

多传感器管理的目标分配问题蚁群算法研究

黄树采, 李为民, 李威

(空军工程大学导弹学院, 陕西三原 713800)

摘要: 多传感器管理的目标分配问题中如何使探测和跟踪效益最佳, 是非常重要的又十分困难的问题。分析了传感器管理的目标分配问题各种解算方法的特点及存在的问题, 结合蚁群算法思想, 提出了一种新型的目标分配算法模型, 并进行了算法仿真。仿真结果表明, 基于蚁群算法思想的目标分配算法是有效的, 特别是问题规模较大时更显示出其较快的收敛速度和较高的精度。

关键词: 多传感器管理; 目标分配; 蚁群算法

中图分类号: TN957.51 文献标识码: A 文章编号: 1009-3516(2005)02-0028-04

随着传感器技术、信号检测与处理以及计算机技术的迅速发展, 多传感器数据融合技术得到了广泛的应用。为了充分发挥多传感器数据融合系统的功能及性能, 必须在环境条件容许的情况下, 对有限的传感器资源进行科学合理的分配, 因此传感器管理应运而生, 并逐渐成为数据融合系统的一个重要组成部分。

多传感器管理的核心问题就是依据一定的准则, 以最优方法对传感器资源进行合理分配。Nash^[1]使用线性规划对被跟踪目标确定传感器的分配, David A Castaon^[2]采用传感器分配的多目标动态规划解决方案, 而 Keith Kastella^[3]则提出了一种基于信息熵和分辨力增益的传感器管理方法, 其实质上也是一种线性规划。然而, 多传感器多目标的最优分配, 不但约束复杂, 而且属于组合爆炸的 NP-hard 问题, 传统数学规划方法虽然在理论上能得到最优解, 但受到问题维数的制约往往无法满足实际要求。

蚁群算法是近几年发展起来的仿生算法, 它吸收了昆虫王国中蚂蚁的行为特性, 通过其内在的搜索机制, 在解决离散组合优化问题方面有着良好的性能^[4]。蚁群算法通过一个解空间的参数化概率分布模型产生候选解, 模型的参数用先前产生的解进行更新, 使得在新模型上的搜索能集中在高质量的解搜索空间内。蚁群算法的并行搜索能力和方便处理约束条件以及充分利用问题启发式信息的优点, 使得它在多传感器管理中具有良好的应用前景。

1 问题描述

在多目标环境中, 传感器对目标的优化分配这里采用最大信息增益的准则, 即传感器对目标的分配应使多传感器系统获得关于目标航迹最大的信息量。因为多传感器系统的资源有限, 所以需要考虑在传感器观测和跟踪能力有限的约束条件下, 实现传感器对目标的最优分配。

假定有 m 个基本传感器和 n 批目标。考虑到同一时刻不只一个传感器用于观测同一目标, 建立包含基本传感器组合的虚拟传感器^[1]。这样在一个给定时间内, 一个目标就只有一个“传感器”(基本或虚拟传感器)进行观测, 此时“传感器”的数目由 m 增加到了 $2^m - 1$ 。设传感器 i 对目标 j 配对的一步预测信息增益为 G_{ij} , 它是由传感器航迹数据的协方差确定的。同时需要考虑传感器搜索和跟踪目标能力的限制, 即在一定时间内不能超出传感器自身的最大跟踪容量。令基本传感器 i 最多可分配 $l_i (i=1, 2, \dots, m)$ 批目标, 而每批目标都必须且只能分配给一个传感器(基本或虚拟传感器); $U = \{U_1, U_2, \dots, U_{2^m-1}\}$, U_i 为分配给第 i 个传感

收稿日期: 2004-09-21

基金项目: 总装预研基金资助项目(00J4.1.5.JB3201)

作者简介: 黄树彩(1967-), 男, 湖北黄梅人, 副教授, 博士生, 主要从事系统测控与反导作战运筹研究;

李为民(1964-), 男, 甘肃民勤人, 教授、博士生导师, 主要从事军事运筹与系统工程研究。

器的目标集合; $J(i)$ 为包含基本传感器 i 的所有传感器组合的编号构成的整数集合。则目标优化分配问题的函数表达式为

$$\begin{aligned} \max Z &= \sum_{U_i \in U} \sum_{j \in U_i} G_{ij} \\ \text{st.} \quad &\begin{cases} \sum_{j \in J(i)} |U_j| \leq l_i & i = 1, 2, \dots, m \\ \sum_{j \in U} |U_j| = n \\ U_i \cap_{i \neq j} U_j = \emptyset & i = 1, 2, \dots, 2^m - 1; j = 1, 2, \dots, 2^m - 1 \end{cases} \end{aligned} \quad (1)$$

式中 $|U_j|$ 表示集合 U_j 中元素的个数。

式(1)对各种传感器目标分配组合求得总的信息增益,并从中选取最大的作为优化分配结果。式中的第一个约束条件保证了分配传感器所跟踪的目标数目不会超出每个基本传感器的最大跟踪容量。第二和第三个约束条件则保证了一个目标必须且只能分配给一个传感器(包括虚拟传感器)。

2 分配问题的蚁群算法设计

蚁群算法是意大利学者 Macro Dorigo 最早在国际上提出的,并用该算法求解 TSP 等问题,取得了较好的效果。应用蚁群算法求解多传感器多目标分配问题,针对问题的特点,对蚁群算法进行如下改进:

- 1) 传感器对目标配对的一步预测信息增益值看作蚂蚁的行进距离;
- 2) 解集被分解成与传感器数量相等的子集;
- 3) 蚂蚁路径选择规则分为目标到传感器的路径选择规则和目标到目标的路径选择规则,目标到传感器的路径选择不仅与节点间的距离和信息素强度有关而且与集合 U_i 中的节点个数有关,目标到目标的路径选择将执行随机选择策略;
- 4) 为满足所有目标都必须分配的约束条件,路径选择过程中可能需要从虚拟传感器的解集中随机地删除节点,再对未分配的目标节点(包括删除节点)进行路径选择;
- 5) 信息素强度采用全局最优值更新和局部更新相结合的更新规则。

2.1 路径选择规则

处在目标节点 r 的第 k 只蚂蚁将依据下式选择所要转移的传感器节点:

$$P_{rs}^k = \begin{cases} \frac{\tau_{rs} \cdot \eta_{rs}^\beta}{\sum_{u \in j_k} \tau_{ru} \cdot \eta_{ru}^\beta} & \text{如果 } s \in j_k \\ 0 & \text{否则} \end{cases} \quad (2)$$

其中 j_k 是可选择传感器的集合,即满足式(1)中约束条件的节点集合; τ_{ru} 表示节点 r 和 u 之间的信息素强度; η_{ru} 是蚂蚁搜索时的启发式信息值,分配时令 $\eta_{ru} = G_{ru}$; β 是启发式信息值的相对重要性。由式(1)可知,蚂蚁在选择路径时尽可能选择信息增益值高而且信息素强度大的方向。

蚂蚁完成一个目标节点向传感器节点的转移后,将从未分配的目标节点中随机选取下一个节点,按照上式实现新的目标节点到传感器节点的转移。

2.2 信息素强度更新规则

当所有蚂蚁完成一次搜索后,信息素强度全局更新规则为

$$\tau_{ru} \leftarrow (1 - \alpha) \tau_{ru} + \Delta \tau_{ru} \quad (3)$$

$$\Delta \tau_{ru} = \begin{cases} L/Q & \text{如果是路径}(r, u) \text{在当前已求出的最优路径上} \\ 0 & \text{否则} \end{cases} \quad (4)$$

其中: α 是路径上的信息素挥发系数; Q 是比例系数; L 是已求出的最大信息增益值。通过上式可以看出,只有构成全局最优路径的边才有机会增加信息素强度,其它边的信息素则由于挥发作用逐渐降低,因此搜索的目的性大大增强了。

局部更新规则在所有蚂蚁完成每一次转移后执行,局部更新用下式实现:

$$\tau_{rs} \leftarrow (1 - \rho) \tau_{rs} + \Delta \rho_{rs} \quad (5)$$

ρ 为区间(0,1)上的参数, $\Delta\tau_m = \tau_0$, τ_0 为信息素强度的初始值。局部更新的目的是适当降低蚂蚁所经过边的信息素强度,从而避免搜索过度集中而导致的搜索停滞。

2.3 算法步骤

procedure 目标分配问题的蚁群算法

 设置参数,初始化信息素强度;

 while(不满足中止条件时)

x 只蚂蚁随机地放在 x 个不同的目标节点上;

 for 蚁群中的每只蚂蚁:

 for 每个解构造步(直到构造出完整解):

 蚂蚁按信息素及启发式信息的指引构造一步问题的解;

 从剩下的目标节点中随机地选择下一个目标节点;

 进行信息素局部的更新;

 end

 end

 根据已获得的最优解进行全局信息素更新;

 end

 算法计算的复杂度为 $O(x \cdot (2^m - 1) \cdot n \cdot nc)$, 其中 nc 为算法迭代次数。

3 仿真实例

假定3个传感器(如多功能雷达)组成的防空监视系统,监视的空中目标共有12批($t_1 - t_{12}$),设每个传感器最多均可分配5批目标。用 s_1, s_2, \dots, s_7 表示包括虚拟传感器在内的7个“传感器”,其中 s_1, s_2, s_3 是基本传感器, $s_4 = \{s_1, s_2\}$, $s_5 = \{s_1, s_3\}$, $s_6 = \{s_2, s_3\}$, $s_7 = \{s_1, s_2, s_3\}$ 。传感器对目标配对的信息增益值如表1所示(由防空 C³I 系统提供)。

经反复参数设置试验,目标分配蚁群算法参数设置为 $\beta = 1.5, \alpha = 0.1, \rho = 0.1, Q = 30, x = 10, \tau_0 = 0.2 \times \max G_{ij}$,编程计算得到目标分配结果为

$$U_1 = \{t_2, t_{12}\}$$

$$U_2 = \{t_1, t_4, t_8, t_{10}, t_{11}\}$$

$$U_3 = \{t_6, t_7\}$$

$$U_5 = \{t_3, t_5, t_9\}$$

表1 传感器对目标的一步信息增益值

传感器	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9	t_{10}	t_{11}	t_{12}
s_1	1.95	1.74	2.01	2.31	2.54	2.35	1.74	1.61	2.21	2.14	1.64	2.17
s_2	2.48	1.78	1.98	2.88	3.13	1.48	1.85	2.38	1.88	3.00	2.35	1.38
s_3	1.14	0.64	0.64	1.22	1.27	1.74	1.42	0.98	1.72	1.25	1.62	1.24
s_4	3.49	2.74	3.03	3.97	4.25	3.79	2.74	2.73	3.57	3.65	2.94	2.83
s_5	3.08	2.38	2.65	3.54	3.82	2.08	2.58	2.45	3.94	3.72	2.58	2.55
s_6	2.95	2.14	2.36	3.37	3.63	3.55	2.14	2.86	3.17	3.23	2.35	2.36
s_7	4.97	3.10	3.39	4.45	4.75	4.47	3.00	3.25	4.75	4.75	3.26	3.19

蚂蚁最佳进化曲线如图1所示。由迭代过程可知大约经过35次迭代计算后获得目标分配的满意解。从编程调试过程和计算结果可以看到,算法寻优时在满足约束条件限制的前提下,总是试图把目标分配给传感器组合,这与现代防空作战传感器组网联合探测目标的目的是相吻合的。

4 结束语

蚂蚁算法是一种本质并行的算法,蚂蚁搜索的过程彼此独立,蚂蚁之间只通过信息素进行简单的通讯。并行计算可以显著减少计算时间,同时蚂蚁算法又是一种正反馈算法,可以使得搜索很快收敛。防空监视多传感器对目标分配的仿真实例充分说明了蚁群算法处理多传感器管理的多目标最优分配问题的有效性。

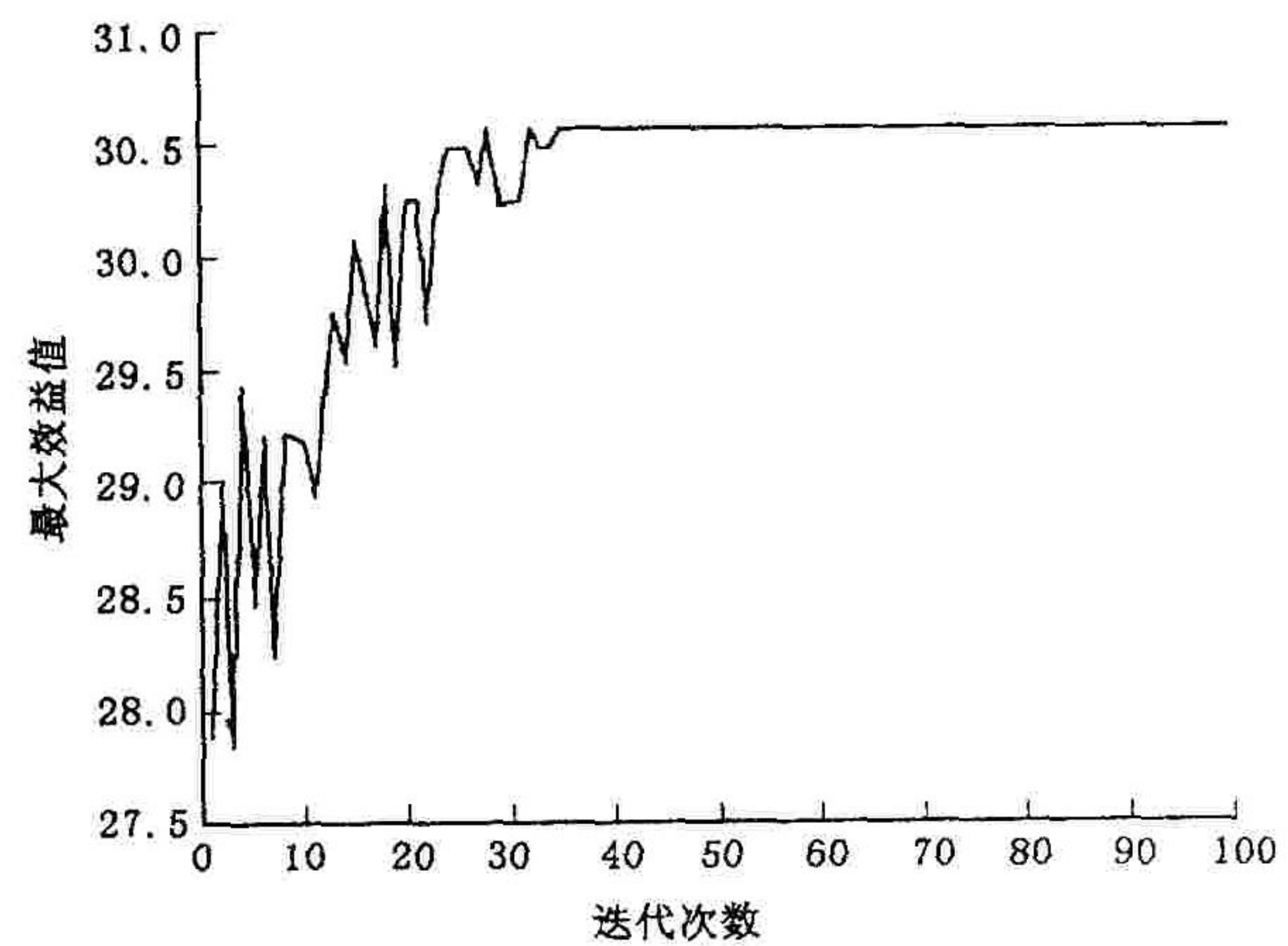


图1 蚂蚁最佳进化曲线

参考文献:

- [1] Nash J M . Optimal Allocation of Tracking Resource([EB/OL]. [http://www. go. con,02,7,2002](http://www.go.con,02,7,2002).
- [2] David A CastaAon. Approximate Dynamic Programming for Sensor Management ([EB/OL]. [http://www. go. con,02,7,2002](http://www.go.con,02,7,2002).
- [3] Keith Kastella. Discrimination Gain to Optimize Detection and Classification[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part - A, 1997, 27(1):112 - 116.
- [4] Dorigo M, Maniezzo V, Colomi A. The Ant System; Optimization by a Colony of Cooperating Agents[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part - B, 1996, 26(1):29 - 41.
- [5] 荆清华,王颖龙,刘付显. 多型号武器的目标优化分配问题研究[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2003, 4(4):22 - 24.

(编辑:田新华)

Multisensor Management with Ant Colony Algorithm for Solving

Target Assignment Problem

HUANG Shu - cai, LI Wei - min, LI Wei

(The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan, Shaanxi 710038, China)

Abstract: Target assignment problem for maximizing the detecting and tracking effectiveness is a very important and difficult problem in multisensor management system. Manifold algorithms for solving this problem are discussed first, based on ant colony algorithm, a new method is put forward then. The algorithm simulation is given in the end, the result shows this new target assignment method is effective, especially for the problem of large scale target assignment this new method shows faster constringeney rate and higher precision.

Key words: multisensor management; target assignment; ant colony algorithm