

基于协方差控制的传感器分配算法 及其在流域水质监测中的应用

倪建军 朱昌平 范新南

(河海大学计算机及信息工程学院 江苏 常州 213022)

摘要 针对流域水质监测存在的问题 探讨传感器管理在流域水质监测中的应用情况。在介绍一种基于协方差控制的传感器分配算法的基础上 给出传感器管理技术在流域水质监测中的应用实例。应用结果表明 采用传感器管理技术可以有效节约传感器资源 满足实际需要。

关键词 流域水质监测 传感器管理 传感器分配算法 协方差控制

中图分类号 :X832 文献标识码 :A 文章编号 :1006-7647(2007)S2-0046-03

传感器管理是信息融合系统的一个重要组成部分。简单地讲 传感器管理就是一个控制过程 其核心问题就是依据一定的最优准则 建立一个易于量化的目标函数 而后通过优化目标函数选定要工作的传感器及其工作模式或工作参数。传感器管理范围包括空间管理、模式管理和时间管理。传感器管理功能包括目标排列、事件预测、传感器预测、传感器对目标的分配、空间和时间范围控制以及配置和控制策略^[1-2]。在实际应用中 传感器管理经常应用于军事领域^[3] 现在也开始应用于机器人路径规划、智能交通系统、环境监测等民用领域^[4-5]。本文从介绍流域水质监测存在的问题入手 探讨传感器管理技术在流域水质监测中的应用 最后介绍一种基于协方差控制的传感器分配算法及其在流域水质监测中的应用情况 并给出一个仿真实例。

1 传感器管理在流域水质监测中的应用

1.1 流域水质监测存在的问题

水质监测是为国家合理开发利用和保护水土资源提供系统的水质资料的一项重要基础工作。目前的水质监测方式为定期监测各水系的水质 掌握其动态变化 在积累水质资料的基础上对水系水质状况提出评价报告。水质资料为水资源的可持续利用提供了必要依据。但是现有的水质监测存在很多问题 下面以黄河流域为例进行说明^[6]。

a. 监测断面偏少。黄河流域共划分一级水功

能区 488 个 二级水功能区 465 个 目前尚有相当一部分水功能区内无水质监测断面 不能满足水资源开发利用的要求。

b. 监测手段单一。缺乏实时监测和应急监测的装备手段 不具备现场分析和跟踪监测调查等快速反应能力 在一些突发性水质污染事件面前 更显得力不从心。2003 年 水利部黄河水利委员会所属监测河段内发生 10 多次水污染事件 在应急监测中 仍沿用现场取样、实验室分析的方式 从监测时间上不能满足水资源管理要求。水质信息采集、传输、处理的手段相当落后 从现场取样、实验室分析到数据处理多为人工作业 监测数据仍采用邮寄或电传方式上报 耗时间长 不能及时从中发现问题。水质监测实验室尚未建立计算机自动管理系统 监测管理缺乏先进技术的支撑 信息化水平低。

c. 监测条件落后。黄河水利委员会所属监测机构的大多数实验室建于 20 世纪七八十年代 普遍存在标准低、面积不足、结构布局不合理 供水、供电、通风故障多的现象 仪器设备的配备与所承担任务极不相称 远低于《水文基础设施建设及技术装备标准》的要求 仪器设备老化严重 不同程度地存在因性能不稳定等原因而无法正常使用等问题。这些问题已直接影响到监测项目的开展和监测成果的质量。

d. 缺乏量质统一监测信息。水量与水质是水资源两个基本属性 对水量的监测由于频次足够高所以能够比较准确地计算出水资源量。但由于目

基金项目 国家自然科学基金(10574038) 江苏高校高新技术产业发展项目(JHB05-08) 常州市科技项目(CE2005026) 河海大学常州校区博士启动基金(05B001-03)

作者简介 倪建军(1978—) 男 安徽黄山人 讲师 博士 从事信息融合、复杂系统控制等研究。E-mail :njjcumt@163.com

· 46 · 水利水电科技进展 2007 27(S2) Tel 025-83786335 E-mail :jc@hhu.edu.cn http://kkb.hhu.edu.cn

前常规的监测频次较低,无法控制水质的变化过程,不能分辨出相应质的量或相应量的质以及它们的时空分布情况。

1.2 传感器管理在水质监测中的应用

针对流域水质监测存在的问题,我国自 20 世纪 80 年代始,在黄浦江、天津引滦济津段以及吉化、宝钢、武钢等大企业的供排水系统建立了水污染自动监测站,开始了对自动水质监测系统的研究。这些水质自动测站的建立对提高我国流域水质监测水平起了很大的作用。但是随着监测技术的进步和流域水质监测要求的提高,采用传统的自动测站的方式已经不能满足要求。必须采用先进的传感器管理技术和方法对其进行改进。下面讨论传感器管理技术在流域水质监测中的应用情况。

传感器管理是以满足传感器与目标配对和目标威胁程度优先级排序为前提的一种传感器资源合理配置的方式^[7-8]。目前,传感器管理技术已经引起了许多学者的高度重视,国外对该领域的研究已经初具规模,而国内该领域的研究还刚刚起步。传感器管理的实质是一类典型的决策问题,许多技术都可以应用于其中,主要的方法有决策论、数学规划、信息论、模糊逻辑、神经网络、基于知识的系统或专家系统、数字信号处理和层次分析法等。传感器管理技术在流域水质监测中的应用就是在流域范围内通过部署大量的传感器节点组成传感器网络,不间断地获得高精度的数据,对流域水质情况进行监测。通过传感器管理技术与方法,根据具体的监测任务和目标,可以合理配置传感器,满足流域水质监测的发展要求。基于传感器管理技术的流域水质监测体系结构如图 1 所示。

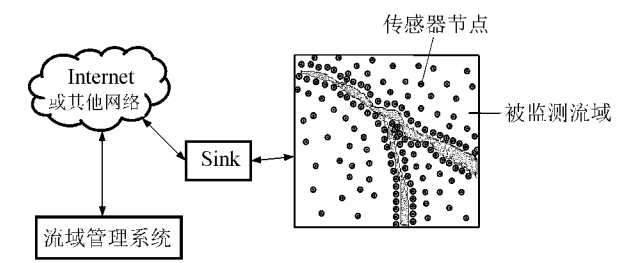


图 1 基于传感器管理技术的流域水质监测体系

与传统的测控方法相比较,基于传感器管理技术的水质监测具有显著优势:一是传感器节点的体积小且只需要部署 1 次,因此部署传感器网络对流域的人为影响较小;二是传感器网络节点分布密度高、范围广,每个节点可以检测到局部区域的详细信息并汇总到 Sink,因此,传感器网络具有数据采集量大、精度高的特点。三是传感器节点本身具有一定的计算能力和存储能力,可以根据环境的变化进行较复杂的控制,传感器节点具有通信能力,可以在节

点间进行协调监控,共同完成复杂的监控任务。

2 基于协方差控制的传感器分配算法及其应用

传感器管理系统的性能在一定程度上随着传感器数量的增加而提高,但是因为一方面传感器的资源是稀缺的、宝贵的,不可能布置得无限多;另一方面,如果过多地使用传感器资源,会增加系统的工作负担。因此,合理地分配传感器问题成为传感器管理的关键,目前采用较多的是线性规划的方法。本文简单介绍一种基于协方差控制的传感器分配算法^[9]及其在流域水质监测中的应用情况。

2.1 基于协方差控制的传感器分配算法

基于协方差控制的传感器分配的实现是基于实际协方差矩阵 $P(t_k)$ 与期望的协方差矩阵 $P_d(t_k)$ 的差值而确定的。协方差矩阵的计算公式如下:

$$P(t_k) = [P^{-1}(t_k) + H^T R^{-1}(t_k) H]^{-1} = [P^{-1}(t_k) + \sum_{j \in D_i} H_j^T R_j^{-1}(t_k) H_j]^{-1} \quad (1)$$

式中: $R_j(t_k)$ 为传感器量测噪声的协方差矩阵; H_j 为观测矩阵。

对于不同的传感器组合,实际协方差矩阵 $P(t_k)$ 的计算值会不同,这样就可以通过计算出不同的传感器组合对应的信息增益,然后使用此增益来控制实际协方差矩阵 $P(t_k)$ 的变化,使它在某种矩阵度量意义下最接近期望协方差矩阵 $P_d(t_k)$,使实际协方差矩阵最接近期望协方差矩阵所对应的传感器组合即为最优的传感器组合。传感器信息增益的计算公式如下:

$$J_i = \sum_{j \in D_i} H_j^T R_j^{-1} H_j \quad (i = 1, 2, \dots, 2^{N_s} - 1) \quad (2)$$

其中 J_i 表示集合 D 第 i 个子集 D_i 对应的传感器组合所带来的信息增益。

在实际应用中是先设定一个实际协方差矩阵 $P(t_k)$ 和期望协方差矩阵 $P_d(t_k)$ 的差值的阈值,只要小于这个阈值的所有传感器组合都是可以满足系统要求的,然后从其中选取使用资源最少的传感器组合。可以采用某种矩阵度量方法来计算协方差矩阵的差值,例如可以采用矩阵 2-范数进行度量。

2.2 基于协方差控制的传感器分配算法的应用

近年来,由于城市规划和工业布局不合理,以及工业废水、生活污水不经处理直接排放等原因造成城市供水被迫中断的事故屡有发生。本文以某次突发污染事故中污染物的跟踪监测为例进行仿真研究,采用基于目标协方差估计的传感器管理算法,对流域中布置的传感器进行分配。为了分析方便,这

里假设有一污染物在流域 X - Y 平面上沿坐标轴正方向运动,目标状态由 $[x, \dot{x}, y, \dot{y}]$ 组成。它的运动受到一个具有 $0.15I$ 协方差矩阵的零均值、白色高斯过程噪声的扰动 (I 为单位矩阵)。定义该目标的期望协方差为 P_d , 它从 0 时刻以初始特征值为 $0.25I$ 的一个对角矩阵开始,随着时间的推移,污染物浓度降低,跟踪精度要提高,因此在时刻 25 将期望协方差减小到一个特征值为 $0.15I$ 的矩阵。协方差误差的 2-范数的阈值为 0.15。仿真实验结果如图 2、图 3 所示。

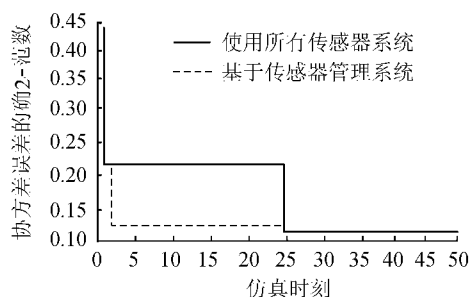


图 2 协方差误差的 2-范数

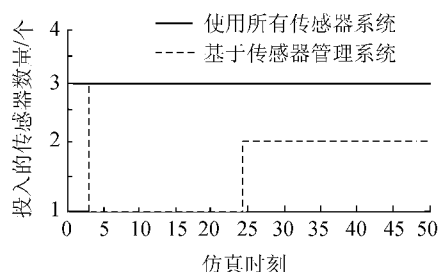


图 3 投入使用的传感器数量

由图 2、图 3 可以看出,采用传感器管理技术,可以在满足跟踪精度要求下节约宝贵的传感器资源,而且随着跟踪精度要求的提高,可以自动地投入更多的传感器资源,满足系统要求。

3 结 语

为了充分发挥信息融合系统的功能和性能,传感器管理技术得到越来越多的重视。本文在介绍流域水质监测存在问题的基础上,探讨传感器管理技术在流域水质监测方面的应用情况,并介绍了一种基于协方差控制的传感器分配算法,给出了一个仿真实例。下一步的工作重点是研究新的、更适应水质监测的传感器管理算法、传感器管理的体系结构等。

参考文献:

[1] 刘先省,申石磊,潘泉.传感器管理及方法综述[J].电子学报,2002,30(3):394-398.
 [2] 杨秀珍,何友,鞠传文.多传感器管理系统研究现状与发展趋势[J].传感器技术,2004,23(1):5-8.
 [3] 王峰,张洪才,潘泉.传感器管理及其在相控阵雷达中的应用[J].现代雷达,2004,26(2):14-17.

[4] KREUCHER C. HERO III A O, KASTELL K, et al. Efficient Methods of Non-myopic Sensor Management for Multitarget Tracking[C]//43rd IEEE Conference on Decision and Control, 2004:722-727.
 [5] 李建中,李金宝,石胜飞.传感器网络及其数据管理的概念、问题与进展[J].软件学报,2003,14(10):1717-1727.
 [6] 柴成果.关于黄河水质监测方式的思考[J].中国水利,2004(5):48-49.
 [7] 刘先省,程咏梅,潘泉,等.多传感器数据融合系统闭环控制模式的构成与分析[J].信息与控制,2000,29(2):145-151.
 [8] WANG Feng, TIAN Qi-chuan, GAO Quan-xue, et al. A study of sensor management based sensor networks[C]//Proceeding of the 2003 IEEE International Conference on Robotics, Intelligent Systems and Signal Processing, Changsha: 2003: 1058-1062.
 [9] 周文辉,胡卫东,余安喜,等.基于协方差控制的集中式传感器分配算法研究[J].电子学报,2003,31(12A):2158-2162.

(收稿日期 2006-11-14 编辑:高建群)

(上接第 10 页)

[35] 朱一中,夏军,谈戈.关于水资源承载力理论与方法研究[J].地理科学进展,2002,21(3):180-188.
 [36] 曲耀光,樊胜岳.黑河流域水资源承载能力分析计算与对策[J].中国沙漠,2000,20(1):1-8.
 [37] 王煜,杨立彬,张新海,等.西北地区水资源承载能力研究[J].水科学进展,2001,12(12):524-529.
 [38] 肖满意,董翊立.山西省水资源源承载能力评估[J].山西水利科技,1998(4):5-11.
 [39] 王余标,王献平.周口市水资源承载能力综合评价[J].河南农业大学学报,2001,35(9):97-100.
 [40] 傅湘,纪昌明.区域水资源承载能力综合评价——主成分分析法应用[J].长江流域资源与环境,1999,8(2):169-173.
 [41] 孟凡德,王晓燕.北京市水资源承载能力的现状及驱动力分析[J].首都师范大学学报:自然科学版,2004,25(3):100-105.
 [42] 张戈平.城市水资源承载能力评价指标体系研究[D].东北农业大学,2003.
 [43] 袁晓宇.多目标决策灰色关联投影法在水资源承载能力分析中的应用[J].江苏水利,2004(12):10-13.
 [44] 王薇,雷学东,余新晓,等.基于 SD 模型的水资源承载能力计算理论研究——以青海共和盆地水资源承载能力研究为例[J].水资源与水工程学报,2005,16(3):11-15.
 [45] 薛小杰,惠泱河,黄强,等.城市水资源承载能力及其实证研究[J].西北农业大学学报,2000,28(6):135-139.
 [46] 赵西宁,吴普特,王万忠,等.水资源承载能力研究现状与发展趋势分析[J].干旱地区农业研究,2004,22(4):173-177.

(收稿日期 2007-01-14 编辑:高建群)