

引用格式:孙盛智,侯妍,裴春宝.面向作战需求的卫星应用装备组合优化研究[J].电光与控制,2018,25(5):7-11,16. SUN S Z, HOU Y, PEI C B. Optimized combination of satellite application equipment addressing operational requirements[J]. Electronics Optics & Control, 2018, 25(5):7-11, 16.

面向作战需求的卫星应用装备组合优化研究

孙盛智^{1,2}, 侯妍², 裴春宝³

(1. 公安海警学院, 浙江 宁波 315801; 2. 航天工程大学, 北京 101416;
3. 西藏大学, 拉萨 850000)

摘要: 卫星应用装备组合是提升作战能力的倍增器,传统意义上仅仅依据作战需要,增加卫星应用装备数量,而没有对卫星应用装备组合进行优化处理,造成卫星应用装备的重复配置。提出面向作战需求的卫星应用装备组合优化算法,通过对卫星应用装备组合进行优化处理,并对其作战效能进行评估,判断卫星应用装备组合是否最优,以免造成资源浪费。最后通过实例分析,验证卫星应用装备组合优化算法,构建最优卫星应用装备组合方案。

关键词: 卫星应用装备; 优化算法; 作战效能评估; 组合方案

中图分类号: E82 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-637X.2018.05.002

Optimized Combination of Satellite Application Equipment Addressing Operational Requirements

SUN Sheng-zhi^{1,2}, HOU Yan², PEI Chun-bao³

(1. China Maritime Police Academy, Ningbo 315801, China; 2. Space Engineering University, Beijing 101416, China;
3. Tibet University, Lhasa 850000, China)

Abstract: The combination of satellite application equipment is the multiplier for improving operational capabilities. Traditionally, only the number of satellite application equipment is increased according to the operational needs, rather than optimizing the combination of satellite application equipment, which may cause repetitive configuration of satellite application equipment. This paper puts forward an optimizing algorithm for satellite application equipment combination to address operational needs. To achieve the purpose of avoiding the waste of resources, the combination of satellite application equipment is processed and optimized, its operational effectiveness is evaluated, and whether it is optimal is determined. Through a case analysis, the combination-optimizing algorithm of satellite application equipment is verified, and the optimal combination scheme of satellite application equipment is constructed.

Key words: satellite application equipment; optimizing algorithm; operational effectiveness evaluation; combining scheme

0 引言

卫星应用装备是利用卫星发挥或增强作战效能的武器装备的统称^[1]。卫星应用装备是实施太空信息支援联合作战的纽带,使得太空信息融入联合作战体系的前提^[2]。而卫星应用装备组合主要目的是降低卫星应用装备之间的耦合,提高卫星应用装备之间太空信

息资源的共享程度和使用效益,卫星应用装备组合优化是消除卫星应用装备重复配置、最大限度提升太空信息资源利用率的基础^[3]。

1 卫星应用装备组合优化需求分析

信息共享是多个信息用户通过网络或其他媒介共同利用同一个信息资源的活动^[4]。通常情况下,卫星应用装备组合仅仅是从装备自身考虑,而与作战任务无关,因此对卫星应用装备组合进行优化,是面向作战设计卫星应用装备组合的前提^[5-6],是实现信息共享的基础。太空信息资源满足率和利用率是判断太空信息资源是否满足作战需求和描述太空信息资源使用效率的

收稿日期:2018-01-11 修回日期:2018-03-16

基金项目:国家自然科学基金(61401105);国防重点预研基金(9140A22010114KG02067)

作者简介:孙盛智(1985—),男,山东诸城人,博士生,讲师,研究方向为太空信息支援。

基本参数^[7]。假设组合后的卫星应用装备 $SD_k \in SD^*$, 其提供的太空信息资源数量为 c_k , 而作战对该太空信息资源的需求量为 b_k , 则卫星应用装备 SD_k 的太空信息资源满足率 η_k 为

$$\eta_k = \begin{cases} 1 & c_k \geq b_k \\ \frac{c_k}{b_k} \times 100\% & c_k < b_k \end{cases} \quad (1)$$

式中: 当 $c_k > b_k$ 时, 表示太空信息资源完全可以满足作战任务需求且有盈余; 当 $c_k < b_k$ 时, 表示太空信息资源不能满足作战任务需求; 当 $c_k = b_k$ 时, 表示太空信息资源恰好满足作战需求, 既不冗余也不短缺。

同样可以得到卫星应用装备 SD_k 的太空信息资源利用率 τ_k 为

$$\tau_k = \begin{cases} 1 & c_k \leq b_k \\ \frac{b_k}{c_k} \times 100\% & c_k > b_k \end{cases} \quad (2)$$

式中: 当 $c_k > b_k$ 时, 表示卫星应用装备 SD_k 提供的太空信息资源对于作战需求尚有冗余, 可以满足作战需求; 当 $c_k < b_k$ 时, 表示作战对太空信息资源需求量大于卫星应用装备提供的太空信息资源数量, 难以满足作战需求; 当 $c_k = b_k$ 时, 表示作战对太空信息资源需求量等于卫星应用装备提供的太空信息资源数量, 恰好满足作战需求。

2 面向作战需求的卫星应用装备组合优化算法

2.1 面向作战需求的卫星应用装备组合优化过程

卫星应用装备组合优化过程如下所述。

2.1.1 初始卫星应用装备组合优化

假设卫星应用装备 $SD_i \in SD$ 与任意 $SD_j \in SD'$ ($j = m+1, m+2, \dots, m+n$) 进行组合, 其中, 卫星应用装备 SD_i 的太空信息资源冗余 ($c_i > b_i$), SD_j 的太空信息资源短缺 ($c_j < b_j$), 则二者组合后, 卫星应用装备 SD_i 对于 SD_j 可以共享的太空信息资源数量为 Δc_{ij} , 即

$$\Delta c_{ij} = (c_i - b_i) \times \alpha_{ij} \quad (3)$$

式中, α_{ij} 为卫星应用装备 SD_i 和 SD_j 的相似度, 即二者之间可以共享太空信息资源的综合可用度。

同样可以得到卫星应用装备 SD_i 和 SD_j 组合后的太空信息资源满足率为 η_{ij} , 即

$$\eta_{ij} = \frac{c_j + b_i + \Delta c_{ij}}{b_i + b_j} \quad (4)$$

对于卫星应用装备 SD_j 而言, SD_i 对其共享的太空信息资源不可能全部使用(其可用度为 α_{ij})。因此, 卫星应用装备组合后的太空信息资源综合利用率不可能为 1。考虑到太空信息资源共享以后可能还会有冗

余, 则卫星应用装备 SD_i 和 SD_j 组合以后太空信息资源的综合利用率为 τ_{ij} , 即

$$\tau_{ij} = \begin{cases} \frac{c_j + b_i + \Delta c_{ij}}{c_i + c_j} & c_j + \Delta c_{ij} \leq b_j \\ \frac{c_j + c_i - \frac{1}{\alpha_{ij}} \times (\Delta c_{ij} - (b_j - c_j))}{c_i + c_j} & c_j + \Delta c_{ij} > b_j \end{cases} \quad (5)$$

卫星应用装备 SD_i 和任意 $SD_j \in SD'$ ($j = m+1, m+2, \dots, m+n$) 有 n 种组合方案, 如果所有组合方案的太空信息资源满足率 $\eta_{ij} < 1$, 表明卫星应用装备组合后尚不能满足作战对太空信息资源的需求, 则选择太空信息资源满足率最大的组合方案即 $\eta_{ij}^* = \max_{1 \leq j \leq m} \{\eta_{ij}\}$, 对应的卫星应用装备组合为 SD_{i^*} ; 如果存在 r 个太空信息资源满足率 $\eta_{ij}^l = 1$ ($l = 1, 2, \dots, r$), 则选择太空信息资源综合利用率最大的卫星应用装备组合方案即 $\tau_{i^*j} = \max_{1 \leq l \leq r} \{\tau_{ij}^l\}$, 表明在满足太空信息资源需求的前提下, 选择冗余数量最小的卫星应用装备组合方案为 SD_{i^*} 。

需要注意的是, 在一次迭代过程中, 下一个卫星应用装备 $SD_{i+1} \in SD$ 不再与当前已经被合并的卫星应用装备 SD_j 进行组合, 仅考虑集合 SD' 中未参加本次组合的其他卫星应用装备。

2.1.2 卫星应用装备组合优化结果分析

如果卫星应用装备 $SD_i \in SD$ 和 $SD_j \in SD'$ 是最优的组合方案, 并且太空信息资源满足率 $\eta_{i^*j} = 1$, 表明该卫星应用装备组合后太空信息资源可以满足作战需求且尚有盈余, 则将 SD_i 和 SD_j 组合后归并到集合 SD 中, 对应的太空信息资源满足率 $\eta_{i^*} = \eta_{i^*j} = 1$, 更新卫星应用装备集合 SD 和 SD' , 即 $SD \leftarrow SD \cup SD_{i^*} / \{SD_i\}$, $SD' \leftarrow SD' \setminus \{SD_j\}$ 。

如果卫星应用装备 $SD_i \in SD$ 和 $SD_j \in SD'$ 是最优的组合方案, 并且太空信息资源满足率 $\eta_{i^*j} < 1$, 表明该卫星应用装备组合后太空信息资源不能满足作战需求, 则将 SD_i 和 SD_j 组合后归并到集合 SD' 中, 对应的太空信息资源满足率 $\eta_{i^*} = \eta_{i^*j} = \max_{1 \leq j \leq m} \{\eta_{ij}\}$, 更新卫星应用装备集合 SD 和 SD' , 即 $SD \leftarrow SD / \{SD_i\}$, $SD' \leftarrow SD' \cup SD_{i^*} \setminus \{SD_j\}$ 。

如果卫星应用装备 $SD_i \in SD$ 和 $SD_j \in SD'$ 是最优的组合方案, 并且太空信息资源满足率 $\eta_{i^*j} = 1$, 表明该卫星应用装备组合后太空信息资源正好满足作战需求, 但是没有能力提供“额外”的太空信息资源, 则该组合退出优化过程, 更新卫星应用装备集合 SD 和 SD' , 即 $SD \leftarrow SD / \{SD_i\}$, $SD' \leftarrow SD' \setminus \{SD_j\}$ 。

2.1.3 迭代

如果集合 SD 和 SD' 中卫星应用装备全部被遍历, 表明一次迭代过程结束; 如果一次迭代完成以后, 卫星

应用装备集合 SD 和 SD' 中的元素为空,表明所有卫星应用装备组合经过优化后,太空信息资源均可以满足作战需求或者不能满足作战需求,则得到当前最优的卫星应用装备组合方案。如果集合 SD 和 SD' 中的元素不为空,表明卫星应用装备组合通过优化后,还存在太空信息资源冗余或缺乏的卫星应用装备,需要进一步优化迭代。

1) 卫星应用装备组合后的太空信息资源满足率 $\eta_{j^*} < 1$ 。

假设 $SD_j \in SD'$ 与 r 个 $SD_i \in SD (i=1,2,\dots,r)$ 进行组合后的卫星应用装备集合为 SD_{j^*} ,其太空信息资源满足率 $\eta_{j^*} < 1$,表明卫星应用装备组合 SD_{j^*} 还处于“饥饿”状态,只有继续与太空信息资源冗余的卫星应用装备进行组合才有可能满足其资源需求,则第 r 个卫星应用装备 $SD_r \in SD$ 与 SD_{j^*} 组合后可以共享的太空信息资源数量为 Δc_j^r ,即

$$\Delta c_j^r = \sum_{i=1}^r (c_i - b_i) \times \alpha_{ij} \quad (6)$$

式中, α_{ij} 为卫星应用装备 SD_i 与 SD_j 的太空信息资源综合可用度。

同理,得到多个卫星应用装备组合的太空信息资源满足率 η_j^r ,即

$$\eta_j^r = \frac{c_j + \sum_{i=1}^r b_i + \Delta c_j^r}{\sum_{i=1}^r b_i + b_j} \quad (7)$$

同理,得到 r 个卫星应用装备与 SD_j 组合后的太空信息资源综合利用率 τ_j^r ,即

$$\tau_j^r = \begin{cases} \frac{c_j + \sum_{i=1}^r b_i + \Delta c_j^r}{\sum_{i=1}^r c_i + c_j} & c_j + \Delta c_j^r \leq b_j \\ \frac{c_j + \sum_{i=1}^r c_i - \frac{1}{\alpha_{ij}} \times (\Delta c_j^r - (b_i - c_j))}{\sum_{i=1}^r c_i + c_j} & c_j + \Delta c_j^r > b_j \end{cases} \quad (8)$$

2) 卫星应用装备组合后的太空信息资源满足率 $\eta_{i^*} = 1$ 。

假设 $SD_j \in SD'$ 与 r 个 $SD_i \in SD (i=1,2,\dots,r)$ 进行组合后的卫星应用装备集合为 SD_{i^*} ,能够满足其太空信息资源需求且有盈余即 $\eta_{i^*} = 1$,并与当前太空信息资源短缺的卫星应用装备 $SD_k \in SD'$ 再次进行组合,已知 r 个卫星应用装备可以提供给 SD_k 的太空信息资源数量为 $\Delta c_i^r = \sum_{i=1}^r (c_i - b_i) \times \alpha_{ij}$,则 SD_{i^*} 可以向 SD_k 提供的最多共享太空信息资源数量为 Δc_{i^*k} ,即

$$\Delta c_{i^*k} = (\Delta c_i^r - (b_j - c_j)) \times \alpha_{i^*k} \quad (9)$$

式中: $\alpha_{i^*k} = \max_{1 \leq i \leq r} \alpha_{ik}$,表明在 SD_{i^*} 当前合并的 r 个卫星应用装备中,选择对于 SD_k 太空信息资源可用度最大且尚有冗余的卫星应用装备,实现太空信息资源共享的最大化。

卫星应用装备集合 SD_{i^*} 与 SD_k 组合后太空信息资源的综合满意度为 η_{i^*k} ,即

$$\eta_{i^*k} = \frac{c_j + c_k + \sum_{i=1}^r b_i + \Delta c_{i^*k}}{b_j + b_k + \sum_{i=1}^r b_i} \quad (10)$$

考虑到卫星应用装备组合后太空信息资源可能冗余,则卫星应用装备集合 SD_{i^*} 与 SD_k 组合后太空信息资源综合利用率为 τ_{i^*k} ,即

$$\tau_{i^*k} = \begin{cases} \frac{c_j + c_k + \sum_{i=1}^r b_i + \Delta c_{i^*k}}{c_j + c_k + \sum_{i=1}^r c_i} & c_j + c_k + \Delta c_{i^*k} \leq b_j + b_k \\ \frac{c_j + c_k + \sum_{i=1}^r c_i - \frac{1}{\alpha_{ij}} \times (\Delta c_{i^*k} - (b_k - c_k))}{c_j + c_k + \sum_{i=1}^r c_i} & c_j + c_k + \Delta c_{i^*k} > b_j + b_k \end{cases} \quad (11)$$

当然卫星应用装备 SD_k 也可以看作是卫星应用装备集合,同样也可以得到卫星应用装备组合后的太空信息资源满足率和综合利用率,因此,卫星应用装备组合优化的实质就是实现卫星应用装备之间太空信息资源共享的最大化。当卫星应用装备集合 SD 和 SD' 中元素为空,表示没有可以提供冗余太空信息资源的卫星应用装备,或表示卫星应用装备组合后的太空信息资源可以满足作战需求,输出最优的卫星应用装备组合方案。

2.2 卫星应用装备组合作战效能评估

卫星应用装备组合优化的目的就是提高卫星应用装备之间太空信息资源共享的程度和范围,避免卫星应用装备配置不均衡的情况,提升卫星应用装备作战效能^[8]。通过卫星应用装备组合优化,可以减少卫星应用装备的整体规模,以太空信息保障人员数量为基准,对卫星应用装备组合作战效能进行评估^[9]。

假设 SD^* 是若干个卫星应用装备组合成的一个集合,并且 $SD_j \in SD^*$ 是太空信息资源冗余的卫星应用装备; $SD_h \in SD^*$ 是太空信息资源短缺的卫星应用装备,且 SD_j 和 SD_h 的太空信息资源综合可用度为 α_{jh} ;卫星应用装备 SD_j 和 SD_h 领域内编配的太空信息支援保障小组数量分别为 m_j^o 和 m_h^o ,且任意太空信息支援保障小组配置的人员数量分别为 A_j 和 A_h ,那么卫星应用装备 SD_j 和 SD_h 组合配置的保障人员数量为 N^o ,即

$$N^o = \sum A_l \times m_l^o \quad l = j, h \quad (12)$$

武器装备作战单元 i 在卫星应用装备 SD_j 和 SD_k 领域内需要支援的装备编号分别为 o_{ijk} 和 o_{ikr} ($k=1,2,\dots,K; r=1,2,\dots,R$), 且装备 o_{ijk} 和 o_{ikr} 在 SD_j 和 SD_k 领域内需要支援的时间分别为 t_{ijk} 和 t_{ikr} ; 在任务执行过程中太空信息支援单元的有效工作时间为 t_e , 则 SD_j 和 SD_k 完成本领域内信息支援任务所需要编配的实际太空信息支援保障小组分别为 m_j 和 m_k , 即

$$\begin{cases} m_j = \frac{\sum_{k=1}^K t_{ijk}}{A_j \times t_e} \\ m_k = \frac{\sum_{r=1}^R t_{ikr}}{A_k \times t_e} \end{cases} \quad (13)$$

由于 SD_j 是太空信息资源冗余的卫星应用装备, 即 $m_j^0 > m_j$; SD_k 是太空信息资源短缺的卫星应用装备, 即 $m_k^0 < m_k$, 因此, 太空信息资源冗余的 SD_j 可以“支援” SD_k 的保障小组的数量为 $m_j^0 - m_j$ 。尽管同一类型的卫星应用装备之间具有较好的通用性, 但是组合人员的技能一般不会比本专业人员更熟练, 对于武器装备 o_{ijk} 而言, SD_j 比 SD_k 人员的效率更高, 采用卫星应用装备相似度来描述 SD_j 和 SD_k 之间的差异, 那么 SD_k 实际可以得到 SD_j 支援的保障小组的数量为 Δm_k , 即

$$\Delta m_k = (m_j^0 - m_j) \times A_j \times \alpha_{jk} / A_k \quad (14)$$

1) $m_k - m_k^0 > \Delta m_k$, 表明 SD_k 得到 SD_j 的 Δm_k 个小组的支援之后, 还不能满足太空信息资源需求, 但从一定程度上减少了卫星应用装备组合保障人员的整体规模, 其数量为 $\Delta A = \Delta m_k \times A_k$ 。

2) $m_k - m_k^0 < \Delta m_k$, 表明 SD_k 得到 SD_j 的 Δm_k 个小组的支援之后, 能够满足太空信息资源需求且有盈余, 减少卫星应用装备组合保障人员的整体规模, 其数量为 $\Delta A = (m_k - m_k^0) \times A_k$ 。

3) $m_k - m_k^0 = \Delta m_k$, 表明 SD_k 得到 SD_j 的 Δm_k 个小组的支援之后, 刚好满足太空信息资源需求, 但是这种情况属于小概率事件。

3 实例分析

3.1 作战背景描述

以空中攻击为作战背景, 即飞机从空中对空中目标或对地面目标、水面、水下目标进行射击与轰炸^[10]。本文以航空兵部队对水面舰艇进行远程攻击为例。

基本想定: 蓝方出动水面舰艇编队欲攻击红方重要军事目标, 红方侦察卫星发现蓝方舰艇编队的活动迹象, 并对目标周围海域进行搜索, 意图在蓝方舰艇编队发动攻击前, 出动航空兵部队对其进行攻击, 消灭威胁。

方案设计: 红方依靠海洋环境监测卫星和气象卫

星探测蓝方舰艇编队水域的水文气象情况, 判断战场环境是否满足实施远程精确打击, 运用各类成像、电子、雷达侦察卫星实时监视蓝方水面舰艇编队的航向、航速, 红方作战指挥员通过卫星通信下达作战命令给航空兵部队, 航空兵部队到达指定位置后, 依靠侦察和测绘卫星获取蓝方舰艇编队具体位置, 在导航定位卫星的支持下, 发射远程空射巡航导弹, 对蓝方进入打击圈的水面舰艇编队实施精确打击。

作战想定模拟如图1所示。

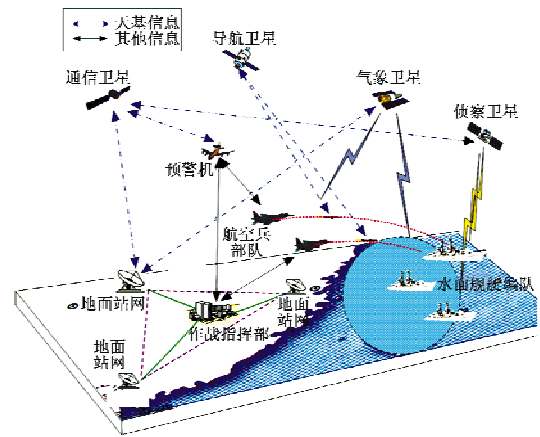


图1 作战想定模拟图

Fig. 1 Simulated diagram of combat scenario

3.2 卫星应用装备组合优化分析

根据红方航空兵部队的作战需求, 其太空信息支援力量的卫星应用装备作战编成如表1所示, 由于涉及的卫星应用装备类型较多, 本文仅列出部分类型。如果将支援航空兵部队实施作战的太空信息支援力量看作一个整体, 则主要考虑同类型卫星应用装备之间的编配、数量等, 太空信息支援力量的卫星应用装备类型众多、协同关系复杂, 不可避免带来卫星应用装备功能上的相似性和交叉性, 在一定程度上增加了太空信息支援的难度。

表1 卫星应用装备类型表

Table 1 Satellite application equipment types

功能类型	卫星应用装备组合	侦察监视卫星应用装备类型
信息获取类	侦察监视卫星应用 装备组合	S_{11}
		S_{12}
		S_{13}
		S_{14}
信息传输类	:	:
时空基准类		
综合类		

以侦察监视卫星应用装备 S_{11} , S_{12} , S_{13} 和 S_{14} 组合为例进行对比和分析。卫星应用装备组合优化的基本思想是在满足作战对太空信息资源需求的前提下, 选择太空信息资源综合利用率最大的卫星应用装备组合方

案。按照3.1节卫星应用装备组合结果,对其优化过程进行分析。本次作战行动中卫星应用装备提供的太空信息资源数量和作战实际需求的太空信息资源数量如表2所示。

表2 卫星应用装备太空信息资源配置和需求表
Table 2 Space information resource allocation and demand

	侦察监视卫星应用装备			
	S_{11}	S_{12}	S_{13}	S_{14}
提供太空信息资源数量 a_i	250	260	80	200
太空信息资源需求数量 b_i	300	180	110	160
太空信息资源满足率 η_i	0.83	1	0.72	1

假设卫星应用装备组合 $SD^* = \{S_{11}, S_{12}, S_{13}, S_{14}\}$, 按照式(1)可以得到各卫星应用装备太空信息资源的满足率 η_i , 如表2所示。根据卫星应用装备组合优化过程,按照太空信息资源是否满足作战需求,将组合 SD^* 划分为子集合 SD 和 SD' , 即 $SD^* = SD \cup SD'$ 。其中: $SD = \{S_{12}, S_{14}\}$, 是太空信息资源满足作战需求且略有盈余的卫星应用装备集合; $SD' = \{S_{11}, S_{13}\}$, 是太空信息资源不能满足作战需求的卫星应用装备集合。然后选择 SD 中卫星应用装备与 SD' 中任意卫星应用装备进行组合,并按照式(4)和式(5)分析卫星应用装备组合太空信息资源的满足率 η_{ij} 和综合利用率 τ_{ij} , 以卫星应用装备组合 $\{S_{12}, S_{11}\}$ 为例进行分析, 即 $\eta_{ij} = 1.025 > 1, \tau_{ij} = 0.95$ 。

同理,可以得到卫星应用装备组合初始优化方案下太空信息资源的满足率和综合利用率,如表3所示。根据卫星应用装备组合优化策略,从可行的卫星应用装备组合方案中选择满足太空信息资源需求且综合利用率最大的卫星应用装备组合方案。

表3 卫星应用装备组合初始优化方案
Table 3 Initial optimization scheme of satellite application equipment combination

序号	组合方案	满足率	利用率
1	$\{S_{12}, S_{11}\}$	1	0.95
2	$\{S_{12}, S_{13}\}$	1	0.85
3	$\{S_{14}, S_{11}\}$	0.96	0.99
4	$\{S_{14}, S_{13}\}$	1	0.97

从分析结果来看,对于卫星应用装备 S_{12} , 应当在满足太空信息资源需求的前提下选择利用率较大的卫星应用装备组合方案,因此 $\{S_{12}, S_{11}\}$ 是最优的组合方案;对于卫星应用装备 S_{14} , 首先选择满足太空信息资源需求的组合方案,虽然方案 $\{S_{14}, S_{11}\}$ 综合利用率比较高,但是不能满足作战对太空信息资源的需求,因此 $\{S_{14}, S_{13}\}$ 为最优组合方案。

卫星应用装备组合优化结果如表4所示。

由此可见,卫星应用装备组合经优化以后,方案 $\{S_{12}, S_{11}\}$ 和 $\{S_{14}, S_{13}\}$ 均能满足作战对太空信息资源的需求且略有盈余,因此,不需要进一步迭代。

表4 卫星应用装备组合优化结果

Table 4 Optimization results of satellite application equipment combination

序号	组合方案	满足率	利用率
1	$\{S_{12}, S_{11}\}$	1	0.95
2	$\{S_{14}, S_{13}\}$	1	0.97

3.3 卫星应用装备组合作战效能评估分析

以卫星应用装备组合 $\{S_{12}, S_{11}\}$ 和 $\{S_{14}, S_{13}\}$ 为例,对卫星应用装备组合的作战效能进行分析。已知 S_{12} 和 S_{14} 的太空信息资源冗余,而 S_{11} 和 S_{13} 的太空信息资源短缺,在本次作战行动中,卫星应用装备编配规模见表5。

表5 卫星应用装备编配规模

Table 5 The scale of satellite application equipment

	侦察监视卫星应用装备			
	S_{11}	S_{12}	S_{13}	S_{14}
任务量 T	120	96	70	60
保障小组数量 m^o	10	12	8	11
单个小组人员数量 A	3	4	2	3
整体规模 N^o	30	48	24	22

假设同一个卫星应用装备任意保障小组的配置相同,且在作战行动中的有效工作时间 $t_e = 3$,按照式(13)可以得到满足作战所需太空信息资源实际需要编配保障小组的数量,即 $m_{11} = 14, m_{12} = 8, m_{13} = 12, m_{14} = 7$ 。按照卫星应用装备组合优化方案, S_{12} 和 S_{14} 是太空信息资源尚有冗余的卫星应用装备, S_{11} 和 S_{13} 是太空信息资源短缺的卫星应用装备,因此,将 S_{12} 和 S_{14} 的多余力量分别支援给 S_{11} 和 S_{13} 。按照式(14), S_{11} 和 S_{13} 得到 S_{12} 和 S_{14} 支援的保障小组的数量分别为 Δm_1 和 Δm_2 , 即 $\Delta m_1 \approx 4, \Delta m_2 \approx 5$ 。

卫星应用装备组合 $\{S_{12}, S_{11}\}$ 未优化之前, S_{11} 为了完成太空信息支援任务,至少需要加强4个保障小组才能满足太空信息资源需求,则 $\{S_{12}, S_{11}\}$ 的保障小组人员总数为90,经过卫星应用装备组合优化,将 S_{12} 冗余力量支援给 S_{11} ,从而使卫星应用装备组合 $\{S_{12}, S_{11}\}$ 保障小组人员整体规模减少为78。同样,卫星应用装备组合 $\{S_{14}, S_{13}\}$ 进行优化后,使得保障小组人员数量整体规模从54减少至46。

4 结束语

组合优化算法在卫星应用装备组合领域尚未得到广泛应用。针对目前卫星应用装备组合没有按照作战需求的现状,从作战对太空信息的需求出发,对卫星应用装备组合进行优化处理,得到最优的卫星应用装备

(下转第16页)

的估计效果都比原有算法要好。将 1 个箱粒子划分为等价的 4 个箱粒子,这样的方式对于目标的检测影响并不大,在新目标出现时都会出现漏检现象。从图 6 可知,当杂波率变大时,杂波量测参与了权值的计算和目标位置的加权,导致了目标数目估计不准确。

4 结论

本文对箱粒子概率假设密度滤波进行深入分析和研究,在现有的箱粒子概率假设密度滤波的多目标跟踪算法的基础上,通过在预测与更新阶段之间增加箱粒子划分为更小箱粒子的方法,有效地改进了目标跟踪过程中状态估计有偏的情况,对最终目标的状态估计起到了很好的修正作用。

参考文献

- [1] GNING A, RISTIC B, MIHAYLOVA L. Bernoulli particle/box-particle filters for detection and tracking in the presence of triple measurement uncertainty[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2012, 60(5): 2138-2151.
- [2] MAHLER R P S. Statistical multisource-multitarget information fusion[M]. London: Artech House, 2007.
- [3] MAHLER R P S. Multitarget Bayes filtering via first-order multitarget moments[J]. IEEE Transactions on Aerospace Electronic Systems, 2003, 39(4): 1152-1178.
- [4] VO B N, SINGH S, DOUCET A. Sequential Monte Carlo methods for multitarget filtering with random finite sets[J]. IEEE Transactions on Aerospace Electronic Systems, 2005, 41(4): 1224-1245.
- [5] ABDALLAH F, GNING A, BONNIFAIT P. Box particle filtering for nonlinear state estimation using interval analysis[J]. Automatica, 2008, 44(3): 807-815.
- [6] GNING A, RISTIC B, MIHAYLOVA L, et al. An introduc-

tion to box particle filtering[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2013, 30(4): 166-171.

- [7] SCHIKORA M, GNING A, MIHAYLOVA L, et al. Box-particle PHD filter for multi-target tracking[C]//The 15th International Conference on Information Fusion, Singapore, 2012: 106-113.
- [8] SCHIKORA M, GNING A, MIHAYLOVA L, et al. Box-particle probability hypothesis density filtering[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2014, 50(3): 1660-1672.
- [9] 梁萌. 基于箱粒子滤波的多目标跟踪算法研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2015.
- [10] 魏帅, 冯新喜, 王泉. 未知杂波状态下基于箱粒子滤波的 PHD 算法[J]. 探测与控制学报, 2017, 39(2): 94-105.
- [11] ZHANG Y Q, JI H B, HU Q. A box-particle implementation of standard PHD filter for extended target tracking[J]. Information Fusion, 2017(34): 55-69.
- [12] 宋骊平, 严超, 姬红兵, 等. 基于箱粒子的多扩展目标 PHD 滤波[J]. 控制与决策, 2015, 30(10): 1759-1765.
- [13] 刘艳君, 刘祖鹏. 基于箱粒子的 ET-CBMeMBer 滤波算法[J]. 电光与控制, 2017, 24(8): 56-60.
- [14] 李振兴, 刘进忙, 李松, 等. 基于箱式粒子滤波的群目标跟踪算法[J]. 自动化学报, 2015, 41(4): 785-798.
- [15] LI W, HAN C Z. Clustering based box-particle probability hypothesis density filtering[C]//The 20th International Conference on Information Fusion, 2017: 1-7.
- [16] 宋骊平, 刘宇航, 程轩. 箱粒子 PHD 演化网络群目标跟踪算法[J]. 控制与决策, 2018, 33(1): 74-80.
- [17] 于洁, 刘昌云, 李志汇. 箱粒子滤波理论综述[J]. 电光与控制, 2015, 22(11): 56-60.
- [18] RISTIC B. Particle filters for random set models[M]. New York: Springer, 2013: 20-22.

(上接第 11 页)

组合方案。通过实例分析,验证运用最优的卫星应用装备组合方案能最大限度地提升己方作战效能。

参考文献

- [1] 刘伟, 尹志忠, 邹波. 美军卫星应用装备及作战应用[J]. 四川兵工学报, 2012, 33(10): 24-26.
- [2] 谭跃进, 张小可, 杨克巍. 武器装备体系网络化描述与建模方法[J]. 系统管理学报, 2012, 21(6): 781-786.
- [3] DELLER S, BOWLING S R, RABADI G A, et al. Applying the information age combat model: quantitative analysis of network centric operations[J]. The International C2 Journal, 2009(6): 14-16.
- [4] 全军军事学术委员会. 中国人民解放军军语[M]. 北

京: 军事科学出版社, 2011.

- [5] 武艳梅. 装备保障训练需求分析及原型系统开发[D]. 石家庄: 军械工程学院, 2009.
- [6] 曲明辉. 联合作战装备保障力量体系建设研究[D]. 石家庄: 军械工程学院, 2007.
- [7] 朱小冬, 王毅刚, 孙志刚. 面向任务的维修单元专业设置优化技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2015.
- [8] 薛益新, 马艳. 装备作战能力和效能评估中有关问题的探讨[J]. 海军航空工程学院学报: 军事版, 2011, 9(2): 71-76.
- [9] 付东, 方程, 王震雷. 作战能力与作战效能评估方法研究[J]. 军事运筹与系统工程, 2006, 20(4): 35-39.
- [10] 中国军事百科全书编审委员会. 中国军事百科全书·作战[M]. 2 版. 北京: 中国大百科全书出版社, 2014.