

通信系统网络抗震易损性计算方法研究

李诗尧, 毛晨曦

(中国地震局工程力学研究所中国地震局地震工程与工程振动重点实验室, 哈尔滨 150080)

【摘要】 通信系统作为城市生命线系统的重要组成部分, 在地震作用下能否保持良好的功能状态十分重要, 目前针对这方面的研究还比较少。计算机图论技术是一种简单而系统的建模方法, 可以用于很多问题, 结合计算机图论算法中的深度优先搜索算法和最小路集不交化算法, 可以提出一种算法用于通信系统地震作用下的功能状态的评估。

【关键词】 通信系统; 深度优先搜索; 最小路集不交化; 功能状态

【中图分类号】 TU352.1

【文献标识码】 B

【文章编号】 1001-6864(2016)10-0029-03

通信系统是城市生命线系统工程的重要组成部分, 其地震作用下的功能状态的评估, 对一个城市的通信系统在面对地震时的应对能力十分必要。通信系统由于其自身随城市状况、环境、规划情况等因素影响而造成的差异性极大, 导致各地的通信系统可能会有很大不同, 因而找到一个行之有效的评估方法, 使其能够适应大多数情况十分重要。研究通过对大量中英文文献的阅读, 对国内外相关方面的研究进行了一定了解, 提出了一个依托于深度优先搜索和最小路集不交化等图论算法而设计出的一个通信系统功能状态的评估方法, 从而对城市的通信系统功能状态进行评估。

【基金项目】 国家十二五科技支撑计划项目(2015BAK17B00)

只探测器, 这样假如将一个房间内的探测器和一个走道内的探测器进行逻辑组合, 两个探测器均报警的时候, 火势已经达到猛烈燃烧阶段, 就失去了自动消防设施及早发现火灾、及时扑救火灾的主要功能。因此, 在逻辑设定上, 采用两个独立的火灾探测器应该是同一区域内的任意两个独立报警触发装置发出报警信号后, 联动的自动消防设施即自动启动。

应该注意的是, 在一个建筑物内不能采取某个区域采用两个独立探测器, 而另一个区域采用一个探测器和一只手动报警按钮的混乱组合关系, 这样极不利于自动消防设施的维护管理, 也不利于发生火灾时及时启动消防设备。手动报警按钮是为建筑内人员发现火灾后报警时使用, 其设置是按照防火分区分布设置。但是在发生火灾时, 各个防火分区都可能会有人触发手动报警按钮来报警。同时, 发现火情的人出于自身安全的考虑, 往往选择在起火的防火分区以外的其他安全区域内触发手动报警按钮发出报警信号。因此, 当采用一只探测器与一只手动报警按钮的报警

1 图论算法简介

图论算法是信息学的一个重要内容, 它可以为许多问题提供一种简单而系统的建模方式, 从而运用图论的基本算法进行解决。

1.1 深度优先搜索算法

深度优先搜索算法属图算法的一种, 英文缩写为DFS(Depth First Search)。其过程简要来说是对每一个可能的分支路径深入到不能再深入为止, 且每个节点只能访问一次, 每次深度优先搜索的结果必然是图的一个连通分量。该算法主要用于对实际通信系统网络进行抽象化处理, 从而使其能进行接下来的计算。

深度优先搜索遍历图的方法是, 从图中某顶点 v

信号“与”逻辑组合时, 应该是整个建筑物内任意一只手动报警按钮与任意一只探测器的逻辑组合。

3 结语

GB50116-2013《火灾自动报警系统设计规范》中“需要火灾自动报警系统联动控制的消防设备, 其联动触发信号应采用两个独立的报警触发装置报警信号的‘与’逻辑组合”, 应该是同一区域内的任意两个独立报警触发装置或整个建筑物内任意一只手动报警按钮与任意一只探测器发出报警信号后, 联动的自动消防设施即自动启动。

参考文献

[1] GB50116-2013, 火灾自动报警系统设计规范[S].

【收稿日期】 2016-06-27

【作者简介】 刘宇峥(1975-), 女, 哈尔滨人, 工程师, 从事消防产品监督管理工作。

出发: ①访问顶点 v ; ②依次从 v 的未被访问的邻接点出发, 对图进行深度优先遍历; 直至图中和 v 有路径想通的顶点都被访问; ③若此时图中尚有顶点未被访问, 则从一个未被访问的顶点出发, 重新进行深度优先遍历, 直到图中所有顶点均被访问过为止。对于 pascal 语言来讲, 它支持递归, 在递归时可以自动实现回溯(利用局部变量), 所以使用递归编写深度优先搜索程序相对简单, 其程序基本框架如下:

```

• dfs( 状态)
- if 状态是目标状态 then
• do something
- else
• for 每个新状态
- if 新状态合法
≥ dfs( 新状态)
• 主程序:
• dfs( 初始状态)

```

1.2 最小路集不变化

首先介绍路集的概念, 在网络图中, 从节点 v_1 出发, 经过一串弧序列可以到达节点 v_2 , 则称这个弧序列为从 v_1 到 v_2 的一个路集或者一条路。如果一个路集中所有弧和节点对应的单元都正常时, 系统就能正常工作, 运用到通信系统中, 也即是通信系统功能状态正常, 可以完成要求的信息传递工作。如果在一条路集的弧序列中, 任意除去其中一条弧后, 它就不能再是一条路集, 则称该路集为最小路集。最小路集可以表示一种可以使系统正常工作的最少单元的集合, 即每个单元都是必不可少的, 减少其中任意一个单元, 系统就不能正常工作了, 对应于通信系统, 及时关键位置的信息传递单位, 如基站、塔架等出现问题, 则整条信息传递链就不能正常工作, 从而通信系统的整体功能状态也必然受到影响。

在系统的可靠性计算中, 要得到某一系统的可靠性, 往往先求出系统的最小路集, 然后由最小路集求解系统的可靠工作概率。

设已经求得系统最小路集 A_1, A_2, \dots, A_n , 则系统的工作函数为:

$$S = A_1 + A_2 + \dots + A_n \quad (1)$$

对(1)式两边求概率为:

$$P(S) = \sum_{i=1}^n p(A_i) - \sum_{1 < i < j < n} p(A_i A_j A_k) + \sum_{1 < i < j < k < n} p(A_i A_j A_k A_l) - \dots + (-1)^{n-1} p(A_1 A_2 \dots A_n) \quad (2)$$

当 n 较大时, 这样计算系统工作概率, 其过程十分复杂。为了提高计算效率, 需要设法将所有最小路集化为两两互不相容的最小路集: B_1, B_2, \dots, B_n , 并使其具有如下的关系:

$$B_i \cap B_j = \Phi (i \neq j) \quad (3)$$

$$\bigcup_{i=1}^m B_i = \bigcup_{i=1}^n A_i = S \quad (4)$$

此时则有:

$$P(S) = p(B_1) + p(B_2) + \dots + p(B_m) = \sum_{i=1}^m p(B_i) \quad (5)$$

比较式(5)和式(2)可以发现, 式(5)的计算量大减少。因此最小路集的不变化是计算系统可靠度的主要手段。

3 通信系统地震作用下功能状态评估算法

主要依靠上述的两种图论算法, 结合通信系统的实际情况, 提出了一个可以用于计算的通信系统地震作用下的功能状态评估算法。

3.1 算法简介

首先, 对需要研究的地区的通信系统进行调研, 取得该地区通信基站、通信建筑、通信塔架等通信设备的建筑信息和位置信息, 同时对各通信设备的抗震易损性进行评估, 得到数值化信息, 这些信息将作为通信系统功能状态评估的基础。

其次, 使用深度优先搜索方法对通信系统网络进行抽象化处理, 在处理过程中, 通信建筑、通信基站等视为顶点, 通信塔架视为弧, 根据通信系统信息的传递情况建立起通信网络, 并用该网络对易损性信息进行记录。

最后, 运用最小路集不变化算法对通信系统网络抗震可靠度进行计算, 从而得到数值化结果, 用结果对通信系统整体功能状态进行评估。

3.2 实例简析

假设一个简单的通信系统如图1所示。

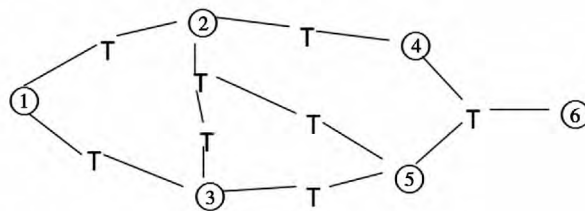


图1 通信系统简化模型

对图1中的通信系统网络运用深度优先搜索进行抽象化, 得到的通信系统网络如图2所示。

设图2所示通信系统网络为 N , 其顶点集为 $V = \{(1), (2), (3), (4), (5), (6)\}$, 弧集为 $E = \{[1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9]\}$, 其中 $[3], [7]$ 为无相弧, 其他弧向见图。已知 V 中各顶点的抗震可靠度依次为 0.99, 0.95, 0.90, 0.90, 0.85, 0.95, E 中各弧的抗震可靠度依次是 0.95, 0.95, 0.80, 0.90, 0.90, 0.90, 0.80, 0.90, 0.95, 不考虑单元失效相关性,

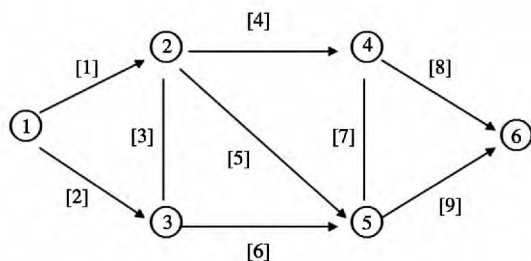


图2 抽象化的通信系统网络

现求解该网络的联通可靠度。

首先求解与 N 同构的弧权网络最小路集 结果如下:

- A1: [9]*[6]*[2]
 A2: [9]*[5]*[1]
 A3: [8]*[4]*[1]
 A4: [9]*[5]*[3]*[2]
 A5: [8]*[7]*[5]*[1]
 A6: [8]*[4]*[3]*[2]
 A7: [8]*[7]*[6]*[2]
 A8: [9]*[7]*[4]*[1]
 A9: [9]*[6]*[3]*[1]
 A10: [9]*[7]*[4]*[3]*[2]
 A11: [8]*[7]*[6]*[3]*[1]
 A12: [8]*[7]*[5]*[3]*[2]

其中 符号“*”表示交运算符;

然后求解 N 的最小路集 结果如下:

- A1: (6)*[9]*(5)*[6]*(3)*[2]*(1)
 A2: (6)*[9]*(5)*[5]*(2)*[1]*(1)
 A3: (6)*[8]*(4)*[4]*(2)*[1]*(1)
 A4: (6)*[9]*(5)*[5]*(2)*[3]*(3)*[2]*(1)
 A5: (6)*[8]*(4)*[7]*(5)*[5]*(2)*[1]*(1)
 A6: (6)*[8]*(4)*[4]*(2)*[3]*(3)*[2]*(1)
 A7: (6)*[8]*(4)*[7]*(5)*[6]*(3)*[2]*(1)
 A8: (6)*[9]*(5)*[7]*(4)*[4]*(2)*[1]*(1)
 A9: (6)*[9]*(5)*[6]*(3)*[3]*(2)*[1]*(1)
 A10: (6)*[9]*(5)*[7]*(4)*[4]*(2)*[3]*(3)*[2]*(1)
 A11: (6)*[8]*(4)*[7]*(5)*[6]*(3)*[3]*(2)*[1]*(1)
 A12: (6)*[8]*(4)*[7]*(5)*[5]*(2)*[3]*(3)*[2]*(1)

求解 N 的不交最小路

- Adis1: A1
 Adis2: A2* (-3)
 Adis3: A2* [-2]* (3)
 Adis4: A2* [-6]* [2]* (3)

- Adis5: A3* (-5)
 Adis6: A3* [-9]* (5)
 Adis7: A3* [-3]* [-5]* [9]* (5)
 Adis8: A3* [-2]* [3]* [-5]* [9]* (5)
 Adis9: A3* [-6]* [2]* (3)* [-5]* [9]* (5)
 Adis10: A4* [-1]* [-6]
 Adis11: A5* [-4]* [-9]
 Adis12: A6* [-1]* (-5)
 Adis13: A6* [-1]* [-9]* (-5)
 Adis14: A6* [-5]* [-1]* [-6]* [9]* (5)
 Adis15: A7* (-2)* [-9]
 Adis16: A7* [-3]* (2)* [-1]* [-9]
 Adis17: A7* [3]* [-4]* (2)* [-1]* [-9]
 Adis18: A7* [-5]* [-4]* (2)* [1]* [-9]
 Adis19: A8* (-3)* [-5]* [-8]
 Adis20: A8* (3)* [-2]* [-5]* [-8]
 Adis21: A8* (3)* [2]* [-6]* [-5]* [-8]
 Adis22: A9* [-5]* [-2]* (-4)
 Adis23: A9* [-7]* [-5]* [-2]* [-8]* (4)
 Adis24: A9* [-5]* [-2]* [-4]* [8]* (4)
 Adis25: A9* [7]* [-4]* [-5]* [-2]* [-8]* (4)
 Adis26: A10* [-1]* [-8]* [-5]* [-6]
 Adis27: A11* [-9]* [-2]* [-5]* [-4]
 Adis28: A12* [-6]* [-4]* [-1]* [-9]
 可得 N 的连通可靠度为 0.8690。

4 结语

使用文中所述方法,可以对通信系统在地震作用下的网络可靠度进行评估,本方法基于理论分析得出,目的在于给进行相关研究的人员提供一种思路。

参考文献

- [1] 曹晋华 程佩. 可靠性数学引论[M]. 北京: 科学出版社, 1986.
 [2] 王东炜, 李桂清, 等. 关于生命线网络与网络可靠性模型间差异性研究[J]. 世界地震工程, 1993, (3): 11-13.
 [3] 李桂清, 霍达, 等. 城市建筑网络系统抗震可靠性分析[M]. 北京: 地震出版社, 1993.
 [4] 刘锡荃, 王海燕. 网络模糊随机分析-原理、方法与程序[M]. 北京: 电子工业出版社, 1991.

[收稿日期] 2016-09-19

[作者简介] 李诗尧(1992-), 男, 山西运城人, 硕士研究生, 研究方向: 通信系统抗震易损性。