

Algoritmos *QoS-aware* para o Escalonamento Downlink LTE-A em Cenários de Tráfego Misto: Uma Comparação de Desempenho

Júnio Moreira, Éderson R. Silva e Paulo R. Guardieiro

Resumo— As aplicações de vídeo são responsáveis pela maior parte do tráfego nas redes móveis celulares. Em vista disso, propõe-se neste artigo um algoritmo *QoS-aware* para o escalonamento downlink LTE-A, denominado de "enhanced-PSS" (e-PSS), desenvolvido a partir do algoritmo PSS com o objetivo de melhor atender aos requisitos de QoS das aplicações de videoconferência. Esta proposta surgiu a partir de um estudo comparativo de desempenho entre diversos algoritmos de escalonamento. A avaliação de desempenho do algoritmo proposto foi realizada por meio de modelagem e simulação. Os resultados das simulações demonstraram que o escalonador proposto pode alcançar um melhor desempenho em termos de *throughput*, atraso médio, perdas de pacotes e justiça, atendendo aos requisitos das aplicações de videoconferência.

Palavras-Chave— *QoS-aware*, Escalonamento, Downlink, LTE-A, Videoconferência.

Abstract— Video applications account for most of the traffic on mobile cellular networks. In this paper, we propose a *QoS-aware* algorithm for the LTE-A downlink scheduling, known as "enhanced PSS" (e-PSS), developed from the PSS algorithm with the goal of better meeting the QoS requirements of video-conference applications. This proposal arose from a comparative performance study among several scheduling algorithms. The performance evaluation of the proposed algorithm was performed through modeling and simulation. The results of the simulations demonstrated that the proposed scheduler can achieve better performance in terms of throughput, average delay, packet loss and fairness, meeting the requirements of videoconference applications.

Keywords— *QoS-aware*, Scheduling, Downlink, LTE-A, Video-conference.

I. INTRODUÇÃO

Atualmente, as aplicações de vídeo nas redes móveis celulares representam a maior demanda de tráfego e espera-se que as mesmas continuem crescendo nos próximos anos. De acordo com [1], o volume de tráfego de vídeo deverá ser 70% dos dados móveis em 2018, aumentando a capacidade em treze vezes, entre 2014 e 2019.

Um estudo recente apresentado em [2] indica que as operadoras consideraram a transmissão de conteúdo de vídeo como um dos serviços do *Long-Term Evolution* (LTE) mais lucrativos. Assim, as operadoras estão preocupadas em usar os

Os autores estão vinculados ao Grupo de Pesquisa em Redes de Computadores da Faculdade de Engenharia Elétrica (FEELT), Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia-MG, Brasil. E-mails: {ersilva, prguardieiro}@ufu.br. Júnio Moreira é vinculado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro (IFTM). E-mail: juniomoreira@iftm.edu.br

recursos de rádio de forma eficiente para alcançar um alto desempenho do sistema e garantir uma *Quality of Service* (QoS) adequada para aplicações multimídia aos usuários. No entanto, esta tarefa torna-se mais desafiadora com o crescente número de usuários do sistema [3], e com os requisitos restritos de aplicações, como por exemplo, de videoconferência.

Para enfrentar esses desafios, o *Third Generation Partnership Project* (3GPP) introduziu as especificações do *Long-Term Evolution Advanced* (LTE-Advanced) [4]. A rede LTE-A melhora substancialmente o *throughput* do usuário final e reduz a latência, além do provisionamento de recursos e *Quality of Experience* (QoE) aprimorados para várias aplicações de multimídia em tempo real.

Para atender aos requisitos dessas aplicações e suportar as limitações dos enlaces de radiofrequência, escalonadores adequadamente desenvolvidos são requeridos. Em vista disso, os escalonadores procuram otimizar o uso de recursos de rádio, bem como maximizar o *throughput* do sistema. No padrão LTE não é definido nenhum tipo específico de escalonador, deixando assim espaço para inovação e diferenciação.

Diversos trabalhos apresentaram propostas de escalonadores downlink LTE. Por exemplo, em [5], os autores apresentaram a implementação de vários escalonadores downlink, nomeadamente, *maximum throughput* (MT), *throughput to average* (TTAS), *blind equal throughput* (BET), *token bank fair queue* (TBFQ) e *priority set* (PSS). O estudo compara os resultados de simulação produzidos pelos escalonadores com o respectivo desempenho teórico em alguns cenários de referência. No presente trabalho propõe-se a extensão do algoritmo PSS, proposto em [5], visando melhor desempenho de QoS. Já em [6], comparou-se o desempenho de vários algoritmos de escalonamento downlink para cenários de tráfego UDP e TCP considerando os domínios de tempo e frequência.

Outros trabalhos propuseram diferentes abordagens para atender aos requisitos de QoS. Em [7], os autores desenvolveram um mecanismo eficiente de gerenciamento de recursos para suportar QoS e alocar os *Resource Blocks* (RB's) downlink para os *User Equipments* (UEs) para fluxos de tráfego *Guaranteed Bit Rate* (GBR). Os resultados mostraram que a proposta pode reduzir a perda de pacotes e o atraso dos fluxos de tráfego GBR. No estudo [8], um escalonador *QoS-aware* para o LTE downlink é proposto, com o objetivo de priorizar o tráfego em tempo real.

Com base na literatura, até onde é do conhecimento dos autores deste artigo, não foram encontrados estudos comparativos dos principais escalonadores *QoS-aware* no downlink LTE-A

com foco na aplicação de videoconferência. Dessa forma, as principais contribuições deste artigo são:

- (i) Uma análise de desempenho de diferentes algoritmos de escalonamento do estado da arte (CQAS, PFS, PSS, e-PSS e TBFQS) da transmissão *downlink* em redes móveis *Orthogonal frequency-division multiple access* (OFDMA) para tráfego misto.
- (ii) Uma proposta de um escalonador *QoS-aware* no *downlink* LTE-A em cenário de tráfego misto, chamado *enhanced-PSS* (e-PSS), a fim de obter um melhor desempenho em termos de índice de justiça, atraso médio, *Packet Loss Ratio* (PLR) e *throughput* quando comparado ao PSS.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma. As principais informações dos algoritmos de escalonamento de pacotes para sistemas LTE que são usados na simulação são apresentadas na Seção II. A proposta de melhoria do escalonador PSS para e-PSS é descrita na Seção III. Os resultados da simulação e desempenho do escalonador proposto são analisados na Seção IV. Conclusões e sugestões de trabalhos futuros são apresentadas na Seção V.

II. ALGORITMOS DE ESCALONAMENTO EM REDES LTE

Apresenta-se, a seguir, os algoritmos de escalonamento *downlink* comparados neste trabalho e a Tabela I, adaptada de [6], resume as principais características de cada algoritmo.

A. Channel and QoS Aware Scheduler (CQAS)

O escalonador CQAS [9] utiliza parâmetros de QoS, tais como, atraso, perda de pacotes e taxa GBR para a definição de sua métrica. Em cada *subframe* j (2 RB's), o escalonador CQAS agrupa os usuários de acordo com a seguinte equação:

$$i_{td}(j) = \left\lceil \frac{d_i(j)}{g} \right\rceil \quad (1)$$

na qual $d_i(j)$ é o atraso devido ao efeito *Head of the Line* (HoL) do usuário i no *subframe* j , e g é uma constante. Estes grupos de usuários são escalonados em ordem decrescente de acordo com o $i_{td}(j)$.

O agrupamento é usado para selecionar o fluxo com a maior urgência, ou seja, com o maior valor de atraso HoL e para garantir que o mecanismo de escalonamento considere os fluxos no domínio da frequência. Um valor baixo da variável g reduz a diversidade dos usuários e os ganhos de escalonamento, portanto, privilegia o $d_i(j)$ dos usuários. Por outro lado, um valor alto da variável g aumenta a diversidade dos usuários e os ganhos de escalonamento, porém o $d_i(j)$ possui um impacto menor nas decisões de escalonamento [9].

Os UEs em cada grupo são atribuídos aos *Resource Block Groups* (RBGs) nesse *subframe*. Assim, para cada l -ésimo RBG, os UEs são ordenados conforme uma segunda métrica, definida como:

$$\hat{i}_{fd,CQA}(j,l) = d_i(j) \frac{GBR_i}{\zeta_i(j)} i_{ca}(j,l) \quad (2)$$

em que GBR_i é a taxa de bits que a rede deve suportar para o usuário i , a variável $\zeta_i(j)$ representa o *throughput* médio,

enquanto que $i_{ca}(j,l)$ leva em conta o RBG alocado para o i -ésimo usuário, sendo calculada como:

$$i_{ca,PF}(j,l) = \frac{r_i(j,l)}{\zeta_i(j)} \quad (3)$$

na qual $r_i(j,l)$ é a taxa de dados em que a EnodeB pode transmitir para o usuário i no l -ésimo RBG do *subframe* j .

B. Proportional Fair Scheduler (PFS)

O PFS tenta encontrar um equilíbrio entre eficiência espectral e justiça, ajustando o índice de escalonamento de acordo com a qualidade instantânea de canal [10], em relação ao seu desempenho ao longo do tempo. A métrica de escalonamento do PFS é, portanto, dada por:

$$\hat{i}_{PFS}(j) = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq N} \frac{r_i(j)}{\zeta_i(j)}. \quad (4)$$

O objetivo é utilizar o *throughput* médio $\zeta_i(j)$ para atuar como um fator de ponderação da taxa de dados $r_i(j)$, para que os usuários em condição de qualidade baixa de canal sejam atendidos dentro de um determinado período de tempo.

C. Priority Set Scheduler (PSS)

O PSS é um escalonador *QoS-aware* que combina operações de escalonamento no domínio do tempo (TD) e domínio da frequência (FD). De acordo com [11], no primeiro estágio, o PSS extrai N_{max} usuários para serem servidos no segundo estágio, de acordo com a abordagem FD. Para cada *subframe* j , o escalonador divide os usuários em dois grupos, baseado em seu *throughput* médio $\zeta_i(j)$, se o valor for menor (grupo 1), ou se o valor for maior (grupo 2) do que o *target bit rate* (TBR). Os UEs do grupo 1, tem prioridade sobre o grupo 2. Os usuários N_{max} com maior prioridade são selecionados para o segundo estágio. Assim, os l -ésimos RBGs no *subframe* j são atribuídos para o UE i com a máxima métrica do escalonador *Proportional Fair* (PFS), ou seja:

$$\hat{i}_{PSS}(j,l) = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq N} \frac{r_i(j,l)}{\zeta_{sch,i}(j)} \quad (5)$$

na qual $\zeta_{sch,i}(j)$ considera o *throughput* médio do passado para o UE i , ao contrário de $\zeta_i(j)$, ao qual é atualizado apenas quando o UE é realmente escalonado.

D. Token Bank Fair Queue (TBFQS)

O TBFQS é um escalonador *QoS-aware* que combina operações de escalonamento no domínio do tempo (TD) e domínio da frequência (FD). O escalonador sempre seleciona o UE com a métrica mais alta e aloca o RBG com o maior *Channel Quality Indicator* (CQI) de sub-banda até que não haja nenhum pacote dentro do *buffer Radio Link Control* (RLC) do UE ou todos os RBGs sejam alocados [12]. No TD-TBFQ, depois de selecionar o UE com a métrica máxima, ele aloca todos os RBGs para este UE usando o CQI. O TBFQS é baseado no mecanismo de *leaky bucket* que controla os fluxos para um determinado perfil de tráfego. Cada fluxo k é caracterizado pelos seguintes parâmetros:

TABELA I: Principais Características de Diferentes Algoritmos de Escalonamento

Escalonadores	CQAS	PFS	PSS	TBFQS
Objetivos	Maximizar eficiência espectral com controle de latência	Maximizar o equilíbrio entre eficiência espectral e justiça	Maximizar <i>throughput</i> com controle de justiça	Mecanismo <i>leaky bucket</i> e qualidade do canal
Características	Híbrido	FD ou TD	Híbrido	Híbrido
Parâmetros	Capacidade atual dos RB's & <i>throughput</i> médio dos usuários & atrasos de pacotes HoL	Capacidade atual dos RB's & <i>throughput</i> médio dos usuários	Capacidade atual dos RB's & <i>throughput</i> médio dos usuários	Capacidade atual dos RB's & SINR

- λ_k : Taxa de chegada de pacotes
- r_k : Taxa de geração de *token*
- P_k : Tamanho do *pool token*
- E_k : Contador do número de *tokens* pelo fluxo k

A alocação é baseada na SINR máxima, que é utilizada para selecionar o usuário:

$$\hat{i}_{TBFQS}(j) = \underset{1 \leq i \leq N}{\operatorname{argmax}} (\gamma_{ij}(t_j)) \quad (6)$$

na qual $\gamma_{ij}(t_j)$ é a SINR do usuário i selecionado no *subframe* j . Este é um algoritmo oportunista, o que significa que a política *Adaptive Modulation and Coding* (AMC) explora ao máximo a diversidade multiusuário em uma célula com intervalo de tempo em que apenas um usuário é escalonado.

III. PROPOSTA DE MELHORIA DO ALGORITMO QoS-AWARE (PSS): ENHANCED PRIORITY SET SCHEDULER (E-PSS)

Neste trabalho, o objetivo é priorizar o tráfego de videoconferência, que é uma aplicação multimídia em tempo real com requisitos de QoS.

Como algoritmo de escalonamento base para a proposta apresentada no presente trabalho, escolheu-se o PSS devido a três de suas características, que são: simplicidade, permitir operações de escalonamento nos domínios do tempo (TD) e da frequência (FD), e ser um algoritmo *QoS-aware*. Para isso, propõe-se modificar o PSS de forma a atender aos requisitos de QoS da aplicação de videoconferência em cenários de tráfego misto. Como a referida aplicação é sensível ao atraso e requer um *throughput* mínimo, acredita-se ser importante priorizar usuários que estão há mais tempo esperando por uma transmissão. Nesse sentido, a opção escolhida para melhorar o desempenho do PSS foi alterar a sua métrica derivada da Equação 5, visando manter suas características básicas. Este novo algoritmo de escalonamento foi denominado de "*enhanced-PSS*" (e-PSS), cuja métrica é apresentada a seguir:

$$\hat{i}_{e-PSS}(j, l) = \underset{1 \leq i \leq N}{\operatorname{argmax}} d_i(j) \cdot \frac{r_i(j, l)}{\zeta_{sch, i}(j)} \quad (7)$$

Neste caso, $\hat{i}_{e-PSS}(j, l)$ atua diminuindo o atraso na rede de acesso LTE, levando em conta o atraso HoL sofrido pelos pacotes.

IV. AMBIENTE DE SIMULAÇÃO

Para avaliar o desempenho do e-PSS, um ambiente de simulação no NS-3.28 [13] foi modelado com *software* do projeto LENA [14]. A Tabela II apresenta os principais parâmetros

de simulação, os quais são baseados no trabalho descrito em [15].

TABELA II: Parâmetros de Simulação

Modelo de antena da EnodeB	Modelo de antena isotrópico
Potência EnodeB TX	46 dBm
Potência UE TX	23 dBm
Largura de banda	25 RB's (5MHz)
Esquema AMC	PiroEW2010 [16]
Modo RLC	UM (tamanho do <i>buffer</i> : 10 MB)
Modelo perda de percurso	COST 231
Modelo perda de desvanecimento	Pedestrian EPA model 3 km/h
Modelo de mobilidade do usuário	<i>Steady state random waypoint</i> Velocidade Min.: 0,8 m/s Velocidade Max.: 0,83 m/s Pausa Min.: 0s / Pausa Max.: 0,1s Retângulo: 500m x 500m
Tempo simulado	30 segundos
Sequência de vídeo	akiyo (300 frames)
Resolução do vídeo	QCIF (176 x 144)
Informação de vídeo	Taxa de Bits: 128 kbps Taxa do <i>Frame</i> : 25 fps Grupo de imagens: 30 MTU: 1460 Bytes <i>Encoder</i> : ffmpeg
Distribuição de tráfego	[<i>Background</i> :VoIP:Video] [0,20:0,40:0,40]
Rodadas de simulação	30
Intervalo de confiança	95%

O modelo utilizado considera o tráfego de videoconferência compartilhando os recursos de rede com um tráfego de *background*, do tipo VoIP e transferência de arquivos. Considera-se um cenário de célula única, com um conjunto de UEs conectados a uma EnodeB. Esses UEs foram distribuídos aleatoriamente em uma área quadrada de 500 m^2 ao redor da EnodeB. A modelagem do enlace de radiofrequência segue o COST 231 [9] para perdas de percurso e Pedestrian EPA model 3 km/h para perdas de desvanecimento. Os usuários movem-se dentro da área de cobertura de acordo com o modelo *Steady State Random Waypoint* [17].

Para a modelagem do tráfego de vídeo gerado, utilizou-se a sequência de vídeo *akiyo* através do *framework* Evalvid [18]. Essa sequência apresenta características típicas das videoconferências e parâmetros de simulação próximos aos usados em um sistema real. A sequência de vídeo *akiyo* tem duração de 12 segundos e o tempo simulado é ajustado para 30 segundos. Os resultados de simulação são baseados em médias obtidas a partir de 30 rodadas e intervalo de confiança de 95% foram incluídos.

V. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

O desempenho do algoritmo de escalonamento proposto (e-PSS) foi comparado com o desempenho dos seguintes algorit-

mos: CQAS, PFS, PSS e TBFQS. As métricas de desempenho utilizadas para a análise foram: índice de justiça, atraso médio, PLR e *throughput*.

1) *Índice de Justiça*: A Figura 1 apresenta o índice de justiça em relação ao número de usuários na rede. Com exceção do TBFQS, que possui o menor índice de justiça em relação aos demais algoritmos, o restante dos algoritmos possuem uma leve diferenciação no nível de justiça. Para fins de comparação, apresenta-se também a curva de desempenho do algoritmo *Round-robin Scheduling* (RRS) [19]. Com relação ao algoritmo proposto, e-PSS, nota-se um bom desempenho, o qual se justifica por usar técnicas baseadas no algoritmo PFS.

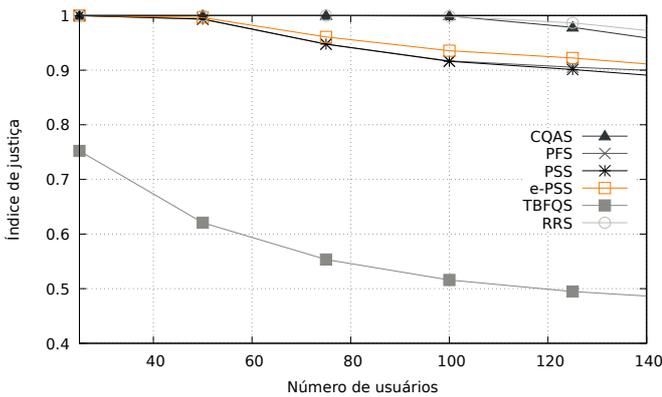


Figura 1: Índice de justiça para usuários no cenário de tráfego misto.

2) *Taxa de Perda de Pacotes*: Uma característica importante para avaliar a qualidade da transmissão de vídeo é a PLR. Os *buffers* de RLC nos UEs foram configurados para 10 MB para assegurar que as perdas sejam causadas pelo processo de descarte e não afetadas por sobrecargas de *buffer*. A Figura 2 mostra a PLR média em função do número de usuários na rede. Ao dar maiores prioridades para o tráfego de videoconferência, o algoritmo CQAS produz os melhores resultados. Com relação ao algoritmo proposto, e-PSS, observa-se que o desempenho apresentado é superior ao algoritmo PSS.

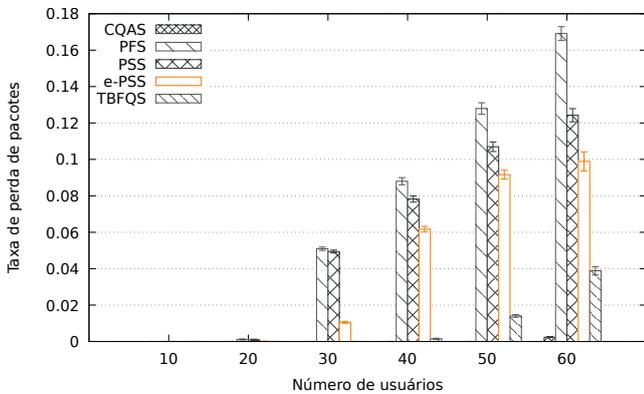


Figura 2: Taxa de perda de pacotes para usuários da aplicação de videoconferência.

3) *Atraso Médio*: A Figura 3 apresenta o atraso médio em função do número de usuários na rede para a aplicação de

videoconferência. Ao dar maiores prioridades para o tráfego de videoconferência, o algoritmo CQAS produz os melhores resultados. Além disso, o algoritmo e-PSS apresenta um melhor desempenho em comparação ao PSS, o que comprova a eficácia da inserção da métrica HoL.

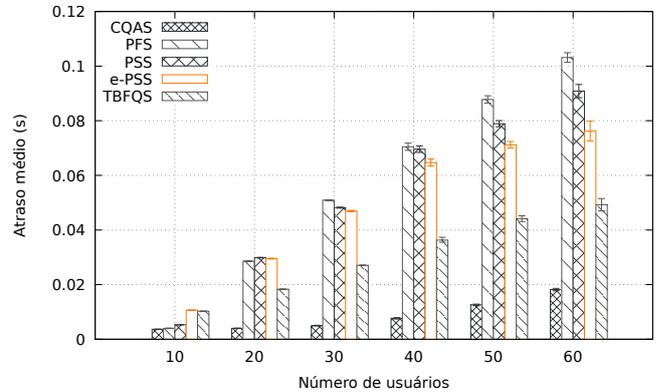


Figura 3: Atraso médio para a aplicação de videoconferência.

4) *Throughput*: A Figura 4 mostra a *Cumulative Distribution Function* (CDF) para o *throughput* por usuário para a aplicação de videoconferência, considerando 150 usuários. O tráfego de vídeo pertence à classe GBR e, portanto, requer uma taxa de bits mínima. A fonte de tráfego de videoconferência usada na simulação opera a 128 kbps. Portanto, o gráfico da Figura 4 mostra que somente os algoritmos TBFQS, CQAS e e-PSS atendem aos requisitos de QoS da aplicação. Além disso, conclui-se que o algoritmo proposto e-PSS apresenta desempenho superior ao algoritmo PSS.

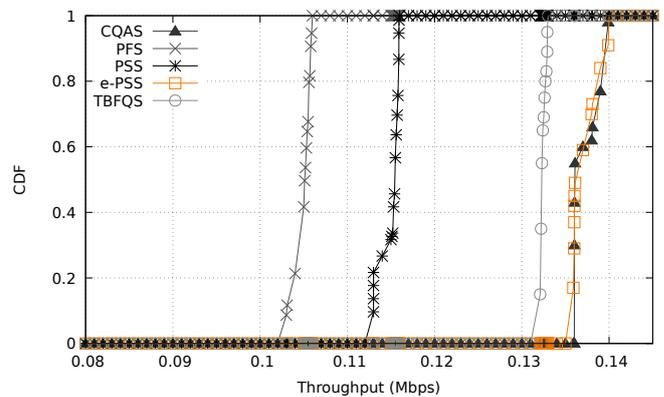


Figura 4: CDF para o *Throughput* por usuário para a aplicação de videoconferência, considerando 150 usuários.

VI. CONCLUSÕES

Neste artigo propõe-se uma otimização do algoritmo *QoS-aware* PSS, para o *downlink* LTE-A, visando priorizar o tráfego da aplicação de videoconferência. Para isso, considerou-se o valor do atraso HoL na definição da métrica do algoritmo proposto e-PSS.

Os resultados de simulação mostraram que o algoritmo e-PSS apresenta um desempenho superior ao algoritmo PSS.

Além disso, o e-PSS atende satisfatoriamente aos requisitos de QoS da aplicação de videoconferência.

Para a continuidade deste trabalho destaca-se a necessidade de um estudo aprofundado do algoritmo de escalonamento proposto em um cenário de redes heterogêneas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro fornecido através do processo TEC-APQ-03279-17.

REFERÊNCIAS

- [1] "Cisco visual networking index: Global mobile data traffic forecast update, 2016-2021," Cisco, San Jose, CA, USA, Rep., 2017. [Online]. Available: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.html?dtd=ossdc000283>
- [2] "Telecoms.com intelligence annual industry survey 2015," Telecoms.com, 2015. [Online]. Available: <http://telecoms.com/intelligence/telecoms-com-annual-industry-survey-2015/>
- [3] Y. Wang, J. Xu, and L. Jiang, "Challenges of system-level simulations and performance evaluation for 5g wireless networks," *IEEE Access*, vol. 2, pp. 1553–1561, 2014.
- [4] H. Holma and A. Toskala, *LTE Advanced: 3GPP Solution for IMT-Advanced*. New York, NY, USA: Wiley, 2012.
- [5] D. Zhou, N. Baldo, and M. Miozzo, "Implementation and validation of lte downlink schedulers for ns-3," in *Proceedings of the 6th International ICST Conference on Simulation Tools and Techniques*, ser. SimuTools '13. ICST, Brussels, Belgium, Belgium: ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering), 2013, pp. 211–218. [Online]. Available: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2512734.2512763>
- [6] O. Grondalen, A. Zanella, K. Mahmood, M. Carpin, J. Rasool, and O. N. Osterbo, "Scheduling policies in time and frequency domains for lte downlink channel: A performance comparison," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 66, no. 4, pp. 3345–3360, April 2017.
- [7] Y. C. Wang and S. Y. Hsieh, "Qos-provisioning downlink resource management in 4g cellular systems," in *2015 International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)*, Aug 2015, pp. 67–72.
- [8] E. Skondras, A. Michalas, A. Sgora, and D. D. Vergados, "A downlink scheduler supporting real time services in lte cellular networks," in *2015 6th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications (IISA)*, July 2015, pp. 1–6.
- [9] B. Bojovic and N. Baldo, "A new channel and qos aware scheduler to enhance the capacity of voice over lte systems," in *2014 IEEE 11th International Multi-Conference on Systems, Signals Devices (SSD14)*, Feb 2014, pp. 1–6.
- [10] F. Capozzi, G. Piro, L. A. Grieco, G. Boggia, and P. Camarda, "Downlink packet scheduling in lte cellular networks: Key design issues and a survey," *IEEE Communications Surveys Tutorials*, vol. 15, no. 2, pp. 678–700, Second 2013.
- [11] G. Monghal, K. I. Pedersen, I. Z. Kovacs, and P. E. Mogensen, "Qos oriented time and frequency domain packet schedulers for the utran long term evolution," in *VTC Spring 2008 - IEEE Vehicular Technology Conference*, May 2008, pp. 2532–2536.
- [12] F. A. Bokhari, W. K. Wong, and H. Yanikomeroglu, "Adaptive token bank fair queuing scheduling in the downlink of 4g wireless multi-carrier networks," in *VTC Spring 2008 - IEEE Vehicular Technology Conference*, May 2008, pp. 1995–2000.
- [13] (2017) Network Simulator 3 Homepage. [Online]. Available: <http://www.nsnam.org>
- [14] (2018) LENA Module. [Online]. Available: <http://lena.cttc.es/manual/lte.html>
- [15] S. H. da Mata and P. R. Guardieiro, "Resource allocation for the lte uplink based on genetic algorithms in mixed traffic environments," *Computer Communications*, vol. 107, pp. 125 – 137, 2017.
- [16] G. Piro, L. A. Grieco, G. Boggia, and P. Camarda, "A two-level scheduling algorithm for qos support in the downlink of lte cellular networks," in *2010 European Wireless Conference (EW)*, April 2010, pp. 246–253.
- [17] W. Navidi and T. Camp, "Stationary Distributions for the Random Waypoint Mobility Model," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 3, no. 1, pp. 99–108, Jan. 2004.
- [18] (2018) EvalVid Framework. [Online]. Available: <http://www.tkn.tu-berlin.de/menue/research/evalvid>
- [19] A. R. H. A. M. J. S. Mohammad T. Kawser, Hasib M. A. B. Farid and I. K. Razu, "Performance comparison between round robin and proportional fair scheduling methods for lte," in *International Journal of Information and Electronics Engineering*, vol. 2, no. 5, September 2012, pp. 678–671.