



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114676743 B

(45) 授权公告日 2024. 04. 26

(21) 申请号 202111496076.4

G06F 18/25 (2023.01)

(22) 申请日 2021.12.09

G06N 7/01 (2023.01)

G06Q 50/26 (2024.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 114676743 A

(43) 申请公布日 2022.06.28

(73) 专利权人 上海无线电设备研究所

地址 200233 上海市闵行区中春路1555号

(72) 发明人 沈艳秋 盛佳恋 金文 付朝伟

魏维伟 王海涛

(56) 对比文件

CN 105426970 A, 2016.03.23

CN 110535878 A, 2019.12.03

CN 111079090 A, 2020.04.28

WO 2021179715 A1, 2021.09.16

张宏宇;陶智.基于隐马尔可夫模型的目标航迹匹配方法.舰船电子工程.2019,(第12期),第39-42,57页.

(74) 专利代理机构 上海元好知识产权代理有限公司

公司 31323

专利代理师 张静洁 徐雯琼

审查员 娄贝贝

(51) Int. Cl.

G06F 18/20 (2023.01)

G06F 18/214 (2023.01)

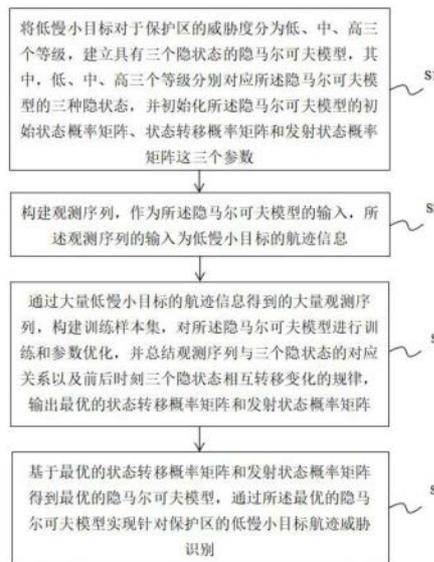
权利要求书1页 说明书8页 附图7页

(54) 发明名称

基于隐马尔可夫模型的低慢小目标航迹威胁识别方法

(57) 摘要

本发明提供了一种基于隐马尔可夫模型的低慢小目标航迹威胁识别方法,包括如下步骤:S1、将低慢小目标对于保护区的威胁度分为低、中、高三等级,建立具有三个隐状态的隐马尔可夫模型,并初始化隐马尔可夫模型参数;S2、构建观测序列,作为隐马尔可夫模型的输入,观测序列的输入为低慢小目标的航迹信息;S3、对隐马尔可夫模型进行训练和参数优化,输出最优的状态转移概率矩阵和发射状态概率矩阵;S4、基于最优的状态转移概率矩阵和发射状态概率矩阵得到最优的隐马尔可夫模型。该方法基于隐马尔可夫模型可实现动态评估的优良特性,简单且准确地刻画目标航迹与威胁等级之间的动态关系,在低慢小目标的威胁评估领域有很强的可应用性和高效性。



1. 一种基于隐马尔可夫模型的低慢小目标航迹威胁识别方法,其特征在于,包括如下步骤:

S1、将低慢小目标对于保护区的威胁度分为低、中、高三个等级,建立具有三个隐状态的隐马尔可夫模型,其中,低、中、高三个等级分别对应所述隐马尔可夫模型的三种隐状态,并初始化所述隐马尔可夫模型的初始状态概率矩阵、状态转移概率矩阵和发射状态概率矩阵这三个参数;

S2、构建观测序列,作为所述隐马尔可夫模型的输入,所述观测序列的输入为低慢小目标的航迹信息;

S3、通过大量低慢小目标的航迹信息得到的大量观测序列,构建训练样本集,对所述隐马尔可夫模型进行训练和参数优化,并总结观测序列与三个隐状态的对应关系以及前后时刻三个隐状态相互转移变化的规律,输出最优的状态转移概率矩阵和发射状态概率矩阵;

S4、基于最优的状态转移概率矩阵和发射状态概率矩阵得到最优的隐马尔可夫模型,通过所述最优的隐马尔可夫模型实现针对保护区的低慢小目标航迹威胁识别。

2. 如权利要求1所述的基于隐马尔可夫模型的低慢小目标航迹威胁识别方法,其特征在于,低、中、高三个等级的威胁度初始化概率值相等。

3. 如权利要求1所述的基于隐马尔可夫模型的低慢小目标航迹威胁识别方法,其特征在于,所述低慢小目标的航迹信息包括五维特征参数,所述五维特征参数分别为低慢小目标到保护区的距离,以及低慢小目标的速度、航向角、高度和航路捷径。

4. 如权利要求3所述的基于隐马尔可夫模型的低慢小目标航迹威胁识别方法,其特征在于,所述构建观测序列具体包括:对所述五维特征参数进行归一化处理 and 融合处理,得到观测序列,在融合过程中根据不同的特征参数的威胁度评估大小,对不同的特征参数进行权重分配。

5. 根据权利要求4所述的基于隐马尔可夫模型的低慢小目标航迹威胁识别方法,其特征在于,所述五维特征参数按照威胁度评估大小由大到小分别是:低慢小目标到保护区的距离、低慢小目标的速度、低慢小目标的航向角、低慢小目标的高度和低慢小目标的航路捷径。

6. 根据权利要求4所述的基于隐马尔可夫模型的低慢小目标航迹威胁识别方法,其特征在于,所述观测序列的观测值 O 为:

$$O = w_d \cdot F_d(d) + w_v \cdot F_v(v) + w_\alpha \cdot F_\alpha(\alpha) + w_h \cdot F_h(h) + w_s \cdot F_s(s)$$

其中, w 表示所述五维特征参数中各个参数的权重, d 代表低慢小目标到保护区的距离, v 代表低慢小目标的速度, α 代表低慢小目标的航向角, h 代表低慢小目标的高度, s 代表低慢小目标的航路捷径, $F(\cdot)$ 表示归一化结果。

7. 根据权利要求1所述的基于隐马尔可夫模型的低慢小目标航迹威胁识别方法,其特征在于,所述训练样本集是由大量观测序列通过贝塞尔函数生成的航迹曲线。

8. 根据权利要求1所述的基于隐马尔可夫模型的低慢小目标航迹威胁识别方法,其特征在于,所述最优的隐马尔可夫模型用于单个低慢小目标威胁单个保护区的威胁度等级识别,以及多个低慢小目标威胁多个保护区的威胁度等级动态识别和排序。

基于隐马尔可夫模型的低慢小目标航迹威胁识别方法

技术领域

[0001] 本发明涉及探测与识别技术领域,具体为一种基于隐马尔可夫模型的低慢小目标航迹威胁识别方法。

背景技术

[0002] 低慢小目标飞速发展、飞行成本低廉,一方面有效地促进了国民经济的发展,便利丰富了人们的生活,另一方面带来了许多隐患,如不受航空管制的黑飞无人机造成正常民航航班的迫降,对密集人群造成伤害,再例如不法分子可能会通过携带武器装备的无人机对敏感区域进行侦察和打击等等。因此,亟需采取高效手段对低慢小目标进行管控。然而,在面对数量巨大、种类繁多的低空区域低慢小目标时,现有防御打击手段难以满足要求。

[0003] 鉴于上述问题,新的针对低慢小目标的防御方法亟待被提出。

发明内容

[0004] 针对现有技术存在的不足,本发明提供了一种基于隐马尔可夫模型的低慢小目标航迹威胁识别方法,该方法基于隐马尔可夫模型可实现动态评估的优良特性,简单且准确地刻画目标航迹与威胁等级之间的动态关系,在低慢小目标的威胁评估领域有很强的可应用性和高效性。

[0005] 为实现上述目的和其他相关目的,本发明提供了一种基于隐马尔可夫模型的低慢小目标航迹威胁识别方法,包括如下步骤:

[0006] S1、将低慢小目标对于保护区的威胁度分为低、中、高三个等级,建立具有三个隐状态的隐马尔可夫模型,其中,低、中、高三个等级分别对应所述隐马尔可夫模型的三种隐状态,并初始化所述隐马尔可夫模型的初始状态概率矩阵、状态转移概率矩阵和发射状态概率矩阵这三个参数;

[0007] S2、构建观测序列,作为所述隐马尔可夫模型的输入,所述观测序列的输入为低慢小目标的航迹信息;

[0008] S3、通过大量低慢小目标的航迹信息得到的大量观测序列,构建训练样本集,对所述隐马尔可夫模型进行训练和参数优化,并总结观测序列与三个隐状态的对应关系以及前后时刻三个隐状态相互转移变化的规律,输出最优的状态转移概率矩阵和发射状态概率矩阵;

[0009] S4、基于最优的状态转移概率矩阵和发射状态概率矩阵得到最优的隐马尔可夫模型,通过所述最优的隐马尔可夫模型实现针对保护区的低慢小目标航迹威胁识别。

[0010] 优选地,低、中、高三个等级的威胁度初始化概率值相等。

[0011] 优选地,所述低慢小目标的航迹信息包括五维特征参数,所述五维特征参数分别为低慢小目标到保护区的距离,以及低慢小目标的速度、航向角、高度和航路捷径。

[0012] 优选地,所述构建观测序列具体包括:对所述五维特征参数进行归一化处理 and 融

合处理,得到观测序列,在融合过程中根据不同的特征参数的威胁度评估大小,对不同的特征参数进行权重分配。

[0013] 优选地,所述五维特征参数按照威胁度评估大小由大到小分别是:低慢小目标到保护区的距离、低慢小目标的速度、低慢小目标的航向角、低慢小目标的高度和低慢小目标的航路捷径。

[0014] 优选地,其特征就在于,所述观测序列的观测值 O 为:

$$[0015] \quad O = w_d \cdot F_d(d) + w_v \cdot F_v(v) + w_\alpha \cdot F_\alpha(\alpha) + w_h \cdot F_h(h) + w_s \cdot F_s(s)$$

[0016] 其中, w 表示所述五维特征参数中各个参数的权重, d 代表低慢小目标到保护区的距离, v 代表低慢小目标的速度, α 代表低慢小目标的航向角, h 代表低慢小目标的高度, s 代表低慢小目标的航路捷径, $F(\cdot)$ 表示归一化结果。

[0017] 优选地,所述训练样本集是由大量观测序列通过贝塞尔函数生成的航迹曲线。

[0018] 优选地,所述最优的隐马尔可夫模型用于单个低慢小目标威胁单个保护区的威胁度等级识别,以及多个低慢小目标威胁多个保护区的威胁度等级动态识别和排序。

[0019] 综上所述,本发明提供了一种基于隐马尔可夫模型的低慢小目标航迹威胁识别方法,与现有技术相比,本发明的创新点和优点在于:

[0020] 1) 本发明将观测序列,即一种多属性决策方法的输出结果作为观测值输入到隐马尔可夫模型中进行训练,从概率角度提炼出观测背后的隐状态信息时序演化规律,并结合当前观测值信息进一步预测目标威胁等级,相比现有技术仅凭当前时刻信息做威胁评估的局限,本发明将当前时刻信息与过去时刻信息相联系,既考虑了观测信息,又考虑了结果随时间变化的情况,实现威胁等级的动态感知和预测,能够更准确和直观地分析空中飞行目标的意图,为决策方提供及时有效的决策建议,满足对空防御的实时性要求。

[0021] 2) 本发明将威胁等级评估问题转化为先验信息基础上的概率偏好和状态转移倾向估计,获得当前时刻目标处于各威胁等级的概率,克服现有技术依靠主观设置威胁值门限获取威胁等级的缺陷,更加合理有效。

附图说明

[0022] 图1为本发明一实施例提供的基于隐马尔可夫模型的低慢小目标航迹威胁识别方法步骤示意图;

[0023] 图2为本发明一实施例提供的基于隐马尔可夫模型的低慢小目标航迹威胁识别方法框架流程图;

[0024] 图3为本发明一实施例提供的基于隐马尔可夫模型的低慢小目标航迹威胁识别方法中威胁度识别隐马尔可夫模型状态转移图;

[0025] 图4为本发明一实施例提供的基于隐马尔可夫模型的低慢小目标航迹威胁识别方法中初始化的隐状态观测概率分布图;

[0026] 图5为本发明一实施例提供的基于隐马尔可夫模型的低慢小目标航迹威胁识别方法中低慢小目标的速度量化函数示意图;

[0027] 图6为本发明一实施例提供的基于隐马尔可夫模型的低慢小目标航迹威胁识别方法中低慢小目标的高度量化函数示意图;

[0028] 图7为本发明一实施例提供的基于隐马尔可夫模型的低慢小目标航迹威胁识别

方法中低慢小目标的航向角量化函数示意图；

[0029] 图8为本发明一实施例提供的基于隐马尔可夫模型的低慢小目标航迹威胁识别方法中低慢小目标与保护区之间的距离量化函数示意图；、

[0030] 图9为本发明一实施例提供的基于隐马尔可夫模型的低慢小目标航迹威胁识别方法中低慢小目标的航路捷径量化函数示意图；

[0031] 图10为本发明一实施例提供的基于隐马尔可夫模型的低慢小目标航迹威胁识别方法中训练数据集航迹示意图；

[0032] 图11为本发明一实施例提供的基于隐马尔可夫模型的低慢小目标航迹威胁识别方法中隐马尔可夫模型训练前后隐状态观测概率分布图；

[0033] 图12为本发明一实施例提供的基于隐马尔可夫模型的低慢小目标航迹威胁识别方法应用过程中单目标、单保护区的威胁度识别示意图；

[0034] 图13为本发明一实施例提供的基于隐马尔可夫模型的低慢小目标航迹威胁识别方法应用过程中多目标、多保护区的威胁度识别示意图。

具体实施方式

[0035] 以下结合附图1-13和具体实施方式对本发明提出的基于隐马尔可夫模型的低慢小目标航迹威胁识别方法作进一步详细说明。根据下面说明,本发明的优点和特征将更清楚。需要说明的是,附图采用非常简化的形式且均使用非精准的比例,仅用以方便、明晰地辅助说明本发明实施方式的目的。为了使本发明的目的、特征和优点能够更加明显易懂,请参阅附图。须知,本说明书所附图式所绘示的结构、比例、大小等,均仅用以配合说明书所揭示的内容,以供熟悉此技术的人士了解与阅读,并非用以限定本发明实施的限定条件,故不具技术上的实质意义,任何结构的修饰、比例关系的改变或大小的调整,在不影响本发明所能产生的功效及所能达成的目的下,均应仍落在本发明所揭示的技术内容能涵盖的范围内。

[0036] 参阅图1,本发明提供了一种基于隐马尔可夫模型的低慢小目标航迹威胁识别方法,包括如下步骤:

[0037] S1、将低慢小目标对于保护区的威胁度分为低、中、高三个等级,建立具有三个隐状态的隐马尔可夫模型,其中,低、中、高三个等级分别对应所述隐马尔可夫模型的三种隐状态,并初始化所述隐马尔可夫模型的初始状态概率矩阵、状态转移概率矩阵和发射状态概率矩阵这三个参数;

[0038] S2、构建观测序列,作为所述隐马尔可夫模型的输入,所述观测序列的输入为低慢小目标的航迹信息;

[0039] S3、通过大量低慢小目标的航迹信息得到的大量观测序列,构建训练样本集,对所述隐马尔可夫模型进行训练和参数优化,并总结观测序列与三个隐状态的对应关系以及前后时刻三个隐状态相互转移变化的规律,输出最优的状态转移概率矩阵和发射状态概率矩阵;

[0040] S4、基于最优的状态转移概率矩阵和发射状态概率矩阵得到最优的隐马尔可夫模型,通过所述最优的隐马尔可夫模型实现针对保护区的低慢小目标航迹威胁识别。

[0041] 在本实施例中,参阅图2,对于步骤S1,即首先进行模型初始化:在本发明中,将低

慢小目标对于保护区的威胁度分为“低、中、高”三个等级，分别对应了隐马尔可夫模型中的三种隐状态。然后初始化所述隐马尔可夫模型的初始状态概率矩阵、状态转移概率矩阵和发射状态概率矩阵这三个参数。

[0042] 对于初始状态概率矩阵，在低慢小目标的航迹威胁度识别过程中，由于目标是而非合作的，其工作意图和任务都是未知的，为了保证对所有航迹信息的威胁度识别的公平性，在初始化过程中，取初始时刻低慢小目标的每条航迹的三个不同威胁度等级的概率是均等的，即在本发明中，任意一条航迹的低、中、高三种威胁度的初始化概率都是1/3。

[0043] 除了初始状态概率矩阵，隐马尔可夫模型参数还包括状态转移概率矩阵和发射状态概率矩阵。三种隐状态的状态转移关系如图3所示。在低慢小目标的飞行过程中，低慢小目标的航迹信息会对威胁度等级的判别产生影响，例如当目标和保护区之间距离较近且速度较快时，此时的威胁度更倾向于为高，并且随着目标的运动，威胁度也是在不断变化的。考虑到实际的运动因素来说，低慢小目标一般不具备大的机动性，即在低慢小目标处于低威胁度时（距离较远、速度较慢）能够直接转移到高威胁度（距离近、速度快）的概率是极小的。从事件发生的角度上出发，不同状态的转换概率有如下关系 $p_{xx} > p_{xy} > p_{xz}$ ，这意味着低慢小目标在运动过程中有较大的概率在当前威胁度下转移，其次具有较小的概率转移到相邻的威胁度（距离、速度等因素发生变化），而最后具有极小的概率发生状态突变（大机动性的变化），这种模型的构建方法符合常规事件发生的规律。

[0044] 在上述逻辑下，即已知航迹威胁度具有较大概率转移到当前状态，具有较小概率转移到相邻状态以及具有极小概率转移到间隔状态的逻辑下，本实施例可以设初始化状态转移概率如表1所示。在表1中，行表示当前状态，列表示下一时刻的状态，表中的概率值表示当前状态转移到下一时刻该状态的概率。实际上，转移概率可根据具体场景进行设定，并通过模型训练得到优化。

[0045] 表1

[0046]

	低	中	高
低	0.6	0.3	0.1
中	0.2	0.6	0.2
高	0.1	0.3	0.6

[0047] 假设隐状态的观测值分布符合高斯分布模型，观测值范围为0~100，低、中、高威胁度状态的观测均值分别为20、50、80，方差均为5。以此对模型的发射状态概率矩阵进行初始化，各隐状态的观测分布概率如图4所示。

[0048] 在本实施例中，对于步骤S2，即进行模型观测序列构建，取低慢小目标的航迹信息作为隐马尔可夫模型的观测序列的输入，而观测序列是隐马尔可夫模型的输入。

[0049] 所述低慢小目标的航迹信息包括多维特征参数，所述多维特征参数分别为低慢小目标到保护区的距离，以及低慢小目标的速度、航向角、高度和航路捷径对于空中低慢小目标而言，多维特征参数中的机动性能和接近程度表征了目标的航迹信息，其中既包含了目标当前状态的信息，同样也包含了目标航迹在未来的趋势。其中，低慢小目标的速度和高度信息体现了低慢小目标的机动性能，低慢小目标飞行速度越快、飞行高度越低，对保护区的攻击意图越明显，威胁程度越高。接近程度包括航路捷径、航向角和距离，航向角越小、距离越近、航路捷径越小，威胁程度越大。

[0050] 在本实施例中,已知航迹信息中具有五维特征参数,在构建观测序列时 需要对这五维特征参数做融合处理,在融合过程中由于不同的参数信息对于 威胁度的评估具有不同的威胁权重,故需要对不同的参数进行权重分配。本 实施例在权重分配过程中综合参考了主观经验知识,在威胁度排序上按照“距 离>速度>航向角>高度>航路捷径”的顺序。并且,在得到权重分配后,由于 各个维度的参数单位不同、量级不同,难以综合地融入到观测序列当中,在 观测序列构建前需要对各个参数进行归一化处理,归一化处理方式如下:

[0051] 1) 速度归一化处理

[0052] 设低慢小目标速度 v ,量化函数:

$$[0053] \quad F_v(v) = \begin{cases} 0.9(1 - e^{-a(v-v_0)}) + 0.1 & v \geq v_0 \\ 0.1 & v < v_0 \end{cases} \quad (1)$$

[0054] 式中,速度 v 的单位是m/s,参数 a 的取值取决于 v_0 和 v_1 。当低慢小目标 速度小于 v_0 时,认为低慢小目标对保护区存在威胁很小,量化值为 $F_v(v) = 0.1$; 当速度大于 v_0 时,随着低慢小目标速度的增大,对保护区的威胁程度越大, 当 $v = v_1$ 时量化值为0.5。本实施例中取 $v_0 = 15\text{m/s}$, $v_1 = 25\text{m/s}$,则 $a = 5.88 \times 10^{-2}$,速度量化函数图如图5所示。

[0055] 2) 高度归一化处理

[0056] 设低慢小目标的飞行高度为 h ,量化函数为

$$[0057] \quad F_h(h) = \begin{cases} 1 & h \leq h_0 \\ e^{-a(h-h_0)^2} & h > h_0 \end{cases} \quad (2)$$

[0058] 式中,高度 h 的单位是m,参数 a 的取值取决于 h_0 和 h_1 。当低慢小目 标的高度小于 h_0 时,雷达侦察难度大,威胁程度大,量化值为 $F_h(h) = 1$; 当目标高度大于 h_0 时,随着低慢小目 标高度增大威胁程度降低,当 $h = h_1$ 时量化值为 $F_h(h_1) = 0.5$ 。本实施例中取 $h_0 = 300\text{m}$, $h_1 = 500\text{m}$,则 $a = 1.73 \times 10^{-5}$,高度量化函数图如图6所示。

[0059] 3) 航向角归一化处理

[0060] 低慢小目标的航向角表示目标航向与保护区的夹角大小。目标航向角为 0,可认为目标瞄准保护区前进,威胁程度最大。当航向角越大,威胁程度越 小,当 $\alpha = \alpha_1$ 时量化值 为 $F_\alpha(\alpha_1) = 0.5$ 。航向角量化函数为

$$[0061] \quad F_\alpha(\alpha) = \begin{cases} 1 & \alpha \leq \alpha_0 \\ e^{-k(\alpha-\alpha_0)^2} & \alpha > \alpha_0 \end{cases} \quad (3)$$

[0062] 式中, k 的取值取决于 α_0 和 α_1 ,本实施例中取 $\alpha_0 = 45^\circ$, $\alpha_1 = 90^\circ$,则 $k = 1.93 \times 10^{-4}$, 航向角量化函数图如图7所示。

[0063] 4) 距离归一化处理

[0064] 低慢小目标与保护区越近,其突防成功的概率越大,对保护区的威胁越 大。设 d 为低慢小目标与雷达相对距离, d 单位为m,量化函数为:

$$[0065] \quad F_d(d) = \begin{cases} 1 & 0 \leq d < d_0 \\ e^{-a(d-d_0)^2} & d \geq d_0 \end{cases} \quad (4)$$

[0066] 式中,参数 a 的取值取决于 d_0 和 d_1 。可认为当低慢小目标相对距离小于 d_0 时,可为保 护区带来毁灭性打击,量化值 $F_d(d) = 1$;当距离大于 d_0 时,随着 低慢小目标距离增大,威胁

程度减小,且当 $d=d_1$ 时,量化值 $F_d(d_1)=0.5$ 。本实施例中设置 $d_0=300\text{m}$, $d_1=600\text{m}$,则 $a=7.70\times 10^{-6}$,距离量化函数图如图8所示。

[0067] 5) 航路捷径归一化处理

[0068] 设航路捷径为 s ,量化函数为

$$[0069] \quad F_s(s) = \begin{cases} 1 & s \leq s_0 \\ e^{-a(s-s_0)^2} & s > s_0 \end{cases} \quad (5)$$

[0070] 式中,航路捷径 s 的单位是 m ,参数 a 的取值取决于 s_0 和 s_1 。当低慢小目标的航路捷径小于 s_0 时,雷达侦察难度大,威胁程度大,量化值为 $F_s(s)=1$;当低慢小目标的航路捷径大于 s_0 时,随着低慢小目标的航路捷径增大威胁程度降低,当 $s=s_1$ 时量化值为 $F_s(s_1)=0.5$ 。本发明中取 $s_0=150\text{m}$, $s_1=300\text{m}$,则 $a=3.08\times 10^{-5}$,航路捷径量化函数图如图9所示。

[0071] 完成参数归一化和权重分配后,目标航迹的观测值表示为

$$[0072] \quad 0 = w_d \cdot F_d(d) + w_v \cdot F_v(v) + w_\alpha \cdot F_\alpha(\alpha) + w_h \cdot F_h(h) + w_s \cdot F_s(s) \quad (6)$$

[0073] 其中, w 表示各个参数的权重, $F(\cdot)$ 表示归一化结果。至此,不同的航迹信息的特征参数根据权重值被融合在一起得到了归一化的结果,其结果取值范围为 $[0,1]$ 。为了满足隐马尔可夫模型的观测序列取值,对最终的取值结果进行放大处理,如式(7)所示,其中 G 是放大增益,在本实施例汇总中取 $G=100$, $[\cdot]$ 表示四舍五入取整运算。

$$[0074] \quad 0_s = [G \cdot 0] \quad (7)$$

[0075] 由此构建出观测序列,用以进行隐马尔可夫模型的训练和参数优化。

[0076] 在本实施例中,对于步骤S3,即进行模型训练及参数优化,其原因是由于初始化的航迹威胁度识别隐马尔可夫模型存在一定的人为主观因素,为了使模型能够更好地应用于数据应用处理中,需要利用大量的样本数据集对模型进行训练,实现模型参数的优化,其主要优化点为隐状态之间的状态转移概率矩阵以及隐状态的观测发射概率矩阵。

[0077] 可通过大量低慢小目标的航迹信息得到的大量观测序列,构建训练样本集,对所述隐马尔可夫模型进行训练和参数优化,并总结观测序列与三个隐状态的对应关系以及前后时刻三个隐状态相互转移变化的规律,输出最优的状态转移概率矩阵和发射状态概率矩阵。其中,训练样本集是由贝塞尔函数生成的航迹曲线,训练样本航迹示意图如图10所示。从图中可以看出,训练样本航迹具有较大的随机性,每一条航迹对于保护区来说都处于不同的状态下,且当目标按照航迹运动时其威胁度状态也是在变化的,大量的随机样本数据有助于模型参数的优化和学习。

[0078] 对此,发明人进行了试验,经过样本集训练后,模型的参数得到了一定的调整,首先是隐状态转移概率矩阵得到了优化,从训练结果来看,在低慢小目标的航迹中威胁度保持不变的概率极大,而向相邻状态转移和间隔状态转移的概率都非常小,但始终保持 $p_{xx} > p_{xy} > p_{xz}$ 的顺序,这说明在初始化建模过程中的思想是符合实际航迹威胁度特征的,但是初始化的概率取值偏向保守,在这里通过样本训练对该参数进行了一定的优化。训练后隐状态转移概率矩阵为:

$$[0079] \quad \text{TRANS_EST} = \begin{bmatrix} 0.9605 & 0.0272 & 0.0123 \\ 0.0222 & 0.9592 & 0.0187 \\ 0 & 0.0267 & 0.9733 \end{bmatrix} \quad (8)$$

[0080] 另一方面,经过样本集的训练后模型的发射概率矩阵也得到了一定的修正,隐状态的观测值分布概率如图11所示。从图中可以看出,经过训练修正后,样本集总的观测值概率分布趋向于一个高斯分布,并且经过训练后的观测概率分布与初始化结果有一定差异。这主要是因为训练样本集的生成是完全随机的,空间中的航迹信息形成的观测值的确符合整体的高斯分布。查看训练样本可知,生成的样本集中观测值取较小值(<15)或者观测值取较大值(>80)的样本量非常小,这也是造成这种训练结果的原因之一。

[0081] 在本实施例实施中,对于步骤S4,即进行训练得到的最优的隐马尔可夫模型的应用和测试,实际上,所述最优的隐马尔可夫模型用于单个低慢小目标威胁单个保护区的威胁度等级识别,以及多个低慢小目标威胁多个保护区的威胁度等级动态识别和排序。

[0082] 当保护区为1个,低慢小目标为1个时,其识别结果如图12所示。从图中可以看出,随着低慢小目标航迹的运动,其威胁度也是在逐渐变化的,在初始时刻尽管低慢小目标速度较大,但是由于距离较远且航向角并不指向保护区故其一直处于低威胁度状态下,而随着低慢小目标的机动性转弯尽管速度有所下降但是距离和航向角进一步逼近保护区,此时就得到了中威胁度的等级分类,进一步地随着距离和高度的变化该航迹逐渐由中威胁度转向高威胁度。当保护区和飞行目标均为1个时,低慢小目标各时刻的威胁等级即保护区的威胁等级,二者意义相同。但在实际场景中,低慢小目标和保护区往往不止一个,此时需要考虑多个飞行目标情况下,单个保护区的威胁等级的计算方法。

[0083] 由于保护区的威胁等级反映了决策方对低慢小目标进行反击的迫切程度,取低慢小目标中最高的威胁等级作为保护区的威胁等级,并基于威胁等级对多个飞行目标和多个保护区进行实时排序,以及时为决策方提供决策建议,同时针对多个保护区,当处于高威胁等级状态时做出警示。

[0084] 对于多个飞行目标和多个保护区的情况,发明人做了试验,如图13所示,从图13看出,当前时刻四个保护区的威胁等级从高到低的排序依次为保护区 p_2 >保护区 p_3 >保护区 p_4 >保护区 p_1 ,保护区 p_2 和保护区 p_3 为高威胁等级,保护区 p_1 和保护区 p_4 为中威胁。其中,四个低慢小目标的速度接近,距离、航向角等是决定威胁等级的主要因素。对于保护区 p_1 、保护区 p_2 这两个距离较近的保护区而言,目标1的距离最近,所以这个低慢小目标对保护区的威胁度均最高;对于保护区 p_3 来说,目标4的距离最近,威胁度最高;而对于保护区 p_4 ,目标2和目标1、4距离因素接近,但目标1、4以远离保护区的趋势运动,目标2朝向目标4的方向运动,航向角这一因素的贡献较大,故目标2的威胁度最高,其次是距离较近的目标1和目标4,最后是距离最远的目标3。从仿真结果来看,本发明实现了低慢小目标航迹威胁度的动态识别,具有时效性,可有效地为保护区的低慢小目标监管系统及火力控制系统提供辅助情报信息,在面对大量非合作目标时实现最大化的资源分配管控。

[0085] 本发明的优点在于将观测序列,即一种多属性决策方法的输出结果作为观测值输入到隐马尔可夫模型中进行训练,从概率角度提炼出观测背后的隐状态信息时序演化规律,并结合当前观测值信息进一步预测目标威胁等级,相比现有技术仅凭当前时刻信息做威胁评估的局限,本发明将当前时刻信息与过去时刻信息相联系,既考虑了观测信息,又考虑了结果随时间变化的情况,实现威胁等级的动态感知和预测,能够更准确和直观地分析空中飞行目标的意图,为决策方提供及时有效的决策建议,满足对空防御的实时性要求。此外,将威胁等级评估问题转化为先验信息基础上的概率偏好和状态转移倾向估计,

获得当前时刻目标处于各威胁等级的概率,克服现有技术依靠主观 设置威胁值门限获取威胁等级的缺陷,更加合理有效。

[0086] 尽管本发明的内容已经通过上述优选实施例作了详细介绍,但应当认识到上述的描述不应被认为是对本发明的限制。在本领域技术人员阅读了上述 内容后,对于本发明的多种修改和替代都将是显而易见的。因此,本发明的 保护范围应由所附的权利要求来限定。

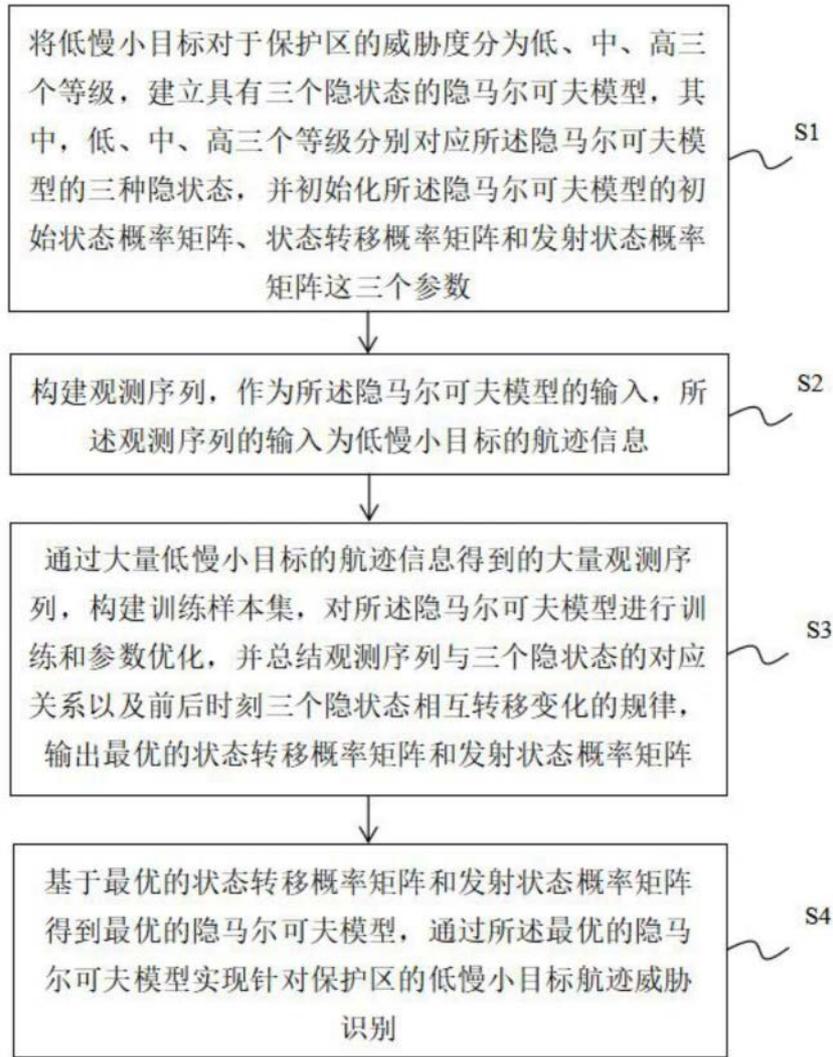


图1

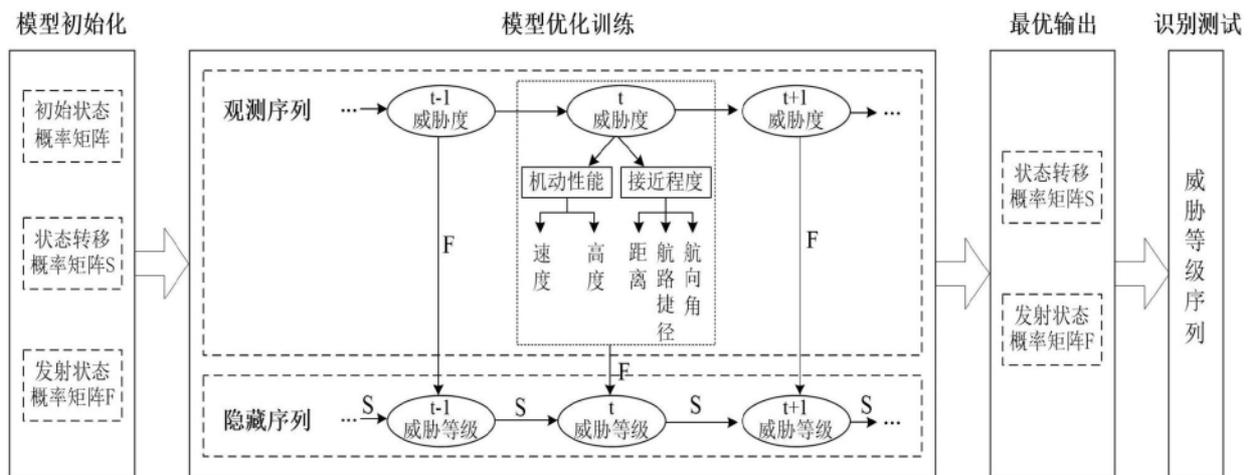


图2

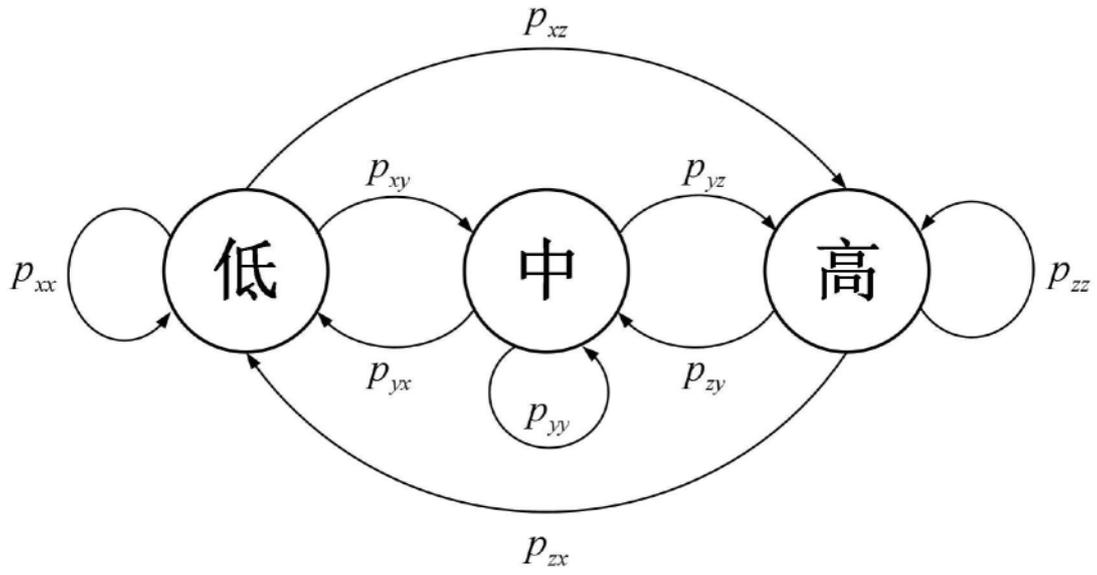


图3

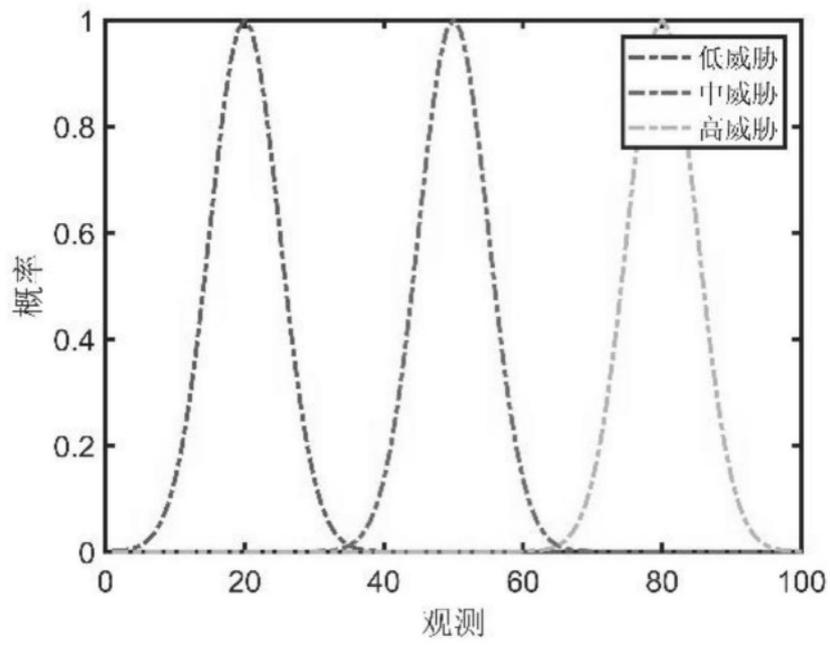


图4

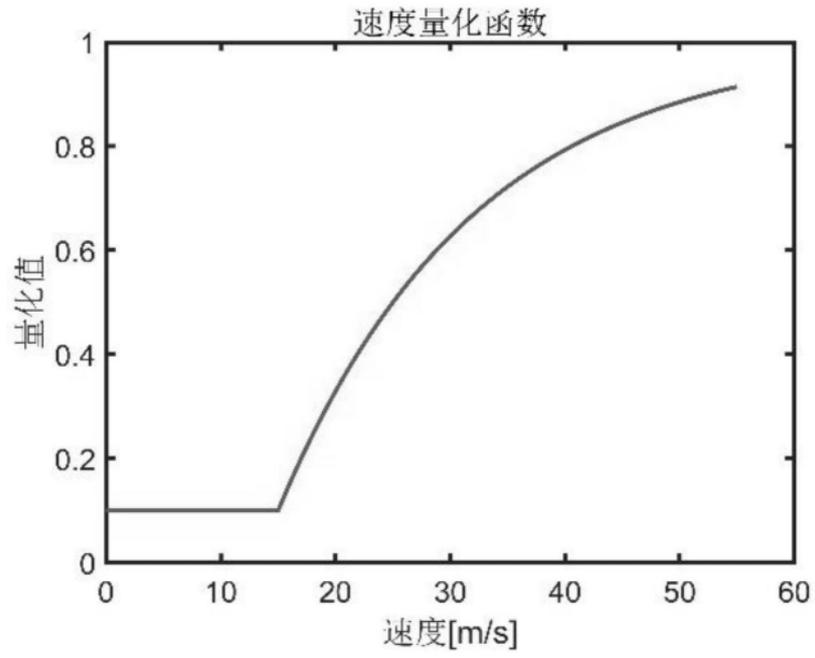


图5

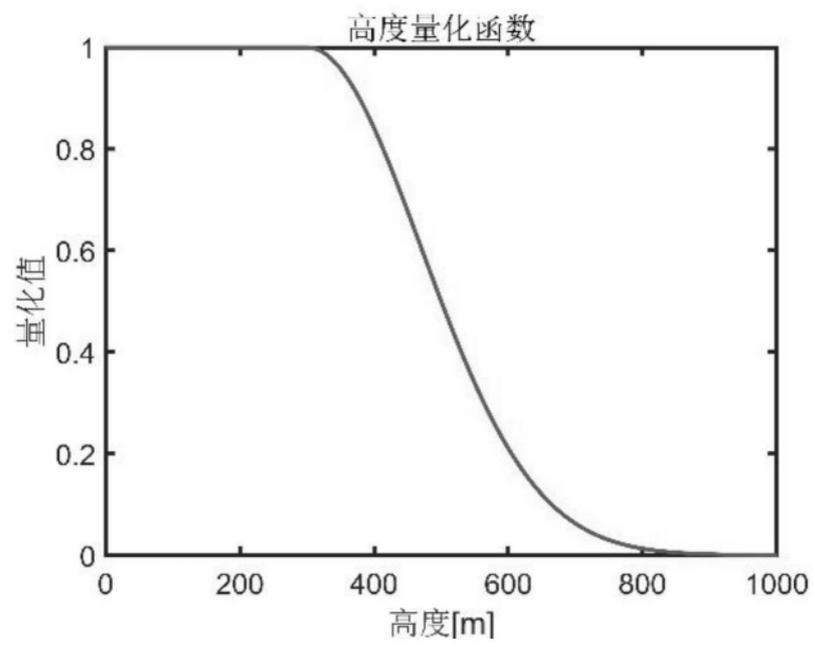


图6

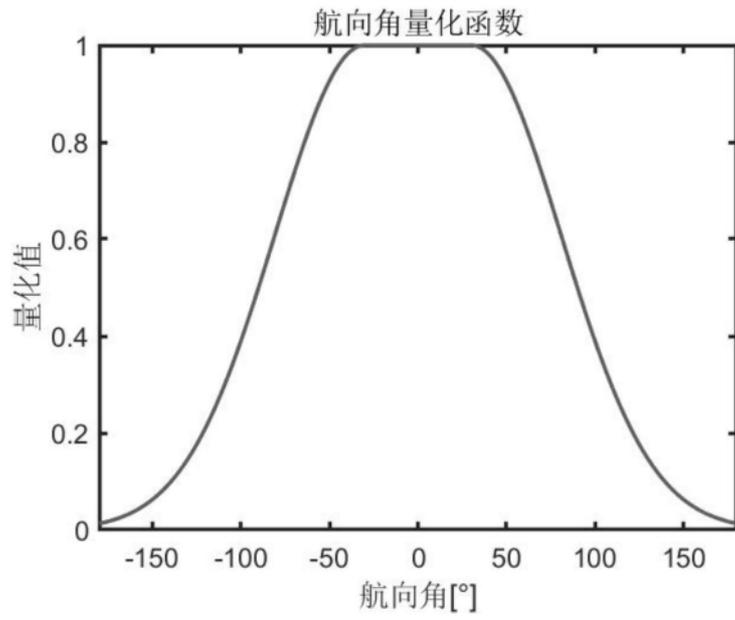


图7

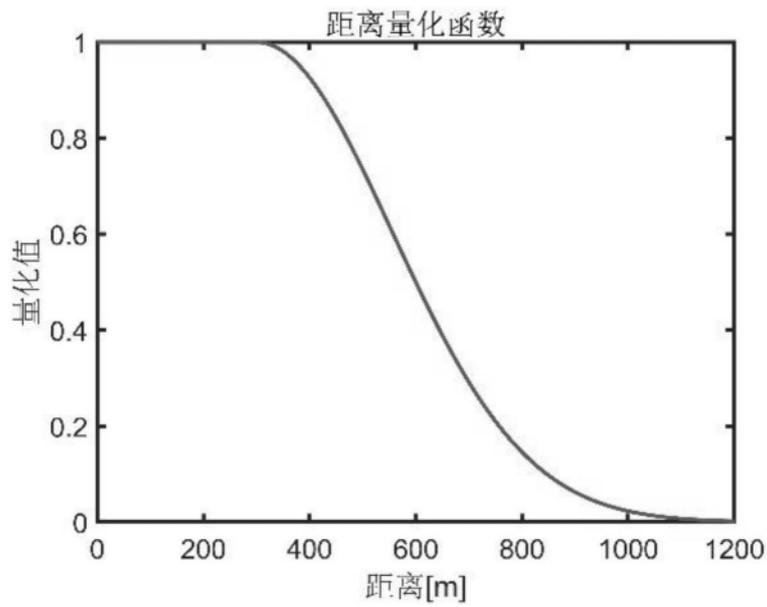


图8

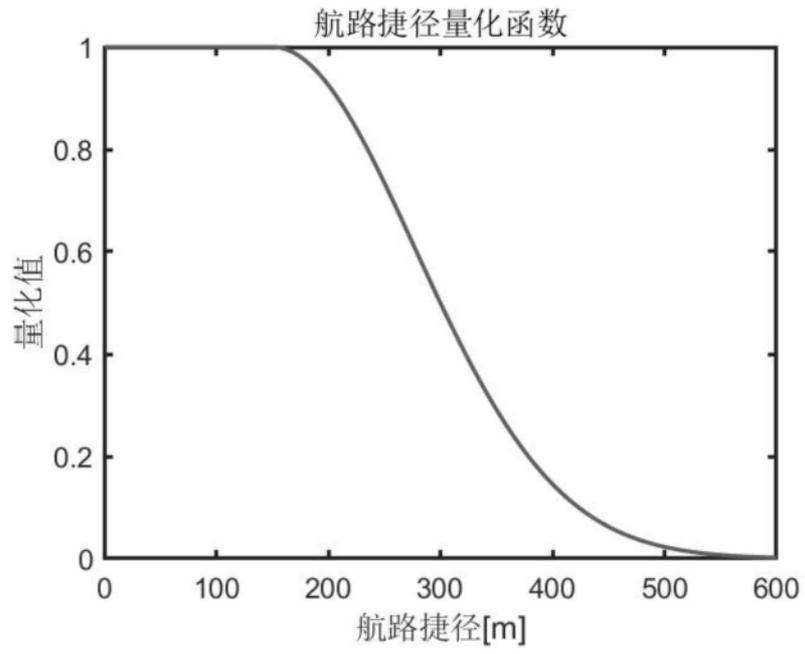


图9

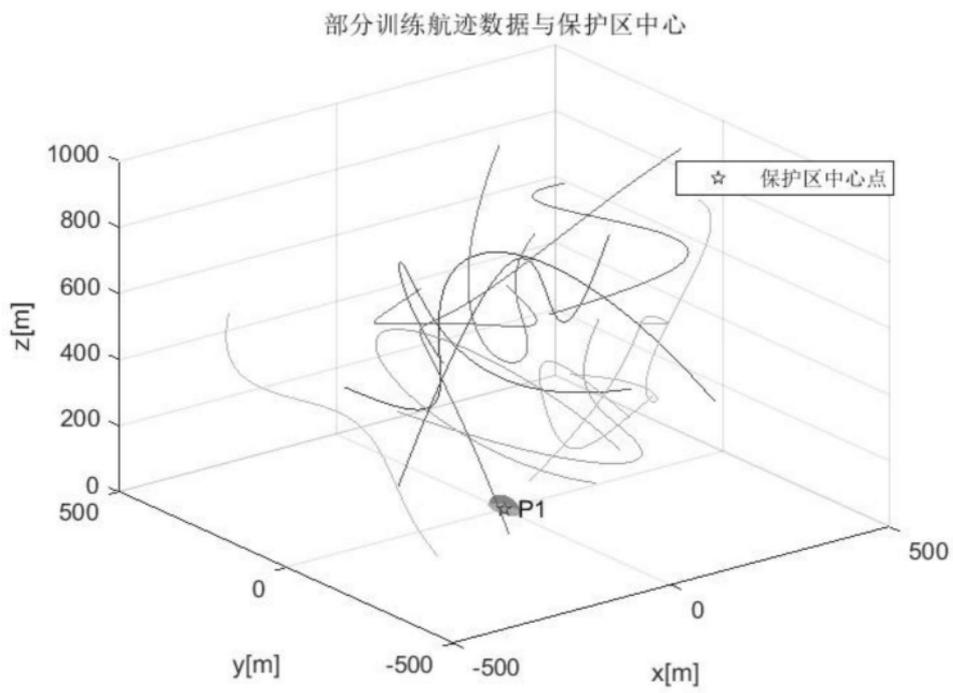


图10

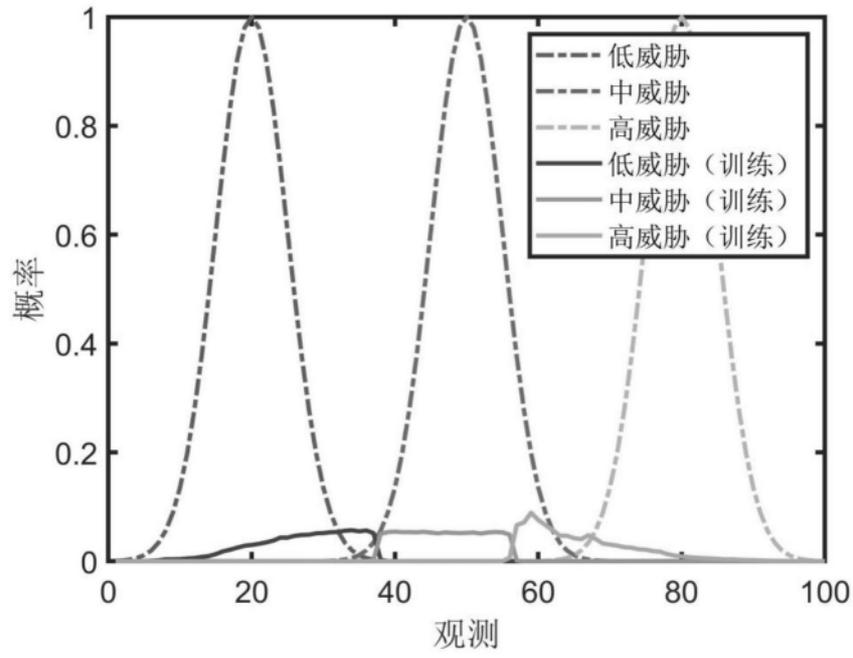


图11

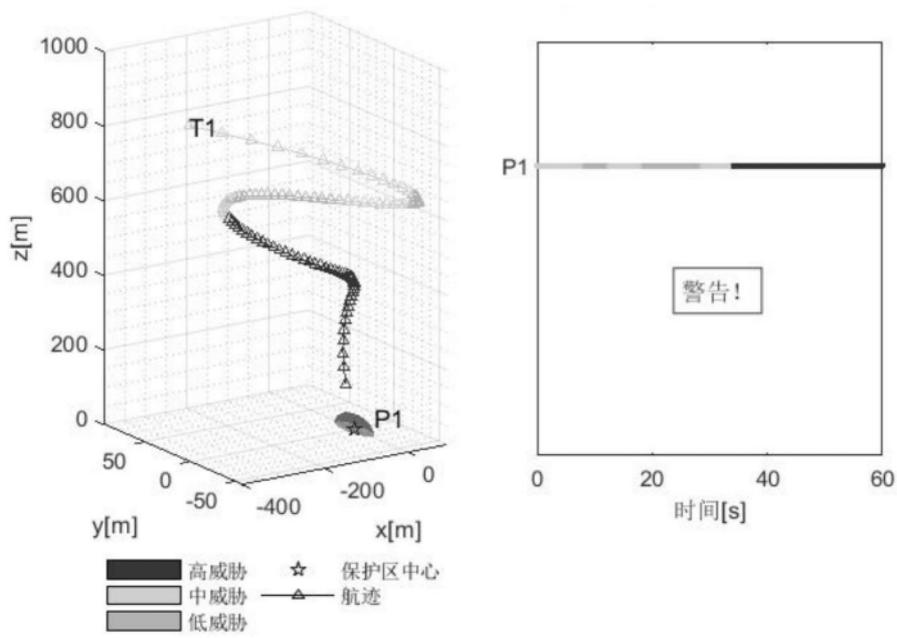


图12

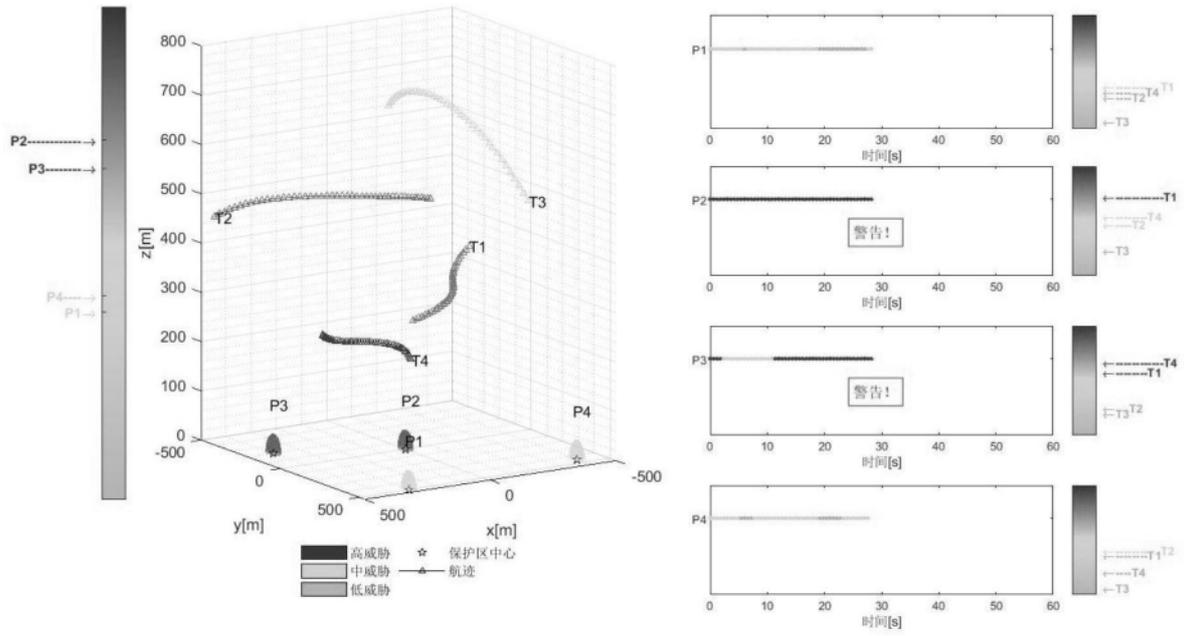


图13