

文章编号: 1001-2486 (2000) 03-0105-04

## 网络接口部件(NIU) 中坐标转换算法的实现\*

周云, 张代兵, 华祖耀, 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:** 为使 NIU 能提供把不同地域的仿真器联接到 DIS 中的能力, 其主要功能之一就是坐标系统转换。本文介绍了 DIS 标准坐标系及其它几种相关坐标系, 并在不同坐标系之间建立了坐标转换关系, 讨论了不同坐标系中姿态的不同表示方法及其转换关系, 同时在 NIU 中用 C++ 实现了所有算法。

**关键词:** NIU; 坐标系; 坐标转换; 姿态角

**中图分类号:** TP393 **文献标识码:** B

## The Research and Implementation of Coordinate Transformation in Network Interface Unit

ZHOU Yun, ZHANG Dai-bing, HUA Zu-yao, HUANG Ke-di

(College of Mechatronics Engineering and Automation, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract:** One of the NIU's primary functions is coordinate system conversion in order to provides us the ability to connect different areas simulators to DIS. This paper introduces the standard of coordinates on DIS and the other relative coordinates, and establishes the coordinate transformation among the different coordinate systems. The orientation representations in different coordinate system and the orientation transformation are also discussed. At the same time, the algorithms have been realized with C++ in our NIU.

**Key words:** NIU; coordinate system; coordinate transformation; orientation

DIS 是采用一致的结构、标准和算法, 通过网络将分散在不同地理位置的不同类型系统互联建立的一种人可以参与交互的时空一致的综合环境。

DIS 的主要目的是要建立一个大型的综合的活动的虚拟环境, 该环境中存在着成千上万个从事实际工作的演练者, 这样, DIS 就面临着一个巨大的挑战, 即 DIS 中活动实体数的迅猛增长使得 DIS 的实时性受到影响。目前的解决方案主要集中在网络方面, 如采用多点传输、ATM、提取 PDU 以及 DR 算法, 计算机处理器的计算负载问题却很少受到关注。实际上这个问题和网络带宽一样, 也是限制 DIS 规模的一个重要因素。为解决这个问题, 亦即减轻仿真结点的计算量, 我们开发了网络接口部件 NIU。坐标系转换就是网络接口部件 NIU 的主要功能之一。

### 1 NIU 简介

NIU 提供了不同仿真器联接到 DIS 中的能力。见图 1。

NIU 的主要功能包括坐标系统转换、DR 推算、数据过滤以及测量单位的转换等。

作者研制的网络接口部件采用奔腾 II 作为系统 CPU, 在总线底板上集成了网卡、PC-ISA (或 PCI) 总线通信卡、监测和显示部件、加密部件等作为硬件平台, 为开发 NIU 运行软件作硬件支撑。坐标系转换部分就是 NIU 运行软件的一个子部分。

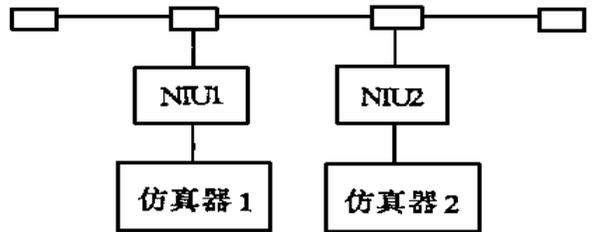


图 1 NIU、主机和网络的关系

Fig. 1 Relations among NIU, HOST and network

\* 收稿日期: 1999-11-29

基金项目: 国家部委项目资助(4.4.3.7)

作者简介: 周云(1965), 女, 讲师, 硕士。

## 2 坐标转换算法

为了描述实体的空间运动,需要引入多种不同的坐标系。在飞行仿真和飞行控制中,通常是利用实体的体坐标系来建立实体的动力学方程,而用与地球固联的某一坐标系来建立实体的运动学方程,并把这一与地球固联的坐标系称作世界坐标系。

### 2.1 坐标系统与姿态角

DIS 采用的世界坐标系与现有的大多数仿真器采用的不同,DIS 采用地心空间直角坐标系(Geocentric)作为世界坐标系,该坐标系中任意一点的位置用坐标 $(X_d, Y_d, Z_d)$ 表示,姿态角为以 Tait-Bryan 顺序从其体坐标系旋转到其世界坐标系所形成的三个欧拉角。现有的大多数仿真器都采用拓扑中心坐标系(Topocentric)或大地坐标系(Geodetic)等坐标系作为世界坐标系,而拓扑中心坐标系又包括多种形式:NED(北东右手站心直角坐标系)、ENU(东北天右手站心直角坐标系)、NEU(北东天左手站心直角坐标系)、UTM(通用横墨卡托投影)等,其姿态角的定义因其应用领域的不同而有不同的定义,因而,描述仿真实体运动行为的位置和姿态的方法就各不相同。为了使 DIS 中各仿真结点能够对接收到的位置和姿态信息进行正确理解 and 处理,保持仿真的一致性,必须正确理解 DIS 世界坐标系及其它几种坐标系,并在 NIU 中建立 DIS 世界坐标系与其它几种坐标系之间的转换关系。

### 2.2 坐标转换

#### 2.2.1 地心空间直角坐标系与地心大地坐标系的转换

首先我们建立地心空间直角坐标系与地心大地坐标系之间的转换关系。见图 2。

已知空间一点的地心大地坐标 $(B, L, h)$ , 则该点的地心空间直角坐标 $(X, Y, Z)$ 可用下式求得<sup>[2,3]</sup>:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (N+h)\cos B \cos L \\ (N+h)\cos B \sin L \\ [N(1-e^2)+h]\sin B \end{bmatrix}$$

其中:  $N$  为卯酉圈的曲率半径,  $N =$

$$\frac{a}{\sqrt{1-e^2\sin^2 B}}, \quad a \text{ 为赤道半径, } e \text{ 为扁率。}$$

已知空间一点的地心空间直角坐标 $(X, Y, Z)$ , 则该点的地心大地坐标 $(B, L, h)$ 可用下面方法求得:

$$L = \arctg(Y/X)$$

$$B = \arctg[(Z + Ne^2\sin B) / \sqrt{X^2 + Y^2}]$$

$$h = (\sqrt{X^2 + Y^2} / \cos B) - N$$

其中大地纬度  $B$  由第二式按迭代法求得, 迭代时的  $B$  的初值可取为  $B_0 = \arctg(Z / \sqrt{X^2 + Y^2})$ 。

#### 2.2.2 ENU 坐标系与地心空间直角坐标系的转换

用地心大地坐标来描述 ENU 坐标系的原点,如图 2 所示。这样,从 Geocentric 到 Topocentric 的 ENU 坐标系的旋转矩阵为:

$$R_{dt} = \begin{bmatrix} -\sin L & \cos L & 0 \\ -\sin B \cos L & -\sin B \sin L & \cos B \\ \cos B \cos L & \cos B \sin L & \sin B \end{bmatrix}$$

设  $P_g$  为任一点  $P$  在 Geocentric 中的位置矢量,  $P_t$  为  $P$  点在 Topocentric 的 ENU 中的位置矢量,而 ENU 的

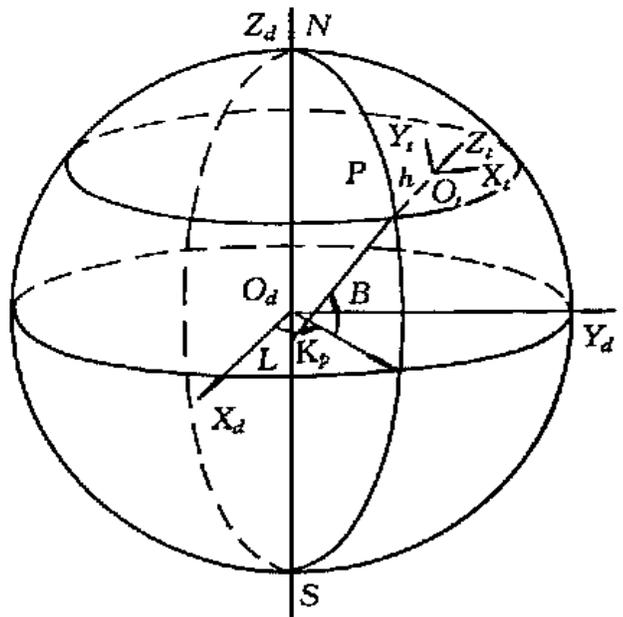


图 2 地心空间直角坐标系、NEU 坐标系和地心大地坐标系

Fig. 2 Geocentric, NEU coordinate system and Geodetic

坐标原点在 Geocentric 中的位置矢量为  $OT_g$ , 则

$$P_t = [R_{dt}]^* (P_t - OT_g)$$

NED 坐标系和 ENU 坐标系同为拓扑中心坐标系, 性质相同, 区别仅在三个轴的正方向定义不同。与 ENU 坐标系同理, 可推导出 NED 坐标系与地心空间直角坐标系的转换关系。

### 2.2.3 UTM 坐标系与地心空间直角坐标系的转换

UTM 坐标系是高斯投影的改良, 它与高斯投影有一个简单的 0.9996 的比例关系。由于采用 UTM 投影坐标进行投影时, 高纬度地区变形较大, 因此, NIU 中综合运用 UTM 投影和 UPS (通用极球面投影) 投影把地球表面完整地投影到平面坐标系, 即从南纬  $80^{\circ}30'$  到北纬  $84^{\circ}30'$  的广阔地区, 采用 UTM 投影; 北纬  $83^{\circ}30' \sim 90^{\circ}$  和南纬  $79^{\circ}30' \sim 90^{\circ}$  的两极地区采用 UPS 投影。

UTM 和 UPS 与地心空间直角坐标系之间的转换可通过地心大地坐标系作中间坐标系来进行转换。

### 2.3 姿态角转换

实体的位置可用其体坐标系的原点在各自世界坐标系中的坐标来描述, 而实体的姿态角则通常采用按一定顺序旋转的三个欧拉角来描述。

在 DIS 中, 三个欧拉角定义为: 首先将地心空间直角坐标系绕  $Z_d$  轴旋转  $\Psi_d$  角度, 然后绕新坐标系  $Y'_d$  轴旋转  $\theta_d$  角度, 最后再绕第二次旋转后形成的坐标系的旋转  $\phi_d$  角度, 则, 从 DIS 世界坐标系到 DIS 体坐标系的旋转矩阵为:

$$R_{dt} = \begin{bmatrix} \cos\theta_d \cos\phi_d & \cos\theta_d \sin\phi_d & -\sin\theta_d \\ \sin\phi_d \sin\theta_d \cos\phi_d & \sin\phi_d \sin\theta_d \sin\phi_d & \sin\phi_d \cos\theta_d \\ -\cos\phi_d \sin\theta_d & +\cos\phi_d \cos\theta_d & \\ \cos\phi_d \sin\theta_d \cos\phi_d & +\cos\phi_d \sin\theta_d \sin\phi_d & \cos\phi_d \cos\theta_d \\ +\sin\phi_d \sin\theta_d & -\sin\phi_d \cos\theta_d & \end{bmatrix}$$

其中: 三个欧拉角的范围是:  $0 \leq \phi_d < 2\pi$ ,  $-\pi/2 < \theta < \pi/2$ ,  $0 \leq \phi_d < 2\pi$ 。

在 Topocentric 系统中, 三个欧拉角的定义也因其各自应用领域的不同而不同, 在此仅给出其中某一领域使用的定义, 即: 首先绕  $Y_t$  轴旋转  $\theta_t$  角度, 再绕新坐标系的  $Z'_t$  轴旋转  $\psi_t$  角度, 最后绕第二次旋转后形成的新坐标系  $X''_t$  的轴旋转  $\phi_t$  角度, 这样, 从 Topocentric 世界坐标系(以 ENU 为例)到 Topocentric 体坐标系(以我国广泛采用的前右上体坐标系为例)的旋转矩阵为:

$$R_{dt} = \begin{bmatrix} \cos\theta_t \cos\psi_t & -\cos\theta_t \sin\psi_t & -\cos\phi_t \sin\theta_t \\ +\sin\psi_t \sin\theta_t \cos\phi_t & +\sin\psi_t \sin\theta_t \sin\phi_t & \\ \cos\psi_t \sin\theta_t & \cos\psi_t \cos\theta_t & \sin\psi_t \\ \sin\theta_t \cos\psi_t & -\sin\theta_t \sin\psi_t & \\ -\sin\psi_t \cos\theta_t \sin\phi_t & -\sin\psi_t \cos\theta_t \cos\phi_t & \cos\phi_t \cos\theta_t \end{bmatrix}$$

其中三个欧拉角的范围是:  $0 \leq \theta < 2\pi$ ,  $-\pi/2 < \psi_t < \pi/2$ ,  $0 \leq \phi < 2\pi$ 。

这样, 上面二个旋转矩阵就有下面的等式关系:

$$R_b^* R_{tb} = R_{dt}^* R_{dt}^T$$

其中,  $R_b$  为 DIS 体坐标系与 Topocentric 体坐标系之间的旋转矩阵。

比较对应项可得: 若已知  $\phi_d$ 、 $\theta_d$ 、 $\phi_t$ , 则联解可得  $\psi_t$ 、 $\theta_t$ 、 $\phi_t$ ; 若已知  $\psi_t$ 、 $\theta_t$ 、 $\phi_t$ , 则联解可得  $\phi_d$ 、 $\theta_d$ 、 $\phi_t$ 。若旋转顺序为其它顺序, 可同理推出结论。

## 3 算法实现

系统通过调用接口函数实现所有坐标系统转换算法。为统一各种转换信息, 特制定了统一的接口规范, 用户遵循这种规范就可以对与坐标系统有关的信息实现坐标转换, 而无须知道实现的过程。

### 3.1 接口数据结构

NIU 中的转换信息包括位置、矢量、方位、ENU 和 NED 坐标系的坐标源点, 接口数据结构定义如下:

```

typedef struct Convert_Coord {
    int SourceCoordinate ;
    int ObjectCoordinate ;
    DIS_World_Coordinate (* coord_in ;
    DIS_World_Coordinate (* coord_out ;
    DIS_Linear_V ector (* vel_in ;
    DIS_Linear_V ector (* vel_out ;
    DIS_Euler_Angles (* ang_in ;
    DIS_Euler_Angles (* ang_out ;
    GeodeticCoordinate (* TopoOrigin ;
} ConvertCoord ;

```

### 3.2 接口函数

总接口函数只有一个, 它对各具体坐标系转换函数进行综合, 从而提供一个统一的外部接口。其算法流程如图 3。

### 4 结束语

外部世界异常复杂, 本文讨论和实现的仅是最基本的几种坐标系及其转换关系, 随着 DIS 的推广应用, 将在 NIU 中讨论和实现更多种类的坐标系统及其转换关系。

### 参考文献:

[1] LIN Kuo- chi, HUAT N. Coordinate transformations in distributed interactive simulation (DIS) [J]. Simulation 1993, 11: 326- 330.  
 [2] 熊介. 椭圆大地测量学[M]. 北京: 解放军出版社, 1988.  
 [3] 朱华统. 常用大地坐标系及其变换[M]. 北京: 解放军出版社, 1990.  
 [4] Handbook for transformation of datums, projections, grids and common coordinate systems[EB]. MIL- HDBK- 600008, DoD, January 1996.

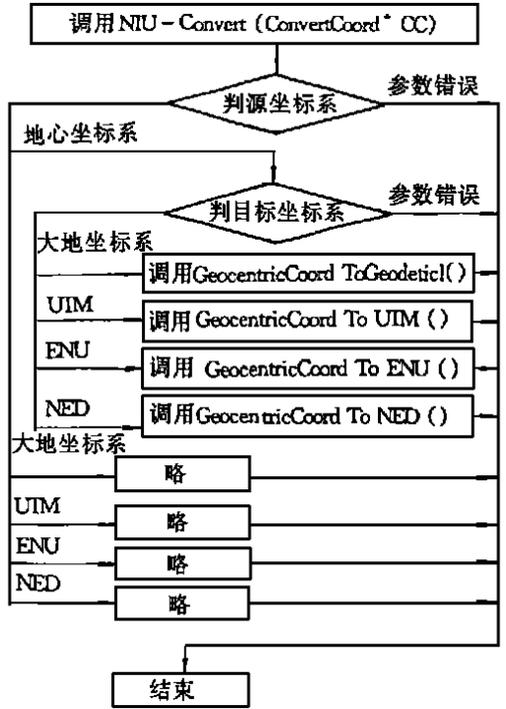


图 3 算法流程图

Fig.3 Algorithm flow chat