

Dimensionamento e Optimização da Arquitetura dos Nós em Redes de Transporte Ópticas

Tiago Duarte Esteves

nº mec: 50209



Introdução

Esta dissertação surge principalmente devido ao interesse dos operadores de rede em economizar alguns recursos inerentes ao planeamento e operação das suas redes.

Para alcançar os principais objetivos desta dissertação, as seguintes etapas serão cumpridas:

1. Desenvolver modelos ILP para redes opacas e transparentes usando proteção de caminho dedicada (1+1).
2. Obter uma solução para redes ópticas com dimensionamento de proteção através de algoritmos heurísticos aplicados no Net2Plan.
3. Comparar e validar os resultados baseados em heurísticas com os resultados baseados em ILP.
4. Aplicar método heurístico a uma rede realista.



Design e Dimensionamento de Rede

Em termos de design de rede óptica, existem dois conceitos básicos, topologias físicas e lógicas.

A topologia física é o componente físico da rede e como eles são organizados (o mapeamento de nó e os links que os conectam).

A topologia lógica é como eles funcionam em termos de conexão entre os elementos e estão relacionadas à forma como o sinal óptico é propagado.

Existem três tipos de modo de transporte sendo eles opaco, transparente e translúcido.

No planeamento da rede, é extremamente importante considerar a proteção do tráfego de falhas. A proteção pode ser compartilhada, economizando nos recursos atribuídos para proteção ou pode ser dedicada atribuindo os recursos antes da falha, evitando qualquer falha em nós ou links do caminho de trabalho.

Então, com base nas características necessárias para a rede, diferentes topologias lógicas podem ser mais úteis.

Comparação dos modos de transporte

Transport mode	Opaque	Transparent	Translucent
Grooming			
Link-by-link	✓		
Single-Hop		✓	
Multi-Hop			✓
Intermediate nodes			
Electrical Switching	✓		✓
Optical switching		✓	✓
Grooming	✓		✓
Wavelength assignment	✓		✓
WDM multiplexing	✓	✓	✓
End nodes			
Encapsulation	✓	✓	✓
Electrical switching	✓	✓	✓
Grooming	✓	✓	✓
Wavelength assignment	✓	✓	✓
WDM multiplexing	✓	✓	✓

Modelos de programação linear (ILP)

Opaco com proteção 1+1

A função ILP é uma minimização da soma de duas variáveis: número total de fluxos do link (i; j) para todos os pares de demanda (o; d) e o número total de canais ópticos em cada link (i; j).

$$\text{minimize } \sum_{(i,j)} \sum_{(o,d)} f_{ij}^{od} + \sum_{(i,j)} W_{ij}$$

subject to

$$\sum_{j \setminus \{o\}} f_{ij}^{od} = 2 \quad \forall (o, d) : o < d, \forall i : i = o$$

$$\sum_{j \setminus \{o\}} f_{ij}^{od} = \sum_{j \setminus \{d\}} f_{ji}^{od} \quad \forall (o, d) : o < d, \forall i : i \neq o, d$$

$$\sum_{j \setminus \{d\}} f_{ji}^{od} = 2 \quad \forall (o, d) : o < d, \forall i : i = d$$

$$\sum_{(o,d):o<d} (f_{ij}^{od} + f_{ji}^{od}) + \sum_{c \in C} (B(c)D_{cod} \leq 100W_{ij}G_{ij} \quad \forall (i, j) : i < j$$

$$W_{ij} \leq 80 \quad \forall (i, j) : i < j$$

$$f_{ij}^{od}, f_{ji}^{od} \in \{0, 2\} \quad \forall (i, j) : i < j, \forall (o, d) : o < d$$

$$W_{ij} \in \mathbb{N} \quad \forall (i, j) : i < j$$

Transparente com proteção 1+1

Neste caso, pretende minimizar o número total de fluxos do link (i; j) para todos os pares de demanda (o; d) e o número total de canais ópticos entre cada nó final de demanda.

$$\text{minimize } \sum_{(i,j)} \sum_{(o,d)} f_{ij}^{od} + \sum_{(o,d)} W_{od}$$

subject to

$$\sum_{j \setminus \{o\}} f_{ij}^{od} = 2 \quad \forall (o, d) : o < d, \forall i : i = o$$

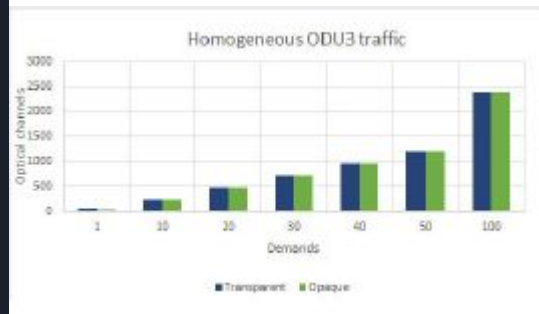
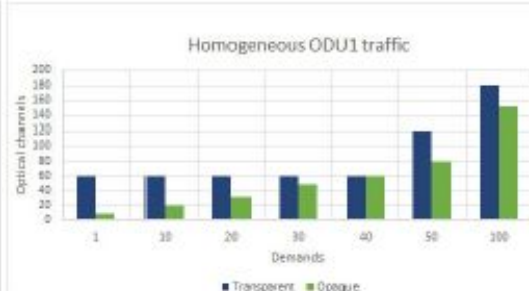
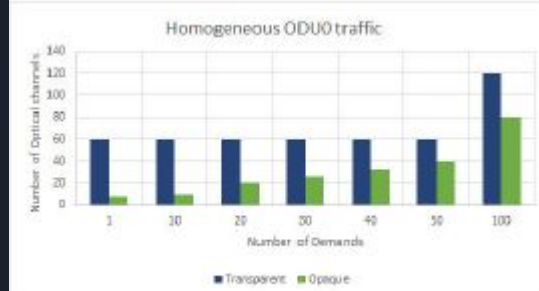
$$\sum_{j \setminus \{o\}} f_{ij}^{od} = \sum_{j \setminus \{d\}} f_{ji}^{od} \quad \forall (o, d) : o < d, \forall i : i \neq o, d$$

$$\sum_{j \setminus \{d\}} f_{ji}^{od} = 2 \quad \forall (o, d) : o < d, \forall i : i = d$$

$$\sum_{(o,d):o<d} (f_{ij}^{od} + f_{ji}^{od})xW_{od} \leq 80G_{ij} \quad \forall (i, j) : i < j$$

$$f_{ij}^{od}, f_{ji}^{od} \in \{0, 2\} \quad \forall (i, j) : i < j, \forall (o, d) : o < d$$

$$W_{od} \in \mathbb{N} \quad \forall (o, d) : o < d$$

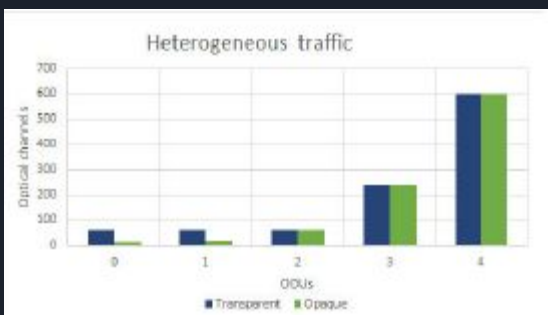


(ODU0 e ODU1) Com um número reduzido de demandas, o resultado do modelo transparente é exageradamente elevado.

(ODU2) Ambos os modelos ILP têm aproximadamente a mesma performance. Para uma demanda de tráfego (10Gb / s) os resultados são melhores no modo de transporte opaco.

(ODU3) Quando o número de demandas é um múltiplo de 10, o tráfego entre cada par de nós é um múltiplo de 100 (capacidade do canal óptico), de modo que o grooming link-by-link tem o mesmo resultado que o grooming somente nos nós finais.

(ODU4) Não são necessários uma vez que as demandas possuem a mesma largura de banda que a capacidade dos canais ópticos, então não há agregação de trânsito.

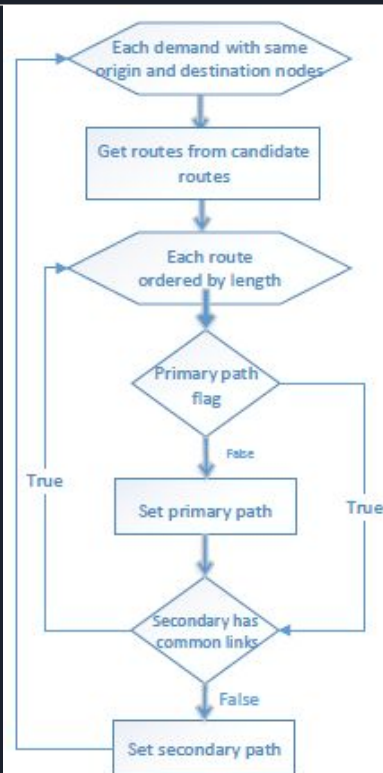
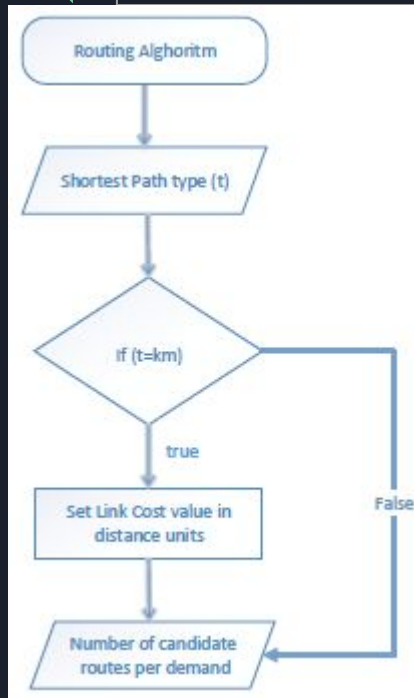


Estabelecendo o número de demandas constantes e alterando o tipo de tráfego, o número de canais ópticos tem um grande salto para o tráfego do cliente com base em demandas de ODU3 e ODU4.

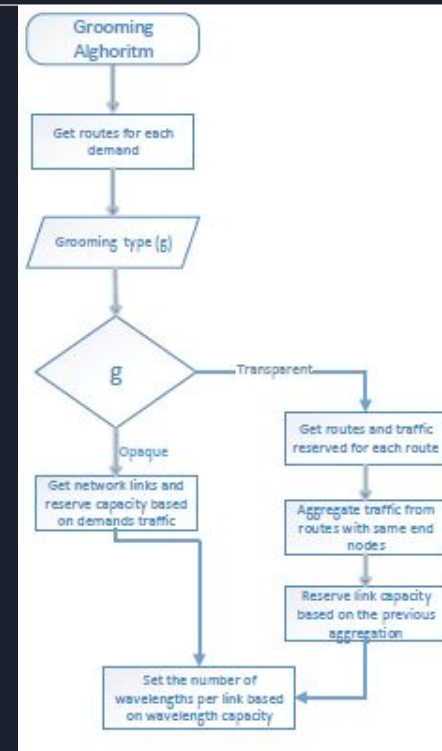
O modelo transparente tem 8 vezes mais canais ópticos para sinais com menor largura de banda.

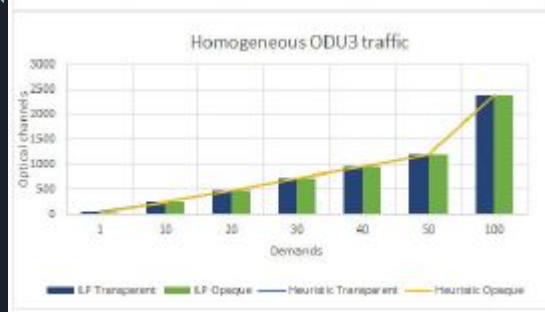
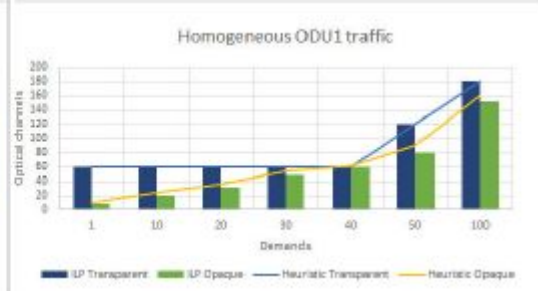
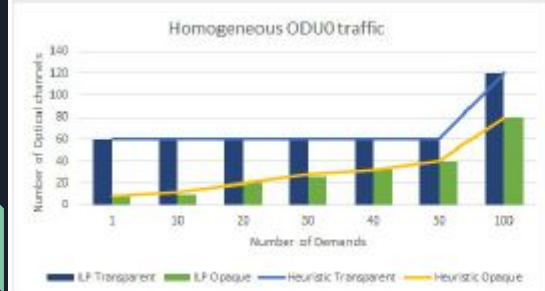
Heuristics

Routing



Grooming





(ODU0 e ODU1) Nos resultados do modo de transparente, a linha tem os mesmos pontos que o gráfico, o que significa que o tráfego foi agregado pelo mesmo método. Por outro lado, para o modo opaco, os resultados são ligeiramente diferentes.

(ODU2) Neste caso as diferenças entre ilps e heurísticas são mínimas e só são visíveis quando o número de demandas não é um múltiplo de 10.

(ODU3) Aqui é tráfego de alta largura de banda, portanto, a agregação em canais em 100Gb / s não pode ser feita de maneiras diferentes, de modo que os resultados são aproximadamente os mesmos para os modos e métodos de transporte.



Por fim, neste caso, o erro relativo entre a solução ILP e a heurística é inferior a 0,1. O número de canais ópticos para tráfego de alta largura de banda é, portanto, alto.

Casos de estudo

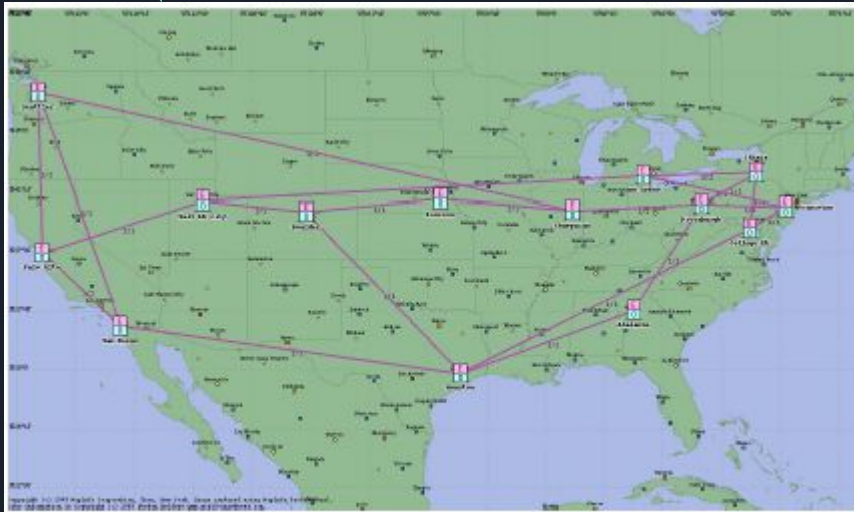


Figure 5.1: NSF Network topology [3].

Tráfego de 5Tb/s

Constant	Description	Value
N	Number of Nodes	14
E	Number of Bidirectional Links	21
$\langle \delta \rangle$	Node out-degree (max,min, avg)	4,2,3.0
$\langle h \rangle$	Mean Number of Hops,for Working Paths	2.14
$\langle h' \rangle$	Mean Number of Hops,for Backup Paths	3.60
$\langle s \rangle$	Mean Link Length (km)	1086

$D =$

0	12	34	15	12	54	12	12	43	12	12	23	12	11
12	0	60	12	35	12	23	20	12	36	12	23	33	13
34	60	0	15	12	12	12	18	14	12	21	23	12	12
15	12	15	0	21	18	12	12	43	12	12	23	12	11
12	35	12	21	0	12	12	12	29	12	12	26	12	15
54	12	12	18	12	0	42	30	12	12	21	12	30	84
12	23	12	12	12	42	0	30	48	12	12	14	9	54
12	20	18	30	12	30	30	0	12	48	12	60	30	72
43	12	14	25	29	12	48	12	0	12	12	54	12	66
12	12	21	12	12	21	12	12	12	12	0	12	12	12
23	23	24	12	26	12	14	60	54	12	12	0	12	12
12	33	12	19	12	30	9	30	12	36	12	12	0	11
11	13	12	11	15	84	54	72	66	12	12	12	11	0

Fórmulas e tabela de valores

$$C_L = (\gamma_0^{OLT} \times L) + (\gamma_1^{OLT} \times \tau \times W) + (N^R \times c^R)$$

$$C_{exc} = (\gamma_{o0} \times N) + \gamma_{o1} \times (P_{LINE} + P_{TRIB})$$

$$N^R = \sum_{l=1}^L \left(\left\lceil \frac{len_l}{span} \right\rceil - 1 \right)$$

$$C_{exc} = (\gamma_{e0} \times N) + (\gamma_{e1} \times \tau \times 2 \times P_{TRIB})$$

Parameter	Value	Description
EXC	10000	EXC cost in euros
EXCPort	1000	EXC port cost in euros pe...
OLT	15000	OLT cost in euros
OXC	20000	OXC cost in euros
OXCPort	2500	OXC port cost in euros
Transponder	5000	Transponder cost in euros
opticalAmplifier	4000	Optical amplifier cost in e...
span	100	Separation between rege...

Modelo Opaco

Name	Trib ports in	Trib ports out	Line Ports in	Line Ports out	Total Ports in	Total Ports out
Seattle (WA)	5	5	21	21	26	26
Palo Alto (CA)	5	5	17	17	22	22
San Diego (CA)	5	5	19	19	24	24
Salt Lake City (UT)	4	4	22	22	26	26
Boulder (CO)	4	4	27	27	31	31
Houston (TX)	6	6	34	34	40	40
Lincoln (NE)	5	5	17	17	22	22
Urbana-Champaign (IL)	6	6	27	27	33	33
Pittsburgh (PA)	6	6	33	33	39	39
Atlanta (GA)	4	4	16	16	20	20
Ann Arbor (MI)	5	5	17	17	22	22
Ithaca (NY)	5	5	16	16	21	21
Princeton (NJ)	4	4	20	20	24	24
College Park (MD)	7	7	20	20	27	27
Total	71	71	306	306	377	377

Aqui temos o número de portas por nó.

As portas tributárias são as portas usadas para tráfego de entrada em um nó de redes de acesso.

Esta é tabela do custo da rede para o NFSNET com o tráfego de entrada referido anteriormente..

O custo total da rede em euros é de 193.118.000 €

Category		Cost	Total
Link Cost	OLT	630,000	155,278,000
	Transponders	153,000,000	
	Amplifiers	1,648,000	
Node Cost	Electrical	37,840,000	37,840,000
	Optical	0	
Total Network Cost			193,118,000

Modelo Transparente

Name	Trib ports in	Trib ports out	Line Ports in	Line Ports out	Total Ports in	Total Ports out
Seattle (WA)	13	13	66	66	79	79
Palo Alto (CA)	13	13	64	64	77	77
San Diego (CA)	13	13	63	63	76	76
Salt Lake City (UT)	13	13	88	88	101	101
Boulder (CO)	13	13	96	96	109	109
Houston (TX)	14	14	120	120	134	134
Lincoln (NE)	13	13	53	53	66	66
Urbana-Champaign (IL)	13	13	87	87	100	100
Pittsburgh (PA)	13	13	103	103	116	116
Atlanta (GA)	13	13	53	53	66	66
Ann Arbor (MI)	13	13	68	68	81	81
Ithaca (NY)	13	13	55	55	68	68
Princeton (NJ)	13	13	72	72	85	85
College Park (MD)	14	14	70	70	84	84
Total	184	184	1058	1058	1242	1242

O custo total da rede é de 571.603.000 € (bastante superior ao modo opaco).

O número de transponders é quase cinco vezes mais devido ao número de canais ópticos.

O número de amplificadores ópticos é o mesmo, pois os links físicos têm o mesmo comprimento.

No modo opaco o número total de portas era 377 e neste caso são 1242 logo isso afetará o custo da rede.

O grande número de portas de linha está relacionado com o grooming.

Category		Cost	Total
Link Cost	OLT	630,000	531,278,000
	Transponders	529,000,000	
	Amplifiers	1,648,000	
Node Cost	Electrical	36,940,000	40,325,000
	Optical	3,385,000	
Total Network Cost			571,603,000



Conclusões

A mesma topologia física pode ter várias topologias lógicas, escolhendo depois os tipos opacos e transparentes.

Para cada abordagem de topologia lógica foi desenvolvido um modelo ILP.

Foram desenvolvidas heurísticas para encontrar soluções semelhantes para os mesmos problemas e comparando os resultados vimos que o erro relativo não foi elevado, podendo assim os algoritmos serem uma boa solução para o problema do projeto de rede real.

Os resultados aplicados num ambiente mais real revelaram algumas vantagens em termos de custo para a rede opaca. No entanto, sabe-se que, quando o número de canais é igual em ambos os modelos, é vantajoso escolher o modelo transparente, pois é mais barato implementar e conseguir uma transmissão de sinal mais rápida.



Direcções Futuras

Alguns dos tópicos mais importantes são:

1. As heurísticas e ILP testadas com redes transparentes e opacas podem ser aplicadas no futuro a diferentes tipos de transporte, podendo assim avaliar as vantagens e desvantagens da escolha do transporte translúcido.
2. No que diz respeito aos métodos de proteção, o uso de proteção compartilhada ou proteção de link dedicado também pode ser considerado e testado. A combinação de tipo de transporte e tipo de proteção cria uma nova gama de opções que podem surgir como uma solução melhor para alguma situação específica.
3. Personalização e inclusão de novos recursos no Net2Plan.
4. Dar continuidade ao repositório GIT, assegurando a organização do código e uma investigação bem documentada.