 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v6i8.7013

Research on the Matrix Algorithm for Leakage Localization in Water Supply Pipe Networks Based on IoT Technology

Yang Xiason

Weifang Institute of Technology, Weifang, Shandong, China 261000

Abstract

The current water supply network still faces issues of high costs and insufficient accuracy in leakage management, particularly in locating leakage points. Based on this, a fault matrix for the water supply network is constructed using its topological structure. The matrix algorithm is then optimized and validated in conjunction with sensor monitoring data transmitted wirelessly. When a fault occurs in the water supply network, the first step is to accurately determine the fault location in real time before repairing the affected section, quickly isolating the fault point. Common inspection methods for water supply networks in China include manual inspection and acoustic amplification. The acoustic amplification method is effective only during nighttime when the environment is quiet, but it cannot accurately or promptly detect pipeline leaks, leading to increased losses from pipeline leakage. The results indicate that when abnormal data is detected, the matrix-based localization algorithm can precisely alert to leakage points, improving the accuracy of leakage detection.

Keywords

Water supply pipeline network, leakage localization, matrix algorithm, remote monitoring

基于物联网技术的供水管网漏损定位矩阵算法的研究

杨霞松

潍坊理工学院，中国 · 山东 潍坊 261000

摘　要

当前的供水管网在漏损管理方面，尤其是漏损点定位还存在投入大且精度不够的问题。基于此，通过供水管网拓扑结构构建管网故障矩阵，利用矩阵算法配合无线传输的传感器监测数据进行优化验证，在供水管网出现故障后，首先要做的工作是，在维修故障区段的供水之前，要对故障位置进行实时准确的确定，迅速将故障点隔离开来。我国常见的供水管网巡视方法是人工巡检法和听声放大法。听音放大法必须在夜间静默时效果明显，但也不能准确、迅速地发现管线泄漏，及时采取相应的措施，增加了管道泄漏造成的损失。结果表明：当出现异常数据时，矩阵定位算法可以精确对漏损点进行报警，提高了漏损检测精确度。

关键词

供水管网、漏损定位、矩阵算法、远程监控

1 引言

水是我们生活中不可缺少的能源，随着人们生活水平的日渐提高，供水可靠性要求越来越高，越来越多的研究者也开始重视供水管网的自动化工作。进入 21 世纪以来，供水管道存在管道阀门逐年老化，铺设越来越复杂，管理水平不能同步提升，全国各地供水管道爆管的事故屡屡发生。[1] 因此，本文提出的定位矩阵算法在供水管道故障区段中，将节省人力物力的供水管线自动化程度完全体现出来。从单向无旁支供水管道入手，引入网络关联描述矩阵 D，由 DTU 统一编号的一种无线远程水表，然后将原矩阵 D 按照 DTU 检测到的故障信息， 在发生漏损故障时，对原矩阵进行数学处理，从而形成故障区间判定矩阵。

【基金项目】潍坊市科技发展计划《基于NB-Iot的供水监测系统应用研究》（项目编号：2023GX078）

【作者简介】杨霞松（1989-），女，中国山东聊城人，硕士，副教授，从事智能技术与自动化装置研究。

2 矩阵算法的基本原理

网络描述矩阵 D 首先需要根据供水管道网络的拓扑结构来构造。 每个控制箱内的 DTU 按照每个管道每天或某一时段的供水总量进行分析。[2] DTU 会监测到某一楼层的用水量是否符合常归值，当管道发生泄漏事故或其他原因泄露时。此时 无线传感器会采集该节点在这一时间段水流的最大值及其出现的瞬间并向供水控制中心报告组态系统，正式由这样的信号来生成一个矩阵 G作为对应的故障信息矩阵，通过网络描述矩阵 D 和故障信息矩阵 G 进行数学运算，最

终得到一个矩阵 P 作为故障点定位矩阵。然后根据 矩阵 P 可以对故障区段作出相对准确的判断和隔离。[3]

2.1 网络描述矩阵

将供水管道上的采集器和 DTU 统一编号为节点 1、2，直到 N。然后构建一个 N×N 的矩阵 D。如果第 i 个节点与第 j 个节点之间有一条供水管道，则在第 i 行第 j 列的元素 Dij 和 Dji 都设置为 1，并且将这两个节点称为相邻节点。否则，将供水管道节点对应的元素设置为 0，从而形成网络描述矩阵 D[3]。体现供水管线拓扑结构。如图 1 所示的单向供水管线网示意图。

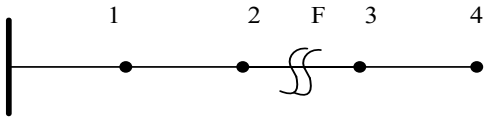

图 1 简易供水管线网示意图

其描述矩阵 D 为

$$D=\begin{bmatrix}0&1&0&0\\1&0&1&0\\0&1&0&1\\0&0&1&0\end{bmatrix} \quad (1.1)$$

假设图 1 中点 F 为故障点，由图可知，此处检测到的用水总量，当所示点位发生渗漏时，必然显著高于正常值，故障信息会在节点 1、2 处被检测到，而在节点 3、4 处则为正常水流量，没有故障信息。

2.2 故障信息矩阵

故障信息矩阵 G 在供水管网拓扑结构中也是以漏损事故发生时，根据相应节点收集的故障信息构建的 N×N 方阵。确定供水管网故障信息矩阵的方法是：如果故障信息矩阵中第 i 行第 i 列的元素在第 i 个节点中被检测到，则在第 i 行第 i 列中的元素在 0；反之，第 i 行第 i 列的元素设 1，其余位置的元素在失效信息矩阵中均设 0。即在对角矩阵 G 的对角线上显示故障信息。

图 1 所显示的相应管网故障信息矩阵为：

$$G=\mathrm{diag}[0\quad 0\quad 1\quad 1] \quad (1.2)$$

2.3 故障判断矩阵

给水管网网络描述矩阵 D 与检测到的问题信息矩阵 G 运算后得到矩阵 P'，在满足一定条件后进行整形，得到故障定位矩阵 P，即：

$$P=g(D\cdot G)=g(P') \quad (1.3)$$

式中，$g(\bullet)$代表对矩阵进行整形运算

$$P'=\begin{bmatrix}0&0&0&0\\0&0&1&0\\0&0&0&1\\0&0&1&0\end{bmatrix} \quad (1.4)$$

矩阵整形的条件是：如果网络描述矩阵 D 中的第 m 行第 j 列的元素 D_{mj}、第 n 行第 j 列的元素 D_{nj}、……，第 k 行第 j 列的元素 D_{kj} 为 1，同时故障信息矩阵 G 中对应的第 j 行，第 j 列 G_{jj}=1 点，对 P' 中 J 行和 P' 中 J 列的元素进行整形。如果第 m 行第 m 列 G_{mm}，第 n 行第 n 列 G_{nn}，……，第 k 行第 k 列 G_{kk} 中至少有 2 个为 0，则结果矩阵中的 J 列所有元素和 J 行所有元素都变成 0.. 若不满足上述条件，则保持中的所有元素值，得到 P=P'[4]。

根据图 1 中的网络，若第 2 行第 3 列的 D_{23} 和第 4 行第 3 列 D_{43}= 均为 1，且第 3 行第 3 列的 G33 也为 1，那么预处理矩阵中的第三行和第三列，而 G_{22}=0，$G_{44}\neq 0$，因此 P=P'。

$$P=P'=\begin{bmatrix}0&0&0&0\\0&0&1&0\\0&0&0&1\\0&0&1&0\end{bmatrix} \quad (1.5)$$

确定故障所在区段方法：若第 i 行第 j 列的 p_{ij} 与第 j 行第 i 列 p_{ji} 至少有一个为 1，那么给水管道上第 i 节点第 j 节点之间的管道区段有发生漏损事故的可能，结合这两个节点阀门检测的水流量与日常水流量的差值，及早检查第 i 节点与第 j 节点之间的管道运行情况，看有无漏损，并及时修复。从上面的规律可以知道

$$P_{12}XORP_{21}=P_{34}XORP_{43}=0$$

$$P_{23}XORP_{32}=1$$

在 2、3 节点处发生故障，这是很容易判断的。

2.4 更复杂的供水网络

在考察较为复杂的给水管网的同时，为了使方法更有说服力，如图 2 所示，在不失一般性故意打乱序号的情况下，对给水管网的网络进行了考察。

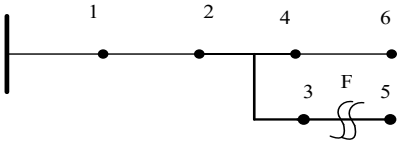

图 2 一个较复杂的供水网络

图 2 所显示的网络描述矩阵 D 为拓扑结构。：

$$D=\begin{bmatrix}0&1&0&0&0&0\\1&0&1&1&0&0\\0&1&0&1&1&0\\0&1&1&0&0&1\\0&0&1&0&0&0\\0&0&0&1&0&0\end{bmatrix} \quad (1.6)$$

假设 F 点出现渗漏，则对应的故障矩阵为：

$$G=\begin{bmatrix}0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0\\0&0&0&1&0&0\\0&0&0&0&1&0\\0&0&0&0&0&1\end{bmatrix} \quad (1.7)$$

$$P' = D*G = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (1.8)$$

由于第 4 列中第 2 行，第 3 行和第 7 行的数据均为 1，$D_{24}=D_{34}=D_{74}=1$，$G_{44}=1$ 且 $G_{22}=G_{33}=0$，所以要将矩阵中第 4 行与第 4 列元素标准化，将这些元素全部置于 0，就可以得到判断矩阵 P 的故障。为，可求出故障判断矩阵：P

$$P = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (1.9)$$

$P_{35}XORP_{53}=1$, 由上式可知，故在结点 3 与结点 5 之间出现漏损点。

3 矩阵定位算法基于 MATLAB 的仿真

网络描述矩阵式是根据供水管道铺设情况和采集器位置的拓扑结构建立的，随着供水管网的铺设完成，网络描述矩阵也是基本完成，而供水管网漏损是不确定的，在任意位置，在任意时刻都有可能会发生。因此当漏损位置发生变化时，故障信息矩阵也会发生相应的变化，因为供水管网铺设完成的网络描述矩阵式是固定的。故障判断矩阵也会随着模糊状态的不同而确定，具体的 MATLAB 程序如图 3 所示：根据不同时刻的报警状态，故障信息矩阵会随之发生变化，同时进行更新的还有网络描述矩阵和故障信息矩阵。详细介绍入下：

```
%供水管网矩阵定位算法
D=[0 1 0 0;1 0 1 0;0 1 0 1;0 0 1 0]                    % 输入网络描述矩阵
for i=1:1:4                                  % 根据报警状态输入故障信息矩阵
        G(i,i)=input('输入G(i,i)的状态值,')
end
        P=D*G                                          %计算故障判断矩阵
      ............
      if   j==1
        disp('节点1与节点2之间有漏损')
      end
      if   j==2
        disp('节点2与节点3之间有漏损')
      end
      if   j==3
        disp('节点3与节点4之间有漏损')
      end                                              %确定漏损位置
```

图 3. 部分程序截图

准确的漏点位置只需要在运行该程序时输入故障信息矩阵，根据报警信息即可得到，如图 4 所示程序运行截图。

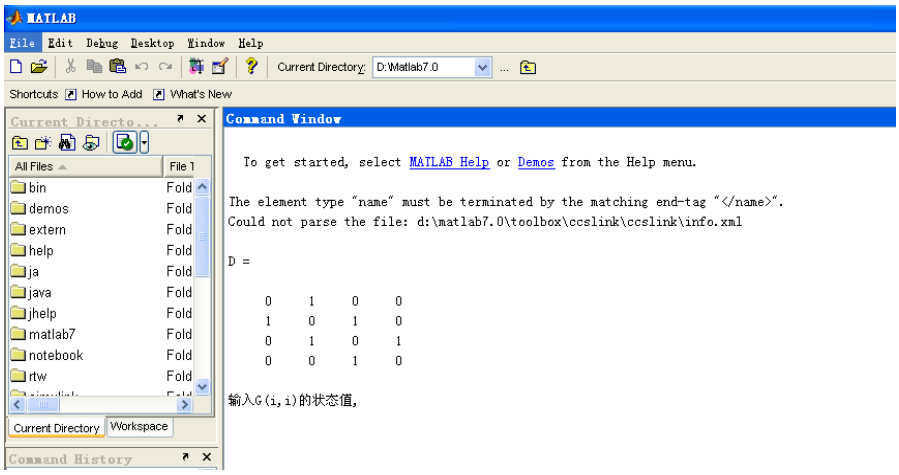

图 4 部分程序的运行

由于各个单位或学校的地理环境各异，不同的建筑物有不同的供水管网拓扑结构，建筑岳复杂，供水管网越复杂，导致网络矩阵的计算量通常较大。在进行漏损定位时，采用 MATLAB 编程语言进行设计，可以大大简化工作流程。供水管网一旦铺设完成，那么布局基本保持不变，因此其矩阵形式也不会发生太大的变化。针对同一个单位的同一个系统，只需编写一个总的程序即可快速定位漏损位置，从而提升工作效率，减少资源浪费。

参考文献

[1] 吴文红，崔玉莹，刘宁.基于布谷鸟算法的管网漏损定位模型[J].中国给排水，2022.6（38）:38-40.

[2] 唐述宏，季涛，宋红梅.基于GPRS技术的配电线路故障自动定位系统[J].电力自动化设备2006（08）：59-62.

[3] 谭洪卫.高校校园建筑节能监管体系建设[J].建设科技,2010(2):15-19.

[4] 杨霞松.高等学校供水节能监测系统的开发[D].山东.山东科技大学.2014.