

## 波动系数对网络结构的影响

吴晶晶<sup>1</sup>, 李金平<sup>1</sup>, 解文彬<sup>2</sup>

(1.北京联合大学 信息学院, 北京 100101;

2.北京市石景山区教育委员会 会计核算中心网络部, 北京 100043)

**摘要:** 根据五类非屏蔽双绞线和网络拓扑结构的特点, 结合图论与关系矩阵的相关知识, 提出了链路上界和波动系数的概念, 并对其进行了详细的分析。通过对波动系数的讨论, 给出了网络性能优劣判定的建议方法。

**关键词:** 结构化综合布线系统; 图论; 链路上界; 波动系数;

中图分类号: TP393.02

文献标识码: A

### The influence of motion coefficient on network structure

WU Jing Jing<sup>1</sup>, LI Jin Ping<sup>1</sup>, XIE Wen Bin<sup>2</sup>

(1.College of Information, Beijing Union University, Beijing 100101, China;

2.Network Department of Accounting Center, Education Committee of Beijing Shijingshan District, Beijing 100043, China)

**Abstract:** Based on the characteristics of unshielded twisted pair & network topology structure and graph theory and relation matrix, the paper puts forward the concept of link upper boundary and motion coefficient and analyzes them in detail. Through the discussion of motion coefficient, the paper proposes a method of estimating the network structure performance.

**Key words:** structured cabling systems(SCS); graph theory; upper boundary of link; motion coefficient

结构化综合布线系统是智能大厦建设中的一项新兴技术工程项目, 随着国际信息通信标准的完善、各种综合布线新产品的问世, 结构化综合布线系统也逐步完善而趋向成熟。以五类非屏蔽双绞线(UTP)为传输介质的 10BASE5、10BASE-T、100BASE-TX、100BASE-T4、100BASE-T2 以及 1000BASE-T 为标准的局域网(LAN)建设工程被广泛应用于实际综合布线工程的水平子系统中<sup>[1]</sup>。

在同类型 UTP 电缆的前提下, 诸多因素对电缆上的传输信号都会产生或多或少的影响, 特别是电缆的工作环境温度和长度更是对信号的延迟、衰耗和衰减串扰比等电气指标带来严重影响<sup>[2-3]</sup>。当电缆的工作环境温度增加以及缆线长度增长时, 电缆上的相关电气指标会迅速恶化<sup>[4]</sup>。同时, 所用 UTP 电缆的长度也直接决定了网络的造价。因此, 在其他相关条件很难改变的情况下, 选择适当的星型拓扑结构中心节点所在位置, 缩减 UTP

传输电缆布线长度, 将成为决定整个网络性价比优劣的关键。

#### 1 拓扑结构的数据采集

本文基于网络物理拓扑结构进行研究。如果把墙体上的网络节点抽象为顶点  $v_i$ , 节点间用于通信的 UTP 电缆抽象为无向边  $(v_i, v_j) (i \neq j)$ , 可以得到一个  $n$  阶无向完全图  $G = \langle V, E \rangle$ , 其中  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ ,  $E = \{(v_1, v_2), (v_1, v_3), \dots, (v_1, v_n), \dots, (v_{n-1}, v_n)\}$ 。

为了进行网络拓扑结构的优化, 对无向完全图  $G$  中的边分别赋予权值, 即用每条电缆的长度作为其对应边的权值, 从而得到一个  $n \times n$  的方阵  $M(G)$ 。

方阵  $M$  是一个对称矩阵, 在该方阵的主对角线上, 得到带权图  $G = \langle V, E \rangle$  中各顶点  $v_1, v_2, \dots, v_n$  权值为  $e_{11}, e_{22}, \dots, e_{nn}$ ; 各边  $(v_1, v_2), (v_1, v_3), \dots, (v_1, v_n), \dots, (v_{n-1}, v_n)$  的权值为  $e_{12}, e_{13}, \dots, e_{1n}, \dots, e_{n-1n}$ <sup>[5]</sup>, 其矩阵如下所示。

$$M(G) = \begin{bmatrix} e_{11} & e_{12} & e_{13} & \cdots & e_{1j} & \cdots & e_{1n} \\ e_{21} & e_{22} & e_{23} & \cdots & e_{2j} & \cdots & e_{2n} \\ e_{31} & e_{32} & e_{33} & \cdots & e_{3j} & \cdots & e_{3n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ e_{i1} & e_{i2} & e_{i3} & \cdots & e_{ij} & \cdots & e_{in} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ e_{n1} & e_{n2} & e_{n3} & \cdots & e_{nj} & \cdots & e_{nn} \end{bmatrix}$$

## 2 波动系数的引入

波动系数是对网络整体性能评估的重要参数之一,下面通过对链路上界概念的介绍,引入星型拓扑结构的波动系数概念。

### 2.1 基本公式

以第  $i$  个节点为星型拓扑结构的中央节点,连接  $n$  阶带权完全图  $G < V, E >$  中其余  $n-1$  个节点,其各边所有

权值的数学期望值<sup>[6]</sup>  $E_{V_i}(X) = \frac{1}{n-1} \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^n e_{ij}$ 。

将  $E_{V_i}(X)$  值与星型拓扑结构的中央  $i$  节点所对应的各边权值进行比较,当  $E_{V_i}(X) < e_{ij} (i \neq j)$  时,其方差:

$D_{V_i}(X) = \sum_{\substack{j=\lambda \\ i \neq j}}^k [e_{ij} - E_{V_i}(X)]^2$ , 其中  $k$  为  $E_{V_i}(X) < e_{ij} (i \neq j)$  时边的个数,  $\lambda \in N$ , 且  $1 \leq \lambda \leq n$ <sup>[7]</sup>。

中心节点为  $v_i$  的  $n$  阶带权无向完全图  $G < V, E >$  的子图  $G_{V_i} < V', E' >$ , 其中  $V' = V$  且  $E' \subset E$ , 即  $G_{V_i}$  为  $G$  的生成树。 $G_{V_i} < V', E' >$  要求中心节点  $v_i$  的  $d_G(v_i) = n-1$ , 而其他各点  $v_{j, j \neq i}$  的  $d_G(v_{j, j \neq i}) = 1$ 。

### 2.2 链路上界的引入

为了能够更好地理解链路上界问题,在这里首先引入延迟、延迟期望、延迟方差和网络延迟参考上界等概念。

传输延迟是信号从电缆一端传输到另一端所耗费的时间。电子是以近似恒定的速率运动,这样就可以将其与光速的比值定义为一个常数——额定传输速率  $NVP$  (Nominal Velocity of Propagation)。在 UTP 电缆上,信号的实际速率为光速的 60%~80%, 因此传输延迟时间可用公式表示为:

$$PD = \frac{2 \times L}{NVP \times C} \times 10^9$$

式中,  $PD$  为传输延迟时间 ( $\mu s$ );  $L$  为常温下 (20 °C) 介质长度 (m);  $NVP$  为额定传输速率, 以百分比表示,  $62\% \leq NVP \leq 72\%$ ;  $C$  为光在真空中的传播速度 (m/s),  $2 \times L$  为电信号在链路中往返 1 次的距离;  $NVP \times C = V$ , 它的值随着缆线的不同而稍有差别, 可从缆线生产厂公布的规格中获得。通过公式可以看出, 缆线的铺设长度越短,  $NVP$  越大时, 传输延迟时间相应越短<sup>[2-4]</sup>。

以第  $i$  个节点为星型拓扑结构的中央节点, 连接  $n$

阶带权完全图  $G < V, E >$  中其余  $n-1$  个节点, 令其各边所有权值的数学期望值  $E_{V_i}(X)$  为网络介质虚拟长度  $L$ , 即  $L = E_{V_i}(X)$  (单位为 m), 则传输延迟期望  $t_{PD}(v_i)$  可用公式表示为:

$$t_{PD}(v_i) = \frac{2 \times E_{V_i}(X)}{NVP \times C} \times 10^9$$

以第  $i$  个节点为星型拓扑结构的中央节点, 连接  $n$  阶带权完全图  $G < V, E >$  中其余  $n-1$  个节点, 令其各边所有权值的数学方差值  $D_{V_i}(X)$  为网络介质虚拟长度  $L$  的修正值  $\sqrt{D_{V_i}(X)}$  (单位为 m), 即  $\Delta L = \sqrt{D_{V_i}(X)}$ , 则传输延迟方差可用公式表示为:

$$\Delta t_{PD}(v_i) = \frac{2 \times \sqrt{D_{V_i}(X)}}{NVP \times C} \times 10^9$$

若把  $t_{PD}(v_i) + \Delta t_{PD}(v_i)$  称为网络延迟值 (估计值) 参考上界, 则一个星型拓扑结构的网络, 其网络延迟时间  $T_{PD}(v_i)$  将落在网络延迟值参考上界的下方, 即:

$$T_{PD}(v_i) \leq t_{PD}(v_i) + \Delta t_{PD}(v_i)$$

延迟实测值与估值上界对比图谱如图 1 所示, 其中实线代表实测值, 虚线代表估值。

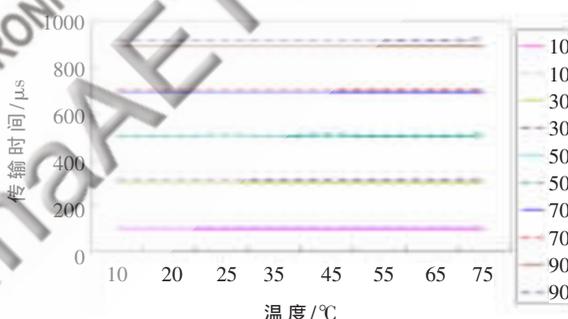


图 1 延迟实测值与估值上界对比图谱

网络延迟值上界时间可用公式<sup>[8]</sup>表示为:

$$T_{PD}(v_i) \leq \frac{2 \times (E_{V_i}(X) + \sqrt{D_{V_i}(X)})}{NVP \times C} \times 10^9 = \frac{2 \times \zeta_{V_i}}{NVP \times C} \times 10^9$$

式中,  $\zeta_{V_i} = E_{V_i}(X) + \sqrt{D_{V_i}(X)}$  称为生成树  $G_{V_i}$  关于  $V_i$  节点的链路上界。

令  $L_{V_i}^{\max}$  为生成树  $G_{V_i}$  关于  $V_i$  节点的最大链路长度, 即  $L_{V_i}^{\max} = \max(G_{V_i}(e_{ij})), i \neq j$ , 则,  $0 < \zeta_{V_i} \leq L_{V_i}^{\max}$ 。

### 2.3 波动系数

令  $\psi_{V_i}$  为生成树  $G_{V_i}$  关于  $V_i$  节点的波动系数,  $\psi_{V_i} = (1 - (E_{V_i}(X) / \zeta_{V_i}))$ ,  $0 \leq \psi_{V_i} < 1$ 。

通过对  $\lim \psi_{V_i} = \lim (1 - E_{V_i}(X) / \zeta_{V_i})$  是否趋近于 1 的判断, 来表明生成树  $G_{V_i}$  上以  $V_i$  节点为根节点的拓扑结构中  $E_{V_i}(X) < e_{ij}$  且  $i \neq j$  的链路长度的集中程度。当  $\lim \psi_{V_i}$  趋近于 1 时, 其  $E_{V_i}(X) / \zeta_{V_i}$  的背离程度越为明显; 在生成

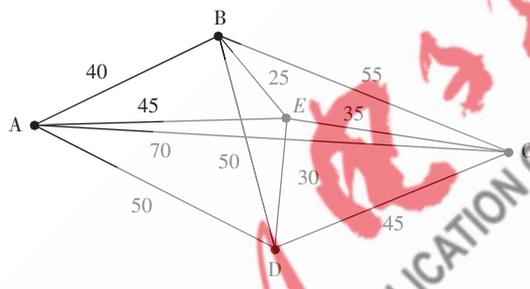
表 1  $G_{V_i}$  生成树数值比较表

节点	A(1)		B(2)		C(3)		D(4)		E(5)	
A(1)	AA(11)	0	BA(21)	40	CA(31)	70	DA(41)	50	EA(51)	45
B(2)	AB(12)	40	BB(22)	0	CB(32)	55	DB(42)	50	EB(52)	25
C(3)	AC(13)	70	BC(23)	55	CC(33)	0	DC(43)	45	EC(53)	35
D(4)	AD(14)	50	BD(24)	50	CD(34)	45	DD(44)	0	ED(54)	30
E(5)	AE(15)	45	BE(25)	25	CE(35)	35	DE(45)	30	EE(55)	0
$\psi_{V_i}=(1-E_{V_i}(X)/\zeta_{V_i})$	$\psi_A$	0.37	$\psi_B$	0.19	$\psi_C$	0.18	$\psi_D$	0.09	$\psi_E$	0.16

树  $G_{V_i}$  上的根节点  $V_i$ , 其所对应的  $E_{V_i}(X) < e_{ij}$  且  $i \neq j$  的链路长度的分散程度越高, 即  $V_i$  节点的波动性越大。因为  $E_{V_i}(X)/\zeta_{V_i} = E_{V_i}(X)/(E_{V_i}(X) + \sqrt{D_{V_i}(X)})$ , 且  $\sqrt{D_{V_i}(X)}/\zeta_{V_i} = \sqrt{D_{V_i}(X)}/(E_{V_i}(X) + \sqrt{D_{V_i}(X)})$ , 而  $(E_{V_i}(X)/\zeta_{V_i}) + (\sqrt{D_{V_i}(X)}/\zeta_{V_i}) = 1$ , 因此,  $\sqrt{D_{V_i}(X)}/\zeta_{V_i} = 1 - (E_{V_i}(X)/\zeta_{V_i})$ 。所以, 波动系数  $\psi_{V_i}$  也可以写为  $\psi_{V_i} = \sqrt{D_{V_i}(X)}/\zeta_{V_i}$ ,  $0 \leq \psi_{V_i} < 1$ 。

### 3 实例

假设 5 阶带权无向完全图  $G$ , 其上顶点 A、B、C、D、E 分别为 5 个网络节点, 图中各边的权值为网络节点间的链路长度, 如图 2 所示。

图 2 无向完全图  $G$ 

通过给出的各  $G_{V_i}$  生成树相关值及公式, 计算出  $\psi_{V_i}$  数值如表 1 所示。

通过表 1 可以看出, 在  $\psi_A, \psi_B, \psi_C, \psi_D, \psi_E$  中,  $\psi_D$  值最小, 所以当  $v_i$  为 D 节点时, 生成树  $G_{V_i}$  的波动系数为最优。

智能大厦的建设需要经过综合布线系统来实现。结合图论、关系矩阵的相关知识以及无向图的概念, 可以将网络拓扑结构视为图, 其相关数据可由关系矩阵来表示。通过对网络波动系数的讨论与比较, 可以得出综合布线系统中网络性能的优劣, 从而为有效分析网络性能找到了一条新的思路。

### 参考文献

- [1] COMER D E. Computer networks and internets [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2001: 12-33.
- [2] 尚晓航, 解文彬, 马颂阳. 介质长度对五类非屏蔽双绞线电气性能的影响[J]. 北京联合大学学报(自然科学版), 2006(3): 64-68.
- [3] 吴晶晶, 解文彬, 逯燕玲. 温度系数对五类非屏蔽双绞线的影响[J]. 国外电子测量技术, 2006(9): 41-44.
- [4] 逯燕玲, 解文彬, 高维路. 环境温度对五类非屏蔽双绞线电气性能的影响[J]. 第十一届全国青年通信学术会议论文集, 2006(7): 447-452.
- [5] 逯燕玲, 解文彬. 智能大厦综合布线系统中分层星型拓扑结构的优化[J]. 计算机科学, 2006(8): 79-81.
- [6] 逯燕玲, 解文彬, 马颂阳. 结构化综合布线系统中分层星型拓扑结构的进一步优化[J]. 北京联合大学学报(自然科学版), 2007(1): 20-23.
- [7] 逯燕玲, 解文彬. 基于网络脆弱性的综合布线系统中星型拓扑结构的优化[J]. 低压电气, 2007(7): 36-39.
- [8] 逯燕玲, 解文彬, 吴晶晶. 波动系数对星型拓扑结构的影响[J]. 计算机工程与科学, 2008(10): 116-117.

(收稿日期: 2009-01-22)