

doi: 10.7690/bgzd.2021.12.016

基于 MySQL 的天地一体化网络结构数据库构建

安沈昊¹, 于荣欢²

(航天工程大学复杂电子系统仿真重点实验室, 北京 101400)

摘要: 为满足天地一体化网络可视化的需要, 构建基于 MySQL 的数据库系统平台。通过对天地一体化网络结构数据组成与特性的分析, 依次设计节点数据、链路数据、网络数据的实体-联系图(entity relationship diagram, E-R)与数据表, 构建天地一体化网络结构数据库; 通过 MySQL Workbench 软件实现用户管理、数据管理与维护等功能。结果表明, 该数据库可为后续天地一体化网络可视化的研究提供有力数据支撑。

关键词: 复杂网络; 天地一体化网络; MySQL 数据库; Workbench 软件

中图分类号: TP311.13 **文献标志码:** A

Construction of Space-ground Integrated Network Structure Database Based on MySQL

An Shenhao¹, Yu Ronghuan²

(Complex Electronic System Simulation Laboratory, Space Engineering University, Beijing 101400, China)

Abstract: To satisfy the needs of space-ground integrated network visualization, establish the database system platform based on MySQL. Through the analysis of the structured data composition and characteristics of space-ground integrated network, design entity relationship diagram (E-R) and data table of node data, link data and network data successively to build the structure database of space-ground integrated network. User management, data management and maintenance are realized through MySQL Workbench software. The database provides strong data support for the follow-up visualization research on the integration of space-ground integrated network.

Keywords: complex networks; space-ground integrated network; MySQL database; Workbench software

0 引言

天地一体化网络是我国科技创新 2030 重大项目中首个启动的重大工程项目^[1], 主要由天基主干网、天基接入网和地基主干网组成, 包含天基、空基、海基和陆基等多个网络, 具有节点数量众多、连接关系复杂、结构差异性较大等特点, 是一种典型的复杂网络^[2]。对于天地一体化网络而言, 众多节点之间复杂的连接关系严重影响着人们对其网络结构的理解与分析, 而传统的文字、表格等形式也不能使人们对网络结构有清晰、直观的认识, 需要以网络可视化技术为基础, 建立帮助用户感知、理解天地一体化网络结构与特性的图形化通道, 实现天地一体化网络的可视化。用可视化的方式对天地一体化网络的整体或局部网络结构进行分析描述, 实质上是对其结构数据的可视化; 因此, 笔者建立合理、规范的网络结构信息数据库, 对天地一体化网络结构数据进行统一、高效的存储与管理, 对于其网络结构的可视化具有重要意义。

笔者通过对部分节点与链路信息的采集, 采用

依次递进的方式创建基于 MySQL 的天地一体化网络结构信息数据库, 实现其复杂网络结构数据的高效存储与管理, 为可视化分析提供数据支撑。同时, 通过 Workbench 软件实现数据管理、数据查询和用户权限控制等功能的可视化, 方便用户和管理人员更加全面地管理天地一体化网络结构数据信息。

1 数据库概述

当前关系型数据库管理系统 (relational database management system, RDBMS) 主要包括 MongoDB、SQL Server、MySQL、Oracle 等。其中, MySQL 以其跨平台性、使用成本低、运算速度快、安全可靠等特点被广泛应用^[3], 主要用于为各种组织提供数据托管服务, 例如 Facebook、Twitter、雅虎、维基百科、YouTube 等。MySQL 还可通过 C 与 C++ 进行编写, 既可当成一个单独程序在客户端服务器中使用, 又可作为一个库植入到其他的软件中进行使用^[4]。

在数据存储方面, MySQL 采用了关系模型, 以

收稿日期: 2021-08-18; 修回日期: 2021-09-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (61801513)

作者简介: 安沈昊 (1996—), 男, 河南人, 从事空间信息系统技术与应用研究。E-mail: 513588358@qq.com。

行和列组成 2 维数据表格，方便用户读取或查询数据。首先确定字段中数据的格式与内容，即数据表的结构，之后根据表结构存储数据，可使整个数据表具有较高的可靠性与稳定性。在数据查询方面，MySQL 使用结构化查询语言 (structured query language, SQL) 实现数据库系统的更新、数据管理、数据查询等操作^[5]。在数据库设计方面，通常利用实体-联系图 (E-R) 来反映数据库中各表之间的关系与表中的元素^[6]。合理的 E-R 图能有效减少数据冗余，提高数据库的效率。

目前用户主要通过命令行和桌面软件 2 种途径使用与管理 MySQL 数据库。MySQL Shell 是一种命令行工具^[7]，支持多种语言与模式，可供不熟悉数据库脚本的用户对数据库进行操作。MySQL Workbench 是一款可视化数据库设计软件，能为用户提供可视化的操作环境，相比于 MySQL Shell，用户不必手动编写、执行命令语句，使用较为方便快捷。

2 数据库设计

2.1 数据组成与特性分析

天地一体化网络结构数据主要包含节点、链路和网络 3 个层级的数据。

网络节点主要包括天基节点 (航天器及其载荷)、空基节点 (临近空间飞行器等)、陆基节点 (地面站等)、海基节点 (舰船等)，其中天基节点数据主要为两行式卫星轨道数据 (two-line orbital element, TLE)，其他节点数据主要为经纬度、高程等位置参数。由于卫星在各自轨道上运行，其位置、速度、运行姿态等状态信息时刻都在变化，其他可移动节点也会因实际任务进行机动，因此节点数据具有明显的动态性。

网络链路数据主要由链路两端的节点数据及链路属性与其他信息组成，根据两端节点的不同可分为星间链路、星地链路等，根据传输内容等属性也可分为测控、通信等多种链路。不同节点之间可能存在动态的信息交互，例如卫星与卫星之间、卫星与地面站之间，因此链路数据具有周期性、动态性的特点。

网络数据主要由节点数据和链路数据组成，天地一体化网络具有层次性、重叠性的特点，存在多层次网络并存、小网络同时存在于多个大网络中、骨干网连接多个子网等情况。

2.2 需求与功能分析

结合上述对天地一体化网络结构数据组成与特性的分析，其网络结构信息数据库应满足以下 3 方面需求：

- 1) 针对网络节点类型多、参数差异大的特点，能够对节点数据进行统一存储与管理；
- 2) 针对星星链路、星地链路等链路的时变特点，能够对链路数据进行动态地存储与管理；
- 3) 针对天地一体化网络中网络重叠、网络分层的特点，能够对网络数据进行层次化地存储与管理。

如图 1 所示，除了数据管理与数据查询等常规功能，还应对用户进行分类、分级管理。不同类型的用户拥有相应的权限：数据库管理员具有最高权限，能对数据库进行任意操作；数据库维护人员能对数据进行更新、修改、删减等操作；普通用户仅能够查询相关数据。

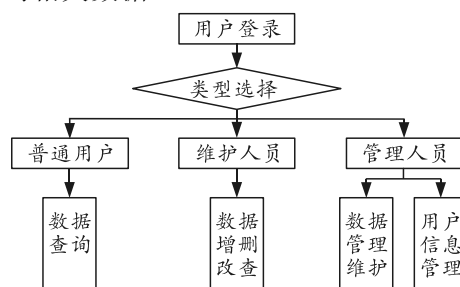


图 1 用户管理模块结构

2.3 概念结构设计

天地一体化网络结构数据库主要由节点数据表、链路数据表与网络数据表组成。为方便后续的数据管理与存储，在所有的数据表中，每个目标均设定有唯一编号，方便管理人员识别与选取。

2.3.1 节点数据表

节点数据表主要由天基节点数据表、空基节点数据表和地基节点数据表组成，结构如图 2 所示。

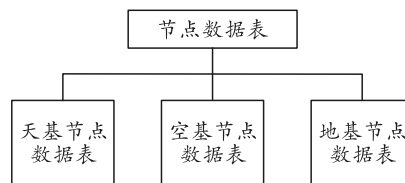


图 2 节点数据表结构

天基节点数据表主要存储两行式卫星轨道数据，包含字段：目标编号、卫星名称、第 1 行数据、第 2 行数据、卫星编号、发射年份、星历编号、TLE 历时、发射以来飞行圈数、每天环绕地球圈数、轨道倾角、升交点赤经、轨道偏心率、近地点幅角、

平近点角等。E-R 图如图 3 所示。

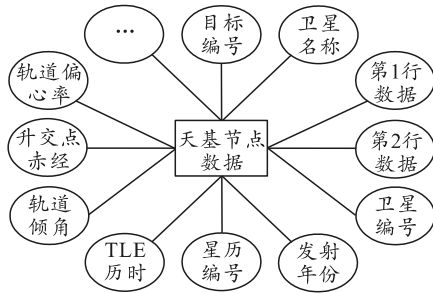


图 3 天基节点数据表 E-R 图

空基节点数据主要存储飞行器位置参数与其他信息，包含字段：目标编号、飞行器编号、飞行器名称、飞行器等级、地面站类型、经度、纬度、高度等。E-R 图如图 4 所示。

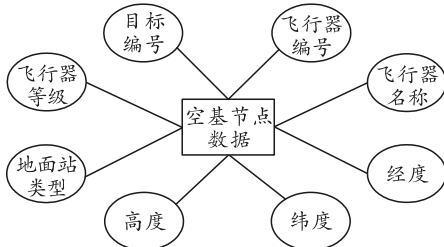


图 4 空基节点数据表 E-R 图

地基节点数据表主要存储测控站、卫星站、导航站、数据接收站、卫星管理站等与航天相关的地面站点的位置参数与其他信息，包含字段：目标编号、地面站编号、地面站名称、地面站类型、地面站等级、经度、纬度、海拔等。E-R 图如图 5 所示。

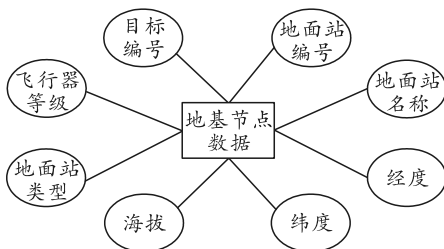


图 5 地基节点数据表 E-R 图

由于天地一体化网络中节点的种类与数量众多，为避免繁杂的数据对用户造成认知与理解的困难，同时为其数据的可视化提供可选择的显示内容，需要对节点信息进行分类、分级管理。比如按照物理域可分为卫星、飞行器与地面站等，其中卫星节点按照功能可分为遥感、通信、导航等，按照轨道高度可分为高轨、中轨与低轨。

采用递归树方法^[8]可以生成无限层级的分类树，并且对分类树进行插入、删除、新建等编辑操作；因此，在原有数据表地基础上，采用递归树方法分别构建各类节点的分类树，其数据表包含以下

字段：目标编号、父节点编号、节点名称、节点编号等，E-R 图如图 6 所示。通过递归树方法生成分类树的具体步骤如下：

- 1) 查找父节点为空的节点，此节点即为根节点。
- 2) 在该父节点下查找下一级子节点。
- 3) 遍历查找到的子节点，如节点编号不为空，则说明该节点为叶子节点。如为空，则为分支节点，递归查找父节点为此子节点的节点。
- 4) 参照 3) 逐级递归，直到遍历完所有的叶子节点。

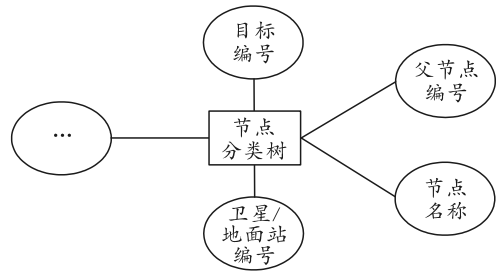


图 6 节点分类树数据表 E-R 图

2.3.2 链路数据表

链路数据表在节点数据表的基础上构建，即由发送节点、接收节点以及相关的链路信息组成一条链路数据，包含字段：目标编号、链路类型、链路编号、链路名称、发送节点类型、发送节点编号、接收节点类型、接收节点编号和其他特性参数等。E-R 图如图 7 所示。

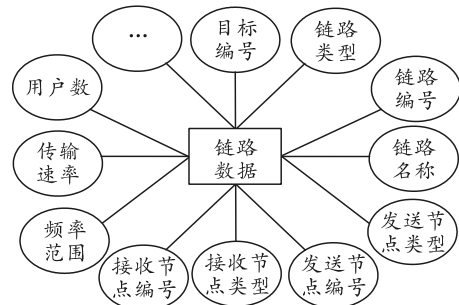


图 7 链路数据表 E-R 图

2.3.3 网络数据表

网络由若干链路组成，网络可视化由众多链路可视化实现；因此，可在链路数据表的基础上构建网络数据库表。通过对链路进行分类、分级管理，之后对某一类型或某一级别的所有链路进行可视化，达到网络可视化的效果。结合链路数据，采用递归树方法构建网络分类树，其数据表包含以下字段：目标编号、父节点编号、节点名称、链路编号等。E-R 图如图 8 所示，具体方法同上述生成节点

分类树的步骤相同。

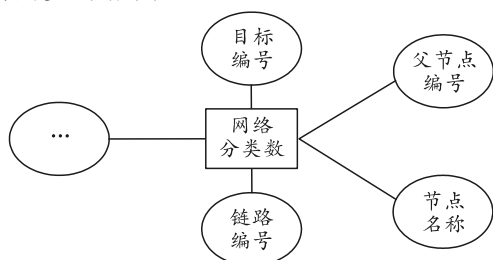


图 8 网络分类树 E-R 图

2.4 逻辑结构设计

数据库是计算机数据处理与信息管理的核心，其逻辑结构的设计对于关系型数据库的性能优化具有很大影响^[9]。在上述数据库概念结构模型设计的基础上，对其逻辑结构模型进行设计。依据各层级数据的 E-R 图，分别建立节点、链路和网络数据表，数据表中的字段即对应 E-R 图中的子节点信息，并均设定目标编号为主键，此字段在节点数据表中不允许为空值。

2.4.1 节点数据表

首先设计天基节点数据表、空基节点数据表和地基节点数据表的逻辑结构，结果如表 1—3 所示。

表 1 天基节点数据

字段	类型	主键	允许空值	描述
ID	INT	Y	N	目标编号
SatName	CHAR	N	Y	卫星名称
SatID	INT	N	Y	卫星编号
FirstLine	CHAR	N	Y	第 1 行数据
SecondLine	CHAR	N	Y	第 2 行数据
FLD_INTLDESC	INT	N	Y	发射年份
...

表 2 空基节点数据

字段	类型	主键	允许空值	描述
ID	INT	Y	N	目标编号
NearSpaceAirCraftID	INT	N	Y	飞行器编号
NearSpaceAirCraftName	CHAR	N	Y	飞行器名称
Lon	DOUBLE	N	Y	经度
Lat	DOUBLE	N	Y	纬度
High	DOUBLE	N	Y	高度
...

表 3 地基节点数据

字段	类型	主键	允许空值	描述
ID	INT	Y	N	目标编号
StationID	INT	N	Y	地面站编号
StationName	CHAR	N	Y	地面站名称
Lon	DOUBLE	N	Y	经度
Lat	DOUBLE	N	Y	纬度
Alt	DOUBLE	N	Y	海拔
...

表 4 展示了节点分类树数据表的逻辑结构，每个节点可由 ID、ParID 和其他信息表示，ID 为本目

标唯一编号，ParID 表示此节点作为父节点时的编号，其他信息包括节点名称、节点编号(卫星、飞行器或地面站编号)、节点信息页面地址等。当一个节点的 ParID 为空值时，此节点为一个父节点(类型节点)，其子节点的 ParID 即为该节点的 ID。

表 4 节点分类树数据

字段	类型	主键	允许空值	描述
ID	INT	Y	N	目标编号
ParID	INT	N	Y	父节点编号
NodeName	CHAR	N	Y	节点名称
NodeID	INT	N	Y	节点编号
...

2.4.2 链路数据表

链路数据表逻辑结构如表 5 所示，其中发送节点编号与接收节点编号即为卫星、飞行器或地面站编号，并用不同的数值表示链路类型。

表 5 链路数据

字段	类型	主键	允许空值	描述
ID	INT	Y	N	目标编号
LinkType	INT	N	Y	链路类型
LinkID	INT	N	Y	链路编号
LinkName	CHAR	N	Y	链路名称
SendType	INT	N	Y	发送节点类型
SendID	INT	N	Y	发送节点编号
RecType	INT	N	Y	接收节点类型
RecID	INT	N	Y	接收节点编号
...

2.4.3 网络数据表

网络数据可理解为链路数据的分类、分层，其数据表逻辑结构如表 6 所示。

表 6 网络数据

字段	类型	主键	允许空值	描述
ID	INT	Y	N	目标编号
ParID	INT	N	Y	父节点编号
NodeName	CHAR	N	Y	节点名称
LinkID	INT	N	Y	链路编号
...

3 数据库关键功能

为方便用户的操作与理解，笔者使用 MySQL Workbench 软件实现天地一体化网络结构数据库的用户管理、数据管理与数据查询等功能。

3.1 用户管理

新用户注册成功后，由数据库管理员根据账户类型设置其相应的权限和被授权的数据库，登录后数据库将自动根据用户预设权限呈现相应的操作界面。如图 9 所示，首先对用户操作次数进行限制，设置该用户在一定时间内可以执行的查询次数、更新次数和连接服务器次数等；如图 10 所示，若该用

户是数据库维护或管理人员，可根据其管理层级设置相应的数据库管理权限；如图 11、12 所示，若该用户是普通用户，则直接设置对该用户开放的数据库与该用户可执行的操作。

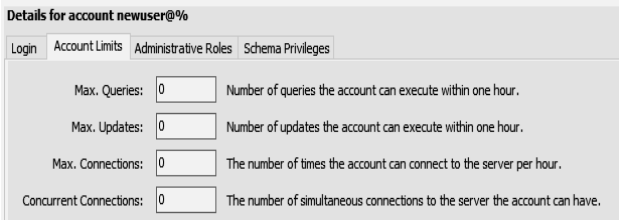


图 9 操作次数限制界面

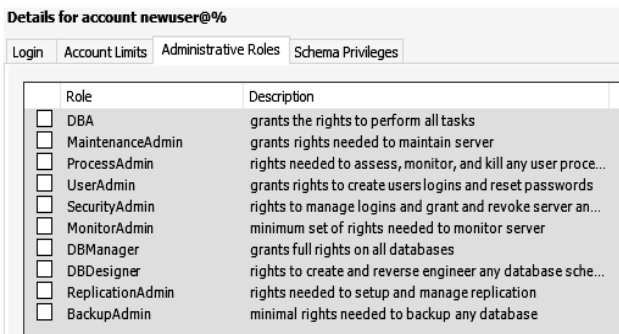


图 10 管理权限设置界面

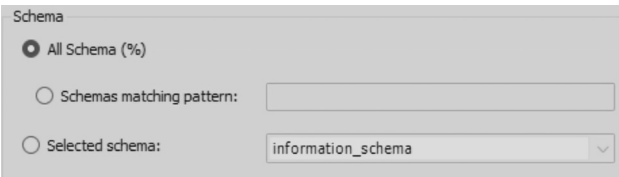


图 11 数据库授权界面

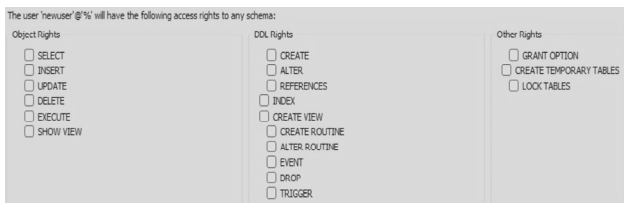


图 12 可执行操作设置界面

3.2 数据管理与维护

数据库管理或维护人员可根据实际情况更新、修改或删除天地一体化网络结构数据。当对天基节点数据进行维护时，即可在原有基础上对信息进行修改，也可录入新信息。在这个过程中要注意保持字段数据类型的匹配和主键的唯一性。

3.3 数据查询

除上述操作外，用户还可通过关键字对天地一

体化网络结构数据进行查询，关键字包括编号、名称和属性信息等等，查询界面如图 13 所示。

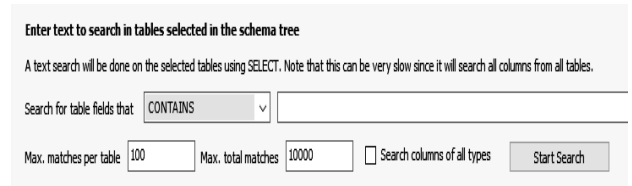


图 13 数据查询界面

4 结束语

笔者通过对天地一体化网络结构数据组成与特性及其网络结构数据库的需求与功能进行分析，结合 MySQL 数据库管理平台，以依次递进的方式从节点数据、链路数据与网络数据 3 方面构建天地一体化网络结构数据库，为天地一体化网络结构数据的存储管理和后续发展奠定了基础。该数据库能使用户全面了解所需的天地一体化网络结构信息，结合可视化软件能为管理人员提供工作便利。在下一步工作中，将在数据库优化方面进行分析，重点是面对数量众多的数据条目时，如何提高数据库的数据查询速度。

参考文献：

- [1] 汪春霆, 翟立君, 徐晓帆. 天地一体化信息网络发展与展望[J]. 无线电通信技术, 2020, 46(5): 493-504.
- [2] 安沈昊, 于荣欢. 复杂网络理论研究综述[J]. 计算机系统应用, 2020, 29(9): 26-31.
- [3] 杨雨成, 任利峰. MySQL 数据库性能优化技术研究[J]. 科技经济导刊, 2020, 28(3): 32.
- [4] 董航, 饶世钧, 洪俊. 基于 MySQL 的雷达目标信息数据库构建[J]. 科技创新与应用, 2020(28): 80-83.
- [5] 颜清, 苗壮, 赖鑫生, 等. 大数据时代关系数据库 MySQL 的创新与发展[J]. 科技风, 2020(20): 75-76.
- [6] 李志. 论 E-R 图在数据库建模过程中的重要性[J]. 信息记录材料, 2020, 21(6): 143-145.
- [7] 李灿, 孙东平. 基于 shell 脚本的 Linux 环境下 MySQL 快速部署方法[J]. 电脑知识与技术, 2020, 16(33): 33-34.
- [8] 周法国, 韩智, 高天. 递归算法设计思想与策略分析[J]. 软件导刊, 2017, 16(10): 35-38.
- [9] 韩改宁, 李永锋, 高伊腾. 基于嵌入式 Qt 下的 MySQL 数据库设计与开发[J]. 微型电脑应用, 2020, 36(5): 25-27.