

DOI: 10.7652/xjtuxb201707021

多传感器交叉提示技术在传感器联盟中的应用

庞策, 黄树彩, 刘锦昌, 赵炜, 韦道知
(空军工程大学防空反导学院, 710051, 西安)

摘要: 围绕多传感器交叉提示技术在传感器联盟中的应用展开研究,用多传感器交叉提示技术组建并更新传感器联盟,解决传感器联盟的动态控制问题。在建立传感器联盟组建过程中,以节省传感器资源和提高传感器资源利用率为目的建立目标函数,将单目标跟踪精度需求作为约束条件,建立了传感器联盟模型。在传感器联盟更新过程中,提出预测更新的传感器管理结构。设计基于多维协商的多传感器交叉提示分布式算法,用于求解及更新传感器联盟方案。仿真实验表明了文中模型的有效性,与拍卖算法和粒子群算法相比,所提算法收敛速度快,求解质量较好;与测量更新的结构相比,预测更新的传感器管理结构更适应于作战态势变化较快的情形。

关键词: 传感器联盟;动态控制;多传感交叉提示;目标跟踪

中图分类号: TN215 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2017)07-0148-08

Application of Multi-Sensor Cross Cueing Technology in Sensor Alliance

PANG Ce, HUANG Shucai, LIU Jinchang, ZHAO Wei, WEI Daozhi
(Air and Missile Defense College, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China)

Abstract: The study on the application of multi-sensor cross cueing technology in sensor alliance was conducted, where multi-sensor cross cueing technology is used to build and update sensor alliances to solve the problem of dynamic control of sensor alliances. When building a sensor alliance, the objective function is built aiming at saving sensor resource and enhancing the resource utilization; and when updating a sensor alliance, the sensor management structure predict then update is presented. The multi-sensor cross cueing distributed algorithm based on multi-dimensional consultation was designed for resolving and updating the sensor alliance scheme. The simulation results indicate that the model in this paper is effective. Compared with auction algorithm and particle swarm, the convergence rate of the algorithm proposed in this paper is the fastest and with better results. Compared with the method of detect, then update the method of predict then update is more suitable to the condition where the combat situation often changes quickly.

Keywords: sensor alliance; dynamic control; multi-sensor cross cueing; target tracking

随着技术的发展,导弹逐渐具有了高速、高机动、低空、隐身等特点,由单个传感器很难完成预警探测任务,需要多个传感器协同探测,其中一种重要的手段是多传感器组建联盟。多传感器联盟方案的求解属于 NP 爆炸问题,其计算方法分为集中式和分布式两种^[1-2]。集中式算法主要有规划方法^[3]、贪婪算法^[4]、有限集方法^[5]和以粒子群算法为代表的群智能算法等^[6-7]。分布式算法主要有满意决策算

收稿日期: 2017-01-18。 作者简介: 庞策(1993—),男,硕士生;黄树彩(通信作者),男,教授。 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61573374);国家自然科学基金青年基金资助项目(61503408);航空科学基金资助项目(20150196006)。

法、合同机制及改进算法、拍卖及改进算法、分布式一致方法、博弈论方法等^[6-12]。两类算法相比,分布式算法对传感器网络通信需求小、计算速度快,但求解质量不如集中式算法。在传感器管理方面,将重点放在静态决策上,而对传感器联盟组建结束后的执行协调过程研究较少。当作战态势变化时,前后两种联盟方案毫无关联,大多数传感器管理方法单纯追求传感器网络效能最大化,而不针对需求来对传感器进行优化,达不到作战需求,造成传感器资源浪费。

本文引入多传感器交叉提示技术,该技术将每个传感器看作一个具有自主决策功能的代理,把多个传感器与独立目标对应起来,交叉强调传感器之间互相提示,其实质是多个传感器相互协作、协商、协调。围绕多传感器交叉提示技术在传感器联盟中的应用展开研究,讨论在传感器联盟过程中传感器之间“何时提示,提示谁”的问题,建立了考虑单目标跟踪精度需求的传感器联盟模型,提出预测更新的传感器管理结构,针对联盟方案的生成和更新问题,设计了基于多维协商的多传感器交叉提示算法进行求解。

1 传感器联盟模型

1.1 目标运动模型

设在运动过程中,目标 t 在 k 时刻的状态为 $\mathbf{X}_k = [x(k), y(k), \dot{x}(k), \dot{y}(k)]^T$, 状态转移方程为 $\mathbf{X}_{k+1} = \mathbf{F}\mathbf{X}_k + \mathbf{W}_k$, 观测方程为 $\mathbf{Z}_k = \mathbf{H}\mathbf{X}_k + \mathbf{V}_k$, 其中 $\mathbf{W}_k$ 、 $\mathbf{V}_k$ 为系统噪声和观测噪声。在 k 时刻,对目标 t 组建的传感器跟踪联盟为 $S_t = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$ 。

在目标跟踪中,采用扩展卡尔曼滤波对目标状态进行估计, m 个传感器对目标跟踪的联合误差协方差矩阵为

$$\bar{\mathbf{P}}(k+1 | k+1) = (\mathbf{P}_{k+1|k}^{-1} + \sum_{i=1}^m (\mathbf{H}_i^T(k+1)\mathbf{R}_i(k+1)^{-1}\mathbf{H}_i(k+1))^{-1})^{-1} \quad (1)$$

1.2 目标跟踪精度模型

本文将跟踪精度定义为几何精度衰减因子^[13],其计算公式为

$$p = (\text{Tr}(\mathbf{P}(k | k)))^{1/2} \quad (2)$$

式中: $\mathbf{P}(k | k)$ 为 k 时刻目标估计误差协方差矩阵。 $\mathbf{P}(k | k)$ 通过扩展卡尔曼滤波得到,当多个传感器同时对一个目标跟踪时 $\mathbf{P}(k | k)$ 为 $\bar{\mathbf{P}}(k | k)$ 。

1.3 跟踪精度需求模型

跟踪精度需求 σ 是一个战术指标,根据目标威胁度 g 或武器系统要求来确定。当目标威胁度提高时,应当提高对目标的跟踪精度,或武器系统发射拦截弹时,应达到导弹击中目标所需的跟踪精度。

目标威胁度的计算公式为

$$g = \exp(-\|\mathbf{r}\|^2 / (2(1 - \theta/\pi)^2(\alpha_0 \|\mathbf{v}\| + \beta_0))^2) \quad (3)$$

式中: $\mathbf{r}$ 为位移矢量; $\mathbf{v}$ 为速度矢量,其方向从目标指向我方阵地中心; θ 为目标航向角; α_0 、 β_0 为常数。

设 $\sigma = f(g)$, 当目标 $g=0$ 时 $f(0) = +\infty$; 当 $g=1$ 时,对该目标的跟踪精度需求达到最大,此时 $f(1)=0$ 。用函数 $\sigma = -\alpha_1 \ln(g)$ 表示目标跟踪精度需求与目标威胁度的关系,其中 α_1 为系数,而武器系统目标跟踪精度需求为 $\sigma = \sigma_0$ 。

1.4 目标函数

设传感器网络中共 M 个传感器,集合为 $\{s_1, s_2, \dots, s_M\}$, 当单独使用传感器时,所产生的传感器资源消耗分别为 $\{c_1, c_2, \dots, c_M\}$ 。设该传感器网络同时对 N 个目标进行跟踪,集合为 $\{t_1, t_2, \dots, t_N\}$, 传感器联盟方案 $\mathbf{E}$ 为 MN 矩阵,其中 $e_{ij}=1$ 表示传感器 s_i 对目标 t_j 进行跟踪, $e_{ij}=0$ 表示传感器 s_i 不对目标 t_j 进行跟踪,矩阵 $\mathbf{E}$ 的每列代表针对每个目标的传感器联盟。

消耗的传感器资源应最少,目标函数为

$$\min \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M c_i e_{ij} \quad (4)$$

在传感器使用过程中,应使传感器发挥最大效用,对目标的实际跟踪精度应最大化接近理论跟踪精度。在目标跟踪中,利用最优估计算法对目标状态进行估计,所能达到的理论误差下限通常被称为后验 Cramér-Rao(PCRLB),本文以 PCRLB 作为传感器对目标跟踪的最优理论值。

在已知时刻所有观测值 $\mathbf{Z}_{1:k}$ 情况下,估计目标状态 $\mathbf{X}_{k+1}$ 的协方差下界应满足

$$\{\hat{\mathbf{X}}_{k+1} - \mathbf{X}_{k+1}\}[\hat{\mathbf{X}}_{k+1} - \mathbf{X}_{k+1}]^T | \mathbf{Z}_{1:k} \} \geq \mathbf{L}^{-1}(\mathbf{X}_{k+1} | \mathbf{Z}_{1:k}) \quad (5)$$

其中 $\mathbf{L}^{-1}(\mathbf{X}_{k+1} | \mathbf{Z}_{1:k})$ 的计算方法与文献[14]相同。

代入式(5),可得传感器对目标跟踪时的理论最优跟踪精度

$$\Delta = (\text{tr}(\mathbf{L}^{-1}(\mathbf{X}_{k+1} | \mathbf{Z}_{1:k})))^{1/2} \quad (6)$$

跟踪精度需求 σ 、理论最优跟踪精度 Δ 与实际跟踪精度 p 三者关系为 $\sigma \leq p \leq \Delta$ 。跟踪精度需求 σ 和理论最优跟踪精度 Δ 两者差值越小,表明传感器

资源利用率越高,从而减小传感器资源浪费。此时,有目标函数为

$$\min \sum_{j=1}^N |\sigma_j - \Delta_j| \quad (7)$$

对于每个传感器联盟,同时考虑式(4)、(7)所示目标函数,可得最终目标函数

$$\min \sum_{j=1}^N (\alpha_2 \sum_{i=1}^M c_i e_{ij} + \beta_2 |\sigma_j - \Delta_j|) \quad (8)$$

式中: α_2, β_2 为常数,且 $\alpha_2 + \beta_2 = 1$ 。

联盟 e_j 为 E 的第 j 列元素,其适应度为

$$q_j = \alpha_2 \sum_{i=1}^M c_i e_{ij} + \beta_2 |\sigma_j - \Delta_j| \quad (9)$$

2 传感器管理结构

首先对传感器联盟更新时机,即多传感器交叉提示中的何时提示问题进行分析,在对传感器资源管理时,在 k 时刻,若实际跟踪精度达不到跟踪精度需求,则调整传感器联盟方案以使对目标的跟踪精度满足 k 时刻跟踪精度需求,本文称其为量测更新。在实际作战中,目标处于高速运动状态,作战态势变化较快,传感器资源联盟方案调整需要一定时间,在传感器联盟方案调整完毕后若已经到达 $k+1$ 时刻,新的传感器联盟方案虽满足 k 时刻目标跟踪精度需求,却不一定满足 $k+1$ 时刻目标跟踪精度需求,此时该方法在实际作战中失去应用价值。因此,本文提出预测更新的思想,在 k 时刻,针对目标 t_j 跟踪的传感器联盟内传感器操作过程如图1所示。

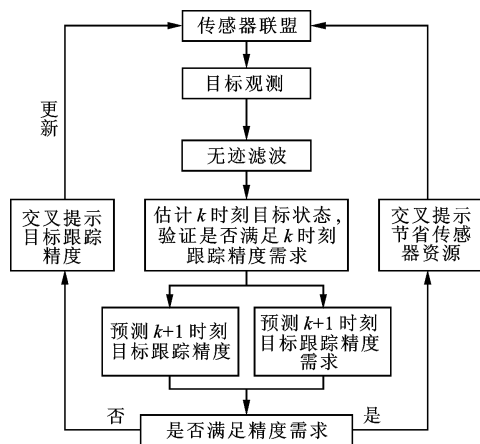


图1 k 时刻传感器操作过程

3 多传感器交叉提示算法设计

3.1 多传感器联盟组建及算法设计

在最初对目标信息的量测的过程中,每个传感器对应的传感器联盟 $E = \{e_1, e_2, \dots, e_N\}$ 内已经有一

定数量的传感器,联盟 e_j 的适应度为 q_j ,一般情况下,此时的传感器联盟不是最优。传感器网络中共 $2^M - 1$ 种传感器组合,称为虚拟传感器。假定传感器资源充足,在同时对 N 个目标跟踪时,至少存在一种传感器联盟方案能够同时满足全部目标的跟踪精度需求。在传感器联盟初次组建过程中,多个传感器通过协商确定传感器联盟方案,每个传感器联盟由其内部已有传感器代理负责组建,称为联盟代理。采用多维协商的思想,在 k 时刻,传感器联盟组建步骤如下。

(1) N 个传感器联盟代理就关于目标的状态信息以及 $k+1$ 时刻各个目标的跟踪精度需求向联盟外的虚拟传感器代理发起提议,同时联盟内的代理也接收来自其他联盟代理的提议,提议模型为 $\langle t_j, \hat{X}(k+1|k), p_{k+1} \rangle$ 。

(2) 设 s^* 为一个虚拟传感器代理,接收到 N 个联盟代理的提议后,评价这些提议。设该虚拟传感器跟踪 N 个目标时的适应度分别为 $\{q_1^*, q_2^*, \dots, q_N^*\}$,其中 q_j^* 表示对目标 t_j 跟踪时的适应度。若 s^* 满足 $k+1$ 时刻目标 t_j 的跟踪精度需求,则计算相应的适应度值,否则 $q_j^* = 0$ 。若 $q_j^* \geq 0$,则向联盟 e_j 的代理发起提议,表示其可以对目标进行跟踪,提议模型为 $\langle s^*, q_j^* \rangle$ 。

(3) 若联盟 e_j 的代理仅接收到 s^* 的提议,且 $q_j^* < q_j$,则令 $e_j = s^*$,联盟 e_j 组建结束,同时向其他联盟代理发送已接受 s^* 的提示。

(4) 若联盟 e_j 的代理同时接收到 f 个提议,其集合为 $\{\langle s_1^*, q_1^* \rangle, \langle s_2^*, q_2^* \rangle, \dots, \langle s_f^*, q_f^* \rangle\}$,评价这些提议,若 $\min\{q_1^*, q_2^*, \dots, q_f^*\} < q_j$,对应的虚拟传感器为 s^* ,向其他联盟代理发起接受 s^* 的提示,此时若未收到其他联盟代理将接受 s^* 或已接受 s^* 的提示,则令 $e_j = s^*$,联盟 e_j 组建结束。

(5) 若联盟 e_j 的代理将要接受传感器 s^* 时,收到其他联盟代理已接受 s^* 的提示,则选择 $\{\langle s_1^*, q_1^* \rangle, \langle s_2^*, q_2^* \rangle, \dots, \langle s_f^*, q_f^* \rangle\}$ 中的次优对象,回到步骤(3)。

(6) 若联盟 e_j 的代理将要接受 s^* 时,收到 $h-1$ 个联盟代理发送将接受 s^* 的提示,则 h 个联盟代理进行博弈,博弈集合为 $\{\langle e_1, q_1^* \rangle, \langle e_2, q_2^* \rangle, \dots, \langle e_h, q_h^* \rangle\}$,若 $q_j^* = \min\{q_1^*, q_2^*, \dots, q_M^*\}$,则 $e_j = s^*$,联盟 e_j 组建结束;否则 e_j 选择 $\{\langle s_1^*, q_1^* \rangle, \langle s_2^*, q_2^* \rangle, \dots, \langle s_f^*, q_f^* \rangle\}$ 中次优对象,回到步骤(3)。

本文算法在每次迭代过程中,共有 $2^M - 1$ 个虚

拟传感器针对 N 个目标分别计算一次适应度值,需要 $(2^M-1)N$ 次计算,故算法的复杂度为 $O(2^M N)$ 。

3.2 多传感器联盟更新及算法设计

在 k 时刻,联盟内部 e_j 有 m 个传感器,虚拟传感器共 2^m-1 个,集合为 $\{s_1, s_2, \dots, s_{2^m-1}\}$,处于闲置状态的传感器共 w 个,其虚拟传感器有 2^w-1 个,集合为 $\{s_1^*, s_2^*, \dots, s_{2^w-1}^*\}$ 。

若此时 $p_{k+1} > \hat{\sigma}_{k+1}$,可以通过用联盟外性能较好的传感器替换联盟性能差的传感器以提高跟踪精度。设 $s' \in \{s_1, s_2, \dots, s_{2^m-1}\}$ 、 $s^* \in \{s_1^*, s_2^*, \dots, s_{2^w-1}^*\}$,经计算, $e_j + s^* - s'$ 满足目标的跟踪精度需求, s^* 发出进入提议, s' 发出退出提议,联盟 e_j 代理 Agent 评价所有提议。若 $e_j + s^* - s'$ 的适应度值最小,则发出同意提议,用 s^* 替换 s' 。

若此时 $p_{k+1} \leq \hat{\sigma}_{k+1}$,可以通过用联盟外的传感器替换联盟内传感器以降低适应度值。经计算,若 $e_j + s^* - s'$ 后对目标的跟踪精度依然满足跟踪精度需求, s^* 发出进入提议, s' 发出退出提议,联盟 e_j 代理评价所有提议。若 $e_j + s^* - s'$ 的适应度值最小,且小于原来联盟方案适应度值,则发出同意的提议,用 s^* 替换 s' 。

k 时刻时 $p_{k+1} > \hat{\sigma}_{k+1}$,可以通过增加联盟内传感器个数提高跟踪精度,若经计算 $e_j + s^*$ 满足对目标的跟踪精度需求,则 s^* 发出进入提议,联盟 e_j 代理 Agent 评价所有提议。若 $e_j + s^*$ 适应度值最小,则发出同意提议, s^* 进入联盟。

k 时刻时 $p_{k+1} \leq \hat{\sigma}_{k+1}$,可以通过减少联盟内传感器个数降低传感器联盟适应度值。经计算, $e_j - s'$ 后依然满足跟踪精度需求,则发出退出提议,联盟 e_j 代理评价所有提议。若 $e_j - s'$ 适应度值最小,且小于 e_j 原来的适应度值,则发出同意提议, s' 退出联盟。

4 仿真试验

假定在 $k=0$ 时,同时有 3 枚导弹向我阵地中心 (1 000, 1 000) 飞来,3 枚导弹初始坐标分别为 (100, 800)、(300, 300)、(500, 100),坐标单位均为 km。导弹飞行速度分别为 720、1 080、1 800 km/h,方向为由初始位置指向我方阵地中心,作战态势如图 2 所示,传感器性能指标如表 1 所示。

在仿真过程中,首先按照式(3)计算在飞行过程中的 3 个目标跟踪精度需求的变化,其次对传感器联盟组建过程仿真,将本文算法与拍卖、粒子群算法进行对比,研究传感器联盟的更新过程,对整个联盟方案的变化情况和每个目标的传感器联盟变化过程

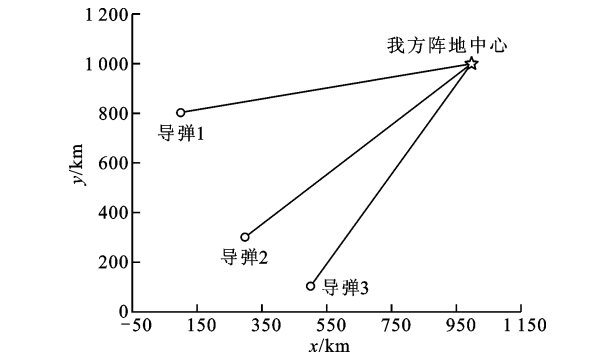


图 2 作战态势图

进行仿真,最后将本文传感器联盟预测更新方法和量测更新方法进行对比,说明了本文方法的优越性。

表 1 传感器性能指标

传感器	跟踪能力	x 方向标 准差/m	y 方向标 准差/m	相关 系数	相对 能耗
1	3	82.1	81.2	0.82	0.12
2	3	73.5	63.1	-0.74	0.23
3	3	75.7	72.3	0.78	0.28
4	3	66.3	33.6	-0.61	0.35
5	5	50.8	56.9	-0.65	0.44
6	3	44.1	48.1	0.74	0.55
7	3	30.4	37.6	0.87	0.67
8	3	22.3	28.6	-0.94	0.74
9	3	15.6	12.8	0.57	0.85
10	5	8.22	9.33	0.95	0.95

4.1 目标跟踪精度需求分析

已知目标初始位置和速度等信息,同时给定 $\alpha_0 = 80$ 、 $\beta_0 = 200$,计算每个目标威胁度随时间变化曲线如图 3 所示。已知目标威胁度,根据式(4),给定 $\alpha_1 = 50$ 、 $\sigma_0 = 3$,每个目标跟踪精度需求随时间的变化曲线如图 4 所示。

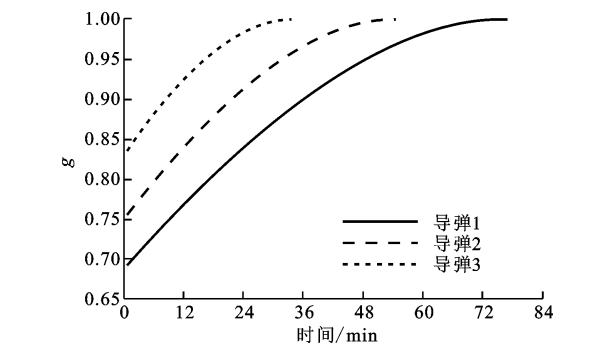


图 3 目标威胁度变化曲线

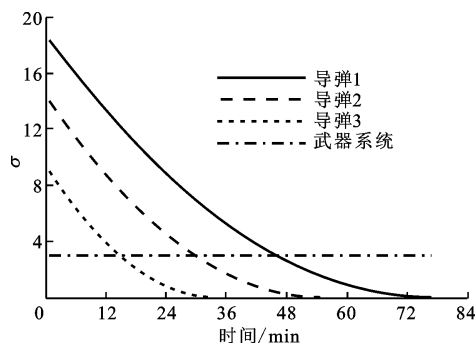


图4 目标跟踪精度需求变化曲线

4.2 传感器联盟组建过程仿真

采样周期 $T=0.6\text{ min}$ 、 $k=0$ 时首次探测到 3 个导弹的传感器分别为 s_6 、 s_8 、 s_9 ，由这 3 个传感器对导弹进行初步跟踪，探测关于导弹的位置、速度等信息，为传感器联盟的组建提供参考依据。当 $k=5T$ 时初次组建传感器联盟，此时经过预测，3 个导弹在 $k=6T$ 时刻的导弹跟踪精度需求分别为 16.92、12.52、7.46。

取 $\alpha_2=0.9$ 、 $\beta_2=0.1$ ，分别采用本文算法、拍卖算法^[10]和粒子群算法^[7]对传感器联盟方案求解，进行 50 次蒙特卡洛实验，其迭代曲线如图 5 所示。

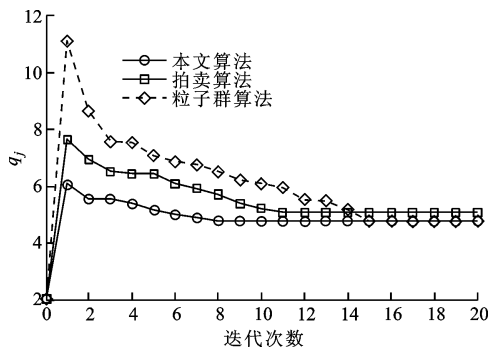


图5 联盟方案仿真迭代曲线

在计算机仿真过程中，记录各算法运行时间，可得本文算法进行时间为 12.01 s、拍卖算法为 20.25 s、粒子群算法为 37.63 s，本文算法求解速度最快，但由图 5 可知，粒子群算法联盟方案的适应度最低，计算时间超过采样周期 0.6 min，因此在 $k=6T$ 时未生成针对此刻作战态势的传感器联盟方案。

本文算法最终确定的传感器联盟方案为：联盟 1： s_2 ，适应度为 0.85，预测 $k=6T$ 时对目标 1 的跟踪精度为 13.23，满足要求；联盟 2： s_6 ，适应度为 1.21，预测 $k=6T$ 时对目标 2 的跟踪精度为 9.87，满足要求；联盟 3： s_7 、 s_8 ，适应度为 2.74，预测 $k=6T$ 时对目标 3 的跟踪精度为 4.27，满足要求，联盟方案总适应度为 4.80。

4.3 传感器联盟更新过程仿真

假定在 $k=70T$ 时，武器系统开始对目标 1 实施摧毁，对联盟 1 提出目标 1 的跟踪精度需求，在 $k=80T$ 时目标 1 被摧毁；在 $k=40T$ 时武器系统开始对目标 2 和目标 3 实施摧毁，分别对联盟 2、联盟 3 提出目标 2、目标 3 的跟踪精度需求，在 $k=50T$ 时目标 2 和目标 3 被摧毁。传感器联盟对 3 个目标的跟踪过程中，采用本文算法、拍卖算法和粒子群算法更新传感器联盟方案，不同时刻联盟方案适应度变化曲线如图 6 所示。

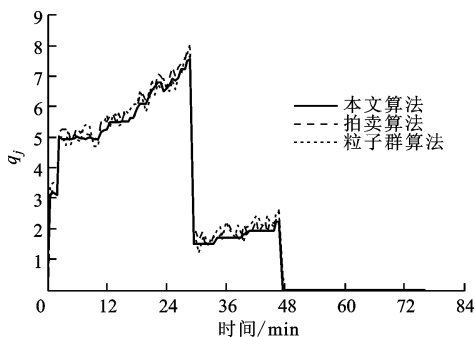


图6 联盟方案适应度变化曲线

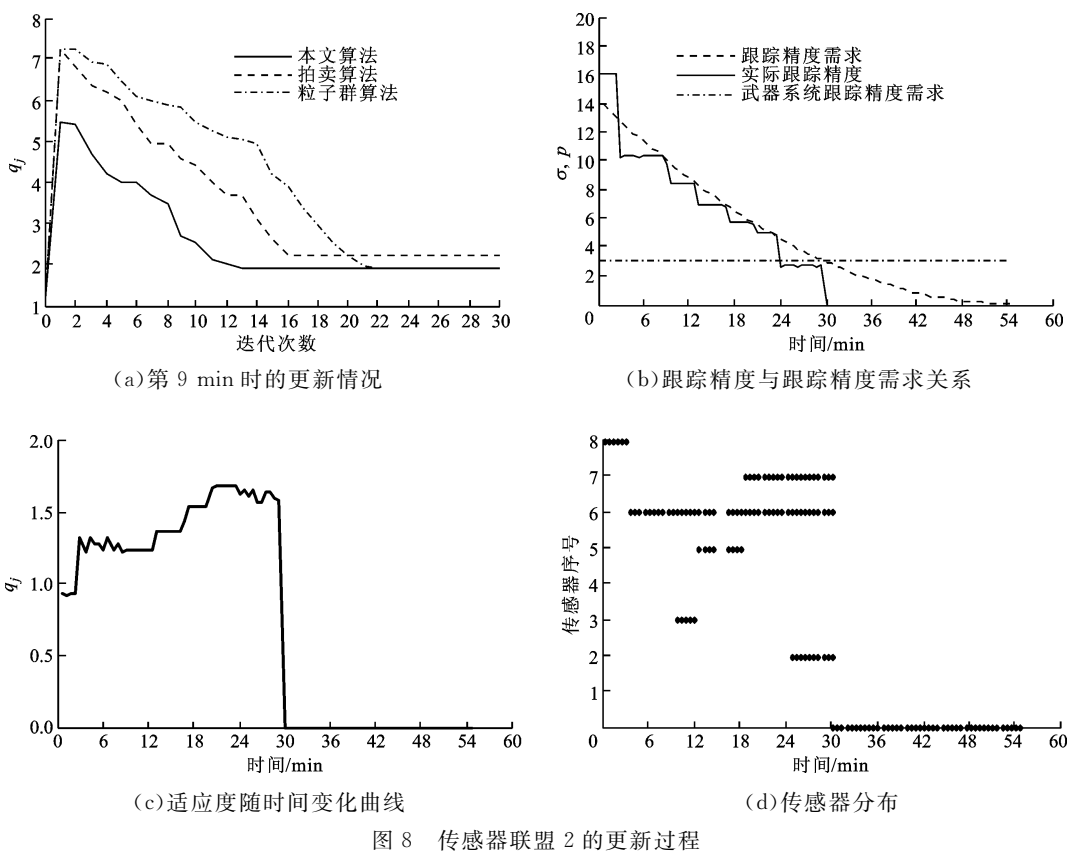
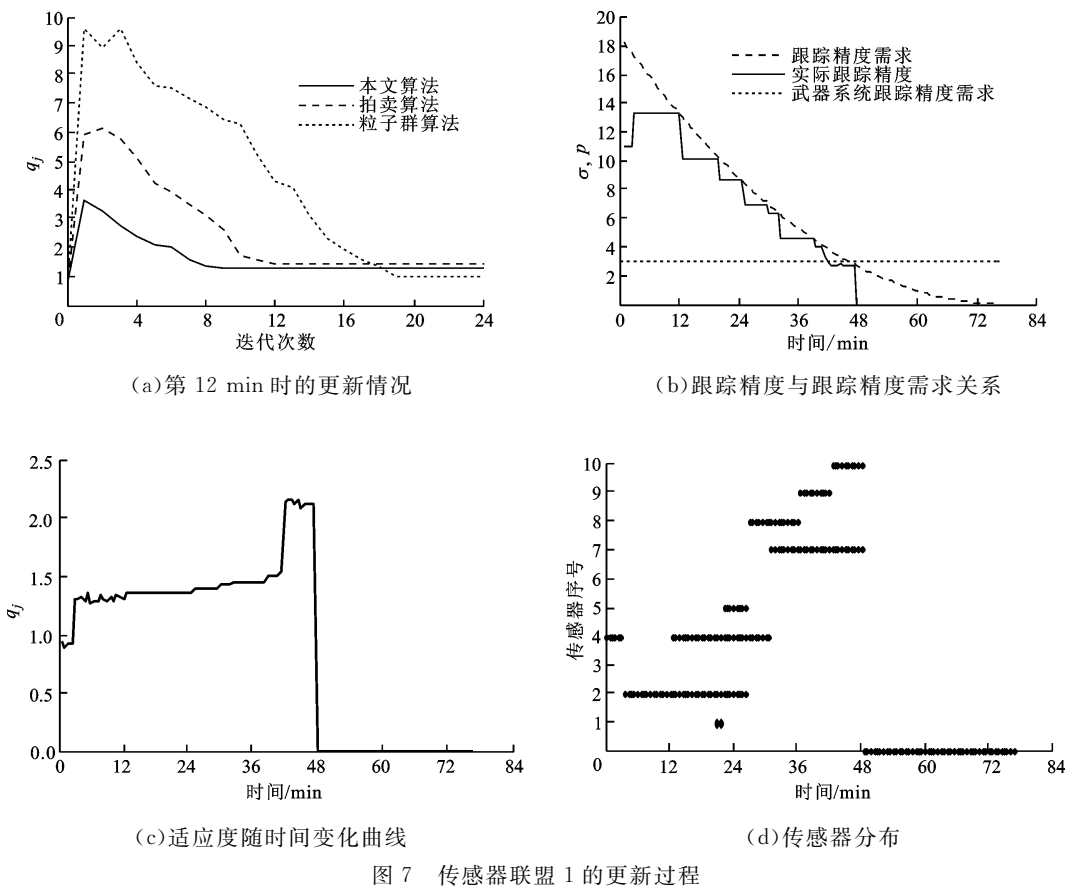
当作战态势变化时，以往方法是通过优化算法重新生成联盟方案，前后联盟方案毫无关联，而本文算法是通过传感器交叉提示的思想对传感器联盟方案进行更新。由图 6 可知，拍卖算法和粒子群算法波折较大，这是由频繁更换联盟内传感器引起的，本文算法在变化过程中较平稳。在计算机仿真过程中，本文算法传感器更换频率为 22、拍卖算法为 39、粒子群算法为 42，由此可知，采用本文方法更换传感器对系统造成的负担最小。

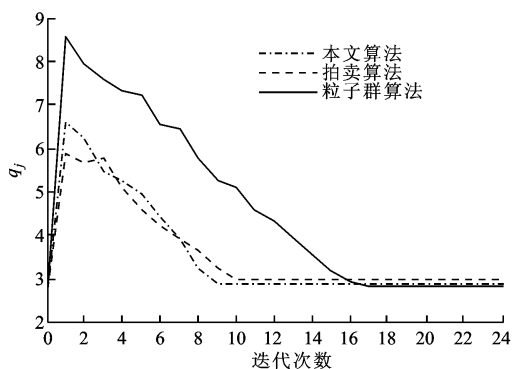
图 6 是由 3 个传感器联盟组成的传感器联盟方案总适应度，由于 3 个目标的作战态势改变时刻互不相同，有必要将 3 个传感器联盟分别讨论。传感器联盟 1~3 更新过程如图 7~9 所示。

4.4 预测更新与量测更新对比

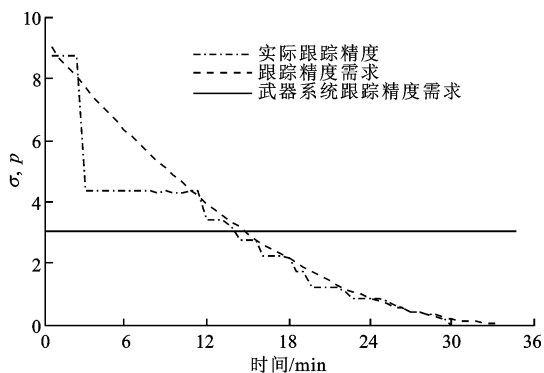
以跟踪目标 3 为例验证本文“预测更新”方法的优越性。分别采用本文“预测更新”思想与“量测更新”思想对目标 3 进行跟踪，传感器联盟方案更新过程中，目标的实际跟踪精度与跟踪精度需求关系如图 10 所示。

由图 10 可知，在作战态势变化较快的情况下，采用“预测更新”的方法更新传感器联盟存在时间延迟，采用“预测更新”的方法更新传感器联盟能够保证实际跟踪精度时时满足跟踪精度需求，但此种方法对预测精度要求较高。

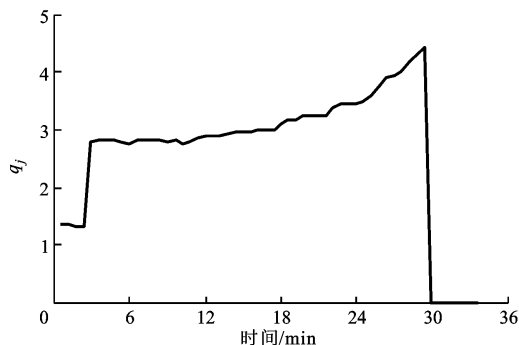




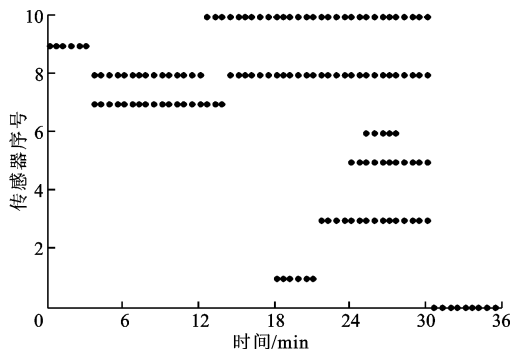
(a)第11.4 min时的更新情况



(b)跟踪精度与跟踪精度需求关系



(c)适应度随时间变化曲线



(d)传感器分布

图9 传感器联盟3的更新过程

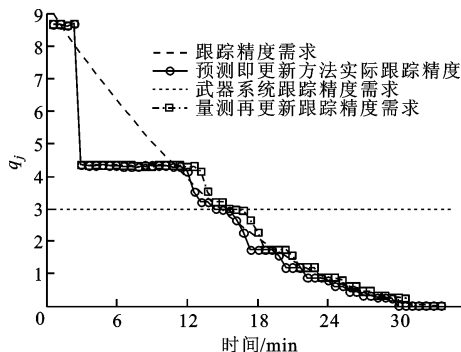


图10 两种方法跟踪精度的对比曲线

5 结论

本文主要研究多传感器交叉提示技术在传感器联盟中的应用问题。首先对跟踪精度进行定义并建立目标跟踪精度需求模型,在此基础上建立传感器联盟模型;其次在时间段内研究传感器联盟的动态控制过程,提出“预测更新”的传感器管理结构;最后设计基于多传感器交叉提示技术的传感器联盟组建及更新算法,并通过仿真实验验证了模型和算法的有效性。可得如下结论:

(1)分布式算法和集中式算法相比,分布式算法求解速度快,集中式算法求解质量略高,但以牺牲计

算时间为代价;

(2)当作战态势变化时,与以往通过分配算法重新求解联盟方案不同,多传感器交叉提示调整传感器联盟方案是对传感器的一个微观调整,可有效降低传感器更新频率;

(3)在作战态势变化较快的情况下,传统的“量测更新”传感器联盟的传感器管理方法可能失去实际意义,而“预测更新”方法更适用。

参考文献:

- [1] ZHANG G F, JIANG J G, XIA N, et al. Solutions of complicated coalition generation based on discrete particle swarm optimization [J]. Acta Electronica Sinica, 2007, 35(2): 323-327.
- [2] CHEN W, FU Y. Cooperative distributed target tracking algorithm in mobile wireless sensor networks [J]. Journal of Control Theory & Applications, 2011, 9(2): 155-164.
- [3] SHEN X J, VARSHNEY P K. Sensor selection based on generalized information gain for target tracking in large sensor networks [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2014, 62(2): 363-375.
- [4] KALANDROS M, PAO L Y. Covariance control for

multi-sensor systems [J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2002, 38(4): 1138-1157.

[5] HOANG H G, VO B T. Sensor management for multi-target tracking via multi-Beronoulli filtering [J]. Automatic, 2014, 50(2): 1135-1142.

[6] 赵建华, 张陵, 孙清. 利用粒子群算法的传感器优化布置及结构损伤识别研究 [J]. 西安交通大学学报, 2015, 49(1): 79-85.

ZHAO Jianhua, ZHANG Ling, SUN Qing. Optimal placement of sensors for structural damage identification using improved particle swarm optimization [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2015, 49(1): 79-85.

[7] SEVERSON T A, DEREK A P. Distributed multi-target search and track assignment with consensus-based coordination [J]. IEEE Sensors Journal, 2015, 15(2): 864-875.

[8] PANESCU D, PASCAL C. An extended contract net protocol with direct negotiation of managers [M] // Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing and Robotics. Berlin, Germany: Springer, 2014: 81-95.

[9] GUPTA A K, GALLASCH G E. Equivalence class verification of the contract net protocol extension [J]. International Journal on Software Tools for Technology Transfer, 2016, 18(6): 685-706.

[10] ZHONG L, HUANG Q, WU F. et al. TRADE: A truthful online combinatorial auction for spectrum allocation in cognitive radio networks [J]. Wireless Communication & Mobile Computing, 2015, 15(9): 1320-1330.

[11] 方德亮, 冉晓旻, 李鸥. 一种能量有效的分布式传感器管理算法 [J]. 西安电子科技大学学报(自然科学版), 2017, 44(2): 182-187.

FANG Deliang, RAN Xiaomin, LI Ou. Energy efficient distributed sensor management algorithm [J]. Journal of Xidian University, 2017, 44(2): 182-187.

[12] SEVERSON T A, DEREK A P. Distributed multi-target search and track assignment with consensus-based coordination [J]. IEEE Sensors Journal, 2015, 15(2): 864-875.

[13] BENTLEY E S, KONDI L P, MATYJAS J D. Effective resource management in visual sensor networks with MPSK [J]. Signal Processing Letters, 2013, 20(8): 739-742.

[14] ZHENG Y, OZDEMIR O, NIU R, et al. New conditional posterior Cramér-Rao lower bounds for nonlinear sequential Bayesian estimation [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2012, 60(10): 5549-5556.

(编辑 赵炜)

(上接第 83 页)

[15] YAMAGUCHI T, TANAKA K. Torque converter transient characteristics prediction using computational fluid dynamics [C] // 26th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems. Beijing, China: IAHR, 2012: 19-23.

[16] 王安麟, 刘伟国, 龙广成. 基于液力变矩器流固耦合的叶片厚度设计方法 [J]. 同济大学学报(自然科学版), 2015, 43(4): 599-604.

WANG Anlin, LIU Weiguo, LONG Guangcheng. Design method of blade thickness based on fluid-structure interaction of hydrodynamic torque converter [J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2015, 43(4): 599-604.

能的影响. 2017, 51(2): 140-148. [doi:10.7652/xjtuxb201702022]

王安麟, 章明犬, 李文嘉, 等. 采用装载机整机实验的液力变矩器性能匹配指标. 2015, 49(10): 54-60. [doi:10.7652/xjtuxb201510009]

王安麟, 孟庆华, 李文嘉, 等. 液力变矩器机构变量交互作用研究. 2015, 49(9): 1-7. [doi:10.7652/xjtuxb201509001]

王安麟, 孟庆华, 曹岩, 等. 液力变矩器的叶片数神经网络模型. 2015, 49(7): 11-16. [doi:10.7652/xjtuxb201507003]

刘小民, 赵嘉, 李典. 单圆弧等厚叶片前后缘多元耦合仿生设计及降噪机理研究. 2015, 49(3): 1-10. [doi:10.7652/xjtuxb201503001]

文键, 杨辉著, 王斯民, 等. 旋梯式螺旋折流板换热器优化结构的数值模拟. 2014, 48(11): 8-14. [doi:10.7652/xjtuxb201411002]

[本刊相关文献链接]

康蕊, 厉彦忠, 杨宇杰, 等. 轴向导热对板翅式换热器传热性

(编辑 赵炜 葛赵青)