

# 中心辐射层次式拓扑极坐标算法<sup>①</sup>

李怀江, 康义民, 王 俊, 雷 蕾

(总后勤部指挥自动化工作站, 北京 100842)

**摘 要:** 针对网状、树状网络拓扑反映网络层次、通断状态和单屏展现不足的问题, 研究提出了一种基于极坐标算法绘制中心辐射层次式拓扑图形的实现方式, 实现了拓扑图形的自动分层显示和动态更新, 能够高效清晰地呈现网络设备连接关系, 研究成果已在多个单位得到了实践检验, 为强化网络管理与维护提供了重要手段.

**关键词:** 极坐标算法; 网络设备; 拓扑结构; 节点圆; 模型

## Polar Coordinate Algorithm About the Center of Radiation Hierarchical Topology Graph

LI Huai-Jiang, KANG Yi-Min, WANG Jun, LEI Lei

(Command Automation Workstation, General Logistic Department, PLA, Beijing 100842, China)

**Abstract:** This article aimed at the problem of insufficient in mesh and tree-like network topology reflects the level of the network, the on-off state of a single screen display, research based on polar coordinate algorithm for the center of radiation hierarchical topology graph realization method, realizes the automatic hierarchical topological graphics display and dynamic update, can achieve to describe a relation of the network equipment efficiently and clearly, the research results have been in multiple unit is a practice test, which provides important means for enhanced network management and maintenance.

**Key words:** polar coordinate algorithm; network equipment; topology structure; pitch circle; model

随着网络规模不断扩大, 复杂性不断增加, 了解掌握网络的拓扑结构对于发现网络瓶颈问题、优化网络资源、强化网络管理与维护起着极其关键的作用<sup>[1,2]</sup>. 当前, 市场网管产品拓扑多以网状、树状和星形结构出现, 这些展现方式能够反映网络联接关系, 但在层次关系、通断情况和单屏展现上不够直观、明显. 例如: 网状结构不能反映网络层次关系, 网系较大时, 整屏不能完整显示拓扑结构. 基于此, 结合工作简明、直观的实际需要, 提出一种基于关键主干网络设备层次式、中心辐射的拓扑布局, 并对实现的极坐标算法模型进行了设计推导和计算机实现.

本文在网络关键设备的获取上, 依然采用传统的基于 SNMP 和 ICMP 协议的发现方法<sup>[3-5]</sup>, 获取网络设备的存在性信息, 在绘制拓扑图形上运用极坐标算进行实现.

传统获取网络设备信息的步骤: 首先, 利用 SNMP

找到与网管所在子网直接相连接的子网以及和路由器直连的若干子网; 然后, 利用基于 ICMP 协议的网络设备发现原理, 采用 Ping 和 Trace Route 相结合的方法, 发现包含在这些子网中的主机; 如此反复, 即可获取一个网络关键设备信息<sup>[6-8]</sup>. 最后, 基于获取的这些信息, 利用极坐标算法绘制网络拓扑图.

## 1 拓扑模型

根据获取的网络设备信息, 我们通过对现有系统提供拓扑布局算法进行深入分析和理解, 同时进行了数学推导和计算机仿真, 实现了一个全新简洁清晰的拓扑布局展现方式, 并通过连线颜色变化反映关键网络设备通断状态.

### 1.1 节点模型

拓扑关系由节点及其之间的连线组成, 考虑到节

<sup>①</sup> 基金项目: 军队后勤科研项目(Z08-017)

收稿时间: 2012-11-15; 收到修改稿时间: 2012-12-19

点设备种类繁多, 需要用不同的图标来表示, 为屏蔽节点内部的复杂性和便于数学运算, 我们将节点抽象为一个圆, 称为节点圆.

节点圆内部由图标区和标签区两部分组成. 图标区用来显示节点图标类型和节点状态, 图标以不同的颜色表示该节点的通断状态. 标签区主要标记设备的名称. 图标区的中心点为节点圆的圆心, 能够包容下图标区和标签区的最小的同心圆的半径为节点圆的半径.

节点模型如图 1 所示:

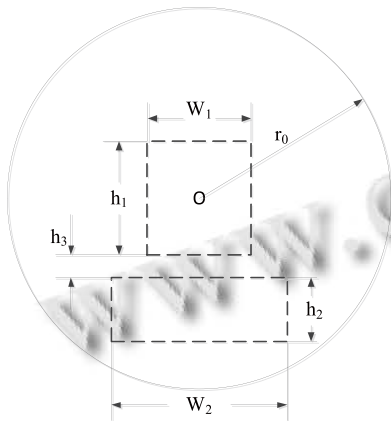


图 1 节点模型

图 1 中 O 为节点圆圆心,  $r_0$  为节点圆半径,  $h_1$  为图标区高度  $w_1$  为图标区宽度,  $h_2$  为标签区高度,  $w_2$  为标签区宽度,  $h_3$  为图标区与标签区之间的垂直距离.

图标区由  $h_1$  和  $w_1$  确定, 标签区由  $h_2$  和  $w_2$  确定, 节点圆半径为:

$$r_0 = \sqrt{(\sqrt{h_1^2/4 + h_3 + h_2} + \sqrt{w_2^2/4})} \text{ 且 } h_3 \geq 0$$

由  $h_1$ 、 $w_1$ 、 $h_2$ 、 $w_2$  和  $h_3$  确定  $r_0$  的取值范围.

### 1.2 拓扑模型

整个拓扑图以中心节点(相对而言)为原点, 呈中心辐射状分布. 节点在坐标中的位置可以用原点到节点圆圆心的距离、原点到节点圆圆心的连线与横坐标轴的夹角来表示. 如图中  $A_1$  的位置可由  $R_1$  和  $\alpha$  确定, 设中心点位置为  $(x_0, y_0)$ , 那么  $A_1$  的位置为  $(x_0 + R_1 * \cos(\alpha), y_0 + R_1 * \sin(\alpha))$ , 因此只要确定了节点的极径和极角, 就可以确定其位置. 中心节点的子节点称为一级节点, 一级节点的子节点称为二级节点, 为了保证一级节点和二级节点不重叠, 二级节点的极径至少比一级节点大一个节点圆的直径, 图 2 拓扑模型示意图中 O 为中心节点,  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$  为一级节点,  $A_{11}$ 、 $A_{12}$ 、 $A_{13}$  为二级节点, 依此类推.

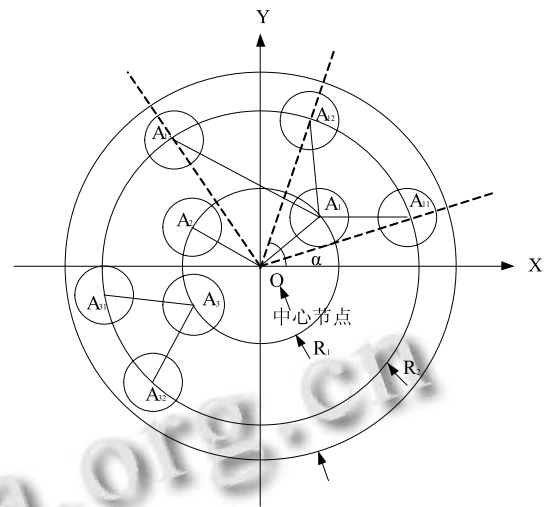


图 2 拓扑图模型

## 2 位置确定

### 2.1 核心计算思想

由于拓扑模型要求节点呈中心辐射状分布, 对于只有一层子节点的拓扑, 可通过平均分配法来获得每个子节点的极角, 然后再通过极径确定其位置. 对于多层节点的拓扑模型可通过此法确定第一层节点的位置, 第二层节点及之后的多层节点可通过如下方法进行确定. 假设有如下三层(L-2,L-1,L)的拓扑模型示意图如图 3 所示, 要确定 L-1 层节点  $P_i$  子节点  $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6$  在 L 层的位置:

- (1) 确定 L 层节点的极径;
- (2) 确定 L-1 层节点  $P_i$  子节点的有效角可分布角空间;
- (3) 确定 L-1 层节点  $P_i$  子节点的实际分布角空间;
- (4) 确定 L 层节点  $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6$  的极角;

极径的确定要满足层间节点不能够重叠的原则, 可通过  $R_L = R_{L-1} + 2 * r_0$  其中  $R_L, R_{L-1}$  分别为 L, L-1 层的半径,  $r_0$  为节点圆的半径来确定层的极径.

### 2.2 子节点最大可分布空间计算

L-1 层节点  $P_i$  子节点的最大可分布角空间需满足如下两个原则: 一是  $P_i$  与其子节点(L层)的连线不能与  $P_i$  节点的左( $P_{i+1}$ )、右( $P_{i-1}$ )相邻节点圆相交. 二是  $P_i$  与其子节点(L层)的连线不能与 L-2 层节点圆的外切圆相交.

因此在 L-1 层节点  $P_i$  子节点最大可分布角空间计算中, 节点  $P_i$  子节点最大可分布角空间为逆时针方向  $OQ_4$  和  $OQ_2$  的夹角. 我们称  $\angle XOQ_2$  为节点  $P_i$  子节点最

大可分布角,  $\angle XOQ_4$  为节点  $P_i$  子节点最小可分布角.

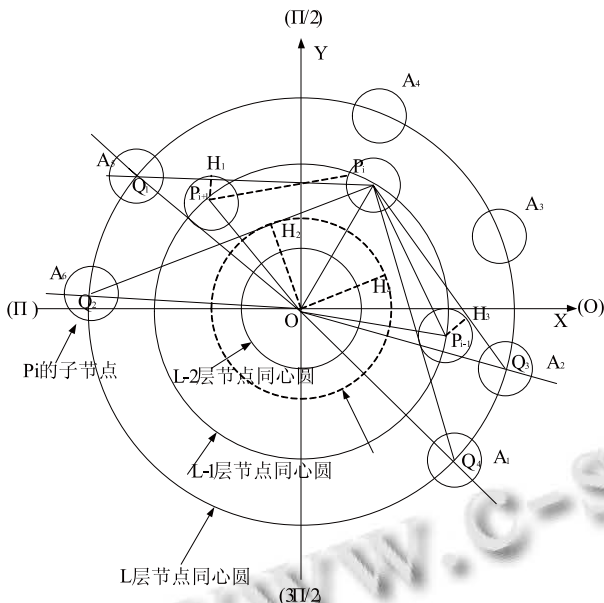


图 3 子节点位置

### 2.3 子节点最大最小有效角的计算

在  $L-1$  层节点  $P_i$  子节点最大可分布角空间计算中我们可确定节点  $P_i$  子节点的最大和最小有效角.

$\angle Q_1OX$  是从  $P_i$  引出的  $P_{i+1}$  节点圆的切线延长线与  $L$  层同心圆的交点到圆心的连线与  $X$  轴形成的角称  $P_i$  左邻点切线角.  $\angle Q_2OP_i$  从  $P_i$  引出的  $L-2$  层节点外切圆的左切线延长线与  $L$  层同心圆的交点连线与  $X$  轴形成的角称  $P_i$  左下层外切角. 判断  $\angle Q_1OX$  和  $\angle Q_2OP_i$  大小, 我们取小角为  $P_i$  子节点的最大有效角.

同理可得出  $P_i$  右邻点切线角和  $P_i$  右下层外切角, 比较两者的大小, 取大值作为出  $P_i$  子节点的最小有效角.

同法可求出  $P_{i-1}, P_i, P_{i+1}$  子节点的最大最小有效值. 图 4 即为子节点极角空间示意图.

如果  $L$  层有子节点的节点个数为 1, 那么该节点的子节点的实际角空间等于它的可有效分布角空间, 也等于它的最大可分布空间.

节点  $P_i$  与其相邻节点  $P_{i-1}, P_{i+1}$  子节点的有效角空间是可能重叠的. 所以, 在计算子节点实际角空间时, 不仅要考虑本节点子节点的有效角空间, 还要考虑其左右相邻节点子节点有效角空间.

### 2.4 实际角空间计算

$P_{i-1}, P_i, P_{i+1}$  子节点有两种分布方式, 逆时针分布和顺时针分布, 图 5 即为子节点子节点顺时针分布示

意图. 两种分布方式都满足中心辐射状, 为了使子节点分布合理, 还应满足最小子节点极径的原则. 最小子节点极径即节点到每一个子节点的距离都保持较小, 也即子节点尽可能分布在以极点为极心的某一极径的圆弧附近, 这一极径应该是最小的.

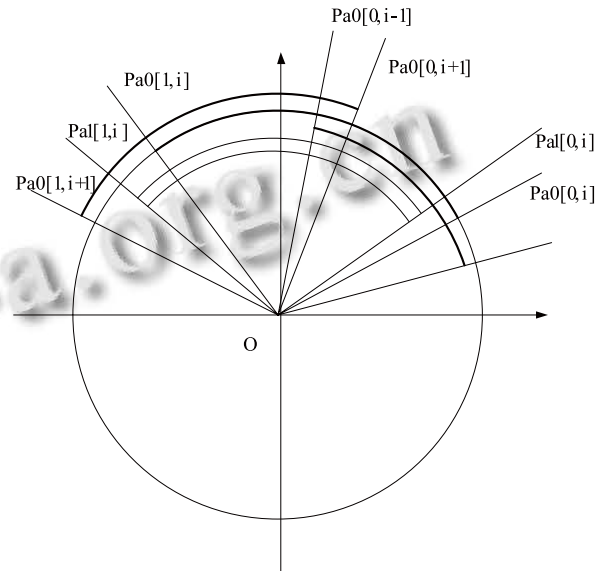


图 4 子节点最大最小有效角

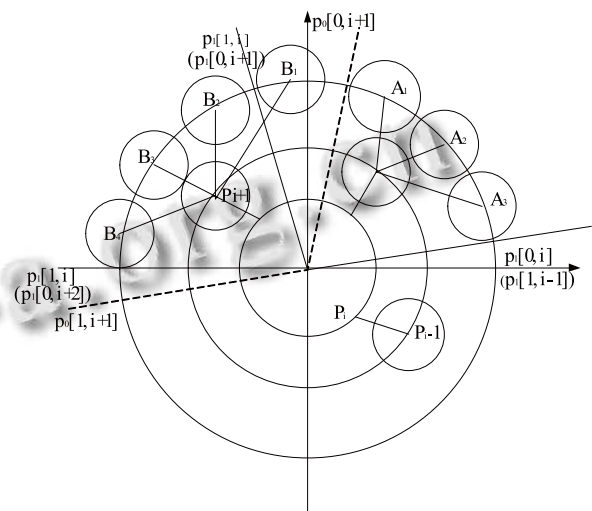


图 5 子节点顺时针分布

图 5 中, 节点  $P_i$  有三个子节点( $A_1, A_2, A_3$ ), 节点  $P_{i+1}$  有四个子节点( $B_1, B_2, B_3, B_4$ ), 节点  $P_{i-1}$  没有子节点. 按照子节点顺时针分布原则,  $A_3$  应在  $A_2$  的右边, 使  $B_1, B_2, B_3, B_4$  经过适当调整后可以使较均匀地处于其可分布角空间内, 有利于他们子节点角空间的分配, 从而有利于获得最小子节点极径.

为了保证子节点角空间不能重叠, 需要确定节点

子节点的实际角空间, 我们仍以  $P_i$  为例, 求  $Pa1[0,i]$ ,  $Pa1[1,i]$ 值.

假设:  $P_i, P_{i-1}, P_{i+1}$  的子节点个数分别为  $C_i, C_{i-1}, C_{i+1}$

如果  $Pa0[0, i] < Pa0[1,i-1]$  则

$$Pa1[0,i]=Pa0[0,i]+(Pa0[1,i-1]-Pa0[0,i]) * C_{i-1}/(C_i+C_{i-1})$$

否则

$$Pa1[0,i]=Pa0[0, i]$$

如果  $Pa0[1, i] > Pa0[0,i+1]$  则

$$Pa1[1,i]=Pa0[1,i]-(Pa0[1,i+1]-Pa0[1,i]) * C_{i+1}/(C_i+C_{i+1})$$

否则

$$Pa1[1, i]=Pa0[1, i]$$

同理可计算出  $P_{i-1}, P_i, P_{i+1}$  子节点实际角空间.

逆时针分布示意图和子节点顺时针分布示意图只是分配节点位置的一种现象, 在确定了  $P_{i-1}, P_i, P_{i+1}$  子节点的实际分布空间后, 同理可计算出  $P_{i-1}, P_{i+1}$  的再次分配的实际角空间.

### 2.5 左右空隙利用

经过上述两次角平均法后, 对于  $P_i$  节点来说它的子节点仍然可能与它的左右相邻节点子节点空间存在空隙, 对这部分空隙, 我们采用如下方法加以利用.

在确定了节点的子节点空间后, 按照子节点的个数平均计算出每个子节点的极角.

以  $P_i$  为例计算如下:

假设  $Pa[L,C_i]$ 表示  $L$  层  $P_i$  的  $C_i$  个子节点的极角

$$Pa[L,i]:=Pa1[L,i-1] + (Pa1[1, i] - Pa1[0, i])/C_i$$

计算出极角后就可以得出每个极点的位置, 如果层的半径取值不合理, 节点子间也可能发生重叠, 按照节点不能重叠的原则, 下层半径至少等于上层半径加上节点圆的直径的原则, 可按如下方法确定下层半径:

假设  $L$  层上有子节点的个数为  $k, C_i$  表示节点  $P_i$  的子节点个数, 那么  $L+1$  层的半径为:

$$r_{L+1}=r_L+2*r_0$$

如果  $r_0/\sin((Pa1[1,i]-Pa1[0, i])/C_i/2) > r[L+1]$  则

$$r[L+1]:=r_0/\sin((Pa1[1, i]-Pa1[0, i])/C_i/2)$$

确定了极角和极径之后, 就可以开始进行拓扑图的显示.

### 3 编程实现

在进行拓扑显示时, 我们要做到拓扑显示的层次

性、灵活性、动态性、易操作性和完备性. 层次性是指按网络的层次显示拓扑信息, 通过点击最外层的图标, 可以动态显示该图标的下一级拓扑; 灵活性是指可以有选择的显示特定的拓扑图及特定的拓扑信息; 动态性是指拓扑显示能够实时显示当前网络设备的运行状态, 如网络通断情况, 为网络管理提供依据; 易操作性是指网络管理员可以简单、直观地浏览和操作网络拓扑图; 完备性是指拓扑信息尽可能做到大而全, 并能根据特定用户的需求作相应的扩展.

基于上述的拓扑模型, 程序算法流程如图 6 所示:

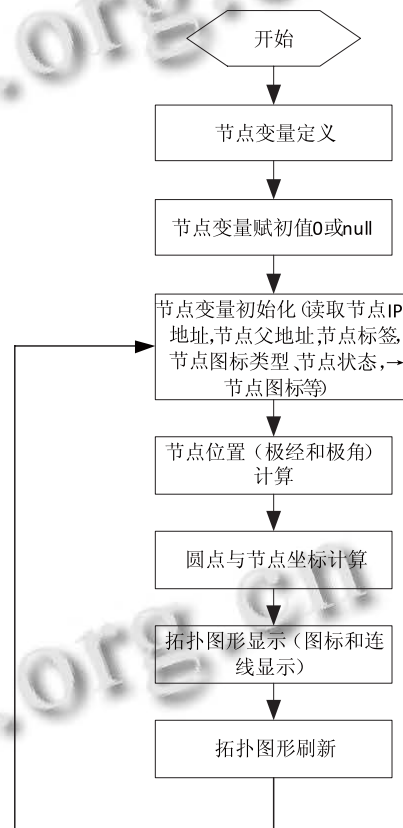


图 6 程序算法流程框图

结合上述拓扑模型和程序算法, 基于 SNMP 和 ICMP 协议网络拓扑发现方法, 获取网络设备信息, 采用基于通断判别的 ping 功能, 利用极坐标算法, 动态实现网络拓扑图形绘制. 核心实现的程序代码如下:

参数定义:

```

LEFT_BLANK,RIGHT_BLANK,TOP_BLANK,BOTTOM_BLANK:integer; {拓扑图页边距}
LABEL_FONT_NAME:string; {标签字体名称}
  
```

```

LABEL_FONT_SIZE:integer; {标签字体大小}
IMAGE_LABEL_BLANK:integer; {图标与标签
之间的距离}
MaxLayer,MaxLayerPoint:integer; {最大节点层
数、每层节点最大节点个数}
LABEL_WIDTH,LABEL_HEIGHT:integer; {标
签宽度、高度}
r0:integer; {节点圆半径}
p0:TPoint; {中心节点}
r:array of Real; {各层极径}
pa:array of array of Real; {节点极角}
PIP:array of array of string; {节点 IP 地址}
PPIP:array of array of string; {父节点 IP 地址}
PToken:array of array of string; {设备当前状态}
Cn:array of array of integer; {子节点数}
SumCn:array of integer; {各层子节点总数}
Pa0:array of array of Real; {子节点极角的最大、
最小有效值}
Pa1,Pa2:array of array of Real; {子节点极角的最
大、最小值}
ChildP:array of integer; {存在子节点的节点}
ChildPn: integer; {存在子节点的节点个数}
核心代码实现:
j:=0;
while PIP[L,j]<>" do
begin
//生成图标
MyImage:=TImage.Create(Self);
with MyImage do
begin
try
Parent:=NetDeviceForm;
if Pip[L,j+1]<>Pip[L,j] then
Name:='Image'+AlterStrChar(PIP[L,j],',','_');
Left:=P0.x+Round(r[L]*cos(Pa[L,j]))
-Round(IMAGE_WIDTH/2);
Top:=P0.y-Round(r[L]*sin(Pa[L,j]))
-Round(IMAGE_HEIGHT/2);
Width:=IMAGE_WIDTH;
Height:=IMAGE_HEIGHT;
if PICON[L,j]>" then

```

```

begin
Picture.LoadFromFile(myfun.curpath+'\Icons\'
+PICON[L,j]);
end;
except
end;
end;
//生成标签
MyLabel:=TLabel.Create(Self);
with MyLabel do
begin
try
Parent:=NetDeviceForm;
if Pip[L,j+1]<>Pip[L,j] then
Name:='Label'+AlterStrChar(PIP[L,j],',','_');
Font.Name:=LABEL_FONT_NAME;
Font.Size:=LABEL_FONT_SIZE;
if PLABEL[L,j]<>" then
Caption:=PLABEL[L,j]
else
begin
if PICON[L,j]=" then
Caption:=""
else
Caption:=AlterStrChar(Copy(Name,6,
Length(Name)-5),',','_');
end;
Left:=P0.x+Round(r[L]*cos(Pa[L,j]))
-Round(Width/2);
Top:=P0.y-Round(r[L]*sin(Pa[L,j]))
+Round(IMAGE_HEIGHT/2)
+IMAGE_LABEL_BLANK;
Color:=clWhite;
except
end
end;
j:=j+1;
end;
L:=L+1;
end;

```

程序实现结果, 如图 7 所示:



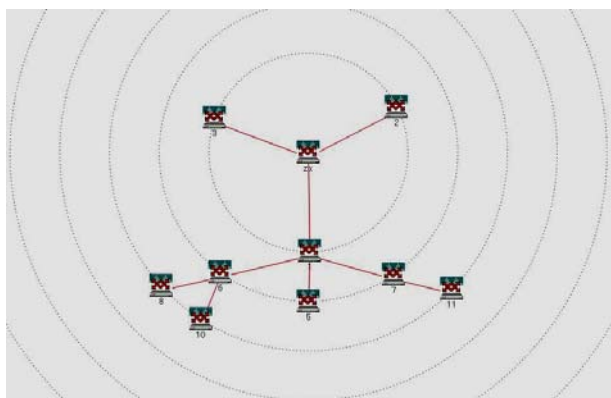


图 7 网络拓扑图

#### 4 结论

本文采用基于 SNMP 和 ICMP 协议的网络设备发现方法, 运用 Delphi 编程工具和极坐标算法模型实现中心辐射层次式网络拓扑的绘图效果, 实现了网络关键设备工作状态的实时动态显示、关键设备故障报警等功能, 为网络故障快速排除提供了重要的手段, 提高了网络运行的可靠性。

(上接第 47 页)

储、处理, 并根据测试结果分析出被测路段 GSM-R 电磁环境中受到明显干扰的站点及频段, 并能在测试结束时进行回放, 以 excel 和位图形式输出测试结果, 便于测试人员形成报告, 提供给相关部门, 作为清频的重要依据。这对相关人员维护高速铁路沿线的电波秩序、科学规划和利用无线电频谱资源有着极其重要的作用, 也为进一步的 GSM-R 网络优化提供了依据。

#### 参考文献

- 1 刘卓,刘宏志,林木.物联网在 GSM-R 电磁环境测试中的应用研究.计算机测量与控制,2012,20(8):2034-2038.
- 2 薄璐,刘宏志,董春生,等.GSM-R 场强数据的实时采集处理与远程监控研究.现代电子技术,2010(23):161-164.
- 3 李航,刘宏志.基于 ESPI 的 GSM-R 场强数据采集系统的设计与实现.北京工商大学学报(自然科学版),2009,27(3):51-55.

#### 参考文献

- 1 彭建,朱萍,傅明.一种基于 SNMP 协议的网络拓扑发现改进算法.计算机科学与工程,2009,(4):18-20.
- 2 段祺,靖朝鹏,蔡皖东,赵涛.一种基于数据聚合的网络拓扑推测算法.计算机仿真,2011,(1):131-135.
- 3 王志刚,王汝传,王绍棣,等.网络拓扑发现算法的研究.通信学报,2004,25(8):36-43.
- 4 Breitbart Y, Garofalakis M, Martin C. Topology Discovery in Heterogeneous IP Networks. Proc of IEEE INFOCOM00. 2000: 265-274.
- 5 万成威.一种快速的链路状态估计算法.信息工程大学学报,2011,(4):414-417.
- 6 乔宏,张大方,曾彬,等.基于改进 Double Tree 算法的网络拓扑发现方法.计算机工程与科学,2010,32(4):18-21.
- 7 粟倩,刘媛.远程网络拓扑扫描算法的研究.网络安全技术与应用,2008,(9):86-88.
- 8 杨柳,李振宇,张大方,等.冗余最小化的 Ipv6 拓扑发现方法.计算机研究与发展,2007,44(6):939-946.

- 4 Liu HZ, Bo L. Research on The Visualization of GSM-R Field Strength Testing Data. 2010 the 3rd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology (IEEE ICCSIT 2010). 2010: 595-600.
- 5 刘宏志,林木,马家志.车载式 GSM-R 场强测试系统的研究.微计算机信息(测控自动化),2007,15:115-117.
- 6 李高升,胡昆明,蔡震,刘培国.基于测量数据的电磁环境分析软件开发.无线电工程,2012,42(3):51-64.
- 7 基于 Truetime 的 GSM-R 场强测试系统网络性能研究.计算机测量与控制,2012,20(6):1613-1618.
- 8 林京平等.电磁兼容国家标准汇编.北京:中国标准出版社,1996.
- 9 中华人民共和国铁道部.铁路 GSM-R 数字移动通信工程设计暂行规定,2005.
- 10 高晨亮,朱刚,钟章队,等.GSM-R 电磁干扰及测试问题研究.铁道通信信号,2007,43(10):50-55.