



República Federativa do Brasil

Ministério do Desenvolvimento, Indústria,
Comércio e Serviços

Instituto Nacional da Propriedade Industrial



(21) BR 102022025807-4 A2

(22) Data do Depósito: 16/12/2022

(43) Data da Publicação Nacional:
25/06/2024

(54) **Título:** MÉTODO PARA ALOCAÇÃO DE ESPECTRO ÓPTICO EM UM ENLACE ÓPTICO SOB TRÁFEGO DINÂMICO E MÍDIA DE ARMAZENAMENTO LEGÍVEL POR COMPUTADOR

(51) **Int. Cl.:** H04Q 11/00; H04B 10/2507; H04B 10/27.

(52) **CPC:** H04Q 11/0066; H04B 10/2507; H04B 10/27.

(71) **Depositante(es):** UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS; INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO SUL DE MINAS GERAIS - IFSULDEMINAS; UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO.

(72) **Inventor(es):** HELIO WALDMAN; RODRIGO CAMPOS BORTOLETTO; VINICIUS FERREIRA DE SOUZA; RAUL CAMELO DE ANDRADE ALMEIDA JÚNIOR.

(57) **Resumo:** MÉTODO PARA ALOCAÇÃO DE ESPECTRO ÓPTICO EM UM ENLACE ÓPTICO SOB TRÁFEGO DINÂMICO E MÍDIA DE ARMAZENAMENTO LEGÍVEL POR COMPUTADOR. A presente invenção se refere a um método para alocação de espectro óptico em um enlace óptico sob tráfego dinâmico, de forma proativa e que reduz significativamente as perdas causadas pela fragmentação, em que tal alocação é realizada com base em características do tráfego em redes ópticas elásticas. Particularmente, o método para alocação de espectro óptico em um enlace óptico sob tráfego dinâmico da presente invenção compreende realizar uma pluralidade de buscas para determinar o melhor vazio para alocar uma requisição de conexão, com base no estado do sistema e no conhecimento das quantidades de slots por conexão demandadas pelo tráfego e suas taxas de requisição.



MÉTODO PARA ALOCAÇÃO DE ESPECTRO ÓPTICO EM UM ENLACE ÓPTICO SOB TRÁFEGO DINÂMICO E MÍDIA DE ARMAZENAMENTO LEGÍVEL POR COMPUTADOR

Campo da invenção

[001] A presente invenção se refere a um método para alocação de espectro óptico em um enlace óptico sob tráfego dinâmico. De forma geral, tal alocação é realizada com base em características do tráfego em redes ópticas elásticas.

[002] A presente invenção está inserida no campo técnico de comunicações ópticas.

Fundamentos da invenção

[003] Em redes ópticas sob tráfego dinâmico para topologia em barramento (*bus topology*) ou topologia em malha (*mesh topology*), as conexões são requisitadas a qualquer momento e para início imediato, em que tais conexões devem ser alocadas imediatamente da origem ao destino, especificadas com a taxa de bits necessária. Para tal finalidade, a rota a ser seguida pela conexão é determinada e, com base na distância a ser percorrida e na taxa de bits especificada, a rede opta pelo esquema de modulação espectralmente mais eficiente disponível, que garanta a imunidade ao ruído necessária para a qualidade-de-serviço (*Quality of Service*, QoS) desejada e, conseqüentemente, menor número possível de slots espectrais contíguos necessários para dar suporte à conexão requisitada.

[004] Atualmente, a largura dos slots espectrais contíguos é padronizada em 12,5 GHz. Após a prestação do serviço através da conexão requisitada, cada usuário ordena a terminação imediata da conexão, gerando uma multiplicidade de vazios espectrais e de seus respectivos tamanhos ao longo

do espectro óptico. O conjunto de vazios em um determinado instante não necessariamente corresponde à demanda de novas requisições de conexões, o que pode causar perdas por bloqueios de determinadas requisições de conexões.

[005] Essas perdas por bloqueios têm sido genericamente atribuídas à fragmentação espectral gerada pelas terminações das conexões. Quando o tráfego é homogêneo, isto é, quando todas as requisições de conexões pedem o mesmo número de slots, as perdas causadas pela fragmentação do espectro podem ser zeradas com algoritmos simples como o *First-fit* (FF), que já integra o estado da técnica em redes ópticas inelásticas. Isso ocorre, pois, ao alocar sempre a requisição de conexão ao primeiro conjunto de slots contíguos disponíveis, as posições ocupadas pelo algoritmo FF são sempre múltiplas do tamanho requisitado, de maneira que sua terminação deixa um vazio exatamente do mesmo tamanho que o da próxima requisição ou múltiplo deste, sem perdas causadas pela fragmentação.

[006] Já no caso do enlace elástico, há pelo menos dois tamanhos passíveis de serem requisitados, o que gera um possível descasamento entre o tamanho requisitado e o do primeiro vazio disponível pela ordem das frequências crescentes usadas pelo algoritmo FF, gerando slots ociosos que geram perdas na forma de futuros bloqueios adicionais aos que seriam causados apenas pela insuficiência de recursos espectrais.

[007] No caso do tráfego incremental, no qual as conexões são permanentes, a ociosidade gerada pelo descasamento da requisição de conexão com o vazio onde ela é acomodada é permanente, levando a um número infinito de slots-hora

ociosos até a exaustão do espectro, pois esta pode não ocorrer nunca.

[008] Porém, conforme demonstrado no trabalho de Waldman, Helio, Raul C. Almeida, Rodrigo C. Bortoletto, and Vinicius F. de Souza. "A number-theoretic framework for the mitigation of fragmentation loss in elastic optical links." *Photonic Network Communications* 43, no. 1 (2022): 85-99., a ociosidade pode ser reduzida a um valor médio finito pela adoção de políticas não-vorazes (*non-greedy*) de alocação em determinados estados do sistema.

[009] Já no caso do tráfego dinâmico, para o qual a invenção é dirigida, a ociosidade dos resíduos inutilizáveis é temporária, na medida em que ela pode ser suspensa pela terminação de uma das duas conexões que ladeiam o vazio no espaço espectral. Por outro lado, o número de vazios pode ser muito maior que 1, o que gera a oportunidade de procurar um vazio funcional, que não apresente o descasamento referido acima. Porém, pode acontecer que essa busca seja infrutífera.

[010] Neste caso, é buscado um vazio disfuncional compatível com a minimização do futuro resíduo. Para isso, a invenção proposta realiza uma triagem dos vazios disponíveis para o atendimento de cada requisição de conexão, tendo em vista o perfil do tráfego, a fim de promover o casamento entre oferta e demanda de slots contíguos no espaço espectral coletivo, como abordado em Waldman, H., Almeida, R.C., Bortoletto, R.C. and de Souza, V.F., 2022. *A number-theoretic framework for the mitigation of fragmentation loss in elastic optical links. Photonic Network Communications*, 43(1), pp.85-994. A invenção aqui proposta estabelece critérios unívocos para escolher o melhor vazio onde acomodar

a requisição, com base no estado do sistema e no conhecimento das quantidades de slots por conexão demandadas pelo tráfego e suas taxas de requisição.

[011] As soluções existentes no estado da técnica podem ser classificadas como proativas e reativas, sendo que essas não levam em conta as características do tráfego, mas apenas o estado do sistema no instante da decisão de alocação.

[012] De um modo geral, essas soluções são preliminares aos avanços nas áreas de Inteligência Artificial e Aprendizado de Máquina. Por esse motivo, essas soluções valorizam a simplicidade e o baixo uso de informações, tanto sobre o tráfego como sobre o estado do sistema. Esse é o caso do algoritmo comumente utilizado, o *First-fit* (FF), cuja principal vantagem é a simplicidade, que proporciona rapidez e utilização da menor quantidade possível de informação de modo a não sobrecarregar o plano de controle da rede óptica.

[013] As soluções proativas tradicionais são heurísticas, valorizam a simplicidade e não levam em conta informações sobre o perfil do tráfego nem sua intensidade. No caso do algoritmo FF, a única informação obtida do tráfego é o número de slots requisitados pela requisição de conexão que acabou de chegar para uma determinada rota, que será esquecida após sua aceitação ou bloqueio. Com essa informação, o algoritmo FF realiza uma busca sobre o espectro da rota solicitada na ordem de frequências crescentes e, simplesmente, aloca a requisição no primeiro espaço de slots livres contíguos que seja maior ou igual ao tamanho requisitado. Uma variante um pouco mais avançada do FF consiste no algoritmo conhecido como *Exact-fit* (EF), na qual

a busca não é mais realizada buscando por qualquer vazio maior ou igual ao tamanho requisitado, mas sim por um vazio de mesmo tamanho que o requisitado, retornando ao FF caso essa busca seja infrutífera, conforme mostrado em A. Rosa, C. Cavdar, S. Carvalho, J. Costa, and L. Wosinska, "*Spectrum Allocation Policy Modelling for Elastic Optical Networks*". In *High Capacity Optical Networks and Enabling Technologies (HONET)*, 2012 9th International Conference on, 242-246. IEEE, 2012.

[014] Estudos realizados com relação à presente invenção, mostram que o EF consegue reduzir as perdas causadas pelo FF, mas em um montante consideravelmente inferior ao atingido com o algoritmo desenvolvido na presente invenção.

[015] Por sua vez, as soluções reativas se relacionam, principalmente, com a utilização de técnicas de desfragmentação, nas quais vazios com tamanhos insuficientes para acomodar a requisição apresentada pelo tráfego são artificialmente alargados mediante o deslocamento físico da conexão no espaço espectral, através de uma varredura aplicada à frequência da(s) portadora(s) do espectro de uma ou das duas conexões que ladeiam o vazio, conforme descrito em R. Wang and B. Mukherjee, "*Provisioning in Elastic Optical Networks with Non-Disruptive Defragmentation*," in *Journal of Lightwave Technology*, vol. 31, no. 15, pp. 2491-2500, Aug.1, 2013, doi: 10.1109/JLT.2013.2268535. Porém, essa técnica exige um hardware especial para sincronizar os relógios do transmissor e do receptor, abandonando a extração do relógio do receptor a partir dos próprios bits do sinal recebido, para evitar que a varredura provoque a perda do sincronismo.

[016] Para evitar a perda do sincronismo, a operação pode durar muitos milissegundos (ms), durante os quais os vazios afetados ficariam indisponíveis, o que envolve perdas de desempenho, bem como de CAPEX (*Capital Expenditure*) e OPEX (*Operational Expenditure*). Portanto, o estado da técnica enfoca na busca de melhores algoritmos proativos.

[017] Em um cenário prático real, o tráfego segue a dinâmica social, que é muito volátil, podendo gerar mudanças bruscas no perfil dos serviços prestados (e consequente tamanho das requisições por conexões) e na distribuição espacial do tráfego. Por conseguinte, existe a dificuldade das soluções existentes em acompanhar em tempo real os parâmetros relevantes do tráfego a fim de manter um bom casamento entre os tamanhos das requisições e dos vazios, premissa essencial para reduzir as perdas. Nessas condições, as técnicas de aprendizado de máquina devem superar ou pelo menos amenizar essas dificuldades.

[018] Assim, enquanto as soluções existentes no estado da técnica procuram evitar todo e qualquer tipo de fragmentação, a presente invenção busca evitar a criação e a permanência de vazios disfuncionais no espectro, sem se opor necessariamente à fragmentação que produza apenas novos vazios funcionais. Essa solução é baseada na constatação analítica de que nem toda fragmentação é disfuncional para os tamanhos requisitados pelo tráfego, o que indica o conhecimento desses tamanhos como variável crítica para orientar de decisões de alocação de vazios para acomodar as requisições. Assim, as decisões procuram preservar a funcionalidade dos vazios resultantes da alocação, e evitar sempre que possível o uso dos vazios disfuncionais até que

eles recuperem a funcionalidade por coalescência com vazios vizinhos gerada pela terminação de uma conexão interposta entre eles.

[019] Para avaliar se um vazio é funcional ou não, é preciso conhecer as características do tráfego, especialmente os tamanhos (em número de slots) de cada classe de tráfego em cada rota da rede. Se esses dados forem desconhecidos ou muito difíceis de serem estimadas em tempo real, a melhor solução talvez recaia mesmo no combate a todo e qualquer tipo de fragmentação, como fazem as soluções existentes, ao custo de incorrer em grande ineficiência no uso do espectro.

[020] Ocorre que as modernas redes de comunicação carregam um tráfego muito volátil, sujeito às mudanças bruscas no perfil dos serviços prestados e em sua distribuição espacial, seja em virtude de eventos exógenos como desastres naturais ou endógenos como falhas na rede, seja ainda pela volatilidade do próprio dinamismo social que produz o tráfego.

[021] Então, as soluções existentes no estado da técnica podem ter tido um bom resultado no contexto da virada do século, em que elas surgiram.

[022] Porém, atualmente, com a oferta de técnicas de aprendizado de máquina, surge a possibilidade de estimar as características do tráfego em tempo real e repassá-las a um algoritmo, de maneira que este possa se ajustar rapidamente, de forma a manter a eficiência espectral em níveis elevados mesmo durante as mudanças bruscas esperadas do tráfego volátil gerado pela sociedade moderna.

[023] Particularmente, a referência Forough Shirin

Abkenar e Akbar Ghaffarpour Rahbar, *Study and Analysis of Routing and Spectrum Allocation (RSA) and Routing, Modulation and Spectrum Allocation (RMSA) Algorithms in Elastic Optical Networks (EONs), Optical Switching and Networking*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.osn.2016.08.003> tem por objetivo descrever e comparar todos os algoritmos de alocação de rota e espectro (RSA) e de alocação de rota, espectro e modulação (RMSA) publicados até 2016. Esses algoritmos são aplicáveis às redes com múltiplos enlaces, geralmente com topologia em malha. No que diz respeito à alocação de espectro, os métodos relatados nesse documento simplesmente usam o First-fit, que representa o estado da técnica legado pelas redes de grade fixa anteriores às EON's (redes ópticas elásticas). Já a invenção proposta se restringe ao enlace avulso (single link), onde o problema do roteamento não se coloca, pois só há uma rota.

[024] Adicionalmente, o documento Y. Xu e Y. -C. Kim, *"Dynamic routing and spectrum allocation to minimize fragmentation in elastic optical networks," 2017 20th Conference of Open Innovations Association (FRUCT), 2017*, páginas 512-518, doi: 10.23919/FRUCT.2017.8071356 se aplica às redes ópticas com múltiplos enlaces, inclusive topologias em malha. Esse documento identifica o algoritmo best-fit como sendo ótimo, com significativa vantagem sobre o mais usado First-fit. Nesse sentido, para cargas aceitáveis para operação normal, a invenção proposta tem desempenho superior ao best-fit em termos do aproveitamento eficiente dos recursos espectrais.

[025] O documento CN112995805B revela um método de roteamento e alocação de espectro baseado no grau de vacância

de caminho em uma rede ótica elástica, que pode não apenas reduzir a taxa de bloqueio de uma rede, mas também melhorar a taxa de utilização dos recursos do espectro. Vale ressaltar que apesar de ter esse objetivo, em uma de suas etapas é utilizada o *First-fit* para numerar e categorizar os slots, em um enlace avulso. A vantagem da invenção proposta reside na preservação da funcionalidade e da flexibilidade dos vazios espectrais do enlace. Com o conhecimento dos tamanhos dos blocos demandados pelo tráfego e de suas taxas de requisição, é possível priorizar os vazios onde a requisição deve ser acomodada em posições que preservem a sua funcionalidade no atendimento de futuras demandas. Isso gera uma vantagem bastante plausível para o caso do enlace avulso.

[026] O principal diferencial da presente invenção em relação às soluções existentes no estado da técnica reside no foco a ser perseguido. As soluções existentes se concentram em combater a fragmentação espectral de um modo geral, partindo da hipótese de que ela é responsável pelas perdas geradas por qualquer fragmentação. A presente invenção se baseia na constatação de que as perdas são causadas apenas por vazios disfuncionais, cujo preenchimento total pelas conexões demandadas pelo tráfego é impossível ou extremamente lento, sendo a impossibilidade caracterizável pela aplicação de conceitos da Teoria Elementar dos Números, e a lentidão pelo conhecimento das taxas de chegada de tamanhos requeridos pelas diferentes classes de tráfego.

Breve descrição da invenção

[027] A presente invenção se refere a um método para alocação de espectro óptico em um enlace óptico sob tráfego dinâmico. De forma geral, tal alocação é realizada com base

em características do tráfego em redes ópticas elásticas. Adicionalmente, a presente invenção se refere a uma mídia de armazenamento legível por computador.

[028] De acordo com uma concretização preferencial, o método para alocação de espectro óptico em um enlace óptico sob tráfego dinâmico compreende as etapas de:

dividir o espectro óptico em S slots contíguos;

determinar um conjunto de impasses que compreende um conjunto de número de slots contíguos que não podem ser preenchidos com conexões de tamanhos b_1 e b_2 de slots contíguos, que é dado por todos os valores de vazios iguais a:

$$v = b_1.b_2 - k_1.b_1 - k_2.b_2 > 0 \text{ equação 1}$$

para quaisquer valores de k_1 e k_2 que sejam números inteiros positivos;

um usuário requisita uma conexão com alocação de b_i slots contíguos, em que $b_i \in \{b_1, b_2\}$;

em que b_1 e b_2 são classes de tamanhos (em número de slots) de requisições de conexões habilitadas em algum vazio do espectro óptico;

em que b_1 e b_2 são primos entre si;

em que $1 < b_1 < b_2$; e

em que b_j é o tamanho de slot não requisitado de $\{b_1, b_2\}$;

realizar uma busca preliminar sobre todo o espectro óptico e verificar se existe pelo menos um vazio maior ou igual aos b_i slots contíguos requisitados;

em que se o vazio não for encontrado, a requisição de alocação é rejeitada; e se o vazio for encontrado, realizar uma pluralidade de buscas por uma pluralidade de tipos de

vazio no espectro óptico. Nesta pluralidade de buscas, uma primeira busca é realizada na ordem de frequências crescentes, procurando por um primeiro tipo de vazio cujo tamanho, em número de slots, seja um múltiplo de b_i menor que o produto $b_1.b_2$. Caso um vazio com essa característica seja encontrado, ele é alocado para acomodar a requisição numa posição adjacente à extremidade inferior do primeiro tipo de vazio.

[029] Ademais, se a primeira busca terminar sem que o primeiro tipo de vazio acima indicado seja encontrado, o método compreende adicionalmente a etapa de realizar uma segunda busca, em que a segunda busca também é realizada na ordem de frequências crescentes, procurando por um segundo tipo de vazio que não pertença ao conjunto de impasses e que não seja múltiplo de $b_1.b_2$; que não seja múltiplo de b_1 ou de b_2 e que seja menor que o produto $b_1.b_2$; se o segundo tipo de vazio for encontrado, a requisição de conexão com alocação de b_i slots contíguos é alocada na extremidade inferior do segundo tipo de vazio.

[030] De acordo com uma concretização adicional da presente invenção, o método compreende ainda a etapa de realizar uma terceira busca se a segunda busca terminar sem que o segundo tipo de vazio seja encontrado, em que a terceira busca é realizada na ordem de frequências crescentes, procurando por um terceiro tipo de vazio que seja múltiplo de $b_1.b_2$; se o terceiro tipo de vazio é encontrado, a requisição de conexão com alocação de b_i slots contíguos é alocada na extremidade inferior do terceiro tipo de vazio.

[031] Em relação a uma concretização preferencial da

presente invenção, o método compreende a etapa de realizar uma quarta busca se a terceira busca terminar sem que o terceiro tipo de vazio seja encontrado, ou quando $b_1.b_2 > S$, em que a quarta busca é realizada na ordem de frequências decrescentes, procurando por um quarto tipo de vazio que seja múltiplo do tamanho b_j do conjunto $\{b_1.b_2\}$ que não foi requisitado e que seja menor que $b_1.b_2$, pertencendo ao conjunto $\{b_j, 2.b_j, 3.b_j, \dots, (b_i-1).b_j\}$; se o quarto tipo de vazio é encontrado, a requisição de conexão com alocação de b_i slots contíguos é alocada na extremidade superior do quarto tipo de vazio.

[032] De acordo com uma outra concretização adicional da presente invenção, o método compreende ainda a etapa de realizar uma quinta busca se a quarta busca terminar sem que o quarto tipo de vazio seja encontrado, em que a quinta busca é realizada na ordem de frequências decrescentes nos vazios pertencentes ao conjunto de impasses; em que a quinta busca compreende realizar até (b_1-1) sub-buscas sucessivas $5_1, 5_2, 5_3 \dots 5_{(b_1-1)}$.

[033] Em relação a uma concretização preferencial adicional da presente invenção, o método compreende a etapa de realizar a sub-busca 5_1 na ordem de frequências decrescentes procurando por um vazio de tamanho v tal que $(v-b_i-1)$ não pertence ao conjunto de impasses; em que se um vazio de tamanho v tal que $(v-b_i-1)$ for encontrado, a requisição de conexão com alocação de b_i slots contíguos é alocada na extremidade superior do vazio de tamanho v e encerra a busca.

[034] Adicionalmente, sendo $b_i > 2$, de acordo com uma outra concretização preferencial da presente invenção, o método

compreende a etapa de realizar a sub-busca 5₂ se a sub-busca 5₁ terminar sem que o vazio de tamanho v tal que $(v - b_i - 1)$ seja encontrado, em que a sub-busca 5₂ é realizada na ordem de frequências decrescentes e procura um vazio de tamanho v tal que $(v - b_i - 2)$ não pertence ao conjunto de impasses; em que se um vazio de tamanho v tal que $(v - b_i - 2)$ não pertence ao conjunto de impasses for encontrado, a requisição de conexão com alocação de b_i slots contíguos é alocada na extremidade superior do vazio de tamanho v e encerra a busca.

[035] Relativamente a uma concretização adicional, sendo $b_i > 3$, o método da presente invenção compreende a etapa de realizar a sub-busca 5₃ se a sub-busca 5₂ terminar sem que o vazio de tamanho v tal que $(v - b_i - 2)$ não pertence ao conjunto de impasses seja encontrado, em que a sub-busca 5₃ é realizada na ordem de frequências decrescentes e procura um vazio de tamanho v tal que $(v - b_i - 3)$ não pertence ao conjunto de impasses; em que se um vazio de tamanho v tal que $(v - b_i - 3)$ não pertence ao conjunto de impasses for encontrado, a requisição de conexão com alocação de b_i slots contíguos é alocada na extremidade superior do vazio de tamanho v e encerra a busca.

[036] Ademais, sendo $b_i > 4$, de acordo com uma outra concretização preferencial da presente invenção, o método compreende adicionalmente a etapa de realizar a sub-busca 5₄ se a sub-busca 5₃ terminar sem que o vazio de tamanho v tal que $(v - b_i - 3)$ não pertence ao conjunto de impasses seja encontrado, em que a sub-busca 5₄ é realizada na ordem de frequências decrescentes e procura um vazio de tamanho v tal que $(v - b_i - 4)$ não pertence ao conjunto de impasses; em que se um vazio de tamanho v tal que $(v - b_i - 4)$ não pertence ao

conjunto de impasses for encontrado, a requisição de conexão com alocação de b_i slots contíguos é alocada na extremidade superior do vazio de tamanho v e encerra a busca; caso contrário, segue com a sub-busca 5_5 se a sub-busca 5_4 terminar sem encontrar um vazio v tal que $(v - b_i - 4)$ não pertence ao conjunto de impasses seja encontrado; com a sub-busca 5_6 se a sub-busca 5_5 terminar sem encontrar um vazio v tal que $(v - b_i - 5)$ não pertence ao conjunto de impasses seja encontrado; e assim por diante até a sub-busca $5_{(b_1-2)}$.

[037] Ademais, a sub-busca $5_{(b_1-1)}$ é realizada se a sub-busca $5_{(b_1-2)}$ terminar sem que o vazio de tamanho v tal que $(v - b_i - b_1 + 2)$ não pertence ao conjunto de impasses seja encontrado.

[038] Finalmente, de acordo com uma outra concretização preferencial da presente invenção, caso as buscas $5_1, 5_2, 5_3, \dots, 5_{(b_1-2)}$ tenham sido infrutíferas, o método compreende adicionalmente a etapa de realizar a sub-busca $5_{(b_1-1)}$, em que a sub-busca $5_{(b_1-1)}$ é realizada na ordem de frequências decrescentes e procura um vazio de tamanho v tal que $(v - b_i - b_1 + 1)$ não pertence ao conjunto de impasses; em que quando um vazio de tamanho v tal que $(v - b_i - b_1 + 1)$ não pertence ao conjunto de impasses for encontrado, a requisição de conexão com alocação de b_i slots contíguos é alocada na extremidade superior do vazio de tamanho v e encerra a busca.

[039] De acordo com uma concretização preferencial, da presente invenção se refere a uma mídia de armazenamento legível por computador que compreende, armazenado em si, um conjunto de instruções legíveis por computador, em que quando o conjunto de instruções legíveis por computador é executado por um ou mais processadores, o um ou mais processadores

implementam o método para alocação de espectro óptico em um enlace óptico sob tráfego dinâmico, de acordo com qualquer uma das concretizações preferenciais acima descritas.

Breve descrição das figuras

[040] A figura 1 apresenta um fluxograma das buscas realizadas no método para alocação de espectro óptico em um enlace óptico sob tráfego dinâmico.

[041] A figura 2 ilustra duas árvores de atendimento de requisições de slots.

[042] A figura 3 representa um mapeamento das sub-buscas da quinta busca.

Descrição detalhada da invenção

[043] A presente invenção se refere a um método para alocação de espectro óptico em um enlace óptico sob tráfego dinâmico. De forma geral, tal alocação é realizada com base em características do tráfego em redes ópticas elásticas.

[044] Em redes ópticas elásticas, a principal fonte de ineficiência no uso do espectro óptico reside nas perdas causada pela fragmentação espectral, conforme discutido na seção fundamentos da invenção. Assim, a presente invenção consiste em um novo método para alocação de espectro óptico em um enlace óptico sob tráfego dinâmico, de forma proativa e que reduz significativamente as perdas causadas pela fragmentação. O método da presente invenção se dá através da execução de um ou mais algoritmos ou um ou mais conjuntos de instruções legíveis por computador ou um ou mais códigos de programa de computador, que são executados por um ou mais processadores.

[045] O ganho obtido pelo método da presente invenção se concretiza mediante a realização de uma triagem sobre todos

os vazios do espectro, classificando-os segundo a sua funcionalidade e flexibilidade na alocação de espectro às requisições do tráfego. Considera-se disfuncional qualquer vazio que não possa ser preenchido com conexões dos tamanhos demandados, pois a alocação consecutiva sempre levaria inevitavelmente a resíduos inutilizáveis.

[046] De uma forma exemplificativa, quando um vazio de 13 slots é preenchido com conexões de 4 slots e 7 slots: se forem alocadas 3 conexões de 4 slots, sobra 1 slot inutilizado; e se forem alocadas uma conexão de 4 slots e outra conexão de 7 slots, em qualquer ordem, sobram 2 slots. Dessa forma, não há outra alternativa para um algoritmo voraz (entende-se por voraz qualquer algoritmo que atenda todas as requisições que ele tem condições de atender).

[047] A partir do conjunto de tamanhos demandados, todos os tamanhos de vazios disfuncionais são listados de acordo com uma fórmula simples e memorizados pelo algoritmo que desempenha o método da presente invenção, que os coloca coletivamente na última prioridade para alocação de qualquer requisição de conexão.

[048] No caso de duas classes de requisições de tamanhos b_1 slots e b_2 slots, os vazios de tamanho múltiplo de b_1 menor que $b_1.b_2$ são classificados como "seletivos para b_1 " e os de tamanho múltiplo de b_2 menor que $b_1.b_2$ de "seletivos para b_2 ", por comportarem a oportunidade de alocação funcional (isto é, que resulta em um novo vazio igualmente funcional) apenas para requisição por b_1 slots e por b_2 slots, respectivamente.

[049] Sendo σ_k o conjunto dos tamanhos de vazio v que admitem k soluções inteiras não-negativas para n_1 e n_2 na equação de preenchimento do vazio $n_1.b_1+n_2.b_2=v$, então se

$v \in \sigma_1$ indicando que só existe uma solução para os números de conexões de b_1 slots e de b_2 slots que preencham o vazio v , resulta que $0 \leq n_1 \leq (b_2 - 1)$, pois se a solução admitisse b_2 conexões de b_1 slots, então estas poderiam ser substituídas por b_1 conexões de b_2 slots, levando à existência de mais que uma solução. Analogamente, $0 \leq n_2 \leq (b_1 - 1)$ se $v \in \sigma_1$ pelo mesmo motivo.

[050] Portanto, dada uma requisição por b_i slots, $i \in \{1, 2\}$, então os vazios seletivos para b_i são simplesmente os múltiplos de b_i menores que $b_1 \cdot b_2$, que recebem a primeira prioridade para alocação de b_i slots.

[051] Para esse fim, de forma geral, o algoritmo que desempenha o método para alocação de espectro óptico em um enlace óptico sob tráfego dinâmico da presente invenção realiza uma busca por vazios seletivos para b_i na ordem de frequências crescentes e aloca o primeiro vazio desse tipo para acomodar a requisição, se houver um vazio. Se não houver um vazio deste tipo, o método da presente invenção realiza busca de um vazio que apresente conformidade com a segunda prioridade.

[052] Particularmente, entre a primeira e a última prioridades, o algoritmo que desempenha o método para alocação de espectro óptico em um enlace óptico sob tráfego dinâmico da presente invenção leva em conta a flexibilidade dos vazios. São flexíveis os vazios que admitem mais que uma solução para (n_1, n_2) na equação $n_1 b_1 + n_2 b_2 = v$ para o seu preenchimento. Os elementos do conjunto σ_k dos vazios que admitem k soluções de preenchimento são dados pela soma de $(k-1) \cdot b_1 \cdot b_2$ com cada elemento de σ_1 . Quando esse elemento não é zero, ele é denominado parte inflexível do vazio. Quando

é zero, ou seja quando v é um múltiplo de $b_1.b_2$, se diz que o vazio não tem parte inflexível. Quando $k=1$, o vazio como um todo é a sua parte inflexível. Em todos os casos, v' denota a parte inflexível de v . Assim, cada elemento de σ_k pode ser expresso como: $v=(k-1).b_1.b_2+v'$.

[053] A flexibilidade dos vazios flexíveis está relacionada com a possibilidade de preencher $b_1.b_2$ slots com b_1 conexões de b_2 slots ou com b_2 conexões de b_1 slots, gerando k soluções para (n_1, n_2) na equação de preenchimento: $n_1.b_1+n_2.b_2 = v$, quando $v \in \sigma_k$.

[054] Como não se conhece as futuras requisições, preservar essa flexibilidade enquanto ela existe é importante para ampliar a capacidade de acomodar o maior número possível de futuras demandas, evitando perdas. Por esse motivo, a segunda prioridade de alocação é conferida aos vazios não-seletivos do conjunto σ_1 e às partes inflexíveis dos demais vazios funcionais, quando houver.

[055] Note-se que a segunda prioridade só será acionada se a busca por vazio seletivo para b_i slots, que foi objeto da primeira prioridade, tiver sido infrutífera, de maneira que só é necessário explicitar a exclusão de vazios seletivos por b_j slots, sendo $b_i \neq b_j$ e $b_j \in (b_1, b_2)$, nos quais a alocação de b_i slots levaria a um novo vazio disfuncional, a fim de deferi-los para uma prioridade mais baixa.

[056] A terceira prioridade fica então com os vazios flexíveis sem parte inflexível, ou seja, para os vazios múltiplos de $b_1.b_2$, se houver. Neste caso, a alocação de b_i slots na extremidade do vazio $(k-1).b_1.b_2$ do conjunto σ_k gera um novo vazio do conjunto $\sigma_{(k-1)}$ cuja parte inflexível será $(b_j-1).b_i$, havendo portanto uma perda de flexibilidade, mas

sem geração de disfuncionalidade.

[057] Até aqui, todas as prioridades são buscadas através da verificação de todos os vazios do espectro em ordem de frequências crescentes, até a eventual alocação da requisição caso seja encontrado um vazio que se qualifique ou, caso isso não aconteça, uma vez esgotada a busca, seja realizada a próxima busca segundo a próxima prioridade.

[058] A quarta prioridade é atribuída aos vazios funcionais seletivos para $b_j \neq b_i$, quando a requisição é por b_i slots. O motivo desta baixa prioridade é que essa alocação é disfuncional, por gerar um novo vazio disfuncional. Como a existência de vazios disfuncionais é indesejada, a busca de vazios com esta característica é feita em ordem de frequências decrescentes para que eles tenham mais chance de serem criados na parte superior do espectro, provavelmente mais rarefeita pelo fato das prioridades anteriores serem implementadas por buscas em ordem crescente.

[059] Em um ambiente rarefeito, um vazio disfuncional apresenta mais chance de coalescer com um vazio vizinho, através da desativação de uma conexão interposta entre eles, e através dessa coalescência recuperar a sua funcionalidade.

[060] Finalmente, a quinta e última prioridade é atribuída aos vazios que já são disfuncionais antes da eventual alocação, e por isso a busca por esses vazios também é feita na ordem de frequências decrescentes, pelo mesmo motivo. Naturalmente, se e quando o algoritmo que desempenha o método da presente invenção chegar a ativar essa quinta busca, todos os vazios do espectro serão disfuncionais, caso contrário teriam se qualificado para a alocação em alguma busca anterior.

[061] Assim, o algoritmo que desempenha o método da presente invenção ainda pode escolher aqueles que sejam compatíveis com os menores resíduos. Para isso, o algoritmo que desempenha o método da presente invenção começa procurando vazios de tamanho v tal que $(v-b_i-1) \in \sigma_1$, que poderão produzir resíduo 1 mediante alocações sucessivas. Caso essa busca seja infrutífera, a próxima busca pede que $(v-b_i-2) \in \sigma_1$, depois $(v-b_i-3) \in \sigma_1$ e assim por diante, até que seja exigido que $(v-b_i-b_1+1) \in \sigma_1$, que será encontrado com certeza, pois todas as espécies de vazios possíveis terão sido buscadas.

[062] Portanto, o algoritmo que desempenha o método da presente invenção pode ser considerado voraz (*greedy*), pois aceita todas as requisições que podem ser aceitas.

Exemplo 1: Exemplo de Simulação

[063] Particularmente, o algoritmo que desempenha o método da presente invenção foi testado em simulações para quatro pares (b_1, b_2) otimizados para transmissão em taxas de bit de 400 Gb/s e 1 Tb/s, sobre distâncias que variam de 400 km até 2000 km.

[064] As simulações comparam as ocupações do espectro geradas pelo algoritmo que desempenha o método da presente invenção e pelos algoritmos *First-fit* e *Exact-fit*, com a ocupação que seria gerada por um algoritmo hipotético que supõe ausência de fragmentação espectral.

[065] As simulações mostram uma redução significativa das perdas com a aplicação do algoritmo que desempenha o método da presente invenção, quando comparadas às perdas do *First-fit* e *Exact-fit*.

[066] De acordo com uma concretização preferencial, o

método para alocação de espectro óptico em um enlace óptico sob tráfego dinâmico compreende as etapas de:

dividir o espectro óptico em S slots contíguos;

determinar um conjunto de impasses que compreende um conjunto de número de slots contíguos que não podem ser preenchidos com conexões de tamanhos b_1 e b_2 de slots contíguos, que é dado por todos os valores de vazios iguais a:

$$v = b_1.b_2 - k_1.b_1 - k_2.b_2 > 0 \text{ (equação 1)}$$

para quaisquer valores de k_1 e k_2 que sejam números inteiros positivos;

um usuário requisita uma conexão com alocação de bi slots contíguos, em que $bi \in \{b_1, b_2\}$;

em que b_1 e b_2 são classes de tamanhos (em número de slots) de requisições de conexões habilitadas em algum vazio do espectro óptico;

em que b_1 e b_2 são primos entre si;

em que $1 < b_1 < b_2$; e

em que b_j é um tamanho de slot não requisitado de $\{b_1, b_2\}$;

realizar uma busca preliminar sobre todo o espectro óptico e verificar se existe pelo menos um vazio maior ou igual aos bi slots contíguos requisitados; em que se o vazio não for encontrado, a requisição de alocação é rejeitada; e se o vazio for encontrado, realizar uma pluralidade de buscas por uma pluralidade de tipos de vazio no espectro óptico;

realizar uma primeira busca na ordem de frequências crescentes, procurando por um primeiro tipo de vazio cujo tamanho, em número de slots, seja múltiplo do tamanho requisitado de slots bi menor que o produto $b_1.b_2$, pertencendo

ao conjunto $\{b_i, 2.b_i, 3.b_i, \dots, (b_j-1).b_i\}$; se o primeiro tipo de vazio for encontrado, ele é alocado para acomodar a requisição numa posição adjacente à extremidade inferior do primeiro tipo de vazio;

realizar uma segunda busca se a primeira busca terminar sem que primeiro tipo de vazio seja encontrado, em que a segunda busca é realizada na ordem de frequências crescentes, procurando por um segundo tipo de vazio que não pertença ao conjunto de impasses e que não seja múltiplo de $b_1.b_2$; que não seja múltiplo de b_1 ou de b_2 e que seja menor que o produto $b_1.b_2$; se o segundo tipo de vazio for encontrado, a requisição de conexão com alocação de b_i slots contíguos é alocada na extremidade inferior do segundo tipo de vazio;

realizar uma terceira busca se a segunda busca terminar sem que o segundo tipo de vazio seja encontrado, em que a terceira busca é realizada na ordem de frequências crescentes, procurando por um terceiro tipo de vazio que seja múltiplo de $b_1.b_2$; se o terceiro tipo de vazio é encontrado, a requisição de conexão com alocação de b_i slots contíguos é alocada na extremidade inferior do terceiro tipo de vazio;

realizar uma quarta busca se a terceira busca terminar sem que o terceiro tipo de vazio seja encontrado, ou quando $b_1.b_2 > S$, em que a quarta busca é realizada na ordem de frequências decrescentes, procurando por um quarto tipo de vazio que seja múltiplo do tamanho b_j do conjunto $\{b_1.b_2\}$ que não foi requisitado e que seja menor que $b_1.b_2$, pertencendo ao conjunto $\{b_j, 2.b_j, 3.b_j, \dots, (b_i-1).b_j\}$; se o quarto tipo de vazio é encontrado, a requisição de conexão com alocação de b_i slots contíguos é alocada na extremidade superior do

quarto tipo de vazio;

realizar uma quinta busca se a quarta busca terminar sem que o quarto tipo de vazio seja encontrado, em que a quinta busca é realizada na ordem de frequências decrescentes nos vazios pertencentes ao conjunto de impasses; em que a quinta busca compreende realizar até (b_1-1) sub-buscas sucessivas $5_1, 5_2, 5_3 \dots 5_{(b_1-1)}$;

realizar a sub-busca 5_1 na ordem de frequências decrescentes procurando por um vazio de tamanho v tal que $(v-b_i-1)$ não pertence ao conjunto de impasses; em que se o vazio de tamanho v tal que $(v-b_i-1)$ não pertence ao conjunto de impasses for encontrado, a requisição de conexão com alocação de b_i slots contíguos é alocada na extremidade superior do vazio de tamanho v e encerra a busca;

sendo $v > 2$, realizar a sub-busca 5_2 se a sub-busca 5_1 terminar sem que o vazio de tamanho v tal que $(v-b_i-1)$ não pertence ao conjunto de impasses seja encontrado, em que a sub-busca 5_2 é realizada na ordem de frequências decrescentes e procura um vazio de tamanho v tal que $(v-b_i-2)$ não pertence ao conjunto de impasses; em que se o vazio de tamanho v tal que $(v-b_i-2)$ não pertence ao conjunto de impasse for encontrado, a requisição de conexão com alocação de b_i slots contíguos é alocada na extremidade superior do vazio de tamanho v e encerra a busca;

sendo $v > 3$, realizar a sub-busca 5_3 se a sub-busca 5_2 terminar sem que o vazio de tamanho v tal que $(v-b_i-2)$ não pertence ao conjunto de impasses seja encontrado, em que a sub-busca 5_3 é realizada na ordem de frequências decrescentes e procura um vazio de tamanho v tal que $(v-b_i-3)$ não pertence ao conjunto de impasses; em que se o vazio de tamanho v tal

que $(v - b_i - 3)$ não pertence ao conjunto de impasses for encontrado, a requisição de conexão com alocação de b_i slots contíguos é alocada na extremidade superior do vazio de tamanho v e encerra a busca;

sendo $v > 4$, realizar a sub-busca 5_4 se a sub-busca 5_3 terminar sem que o vazio de tamanho v tal que $(v - b_i - 3)$ não pertence ao conjunto de impasses seja encontrado, em que a sub-busca 5_4 é realizada na ordem de frequências decrescentes e procura um vazio de tamanho v tal que $(v - b_i - 4)$ não pertence ao conjunto de impasses; em que se o vazio de tamanho v tal que $(v - b_i - 4)$ não pertence ao conjunto de impasses for encontrado, a requisição de conexão com alocação de b_i slots contíguos é alocada na extremidade superior do vazio de tamanho v e encerra a busca; ; caso contrário, segue com a sub-busca 5_5 se a sub-busca 5_4 terminar sem encontrar um vazio v tal que $(v - b_i - 4)$ não pertence ao conjunto de impasses seja encontrado; com a sub-busca 5_6 se a sub-busca 5_5 terminar sem encontrar um vazio v tal que $(v - b_i - 5)$ não pertence ao conjunto de impasses seja encontrado; e assim por diante até a busca $5_{(b_i-2)}$;

realizar a sub-busca $5_{(b_i-1)}$ se a sub-busca $5_{(b_i-2)}$ terminar sem que o vazio de tamanho v tal que $(v - b_i - b_i + 2)$ não pertence ao conjunto de impasses seja encontrado, em que a sub-busca $5_{(b_i-1)}$ é realizada na ordem de frequências decrescentes e procura um vazio de tamanho v tal que $(v - b_i - b_i + 1)$ não pertence ao conjunto de impasses; em que quando o vazio de tamanho v tal que $(v - b_i - b_i + 1)$ não pertence ao conjunto de impasses for encontrado, a requisição de conexão com alocação de b_i slots contíguos é alocada na extremidade superior do vazio de tamanho v e encerra a busca.

[067] Especificamente, a quinta busca é realizada na ordem de frequências decrescentes nos vazios pertencentes ao conjunto de impasses, pois todos os outros tipos de vazios já foram detectados em buscas anteriores, e por isso não poderiam chegar à quinta busca.

[068] Especificamente, as cinco buscas acima descritas são ilustradas de forma integrada no fluxograma da figura 1.

[069] Adicionalmente, a figura 2 apresenta duas árvores de tamanhos começando com 84 slots e alcançando valores cada vez menores à medida em que o vazio é preenchido com conexões de tamanhos $b_1=4$ slots e $b_2=7$ slots. Especificamente, a árvore do lado esquerdo é utilizada para orientar o atendimento de requisições por b_1 slots e a árvore do lado direito por b_2 slots.

[070] Particularmente, em ambas as árvores da figura 2, a cor verde identifica os tamanhos que são objetos da primeira busca 1; a cor azul identifica os tamanhos que são objetos da segunda busca 2; a cor marrom identifica os tamanhos que são objetos da terceira busca 3; a cor laranja identifica os tamanhos que são objetos da quarta busca 4; e a cor vermelha identifica os tamanhos que são objetos da quinta busca 5.

[071] Ainda, de acordo com a figura 2, nas primeiras busca 1, segunda busca 2 e terceira busca 3, os vazios são funcionais e o atendimento leva a novos vazios que preservam a funcionalidade. Na quarta busca 4, os vazios aceitos também são funcionais, mas o atendimento leva a um novo vazio que é disfuncional, causando perda da funcionalidade. Na quinta busca 5, os vazios aceitos já são disfuncionais, e o atendimento aprofunda a disfuncionalidade ao se aproximar de

algum resíduo inutilizável entre 1 e (b_1-1) .

[072] Finalmente, a figura 3 representa o mapeamento das sub-buscas 5_1 , 5_2 , 5_3 da quinta busca 5, em que se procura minimizar o tamanho final dos resíduos inutilizáveis, começando com a sub-busca 5_1 , que busca manter a alcançabilidade do resíduo 1, continua com a sub-busca 5_2 para a alcançabilidade do resíduo 2, e finalmente a sub-busca 5_3 que leva ao resíduo $(b_1-1)=3$, encerrando com sucesso todas as buscas.

[073] Complementarmente, a presente invenção se refere a uma mídia de armazenamento legível por computador, que compreende, armazenado em si, um conjunto de instruções legíveis por computador, em que quando o conjunto de instruções legíveis por computador é executado por um ou mais processadores, o um ou mais processadores implementam o método para alocação de espectro óptico em um enlace óptico sob tráfego dinâmico descrito acima.

[074] Particularmente, a mídia de armazenamento legível por computador pode ser uma memória, em que a memória pode ser uma do tipo não volátil, como uma unidade de disco rígido (*hard disk drive*, HDD) ou uma unidade de estado sólido (*solid-state drive*, SSD), ou pode ser uma memória volátil, como uma memória de acesso aleatório (*random-access memory*, RAM). A mídia de armazenamento legível pode ser qualquer outro meio que possa transportar ou armazenar o código de programa esperado na forma de uma instrução ou uma estrutura de dados ou um conjunto de instruções e pode ser acessado por um computador, mas não está limitada aos mesmos. A mídia de armazenamento legível pode ser, alternativamente, um circuito ou qualquer outro aparelho que possa implementar

uma função de armazenamento.

[075] Especificamente, o conjunto de instruções legíveis por computador representa o algoritmo ou o código de programa de computador ou uma estrutura de dados, que desempenha o método para alocação de espectro óptico em um enlace óptico sob tráfego dinâmico descrito acima.

[076] O processador pode ser um processador de propósito geral, que pode ser um microprocessador ou qualquer processador convencional ou semelhantes. As etapas do método divulgado com referência às modalidades desta invenção podem ser realizadas diretamente por um ou mais processadores de hardware, ou podem ser realizadas usando uma combinação de hardware no processador e um módulo de software, por exemplo.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para alocação de espectro óptico em um enlace óptico sob tráfego dinâmico, caracterizado por compreender as etapas de:

dividir o espectro óptico em S slots contíguos;

determinar um conjunto de impasses que compreende um conjunto de números de slots contíguos que não podem ser preenchidos com conexões de tamanhos b_1 e b_2 de slots contíguos, que é dado por todos os valores de vazios iguais a:

$$v = b_1.b_2 - k_1.b_1 - k_2.b_2 > 0$$

para quaisquer valores de k_1 e k_2 que sejam números inteiros positivos;

um usuário requisita uma conexão com alocação de b_i slots contíguos, em que $b_i \in \{b_1, b_2\}$;

em que b_1 e b_2 são classes de tamanhos (em número de slots) de requisições de conexões habilitadas em algum vazio do espectro óptico;

em que b_1 e b_2 são primos entre si;

em que $1 < b_1 < b_2$; e

em que b_j é um tamanho de slot não requisitado de $\{b_1, b_2\}$;

realizar uma busca preliminar sobre todo o espectro óptico e verificar se existe pelo menos um vazio maior ou igual aos b_i slots contíguos requisitados; em que se o vazio não for encontrado, a requisição de alocação é rejeitada; e se o vazio for encontrado, realizar uma pluralidade de buscas por uma pluralidade de tipos de vazio no espectro óptico;

realizar uma primeira busca na ordem de frequências crescentes, procurando por um primeiro tipo de vazio cujo

tamanho, em número de slots, seja múltiplo do tamanho requisitado de slots b_i menor que o produto $b_1.b_2$, pertencendo ao conjunto $\{b_i, 2.b_i, 3.b_i, \dots, (b_j - 1).b_i\}$; se o primeiro tipo de vazio for encontrado, ele é alocado para acomodar a requisição numa posição adjacente à extremidade inferior do primeiro tipo de vazio.

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por compreender adicionalmente a etapa de:

realizar uma segunda busca se a primeira busca terminar sem que primeiro tipo de vazio seja encontrado, em que a segunda busca é realizada na ordem de frequências crescentes, procurando por um segundo tipo de vazio que não pertença ao conjunto de impasses e que não seja múltiplo de $b_1.b_2$; que não seja múltiplo de b_1 ou de b_2 e que seja menor que o produto $b_1.b_2$; se o segundo tipo de vazio for encontrado, a requisição de conexão com alocação de b_i slots contíguos é alocada na extremidade inferior do segundo tipo de vazio.

3. Método, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado por compreender adicionalmente a etapa de:

realizar uma terceira busca se a segunda busca terminar sem que o segundo tipo de vazio seja encontrado, em que a terceira busca é realizada na ordem de frequências crescentes, procurando por um terceiro tipo de vazio que seja múltiplo de $b_1.b_2$; se o terceiro tipo de vazio é encontrado, a requisição de conexão com alocação de b_i slots contíguos é alocada na extremidade inferior do terceiro tipo de vazio.

4. Método, de acordo com a reivindicação 3, caracterizado por compreender adicionalmente a etapa de:

realizar uma quarta busca se a terceira busca terminar

sem que o terceiro tipo de vazio seja encontrado, ou quando $b_1.b_2 > S$, em que a quarta busca é realizada na ordem de frequências decrescentes, procurando por um quarto tipo de vazio que seja múltiplo do tamanho b_j do conjunto $\{b_1.b_2\}$ que não foi requisitado e que seja menor que $b_1.b_2$, pertencendo ao conjunto $\{b_j, 2.b_j, 3.b_j, \dots, (b_i-1).b_j\}$; se o quarto tipo de vazio é encontrado, a requisição de conexão com alocação de b_i slots contíguos é alocada na extremidade superior do quarto tipo de vazio.

5. Método, de acordo com a reivindicação 4, caracterizado por compreender adicionalmente a etapa de:

realizar uma quinta busca se a quarta busca terminar sem que o quarto tipo de vazio seja encontrado, em que a quinta busca é realizada na ordem de frequências decrescentes nos vazios pertencentes ao conjunto de impasses; em que a quinta busca compreende realizar até (b_1-1) sub-buscas sucessivas $5_1, 5_2, 5_3 \dots 5_{(b_1-1)}$.

6. Método, de acordo com a reivindicação 5, caracterizado por compreender adicionalmente a etapa de:

realizar a sub-busca 5_1 na ordem de frequências decrescentes procurando por um vazio de tamanho v tal que $(v-b_i-1)$ não pertence ao conjunto de impasses; em que se o vazio de tamanho v tal que $(v-b_i-1)$ não pertence ao conjunto de impasses for encontrado, a requisição de conexão com alocação de b_i slots contíguos é alocada na extremidade superior do vazio de tamanho v e encerra a busca.

7. Método, de acordo com a reivindicação 6, caracterizado por compreender adicionalmente a etapa de:

sendo $v > 2$, realizar a sub-busca 5_2 se a sub-busca 5_1 terminar sem que o vazio de tamanho v tal que $(v-b_i-1)$ seja

encontrado, em que a sub-busca 5_2 é realizada na ordem de frequências decrescentes e procura um vazio de tamanho v tal que $(v - b_i - 2)$ não pertence ao conjunto de impasses; em que se um vazio de tamanho v tal que $(v - b_i - 2)$ não pertence ao conjunto de impasses for encontrado, a requisição de conexão com alocação de b_i slots contíguos é alocada na extremidade superior do vazio de tamanho v e encerra a busca.

8. Método, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado por compreender adicionalmente a etapa de:

sendo $v > 3$, realizar a sub-busca 5_3 se a sub-busca 5_2 terminar sem que o vazio de tamanho v tal que $(v - b_i - 2)$ não pertence ao conjunto de impasses seja encontrado, em que a sub-busca 5_3 é realizada na ordem de frequências decrescentes e procura um vazio de tamanho v tal que $(v - b_i - 3)$ não pertence ao conjunto de impasses; em que se um vazio de tamanho v tal que $(v - b_i - 3)$ não pertence ao conjunto de impasses for encontrado, a requisição de conexão com alocação de b_i slots contíguos é alocada na extremidade superior do vazio de tamanho v e encerra a busca.

9. Método, de acordo com a reivindicação 8, caracterizado por compreender adicionalmente a etapa de:

sendo $v > 4$, realizar a sub-busca 5_4 se a sub-busca 5_3 terminar sem que o vazio de tamanho v tal que $(v - b_i - 3)$ não pertence ao conjunto de impasses seja encontrado, em que a sub-busca 5_4 é realizada na ordem de frequências decrescentes e procura um vazio de tamanho v tal que $(v - b_i - 4)$ não pertence ao conjunto de impasses; em que se um vazio de tamanho v tal que $(v - b_i - 4)$ não pertence ao conjunto de impasses for encontrado, a requisição de conexão com alocação de b_i slots contíguos é alocada na extremidade superior do vazio de

tamanho v e encerra a busca; caso contrário, segue com a sub-busca 5_5 se a sub-busca 5_4 terminar sem encontrar um vazio v tal que $(v-b_i-4)$ não pertence ao conjunto de impasses seja encontrado; com a sub-busca 5_6 se a sub-busca 5_5 terminar sem encontrar um vazio v tal que $(v-b_i-5)$ não pertence ao conjunto de impasses seja encontrado; e assim por diante até a busca $5_{(b_1-2)}$.

10. Método, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado por compreender adicionalmente a etapa de:

realizar a sub-busca $5_{(b_1-1)}$ se a sub-busca $5_{(b_1-2)}$ terminar sem que o vazio de tamanho v tal que $(v-b_i-b_1+2)$ não pertence ao conjunto de impasses seja encontrado, em que a sub-busca $5_{(b_1-1)}$ é realizada na ordem de frequências decrescentes e procura um vazio de tamanho v tal que $(v-b_i-b_1+1)$ não pertence ao conjunto de impasses; em que quando um vazio de tamanho v tal que $(v-b_i-b_1+1)$ não pertence ao conjunto de impasses for encontrado, a requisição de conexão com alocação de b_i slots contíguos é alocada na extremidade superior do vazio de tamanho v e encerra a busca.

11. Mídia de armazenamento legível por computador, caracterizada por compreender, armazenado em si, um conjunto de instruções legíveis por computador, em que quando o conjunto de instruções legíveis por computador é executado por um ou mais processadores, um ou mais processadores implementam o método conforme definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 10.

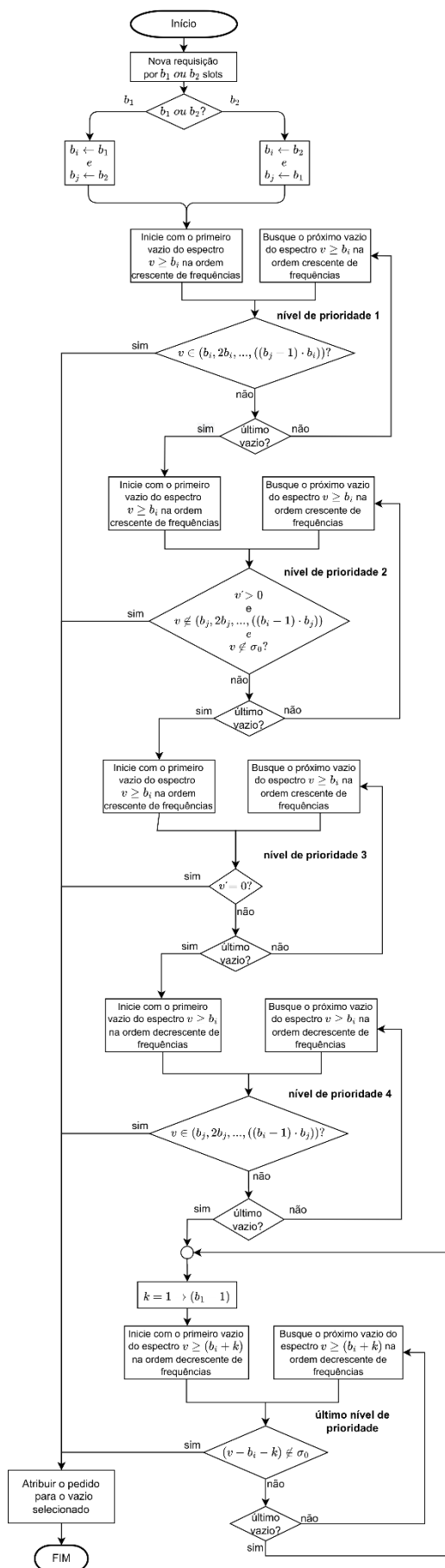


Figura 1

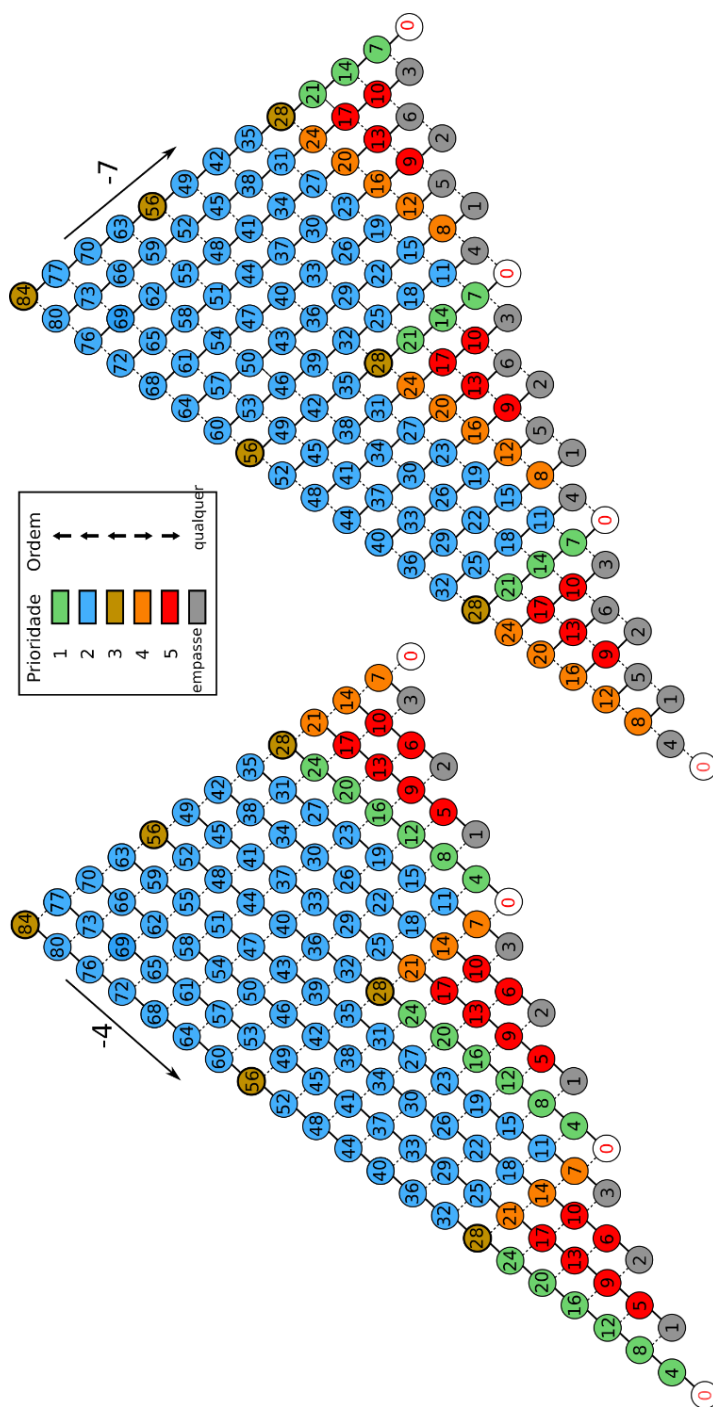


Figura 2

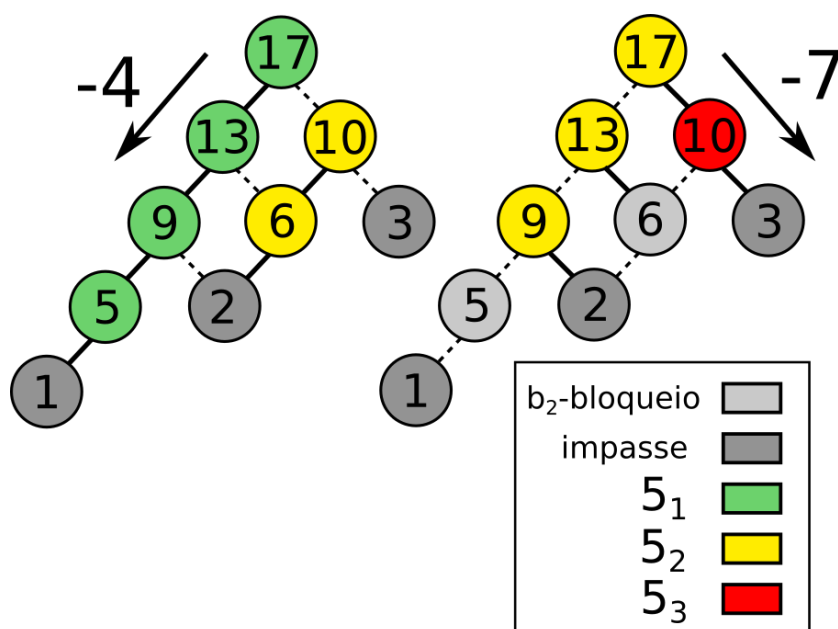


Figura 3

RESUMO**MÉTODO PARA ALOCAÇÃO DE ESPECTRO ÓPTICO EM UM ENLACE ÓPTICO SOB TRÁFEGO DINÂMICO E MÍDIA DE ARMAZENAMENTO LEGÍVEL POR COMPUTADOR**

A presente invenção se refere a um método para alocação de espectro óptico em um enlace óptico sob tráfego dinâmico, de forma proativa e que reduz significativamente as perdas causadas pela fragmentação, em que tal alocação é realizada com base em características do tráfego em redes ópticas elásticas. Particularmente, o método para alocação de espectro óptico em um enlace óptico sob tráfego dinâmico da presente invenção compreende realizar uma pluralidade de buscas para determinar o melhor vazio para alocar uma requisição de conexão, com base no estado do sistema e no conhecimento das quantidades de slots por conexão demandadas pelo tráfego e suas taxas de requisição.