

第七章 网络规划与优化

第七章 网络规划与优化

7.1 业务需求预测

7.2 接入网规划

7.3 无线网规划

7.4 骨干网规划

7.5 虚拟网规划

logistic分布函数

归一化的用户数， $p(t)$ ，随时间的变化，正比于已有用户数，与待发展用户数之积，即：

$$p(t+d) - p(t) = d \cdot r \cdot p(t)(1 - p(t)), \text{ 或}$$

$$dp/dt = r \cdot p(1 - p)$$

$z = 1/p$ 代入上式，则有：

$$dz/dt = -(1/p^2)dp/dt$$

$$= -r \cdot p(1 - p) (1/p^2)$$

$$= -r \cdot ((1/p) - 1) = -r \cdot (z - 1)$$

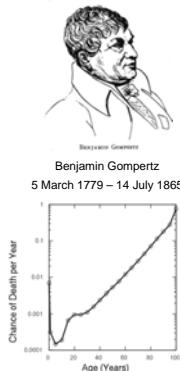
所以：

$$p = 1/(1 + \exp(-rt))$$

Gompertz模型

- 死亡率是两项之和，一项与人的年龄无关，一项与年龄相关。

- 自学成才的英国犹太人数学家 Benjamin Gompertz，于1825年，在名为“*On the Nature of the Function Expressive of the Law of Human Mortality, and on a New Mode of Determining the Value of Life Contingencies*”的论文中提出。



http://en.wikipedia.org/wiki/Gompertz-Makeham_law_of_mortality

Gompertz分布

- 不考虑与年龄无关项， $dp/dx = b \cdot p \cdot \ln(1/p)$
- 概率密度函数：

$$b\eta e^{bx} e^{\eta} \exp(-\eta e^{bx})$$

- 累积概率函数：

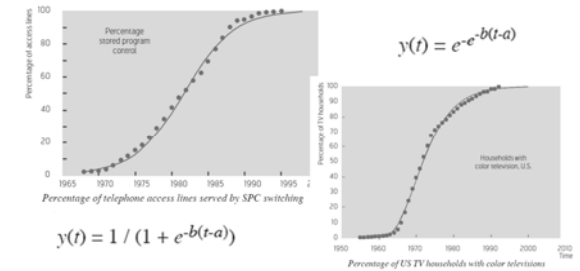
$$1 - \exp(-\eta(e^{bx} - 1))$$

- 等价表示：

$$h(x) = \alpha e^{\beta x} + \lambda$$

$$P(t) = K \exp\left[\ln\left(\frac{P_0}{K}\right) \exp(-at)\right]$$

示例：2004年的数据分析



Vanston L K, Hodges R L. Technology forecasting for telecommunications[R]. Technology Futures, Inc, 2004.

无线宽带流量预测

- 总增长率，来自HSPA渗透率和LTE新用户渗透率

$$P_{Total}(t) = D_{HSPA}(t) + P_{LTE}(t)$$

- 总业务流量：

$$T_{Total}(t) = T_{HSPA}(t) + T_{LTE}(t)$$

- 其中，LTE部分：

$$T_{LTE}(t) = S_{NTW} P_{LTE}(t) G_{LTE}(t)$$

S_{NTW} 网络用户总数

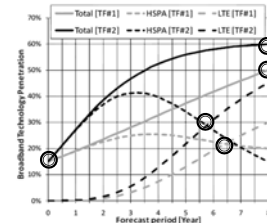
G_{LTE} , G_{HSPA} ,
单用户流量增长

- HSPA部分：

$$T_{HSPA}(t) = S_{NTW} D_{HSPA}(t) G_{HSPA}(t) = S_{NTW} [P_{Total}(t) - P_{LTE}(t)] G_{HSPA}(t)$$

Kovács I Z, Mogensen P, Christensen B, et al. Mobile broadband traffic forecast modeling for network evolution studies[C]// 2011 VTC Fall, 2011: 1-5.

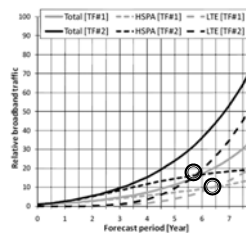
计算结果



5.75~6.5年，HSPA逐渐退网

5.75~6.5年，以LTE为主要接入手段

8年增长周期，起始15/0/15
TF#1: total/LTE/HSPA=50/30/20
TF#2: total/LTE/HSPA=60/45/15



第七章 网络规划与优化

7.1 业务需求预测

7.2 接入网规划

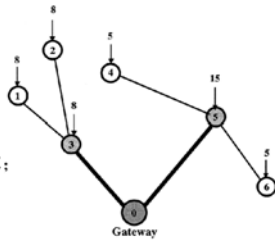
7.3 无线网规划

7.4 骨干网规划

7.5 虚拟网规划

接入带宽需求及定义

- 节点1~6的用户需求:
8,3,5,15,5;
 - 节点3为汇聚节点;
 - 节点0为关口节点。
- J: 汇聚节点集;
 - h_i: 节点i的带宽需求;
 - c_{ij}: 节点i汇聚到节点j成本;
 - p_j: 汇聚节点计算成本;
 - F_j: 汇聚节点建造成本;
 - b_j: 汇聚节点宽带。



Carpenter T, Luss H. Telecommunications access network design[M].Handbook of optimization in telecommunications. Springer US, 2006: 313-339.

10

固定容量设备选址问题(CFLP:
capacitated facility location problem)

Minimize $\sum_{j \in J} F_j y_j + \sum_{i=1}^N \sum_{j \in J} h_i (c_{ij} + p_j) x_{ij}$

so that:

$\sum_{i=1}^N h_i x_{ij} \leq b_j, \text{ for } j \in J,$ 容量约束

$\sum_{j \in J} x_{ij} = 1, \text{ for } i = 1, 2, \dots, N,$ 接入约束

$x_{ij} \leq y_j, \text{ for } j \in J \text{ and } i = 1, 2, \dots, N,$ 不可接入约束

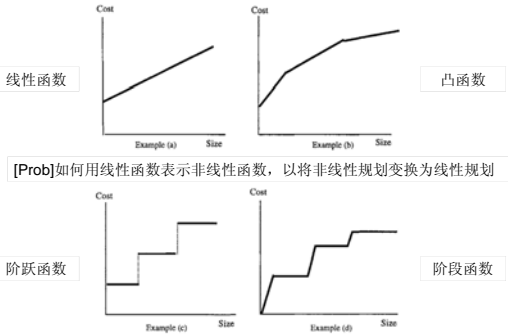
$y_j = \{0, 1\}, \text{ for } j \in J,$

$x_{ij} = \{0, 1\}, \text{ for } j \in J \text{ and } i = 1, 2, \dots, N.$

y_j, 0/1: 节点 j 安装汇聚设备
x_{ij}, 0/1: 节点 i 接入汇聚节点 j

11

汇接成本 c_{ij}



[Prob]如何用线性函数表示非线性函数，以将非线性规划变换为线性规划

12

第七章 网络规划与优化

7.1 业务需求预测

7.2 接入网规划

7.3 无线网规划

7.4 骨干网规划

7.5 虚拟交换机部署

13

无线覆盖场景

- 室内覆盖
 - 占比20%左右，承载80%业务量。
- 商业区覆盖
 - 高楼林立，无线环境复杂，节假日质量要求高。
- 大型场馆覆盖
 - 无线传播条件较好，以视距传播为主，突发性强。
- 生活区覆盖
 - 对电磁辐射较为敏感，天线安装困难。
- 交通干线连续覆盖
 - 流动性大，合适站址受限。
- 旅游区覆盖
 - 流动性强，景点集中。

14

室内微小区覆盖问题

最小化:

$$f(\bar{x}, \bar{y}) = \psi \left[\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m [p_i(\bar{x}, \bar{y}) - \max\{0, p_i(\bar{x}, \bar{y}) - s_i\}] \right] + (1-\psi) \left[\sum_{j=1}^n \max_{i \in S_j} [p_i(\bar{x}, \bar{y}) - \max\{0, p_i(\bar{x}, \bar{y}) - s_i\}] \right]$$

权重

平均损耗最小

最大损耗最小

损耗超限 s_i 惩罚函数

用户站点 i, 总数 m

基站 j, 位置(x_j, y_j), 总数 n

路径损耗: p_i(x, y) = min_j{g_i(x_j, y_j)}

$$S_j = \left\{ i \mid i = \arg \min_{i,j} \{g_i(x_j, y_j)\} \right\}$$

g_i(x_j, y_j) = f_aN_i(x_j, y_j) + n_e log(d_i(x_j, y_j))

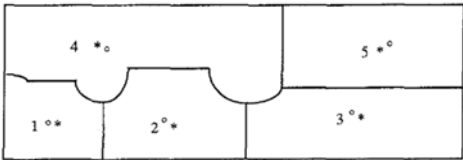
穿墙

自由空间

15

计算示例：接收位置等权重

- 5个BS
- 圈表示初始位置，星表示最优位置



16

计算示例：虚线位置2倍权重



Sherali H D, Pendyala C M, Rappaport T S. Optimal location of transmitters for micro-cellular radio communication system design[J]. IEEE on Selected Areas in Communications, 1996, 14(4): 662-673.

17

第七章 网络规划与优化

7.1 业务需求预测

7.2 接入网规划

7.3 无线网规划

7.4 骨干网规划

7.5 虚拟网规划

18

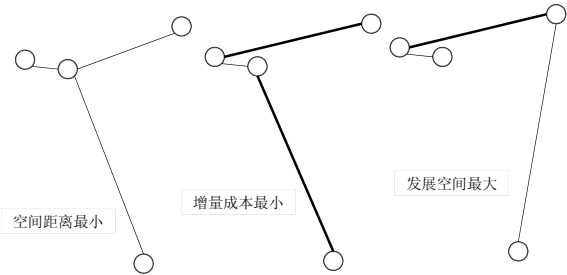
以NUPT四校区为例



[Prob]
1) 链路连哪些?
N=4, 最多6条
2) 带宽配置多大?
0/100/1000/10000Mbps
3) 路由如何选取?
N个源, N-1个宿
每对源宿, 中转N-1次

变量空间
 $4^6 * 3^{12} = 2.1768 * 10^9$

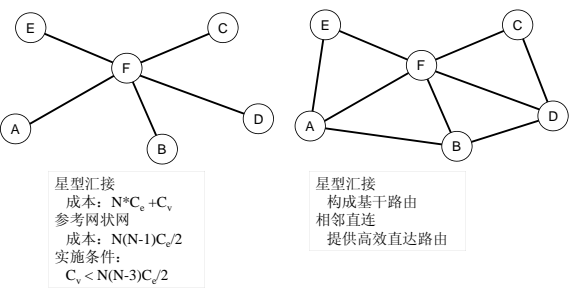
三个规划方案



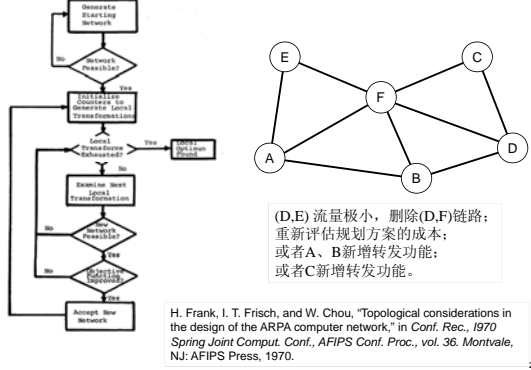
骨干网规划一般方法

- 基于经验的人工方式
 - 面向固定式路由和小规模网络
- 启发式
 - 本地优化, 接近全局最优
- 分支定界法
 - 类似于网络单纯形法
- 随机选取法
- 基本图论算法

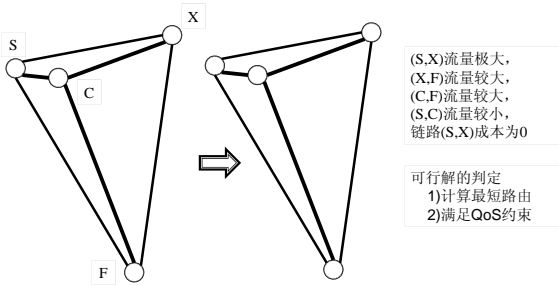
固定电话网设计



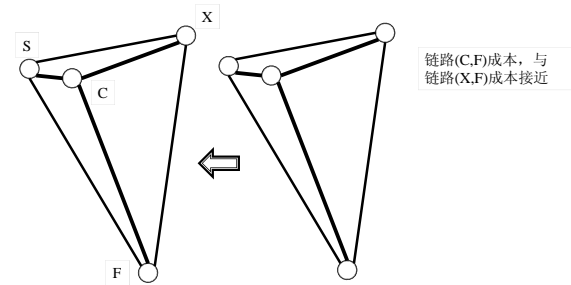
启发式本地优化



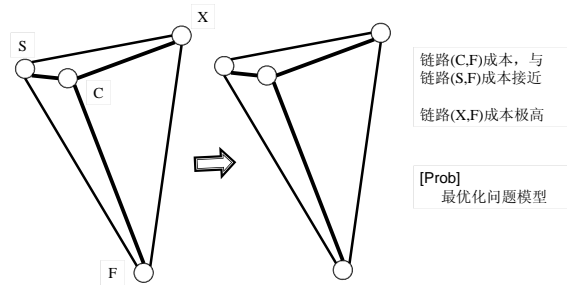
选取成本最高的边, 尝试新边



选取成本次高的边, 尝试另一新边



专线成本受制于第三方资源



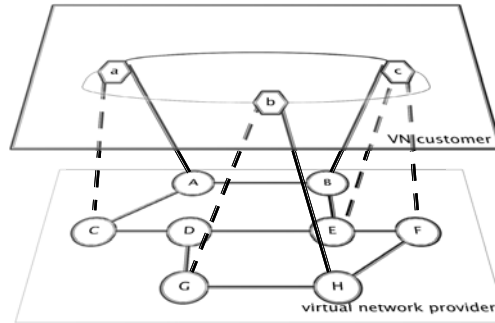
第七章 网络规划与优化

- 7.1 业务需求预测
- 7.2 接入网规划
- 7.3 无线网规划
- 7.4 骨干网规划
- 7.5 虚拟网规划

VNE 虚拟网络嵌入

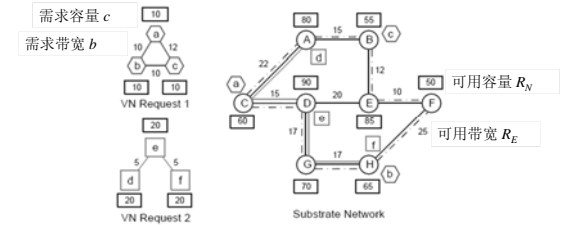
28

虚拟网与基础物理网的关系



29

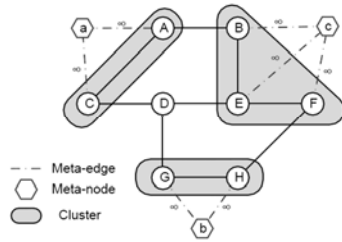
VNE示例



Mosharaf Chowdhury, Muntasir Raihan Rahman, Raouf Boutaba. ViNEYard: Virtual Network Embedding Algorithms With Coordinated Node and Link Mapping [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking (TON), 2012, 20(1): 206-219.

30

增广图解法



31

VNE-MIP问题模型

- f_{uv}^i : A flow variable denoting the total amount of flow from u to v on the substrate edge (u, v) for the i 'th virtual edge.
- x_{uv} : A binary variable, which has the value '1' if $\sum_i (f_{uv}^i + f_{vu}^i) > 0$; otherwise, it is set to '0'.

$$\begin{aligned} \text{minimize} \quad & \sum_{u,v \in E^S} \frac{\alpha_{uv}}{R_E(u, v) + \delta} \sum_i f_{uv}^i \quad \text{带宽占用成本} \\ & + \sum_{w \in N^S} \frac{\beta_w}{R_N(w) + \delta} \sum_{m \in N^{S'} \setminus N^S} x_{mw} c(m) \quad \text{节点占用成本} \end{aligned}$$

底层链路集 底层节点集 增广图节点集

32

约束条件

- Capacity Constraints:

$$\sum_i (f_{uv}^i + f_{vu}^i) \leq R_E(u, v), \forall u, v \in N^{S'}$$

带宽约束

$$R_N(w) \geq x_{mw} c(m), \forall m \in N^{S'} \setminus N^S, \forall w \in N^S$$

节点容量约束

- Flow Related Constraints:

$$\begin{aligned} \sum_{w \in N^{S'}} f_{uw}^i - \sum_{w \in N^{S'}} f_{wu}^i &= 0, \forall i, \forall u \in N^{S'} \setminus \{s_i, t_i\} \\ \sum_{w \in N^{S'}} f_{s_i w}^i - \sum_{w \in N^{S'}} f_{w s_i}^i &= b(e_i^V), \forall i \\ \sum_{w \in N^{S'}} f_{t_i w}^i - \sum_{w \in N^{S'}} f_{w t_i}^i &= -b(e_i^V), \forall i \end{aligned}$$

33

约束条件（续）

- Meta and Binary Constraints:

$$\sum_{w \in \Omega(m)} x_{mw} = 1, \forall m \in N^{S'} \setminus N^S$$

$$\sum_{m \in N^{S'} \setminus N^S} x_{mw} \leq 1, \forall w \in N^S$$

$$x_{uv} \leq R_E(u, v), \forall u, v \in N^{S'}$$

$$x_{uv} = x_{vu}, \forall u, v \in N^{S'}$$

- Domain Constraints:

$$f_{uv}^i \geq 0, \forall u, v \in N^{S'}$$

$$x_{uv} \in \{0, 1\}, \forall u, v \in N^{S'}$$

LP放松条件

$$\sum_{m \in N^{S'} \setminus N^S} x_{mw} \leq 1, \forall w \in N^{S'}$$

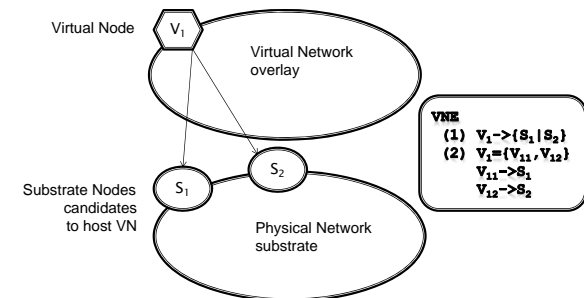
$$x_{uv} \geq 0, \forall u, v \in N^{S'}$$

$$[Prob] \quad 0 < x < 1$$

34

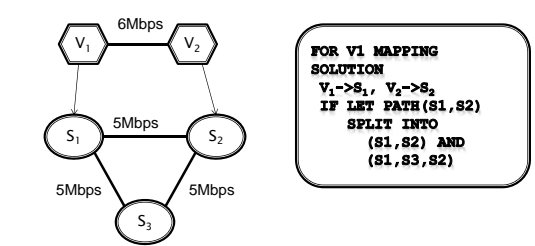
VN节点分割

Question



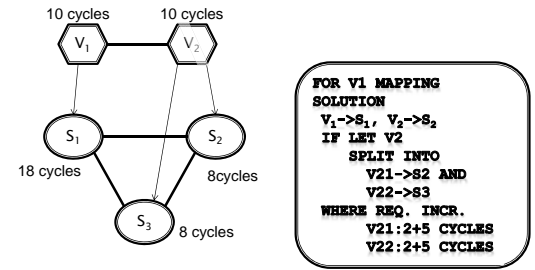
35

路径分割优点



37

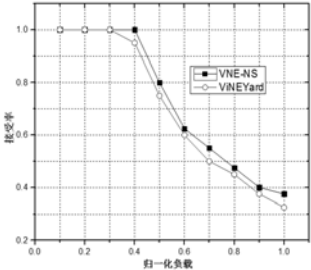
节点分割优点



38

对比计算结果

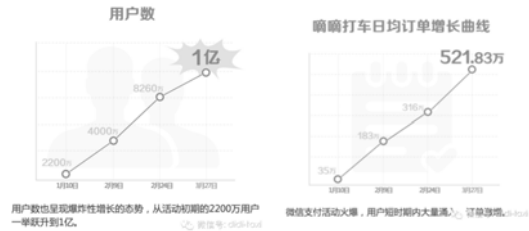
13节点NSFNET底层网络, 5节点VN网络



39

第七章 网络规划与优化

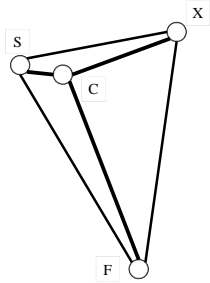
- 滴滴打车用户数预测
- <http://www.199it.com/archives/206362.html>



40

第七章 网络规划与优化

- 采用最优化方法,分析NUPT四校区骨干网络规划的问题模型。



41

第七章 网络规划与优化

- 参考以下文献,分析VNE-MIP整数变量放松后,计算结果的问题及其处理方法。

Mosharaf Chowdhury, Muntasir Raihan Rahman, Raouf Boutaba.
ViNEYard: Virtual Network Embedding Algorithms With Coordinated Node and Link Mapping [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2012, 20(1): 206-219.

42