

基于元胞自动机的矿料仓库系统

摘要

摘要

关键词: 元胞自动机 边缘检测 形状匹配

一、问题重述

随着空战游戏越来越吸引玩家的目光，游戏开发过程中如何设计良好的人机交互工作，已经成为一项具有挑战性的工作。

在游戏中玩家操纵飞机，在飞机的机动性能约束下实现各种各样的战斗机动动作，实现各种各样的策略以及完成意图。分析调研飞行数据，可以帮助团队评估格斗行为的效果和玩家的飞行水平，从而进行改进。

经过分析整理，我们需要解决以下问题：

1. 通过有关文献研究飞机的机动动作，建立尽可能完善的机动动作描述与量化模型。
2. 通过附件中的 10 场飞机时序数据，得到每架飞机的飞行动作序列，按指定格式输出。
3. 建立机动序列的动作分割算法，判断各个动作子序列的意图，并利用附件中数据进行验证。
4. 建立空战态势评估模型，利用附件中数据进行验证。

二、问题分析

2.1 问题一的分析

该问要求我们查阅参考资料，建立战机机动的量化模型。为此考虑根据已知的飞行参数确定对应的战斗机机动行为。一个战斗行为可能带来一系列参数的变化，因此结合多个参数的变化情况来判断动作类型，对于某些复杂动作，可能会有多段变化过程，因此需要结合相邻的两次变化情况进行判断。由于决定飞机飞行动作的参数种类有限，每一种参数也只有集中情况，考虑就飞行参数变化建立决策树，对战斗机的机动行为进行识别。

2.2 问题二的分析

分析题中附件所给数据，得出附件中信息有以下特点：数据冗余、数据缺失和个体多样问题。针对数据冗余问题，需要去除那些不便于利用的数据格式；针对数据缺失问题，需要采用缺失处相邻部分的数据进行填充，考虑到填充过程不应当引入噪声，因此采用 matlab 工具箱中的移动均值方法填补缺失数据；对于数据个体多样问题，由于每个个体的动作分析应当独立进行，且需要分析的个体类型为“Air+FixedWing”且每次战斗不止有一架飞机参与战斗，因此需要使用 id 和类型对时间序列进行分类分析。

在分析数据的基础上，我们还构思了提取飞行参数变化情况的方法。单一飞机一段时间内的飞行数据，可以看作是多维度的时间序列数据。为了分析各个维度的变化状态，尝试使用差分法，但是体现出易受噪声干扰和局部性的特点，不能很好体现出数据的变化趋势。由于以上原因，又改用双滑动窗口法，具有较好的消除噪声和判断趋势的能力。

2.3 问题三的分析

要推知战场上战斗机的动作序列意图，我们仅仅使用飞机战斗动作序列是不够的。这是由于模拟战斗过程中状况千变万化，同一战斗动作可能在不同的战斗过程中体现不同的意图。因此需

要先结合战场真实情况，包括敌我双方的战机与导弹位置分布与方位角指标等信息来分析战场情况。随后将战场情况数据通过决策手段来判断战机意图。在将意图所对应的时间区间内的动作状态和该意图之间进行对应。通过分析一场战役中的某些意图对应的动作序列，分析其统计特征，最后分析出子动作序列和意图之间的关系。

三、模型假设

1. 飞机所记录的飞行参数真实可信，没有因各种因素而导致数据错误。

原因：动作序列的分割识别工作基于飞行时的各项参数所决定，如果飞行参数有误，那么所计算得出的动作序列将不准确。

2. 十大

原因：

四、名词解释与符号说明

4.1 名词解释

1. 飞行参数

在空战模拟中飞机的时序数据，包含飞机海拔高度，真实空速 (TAS)，俯仰角，偏航角 (Yaw) 等指标。每条指标由 id 与 Unix 时间唯一标识。

2. 机动动作

战机在空中飞行过程中，飞机为了某些战术意图而做出的行为。在分析过程中，机动动作是最小的分析单位，不能再进行分割。

3. 意图

查阅参考文献 [1] 可知，在军事领域，目标意图包括两层含义：第一层指战场目标将来可能的行为，即意图决定了目标行动的选择；第二层是指目标试图完成任务，即意图是以作战目的引导的目标行为。在这里我们采用第二种解释，飞机动作序列的执行最终目的是，这些任务是实现作战意图，包括攻击，侦察等。

4.2 符号说明

以下是本文使用的符号以及含义：

五、模型的建立与求解

以下将对提出的四个问题进行建模求解。

符号	说明	单位
h	飞机飞行高度	m
\dot{h}	飞机飞行高度变化	m/s
α	飞机航向角	$^{\circ}$
$\dot{\alpha}$	飞机航向角变化率	$^{\circ}/s$
v	飞机飞行速度	m/s
Y	飞机飞行意图	$/$
M	飞机飞行动作	$/$

5.1 机动动作描述与量化模型

为了进行空战势态感知, 机动决策, 意图识别等工作, 常常根据需要预先建立空战动作库 [2]。常见的空战库设计有两种方法, 分别是包含丰富战术动作的典型战术动作库和由美国 NASA 学者 [3] 提出的基本操纵动作库。前者内容丰富, 但是前一种方法存在识别困难, 对于某些复杂动作可能中断的情况处理不佳, 而后一种方式以极限情况操作粗猛, 不能保证组合出所有的战术动作。文献 [4] 中提出的机动动作集合兼顾二者的优点, 列举了仪表动作, 简单特技, 复杂特技共三类十二种动作, 如表 (3)。这一选择兼顾了简单动作与复杂动作, 具有飞行动作代表性, 易于识别。

表 1: 战斗机的三类机动动作

仪表动作	简单特技	复杂特技
盘旋	半滚倒转	“S” 形急转
急跃升		
俯冲	斤斗	战斗转弯
水平匀速直线飞行		
水平加速直线飞行	半斤斗翻转	眼镜蛇机动
水平减速直线飞行		

下面分别介绍各个动作的战机移动特点, 并总结出各个动作的定性判别标准。

1. 盘旋

据有关文献 [5], 盘旋动作时, 飞机的航向角一定会发生变化。航向角变化是盘旋的主要特点, 根据航向角的变化趋势, 还可以将盘旋进一步细分为左盘旋和右盘旋。此外, 盘旋还可以被分为各种细类, 但是考虑到识别的效率和复杂度, 本文中仅考虑水平稳定盘旋, 在此过程中, 飞机飞行速度和飞行高度俱不变。

2. 急跃升

在急跃升动作中, 飞机迅速拉起, 以达到躲避敌机和占据有利地位的目的。其飞行参数特点是提升高度的同时降低了速度。

3. 俯冲

飞机进行俯冲动作时以大角度和高速度下冲，在飞机高度下降过程中飞机的势能转变为机械能，速度增加。

4. 直线飞行

飞行过程中高度和方位角不发生变化，此时飞机进行直线飞行。根据加速度分为加速、匀速和减速直线飞行三种。

5. 半滚倒转

据参考文献显示 [6]，半滚倒转是一种常用在脱离空战情况下的机动方式。在进行该动作时，飞机先横滚半圈，再做半个内斤斗，随后在低高度下反方向改平飞出，如图（1a）。该机动方式迅速改变航向的同时，降低了高度，提升速度，是一种高效的脱离方式。

6. 斤斗

在斤斗过程中，飞机由水平直线飞行过程中拉起机身，在竖直方向上做一个圆周运动，飞机机盖指向圆周内部，如图（1b）。飞行参数表现为高度先升高后降低，航向角发生两次突变，速度先增后减。

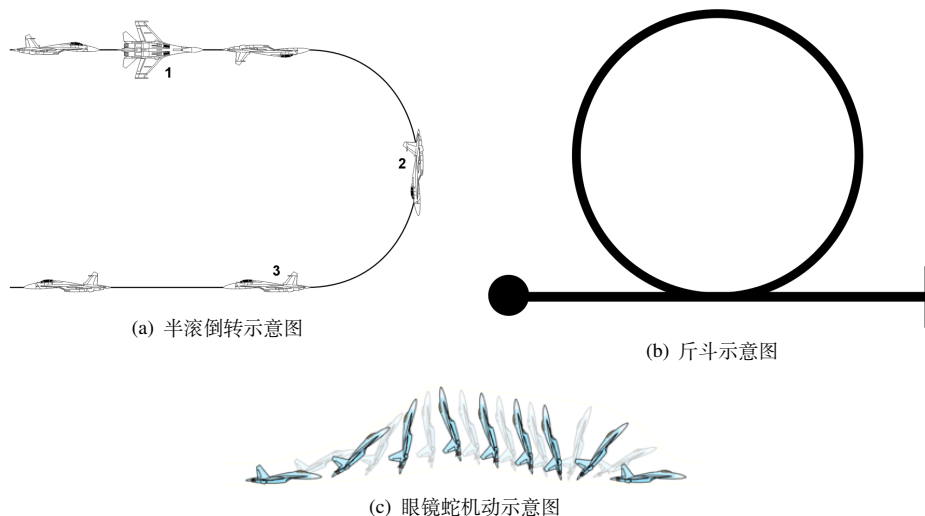


图 1: 部分飞行动作示意图

7. “S”形急转

飞机在进行“S”形急转时方向变化两次，高度不发生变化。经过该动作后的飞机航向改变。

8. 战术转弯

该动作适用于在俯冲攻击后改出的情况，在拉升的过程中同时改变方向角。在此过程中，高度上升，方向角增加或者减少。

9. 眼镜蛇机动

在敌机紧追我方时使用该动作对敌方进行战术躲避。[7] 该动作上拉机头，导致飞行速度迅速降低，随后机头开始下沉时，加大油门直到飞机转为水平姿态。在整个过程中，飞机的高度基本保持不变，如图（1c）所示。

为了区分各个机动动作，综合上述分析结果，文章还提出各动作的定性评价指标。所列出的十二项动作都可以由五项飞行参数定量确定，机动动作和飞行参数的对应关系如表 2 所示。各个飞行参数同附件数据中对应情况如下：

- 飞行高度这一参数对应附件中的 **Altitude** 字段，该字段代表海拔高度，与 ASL 几乎相同。不选用地面海拔高度（AGL）的原因是指标表示了飞机同地面的高度之差，飞机进行平飞的时候可能经过变化的地形，导致飞机与高度变化相关的机动动作识别出现错误。
- 航向角这一飞行参数对应“**YAW**”字段，又称偏航角，表示飞机相对于正北方向的角度。
- 飞行速度考虑使用真实空速（**TAS**）字段代表其航行速度。这是参考相关资料 [8] 后得出的决定，在指示空速，真空速和马赫数之间，只有真空速（**TAS**）代表飞机事实上在空气中的移动速度。
- 对于某些字段的变化速率的趋势问题（如航向角变化速率变大）我们采用二阶差分判断其变化情况。

根据以上信息，我们依据战机一段时间内的飞行参数情况可以判断其动作。我们取这五个飞行参数作为决策节点，构建决策树进行战机行为识别，每次选取使节点不纯度下降最大的决策顶点进行划分，直至所有的飞行参数被用完，或是对应分支下只有一类。

假设战机在 Δt 时间内的飞行参数变化情况为 $A(h, \dot{h}, \alpha, \dot{\alpha}, v)$ ，其中 h, \dot{h} 分别代表飞行高度和飞行高度变化率， $\alpha, \dot{\alpha}$ 分别代表航向角及其变化率， v 代表飞行速度。以战机的飞行参数作为决策树的输入，得到输出结果动作，决策树如下图所示：

上述识别过程即为动作描述量化模型。在完成单个动作的识别后，我们还需考虑时间间隔的划分策略，以及趋势的判别方式，我们将在下一部分进行建模分析。

5.2 机动动作序列识别模型

为了解决问题二，需要将附件数据进行清洗筛选，随后判断其变化趋势情况，就时间段输入到动作描述量化模型中，最后输出所有飞机的飞行动作序列。该序列包含每个 unix 时间对应下的飞机 id 与对应的动作。为此我们建立双窗口滑动趋势判断模型，根据变化趋势来识别时间序列片段的飞行参数变化情况与起止时间，随后利用动作描述量化模型识别对应的动作。

5.2.1 数据预处理过程

分析观察数据，数据有个体丰富种类多样的特点。具体体现在一个文件代表一场战役，战役中含有敌我双方的若干飞机、导弹与干扰弹等。这些战场上的实体在任意时段出现或是消失。要进行动作序列的生成，需要将属于每个个体的条目分别划分出来。

在划分各个个体的数据后，观察按照 unix 时间排列的数据序列，发现存在数据缺失的现象，这是由于不同参数的采样率存在差异。为了分析的统一性，对这些数据进行插值。比较了线性插

表 2: 机动动作同飞行参数的定性对应关系

机动动作	飞行高度	飞行高度变化率	航向角	航向角变化率	飞行速度
左盘旋	保持	保持	变小	保持	保持
右盘旋	保持	保持	变大	保持	保持
急跃升	升高	先增大后减小	保持	保持	变小
俯冲	降低	先减小后增大	保持	保持	变大
水平匀速 直线飞行	保持	保持	保持	保持	保持
水平加速 直线飞行	保持	保持	保持	保持	变大
水平减速 直线飞行	保持	保持	保持	保持	变小
半滚倒转	降低	先减小后增大	突变	突变	变大
斤斗	先升高 后降低	先增大后减小	突变	突变	先减小 后增大
半斤斗翻转	先升高 后保持	先增大后减小	突变	突变	变小
“S”形急转	保持	保持	先减小后增大/ 先增大后减小	先减小后增大/ 先增大后减小	保持
战斗转弯	升高	先增大后减小	变大/变小	先增大后减小/ 先减小后增大	变小
眼镜蛇机动	先升高 后保持	先增大后减小	保持	保持	变小

值，常数填补，以及移动均值方法，考虑到线性插值易受噪声影响，常数填补方式难以确定填补数值，而采用移动均值方法较好的减弱了噪声，因此采用该方法填补了缺失数值。

在完成上述步骤后，随机选取一架飞机的时间序列并绘制，观察到高度 h 较为稳定，而飞行速度 v 等飞行参数会存在不停止的小幅波动。原因在于飞机正常飞行时高度一般保持不变，但是空中气流的存在使得飞机速度和航向角等会发生波动。

观察数据特点后，我们想要从参数序列中提取变化情况，即判断一段参数序列是平稳不变，还是上升或者下降。需要尽可能减少噪声带来的误判，并准确识别数据的变化趋势。我们尝试使用差分的方法，但是由于噪声的存在，无法正确识别可用信息。随后采用均值滤波后的序列进行差分，效果仍然不佳，且造成数据的突变特征被减弱。在上述尝试的基础上，我们又查阅相关资料 [9], 提出了解决办法。

5.2.2 序列趋势识别模型

飞行各参数按照时间有序记录，因此飞行参数的五个维度 $(h, \dot{h}, \alpha, \dot{\alpha}, v)$ 都可看作是一串序列，我们使用 $\{x_1, x_2, x_3, \dots, x_m\}$ 代表时间标号，使用 $\{y_1, y_2, y_3, \dots, y_m\}$ 代表第 i 个时刻下的飞行参数值。

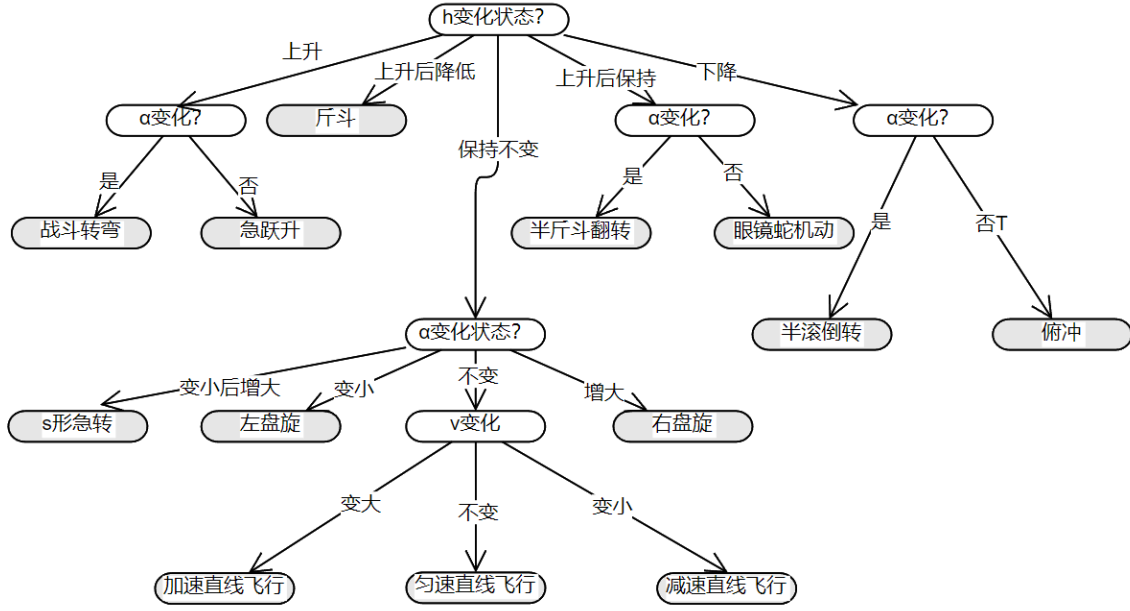


图 2: 单个动作识别的决策树

为了判断这串序列的趋势变化，采用最小二乘法计算其斜率，计算方法由式（1）给出。

$$\begin{pmatrix} k \\ b \end{pmatrix} = (Y^T Y)^{-1} Y^T \cdot X \quad (1)$$

所得 k 值由于是区间的变化趋势，较好的减弱了噪声的影响，我们根据 k 值来判断变化趋势。引入趋势变化基元，分为平直基元上升基元和下降基元三种，对应图（3）的三种情况。

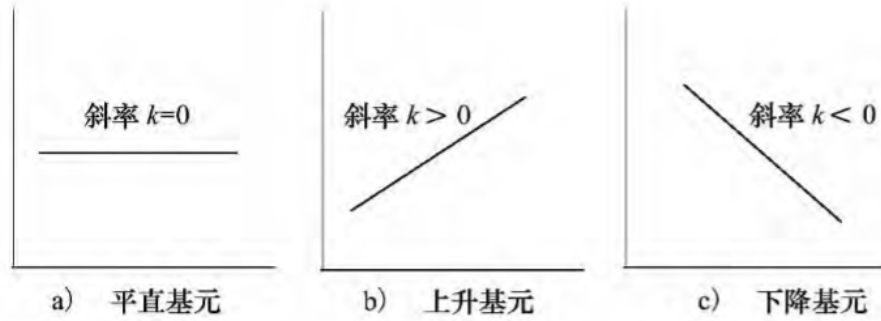


图 3: 三种基元示意图

三种基元根据 k 的大小进行判断，设立 k_s 作为阈值，当 k 大于 k_s 时识别为上升基元，小于 k_s 时识别为下降基元，当 $-k_s < k < k_s$ 时判断是否满足高度变化阈值 Δ_s 。 Δ_s 引入是为了判断长时间的机动变化，式（2）满足，则序列趋势识别为上升或者下降。

$$|k \cdot m| > \Delta_s \quad (2)$$

综上所述，利用 k 值来识别基元种类的方法由图（4）所示。

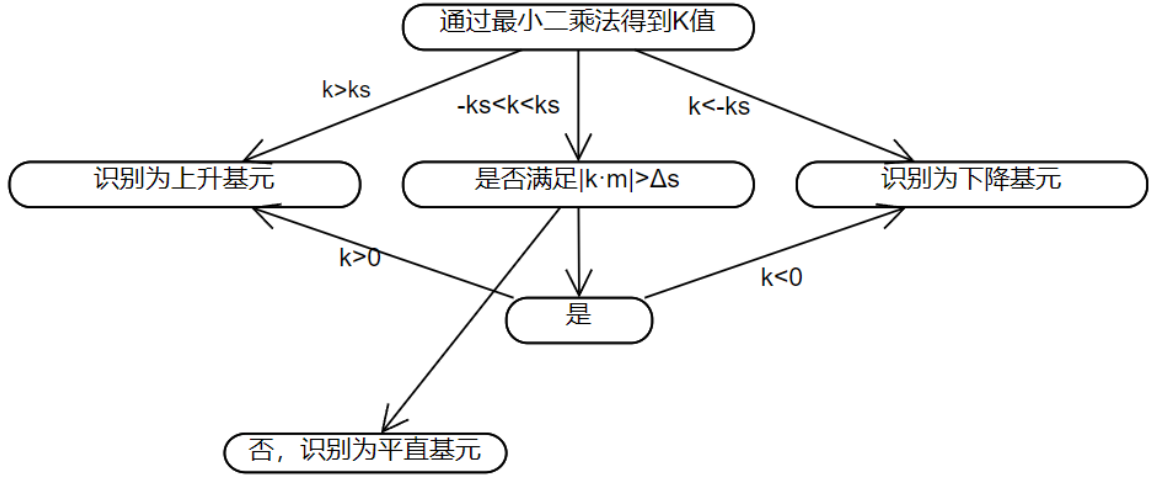


图 4: 基元识别流程图

5.2.3 双窗口趋势检测模型

为了尽可能减少噪声影响的同时还可以检测趋势，使用双窗口滑动的方式来兼顾两个要求。构建一个滑动窗口和一个固定窗口，滑动窗口的大小保持不变，固定窗口的大小会发生变化。在初始状态下，滑动窗口和固定窗口的大小均为 m ，在算法执行过程中，滑动窗口向序列前方滑动来分析局部趋势 k_h ，固定窗口扩大相同长度来记录分析整体趋势 k_g 。窗口的行为由当前窗口分析出的基元结果来决定。

当窗口内的基元种类为上升或者下降时，此时滑动窗口向前移动一个单位，固定窗口相应扩大，再次考察移动后的 k_h 值，直至识别出基元的类型产生变化。当基元的类型产生变化时，根据 k_g 将固定窗口中的基元识别结果输出，作为该段的基元检测类型。同时将固定窗口的起始点位置移动至滑动窗口的起始点处，窗口大小重置为原长度 m 。

若窗口内的基元种类时平直状态时，滑动窗口向前移动一个单位，固定窗口同样扩大相同长度来记录分析整体趋势，此时需要考虑滑动窗口的 k_h 与固定窗口中的 k_g 之间的差值 Δk ，此时对应以下三种情况：

1. $|k| > k_s$ 时将固定窗口中的数据识别为平直基元，并将固定窗口的数据识别为平直趋势，将固定窗口的长度重置，起点移动至滑动窗口的起点处。
2. $|k| > k_s$ 且 $\Delta k > \Delta s$ 则将固定窗口的行为识别为上升或下降，随后转至上一状态。
3. $|k| > k_s$ 且 $\Delta k < \Delta s$ 则继续向前滑动，扩大固定窗口的大小。

综合上述过程，总结序列基元识别的状态转移图如图（5）所示。

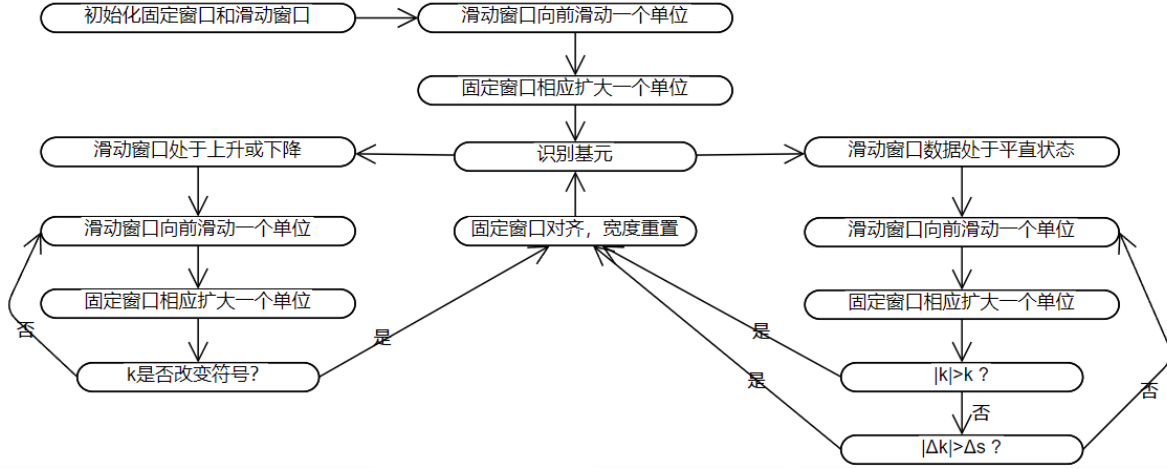


图 5: 双滑窗移动状态转移图

经过滑窗处理后，原始数据经过被分段处理，分段的标准是趋势的变化情况。我们根据基元的上升下降和平直三种趋势，将飞机参数划分为相应的变化段。我们认为在一个动作执行过程中，飞行参数变化情况为 $A(h, \dot{h}, \alpha, \dot{\alpha}, v)$ 保持不变，故机动作段如图(??)中划分的结果所示。由于飞机操纵者习惯的差异和战场势态的变化，飞行动作执行时间可能不同。采用固定时间窗口进行动作划分，则很容易导致长动作被错误分割为多个更小动作。该方法可以很大程度上减少的这一错误划分现象。在得到动作段后，机动动作的种类可以由 5.1 中提出的决策树进行识别。

5.2.4 飞机动作序列切割

结合前文所述的飞机动作描述和量化模型，序列趋势识别模型以及双窗口趋势检测模型可以对一段飞机的飞行数据进行分析，得到每个时刻的动作序列结果。下面展示以文件名为“51st Bisons vs CNF Rd 1”的前八架飞机的部分结果，如附件中表(3)所示。

5.3 子动作序列意图识别模型

在这一部分，我们需要根据敌我双方之间的距离 d 与战备距离 d_s 的大小先划分为战斗意图和非战斗意图，在战斗意图中由根据战斗优势进行区分意图。下面分别介绍战机距离之间的计算方法，以及战斗优势的计算方法。

5.3.1 敌我双方战机距离计算

由附件材料可知，飞机记录的空间位置信息是由经纬度和高度 h 构成的，使用 matlab 中的 geodetic2ned 函数，将一架飞机的经纬度高度作为参考点，另一架飞机的相应参数输入后便可计算出两飞机之间的距离 d 。

战备距离 d_s 是区分飞机意图的阈值，超过战备距离的飞机识别为非战斗意图，而在战备距离中的飞机识别为战斗意图 y_i ，战斗意图集合 $Y = \{ \text{进攻, 躲避, 巡航, 预警} \}$ 。

分析战机数据，型号为“E-2C”的侦察机在空中稳定移动，几乎不参战，因此将其意图直接划归为“预警”。

5.3.2 战斗优势计算

考虑到战斗机在空中的机动动作，有时两架战机敌机没有适当的攻击角度即使距离很近也无法构成威胁。因此想要判断战机的作战意图，还需要结合战斗优势的评价来决定。该评价函数由角度，高度，距离和速度四个因素考虑，下面依次对这些因素进行分析。

1. 角度因子评价函数 Φ_θ

战斗机发射导弹的过程，需要锁定目标在离轴角 δ 的范围内，这样才能保证导弹在发射后能够制导到敌机位置。因此我们认为，敌机位于我方的离轴发射角 δ 内，则飞机所发射的导弹可以通过自动制导等方式攻击到敌机，而在 δ 之外的角度则超过越多，角度优势也就越小。综合以上分析，我们给出角度优势 Φ_θ 的计算方法：

$$\Phi_A = \begin{cases} 1, & 0 \leq \theta \leq \delta \\ 1 - \theta/\pi, & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

飞机与敌机的角度 θ 在这里指飞机的空间角同飞机与敌机连线之间的夹角大小。敌机和我方飞机的相对位置示意如图（6）所示。

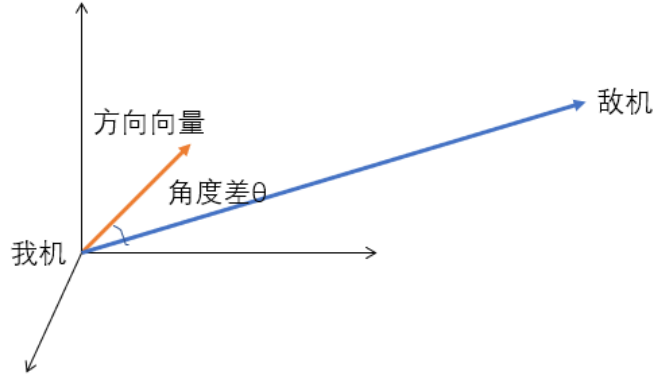


图 6: 敌机和我机的相对位置关系

根据附件数据中给出的偏航角 α 和俯仰角 β 根据几何关系，可以给出该飞机在直角坐标系下的方向向量 \vec{a} ：

$$\vec{a} = (\cos\beta * \sin\alpha, \cos\beta * \cos\alpha, \sin\beta) \quad (4)$$

又由两飞机之间的相对位置计算二者连线的方向向量 \vec{b} ：

$$\vec{b} = (x_1 - x_2, y_1 - y_2, z_1 - z_2) \quad (5)$$

其中 (x_1, y_1, z_1) 代表我方飞机, (x_2, y_2, z_2) 代表敌方飞机。

计算两向量 \vec{a} 和 \vec{b} 的夹角可以计算飞机与敌机之间的角度 θ :

$$\theta = \arccos \frac{\vec{a} * \vec{b}}{|\vec{a}| * |\vec{b}|} \quad (6)$$

2. 高度因子评价函数 Φ_h 在两机作战过程冲, 存在高度差 Δh 。处于较高位置的飞机可以将势能转化为动能, 获得更大的能量优势与导弹的能量优势。但是在高度差过大的情况下, 导弹需要进行大幅变向机动追踪, 反而造成劣势。考虑上述原因, 构造以下高度因子评价函数:

$$\Phi_H = \begin{cases} 1, & \Delta H_{\text{down}} \leq \Delta h \leq \Delta H_{\text{up}} \\ e^{-\frac{\Delta h - \Delta H_{\text{up}}}{\Delta H_{\text{up}}}}, & \Delta h > \Delta H_{\text{up}} \\ \frac{\Delta h - \Delta H_{\text{down}}}{\Delta H_{\text{down}}}, & \Delta h < \Delta H_{\text{down}} \end{cases} \quad (7)$$

其中 Δh_{down} 和 Δh_{up} 分别代表保持最佳优势高度差的上下边界。

3. 距离因子评价函数 Φ_d

机载导弹存在不可逃逸距离 [10], 在这一距离内, 敌机无论以任何机动动作躲避, 都无法避免被导弹击中。因此敌机处于不可逃逸区时其距离因子处于最大优势。为此, 列出以下计算公式:

$$\Phi_d = \begin{cases} 1, & L_{M\text{near}} \leq d \leq L_{M\text{far}} \\ e^{\frac{L_{M\text{far}} - d}{L_{M\text{far}}}}, & d > L_{M\text{far}} \\ e^{\frac{d - L_{M\text{near}}}{L_{M\text{near}}}}, & d < L_{M\text{near}} \end{cases} \quad (8)$$

其中 $L_{M\text{near}}, L_{M\text{far}}$ 为不可逃逸区的近边界和远边界。

4. 速度因子评价函数 Φ_v 我方飞机飞行速度本身相较于目标应保持相对优势, 以获得较高的速度能量, 来应对不断变化的敌我态势和战场环境。当目标进入到我方导弹的不可逃逸区内, 则此时我方飞机应维持与目标同样的飞行速度, 当目标未进入到我方导弹的攻击区时, 此时我方飞机应加大飞行速度以缩短敌我距离。我们依据这一作战策略, 提出以下速度因子评价函数:

$$\Phi_v = \begin{cases} 1, & L_{M\text{near}} \leq d \leq L_{M\text{far}} \\ e^{(V_R - V_{\text{max}})/V_B}, & d > L_{M\text{far}} \\ e^{(V_{\text{min}} - V_R)/V_B}, & d < L_{M\text{near}} \end{cases} \quad (9)$$

在分析完成各个因素的计算方法后，我们依次赋权重 η 来计算总体评价函数，得到如下式子：

$$\Phi = \eta_1 \Phi_\theta + \eta_2 \Phi_h + \eta_3 \Phi_d + \eta_4 \Phi_v \quad (10)$$

各个权重的分配按熵权法进行计算，下面介绍权重的计算步骤。我们记录一场战役的情况，就一架我方飞机发射导弹进行攻击时的评价序列 $A(\Phi_\theta, \Phi_v, \Phi_h, \Phi_d)_{m \times 4}$ 因素来计算其权重 η 。

首先计算第 i 个对象对于第 j 个指标的权重大小：

$$p_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (11)$$

，随后计算各个指标的熵 e_j ：

$$e_j = -1/\ln(n) \sum_{i=1}^n p_{ij} * \ln p_{ij} \quad (12)$$

随后计算变异系数 g_j 和各个指标所占权重 η ：

$$g_j = 1 - e_j \quad (13)$$

$$\eta_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^4 g_j} \quad (14)$$

5.3.3 动作序列与战斗意图识别

通过分析我机和敌机之间的距离 d 和战斗优势 Φ ，可以分析出任意时刻战机的作战意图，分析步骤如下图所示：

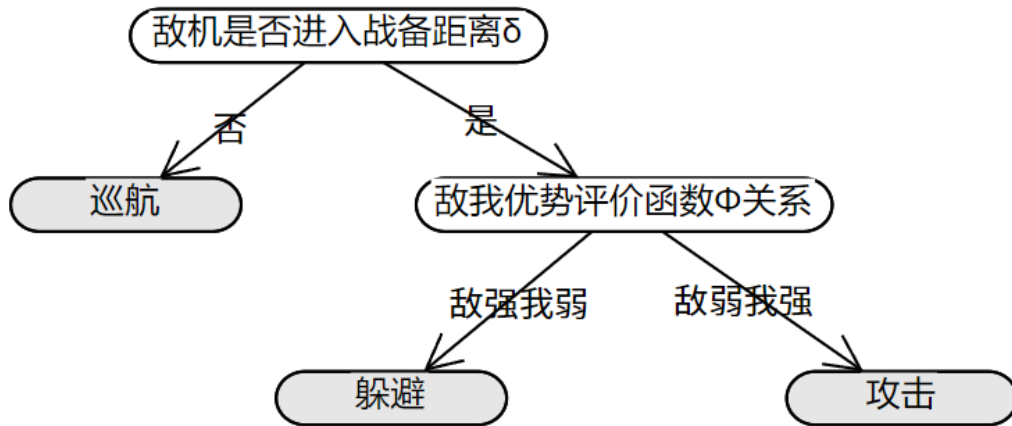


图 7: 飞机意图判断决策图

我们对整个战役中的意图进行识别，识别后对应到相应时段上的动作进行归类，将归属于同一意图 y_i 的动作序列 $M\{m_1, m_2, \dots, m_n\}$ 归于同一集合。提取重复最多次的动作序列 $M \in y_i$ ，认为该动作子序列对应意图为 y_i 。

七、模型的评价

6.1 模型的优点

1. 采用

6.2 模型的缺点

- 利用较

参考文献

- [1] 宋元, 章新华, and 郭徽东. 空中目标战术意图层次推理框架及实现. 情报指挥控制系统与仿真技术, 27(5):63–66, 2005.
- [2] 可钦朱 and 彦非董. 空战机动动作库设计方式研究. 航空计算技术, (4):50–52, 2001.
- [3] Fred Austin, Giro Carbone, Michael Falco, Hans Hinz, and Michael Lewis. Automated maneuvering decisions for air-to-air combat. In *Guidance, Navigation and Control Conference, Guidance, Navigation, and Control and Co-located Conferences*. American Institute of Aeronautics and Astronautics, August 1987.
- [4] 光磊孟, 慧敏张, 海音朴, 宵梁, and 铭哲周. 自动化飞行训练评估中的战机机动动作识别. 北京航空航天大学学报, 46(07):1267–1274, 2020.
- [5] 中国大百科全书出版社. 中国大百科全书军事.
- [6] 半滚倒转, March 2022. Page Version ID: 70908888.
- [7] 普加乔夫眼镜蛇机动, December 2021. Page Version ID: 69262279.
- [8] 琛张. 民用运输类飞机指示空速和当量空速对飞机系统影响分析. 科技资讯, 13(18):112–113, 2015.
- [9] 之平殷, 飞刘, and 其青黄. 飞机机动划分的数据挖掘方法. 西北工业大学学报, 34(1):33–40, 2016. <北大核心, EI, CSCD>.
- [10] 凯强越, 波李, and 盘龙范. 基于三支决策的飞机空战机动决策方法. 计算机应用, 42(2):616–621, 2022. <北大核心, CSCD>.

附件

附件清单：

- xxx 代码

动作序列识别结果

sobel 边缘检测代码

```
1 function GAdsa
```


表 3: 部分飞机飞行序列识别结果

Unix time	102	202	106	10A	109	107	108	10C
1306903275	水平匀速	水平匀速	水平匀速	水平匀速	水平匀速	左盘旋	水平匀速	左盘旋
1306903276	水平匀速	水平匀速	水平匀速	水平匀速	水平匀速	左盘旋	右盘旋	左盘旋
1306903277	水平匀速	水平匀速	水平匀速	水平匀速	水平匀速	左盘旋	右盘旋	左盘旋
1306903278	水平匀速	水平匀速	水平匀速	水平匀速	水平匀速	左盘旋	右盘旋	左盘旋
1306903279	水平匀速	水平匀速	水平匀速	水平匀速	水平匀速	左盘旋	右盘旋	左盘旋
1306903280	水平匀速	水平匀速	水平匀速	水平匀速	水平匀速	左盘旋	右盘旋	左盘旋
1306903281	水平匀速	水平匀速	水平匀速	水平匀速	水平匀速	左盘旋	右盘旋	左盘旋
1306903282	水平匀速	水平匀速	水平匀速	水平匀速	水平匀速	左盘旋	右盘旋	左盘旋
1306903283	水平匀速	水平匀速	水平匀速	水平匀速	水平匀速	左盘旋	右盘旋	左盘旋
1306903284	水平匀速	水平匀速	水平匀速	水平匀速	水平匀速	左盘旋	右盘旋	右盘旋
1306903285	水平匀速	水平匀速	水平匀速	水平匀速	水平匀速	左盘旋	右盘旋	右盘旋
1306903286	水平匀速	水平匀速	水平匀速	水平匀速	水平匀速	左盘旋	右盘旋	右盘旋
1306903287	水平匀速	水平匀速	水平匀速	水平匀速	水平匀速	左盘旋	右盘旋	右盘旋