引文格式：杨志远. 利用单兵穿戴 GNSS 设备的矢量地图检索绘制方法[J]. 地理空间信息, 2026, 24(1): 26-28. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2026.01.006

利用单兵穿戴GNSS设备的矢量地图检索绘制方法

杨志远
（成都天奥电子股份有限公司，四川 成都 610000）

摘　要：卫星手表、单兵作战手环、GIS 穿戴终端等单兵穿戴式 GNSS 卫星设备由于算力受限且存储空间小，在这些设备上实现离线矢量地图的数据检索与绘制面临诸多挑战。提出了一种可应用于穿戴式 GNSS 卫星设备的离线矢量地图检索和绘制方法，构建了一种多分辨率存储的三维组合离线矢量地图格式，采用瓦片分割、动态加载、实时剪裁等算法，实现了高效且轻量化的离线地图矢量数据检索、绘制和渲染。该方法在北斗卫星手表上能实现 150 ms 内完成 20 km 半径范围内的三维信息组合矢量地图数据加载，并在 2 s 左右完成检索与绘制。

关键词：GNSS；穿戴式定位终端；GIS；矢量地图瓦片
中图分类号：P228.4　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2026）01-0026-03

Vector Map Retrieval and Mapping Methods for the Individual Wearable GNSS Devices

YANG Zhiyuan
(Chengdu Space on Electronics Co., Ltd., Chengdu 610000, China)

Abstract: The individual wearable GNSS satellite devices, such as satellite watch, individual combat wristband, and GIS wearable terminal, typically have limited computing power and small storage capacities, which presents numerous challenges for implementing offline vector map data retrieval and mapping on these platforms. We proposed an offline vector map retrieval and mapping method suitable for wearable GNSS satellite devices, constructed an offline vector map format with multi-resolution storage for 3D information combination, and employed tile segmentation, dynamic loading, and realtime cropping algorithms to achieve efficient and lightweight offline vector data retrieval, mapping and rendering. The proposed method can load vector map data by 3D information combination within 20 km radius in 150 ms and complete data retrieval and mapping within about 2 s on Beidou satellite watch.

Key words: GNSS, wearable positioning terminal, GIS, vector map tile

随着北斗卫星导航定位技术的快速发展，GNSS 卫星终端向轻量化穿戴式方向发展，尤其是单兵穿戴 GNSS 设备逐渐在各军兵种全面推广应用。单兵穿戴 GNSS 终端在任务中需集成经度、维度和高度三维地图作为战略规划的基础工具，并在行动中配合指南针、图幅编码、组网通信等手段保障战术的精准执行。地理信息系统包括栅格地图和矢量地图[1]。穿戴式 GNSS 终端需要地形和等高线组合的三维地图来展示战场环境，且通常采用计算能力有限、存储空间较小的嵌入式系统。传统栅格地图由于地图资源单一、响应速度较慢无法满足需求[2]，因此本文采用矢量地图数据来表征三维地图特征。嵌入式矢量地图研究的一个核心内容是加快矢量地图数据的检索、加载和绘制速度，许多学者[3-11]对此开展了深入研究，通过优化组织模型，提升数据索引、加载和绘制渲染速度等方式处理地图数据，但仍无法满足低算力、小存储的轻量化嵌入式系统的运行需求，还需进一步研究合适的瓦片数据组织模型和索引绘制算法。鉴于此，本文提出了一种针对单兵穿戴 GNSS 卫星设备的离线矢量地图检索、加载和绘制方法。首先采用多分辨率存储架构实现了一种轻量化的矢量数据组织模型，并提出网格索引与树索引融合索引算法实现数据的快速加载；然后在不同比例尺下对地图绘制区域进行实时裁剪压缩；最终实现了低算力高效率轻量化的三维信息矢量地图存储、检索和绘制。该方法可在存储容量较小、运算能力有限的单兵穿戴 GNSS 卫星设备中高效运行，实现矢量地图的快速检索、加载和绘制，并支持地图快速缩放、漫游、路线指引等交互需求；同样适用于电子海图、航空图等特殊应用场景的离线矢量地图数据。

项目来源：四川省战略性新兴产业和高端成长型产业专项资助项目（川财建（2016）70 号）。
作者简介：杨志远（1989—），硕士，工程师，从事北斗卫星导航技术及可穿戴应用研究工作，E-mail：yangzhiyuan@beidouwatch.com。

1　矢量数据组织模型

本文对地形图中的路网、水系、绿地等矢量数据信息和等高线地图中的高程矢量信息进行组合，构建适用于战场环境的三维信息高精度矢量离线地图，并构建矢量数据组织模型[12]。为提升检索速度，本文采用一种多分辨率树结构组织矢量瓦片，并存储在网格文件中，通过网格索引与树索引融合索引算法实现矢量地图数据的快速加载。

1.1　网格文件划分

综合考虑索引效率和文件存储能力，本文将全球地理空间的经纬度按照1°进行网格划分。当终端设备通过卫星定位等方式获取经纬度坐标时，算法根据网格文件能快速检索当前位置以及绘制区域所需加载的矢量地图数据集。

1.2　树结构组织索引

网格文件中的矢量数据采用树结构进行组织和检索。本文采用的树结构见图1，树节点中存储瓦片的概览信息，包括中心经纬度坐标（center）、覆盖区域的尺寸（height 和 width）以及对应矢量地图数据在文件中的起始和结束位置（element_offset 和 element_end）。此外，每个树节点还保存了指向其下一层级瓦片的索引（next_level_idx）以及是否为当前区域最后一个瓦片的标识符（last）。

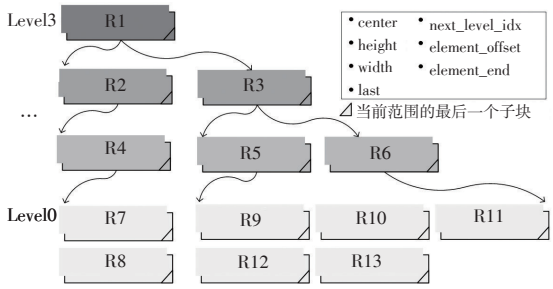


图1　瓦片树结构

2　加载和裁剪矢量数据

2.1　动态加载

本文提出了一种矢量数据动态加载方法。矢量数据文件包括文件头和文件列表两个部分。文件头又包含头信息（Header）和文件分配表（FAT）两个部分，其中Header为地图校验信息、地图创建时间等；FAT定义每个子文件的类型和位置信息。子文件类型主要包括Tree和Elements两个部分，Tree子文件存储瓦片树结构；Elements子文件存储具体的矢量地图元素，将道路、水系、绿地、高程等矢量特征存储为点、索引点、折线和多边形，Elements部分按顺序存储瓦片数据，每个瓦片中又顺序存储了点、线、面等特征数据。

不同于各级文件均完整存储不同分辨率数据的传统方法，本文方法每级文件仅存储特定类型的矢量信息，加载时通过各级数据动态叠加来构建完整地图，进而提升存储和加载效率。例如，对于路网数据，Level0包含村道数据，代表最大分辨率；Level1包含主干道数据；Level2包含省道和国道数据；Level3包含高速公路网数据。数据动态加载的具体流程为：①终端通过卫星定位等方式获取经纬度坐标，算法根据坐标信息计算需加载的网格文件，并进行树结构组织索引；②检索算法快速遍历Level3对应的瓦片数据集，得到绘制区需加载的地图瓦片集合，并按照Level3→2→1→0的顺序进行解析，叠加对应各等级数据即可得到完整的绘制地图数据；③地图比例尺进行放大操作时，根据缓存的瓦片索引信息，按照Level3→2→1→0的顺序快速跳转到下一等级，解析数据并与缓存数据叠加；④地图比例尺进行缩小操作时，检索算法释放缓存的瓦片索引信息和矢量数据，重新进行搜索；⑤动态加载矢量数据，即可解析出所有数据。

2.2　实时裁剪

为提升运算和绘制效率，需要进一步对矢量数据进行裁剪处理。本文基于Liang-Barsky算法[13]和Sutherland-Hodgman算法[14]，分别针对地图数据中相对复杂的线数据和面数据，实现了一种地图矢量数据的实时裁剪方法，可根据当前地图可视范围对动态加载的矢量数据进行快速剪裁。本文采用Liang-Barsky算法实现线数据剪裁；采用Sutherland-Hodgman多边形算法实现面数据剪裁，在沿着裁剪边界的每一边依次处理多边形的顶点和交叉点，确定哪些顶点应当保留在裁剪后的多边形中，并使用多链表保存数据结构[15]。设备将缓存算法剪裁后的有效矢量数据，并定时传递给绘制程序进行渲染和显示。

3　实验结果与分析

3.1　实验环境

本文采用卫星导航信号模拟器模拟全球坐标位置，以北斗手表作为单兵穿戴GNSS终端（图2）。北斗手表具备STM32U599 MCU处理器、3 MB内存、8 GB EMMC存储器和1.3英寸显示屏幕。实验将地形图与等高线地图的组合作为测试地图，内置在北斗手表的文件系统中。测试地图包含路网、绿地、水系和高程等矢量元素，实验对测试地图的绘制显示进行了脱敏，省略了文字、标记等元素信息。



图2　卫星导航信号模拟器和北斗手表

3.2　矢量地图检索绘制方法验证结果

为验证本文方法在轻量化嵌入式系统中的适用性，将该方法在单兵穿戴GNSS终端上进行了工程化实现。结合终端的应用场景，实验利用卫星导航信号模拟器设置了3个典型山林地形的景区位置，经纬度坐标分别为（103.907 066, 33.167 087）、（116.025 758, 40.357 551）和（110.508 835, 29.366 115）。单兵穿戴GNSS终端接收到卫星模拟器的模拟位置坐标后，内部的MCU处理器将坐标输入本文方法程序模块，计算当前比例尺下的屏幕显示地理范围，如0.5 km比例尺下屏幕显示地理范围半径为1.02 km。程序模块进一步在终端文件系统中检索该地理范围包含的矢量地图文件，并调度动态加载和实时裁剪算法，在索引加载矢量地图数据的同时，快速完成线和面元素数据的实时裁剪，并将裁剪后的有效数据缓存至内存。算法程序模块根据预设规则，调用GPU_Vector库函数绘制元素对应的矢量图形。实验的预设规则为：绿地为绿色面元素、水系为蓝色面元素、路网为灰色线元素、高程为橙色线元素。算法程序模块按照绿地→水系→路网→高程的图形分层顺序，通过内部的2.5D GPU显存和MIPI显示接口将矢量图形逐层推送至终端屏幕，完成矢量地图的终端界面显示（图3）。实验结果表明，采用本文方法北斗手表能在1 s内快速检索并绘制完成坐标位置1 km半径范围内的测试地图，精确呈现该地的三维地理信息；同时配合指南针、图幅编码等行动数据，测试地图页面还实现了实时行动轨迹和目标点方位指引功能，进一步提升了3DGIS的综合可用性。

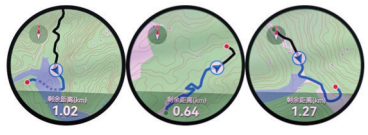


图3　北斗手表中的界面展示（景区地图，比例尺0.5 km）

3.3　实时裁剪效果分析

本文进一步验证了本文方法对矢量地图绘制效率的提升效果，有无实时剪裁算法的绘制时间对比结果见表1，可以看出，本文方法通过实时剪裁线数据和面数据，能有效剔除不在显示范围内的矢量元素，从而显著提高地图绘制效率。在半径0.2 km的显示范围内，实时剪裁算法最多可节省95%的绘制时间，不同显示范围平均可节省82%的绘制时间。

表1　有无实时剪裁的绘制时间对比

显示范围半径/km	无实时裁剪耗时/ms	加入实时裁剪耗时/ms
0.20	4 768	255
0.41	7 007	444
1.02	4 314	393
2.05	4 556	502
4.10	5 779	1 063
10.24	1 868	640
20.47	4 563	2 008

3.4　检索绘制时间分析

本文进一步统计了本文方法在缩放操作下检索与绘制地图所需的时间（表2），可以看出，该方法能在150 ms内完成20 km半径范围的矢量数据检索和加载，并在2 s左右完成该范围内矢量地图的缩放解析和绘制。由于地图比例尺放大操作是基于已有的瓦片集合索引信息进行的快速跳转，而地图比例尺缩小操作则需重新搜索瓦片集合，因此在执行地图比例尺缩小操作时，所需运行时间较长。随着比例尺的缩小，地图数据分辨率相应提高，地图瓦片的数量也会增加，导致检索和解析所需时间随之增加，但由于显示范围对应的数据较少，因此绘制时间较短。

表2　程序运行时间分析

显示范围半径/km	解析（放大）耗时/ms	解析（缩小）耗时/ms	解析+绘制（放大）耗时/ms	解析+绘制（缩小）耗时/ms
0.20	212	213	255	257
0.41	348	354	444	463
1.02	189	199	393	394
2.05	136	168	502	524
4.10	196	218	1 063	1 069
10.24	53	60	640	647
20.47	134	144	2 008	2 010

4　结　语

单兵穿戴GNSS终端已成为单兵战场态势感知的重要载体，为全军提供精准时空位置信息、战场环境感知能力。相较于基于Windows、Linux、Android等复杂系统的矢量地图实现方法，本文方法在算力消耗和运行效率方面具有明显优势，更适应轻量级嵌入式系统的应用需求。实验结果显示，该方法能在北斗手表等轻量级嵌入式系统上实现快速的矢量组合地图检索、加载和绘制，并支持不同比例尺的组合地图缩放和平移；结合指南针、图幅编码、组网通信等多维信息，可极大提升战场环境中单兵穿戴（下转第74页）