

文章编号: 1001- 2486(2009) 06- 0115- 06

作战模拟态势显示中的通用性技术研究^{*}

陈 彬, 王全民, 龚建兴, 黄柯棣
(国防科技大学 机电工程与自动化学院, 湖南 长沙 410073)

摘 要: 态势显示是基于 HLA 的作战模拟系统中观察战场态势、辅助决策的关键一环。目前已经应用的态势显示系统暴露了态势显示通用性问题和态势显示适应性问题。这两个问题制约了态势显示手段在作战模拟领域中的应用。针对这些问题, 提出了利用军标映射实现通用和仿真态势数据预处理方法两项关键技术来改进态势显示方法。随后实现了一个应用了这些技术的态势显示系统。最后总结了这种态势显示新方法的优势和不足并展望了态势显示系统下一步发展的方向。

关键词: 态势显示; 军标映射; GSDC; 数据预处理; 数据平滑

中图分类号: TP15 **文献标识码:** A

Research on Techniques to Achieve General Using of Situation Display in Combating Simulation

CHEN Bin, WANG Quan-min, GONG Jian-xing, HUANG Ke-di
(College of Mechatronics Engineering and Automation, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Situation display plays an important role in the combating simulation system based on HLA, especially in reflecting the status of combating entities and assisting decision-makers to modify the combating plan. The situation display systems used in combating simulation systems have betrayed the deficiencies of low adaptability and limited scope application field. These deficiencies restrict the widespread of situation display. Military symbols mapping and the pretreatment of simulation situation data are presented to improve situation display. Then a situation display system using the key techniques is realized. Finally, the advantages and disadvantages of the key techniques in situation display are summarized and the future is expected.

Key words: situation display; military symbols mapping; general simulation data collect (GSDC); pretreatment of situation data; smoothing out the situation data

作战模拟态势显示是指在作战模拟系统的仿真过程中进行实时态势显示。从经典控制的角度来说, 态势显示是在作战模拟中对战场对象的观测提供手段, 可为决策、分析和受训人员提供丰富的作战过程信息, 可为作战模拟的反馈控制提供依据。因此, 态势显示在作战模拟系统的仿真过程中起的是反馈系统状态和辅助决策的作用。目前, 随着大量基于 HLA 的作战模拟系统的构建, 许多作战模拟态势显示系统也建立起来了^[1]。国内的主要有信息工程大学测绘学院的二、三维显示系统, 北航基于 GIS 的虚拟二、三维战场态势^[2]; 国外的主要有商用态势显示系统 MÄK 公司的二维态势显示工具 Plan View Display (PVD) 和三维场景显示工具 Stealth^[3]。这些态势显示系统各有特点, 满足了对作战模拟系统二、三维显示的要求。但是随着作战模拟系统的发展, 已有的态势显示系统暴露出两方面的缺陷: 态势显示的通用性问题和适应性问题, 限制了态势显示的灵活度和适用性, 不能适应作战模拟系统对态势显示的新要求。本文针对这些缺陷进行分析研究, 提出了军标映射实现通用和仿真态势数据预处理方法两项关键技术。

^{*} 收稿日期: 2009- 05- 19
基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60704038)
作者简介: 陈彬 (1981—), 男, 博士生。

1 已有态势显示的缺陷

1.1 态势显示通用性和适应性问题

态势显示通用性问题指的是态势显示与具体仿真联邦绑定,不能够适应作战模拟需求的变化。作战模拟联邦产生变化后不能重用现有的态势显示系统。这种情况是由以下三个原因造成的:

(1) 态势显示系统在源代码级与作战模拟联邦绑定。无论是 MÄK PVD 还是综合态势信息系统都是在源代码中固化了态势显示与作战模拟联邦的数据交互关系。

(2) 态势显示系统中军标符号与态势数据的映射关系在确定后难以改变,当态势显示需求变化后不能主动适应。

(3) 态势显示系统中的仿真部分与态势显示引擎耦合度过高,使态势显示引擎在仿真部分关联的数据变化时总要更改接口来适应变化。

态势显示适应性的问题指的是态势显示系统对作战模拟联邦的适应能力不够强,只有在作战模拟联邦提供的理想态势数据时才能得到较好的战场态势。问题体现在以下两方面:

(1) 在某些作战模拟系统中,由于仿真模型解析度不高会造成仿真态势数据缺失矢量信息,故表现出来的态势中实体的矢量值均为默认值,在仿真过程中不会变化。

(2) 在某些作战模拟系统中,由于计算效率低会产生态势数据断续的情况。这体现在态势显示系统上就是态势变化的断续,影响了显示的效果,有时甚至会遗漏关键时刻的态势。

1.2 对作战模拟系统应用的影响

态势显示通用型问题和适应性问题已经局限了态势显示手段在作战模拟系统中的使用,这些限制体现在两方面:一是做不到想看即所显,二是对作战模拟联邦数据要求太高。对于前者,一些态势显示手段已经在某些方面做了改进,例如 MÄK PVD 采用了动态生成态势成员的方式。这虽然提高了灵活度,但是与作战模拟显示提出的随时任意高效地观测战场态势的要求还有一定距离。因为动态生成成员的动态是在已经确定了态势观测对象的基础上进行的。态势数据的关联关系依然固定在生成的成员代码中,无法在模拟过程中任意选择观测对象;对于后者,只有作战模拟联邦的数据完善、准确,且更新频率达到一定水平时才可以得到比较理想的战场态势,极大地限制了态势显示可以应用的范围。

这两点限制导致态势显示难以广泛地应用于作战模拟领域。大量已构建的作战模拟系统缺乏态势显示手段,在战场控制回路中遗漏了反馈环节,造成模拟决策人员无法直观地评估作战模拟系统。而对于作战模拟系统定位的不准确,则会影响作战决策的制定,难以有效地控制战场状态,战场形势不能朝预期的方向发展。如果针对各种不同的作战模拟系统开发专门的态势显示系统又会占用软件开发资源,由于重复劳动造成资源的浪费。因此,针对这些问题,本文提出了利用军标映射实现通用和仿真态势数据预处理两项关键技术。

2 利用军标映射实现通用

利用军标映射实现通用的原理是利用通用仿真数据收集(General Simulation Data Collect, GSDC)方法^[4]的思想按配置订购态势数据,在态势数据中抽取实体属性与军标符号库中的军标建立映射关系,并根据相应实体添加特性后形成配置信息。在仿真时只要加载配置,就能够完成态势显示初始化。军标映射分为态势数据获取和军标映射两个部分。

2.1 态势数据获取

态势数据获取的目标是达到通用。所谓通用,指的就是在设计中解决“与具体仿真应用的无关性”和“仿真过程中与具体仿真过程相关性”之间的矛盾。具体来说,就是态势显示系统的实现必须剥离与作战模拟联邦 FOM(Federation Object Model)的关系;而在态势显示过程中又要与 FOM 中的对象模型建立关系。采用 GSDC 方法来进行态势数据的获取可以解决这个矛盾,实现通用。基于 GSDC 方法的态势数据获取分为四个部分^[4]:

(1) 仿真配置。以作战模拟联邦对象模型为基础, 订购进行态势显示的对象类和交互类, 并将这些类的结构信息保存至 xml 文本的配置文件。

(2) 仿真订购。在仿真初始化过程中, 利用配置文件中设置的信息, 调用相应接口设置订购关系。由于仿真订购的信息来源于配置文件, 且配置文件的设置随着联邦对象模型的变化可以改变, 所以这种方式可以完成对任意作战模拟联邦对象的订购。

(3) 数据获取。在仿真过程中, 依据设置好的订购关系, RTI(Run Time Infrastructure) 总线就会将态势数据传递过来。但是值得注意的是, 由于没有在内存中形成对订购对象的生命, 传递过来的数据都是以不透明的内存区形式存在。

(4) 数据解析。针对订购到的态势数据不透明的特点, 需要对其进行解析。解析的依据来源于配置文件中保存的对象类和交互类的结构信息, 以及用到复杂数据类型。解析就是利用递归的方法, 将所有的属性内存块解析成简单数据类型的属性集缓存在内存里。

2.2 军标映射

表 1 AirCraft 与 Plane 军标的映射

Tab. 1 Military symbols mapping of AirCraft and Plane

AirCraft	Plane	描述
Position _ Lat	Lat	位置经度坐标或横坐标
Position _ Lon	Lon	位置纬度坐标或纵坐标
Position _ Alt	Alt	位置高度坐标
Name	Word	军标代字

军标映射要解决如何利用收集到的态势数据进行态势标绘的问题。它包含了两层映射关系。如图 1 所示, 首先是从实体属性集到位置参数的映射; 其次是与军标符号库的映射。

基于 GSDC 方法, 第一层映射关系在仿真配置完成后确定; 而第二层映射关系则要通过指定作战实体属性集与军标符号属性集之间的关系来完成。表 1 为一个军标映射的例子。首先建立作战实体类与军标类型之间的对应关系, 即 AirCraft 实体类与 Plane 军标类型的对应; 随后还要指定 AirCraft 的实体集合与 Plane 军标属性集之间的对应关系。可以看出, AirCraft 的位置属性 Position 为一个复合数据类型。利用 GSDC 方法进行解析后形成 3 个简单数据类型: 经度坐标 Position _ Lon、纬度坐标 Position _ Lat 和高度坐标 Position _ Alt。分别与军标类型 Plane 的 3 个属性 Lat、Lon 和 Alt 对应; 而 Aircraft 的名称 Name 属性则直接与 Plane 的军标代字属性对应。

除了这些映射关系以外, 还可以根据实体的特点增加一些特殊效果属性, 比如在 Aircraft 的状态值为完好或受损等不同状态时利用 Plane 军标的特殊状态表现。这些军标映射关系建立之后, 都保存在前面提到的配置文件中。配置文件在仿真初始化的时候加载, 这样在仿真过程中就可以利用配置文件中提供的映射关系进行态势数据的解析和标绘了。

3 仿真态势数据预处理

在某些作战模拟系统中, 由于仿真模型解析度不高会造成仿真态势数据缺失矢量信息, 或者因为计算效率低产生态势数据的断续。这两种情况会影响态势显示的逼真度和连续性, 有时甚至因此妨碍辅助决策, 所以对态势数据进行预处理就成为提高态势显示适应性关键的一环。态势数据的预处理包括态势数据的矢量化和平滑。

3.1 仿真态势数据矢量化

矢量信息缺失的仿真态势数据往往只有位置信息, 这对于态势显示来说是不够的。因为态势显示不仅需显示实体的位置, 对于二维态势来说需要方向角指明运动方向; 对于三维场景来说要展示实体模

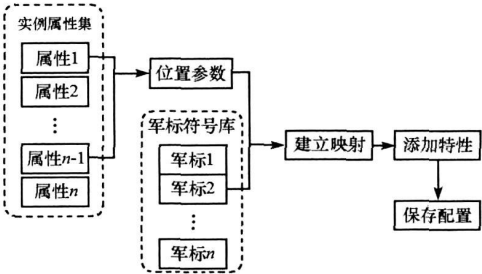


图 1 军标映射原理

Fig. 1 Principle of military symbols mapping

型的姿态角。如果不能确定这些信息, 就会造成诸如导弹不按偏航角运动、飞机倒飞等难以容忍的显示效果。为了解决这个问题, 将最近两个时间戳的态势数据看作一个矢量, 以代替仿真实体本身缺失的矢量信息。本文通过地理坐标转换和矢量信息计算两个步骤实现这个过程。

(1) 地理坐标转换

在大部分作战模拟系统中, 坐标系都统一为 BJ54 经纬高坐标系。该坐标系是一种参心坐标系, 采用克拉索夫斯基椭球为参考椭球, 同时采用了高斯-克吕格投影(等角横切圆锥投影)^[5]。但是实体本身的姿态是相对于地心直角坐标系的, 所以就要在计算实体矢量之前将位置信息转换到地心直角坐标系上。BJ54 经纬高坐标系到地心直角坐标系的转换公式为

$$\begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (N + h_p) \cos \phi_p \cos \lambda_p \\ (N + h_p) \cos \phi_p \sin \lambda_p \\ (N(1 - e^2) + h_p) \sin \phi_p \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{cases} N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \phi_p}} \\ e = \sqrt{(a^2 - b^2)/a^2} \end{cases} \quad (2)$$

其中, $a = (6\,378\,137 \pm 2) \text{ m}$, $b = (6\,356\,752 \pm 2) \text{ m}$; x_p 、 y_p 和 z_p 是地心直角坐标系的坐标值, 而 λ_p 、 ϕ_p 和 h_p 则是经纬度坐标系的经度、纬度和高度; N 为西圈半径, e 是偏心率, 而 a 和 b 则分别是地球长半轴和短半轴。

(2) 矢量信息计算

坐标转换之后, 可以利用前后紧跟的两个时间戳的仿真数据进行矢量的计算。设两个时间戳下的位置信息分别为 $[x_1 \ y_1 \ z_1]$ 和 $[x_2 \ y_2 \ z_2]$, 则其矢量为 $[x_2 - x_1 \ y_2 - y_1 \ z_2 - z_1]$ 。由于该矢量是三自由度的, 所以可以利用该矢量的俯仰角和偏航角代替仿真实体相应的姿态角, 而滚动角则可以默认为三维实体模型的初始值。俯仰角 Θ 、偏航角 Ψ 和滚动角 γ 的计算公式如下:

$$\Theta = \arcsin \left[\frac{z_2 - z_1}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}} \right] \frac{180}{\pi} - \Theta_0 \quad (3)$$

$$\Psi = \arctan \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right) \frac{180}{\pi} + 180 - \Psi_0 \quad (4)$$

$$\gamma = \gamma_0 \quad (5)$$

其中, Θ_0 、 Ψ_0 和 γ_0 是三维实体模型俯仰角、偏航角以及滚动角的初始值。二维仿真数据的矢量化是三维实体模型姿态在平面的投影, 由于二维显示只存在航向角, 且该航向角是相对于二维地理信息系统的经纬高坐标系的。所以二维位置数据的矢量化不需要进行坐标转换, 其航向角计算公式为

$$\theta = \arctan \left(\frac{\phi_2 - \phi_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \right) \frac{180}{\pi} + 180 - \theta_0 \quad (6)$$

其中 $(\lambda_1 \ \phi_1)$ 和 $(\lambda_2 \ \phi_2)$ 分别是两个相邻仿真时戳的经纬坐标, θ_0 是二维军标的初始航向角。

3.2 利用 DR 算法进行数据平滑

在许多作战模拟系统的态势显示过程中经常存在这样的问题: 仿真态势数据在一定物理时间内的更新频率不稳定, 仿真数据帧之间的物理时间间隔由模型解算速度和网络传输环境决定。由于这些不稳定因素, 经常会出现仿真数据帧的更新频率不能满足 24 帧/s 的情况, 所以产生的态势场景会时断时续、不够平滑, 影响了态势系统显示的效果。

DR (Dead Recon) 算法的原理是在数据接收端建立实体预测模型对实体数据的运动状态进行预测, 从而减少网络数据的传输量^[6]。所以可以采用 DR 算法原理, 针对仿真态势数据更新频率不稳定的问题, 设计预测模型利用最近两三帧的数据进行预测, 外推或内插出仿真数据帧进行数据平滑^[7]。

作战模拟中的仿真态势数据具有两个特点: (1) 仿真态势数据以仿真实体位置姿态数据信息为主; (2) 仿真态势数据都被打上了仿真时戳。由于位置姿态数据一般不会突变, 所以利用 DR 算法一次和

次模型基本可以满足预测精度的要求; 而仿真时戳提供了仿真数据帧之间的仿真时间间隔, 利用该时间间隔可以预测出模型参数。再根据 24 帧/s 的数据更新要求, 就能计算出需要外推的数据帧数, 确定需要预测的仿真时间点。由此, 基于 DR 算法的一阶和二阶模型, 本文设计了一阶、二阶模型, 内插和外推算法交替使用的平滑算法。

设仿真数据帧 P_{-1} , P_0 和 P_1 及其对应时刻 t_{-1} , t_0 和 t_1 , 一、二阶预测模型为

一阶预测模型:

$$P_1 = f(V) = P_0 + V_1 \Delta t \rightarrow V_1 = (P_1 - P_0) / (t_1 - t_0) \quad (7)$$

二阶预测模型:

$$\begin{cases} P_1 = f(V, A) = P_0 + V_1 \Delta t + A_1 \Delta t^2 / 2 \\ \rightarrow V_1 = (P_1 - P_0) / (t_1 - t_0) \\ \rightarrow A_1 = \frac{2}{(t_1 - t_0)(t_1 - t_{-1})} P_1 - \frac{2}{(t_1 - t_0)(t_0 - t_{-1})} P_0 + \frac{2}{(t_0 - t_{-1})(t_1 - t_{-1})} P_{-1} \end{cases} \quad (8)$$

这里设 t_{-1} , t_0 的仿真数据帧 P_{-1} , P_0 已经更新。数据平滑的算法对于预测模型的调用依赖 t_1 时刻的数据帧 P_1 是否更新。其调用方法如下:

$$f(V, A) = \begin{cases} f_o(V, A), t_{-1} < t \leq t_0 & (P_1 \text{ not reflected}) \\ f_i(V, A), t_{-1} < t \leq t_0 & (P_1 \text{ reflected}) \\ f_o(V), t_0 < t \leq t_1 & (P_1 \text{ not reflected}) \\ f_i(V, A), t_0 < t \leq t_1 & (P_1 \text{ reflected}) \end{cases}, \quad t = \begin{cases} t_{-1} + \frac{n}{24}, & 0 < n < 24(t_0 - t_{-1}), (t \leq t_0) \\ t_0 + \frac{n}{24}, & 0 < n < 24(t_1 - t_0), (t > t_0) \end{cases} \quad (9)$$

其中, $f_o(V)$ 表示内插和外推一阶模型; $f_i(V, A)$ 、 $f_o(V, A)$ 分别表示内插和外推二阶模型, 而 t 则是从 t_{-1} 时刻到 t_1 时刻之间需要激活预测模型结算的时间点。

利用该方法基本上能够满足数据平滑的需求, 但是真实模型的仿真数据是根据具体模型不同而异的。例如, 运动轨迹相对平滑的弹道导弹的位置拟合利用一阶模型就比较准确, 而对于机动性比较强的作战飞机预测则用二阶模型比较理想。

4 态势显示系统实现

4.1 模块组成

应用军标映射实现通用和仿真态势数据预处理两个关键技术, 本文实现了一个态势显示系统。系统的模块组成如图 2 所示。该系统由配置模块、军标映射模块、态势代理成员、态势预处理模块、态势显示模块和态势量算模块组成。

配置模块从作战模拟联邦对象模型(Federation Object Model, FOM)中确定态势显示对象并形成配置。以该配置为基础, 从军标库中选择军标通过军标映射模块形成映射关系保存至配置文件。利用配置, 态势代理成员在作战模拟联邦中形成订购关系、获取态势数据并解析。解析好的数据经过数据预处理模块的矢量化和平滑处理后传递给态势动态标绘模块, 该模块根据军标映射关系进行实时标绘, 最后形成作战模拟态势。

4.2 利用 Vega Prime 实现三维态势显示

Vega Prime(VP) 在 Vega 的基础上采用 C++ 语言重新编写, 包装了大量三维显示接口, 可以快速高效地开发场景显示系统。以 VP 为态势显示引擎, 获取实体空间态势数据, 将 Creator 建立起来的场景和三维军标模型的运动状态结合起来, 就能形成三维场景态势^[8]。图 3 是导弹飞行的场景态势, 图中右侧是矢量化计算得到姿态的描述。

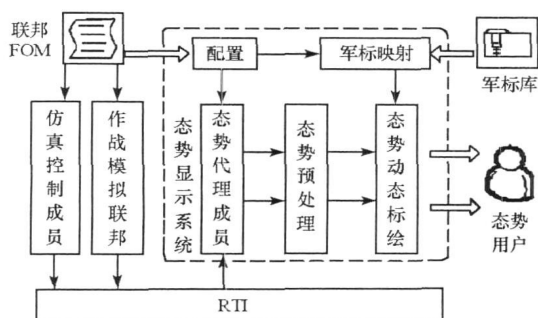


图 2 态势显示系统的模块组成

Fig. 2 Architecture of the Situation Display System

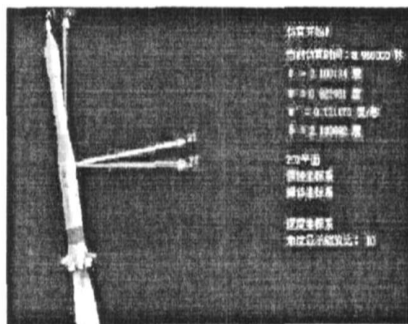


图 3 基于 Vega Prime 的三维场景显示

Fig. 3 Three-dimensions scene view based on Vega

5 总结展望

经过前面对利用军标映射实现通用和态势预处理方法的阐述,可以总结出它们的优点:

(1) 利用 GSDC 方法根据配置信息挂接不同的作战模拟联邦,能够灵活适应态势显示对象的变化,收集态势数据。

(2) 利用军标映射方法建立态势数据与军标符号的关系,且映射关系的确定不需采用生成代码的方式,映射过程简单方便,解决了态势显示通用性问题。

(3) 设计了态势数据矢量化方法,使得对一些本来不具备态势显示能力的作战模拟系统也可以用态势显示的方法来表现。

(4) 以 DR 算法为基础设计了数据平滑算法,解决了仿真时态势断续的问题,优化态势显示。

存在的不足:

(1) 由于要采用已经更新的仿真时间戳下的数据,计算出姿态信息后才能应用到态势显示中,所以姿态信息要比位置信息滞后一个时间步长。

(2) 数据平滑采用基于 DR 算法的预测模型还不能根据态势显示对象的运动特性做出自适应调整,所以在态势显示对象运动特性变化比较大的情况下还不能很好地适应。

总之,这两项关键技术是针对态势显示方法中的不足设计的,它们实现了态势显示的通用性,拓宽了态势显示的适用范围,满足了作战模拟系统对态势显示方便灵活的要求。今后的工作一方面是在通用的基础上增强态势显示的易用性,达到所需即所见;另一方面是加强态势数据预处理方法的自适应能力,使在没有人干预的情况下也能够提供准确平滑的态势。

参考文献:

- [1] 鄧志刚,郭齐胜,马向平,等.基于 HLA 的作战仿真二维态势设计与实现[J].系统仿真学报,2006.
- [2] 蔡志浩,彭晓源.基于地理信息系统的虚拟战场态势显示[J].系统仿真学报,2003.
- [3] MÄK Technologies. MÄK Plan View Display User's Guide[Z].United States: MÄK Technologies, 2004.
- [4] 陈彬,张国强,黄柯棣.一种基于 HLA 的通用仿真数据收集方法[J].计算机仿真,2006.
- [5] 李连伟,荣燕妮.WGS84 和 BJ54 坐标转换问题探讨[J].测绘与空间地理信息,2004.
- [6] 陈岭,陈根才.一种用于数据分布管理的模糊 DR 算法[J].浙江大学学报(工学版),2006.
- [7] 贺晓鹏,石生明,廖虎雄,等.一种分布式实时视景仿真系统中的 DR 算法研究[J].计算机工程与科学,2007.
- [8] 马海军.基于 HLA 的通用作战视景仿真工具研究[D].长沙:国防科技大学,2006.