

滑坡多点监测数据综合信息的提取方法

郭科¹, 彭继兵¹, 许强²

(1. 成都理工大学信息管理学院 成都 610059; 2. 成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家专业实验室 成都 610059)

【摘要】讨论了集中式和有无反馈的分布式结构的融合算法, 提出了应用多传感器目标跟踪融合技术来处理滑坡预报中多点监测问题, 解决了传统滑坡预报中只能利用一个关键监测点进行预报的不足。通过实例仿真, 表明该方法具有有效性和可行性。

关键词 多传感器目标跟踪; 监测数据; 综合信息提取; 信息融合

中图分类号 P642.22 文献标识码 A

Extraction of Comprehensive Information of Multi-Station Monitoring Data of Landslide

GUO Ke¹, PENG Ji-bing¹, XU Qiang²

(1. College of Information, Chengdu University of Technology Chengdu 610059;

2. National Laboratory of Geological Hazard Prevention and Geological Environment Protection, Chengdu University of Technology Chengdu 610059)

Abstract The technique of multisensor target tracking is posed to use to deal with the multi-station monitoring data of landslide for the first time in the article. It solves the defect that only one key monitoring data of the monitoring station instead of the others can be used to the traditional prediction model in the landslide. An example simulation illustrates the effectiveness and feasibility of the method given in application.

Key words multisensor target tracking; monitoring data; extracting of imprehensive information; information fusion

为了全面掌握各个部位的变形状况, 在滑坡监测时往往会在滑坡体上布置多个监测点, 自然就会得到多组描述坡体演化过程的时间序列。但在目前所提出的滑坡预测预报模型中, 一般只能依据某一个监测点的监测数据(即一维时间序列)进行滑坡的预测预报。为此, 在滑坡预报时, 就要人为地从多个监测点中筛选某一个能代表斜坡变形状态的关键监测点的数据进行预报。这样, 一方面监测点的选择和确定, 需要开展大量的基础研究; 同时, 所选的关键监测点能否真正就具有代表性还很难说。为此, 本文提出了采用多传感器目标跟踪融合技术实现滑坡多点监测数据的综合信息的提取。

由于目前的滑坡预测预报模型主要选择位移作为预报参数, 因此本文主要研究滑坡中多个监测点的位移监测信息的融合方法。如果将滑坡视为一个机动目标, 则对滑坡的监测就变成了对机动目标的跟踪, 而对滑坡多个监测点的位移信息进行融合就可利用多传感器机动目标跟踪技术。

收稿日期: 2004-08-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40172096)、霍英东高校青年教师基金资助项目(91020)、高等学校博士点学科专项基金资助项目(20040616005)

作者简介: 郭科(1958-), 男, 博士, 教授, 主要从事数学地质方面的研究。

1 目标跟踪

由于滑坡是单一目标,且每个采样时刻各个监测点只得到唯一的滑坡位移值,因此无须采用多目标跟踪技术和对位移监测数据进行关联。又由于只考虑每个监测点的位移因素(不考虑其他如降雨量、声发射等因素),且滑坡各个监测点的位移值在时间上都能转换成统一的同步时间^[1],因此本文可采用同类传感器同步数据的信息融合,在下面的讨论中,都假定所考虑的滑坡有 N 个监测点,即 N 个传感器。

2 目标模型

若将滑坡的变形视为机动目标的运动,则其运动的数学模型可用下列差分方程来描述:

$$\begin{cases} x(k+1) = x(k) + T \frac{dx(k)}{dt} + \frac{a(k)T^2}{2} \\ \frac{dx(k+1)}{dt} = \frac{dx(k)}{dt} + Ta(k) \end{cases} \quad (1)$$

式中 $x(k)$ 和 $\frac{dx(k)}{dt}$ 分别表示滑坡在 k 时刻的位置和速度, $a(k)$ 表示滑坡在 k 时刻到 $k+1$ 时刻由于降雨、人为等外界因素引起的加速度,它考虑了滑坡地质本身和外界环境扰动所造成的不可预测行为。可设 $a(k)$ 是服从零均值、方差为 σ_a^2 的正态分布的平稳随机序列,且 $a(k)$ 和 $a(l)$ ($l \neq k$) 互不相关,即 $E\{a(k)\} = 0$ 、 $E\{a(k)a(l)\} = \sigma_a^2 \delta(k-l)$, 其中, $\delta(k-l) = \begin{cases} 1, k=l \\ 0, k \neq l \end{cases}$ 。

由以上分析可建立滑坡在变形阶段的状态模型和观测模型分别为:

$$\mathbf{X}(k+1) = \mathbf{F}\mathbf{X}(k) + \mathbf{G}W(k) \quad (2)$$

$$Z_1(k) = \mathbf{H}_1\mathbf{X}(k) + V_1(k) \quad (3)$$

式中 $\mathbf{X}(k) = \begin{bmatrix} x(k) \\ \frac{dx(k)}{dt} \end{bmatrix}$, $\mathbf{F} = \begin{bmatrix} 1 & T \\ 0 & T \end{bmatrix}$, $\mathbf{G} = \begin{bmatrix} T^2/2 \\ T \end{bmatrix}$, $W(k) = a(k)$, $Z(k)$ 为滑坡变形的形变量, $\mathbf{H}_1 = [1 \ 0]$,

$V_1(k)$ 为零均值、方差为 σ^2 的高斯白噪声序列,且与 $W(k)$ 不相关。

3 集中式多传感器信息融合的状态估计

考虑多传感器信息融合系统中有 N 个传感器对同一目标进行观测,则全局观测方程为:

$$\mathbf{Z}(k) = \mathbf{H}(k)\mathbf{X}(k) + \mathbf{V}(k) \quad (4)$$

式中 $\mathbf{Z}(k) = [Z_1^T(k), Z_2^T(k), \dots, Z_N^T(k)]^T$, $\mathbf{H}(k) = [\mathbf{H}_1^T(k), \mathbf{H}_2^T(k), \dots, \mathbf{H}_N^T(k)]^T$, $\mathbf{V}(k) = [V_1^T(k), V_2^T(k), \dots, V_N^T(k)]^T$ 。集中式多传感器综合跟踪系统中所有的传感器数据都直接传送到融合中心来形成统一的系统航迹,将离散Kalman滤波算法应用于模型,可得全局最优估计,具体算法为:

$$\hat{\mathbf{X}}(k+1|k+1) = \hat{\mathbf{X}}(k+1|k) + \sum_{i=1}^N \mathbf{K}_i(k+1)[Z_i(k+1) - \mathbf{H}_i(k+1)\hat{\mathbf{X}}_i(k+1|k)] \quad (5)$$

$$\mathbf{P}^{-1}(k+1|k+1) = \mathbf{P}^{-1}(k+1|k) + \sum_{i=1}^N [\mathbf{H}_i'(k+1)\mathbf{R}_i^{-1}(k+1)\mathbf{H}_i(k+1)] \quad (6)$$

$$\hat{\mathbf{X}}(k+1|k) = \mathbf{F}(k)\hat{\mathbf{X}}(k|k) \quad (7)$$

$$\mathbf{P}(k+1|k) = \mathbf{F}(k)\mathbf{P}(k|k)\mathbf{F}'(k) + \mathbf{G}(k)\mathbf{Q}(k)\mathbf{G}'(k) \quad (8)$$

$$\mathbf{K}_i(k+1) = \mathbf{P}(k+1)\mathbf{H}_i'(k+1)\mathbf{R}_i^{-1}(k+1) \quad (9)$$

4 分布式多传感器信息融合的状态估计

分布式信息融合(即航迹合成)是对各传感器单独产生的航迹再一次进行的滤波合成,它的基础是航迹相关^[2]。由于各个传感器(监测点)在单位采样时间内取值都是唯一的且反映了坡体的真实位移,因此各传感器

产生的航迹是相关的。设有 N 个传感器，它们的最优估计为 $\{\hat{\mathbf{X}}_1(k+1|k+1), \hat{\mathbf{X}}_2(k+1|k+1), \dots, \hat{\mathbf{X}}_N(k+1|k+1)\}$ ，相应的估计误差协方差阵为 $\{\mathbf{P}_1(k+1|k+1), \mathbf{P}_2(k+1|k+1), \dots, \mathbf{P}_N(k+1|k+1)\}$ 。根据有无反馈信息结构，分别进行讨论。

4.1 无反馈信息的分布式航迹融合

$$\hat{\mathbf{X}}(k+1|k+1) = \mathbf{P}(k+1|k+1)\{\mathbf{P}^{-1}(k+1|k)\hat{\mathbf{X}}(k+1|k) + \sum_{i=1}^N [\mathbf{P}_i^{-1}(k+1|k+1)\hat{\mathbf{X}}_i(k+1|k+1) - \mathbf{P}_i^{-1}(k+1|k)\hat{\mathbf{X}}_i(k+1|k)]\} \quad (10)$$

$$\hat{\mathbf{X}}(k+1|k) = \mathbf{F}(k)\hat{\mathbf{X}}(k|k) \quad (11)$$

$$\mathbf{P}^{-1}(k+1|k+1) = \mathbf{P}^{-1}(k+1|k) + \sum_{i=1}^N [\mathbf{P}_i^{-1}(k+1|k+1) - \mathbf{P}_i^{-1}(k+1|k)] \quad (12)$$

$$\mathbf{P}(k+1|k) = \mathbf{F}(k)\mathbf{P}(k|k)\mathbf{F}'(k) + \mathbf{G}(k)\mathbf{Q}(k)\mathbf{G}'(k) \quad (13)$$

4.2 有反馈信息的分布式航迹融合

$$\hat{\mathbf{X}}_i(k+1|k+1) = \hat{\mathbf{X}}(k+1|k) + \bar{\mathbf{K}}_i(k+1)[Z_i(k+1) - \mathbf{H}_i\hat{\mathbf{X}}(k+1|k)] \quad (14)$$

$$\bar{\mathbf{K}}_i(k+1) = \bar{\mathbf{P}}_i(k+1|k+1)\mathbf{H}_i'(k+1)\mathbf{R}_i^{-1}(k+1) \quad (15)$$

$$\bar{\mathbf{P}}_i^{-1}(k+1|k+1) = \bar{\mathbf{P}}_i^{-1}(k+1|k) + \mathbf{H}_i'(k+1)\mathbf{R}_i^{-1}(k+1)\mathbf{H}_i(k+1) \quad (16)$$

$$\hat{\mathbf{X}}(k+1|k) = \mathbf{F}(k)\hat{\mathbf{X}}(k|k) \quad (17)$$

$$\bar{\mathbf{P}}_i(k+1|k) = \mathbf{F}(k)\mathbf{P}(k|k)\mathbf{F}'(k) + \mathbf{G}(k)\mathbf{Q}(k)\mathbf{G}'(k) \quad (18)$$

$$\hat{\mathbf{X}}(k+1|k+1) = \hat{\mathbf{X}}(k+1|k) + \mathbf{P}(k+1|k) \sum_{i=1}^N \bar{\mathbf{P}}_i^{-1}(k+1|k+1)[\hat{\mathbf{X}}_i(k+1|k+1) - \hat{\mathbf{X}}(k+1|k)] \quad (19)$$

$$\mathbf{P}^{-1}(k+1|k+1) = \sum_{i=1}^N \bar{\mathbf{P}}_i^{-1}(k+1|k+1) - (N-1)\mathbf{P}^{-1}(k+1|k) \quad (20)$$

5 实例仿真

下面是某正在变形的滑坡体多个监测点的位移监测值与采用各种多传感器跟踪方法得到的融合结果如表1所示。图1为集中式的多传感器目标跟踪融合结果。图2和图3分别是采用集中式、分布式无反馈和分布式有反馈多传感器目标跟踪融合得到的结果。图2和图3验证了文献[3]的结果：在两层分布式多传感器航迹融合中，有无反馈信息其融合中心的航迹融合解都是等价和最优的。

表1 各监测点的位移监测值与各融合

时间/年	监测点1的 位移监测值	监测点2的 位移监测值	监测点3的 位移监测值	监测点4的 位移监测值	集中式结构 的融合值	分布式无反 馈的融合值	分布式有反 馈的融合值
1990	15	1	6	2	6.000	6.000	6.000
1991	49	16	10	3	18.827	19.500	19.500
1992	52	20	18	5	23.998	25.014	25.014
1993	66	20	23	6	28.835	29.109	29.109
1994	70	20	28	6	31.295	31.355	31.355
1995	96	24	28	12	39.394	39.099	39.099
1996	106	33	28	12	44.935	44.974	44.974
1997	108	33	28	12	45.831	46.087	46.087
1998	117	86	28	12	59.375	58.849	58.849
1999	127	97	52	23	74.324	74.120	74.120
2000	132	100	52	23	77.993	78.538	78.538
2001	139	100	52	23	79.044	79.311	79.311
2002	139	100	52	23	78.760	78.804	78.804

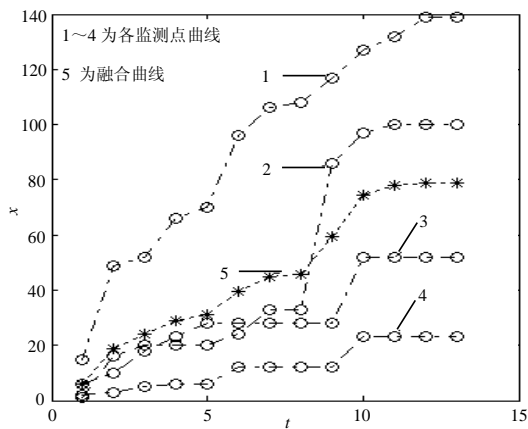


图1 集中式的多传感器目标跟踪融合结果图

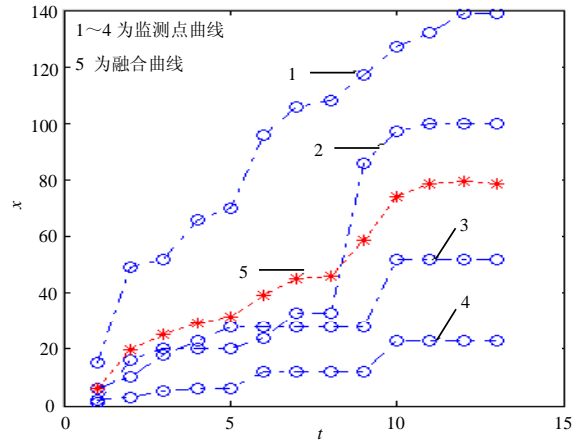


图2 分布式无反馈的多传感器目标跟踪融合结果图

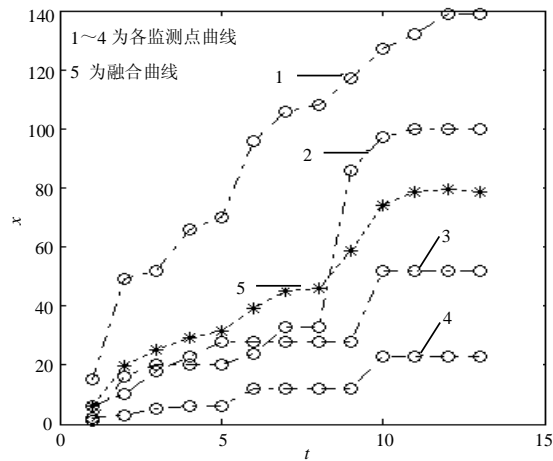


图3 分布式有反馈的多传感器目标跟踪融合结果图

6 结束语

为了充分利用滑坡各个监测点的监测信息,提高滑坡预测预报的精度,本文将滑坡监测视为机动目标的跟踪,利用多传感器目标跟踪融合技术来处理滑坡位移监测信息,讨论了集中式和有无反馈的分布式结构的融合算法。从实例仿真结果图1~3中可以看出,融合后的位移曲线反映了滑坡位移的整体趋势,反映了将信息融合技术应用于滑坡监测数据综合信息的提取从理论上是可行的。由于目前本文还未从有关文献中找到同时公布了多个监测点的监测数据的滑坡体实例,不能进行滑坡预报的实例检验和验证。诚望广大读者能够提供这方面的监测实例资料。

参 考 文 献

- [1] 李天斌, 陈明东, 王兰生, 等. 滑坡实时跟踪预报[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1999
- [2] 康耀红. 数据融合理论与应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1997
- [3] 何友, 王国宏. 多传感器信息融合及应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2000

编辑 刘文珍