.

Table VI. The parameters used for the selected methods for comparison

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Algorithm name** | **Velocity updating parameters** | **Reference** |
| CoPSO |  | [34] |
| Increase-IW PSO |  | [41] |
| Stochastic-IW PSO |  | [42] |
| AIWPSO | 92 | [43] |

# Numerical Results

The performance of UCB and PBC approaches is evaluated through simulations. We first evaluate the efficiency of UCB as a simple and good solution to problem formulated in (12) by comparing it to the solutions obtained through scenarios with absence of CRE bias. We then evaluate the PBC approach, comparing it with UCB results. Later, we explore alternate several PSO variants, in order to try explore better results and observations.

A Fig. 2 apresenta o desempenho médio das diferentes combinações dos valores de e em função dos valores de CRE bias específicos, 20, 40 e 60 dB. Os valores obtidos através da função objetivo (12) são normalizados em função da influência da combinação de e utilizados, conforme o seguinte conjunto , onde cada par ordenado representa os valores de e respectivamente. Assim, a partir da definição do experimento I, a abordagem UCB é analisada para diferentes valores de CRE bias, em função de diferentes valores de e , e avaliada também pela comparação com a abordagem sem adoção de CRE bias nas SBSs.

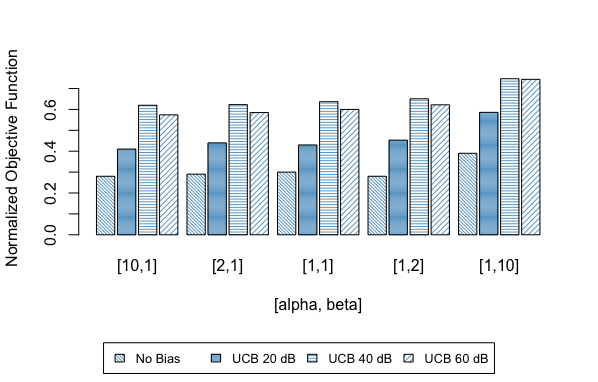


Fig. 2. Normalized objective function over α and β values.

Através dos resultados obtidos é possível inicialmente observar que de fato, a aplicação da técnica de CRE é simples e eficaz para melhorar o balanceamento de carga na rede, uma vez que, em todos os cenários observados, a não utilização de bias gerou resultados inferiores aos obtidos com a aplicação de CRE bias, com base na definição da função objetivo (12) e das métricas de avaliação consideradas.

Ainda conforme a Fig. 2, observam-se diferentes valores de CRE bias aplicados ao modelo de avaliação proposto. Com base no exposto é possível observar que para todos os valores de e , observou-se uma tendência crescente e depois decrescente entre os valores de CRE bias apresentados. Para a maioria dos casos, o valor de 40 dB figurou entre os melhores valores de CRE bias, com exceção para o caso , onde observam-se aproximadamente os mesmo resultados.

De fato, ao se observar os resultados numéricos obtidos, ao se utilizar os valores de 40 e 80 dB para CRE bias no cenário proposto, mais de 90% das BSs possuem usuários conectados, enquanto que tal valor cai para o patamar de 45% das BSs quando se considera o cenário sem a adoção de CRE bias, conforme a definição da variável de decisão (10). Isto é, a aplicação da técnica de CRE tende a proporcionar melhor balanceamento de usuários ao longo da HetNet, realizando um processo de *offload* de parte dos usuários da MBS para a camada SBS.

De maneira complementar, a Fig. 3 apresenta o desempenho da abordagem UCB para diferentes valores de e , em função dos valores de CRE bias definidos no intervalo discreto dB. Conforme pode ser verificado, para a abordagem UCB, todas as curvas do gráfico no subintervalo dB apresentam os melhores valores da função de avaliação normalizada. Observa-se que através dos resultados obtidos é possível mais uma vez observar que a aplicação da técnica de CRE pode ser eficaz para melhorar o balanceamento de carga na rede, uma vez que, em todos os cenários observados, a não utilização de bias gerou resultados inferiores aos obtidos com a aplicação de CRE bias.

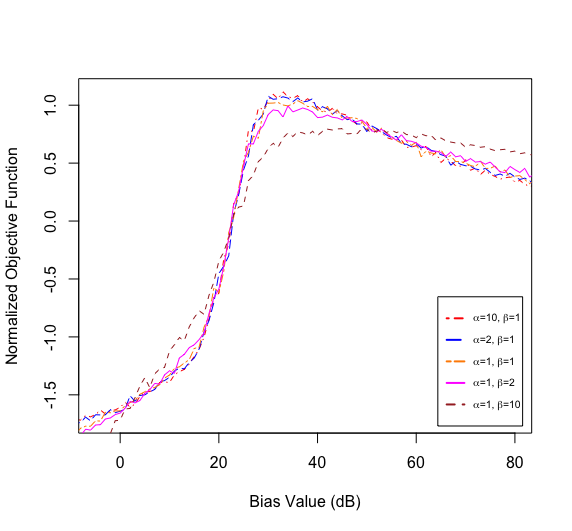


Fig. 3. Normalized objective function over bias values options.

Em adição, quando , observa-se um comportamento bem similar entre as curvas observadas, porém ao se observar o caso contrário , e a definição da função objetivo (12), observa-se que tais casos representam situações onde a variável possui maior peso no valor final da Eq. (12), e desta forma tendem apresentar curvas inferiores às demais, devido a dimensionalidade da variável de decisão , cujo máximo é igual ao número de BSs do conjunto . Além disso, a densidade de usuários é muito maior que a densidade de BSs , e assim, torna-se natural a observação de tais comportamentos, conforme os resultados para valores de CRE bias acima de 50 dB.

Ainda com relação à Fig. 3 é possível observar que o intervalo dB apresenta valores pouco expressivos de , que correspondem à um cenário sem a aplicação do CRE bias, e assim conclui-se que a área de cobertura virtual da SBS foi excessivamente reduzida ou ampliada de modo inexpressivo, de modo a pouco influenciar um balanceamento mais justo da rede móvel. Para valores de CRE bias no intervalo dB, observa-se que progressivamente o valor de avaliação sofre um comportamento decrescente, de modo a indicar um *offloading* excessivo das MBSs, levando à um aumento da carga das SBSs () e a redução do quantitativo de RBs por UE, conforme a definição da Eq. (7).

A Fig. 4 descreve os valores observados para o intervalo dB, para o caso , dado que este caso representa curva com maior valor observado na Fig. 3. Conforme observado, ratifica-se a observação de melhores valores de CRE bias para o intervalo dB, porém com especial atenção aos valores em torno de 30 dB, dada a melhor coesão e dispersão da representação de boxplot deste valor. Ao se considerar o boxplot de 30.0 dB, o limite inferior, o primeiro quartil, a mediana e o terceiro quartil apresentam valores superiores aos observados nos boxplots vizinhos. Ainda assim, dada a presença de outliers no boxplot de 30 dB, entende-se que de fato, os melhores valores para para a abordagem UCB estão definidos no intervalo de 25 a 40 dB.

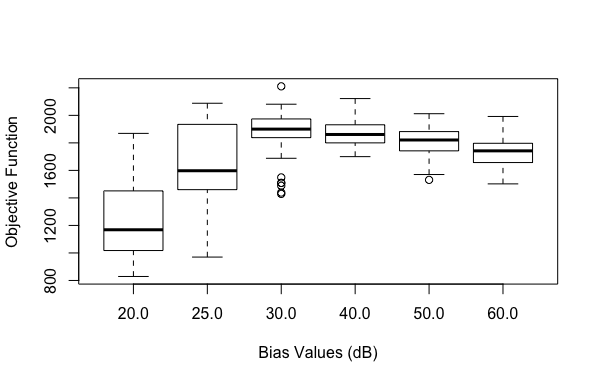


Fig. 4. Objective function results for UCB over several bias values.

É importante destacar que com a aplicação de diferentes valores de e no cenário UCB, e este não estar baseado na aplicação de meta-heurísticas de algoritmos de otimização, todo o espaço de busca pode ser percorrido, dada a natureza discreta e finita do conjunto . Ao combinar tal conjunto com as opções utilizadas de e e com a geração de 1.000 cenários aleatórios, contabiliza-se um total de simulações para buscar dos melhores valores de CRE bias em função das métricas de avaliação consideradas.

Porém considerando o mesmo valor de CRE bias para todas as SBSs (abordagem unificada), e considerando ainda o tempo computacional necessário para execução do total simulações, que ao utilizar a modelagem de sistema apresentada na Seção II, pode não gerar um resultado satisfatório em tempo computacional aceitável, assim fica evidente a necessidade de adoção de técnicas que possam convergir para um resultado satisfatório em tempo computacional aceitável.

A Fig. 5 (a) apresenta os valores numéricos normalizados médios obtidos através da aplicação das abordagens UCB e PCB na função objetivo (12), com base nos cenários modelados pelos experimentos I e II. Conforme pode ser observado, os resultados obtidos por ambas as abordagens assemelham-se para todos os valores de e , com exceção novamente para o caso , onde a abordagem PCB consegue convergir para resultados cujos valores da variável é mais significativa para o cálculo da função objetivo.

Porém com base no apresentado pela Fig. 5 (b) observa-se que ainda os valores normalizados da função objetivo sejam semelhantes, a partir da definição da variável de decisão (11), sugere-se que a abordagem PCB apresenta resultados promissores, ao se considerar a soma da taxa de downlink obtida por todos os dispositivos de usuários. Conclui-se que as soluções geradas pela abordagem PCB tendem a gerar melhores resultados conforme tal métrica de avaliação, indicando portanto um melhor processo de balanceamento de carga entre as BSs do sistema.

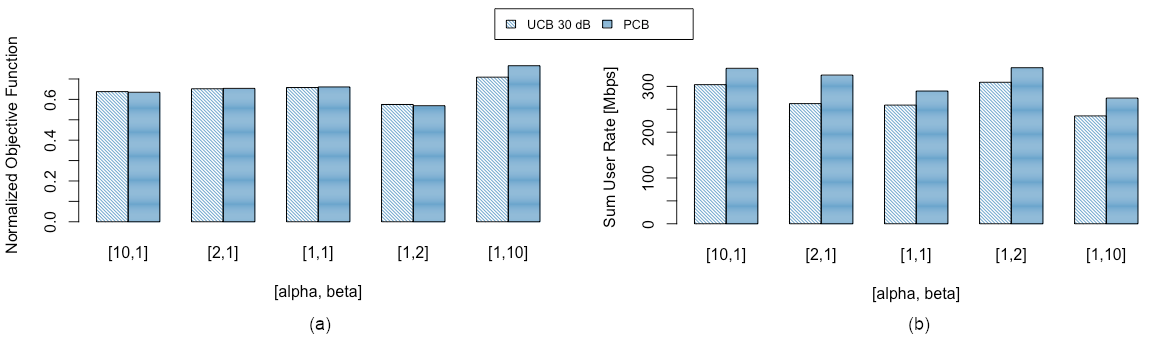


Fig. 5. (a) Normalized average objective function of UCB and PCB. (b) Sum of UEs’ downlink rate.

A Fig. 6 apresenta a dispersão dos valores de CRE bias obtidos pela abordagem PCB. Conforme pode ser observado, para todos os valores de e , os valores calculados de CRE bias estão principalmente no intervalo  dB, representando portanto uma faixa de valores razoavelmente distinta da abordagem unificada UCB, cujos melhores resultados estão em torno de 30 dB para valores de CRE bias. Ainda que o boxplot que represente a dispersão de resultados de CRE bias obtidos para o caso possua um formato diferente dos demais casos, é importante destacar que a mediana de todos os casos está no intervalo dB, ratificando portanto que a abordagem PCB tende a selecionar soluções com baixos valores de CRE bias em comparação ao observado nos experimentos anteriores. Tal comportamento indica que uma ampliação virtual de poucos decibéis pode ser suficiente para um balanceamento promissor da rede.

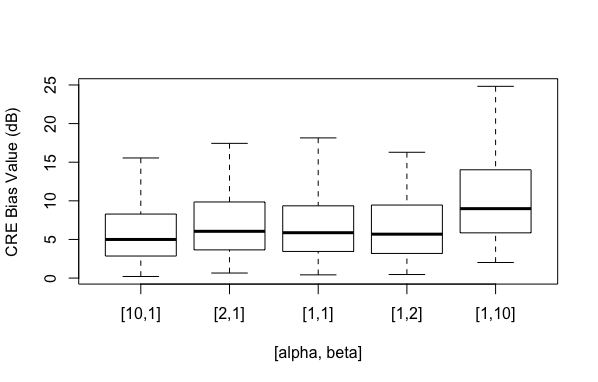


Fig. 6. Representação dos principais valores de CRE bias encontrados pela abordagem PCB.

É importante ressaltar novamente, que diferentemente do experimento I, a abordagem PCB procurar realizar o cálculo de CRE bias específicos para cada uma das SBSs do conjunto , e ao sugerir a adoção de valores no intervalo [5,10], indica-se que potencialmente o conjunto de melhores soluções está baseada associação dos dispositivos de usuários com as SBSs mais próximas do ponto de vista geográfico.

A Fig. 7 apresenta uma análise comparativa entre as variantes de PSO apresentadas na Tabela IV, levando-se em consideração a variável de decisão da Eq. (9) . Em todos os casos considerados foi utilizada a configuração , com um total de 1.000 execuções para cada opção, e com variação no tamanho de população entre 20, 40, 60 e 80 partículas. Cabe ainda ressaltar que todas as implementações selecionadas foram comparadas com a abordagem UCB, definida pelo experimento I.

Conforme pode ser observado, observa-se um comportamento crescente de avaliação, a medida que o tamanho da população do enxame foi ampliada. Assim, entende-se que pela dimensionalidade do espaço de busca considerado, enxames com 60 ou 80 partículas puderam varrer o espaço dimensional *d*-dimensional, onde . Cabe ainda ressaltar que as variantes clássicas utilizadas atingiram desempenhos similares, com especial destaque às variantes StochasticIWPSO que teve os piores resultados quando o tamanho da população esteve entre 20 e 60 partículas e para a variante AIWPSO que em todos os cenários apresentou a melhor representação de cenários, ao se considerar a mediana dos resultados observados, além de apresentar o maior valor observado em todas as simulações executadas quanto o tamanho do enxame estava configurado para 80 partículas.

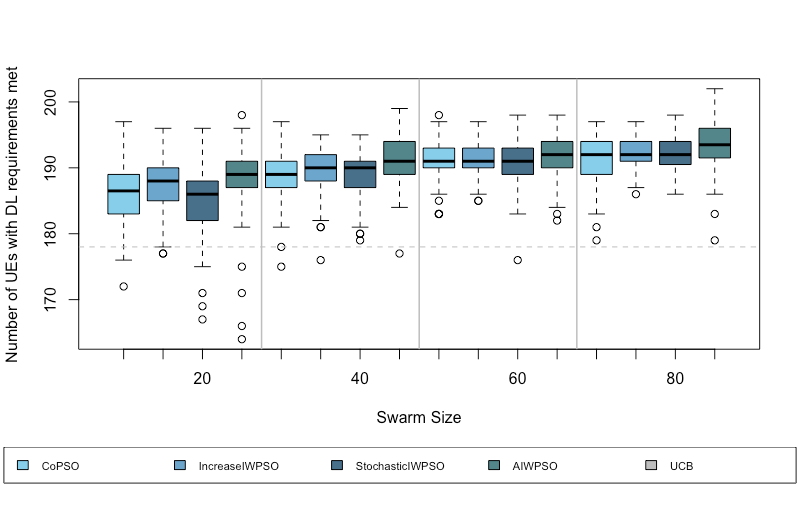


Fig. 7. Representação dos principais valores de CRE bias encontrados pela abordagem PCB.

Ainda com relação à Fig. 7 é importante observar que para o caso onde a população esteve configurado para 20 partículas, algumas variantes apresentaram em parte das execuções resultados inferiores ao observado pela variante UCB. Porém a medida que o tamanho de população foi configurado para valores superiores, entende-se que os resultados observados são estatisticamente representativos, de modo a demonstrar a eficácia da técnica empregada.

# Conclusion and Future Work

In this paper, we considered a K-tier HetNet environment, proposing user association schemes and load balancing through a bio-inspired approach using particle swarm optimization algorithm. In the K-tier HetNet, o equipamento de usuário tradicionalmente se conecta à maior potência de sinal percebida, resultando em menor associação com small cells, e levando assim à processo de desbalanceamento da rede. By considering a CRE-based user association that considers the amount of UEs with downlink requirements and the number of BSs with users associated with as objective function, the PSO algorithm ﻿offloads the UEs toward small cells and the application of this technique may lead to better balance in the network without a resolução de problemas de otimização combinatória ou do uso sinalização excessiva e não padronizada. ﻿This bio-inspired approach shows an impressive result by reducing the network inbalance and increasing the throughput per UE. Future work includes the adoption of dynamic clustering methods to reduce search space dimensionality and improve the eficácia dos resultados obtidos, de forma a considerar both energy and spectral efficiency with high user mobility.

acknowledgment

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brazil (CAPES) - Finance Code 001.

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.

[25] Zhongyu Gao, Zhendong Li, Ning Wang, Dong Wang, and Xiaomin Mu, “On SINR Biasing for Optimal Cell Range Expansion in Two-tier Wireless Hetnets,” in *7th IET International Conference on Wireless, Mobile & Multimedia Networks (ICWMMN 2017)*, 2017, pp. 13 (6 pp.)-13 (6 pp.).

[26] A. K. Kar, “Bio inspired computing - A review of algorithms and scope of applications,” *Expert Systems with Applications*. 2016.

[27] W. Song and C. Huang, “Mining High Utility Itemsets Using Bio-Inspired Algorithms: A Diverse Optimal Value Framework,” *IEEE Access*, 2018.

[28] J. Kennedy and R. Eberhart, “Particle swarm optimization,” in *Proceedings of ICNN’95 - International Conference on Neural Networks*, 1995, vol. 4, pp. 1942–1948 vol.4.

[29] S. Kefi, N. Rokbani, P. Krömer, and A. M. Alimi, “Ant supervised by PSO and 2-Opt algorithm, AS-PSO-2Opt, applied to Traveling Salesman Problem,” in *2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, 2016, pp. 4866–4871.

[30] R. Santos, G. Borges, A. Santos, M. Silva, C. Sales, and J. C. W. A. Costa, “A semi-autonomous particle swarm optimizer based on gradient information and diversity control for global optimization,” *Appl. Soft Comput. J.*, 2018.

[31] R. Poli, J. Kennedy, and T. Blackwell, “Particle Swarm Optimization: An Overview,” *Swarm Intell.*, 2007.

[32] M. R. Bonyadi, Z. Michalewicz, and X. Li, “An analysis of the velocity updating rule of the particle swarm optimization algorithm,” *J. Heuristics*, 2014.

[33] S. Ghosh, S. Das, D. Kundu, K. Suresh, B. K. Panigrahi, and Z. Cui, “An inertia-adaptive particle swarm system with particle mobility factor for improved global optimization,” *Neural Comput. Appl.*, 2012.

[34] M. Clerc and J. Kennedy, “The particle swarm-explosion, stability, and convergence in a multidimensional complex space,” *IEEE Trans. Evol. Comput.*, 2002.

[35] Z. Zhan, J. Zhang, Y. Li, and H. S. Chung, “Adaptive Particle Swarm Optimization,” *IEEE Trans. Syst. Man, Cybern. Part B*, vol. 39, no. 6, pp. 1362–1381, Dec. 2009.

[36] D. B. Chen and C. X. Zhao, “Particle swarm optimization with adaptive population size and its application,” *Appl. Soft Comput. J.*, 2009.

[37] Y. Shi and R. Eberhart, “Modified particle swarm optimizer,” in *Proceedings of the IEEE Conference on Evolutionary Computation, ICEC*, 1998.

[38] Y. Shi and R. C. Eberhart, “Parameter selection in particle swarm optimization,” in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 1998.

[39] 3GPP TR 36.814 V9.0.0, “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Further advancements for E-UTRA physical layer aspects (Release 9),” *3rd Gener. Partnersh. Proj. Tech. Rep*, 2010.

[40] E. Sturzinger, M. Tornatore, and B. Mukherjee, “Application-Aware Resource Provisioning in a Heterogeneous Internet of Things.”

[41] Y. L. Zheng, L. H. Ma, L. Y. Zhang, and J. X. Qian, “Empirical study of particle swarm optimizer with an increasing inertia weight,” in *2003 Congress on Evolutionary Computation, CEC 2003 - Proceedings*, 2003.

[42] R. C. Eberhart and Y. Shi, “Tracking and optimizing dynamic systems with particle swarms,” in *Proceedings of the IEEE Conference on Evolutionary Computation, ICEC*, 2001.

[43] A. Nickabadi, M. M. Ebadzadeh, and R. Safabakhsh, “A novel particle swarm optimization algorithm with adaptive inertia weight,” *Appl. Soft Comput. J.*, 2011.