

文章编号: 1000-7598-(2006) 03-0479-03

滑坡多点数据融合中的多传感器 目标跟踪技术应用

郭 科¹, 彭继兵¹, 许 强², 袁 勇¹

(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: 目前的滑坡预报模型只能利用一个关键监测点的监测数据, 而不能同时利用多个监测点的监测信息。为了克服选取关键监测点的人为性以及充分利用滑坡多个监测点的信息, 针对滑坡具有机动的特性, 提出了利用多传感器目标跟踪融合技术来处理滑坡多个点的监测数据的方法, 分析了其可行性, 并用实例说明了提出的方法在实际应用中是有效的。

关 键 词: 信息提取; 监测数据; 信息融合; 多传感器目标跟踪

中图分类号: P 642.22

文献标识码: A

Application of multi-sensor target tracking to multi-station monitoring data fusion in landslide

GUO Ke¹, PENG Ji-bing¹, XU Qiang², YUAN Yong¹

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

2.National Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: Only one key monitoring data of the monitoring station instead of the others can be used to the prediction model at the same time in the landslide at present. In order to overcome the human factor and make full use of the monitoring information of the multi-stations, the technique of multi-sensor target tracking is proposed to use to deal with the multi-station monitoring data of landslide in view that landslide has mobility in this article. The feasibility is also analyzed. Finally, an example simulation is given in order to illustrate the effectiveness of the method in application.

Key words: extracting of information; monitoring data; information fusion; multi-sensor target tracking

1 引 言

为了全面掌握滑坡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, 自然会得到多组关于坡体演化过程的信息。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位移监测数据进行预报。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位移数据进行预报。为了克服这种人为性和不确定性, 本文针对滑坡变形经历缓慢、匀速、加速和急剧加速变形过程中的机动特性, 采用多传感器目标跟踪融合技术实现滑坡多点综合位移信息的提取。

多传感器目标跟踪融合技术是由 Willner 等人提出的集中式多传感器 Kalman 滤波算法^[1], 是信息融合理论中的关键技术, 而文献[2~5]则进一步研究了分布式多传感器系统中的航迹融合问题。从结构上可分为 3 大类: 集中式、分布式和混合式^[6]。考虑到滑坡位移监测数据量不大和集中式结构的信息损失小, 因此, 本文只考虑集中式结构融合^[7, 8]。

2 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、

收稿日期: 2004-07-15

修改稿收到日期: 2004-12-08

基金项目: 国家自然科学基金(No.40172096)、高等学校博士学科点专项科研基金(No.20040616005)及霍英东高校青年教师基金(No.91020)联合资助。

作者简介: 郭科, 男, 1958 年生, 博士, 教授, 硕士生导师, 主要从事数学地质方面的研究。E-mail: Guoke@cdu.edu.cn

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(具体方法可见文献[9]),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。

3 目标模型

根据滑坡的机动特性,其运动模型可表示为

$$\left. \begin{aligned} x(k+1) &= x(k) + T\dot{x}(k) + \frac{1}{2}a(k)T^2 \\ \dot{x}(k+1) &= \dot{x}(k) + Ta(k) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中 $x(k)$ 和 $\dot{x}(k)$ 分别为滑坡在 k 时刻的位置和速度; T 为采样时间间隔; $a(k)$ 为滑坡在 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, $\sigma(\cdot)$ 为克罗内克函数,即当 $k=0$ 时, $\delta(k)=1$; 当 $k \neq 0$ 时, $\delta(k)=0$ 。

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如下:

$$X(k+1) = FX(k) + GW(k) \quad (2)$$

$$Z(k) = HX(k) + V(k) \quad (3)$$

$$\text{式中 } X(k) = \begin{bmatrix} x(k) \\ \dot{x}(k) \end{bmatrix}; \quad F = \begin{bmatrix} 1 & T \\ 0 & T \end{bmatrix}; \quad G = \begin{bmatrix} T^2/2 \\ T \end{bmatrix};$$

$W(k)=a(k)$; $Z(k)$ 为滑坡变形的形变量; $H=[1 \ 0]$; $V(k)$ 为零均值、方差为 σ^2 的高斯白噪声序列,且与 $W(k)$ 不相关。

4 集中式多传感器信息融合的状态估计

假设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

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

$$\text{式中 } Z(k) = [Z_1^T(k), Z_2^T(k), \dots, Z_N^T(k)]^T;$$

$$H(k) = [H_1^T(k), H_2^T(k), \dots, H_N^T(k)]^T;$$

$$V(k) = [V_1^T(k), V_2^T(k), \dots, V_N^T(k)]^T。$$

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:

$$\hat{X}(k+1|k+1) = \hat{X}(k+1|k) + \sum_{i=1}^N K_i(k+1)[Z_i(k+1) - H_i(k+1)\hat{X}(k+1|k)] \quad (5)$$

$$P^{-1}(k+1|k+1) = P^{-1}(k+1|k) + \sum_{i=1}^N [H_i^T(k+1)R_i^{-1}(k+1)H_i(k+1)] \quad (6)$$

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

$$P(k+1|k) = F(k)P(k|k)F^T(k) + G(k)Q(k)G^T(k) \quad (8)$$

$$K_i(k+1) = P(k+1)H_i^T(k+1)R_i^{-1}(k+1) \quad (9)$$

5 实例仿真

表 1 是正在变形的某滑坡体多个监测点的位移监测值与采用集中式多传感器跟踪方法得到的融合结果,图 1 是采用集中式多传感器目标跟踪融合得到的结果。

表 1 各监测点的位移监测值与集中式结构融合值(单位: mm)
Table 1 The displacement values of the respective monitoring station and the fusion value of the centralized method(unit: mm)

位移监测值	时间 / 年												
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
监测点 1	15	49	52	66	70	96	106	108	117	127	132	139	139
监测点 2	1	16	20	20	20	24	33	33	86	97	100	100	100
监测点 3	6	10	18	23	28	28	28	28	28	52	52	52	52
监测点 4	2	3	5	6	6	12	12	12	12	23	23	23	23
集中式结构的融合值	6.000	18.827	23.998	28.835	31.295	39.394	44.935	45.831	59.375	74.324	77.993	79.044	78.760

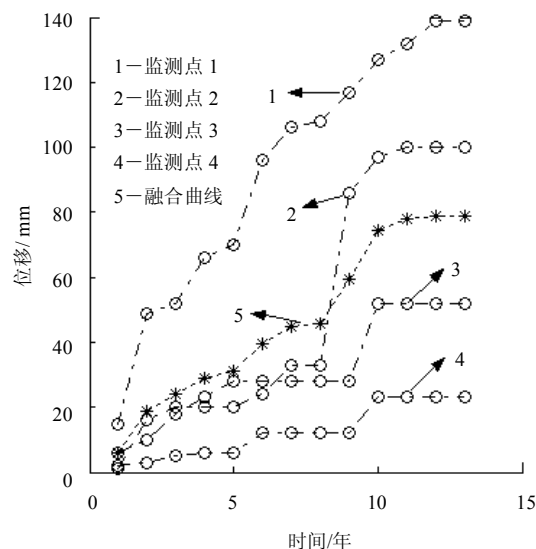


图1 集中式的多传感器目标跟踪融合结果图
Fig.1 The result of centralized multi-sensor target tracking

6 结论与认识

为了充分利用滑坡各个监测点的监测信息,提高滑坡预报的精度,本文将滑坡监测视为机动目标的跟踪,利用集中式多传感器目标跟踪融合技术来处理滑坡位移监测信息。从实例结果图1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,这说明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。但滑坡地质结构复杂,不同部分变形机制不尽相同,因此本文提出方法的适用性有待进一步研究。另外,目前还未从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] Willner D, Chang C B, Dunn K P. Kalman Filter Algorithms for a Multisensor System[A]. **Proc. IEEE Conf. Decision and Control**[C]. [s.l.]: [s.n.], 1976.
- [2] Lucy Y, Trailovic Lidija, The optimal order of processing sensor information in sequential multisensor fusion algorithms[A]. **IEEE Transactions on Automatic Control**[C]. [s.l.]: [s.n.], 2000.
- [3] Salah Eric. The ANSER Project: data fusion across multiple uninhabited air vehicles[J]. **International Journal of Robotics Research**, 2003.
- [4] Bar-Shalom. One-step solution for the multistep out-of-sequence-measurement problem in tracking[A]. **IEEE Transactions on Aerospace & Electronic Systems**[C]. [s.l.]: [s.n.], 2004.
- [5] Wu Qi-shi, Nageswara S V. On computing mobile agent routes for data fusion in distributed sensor networks[A]. **IEEE Transactions on Knowledge & Data Engineering**[C]. [s.l.]: [s.n.], 2004.
- [6] 权太范. 信息融合——神经网络—模糊推理理论与应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2002.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 李天斌, 陈明东, 王兰生. 滑坡实时跟踪预报[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1999.

第十三届亚洲土力学及岩土工程会议征文通知

第十三届亚洲土力学及岩土工程会议由印度岩土工程学会 (Indian Geotechnical Society) 主办, 将于 2007 年 12 月 10~14 日在印度加尔各答召开。会议地点定在 ITC Sonar Bangla Sheraton & Towers。会议网址请登陆: WWW.13ARC2007.COM。

会议主要议题如下: 1.土的物理力学特性: 室内试验, 现场试验; 2.热带和问题土: 膨胀土, 火山土和湿陷性土; 3.基础和地基土的相互作用: 浅基础和深基础, 挡土结构; 4.交通和地下结构中的岩土工程: 软基上的土工建筑物, 高速路和铁路路基; 5.城市地下工程: 深开挖, 临近结构的稳定性; 6.岩石工程和隧洞: 岩石力学特性, 岩石开挖和隧洞; 7.大坝工程: 土石坝, 尾矿坝; 8.地震工程: 地基响应分析, 液化; 9.环境岩土工程: 填埋场、衬砌和封顶, 污染物和污染治理, 工业废物利用; 10.地基处理: 围海造田, 机械和化学方法; 11.自然灾害防灾减灾: 滑坡与边坡治理, 河道和海岸防护; 12.土工合成材料和天然植物: 土工合成材料的应用, 天然材料; 13.破坏和实例分析: 测试仪器和监测, 实例分析; 14.专家系统和神经网络。

中国作者需向中国土木工程学会土力学及岩土工程分会提论文。向大会提交论文全文的时间为 2007 年 3 月 31 日。会议论文集分为两册, 第一册为所有接受的论文, 第二册为主题报告的论文。

从现在开始可提交摘要至中国土木工程学会土力学及岩土工程分会, E-mail: cismge@tsinghua.edu.cn, 注明“第十三届亚洲土力学及岩土工程会议”。

(中国土木工程学会土力学及岩土工程分会 张建民 供稿)