

卫星移动网络总体概念设计仿真

金士尧

(国防科技大学计算机学院, 长沙 410073)

[摘要] 卫星移动网络是以卫星星座为基本物理架构, 通过星际的通信链路形成覆盖全球的天基通信网络。它对社会发展、科技进步以及军队的信息化有着重大的推动作用。由于天网的移动性、通信的偶断性、接入的复杂性以及使用的综合性, 都为研制提出了重大的挑战。有必要通过总体概念设计仿真, 来进一步验证总体需求、总体方案、关键技术指标和研制的约束条件, 形成科学的可行性报告。介绍了卫星移动网络的总体概念, 设计了针对天网仿真的平台, 并用实例获得卫星移动网络总体概念设计的仿真数据。

[关键词] 卫星移动网络; 总体; 仿真

[中图分类号] TN927+.23 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2004)01-0030-07

1 总体概念设计仿真的目的、任务与功能

总体概念设计是指为验证系统设计方案, 及确定主要设计参数, 而利用计算机支持的相关集成系统进行先期设计与分析的系统设计方法^[1, 2]。

1.1 总体概念设计仿真的目的与意义

总体概念设计仿真的目的主要表现在: a. 深化需求分析; b. 验证战术技术的系统指标和约束条件; c. 研讨总体方案及关键技术。

总体概念设计的目标在满足限制约束条件的情况下, 为最大化性能和最小费用而选择的可行技术方案, 而达到功能需求的最佳过程, 即寻优过程。其过程如图1所示。

1.2 卫星移动网络总体概念设计仿真的具体任务

卫星移动网络总体概念设计仿真的任务: a. 仿真一个接近现实的卫星移动网络的虚拟环境; b. 灵活设置卫星移动网络中卫星的配置、姿态、相对的瞬时状态, 研究组网的通达性能; c. 研究各种通信关系和协议, 研究通信的路由和性能; d. 演绎天地的信息融合和控制, 研究覆盖特性; e. 演

绎经典的应用, 包括天地往返通信、信息融合与控制, 研究应用的效能。

1.3 卫星移动网络仿真的特点

1.3.1 卫星移动网络组网的特点 在卫星移动网络中, 有处于高轨的中继通信卫星、处于中轨的天网通信服务的节点卫星、处于低轨的信息获取卫星、还有固定和移动的地面站和用户组成。

天基网不同于陆地网络的平面拓扑结构, 是一个具有三维立体拓扑结构的网络, 由于卫星的运行, 整个网络的拓扑结构随着时间变化, 且有周期性、规律性、可预测性。所以天基网是具有可预测的四维拓扑结构的网络。

1.3.2 卫星移动网络的路由与协议 路由是网络层的功能, 它为分组传输指定源结点到目的结点的路径, 它与传统的固定基站无线移动单跳(蜂窝型网络)通信网络不同:

1) 层次性 由高轨的中继卫星、中轨的通信卫星、低轨的信息获取卫星以及地面的中心站和应用单位等层次组成。

2) 固定基和活动基相结合的混合基站网络 高轨和地面是同步的; 中轨的同一轨道面的卫星链

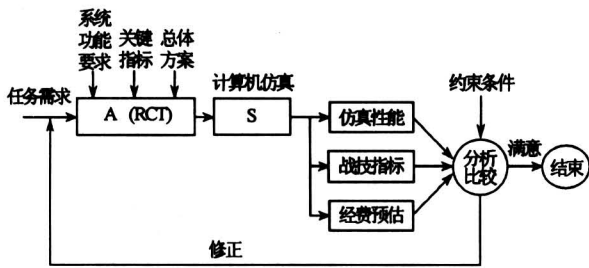


图 1 总体概念设计仿真过程示意图

Fig.1 The process of the general conceptual design simulation

路是固定不变的；异轨道面之间的卫星链路是随着时间周期性变化，变化可预测。

3) 跳转多路由 信息获取卫星周期快于骨干的节点通信卫星。

1.3.3 卫星移动的自主飞行 卫星移动网络必须具备自主运行的能力，其时间和空间的基准由网络本身支持。主要的技术是通过侦察其他卫星和星座的相对方位和距离，自主完成定位、定时和定向。它不依赖于地面的测控系统。

1.4 总体概念仿真的功能划分

总体概念仿真的功能划分如图 2 所示，在其功能划分下，具体的仿真对象和仿真任务如表 1 所示，其中飞行组网仿真是基础，动态路由仿真和自主运行仿真是关键，典型实例仿真是综合。

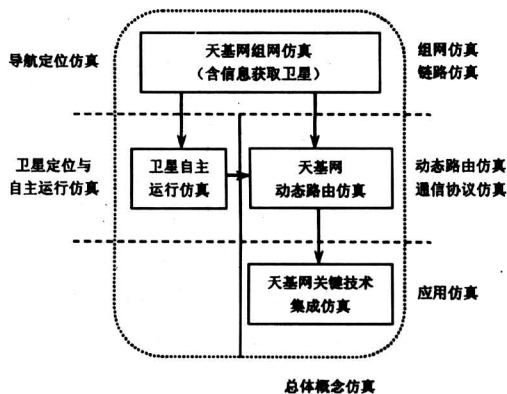


图 2 总体概念仿真的功能划分示意图

Fig.2 The partition of the general conceptual design simulation

2 总体概念设计仿真平台设计

2.1 总体概念仿真的平台

总体概念仿真平台的框图分为三大部分，如图

3 所示。首先是分布仿真系统，考虑到分层次的、精确的卫星轨道模型的运算工作量较大，并留有余地，采用分布式仿真系统具有较好的扩展性；其次是仿真演示部分，它包括了二维、三维演示和仿真操控；中间是连接上述二部分的数据采集部分。

表 1 具体的仿真对象和仿真任务

Table 1 Material emulation objects and emulation tasks

仿真对象	仿真任务
组网仿真与链路仿真	地球、信息获取卫星，天网拓扑结构变化情况，天网节点卫星、中继站、地面站系统
动态路由仿真	在组网的基础上路由算法，通信协议，验证通信协议的正确性，选择路由算法，测定路由的性能指标
自主运行仿真	在导航卫星组网的基础上，自主运行的定位、定时和定向算法
典型应用仿真	在卫星移动网络基础上，建立典型信息获取卫星的应用过程
	天网网的覆盖性，天网的通断性
	天基网星座定位性能，天基网星座定时性能，天基网星座定向性能
	信息获取时效性、可控性，信息传输的过程与路由选择，信息融合的时效性

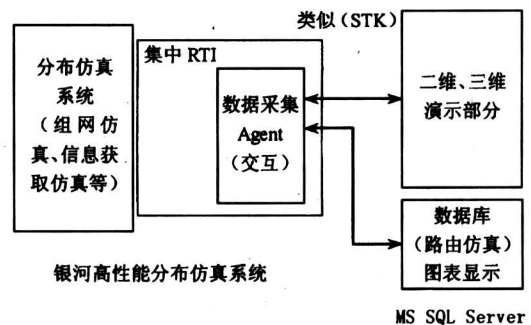


图 3 总体概念仿真平台

Fig.3 The general conceptual design simulation platform

仿真分布系统，数据采集，演示部分三者之间的逻辑关系^[3]见图 4。

2.2 分布仿真系统

卫星移动网络总体概念设计仿真系统建立在大规模分布仿真平台上，采用局域网高级 PC 机或服务器组成的分布式、交互式仿真系统。为了便于控制、易于设计，该仿真平台拟采用集中控制方案。其结构框图^[4, 5]如图 5 所示。

* 金士尧，新一代高性能分布交互仿真前沿技术研究与应用 [R]. 长沙：国防科技大学计算机学院，1999

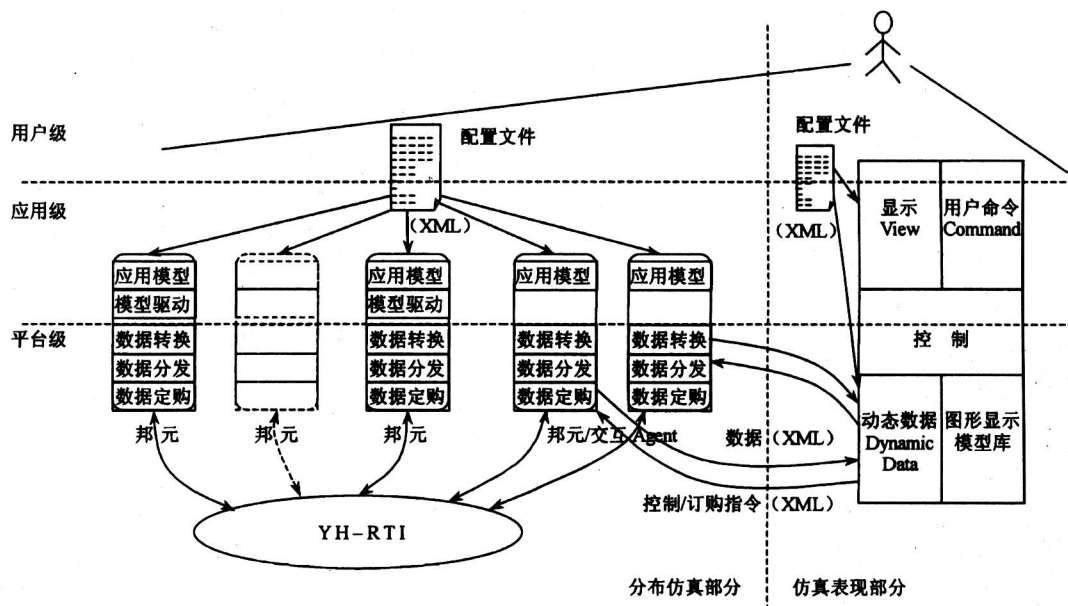


图 4 仿真分布系统、数据采集、演示部分三者之间的逻辑结构

Fig.4 The logical structure of distributed simulation system, data collection, and representation section

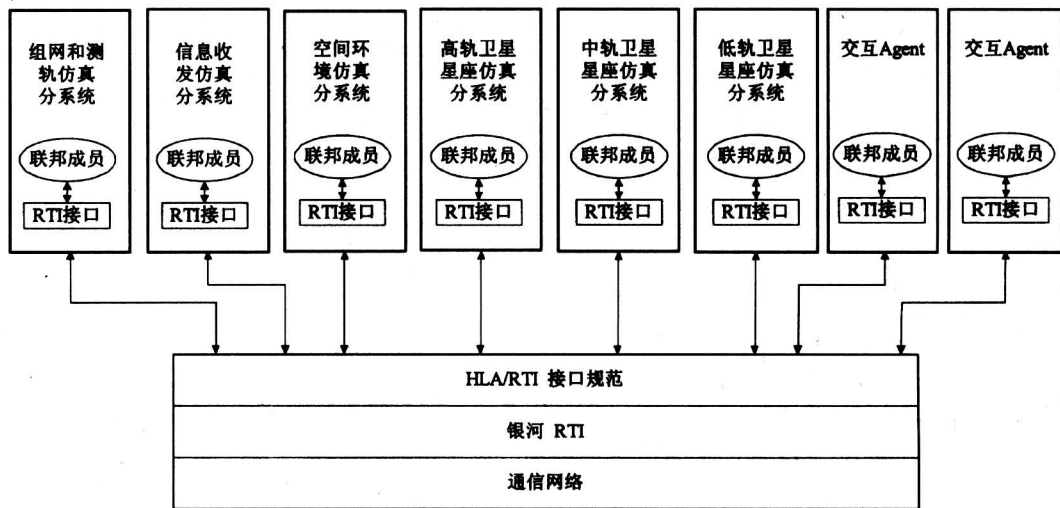


图 5 基于 HLA/RTI 的分布仿真系统结构框图

Fig.5 HLA/RTI-based distributed simulation architecture

2.3 仿真演示部分^[6, 7]

仿真演示是卫星移动网络总体概念设计仿真中的重要组成部分,对仿真结果数据高效、方便地进行演示,是卫星移动网络总体概念设计仿真中需要重点解决的关键技术,采用如图 6 所示的仿真演示结构^[8-10],来满足卫星移动网络仿真的需求。

2.4 数据采集部分

随着分布仿真的不断深入和分布仿真应用的多种多样,需要将分布仿真平台中的仿真部分和仿真

应用的表现部分有机地结合在一起,减少其重复部分,使得已有的开发成果能够得到继承,并且仿真平台能够和仿真表现部分独立地进行开发并增强其功能。因此,需要将分布仿真平台、视景和应用三者进行有机地分离,并将它们组件化,将三者之间的接口标准化,使得各个组成部分之间可以互相促进、独立优化和推广,达到整个分布仿真系统的完善。在仿真系统中,分布仿真平台和演示部分通过数据采集 Agent 来进行结合,其结构如图 7 所示。

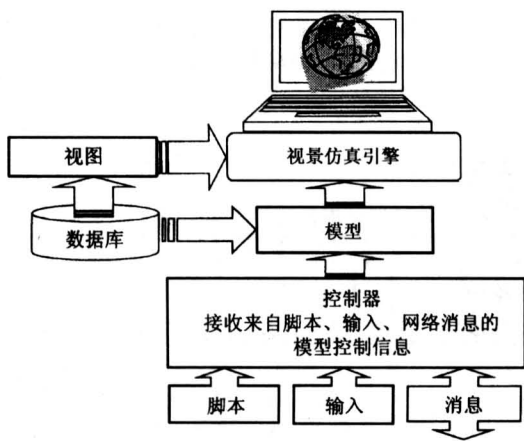


图 6 卫星移动网络总体概念仿真演示部分结构示意图

Fig.6 The structure of the representation section in the general conceptual design simulation of the satellite mobile network

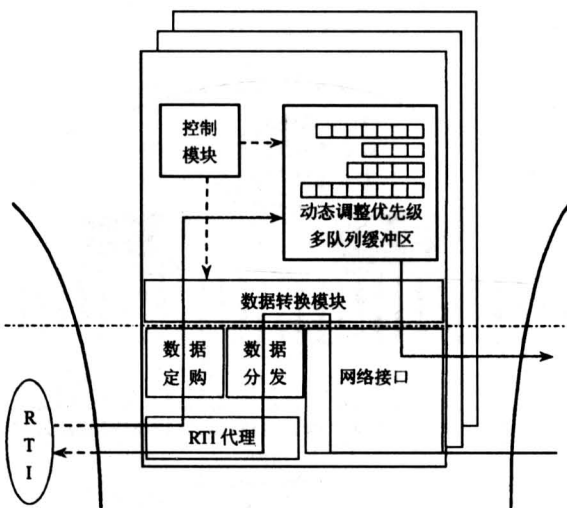


图 7 卫星移动网络总体概念设计仿真的数据采集部分结构示意图

Fig.7 The structure of the data collection section in the general conceptual design simulation of the satellite mobile network

3 总体概念设计仿真的应用实例

3.1 实例的假定

3.1.1 卫星移动网络的组成

卫星移动网络包括高轨 (GEO)、中轨 (MEO)、低轨 (LEO) 和地面 4 个层面。高轨是 2 颗中继卫星, 假定分别定点在东经 80°~90°, 130°~140°赤道上空。中轨是通信节点卫星, 是卫星移

动网络组网的骨架。选择 3 个方案进行仿真比较:

方案 1: 六轨一星, 共 6 颗节点星;

方案 2: 三轨二星, 共 6 颗节点星;

方案 3: 二轨二星, 共 4 颗节点星。

低轨是信息获取卫星 4 颗, 在同一太阳同步轨道高度 400~500 km 上, 进行编队飞行。

地面包括了卫星移动网络控制与收发中心, 卫星移动网络通信的广大用户实际分为两大类, 一类是中继卫星轨道范围内的用户, 另一类是中继卫星通信范围以外的用户 (如欧洲、澳洲、非洲、美洲)。卫星移动网络中卫星参数如表 2 所示。

3.1.2 卫星移动网络的假定

在卫星移动网络组网确定之后, 对于卫星的通信能力也必须要有明确的假定:

1) 中继卫星是针对中国地区的同步卫星, 它的发射角度为 17.5°, 并分别指向成都和南京。

2) 节点卫星是全方位收发天线, 节点卫星间的最大通信距离为 5 km, 可以认为它们之间均可见即可通信。通信速率为 100 Mb/s。

3) 信息获取卫星或者地面与节点卫星的通信, 是假定节点卫星的对地通信角为 15°, 即在 15°范围内可与地面通信。

4) 信息获取卫星的地面覆盖宽度 100~200 km, 扫描间距为卫星飞行速率乘 1 s, 数据上传速率 800~600 Mb/s。

3.2 信息获取过程的典型描述

卫星移动网络的典型应用选用信息获取过程来描述。假定信息获取的对象是太平洋某岛屿度假胜

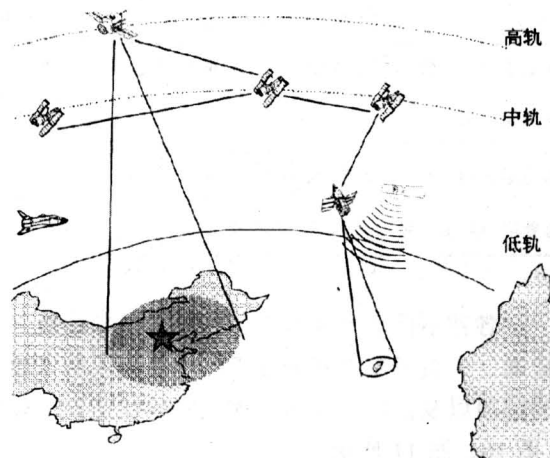


图 8 信息获取过程的典型实例示意图

Fig.8 The typical example of information gaining process

地，信息接受用户在北京，如图8所示。首先由飞行目标上空的信息获取卫星获取信息，经过卫星移动网络的节点卫星的链路，通过最佳的路由选择、

通信协议的连接，将信息传到中国上空的高轨中继卫星，再由中继卫星转发到北京。

表2 卫星移动网络中卫星参数

Table 2 The satellites' parameter in the satellite mobile network

名称	六轨六星							三轨六星							二轨四星						
高轨卫星	1. 东经 80° 2. 东经 120°							1. 东经 80° 2. 东经 120°							1. 东经 80° 2. 东经 120°						
	<i>I</i>	Ω	ϕ	<i>T</i>	<i>e</i>	ω		<i>I</i>	Ω	ϕ	<i>T</i>	<i>e</i>	ω		<i>I</i>	Ω	ϕ	<i>T</i>	<i>e</i>	ω	
中轨卫星	1 轨	45	0	0	12	0	0	1 轨	60	0	0	12	0	0	1 轨	55	0	0	12	0	0
	2 轨	45	60	240	12	0	0	60	0	180	12	0	0	55	0	30	12	0	0	0	
	3 轨	45	120	120	12	0	0	2 轨	60	120	240	12	0	0	2 轨	55	30	60	12	0	0
	4 轨	45	180	0	12	0	0	60	120	60	12	0	0	55	30	90	12	0	0	0	
	5 轨	45	240	240	12	0	0	3 轨	60	240	120	12	0	0							
	6 轨	45	300	120	12	0	0	60	240	300	12	0	0								
低轨卫星	1 轨	25	203	90	1.6	0	0	1 轨	25	203	90	1.6	0	0	1 轨	25	203	90	1.6	0	0
		25	203	88	1.6	0	0	25	203	88	1.6	0	0	25	203	80	1.6	0	0	0	
		25	203	84	1.6	0	0	25	203	84	1.6	0	0	25	203	84	1.6	0	0	0	
		25	203	80	1.6	0	0	25	203	80	1.6	0	0	25	203	80	1.6	0	0	0	

注 *I*—轨道倾角(°); Ω —升交点赤经(rad); ϕ —平均近地角(°);*T*—周期(s);*e*—偏心率; ω —近地点幅角(°)

3.3 典型实例总体概念仿真的实验结果

通过 HLA/RTI 银河高性能分布仿真系统的仿真计算，可以得到各种不同轨道模型下的结果，其中，高轨与通信卫星的最大通信距离、通信卫星之间的最大距离、通信卫星与信息获取卫星之间的最大通信距离等数据如表3所示。

表3 通信卫星与信息获取卫星之间的最大通信距离

Table 3 The maximum distance between the communication satellite and the info gaining satellite km

二者最大通信距离	六轨六星	三轨六星	二轨四星
高轨与通信卫星	20391.692536	20394.439640	20365.840141
通信卫星之间	51673.059279	51673.127986	43428.76954
信息获取与通信卫星	20644.529472	20644.524737	20639.534952

在各种不同轨道模型下，高轨卫星和中轨卫星的连通、中轨卫星之间的连通、中轨卫星和低轨卫星的连通以及低轨卫星和地面之间的连通情况如图9、图10、图11所示。

与此同时，还可以获得将获取目标信息传送到接收地的所有通信链路，如图12、图13、图14所示，从中可以进行路由选择。

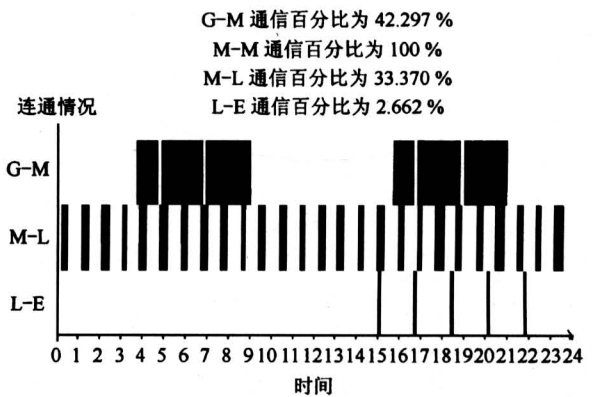


图9 六轨六星连通状况图

Fig.9 The connected graph of six tracks and six satellites

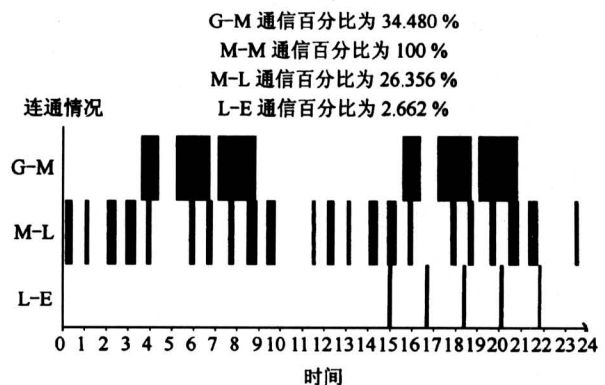


图10 三轨六星连通状况图

Fig.10 The connected graph of three tracks and six satellites

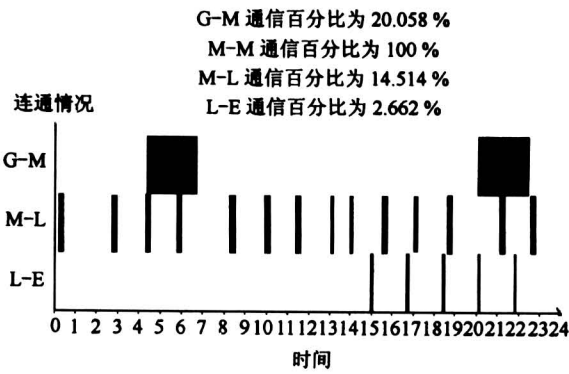


图 11 二轨四星连通状况图

Fig.11 The connected graph of two tracks and four satellites

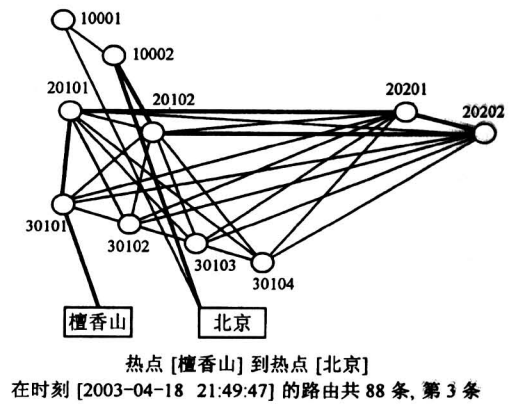


图 14 二轨四星路由状况图

Fig.14 The routing graph of two tracks and four satellites

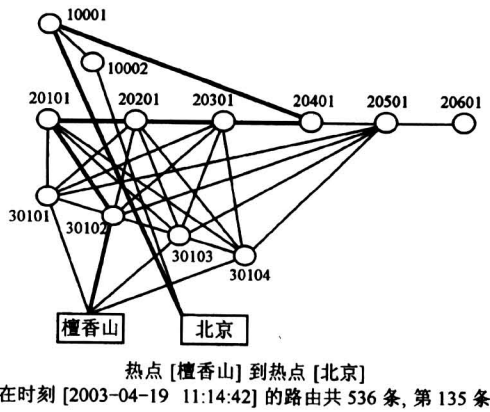


图 12 六轨六星路由状况图

Fig.12 The routing graph of six tracks and six satellites

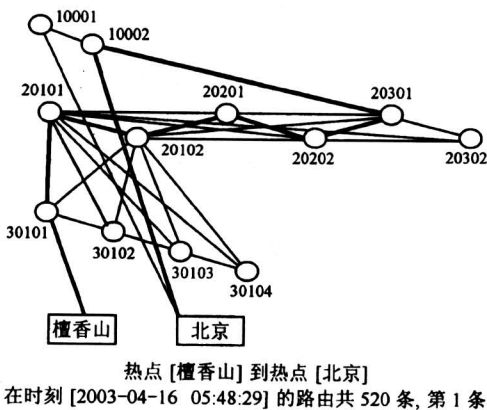


图 13 三轨六星路由状况图

Fig.13 The routing graph of three tracks and six satellites

4 结语

1) 卫星移动网络不同于地面的通信网络，它包含了三维立体多层结构，又具有随时间的通断变化，实际上是四维网。空间组网、动态路由选择、卫星自主运行和信息及时融合，形成了卫星移动网络四大技术难点。这一切都要通过总体概念仿真来科学集成，进行可信的技术论证，来确保有效地缩短研制周期，提高研制的质量，减少研制经费。

2) 美国用于卫星开发的工具包 (Satellite Tool Kit)^[11]，是研究卫星移动网络组网总体概念很好的工具。Analytical Graphics, Inc^[12]提供的单机版和网络版在市场上可以见到，且留有许多用户开发接口。但是要综合地研究卫星移动通信、动态链路选择、自主飞行、信息获取和融合，即要结合总体概念划分 (如图 2 所示) 的第二层和第三层仿真等需求，就必须修改 STK 工具包，但无权修改。国防科技大学计算机学院正在研制的卫星移动网络总体概念仿真平台，是在基于 HLA/RTI 协议的银河高性能分布仿真系统的基础上，参考 STK 工具包，增加了演示部分。它具有自主知识产权，完全可以结合卫星移动网络总体概念仿真的需求进行必要的修改。

3) 通过典型实例的初步仿真，可以获得如下概念信息：

a. 卫星移动通信网是卫星移动通信的骨干网，它的组网方案，直接影响到网络的覆盖率和连通率，并且根据通信链路的最大距离，进行通信功率和链路设计。

b. 骨干网的结点星一般应该选择存储转发和动态链路表机制, 链路表可以根据结点的位置预测定期更新, 存储转发的容量取决于信息的可能最大转发量。

c. 由于卫星移动网络的结点星是高、中、低卫星, 它们在空间不断地运行和漂移, 必须定时进行定位测量, 定位测量超出允许范围时, 有可能进行机动复位。定位测量的结果要及时通知地面测量站, 以便进行瞬间链路表计算, 并按计划更新各个卫星的链路表 (自主运行仿真略)。

参考文献

- [1] 汪成为. 虚拟现实和分布交互仿真 [J]. 计算机研究与发展, 1998, 35 (12): 1058~1063
- [2] 王行仁, 冯勤. 分布交互仿真 [J]. 系统仿真学报, 1995, 7 (2): 1~6
- [3] 党岗, 史扬, 金士尧. 基于 HLA 的分布式虚拟环境中的自适应行为信息过滤方法 [J]. 计算机研究与发展, 2000, 37 (10 增刊): 84~89
- [4] 金士尧, 党岗, 凌云翔, 等. 银河高性能分布仿真系统的设计和实现 [J]. 计算机研究与发展, 2001, 38 (4): 458~465
- [5] 金士尧, 凌云翔, 刘晓健. 面向新世纪的军用仿真机高层体系结构 HLA [J]. 国防科技参考, 1999, 20 (2): 34~39
- [6] 吴家铸, 党岗, 刘华峰, 等. 视景仿真技术及应用 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2001
- [7] 党岗. 基于多 Agent 虚拟环境兵力生成的行为表现技术的研究与实现 [D]. 长沙: 国防科技大学, 2001
- [8] 党岗, 金士尧. 基于 HLA 的多 Agent 虚拟环境表现机制 [J]. 计算机工程与科学, 2001, 23 (3): 4~7
- [9] 党岗, 胡华平, 金士尧. 一种虚拟环境中层次式结构行为描述的研究与实现 [A]. 全国第十届 CAD 与 CG 学术会议 [C], 桂林, 1998. B21~B 26
- [10] Dang Gang, Ling Yunxiang, Hu Huaping, et al. A prototype of layered behavioral description for multi-agent virtual environments [J]. The International Journal of Virtual Reality, 2000, 4 (3): B1~B5
- [11] 秦大国, 陈星. STK 及其在卫星组网仿真演示中的应用研究 [J]. 指挥技术学院学报, 2001, 12 (4): 66~69
- [12] AGI. STK 4. 0. 6 release notes [M]. Analytical Graphics, INC, 1998

The General Conceptual Design Simulation of the Satellite Mobile Network

Jin Shiyao

(College of Computer Science, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

[Abstract] The satellite mobile network is a sky-based communication network whose basic physical architecture is satellite constellation, and it covers the global areas with the communication links between the satellites. The satellite mobile network gives great impetuses to social development, scientific and technical advancement and military normalization, and it gives enormous challenge to the researchers because of the mobile character of the sky-network, the unmeant disconnection of the communication, the complexity of the access, and the integration of the use. It is necessary to use the general concept design simulation to validate general requirement, general project, key technical guideline, and resourceful restrictive condition, and then to form a scientific feasibility report. This paper introduces the general concept of the satellite mobile network, and designs a platform that aims at the simulation of the sky-network, and gains the data of the general concept design simulation of the satellite mobile network with some examples.

[Key words] satellite mobile network; general; simulation