ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DAS REDES ÓPTICAS PASSIVAS DE ACESSO: INTERFACE COM NOVAS REDES 5G

Cristian Daniel Johann [1]

Djeisson Hoffmann Thomas [2]

Resumo:

As prestadoras de serviços de dados experimentaram um forte crescimento de demanda nos últimos anos em função do aumento do acesso aos dispositivos móveis e também do crescimento rápido da utilização de aplicações como o acesso às redes sociais, vídeos on demand, jogos online e realidade virtual. A expectativa do mercado de telecomunicações e do meio acadêmico é que uma explosão de demanda ocorra com o advento da Internet das Coisas (da sigla em inglês IoT ou Internet of Things). Para dar suporte à esta demanda está em desenvolvimento e teste, especialmente nos países do Oriente, Europa e América do Norte, uma nova geração do padrão de comunicação wireless, o 5G, cuja taxa de dados por cliente será próxima de 10 Gbps (gigabits por segundo) e, por conseguinte, o tráfego agregado por estação rádio-base (BS ou Base Station) poderá superar a centena de Gbps. Dentre as tecnologias de transmissão atualmente disponíveis, a única com capacidade de atender o tráfego agregado, especialmente de um conjunto de BSs, é a fibra óptica, cujos canais suportam atualmente taxas da ordem de 500 Gbps e estima-se que esta taxa alcance 1 Tbps (terabits por segundo) num futuro próximo, de acordo com o avanço corrente da tecnologia. Dentre as categorias de redes ópticas, aquela que atenderá o padrão 5G é a de acesso, conhecida também como rede óptica passiva (PON ou Passive Optical Network). Um novo padrão de rede PON, chamado NG-PON2 ou TWDM-PON (New Generation PON ou Time and Wavelength Division Multiplexing PON) está sendo desenvolvida com este objetivo específico, mas alguns desafios ainda restam, dentre os quais o desenvolvimento ou o aprimoramento de técnicas de multiplexação que permitam o compartilhamento eficiente do canal óptico entre os diversos usuários wireless.

Palavras-chave: Redes Ópticas Passivas, Redes de Acesso, Redes 5G, NG-PON-2

Modalidade de Participação: Iniciação Científica

ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DAS REDES ÓPTICAS PASSIVAS DE ACESSO: INTERFACE COM NOVAS REDES 5G

[1] Aluno de graduação. cristianj24@gmail.com. Autor principal

[2] Docente. djeissonthomas@unipampa.edu.br. Orientador

ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DAS REDES ÓPTICAS PASSIVAS DE ACESSO: INTERFACE COM AS NOVAS REDES 5G

1 INTRODUÇÃO

As prestadoras de serviços de dados experimentaram um forte crescimento de demanda nos últimos anos em função do aumento do acesso aos dispositivos móveis e também do crescimento rápido da utilização de aplicações como o acesso às redes sociais, vídeos *on demand*, jogos *online* e realidade virtual. A expectativa do mercado de telecomunicações e do meio acadêmico é que uma explosão de demanda ocorra com o advento da *Internet das Coisas* (da sigla em inglês IoT ou *Internet of Things*). Para dar suporte à esta demanda está em desenvolvimento e teste, especialmente nos países do Oriente, Europa e América do Norte, uma nova geração do padrão de comunicação *wireless*, o *5G*, cuja taxa de dados por cliente será próxima de 10 Gbps (gigabits por segundo) e, por conseguinte, o tráfego agregado por estação rádio-base (BS ou *Base Station*) poderá superar a centena de Gbps. Dentre as tecnologias de transmissão atualmente disponíveis, a única com capacidade de atender o tráfego agregado, especialmente de um conjunto de BSs, é a fibra óptica, cujos canais suportam atualmente taxas da ordem de 500 Gbps e estima-se que esta taxa alcance 1 Tbps (terabits por segundo) num futuro próximo, de acordo com o avanço corrente da tecnologia. Dentre as categorias de redes ópticas, aquela que atenderá o padrão 5G é a de *acesso*, conhecida também como *rede óptica passiva* (PON ou *Passive Optical Network*). Um novo padrão de rede PON, chamado *NG-PON2* ou *TWDM-PON* (*New Generation PON* ou *Time and Wavelength Division Multiplexing PON*) está sendo desenvolvida com este objetivo específico, mas alguns desafios ainda restam, dentre os quais o desenvolvimento ou o aprimoramento de técnicas de multiplexação que permitam o compartilhamento eficiente do canal óptico entre os diversos usuários *wireless*.

2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA, POTENCIAIS SOLUÇÕES E OBJETIVOS DO TRABALHO

As redes rádio de acesso convencionais (RAN ou *Radio Acess Networks*) estão segmentadas em *fronthaul* e *backhaul*. Enquanto a primeira representa a fração da RAN responsável pela interconexão entre as diversas BSs e as unidades de controle de tráfego localizadas no núcleo das redes móveis chamadas unidades de banda-base (BBU ou *Baseband Unit*) através da Interface Pública Comum de Rádio (CPRI ou *Common Pubic Radio Interface*), a segunda refere-se à interconexão cabeada entre as BSs e o núcleo da rede, seja utilizando cabos coaxiais ou fibras ópticas.

Na medida em que o novo padrão 5G se consolida, a tendência é que os enlaces *fronthaul* e *backhaul* se fundam em uma única rede de transporte de maior flexibilidade, prontamente reconfigurável e com boa parte das suas funções virtualizadas via *software*. Estas características constituem os fundamentos das chamadas redes rádio em nuvem (C-RAN ou *Cloud RAN*), consideradas fundamentais para alcançar a escalabilidade, a flexibilidade e a qualidade de gerenciamento necessários aos serviços a serem ofertados nas redes 5G.

Apesar destes avanços, a transmissão através da interface CPRI requer a digitalização em alta resolução dos sinais de rádio de cada BS, o que conduz a taxas agregadas de dados que extrapolam em muito a capacidade dos transceptores de rádio disponíveis e também a capacidade dos transceptores ópticos, atualmente em torno de 25 Gbps. Vale lembrar que as taxas de dados do novo padrão *wireless* 5G serão consideravelmente mais altas, tornando o atendimento dos usuários com a qualidade de comunicação necessária um problema ainda mais crítico. Consequentemente, faz-se necessário desenvolver ou aprimorar técnicas que

permitam o compartilhamento eficiente do canal de comunicação entre os diversos usuários *wireless*, de acordo com a sua capacidade máxima disponível.

Nesse contexto, diversas soluções foram propostas, dentre as quais destacam-se as iniciativas de pesquisa abaixo

- Integração fronthaul baseada em CPRI: segundo (KWON,2014), esta linha de pesquisa baseia-se na integração da transmissão de sinais de rádio no padrão CPRI aos canais ópticos WDM através do aprimoramento da técnica de multiplexação no domínio do tempo (TDM ou *Time Division Multiplexing*), usualmente empregada nas redes PON para compartilhamento dos seus canais de comunicação *uplink* (do usuário para o núcleo da rede) e *downlink* (do núcleo da rede para o usuário) entre os seus diversos usuários;
- Compactação CPRI: segundo (RAMALHO; FONSECA; KLAUTAU; LU; BERG; TROJER; HÖST, 2017) Uma abordagem para melhorar a eficiência espectral é a compressão dos sinais CPRI. De fato, a compactação de dados tem sido objeto de estudo há algumas décadas e tem como alvo especialmente as aplicações de compactação de imagens, áudio e vídeo para aperfeiçoar o seu armazenamento e a sua transmissão em redes de telecomunicações;
- Virtualização - Novas divisões funcionais: segundo (GOMES; JUNGNICKEL; CHANCLOU; ELBERS; TURNBULL, 2016) e (PATEROMICHELAKIS; GEBERT; MACH; BELSCHNER; GUO; KURUVATTI; VENKATASUBRAMANIAN; KILINC, 2017) a solução mais recente para lidar com a crescente taxa de bits é estabelecer uma nova divisão funcional entre o DU e o RU, com a virtualização de tantas, dentre as suas funções, quanto possível. Trata-se de uma solução bastante promissora para dar suporte às altas taxas de dados características do novo padrão 5G;
- Rádio Analógico sobre Fibra (A-RoF): segundo (ZHANG; XU; WANG; LU; CHENG; CHO; YING; YU; CHANG) a modulação analógica de uma subportadora de RF sobre uma portadora óptica é uma técnica eficiente de atender as altas taxas de dados 5G. Neste caso, sob cada subportadora de RF são multiplexados os dados *wireless* dos diversos clientes de cada BS, sendo então o tráfego agregado compatível com a taxa máxima de transmissão de dados tanto dos transceptores quanto dos canais ópticos.

Em (TAYQ, 2017) é apresentada uma técnica correspondente a esta última solução. Inicialmente um gerador de sinais cria uma sequência no padrão CPRI (sinal digital). Um divisor óptico permite replicar este sinal antes de transmiti-lo a partir de fibra óptica monomodo padrão (SSMF ou *Standard Single-Mode Optical Fiber*) através do enlace D-RoF da rede. Com o auxilio de uma FPGA, é realizada a conversão digital/analógica (D-RoF/A-RoF). O canal AWG é utilizado apenas para preencher a banda analisada com "canais offline".

Após isso é realizada a modulação direta do laser por intermédio do bloco DML (*Directed Modulated Laser*), sendo então o sinal transmitido através de 10km de SSMF para posterior detecção direta na outra extremidade da fibra por um fotodiodo de avalanche (APD). Após o APD o sinal é amplificado para permitir a correta conversão analógico-digital no bloco ADC, a fim de permitir a análise espectral e também a verificação da fidelidade do sinal digital recebido.

A modulação direta do laser, apesar de relativamente mais barata e de não contabilizar a atenuação de componentes adicionais, apresenta alto *crosstalk* (interferência indesejada entre canais adjacentes que prejudica a qualidade de comunicação) e pode também conduzir

ao alargamento dos pulsos dos canais adjacentes por torna-los mais suscetíveis à dispersão cromática (KEISER, 2014).

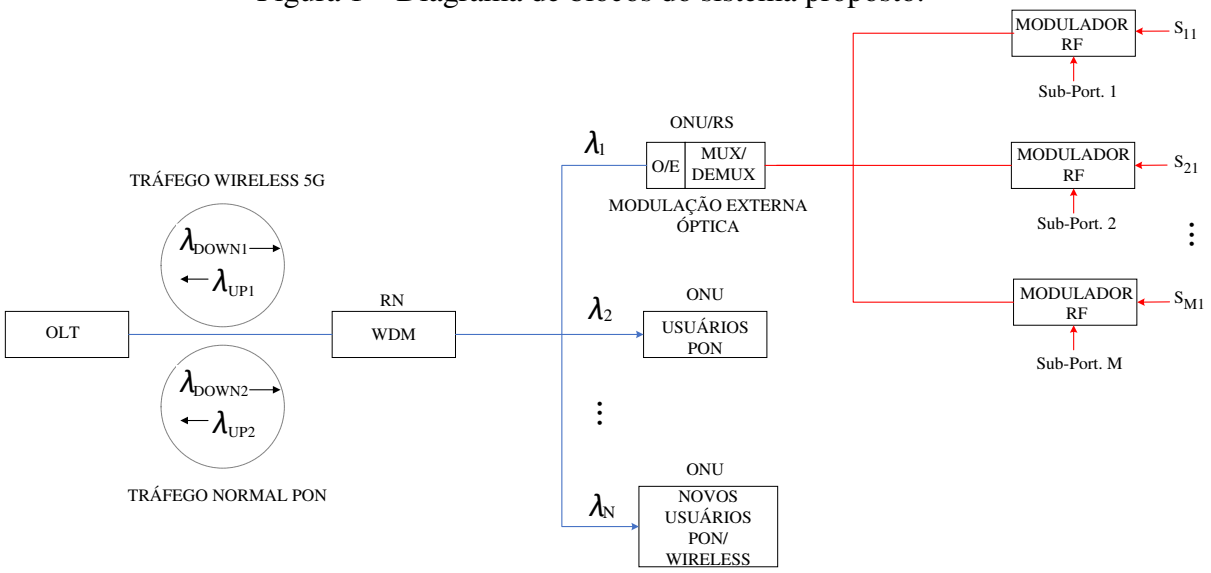
Neste trabalho, é proposta, teoricamente, uma técnica A-RoF alternativa com o objetivo de atender um número maior de usuários *wireless* através do compartilhamento de um ou mais canais de uma rede PON, sem prejuízo ao tráfego normal de dados dos usuários da rede óptica passiva. Sugere-se ainda o emprego de moduladores eletro-ópticos externos em detrimento à modulação direta do laser para viabilizar a transmissão analógica dos sinais de dados *wireless*. Dessa forma, buscamos um melhor desempenho do que aquele apresentado em (TAYQ, 2017) no atendimento das futuras demandas de dados das redes 5G.

3 DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta um diagrama de blocos do sistema A-RoF proposto, onde as linhas azuis representam a transmissão de sinais ópticos e as vermelhas a transmissão de sinais elétricos.

Um canal (λ_1) é designado para o atendimento exclusivo das demandas de dados wireless *uplink* e *downlink* dos clientes de diversas BSs, cada uma associada a uma subportadora de RF distinta. Ao utilizar um comprimento de onda específico para a demanda *wireless*, não se interfere no uso da banda-passante dos canais dedicados aos assinantes da rede PON normal, os quais são atendidos por outros canais, como por exemplo o canal λ_2 mostrado na Figura 1. É possível identificar na Figura 1 esta distinção de comprimentos de onda, sendo o λ_{DONW1} e o λ_{UP1} específicos somente para o tráfego wireless 5G, e o λ_{DONW2} e λ_{UP2} dedicados exclusivamente para o tráfego PON. Além disto, as características de modulação, multiplexação e taxa de dados pode ser totalmente distinta entre os diversos canais, sem prejuízo algum à comunicação.

Figura 1 – Diagrama de blocos do sistema proposto.



Fonte: do autor, 2018.

No sentido *downlink*, na OLT (*Optical Line Terminal*) os diversos canais são multiplexados e encaminhados através da fibra óptica até o nó remoto (RN ou *Remote Node*). No RN os diversos canais (λ_1, λ_2 e λ_N) são demultiplexados opticamente e encaminhados às ONU (*Optical Network Unit*). No caso dos dados *wireless*, a ONU pode ser uma estação remota (RS ou *Remote Station*). Na RS, o canal óptico λ_1, após ser detectado e convertido

para o domínio elétrico, sofre demultiplexação e as diversas subportadoras ($S_{11,}$ S_{21} e S_{M1}) são encaminhadas às BSs correspondentes.

No sentido *uplink*, as subportadoras originadas nas diversas BSs são multiplexadas eletricamente na RS e são utilizadas para modular a portadora óptica através de um modulador externo. Esta portadora óptica modulada é encaminhada ao RN para ser multiplexada com as demais portadoras e então ser encaminhada novamente para a OLT, a qual faz a interface com o núcleo da rede óptica.

Os demais comprimentos de ondas (λ_2 até λ_N) ficam disponíveis para novas aplicações, como por exemplo, atendimento à novos usuários PON ou *wireless*.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi proposta uma técnica A-RoF alternativa com o objetivo de atender um número maior de usuários *wireless* através do compartilhamento de um ou mais canais de uma rede PON, sem prejuízo ao tráfego normal de dados dos usuários da rede óptica passiva. Sugeriu-se ainda o emprego de moduladores eletro-ópticos externos em detrimento à modulação direta do laser para viabilizar a transmissão analógica dos sinais de dados *wireless*. O emprego do modulador externo diminui consideravelmente o crosstalk entre canais adjacentes e torna-os mais robustos aos defeitos de transmissão referentes à dispersão cromática. Pretende-se continuar o desenvolvendo da técnica A-RoF proposta para alcançar um melhor desempenho no atendimento das futuras demandas de dados das redes 5G e das aplicações IoT.

REFERÊNCIAS

GOMES, N., JUNGNICKEL, V., CHANCLOU, P., ELBERS, J., TURNBULL, P. **A flexible, ethernet fronthaul for 5th generation mobile and beyond.** OFC 2016.

KEISER, G. *Comunicações Por Fibras Ópticas.* (4. ed. – Porto Alegre: AMGH, 2014).

KWON, Y. K. et al. **Optical transceiver for CWDM networks with multi subchannel Interface.** OFC, 2014.

PATEROMICHELAKIS, E., GEBERT J., MACH, T., BELSCHNER, J., GUO,W., KURUVATTI, N. P., VENKATASUBRAMANIAN,V., KILINC,C. **Service-Tailored User-Plane Design Framework and Architecture Considerations in 5G Radio Access Networks.** IEEE Access 2017.

RAMALHO, L., FONSECA, M., KLAUTAU, A., LU,C., BERG, M., TROJER, E., HÖST, S. **An LPC-Based Fronthaul Compression Scheme.** IEEE Communications Letters 2017.

TAYQ, Z. **Fronthaul integration and monitoring in 5G networks**. Signal and Image processing. Université de Limoges, 2017. English. <NNT : 2017LIMO0092>. <tel-1708493>

ZHANG, J., XU, M., WANG, J.,LU, F., CHENG,L.,CHO, H., YING, K., YU, J., CHANG, G. K. **Full-Duplex Quasi-Gapless Carrier-Aggregation Using FBMC in Centralized Radio-Over-Fiber Heterogeneous Networks**, in Journal of Lightwave Technology, vol.PP, no.99, pp.1-1.