

基于 ADC 模型的侦察卫星效能评估研究

孟锦 李千目 张宏 刘凤玉

(南京理工大学计算机科学与技术学院 623 教研室 南京 210094)

摘要 以美国工业界武器系统效能咨询委员会(WSEIAC)提出的 ADC 模型为基础,对侦察卫星系统自身特点进行分析,建立了系统 ADC 效能评估模型,并以此为基础,针对系统效能评估 ADC 模型不能反映侦察卫星侦察过程动态变化的问题,给出了解决方案,建立了动态 ADC 模型。在动态模型中,引入侦察卫星老化的问题并进行分析,应用泊松过程对卫星老化率进行了建模,给出了卫星老化率模型。

关键词 侦察卫星,效能评估,ADC 模型,老化率

Effectiveness Evaluation of Reconnaissance Satellite Based on the ADC Model

MENG Jin LI Qian-mu ZHANG Hong LIU Feng-yu

(Dept. of Computer Science and Technology, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract Based on the ADC model which was advanced by the United States weapons system performance Advisory Committee of industry (WSEIAC), this paper analyzed the characteristics of the reconnaissance satellite system, and founded the systemic ADC effectiveness evaluation model. Moreover, based on this ADC model, to solve the problem that the ADC model can not reflect the dynamic change of reconnaissance satellite, this paper established a dynamic model of ADC. In the dynamic model, the aging problem of the satellite was introduced and analyzed. And a model of aging rate was founded using the poisson process.

Keywords Reconnaissance satellite, Efficiency evaluation, ADC model, Aging rate

近年来,陆、海、空、天、电五位一体化战争思想的提出,使得外层空间作为一个新的军事制高点,在未来信息化战争中的地位与作用日益增强,并对战争的胜负起着关键性的作用。军事卫星作为现代化陆、海、空、天、电五位一体化战争中重要的一环,开始广泛应用于作战,并显著提高了部队的战斗力。未来战争将越来越离不开军事卫星的信息支援与保障,对军用卫星系统的效能评估也必然在发展军用卫星系统决策中显得极为重要。

卫星的设备、组件和元件以及卫星自身在长期的工作中,必然存在着老化衰退问题,对卫星的性能造成了一定的影响。在以往的研究工作中,往往忽视了卫星自身的老化衰退的问题,而将卫星的效能评估局限于卫星固有性能和外部因素影响。本文应用泊松过程,对卫星老化率进行了建模,给出了卫星老化率模型。

1 ADC 方法

ADC 法是美国工业界武器系统效能咨询委员会提出的系统效能模型(称为 WSEIAC 模型),是目前使用最多的一种方法。该模型将系统效能定义为系统性能满足一组规定任务要求程度的量度,它是可用度(Availability)、可信赖度(Dependability)及能力(Capacity)的函数。ADC 作为解析法的一种,其公式透明性好,易于理解和计算。

2 ADC 方法在侦察卫星效能评估中的应用

本文把与侦察卫星侦察效能相关的系统理解成运动定位子系统、照相成像子系统、信息传输和处理子系统 3 个部分,分别以 Y, Z, X 表示之。子系统单一效能阈值表示为 T ,当子系统效能值大于效能阈值时,说明该系统运行正常、有效;当子系统效能值小于效能阈值时,说明该系统是低效能的。

3 个组成部分在工作时有 8 种可能的工作状态,各状态含义如表 1 所列。

表 1 系统工作状态含义

状态编号 i	系统状态	含义
1	YZX	三个部分均正常工作,处于正常状态
2	$\bar{Y}ZX$	运动定位子系统低效能,其他两部分正常
3	$Y\bar{Z}X$	照相成像子系统低效能,其他两部分正常
4	YZ \bar{X}	信息传输和处理子系统低效能,其他两部分正常
5	$\bar{Y}Z\bar{X}$	信息传输和处理子系统正常,其他两个部分低效能
6	$\bar{Y}\bar{Z}X$	照相成像子系统正常,其他部分低效能
7	$\bar{Y}Z\bar{X}$	运动定位子系统正常,其他部分低效能
8	$\bar{Y}\bar{Z}\bar{X}$	三个部分均处于低效能状态

这 3 个部分之间互不影响,即 3 个独立事件,在此基础上进行本系统的设计和研究。

2.1 侦察卫星系统可用性 A 分析

到稿日期:2008-07-16 返修日期:2008-10-24 本文受国家自然科学基金资助项目(90718021)资助。

孟锦(1984-),女,博士研究生,主要研究领域为效能评估、风险评估,E-mail:mengjin1107@yahoo.com.cn;李千目(1979-),男,副教授,主要研究领域为信息安全、人工智能、体系结构;张宏(1956-),男,博士生导师,主要研究领域为信息安全、数据挖掘;刘凤玉(1943-),女,教授,主要研究领域为信息安全、人工智能。

侦察卫星系统可用性 A 表示系统在执行任务之前的状态,是侦察卫星系统在执行任务时系统状态的量度。用 A_Y, A_Z, A_X 分别表示运动定位子系统、照相成像子系统、信息传输和处理子系统 3 部分的可用度,并设 3 个部分的平均低效能间隔时间分别为 $MTBF_Y, MTBF_Z, MTBF_X$, 平均低效能修复时间分别为 $MTTR_Y, MTTR_Z, MTTR_X$, 平均后勤延误时间分别为 $MLDT_Y, MLDT_Z, MLDT_X$ 。可用度定义为平均有效时间(即平均低效能间隔时间)与所有工作时间(平均有效时间+平均低效能修复时间+平均后勤延误时间)的比值,则 3 部分的可用度为

$$A_Y = MTBF_Y / (MTBF_Y + MTTR_Y + MLDT_Y)$$

$$A_Z = MTBF_Z / (MTBF_Z + MTTR_Z + MLDT_Z)$$

$$A_X = MTBF_X / (MTBF_X + MTTR_X + MLDT_X)$$

侦察卫星系统的可用性 A 主要由侦察卫星系统本身各组成子系统的质量和维修保养情况决定,用 a_i 表示系统开始时刻处于状态 i 的概率(i 为状态编号),是分系统 Y, Z, X 的可用度函数。

a_1 表示系统开始时刻处于 YZX 状态,此时 3 个部分均正常工作,处于正常状态,则 $a_1 = A_Y A_Z A_X$ 。同理可得 $a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8$, 将求得的 8 个公式代入 $A = (a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8)$, 即可得到侦察卫星系统的可用性矩阵:

$$A^T = \begin{bmatrix} \frac{MTBF_Y MTBF_Z MTBF_X}{(MTBF_Y + MTTR_Y + MLDT_Y)(MTBF_Z + MTTR_Z + MLDT_Z)(MTBF_X + MTTR_X + MLDT_X)} \\ \frac{(MTTR_Y + MLDT_Y) MTBF_Z MTBF_X}{(MTBF_Y + MTTR_Y + MLDT_Y)(MTBF_Z + MTTR_Z + MLDT_Z)(MTBF_X + MTTR_X + MLDT_X)} \\ \frac{MTBF_Y (MTTR_Z + MLDT_Z) MTBF_X}{(MTBF_Y + MTTR_Y + MLDT_Y)(MTBF_Z + MTTR_Z + MLDT_Z)(MTBF_X + MTTR_X + MLDT_X)} \\ \frac{MTBF_Y MTBF_Z (MTTR_X + MLDT_X)}{(MTBF_Y + MTTR_Y + MLDT_Y)(MTBF_Z + MTTR_Z + MLDT_Z)(MTBF_X + MTTR_X + MLDT_X)} \\ \frac{(MTTR_Y + MLDT_Y) (MTTR_Z + MLDT_Z) MTBF_X}{(MTBF_Y + MTTR_Y + MLDT_Y)(MTBF_Z + MTTR_Z + MLDT_Z)(MTBF_X + MTTR_X + MLDT_X)} \\ \frac{(MTTR_Y + MLDT_Y) MTBF_Z (MTTR_X + MLDT_X)}{(MTBF_Y + MTTR_Y + MLDT_Y)(MTBF_Z + MTTR_Z + MLDT_Z)(MTBF_X + MTTR_X + MLDT_X)} \\ \frac{MTBF_Y (MTTR_Z + MLDT_Z) (MTTR_X + MLDT_X)}{(MTBF_Y + MTTR_Y + MLDT_Y)(MTBF_Z + MTTR_Z + MLDT_Z)(MTBF_X + MTTR_X + MLDT_X)} \\ \frac{(MTTR_Y + MLDT_Y) (MTTR_Z + MLDT_Z) (MTTR_X + MLDT_X)}{(MTBF_Y + MTTR_Y + MLDT_Y)(MTBF_Z + MTTR_Z + MLDT_Z)(MTBF_X + MTTR_X + MLDT_X)} \end{bmatrix}$$

2.2 侦察卫星系统可信性 D 分析

侦察卫星系统可信性是指侦察卫星系统在任务开始时可用性 A 已给定的情况下,能够使用且能完成规定侦察任务的能力。

假设侦察卫星系统的低效能率为 λ , 修复率为 μ , 则系统的可信性为 $(1-\lambda)$, 且侦察卫星系统在侦察过程中是不可修

复的,因此 $\mu=0$ 。侦察卫星系统运行过程中的可信性函数为指数函数,并可由下式给出:

$$1-\lambda = \exp(-t/MTBF)$$

分别计算矩阵的每项转移概率,可得到侦察卫星系统的可信性参数矩阵:

$$D = \begin{bmatrix} (1-\lambda_Y)(1-\lambda_Z)(1-\lambda_X) & \lambda_Y(1-\lambda_Z)(1-\lambda_X) & (1-\lambda_Y)\lambda_Z(1-\lambda_X) & (1-\lambda_Y)(1-\lambda_Z)\lambda_X & \lambda_Y\lambda_Z(1-\lambda_X) & \lambda_Y(1-\lambda_Z)\lambda_X & (1-\lambda_Y)\lambda_Z\lambda_X & \lambda_Y\lambda_Z\lambda_X \\ 0 & (1-\lambda_Z)(1-\lambda_X) & 0 & 0 & \lambda_Z(1-\lambda_X) & (1-\lambda_Z)\lambda_X & 0 & \lambda_Z\lambda_X \\ 0 & 0 & (1-\lambda_Y)(1-\lambda_X) & 0 & 0 & 0 & (1-\lambda_Y)\lambda_X & \lambda_Y\lambda_X \\ 0 & 0 & 0 & (1-\lambda_Y)(1-\lambda_Z) & 0 & 0 & (1-\lambda_Y)\lambda_Z & \lambda_Y\lambda_Z \\ 0 & 0 & 0 & 0 & (1-\lambda_X) & 0 & 0 & \lambda_X \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & (1-\lambda_Z) & 0 & \lambda_Z \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & (1-\lambda_Y) & \lambda_Y \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

2.3 侦察卫星系统能力 C 分析

能力向量反映侦察卫星系统在能工作条件下完成任务的程度:

$$C = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P \\ 0 \end{bmatrix}$$

其中, P 表示侦察卫星系统正常工作时完成侦察任务的概率,是其侦察能力的综合表现; C_2 表示侦察卫星系统非正常工作时完成侦察任务的概率,显然 $C_2=0$ 。

3 动态 ADC 评估模型

侦察卫星侦察目标的过程是一个动态的过程。上节提出的模型对侦察卫星系统进行了效能评估,但并不能完全反映侦察过程的效能。实际上,由于时间的变化,ADC 效能模型

应该是

$$E(t) = A(t)D(t)C(t)$$

根据侦察卫星侦察周期,可将其侦察周期分解为 n 个时间段, $0, t_1, \dots, t_{(n-1)}, t_n$ 。当时间段的间隔缩小到 Δt 时,即将时间间隔为 $0, \Delta t, 2\Delta t, \dots, n\Delta t$, 分析可用性 $A(t)$ 、可信性 $D(t)$ 和能力 $C(t)$, 就可以实现离散时间点到连续时间的演变。

为了简化计算,本文根据侦察卫星侦察周期,可将侦察卫星发现目标过程分解为两个阶段,第一个阶段是侦察卫星覆盖目标阶段;第二个阶段是侦察卫星识别目标阶段。设侦察卫星覆盖到目标的时间为 t_1 , 识别目标的时间为 t_2 。

3.1 侦察卫星系统可用性 $A(t)$

$A(t)$ 是侦察卫星在任务开始时刻所处状态的向量,与侦察过程无关,因此

$$A(t) = A(0) = A$$

3.1.1 老化率模型

a) 卫星性能老化分析

卫星的设备、组件和元件以及卫星自身在长期的工作中,必然存在着老化衰退问题,对卫星的性能造成一定的影响。由于卫星在遥远的外层空间的衰退过程的机理是极为复杂的,受到诸多不明因素的影响,因此很难用确定的物理或化学过程来进行定量描述。在这种情况下,随机过程方法是一种比较可行的技术途径。

Gertsbakh 和 Kordonskiy 在研究材料磨损时,提出一个基本随机过程模型。该模型假设性能退化量与累积损伤有关,而损伤事件是随机独立发生的,每次冲击造成的损伤量是常量,只与材料特性和损伤事件特性有关。退化模型为

$$Y(t) = x_0 + cN(t; \lambda)$$

其中, $Y(t)$ 是 t 时刻的性能退化量, x_0 是产品初始性能参数, c 是常数,表示每次损伤事件造成的损伤量; $N(t; \lambda)$ 是参数为 λ 的齐次计数泊松过程,表示 $(0, t]$ 时间内损伤事件发生的次数。

本文对该模型的以下 3 个不足进行改进:

- 1) 损伤量不可能是完全的常数形式;
- 2) 每次衰老事件引起的老化随时间而指数衰减;
- 3) 衰老的产生是随机的,同时可能发生两次甚至两次以上的衰老。

b) 模型假设

本文中,我们不考虑卫星内部设备、组件和元件的机理衰退以及外部事件对卫星性能老化的影响,将老化过程看成仅与一个连续发生的衰退事件有关。因此,可以认为卫星老化是衰退事件的累积。

卫星衰退事件的发生是随机独立的,因此可以定义一个随机过程来描述卫星衰退事件的发生。同时,由于卫星衰退事件是正向累积的,即是增量过程,因此本文选用泊松过程来建立卫星衰退事件的模型。假设衰退事件的到来服从强度为 λ 的泊松过程: $\{N(t), t \geq 0\}$, 也即衰退事件的次数 $N(t)$ 服从泊松分布: $Pr(N(t) = k) = \frac{(\lambda t)^k e^{-\lambda t}}{k!}, k = 0, 1, 2, \dots$ 。

泊松过程具有普遍性,即在充分小的时间内的跳至多为 1,也就是一次衰老事件至多产生一次衰老。但在实际情况中,衰老的产生是随机的,同时可能发生两次甚至两次以上的衰老,故提出广义复合泊松过程,可以两次以上衰老同时发

$$D[0, t_1]^T = \begin{bmatrix} (1-\lambda_{Y1})(1-\lambda_{Z1})(1-\lambda_{X1}) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \lambda_{Y1}(1-\lambda_{Z1})(1-\lambda_{X1}) & (1-\lambda_{Z1})(1-\lambda_{X1}) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ (1-\lambda_{Y1})\lambda_{Z1}(1-\lambda_{X1}) & 0 & (1-\lambda_{Y1})(1-\lambda_{X1}) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ (1-\lambda_{Y1})(1-\lambda_{Z1})\lambda_{X1} & 0 & 0 & (1-\lambda_{Y1})(1-\lambda_{Z1}) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \lambda_{Y1}\lambda_{Z1}(1-\lambda_{X1}) & \lambda_{Z1}(1-\lambda_{X1}) & 0 & 0 & (1-\lambda_{X1}) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \lambda_{Y1}(1-\lambda_{Z1})\lambda_{X1} & (1-\lambda_{Z1})\lambda_{X1} & 0 & 0 & 0 & (1-\lambda_{Z1}) & 0 & 0 & 0 \\ (1-\lambda_{Y1})\lambda_{Z1}\lambda_{X1} & 0 & (1-\lambda_{Y1})\lambda_{X1} & (1-\lambda_{Y1})\lambda_{Z1} & 0 & 0 & (1-\lambda_{Y1}) & 0 & 0 \\ \lambda_{Y1}\lambda_{Z1}\lambda_{X1} & \lambda_{Z1}\lambda_{X1} & \lambda_{Y1}\lambda_{X1} & \lambda_{Y1}\lambda_{Z1} & \lambda_{X1} & \lambda_{Z1} & \lambda_{Y1} & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

同理可求出,系统在 $[t_1, t_2]$ 时间段的可信性矩阵 $D[t_1, t_2]$ 。将求得两个时间段的可信性矩阵分别代入,得

$$D(t) = D[0, t] = D[0, t_1] * D[t_1, t_2]$$

3.3 侦察卫星系统能力 $C(t)$

设侦察卫星在 $[0, t_2]$ 时间段发现目标的概率为 $P, [0, t_1]$

生。卫星每次衰退所产生的衰退增量是随机分布的,不失一般性,我们假设衰退增量满足高斯分布。

假设第 i 次衰老造成的衰老量为 G_i 。假定 $G_i, i \geq 1$, 独立同分布且与 $\{N(t), t \geq 0\}$ 独立, $N(t)$ 表示 $[0, t]$ 中的衰老事件次数。假定衰老事件引起的衰退随时间而指数地衰减,即若一个衰老事件造成的初始衰老量为 G , 时间 t 之后它造成的损伤则是 $Ge^{-\alpha t}, \alpha > 0$ 。

c) 设计模型

基于以上假设,卫星 t 时刻衰老量 $G(t)$ 是衰老量初值与 $[0, t]$ 时间内衰老量累积增量之和。衰老量 $G(t)$ 为卫星在 $[0, t]$ 时间内由衰老事件造成的衰老量增量 $G_1, G_2, \dots, G_N(t)$ 的累积和再与老化量初值叠加的结果。

老化量模型是

$$G(t) = g + \sum_{i=1}^{N(t)} Ge^{-\alpha(t-t_i)}$$

其中, $G(t)$ 是 t 时刻卫星的老化量, g 是老化量初值, $N(t)$ 是卫星在 $[0, t]$ 时间内遭受的衰老次数,服从广义泊松过程; G_i 为卫星受第 i 次衰老造成的衰老增量,满足高斯分布, $G_i \sim N(\mu, \sigma^2)$; S_i 表示第 i 次衰老到来的时刻。随机变量 $G(t)$ 是由广义泊松过程 $\{N(t), t \geq 0\}$ 和 $\{G_i, i = 1, 2, \dots\}$ 叠加而成的广义复合泊松过程。

考虑老化率对侦察卫星系统可用性的影响,可得侦察卫星系统可用性 A 的基于时间的模型:

$$A^T(t) = A^T G(t) = A^T \left(g + \sum_{i=1}^{N(t)} Ge^{-\alpha(t-t_i)} \right)$$

3.2 侦察卫星系统可信性 $D(t)$

侦察周期 $[0, t_2]$ 被分解为 $[0, t_1], [t_1, t_2]$ 两个时间段,可信性矩阵为

$$D(t) = D[0, t] = D[0, t_1] * D[t_1, t_2]$$

在 $[0, t_1], [t_1, t_2]$ 这两个时间段内分别求转移概率矩阵。

和前文相同,考虑运动定位子系统、照相成像子系统、信息传输和处理子系统 3 个部分在工作时有 8 种工作状态。

在 $[0, t_1]$ 时间段, $d_{ij}[0, t_1] = P\{\text{在 } t_1 \text{ 时间内状态 } i \text{ 转移到状态 } j\}$; 在 $[t_1, t_2]$ 时间段, $d_{ij}[t_1, t_2] = P\{\text{在 } (t_2 - t_1) \text{ 时间内状态 } i \text{ 转移到状态 } j\}$, 则有各状态的转移概率为

$$d_{11}[0, t_1] = P(Y \rightarrow Y)P(Z \rightarrow Z)P(X \rightarrow X) = (1 - \lambda_{Y1})(1 - \lambda_{Z1})(1 - \lambda_{X1})$$

依此类推,可得系统在 $[0, t_1]$ 时间段的可信性矩阵:

时间段卫星覆盖到目标的概率为 $P_f, [t_1, t_2]$ 时间段能识别目标的概率为 P_s , 则 $P = P_f * P_s$ 。即设侦察卫星发现目标的概率为 P , 卫星覆盖到目标的概率为 P_f , 能识别目标的概率为 P_s , 则 $P = P_f * P_s$ 。

(下转第 67 页)

络按需路由协议 PAORP。PAORP 协议以价格为主要度量指标,采用分层的体系结构以获得全网一致的拓扑视图,消除分布式预测带来的不一致性,对价格、用户效用、可用带宽进行了均衡及有效优化。仿真结果表明:该协议不仅拥有传统的按需路由协议的优点,而且能感知链路价格和需求,提高了分组投递率并降低了端到端平均时延,在动态移动环境下具有较好的稳定性。在下一阶段的工作中,我们希望进一步研究节点移动模型对 PAORP 协议的影响,使得 PAORP 协议具有更好的扩展性。

参考文献

[1] Chlamtac I, Conti M, Liu J. Mobile ad hoc networking: imperatives and challenges[J]. *Ad hoc Networks*, 2003, 1(1): 13-64

[2] Perkins C E, Royer E M. Ad - Hoc on - demand distance vector routing[C]//Kristine K, ed. *IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (WMCSA)*. 1999: 90-100

[3] Perkins C, Belding-Royer E, Das S. Ad hoc on-demand distance vector (AODV) routing. RFC 3561, 2003

[4] Johnson D B, Maltz D A. Dynamic source routing in ad hoc wireless networks[M]//Imielinski T, Korth H. eds. *Mobile Computing*. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1996: 153-181

[5] Johnson D B, Maltz D A, Hu Y C. The dynamic source routing protocol for mobile ad hoc networks (DSR). Internet Draft, draft-ietf-manet-dsr-10. txt. <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-manet-dsr-10.txt>[OL]. IETF MANET Working Group, 2004

[6] Chakeres I, Perkins C. Dynamic MANET on-demand (DYMO) routing. Internet Draft, draft-ietf-manet-dymo-04. txt[OL]. <http://tools.ietf.org/html/draft-ietf-manet-dymo-04>, IETF MANET Working Group, 2006

[7] Park V D, Scott Corson M. A highly adaptive distributed routing algorithm for mobile wireless networks[C]//Hasegawa T, Pickholtz R L, eds. *Proc. of the IEEE INFOCOM'97*. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 1997: 1405-1413

[8] Jacquet P, Muhlethaler P, Clausen T, et al. Optimized link state routing protocol for ad hoc networks[C]//Hassan S Z, Mirza H R, eds. *Proc. of the IEEE Int'l Conf. on Technology for the 21st Century*. Pakistan: Freedom Art Press, 2001: 62-68

[9] Clausen T, Jacquet P. Optimized link state routing protocol (OLSR). RFC 3626, 2003. [OL]. <http://www.ietf.org/rfc/rfc3626.txt>

[10] Ogier R, Templin F, Lewis M. Topology dissemination based on reverse-path forwarding (TBRPF). RFC 3684, 2004. [OL]. <http://www.ietf.org/rfc/rfc3684.txt>

[11] Perkins C E, Bhagwat P. Highly dynamic destination-sequenced distance-vector routing (DSDV) for mobile computers[J]. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 1994, 24 (4): 234-244

[12] Shenker S. Fundamental design issues for the future internet [J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communication*, 1995, 13(7): 1176-1188

[13] Kelly F, Maulloo A, Tan D. Rate control for communication networks; shadow prices, proportional fairness and stability [J]. *Journal of Operational Research Society*, 1998, 49(3): 237-252

[14] Qiu Ying, Marbach P. Bandwidth allocation in Ad Hoc Networks: A Price-Based Approach [C]//*Proc. INFOCOM Conf. 2003*: 797-807

[15] NS-2[EB/OL]. <http://www.isi.edu/nsnam/ns>

[16] AODV-UU[EB/OL]. <http://core.it.uu.se/core/index.php/AODV-UU>

(上接第 43 页)

同时,侦察卫星成像质量受许多因素的影响,如太阳高度角、气象条件、光照、对比度、卫星的稳定性等,因此卫星发现目标概率还需用这些因素来修正。所以,成像侦察卫星发现目标的概率为

$$P = \rho P_f P_s$$

其中, ρ 为影响卫星发现目标概率的因子。

因此,侦察卫星系统能力为 $C(0, t) = P = \rho P_f * P_s$

综上,侦察卫星完成侦察任务的效能为

$$E(t) = A(t) D(t) C(t) = AG(t) \cdot (D[0, t_1] * D[t_1, t_2]) \cdot \rho P_f P_s$$

结束语 本文对侦察卫星系统自身特点进行分析,以 WSEIAC 提出的 ADC 模型为基本框架,建立了侦察卫星系统 ADC 效能评估模型。

系统效能评估反映了系统的静态效能。本文以系统效能评估模型为基础,建立了引入卫星老化率的侦察卫星动态 ADC 效能评估模型。

卫星老化过程是一个复杂的过程,卫星老化率对卫星效能有着一定的影响,是卫星效能评估中不可或缺的一环。考

虑卫星运行环境及内部结构复杂性,应用随机过程对其老化进行了建模。

参考文献

[1] Guo Kai, Xu Cheng, Yan Wenchuan. Stochastic mathematic model of the fighting personnel and its application in effectiveness evaluation for small arm system[C]//*Communications and Information Technology. IEEE International Symposium*. 2005

[2] Lam Y, Zhang yuanlin. A geometric-process maintenance model for a deteriorating system under a random environment[J]. *Reliability, IEEE Transactions on*, 2003

[3] Paolo S. Extremal noise events, intermittency and Log-Poisson statistics in non-equilibrium aging of complex systems[J]. *arXiv: cond-mat/0503108v1 [cond-mat. dis-nn]*, 2005

[4] 关成启, 杨涛, 关世义. 导弹武器系统效能评估方法[J]. *系统工程与电子技术*, 2000

[5] Picinbono B, Bendjaballah C. Poisson Processes with Integrable Density[J]. *Information Theory, IEEE Transactions on*, 2006

[6] Usynin A, Hines J W, Urmanov A. Formulation of Prognostics Requirements[C]//*IEEE Aerospace Conference*. 2007