

基于无线传感器网络的比例导引优化信息融合研究

马金祥^{1,2}, 范新南², 张建生¹, 倪建军², 黄文生¹, 史鹏飞²

(1. 常州工学院 电子信息与电气工程学院, 江苏 常州 213002;

2. 河海大学 江苏省输配电装备技术重点实验室, 江苏 常州 213002)

摘要: 在分析反舰导弹比例导引控制规律的基础上, 将无线传感器网络信息融合思想引入到比例导引优化辅助决策控制过程中, 通过将无线传感器网络信息融合中的数据、特征、决策概念对应于比例导引的具体数学模型, 构建了基于无线传感器网络的比例导引优化信息融合辅助决策架构; 利用 VB6.0 语言对基于无线传感器网络辅助决策的反舰导弹优化信息融合制导控制规则进行了模拟仿真, 命中距离缩短约 37.1%, 命中时间节约约 10.9%; 仿真实验结果实现了反舰导弹自适应优化比例系数的比例制导律, 验证了该方法的有效性。

关键词: 无线传感器网络; 信息融合; 比例导引; 模拟仿真

Research on Information Fusion for Optimization of Proportional Usher Based on Wireless Sensor Networks

Ma Jinxiang^{1,2}, Fan Xinnan², Zhang Jiansheng¹, Ni Jianjun², Huang Wensheng¹, Shi Pengfei²

(1. School of Electronic Information & Electric Engineering, Changzhou Institute of Technology, Changzhou 213002, China;

2. Jiangsu Key Lab. of Power Transmission & Distribution Equipment Technology, Hohai University, Changzhou 213002, China)

Abstract: The control law of proportional usher on anti-vessel missiles was analyzed, and the idea of information fusion in wireless sensor networks (WSN) was introduced to the process of assistant decision-making for optimization of proportional usher. Through matching the data, feature and decision-making concept of WSN information fusion with the concrete mathematical model of proportional usher, an assistant decision-making structure on optimization of proportional usher was constructed based on multisource WSN information fusion. A computer simulation was made on the optimization of proportional usher based on WSN information fusion with Visual Basic 6.0. The simulation achieved adaptive proportion usher coefficient with WSN information fusion and the results showed the effectiveness of this optimization control law of about 37.1% shortening in shooting distance and about 10.9% saving in hitting time.

Keywords: wireless sensor networks; information fusion; proportion usher; simulation

0 引言

比例导引是反舰导弹常用的导引方法。所谓比例导引, 是指目标瞄准线相对导弹的速度矢量与目标视线旋转角速度之间成比例关系: $\dot{\theta} = K\dot{q}$ 。其中, K 为比例导引系数, $1 < K < \infty$, 反舰导弹的比例导引系数一般取 $1.1 < K < 2$ 。在比例导引关系式中, 自变量 \dot{q} 为目标视线角旋转角速度; 因变量 $\dot{\theta}$ 为弹道角变化率, 表明导弹速度矢量的旋转角速度^[1]。

反舰导弹与目标的运行轨迹如图 1 所示^[2]。图 1 中, $\overrightarrow{M(n)M(n+1)}$ 和 $\overrightarrow{D(n)D(n+1)}$ 分别为目标和反舰导弹运行轨迹, θ 为弹道角, q 为目标视线角。图 1 涉及两种不同的坐标系: 弹道轨迹坐标系与绘图坐标系。弹道轨迹坐标系并非固定不变, 会根据反舰导弹所在的位置而不断调整; 而绘图坐标系则始终保持固定不变。图 1 中带“'”的角度为绘图坐标系中的引角, 不带“'”的角度为当前弹道轨迹坐标系中的引角。比例导引关系式 $\dot{\theta} = K\dot{q}$ 适用于当前弹道轨迹坐标系。 q_n 和 q_{n+1} 分别为前一时刻和当前时刻反舰导弹在弹道轨迹坐标系中的目标视线角, 根据比例导引关系式计算弹道轨迹坐标系中的弹道

角 θ_{n+1} , 再将弹道轨迹坐标系中的弹道角 θ_{n+1} 转换为绘图坐标系中的弹道角 θ'_{n+1} , 确定为反舰导弹在绘图坐标系中的新航向。根据比例导引律, 反舰导弹不断调整航向跟踪目标直到目标进入导弹的盲区范围为止。

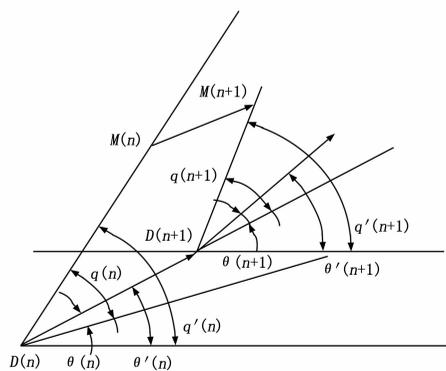


图 1 反舰导弹与目标的运行轨迹示意图

传统比例导引律结构简单, 易于实现, 在反舰导弹制导控制实践中得到了广泛的应用。但传统比例导引律没有固定的最佳导航比, 在拦截点附近视线角速度容易发散, 在高速大机动目标攻击方面性能差。另外, 由于制导和控制系统的时变性、非线性和不确定性等特点, 基于单一信息源的以制导和控制系统精确数学模型为基础的传统比例导引律已难以满足现代高性

收稿日期: 2014-01-11; 修回日期: 2014-03-20。

基金项目: 江苏省输配电装备技术重点实验室开放基金项目 (2013JSSPD03)。

作者简介: 马金祥 (1977-), 男, 博士研究生, 主要从事信息获取与处理、自动控制技术方向的研究。

能制导系统的要求, 对传统比例导引进行改进是反舰导弹制导设计与实践的重要研究方向。改进的比例导引实质上是在传统比例导引基础上引入辅助决策控制因子 α , 优化比例导引律 $\dot{\theta} = K(1 + \alpha)\dot{q}$, 主要解决比例导引抗目标机动的能力。基于无线传感器网络信息融合的比例导引优化制导不但具有与传统比例导引相同的抗测量噪声鲁棒性, 还具有较好的抗目标机动能力, 有利于提高反舰导弹制导的快速性与准确性。

1 无线传感器网络与信息融合技术

无线传感器网络是由部署在监测区域内大量智能传感器节点、汇聚节点、通信网络和用户管理中心组成^[3]。大量的智能传感器节点随机或规则分布于监测区域内部或者附近, 通过自组织的方式组成网络。智能传感器节点先采集监测数据, 并对监测的数据信息进行预处理, 再将预处理的结果发送给汇聚节点, 由汇聚节点对所采集的传感器数据进行信息融合处理, 形成决策结果传输到用户管理中心。

无线传感器网络自适应能力强, 其布设与组网不依赖于任何预设的网络设施, 区域内的智能传感器节点能自动、快速且稳定地组成独立的网络系统^[4]。无线传感器网络系统中的智能传感器节点通过分层协议和分布式算法, 协调各自的行为; 同时, 无线传感器网络容错能力强, 从而使监测系统的鲁棒性得到提高。

信息融合技术, 也称多源数据融合技术, 是对人脑综合处理复杂问题的一种功能模拟。它通过对被观测对象多层次、多来源获得的信息按照一定的规则组合、归纳、分析、演绎, 得到对被观测对象的一致解释和综合描述。信息融合技术已经在军事、农业、遥感测量、设备监视及医疗诊断等领域得到了广泛应用^[4]。仅仅依靠单一信息源难以系统、精确且稳健地完成需要的决策任务, 对于复杂、多层次、时变系统的决策任务尤为显著^[5]。

信息融合是一个多变量的决策问题, 围绕融合单元和融合结构而展开。每个融合单元都涉及 3 个基本层次的组成部分: 变量、特征和决策; 融合结构涉及融合单元的结构形式、决策处理要求及决策处理结果的影响、特殊的融合结构形式等等。由于在信息融合过程中, 融合单元都可能采取数据、特征及决策等不同的形式, 于是形成了数据层融合、特征层融合和决策层融合的层次划分^[5]。

1) 数据层融合: 输入信息为原始数据, 输出信息为筛选整理后的数据;

2) 特征层融合: 输入信息为经过处理的基本数据, 输出信息为对数据进行分析后提取的特征;

3) 决策层融合: 输入信息为提取的特征, 输出为最终的决策结论。

实际应用中常见的信息融合的输入输出列举如表 1 所示。

表 1 信息融合的输入输出信息表^[5]

序号	融合输入	融合输出	特点
1	数据	数据	维数相同, 接近原始数据
2	数据	特征	第一级处理, 获取数据特征
3	特征	特征	输入定性定量, 产生超级特性
4	特征	决策	对特征空间进行分类识别
5	决策	决策	综合结论, 得到最终决策

无线传感器网络中的信息融合技术是指按照一定的规则, 在无线传感器网络中建立某种形式的融合路径与融合方法。智

能传感器采集数据信息在路径传送过程中, 中间节点对数据信息进行“多输入单输出”融合处理, 仅将融合处理后的部分有效信息向上传输作为决策信息^[4]。因此无线传感器网络中的信息融合具备 4 方面作用:

- 1) 有效降低网络能耗, 延长网络生存周期;
- 2) 拓展时空覆盖范围, 增强数据采集能力;
- 3) 增强系统抗扰能力, 提高信息处理效率;
- 4) 优化网络资源配置, 提高系统监测性能。

2 比例导引优化系统设计

2.1 无线传感器网络信息融合系统结构

无线传感器网络比例导引优化信息融合系统模型直接决定了融合算法的结构、性能和系统规模。基于无线传感器网络的比例导引优化信息融合系统结构如图 2 所示。

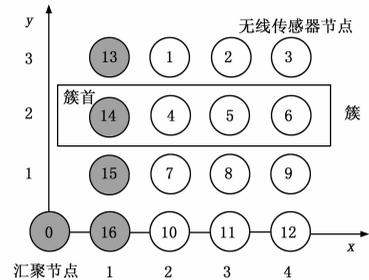


图 2 基于无线传感器网络的比例导引优化信息融合系统结构

基于无线传感器网络的比例导引优化信息融合系统结构由无线传感器节点、簇首节点、汇聚节点和反舰导弹任务管理中心 4 个部分组成。在图 2 中, 节点 1~16 为无线传感器节点, 覆盖目标监测范围区域。16 个节点组成四簇节点, 节点 4、5、6、14 为其中一簇。节点 13~16 为周期性簇首节点, 0 为汇聚节点。簇首节点负责本簇无线传感器节点监测信息的收集、融合处理以及簇间数据通信。汇聚节点收集来自各簇首的融合信息, 通过加权信息融合得到决策信息, 并将最终决策结论发送至反舰导弹任务管理中心, 作为反舰导弹比例导引系数优化辅助决策信息。在层次路由协议中, 无线传感器节点的保留能量与簇首的接近程度决定每个簇的形成。簇首节点的选择需要周期更新, 以便延长整个无线传感器网络的生命周期^[6]。

2.2 无线传感器网络信息融合算法模型

信息融合技术已经在军事、农业、遥感测量、设备监视及医疗诊断等众多领域得到了非常广泛的应用。在无线传感器网络中, 应用最广泛的信息融合算法是 D-S 证据理论、BP 神经网络及 Kalman 滤波 3 种算法^[7]。

这里选择经典的 Kalman 滤波融合模型作为无线传感器网络信息融合模型。

Kalman 滤波是把状态空间的概念引入随机估计理论, 把信号过程视为白噪声激励作用下的线性系统响应, 并用状态方程来描述这种输入输出关系。在随机估计过程中, 利用系统状态方程、观测方程和白噪声激励(系统噪声和观测噪声)的统计特性形成滤波算法。由于所用数据信息都是时域变量, 所以 Kalman 滤波不仅适用于单参量的平稳随机过程的状态估计, 同样也适用于矢量的非平稳随机过程的状态估计^[8]。

在无线传感器网络中, Kalman 滤波融合针对动态环境中冗余传感器数据信息进行实时信息融合, 能够在很大程度上减

少由于较多冗余信息而造成的融合过程中的能耗,其信息融合模型如图 3 所示^[9]。

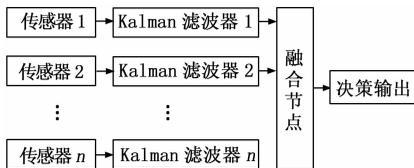


图 3 Kalman 滤波信息融合模型

图 3 中融合节点包括了簇首节点和汇聚节点两部分的信息融合。根据无线传感器节点 Kalman 滤波以及基于减少能耗与网络冲突的数据处理,汇聚节点采用方差自适应的加权信息融合算法对各簇发送的数据进行融合。最后得出目标运动变化有效信息,通过阈值判断决策输出,作为反舰导弹比例导引优化辅助决策信息 α 。

3 模拟仿真与结果分析

选取相同的目标参数:坐标为 (10 000 m, 4 000 m),速度为 75 m/s,起始航向为 60°;导弹参数:速度为 300 m/s,初始比例系数为 1.2。分别采用基于无线传感器网络信息融合算法的优化比例导引和传统比例导引能得到不同的仿真实验结果。图 4 为基于无线传感器网络信息融合算法的优化比例导引仿真结果,图 5 为传统比例导引仿真结果。仿真结果显示,图 4 中导弹参数导弹击中目标所需时间:45.9 s;图 5 中导弹击中目标所需时间:50.8 s。

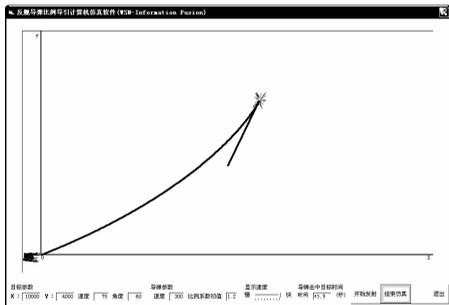


图 4 基于无线传感器网络信息融合的优化比例导引仿真结果

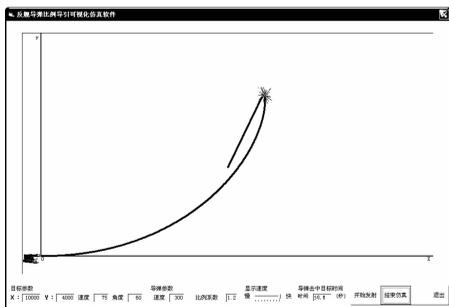


图 5 传统比例导引仿真结果

从图 4 和图 5 仿真结果的对比分析可以看出:对于相同的初始条件,采用基于无线传感器网络信息融合算法的优化比例导引导弹跟踪目标路径与导弹击中目标时间都明显减少。

选取其它的仿真初始参数,分别基于无线传感器网络信息融合算法的优化比例导引和传统比例导引可以得到其它的仿真结果。仿真初始参数如表 2 所示,导弹命中目标距离和命中时

间如表 3 所示。当导弹与目标距离小于 50 m 时,导弹爆炸并击中目标,仿真结束。表 3 中的命中距离是指导弹爆炸时与目标的实际距离。

表 2 仿真初始条件参数

参数	条件 1	条件 2	条件 3
目标(X,Y)/m	(10 000,4 000)	(18 000,9 000)	(8 000,4 000)
目标速度/(m/s)	75	50	100
目标起始航向/(°)	60	45	15
导弹速度/(m/s)	300	400	300
比例系数初值	1.2	1.3	1.5

表 3 仿真实验中距离和命中时间比较

比例导引律	命中距离/m			命中时间/s		
	条件 1	条件 2	条件 3	条件 1	条件 2	条件 3
无线传感器网络信息融合的优化比例导引	28.2	29.8	25.6	45.9	55.1	43.1
传统比例导引	43.2	43.5	46.6	50.8	64.4	47.2

从表 3 中可以看出,对于相同的初始条件,基于无线传感器网络信息融合算法的优化比例导引相对于传统比例导引不论是在命中距离还是在命中时间方面,其制导性能都要明显占优势。

4 结论

根据反舰导弹比例导引制导准确性与快速性的目标,提出将无线传感器网络信息融合理论引入比例导引优化辅助决策过程控制中。构建了基于无线传感器网络的比例导引信息融合系统结构,提出了相应的信息融合模型算法,开发了反舰导弹比例导引优化计算机仿真软件。从仿真实验结果分析,基于无线传感器网络的信息融合理论为反舰导弹比例导引优化提供了一种高效可行的方法。随着科技的进步,无线传感器网络技术发展提高,基于无线传感器网络的信息融合理论也会不断改进,势必会在反舰导弹制导理论与应用实践中发挥更加重要的作用。

参考文献:

- [1] 程风舟,陈士槽.拦截弹头的修正比例导引律[J].空军工程大学学报(自然科学版),2003,(04):15-18.
- [2] 马金祥,范新南.一种反舰导弹比例导引可视化仿真软件设计[J].计算机测量与控制,2013,(11):3139-3141.
- [3] 鲍必赛,伍健荣,楼晓俊,等.无线传感器网络信息时空融合模型与算法研究[J].传感器与微系统,2012,(4):43-46.
- [4] 李强,张旭帆,王加,等.无线传感器网络中的信息融合算法[J].计算机系统应用,2013,(2):116-120.
- [5] 刘毅,高振兴,郭创新,等.一种考虑多层信息融合的电网故障诊断辅助决策方法[J].动力系统保护与控制,2010,(16):14-18.
- [6] 邵靖宇,谢森.一种改进的分布递阶无线传感器网络信息融合算法[J].计算机系统应用,2013,(3):104-107.
- [7] Igor Le dos Santos, Luci Pirmez, érico T. Lemos, et al. A localized algorithm for Structural Health Monitoring using wireless sensor networks [J]. Information Fusion, 2014, 15: 114-129.
- [8] Pinto A R, Montez C, Araújo J, et al. An approach to implement data fusion techniques in wireless sensor networks using genetic machine learning algorithms [J]. Information Fusion, 2014, 15: 90-101.
- [9] Rone Ildio da Silva, Daniel Fernandes Macedo, José Marcos S. Nogueir, et al. Spatial query processing in wireless sensor networks—A survey [J]. Information Fusion, 2014, 15: 32-43.