

基于信息需求的情报支持效能分析*

杨长风, 郁文贤, 原伟强

(国防科技大学 电子科学与工程学院, 湖南 长沙 410073)

摘要 经典的侦察与监测(S&R)系统效能分析方法存在模型难以建立、结果不准确等问题。考虑到 S&R 系统的目的是提供情报支持, 提出一种基于信息需求的 S&R 系统情报支持效能分析方法。该方法以用户的信息需求为度量基准量, 比较 S&R 系统性能对信息需求的满足度, 并以此满足度作为 S&R 系统效能度量的指标。仿真实例表明了新方法的有用性。

关键词 信息需求; 分辨率; 效能分析

中图分类号 :TN94 **文献标识码** :A

Intelligence-supported Effectiveness Analysis Based on the Information Needs

YANG Chang-feng, YU Wen-xian, YUAN Wei-qiang

(College of Electronic Science and Engineering, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract Such problems as the difficulty to set up models and the inaccuracy occur when the classical effectiveness analysis method is used to analyze the measurement of force effectiveness (MOFE) of the reconnaissance and surveillance (S&R) system. Considering the intelligence-supported aim of S&R system, a new method to assess its effectiveness based on information needs is put forward.

Key words information needs; resolution; measures of effectiveness

评价 S&R 系统效能对 S&R 系统发展规划至关重要。可用于系统效能评估的方法包括 SEA (System Effectiveness Analysis) 方法^[1-2]、信息论法^[3]、兰彻斯特方程法^[4]、影响图法^[5]等。这些方法的共同特点是 (1) 将系统的参量指标或性能指标融入动态方程中, 通过对各参量的变化, 分析参量对系统的影响, 进而分析系统整体的效能; (2) 性能或效能指标与参量指标的关系以线性关系为多, 人为因素较大。如 SEA 通过对系统、环境和系统使命的抽象得到系统参数、环境参数和使命参数, 进而计算系统性能和系统使命匹配程度, 并以此作为系统效能值, 着重讨论的是系统低层参数对系统整体效能的影响。所以, 将上述这些方法应用于 S&R 系统效能评估时会出现一些问题, 比如模型难以建立且可操作性不强, 在具体应用中只能利用极其简化的模型, 还有人为因素的影响等, 因此寻找更为合适的 S&R 系统效能分析方法是一个需要进一步研究的问题。

考虑到 S&R 系统的目的是提供情报支持, 若假设其它影响因素不变, 显然 S&R 系统的情报支持效能越大, S&R 系统的最终效能一定越大。因此, 可用 S&R 系统的情报支持效能表示它的最终效能。由于不需要考虑用户运用情报的复杂人为因素, S&R 系统的情报支持效能可更准确地表示 S&R 系统的应用价值。这样既可以避开建立模型的难题, 又可以得到更为准确的结果。基于上述讨论, 本文提出了一种新方法, 以用户的信息需求为基准, 以 S&R 系统满足此信息需求的程度来度量 S&R 系统情报支持效能。

* 收稿日期: 2005-08-30
基金项目: 国家部委基金资助项目
作者简介: 杨长风(1958—), 男, 博士生。

1 信息需求

信息需求是由用户根据实际应用需要提出的。美国国防部 C⁴ISR 决策支持中心(DSC)^[6]收集了大量关于作战的信息需求,并对信息需求进行了分析。信息需求和作战是密切相关的。在整个作战过程中,敌方目标可以表述为: n 个军事目标 $M_i(i=1, 2, \dots, n)$ 分别沿着各自的运动路线遂行作战任务。用户需要了解敌方目标的属性和状态。对每一个敌方目标 M_i 来说,用户的信息需求是——该目标是什么、在哪里、如何动作等。前两个需求对应于目标识别率(N^1)和目标的定位精度(N^2 米)。最后一个需求以判断目标运动意图为目的,是对情报连续性的要求,可以用目标跟踪距离(N^3 米)来表示。目标跟踪距离是指先后两次情报中目标位置的变化值,显然这个变化值不能太大,否则就难以判断目标运动意图。在整个作战过程时间 ΔT 内,对敌方某一目标,用户通常要求每经过一个目标跟踪距离了解该目标的情况。同类目标的目标跟踪距离一般相同,于是目标在整个战斗过程中的轨迹可由目标跟踪距离划分为 K 段,也即将整个作战时间 ΔT 由此划分为 K 个时间段 $\Delta t_k(1 \leq k \leq K)$,用户对于该目标情报连续性要求就可表示为:在每个时间段 Δt_k 内观察该目标一次。

因此,在整个战斗过程中,对于战场上敌方的每一个目标,用户的情报需求可由上述三个需求指标来表示——目标识别率、目标定位精度和目标跟踪距离。某个目标 M_i 的信息需求如表1所示,也可如式(1)写成三组信息需求矢量。

表1 目标 M_i 的信息需求

Tab.1 The information needs of the target M_i

时间段	目标识别率	定位精度	目标跟踪距离
Δt_1	N_1^1	N_1^2	N_1^3
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
Δt_k	N_k^1	N_k^2	N_k^3
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
Δt_K	N_K^1	N_K^2	N_K^3

$$\begin{cases} N^1 = [N_1^1 & \dots & N_k^1 & \dots & N_K^1]^T \\ N^2 = [N_1^2 & \dots & N_k^2 & \dots & N_K^2]^T \\ N^3 = [N_1^3 & \dots & N_k^3 & \dots & N_K^3]^T \end{cases} \quad (1)$$

其中, $N_k^j(1 \leq k \leq K; 1 \leq j \leq 3)$ 表示第 k 个时间段 Δt_k 内,用户对目标识别率($j=1$),目标定位精度($j=2$)和目标跟踪距离($j=3$)的要求。战场中的 n 个目标都可类似建立各自的信息需求矢量。

2 信息需求满足度

2.1 满足度矩阵

S&R系统的性能指标主要有空间分辨率 P_1 、定位精度 P_2 、时间分辨率 P_3 以及覆盖范围 P_4 等。下面将S&R系统性能指标与战术用户的信息需求做比较,以建立这些指标间的对应关系。

由S&R系统的空间分辨率 P_1 以及目标 M_i 的大小等可得到S&R系统对 M_i 目标的识别率,因此可建立第一个映射关系——S&R系统空间分辨率 P_1 和目标识别率需求指标 N^1 之间的对应关系。S&R系统定位精度 P_2 与目标定位精度需求指标 N^2 的映射关系是显然的。S&R系统的时间分辨率 P_3 与目标跟踪间隔需求指标之间也存在映射关系。由于S&R系统的时间分辨率 P_3 是固定的,即每隔一个固定时间间隔 P_3 观察目标一次,如图1中(1)所示。而用户对情报连续性的需求可表示为在每个目标跟踪距离 N^3 内观察目标一次,换算到时间域就是需要在每个 Δt_i 时间段内观察目标一次,如图1中(2)所

示。这样就可 在时间域上比较 S&R 系统性能对需求的满足程度。

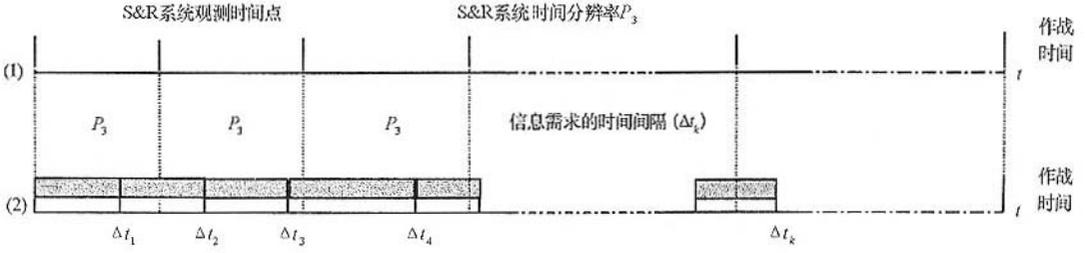


图 1 S&R 系统的时间分辨率与目标跟踪距离映射示意图

Fig. 1 The mapping graph between time resolution and target tracking distance of S&R system

由于 P_j 与 N^j 存在映射关系, 所以需求矢量中元素 N_k^j 可以分别与性能矢量 P_j 比较得到满足度矩阵中的元素 S_k^j ($k = 1, 2, \dots, K; j = 1, 2, 3$)。 S_k^j 表示 S&R 系统性能 P_j 与第 k 个时间段内指挥员对 M_i 目标信息需求的满足程度, 目标 M_i 的满足度矩阵 S 可表示为

$$S = \begin{bmatrix} S_1^1 & \dots & S_k^1 & \dots & S_K^1 \\ S_1^2 & \dots & S_k^2 & \dots & S_K^2 \\ S_1^3 & \dots & S_k^3 & \dots & S_K^3 \end{bmatrix}^T \quad (2)$$

计算 S&R 系统对目标识别率指标的满足度 S_k^1 ($k = 1, 2, \dots, K$), 先由 S&R 系统的空间分辨率得到 S&R 系统对该目标的识别率, 然后比较此识别率对需求指标 N_k^1 的满足程度, 一般来说, N_k^1 的要求为 1, 所以 S_k^1 就对应于 S&R 系统对该目标的识别率。

计算 S&R 系统对定位精度要求的满足度 S_k^2 ($k = 1, 2, \dots, K$) 时, 可采用式 (3):

$$S_k^2 = \frac{N_k^2 - P_2}{N_k^2} \quad (k = 1, 2, \dots, K) \quad (3)$$

其中, N_k^2 为在 Δt_k 时间段目标的 最大定位偏差, 表示用户对定位精度的需求, P_2 为 S&R 系统定位精度, 当 $N_k^2 < P_2$ 时, S_k^2 取 0。

计算 S&R 系统对目标跟踪距离指标的满足度 S_k^3 ($k = 1, 2, \dots, K$)。图 1 中的虚线为 S&R 系统的观测时间点。如果在信息需求的时间间隔 Δt_k 内有一个以上观测点, 则在这个时间段内 S&R 系统满足了信息需求, 即 $S_k^3 = 1$; 反之, 则显然不满足, $S_k^3 = 0$ 。

2.2 信息需求的满足度计算

在每个时间段 S&R 系统对指挥员关于 M_i 目标的信息需求的满足度设为 $V_k^{M_i}$ ($k = 1, 2, \dots, K$), $V_k^{M_i}$ 由对信息需求的三个分量的满足度 $V_{k,j}^{M_i}$ ($j = 1, 2, 3$) 共同决定。如果其中有一个满足度 $V_{k,j}^{M_i}$ 很低, 则总的 $V_k^{M_i}$ 也将很低。 $V_k^{M_i}$ 可如 (4) 式求得:

$$V_k^{M_i} = V_{k,1}^{M_i} * V_{k,2}^{M_i} * V_{k,3}^{M_i} \quad (4)$$

M_i 目标的作战性能可由两个因素——威胁范围和能力指数^[8]来表示, 这两个因素可在战前获得。目标 M_i 的威胁范围可划分为 K 个子区域, 不同子区域 M_i 目标对我方的威胁程度用其能力指数来描述, 记为 $I_k^{M_i}$ ($1 \leq k \leq K$)。敌方目标对我方威胁程度越大, 所得到的关于这个目标的信息也就越重要。所以, 以 M_i 在 Δt_j 跟踪时间段内的最大威胁范围因子对此时间段内满足度 $V_k^{M_i}$ 加权, 并在整个时间段 ΔT^{M_i} 内平均。关于 M_i 目标的信息需求满足度 V^{M_i} 为式 (5)。

$$V^{M_i} = \sum_{k=1}^K [I_k^{M_i} * V_k^{M_i}] / \sum_{k=1}^K I_k^{M_i}, \quad j = 1, 2, 3 \quad (5)$$

如果敌方目标数为 n 个, S&R 系统对信息需求总的满足度 V 就是对单个目标满足度 V^{M_i} 的统计平均。

$$V = \sum_{i=1}^n V^{M_i} / n \quad (6)$$

S&R 系统对信息需求总的满足度 V 即表明了 S&R 系统的战术情报支持效能。

3 实例计算

下面以某摩步旅行军想定为实例,分析 S&R 系统的情报支持效能。想定中包含坦克装甲车 316 辆,步兵 480 人,其中既有单目标的单独行军,也有由多个目标组成目标群行军。行军路线分为三条,持续时间 17h,行军区域为开阔地,想定设定了每个目标或目标群不同时间所在的位置。设指挥员对所有目标的信息需求指标:定位精度要求小于 30m,最小跟踪距离要求小于 2000m,识别率要求为 1。S&R 系统性能假设为:定位精度 20m,时间分辨率 t 的变化范围为 1~6min,空间分辨率 r 的变化范围为 0.1~6m。按照前面满足度计算方法,可得不同时空分辨率 S&R 系统的情报支持效能,如图 2 所示。

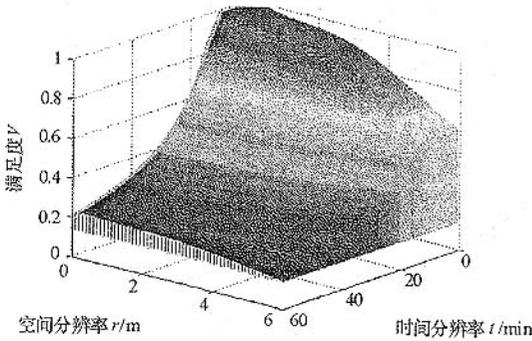


图 2 不同时空分辨率 S&R 系统情报支持效能
Fig.2 The intelligence-supported effectiveness of S&R system with different time and spatial resolution

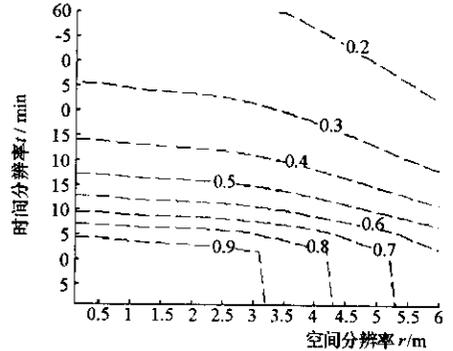


图 3 对应不同情报支持性能的 S&R 系统性能范围
Fig.3 The performance range of S&R system with different intelligence-supported effectiveness

利用上述结果可分析不同性能指标的 S&R 系统的情报支持效能。例如对于空间分辨率为 3m,时间分辨率为 15min 的 S&R 系统,其情报支持效能由图 2 可得出为 0.9,这表明该 S&R 系统所提供的情报信息能很好地满足指挥员对情报信息的需求。

利用上述结果还可以确定情报支持作用较好的 S&R 系统的性能要求,例如战术情报支持效能大于 80% 的 S&R 系统的性能要求可直接根据上述结果得到,如图 3 所示。

可见,采用上述效能评估方法,既可以定量求解某种 S&R 系统的应用价值,也可以根据实际的应用要求,求解 S&R 系统所应该达到的性能指标,这对于评定某 S&R 系统的效能以及规划 S&R 系统的长期发展方向都有借鉴作用。

4 结论

本文提出一种新的 S&R 系统效能评价方法。该方法将 S&R 系统效能评价转换为对 S&R 系统提供的情报信息质量的评价,并具体以用户的信息需求作为客观评价的标准,以 S&R 对战术用户信息需求的满足度作为 S&R 系统情报支持效能的评定值。由于新方法不需要考虑用户使用情报的过程,避开了复杂的人为因素,从而可更准确地度量 S&R 系统的情报支持效能。

参考文献:

- [1] Levis A H, Houpt P K. Effectiveness Analysis of C³ system[J]. LIDS-P 1383, 1984.
- [2] Dersin P, Levis A H. Large Scale System Effectiveness Analysis[R]. LIDS-TH-1430, 1985.
- [3] 奇欢. 数学模型方法[M]. 武汉:华中理工大学出版社, 1997.
- [4] System Effectiveness Models: An Annotated Bibliography[J]. IEEE Transactions of Reliability, 1980, R-29(4) 295-304.
- [5] 张荣. 利用影响图方法进行卫星效能评估[J]. 装备指挥学院学报, 2002, A.
- [6] Multi-INT Fusion Performance Study[R]. Joint C³ISR Decision Support Center Study DSC-02-00 January 2001.
- [7] 陆军武器系统分析[R]. 兵器工业部武器系统研究所, 1999.

