

王伟强,汪传建,余晓平,等. 基于 WebGIS 与北斗/GPS 的放牧监测系统[J]. 江苏农业科学,2017,45(7):202-206.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.07.055

基于 WebGIS 与北斗/GPS 的放牧监测系统

王伟强,汪传建,余晓平,文春雷,张雅,孙世泽

(石河子大学信息科学与技术学院/新疆生产建设兵团空间信息工程技术研究中心/
新疆生产建设兵团空间信息工程实验室,新疆石河子 832000)

摘要:现有的牧群追踪系统仅实现了牧群位置实时显示、历史轨迹查询和围栏报警功能,已无法满足草地畜牧管理部门对于牧场放牧强度和牧群采食情况监测等功能的更高需求。针对上述问题,结合草地科学理论与空间分析方法,提出基于放牧时空轨迹数据的牧群采食量分布模型和牧场放牧强度监测方法。在已建立的物联网位置服务平台基础上,集成 WebGIS 空间分析技术与可视化技术,建立了物联网牧群轨迹数据采集与 WebGIS 时空数据分析的放牧监测系统。系统实现了牧群位置地图显示、牧场放牧强度监测、牧群采食量分布监测 3 个功能。以新疆天山北麓牧场为案例对系统进行了应用分析,结果表明,系统能有效地实现牧群位置信息、牧场放牧强度信息、牧群采食量分布信息的动态监测,可为相关管理部门对放牧信息的监测提供技术支持和数据支撑。

关键词:放牧;监测;采食量;放牧强度;WebGIS;北斗/GPS;物联网

中图分类号: S127;S126;TP79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)07-0202-05

新疆是我国的五大牧场之一,拥有发展畜牧业得天独厚的条件。目前,全疆有牧业县和半牧业县 87 个,从事牧业人口 138 万人,占农村总人口 12.6%;现有天然草场 57 万 km²,牧场 130 个^[1]。但新疆天然草地资源利用情况很难被实时、有效地监测。新疆天然牧场大多位于高山、丘陵地带,交通和通信设施非常落后。牧民和牧群进入牧场后,由于缺乏固定电话、移动电话和互联网等通信联络方式,牧民与外界的联系基本中断,牧主与草地畜牧管理部门无法实时掌握和监控牧民的放牧行为。对于牧主来说,他们很难评估牧民的放牧行为是否合理,是否充分利用了牧场资源,是否及时转场等;对于畜牧管理部门来说,牧民是否在规定的牧场放牧,是否越过了禁牧区,牧场的载畜量能否满足放牧需求等,这些问题在很

大程度上影响了畜牧管理部门实施划区轮牧^[2]、退牧还草、围栏封育、草原生态补偿等天然草地建设项目的科学决策。因此,研发一种放牧监测系统用于快速、大规模、低成本地监测牧民的放牧行为、牧场的放牧强度和牧群的采食情况,对促进畜牧业经济与草地生态可持续发展有重要的意义和应用价值^[3-4]。

20 世纪 90 年代以来,学者们将全球定位系统(global positioning system,简称 GPS)技术与计算机技术引入到草地畜牧业中,实现了位置信息的采集、分析和可视化。Kawamura 等采用 GPS 项圈以一定时间间隔记录牧群轨迹,并将轨迹数据存储在内置存储器上,待傍晚赶牲畜回畜圈时,取下定位项圈,再通过 USB 数据线将轨迹数据同步至计算机中^[5-7]。该方法虽然可以满足学者们对牧群轨迹数据采集的需求,但人工逐一同步数据不仅大大增加了信息采集人员的工作量,而且无法满足畜牧管理部门与牧主对牧群实时定位的需求。

近年来,随着地理信息系统(geographic information system,简称 GIS)技术、无线通信技术和物联网技术的发展,国内外学者们将通用分组无线服务(general packet radio service,简称 GPRS)技术^[8]、物联网技术(internet of things)^[9]、GIS 技术与北斗/GPS 技术结合,实现牧群轨迹数据的远程传输、实时监测与可视化显示^[10-11]。Henkin 等为了研究在丘陵地区中地形因素对牛觅食行为的影响,采用 LOTTEK 2200 系列 GPS 项圈(Lotte Engineering, Newmarket, ON, Canada)以

收稿日期:2016-10-05

基金项目:国家自然科学基金(编号:41461088,41361083);石河子大学名校名师结对子项目(编号:SDJDZ201507);石河子大学高层次人才计划(编号:RCZX201227)。

作者简介:王伟强(1992—),男,吉林松原人,硕士研究生,主要从事农业信息化技术及应用、时空数据挖掘研究。E-mail: wwq@stu.shzu.edu.cn。

通信作者:汪传建,博士,副教授,硕士生导师,主要从事时空数据挖掘、时空数据安全技术及应用的研究。E-mail: wej_inf@shzu.edu.cn。

comparison between different modes of distribution[J]. Food Policy, 2012, 37(6): 609-615.

[14] 刘广海,谢如鹤. 冷藏车热性能及能耗分析模型的建立与实验研究[J]. 制冷学报,2008,29(3):47-53.

[15] 刘广海,谢如鹤. 冷藏车热状况的模拟分析与实验研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2009,33(4):691-694.

[16] Jolly P G, Tso C P, Wong Y W, et al. Simulation and measurement on the full-load performance of a refrigeration system in a shipping

container[J]. International Journal of Refrigeration, 2000, 23(2): 112-126.

[17] 肖莹,刘德军. 农产品冷藏保温运输技术与装备研究[J]. 农机化研究,2011,33(1):57-60.

[18] Tassou S A, de Lille G, Ge Y T. Food transport refrigeration - approaches to reduce energy consumption and environmental impacts of road transport[J]. Applied Thermal Engineering, 2009, 29(8): 1467-1477.

时间间隔为 5min 记录牧群的轨迹信息,并对不同季节不同放牧强度下的放牧轨迹进行分析,发现牛群喜欢在地形平坦的地方采食,仅当放牧强度趋于饱和或牧草生物量较低时,才会在地形较为陡峭的区域采食^[12];Pérez-Barbería 等采用 GPS 项圈(LOTEK GPS3300)1 h 记录 1 个绵羊群和马鹿群位置数据,结合径向基函数理论,提出 1 种同域物种运动行为驱动因素的状态空间模型,以深入了解动物间相互影响及其复杂的合作与竞争行为^[13]。陈俊研发 1 种基于 GPS 与 GIS 的卫星放牧系统,以实时接收、解析并存储牧群位置数据,并结合 WebGIS 技术、Web Services 技术与 Ajax 技术实现了牧群的位置实时显示、历史轨迹查询和电子围栏报警等功能^[14];成志龙通过 Google Earth 与 Access 数据库的二次开发研发了 1 种基于 GPS/GPRS 羊群定位追踪系统,实现了牧群位置信息实时显示与历史轨迹查询功能^[15]。

以上研究工作主要是通过购买国外的定位项圈终端实现牧群定位,并结合 WebGIS 技术研发牧群定位平台来实现牧群实时位置显示、历史轨迹查询和电子围栏报警等功能。这些研究存在以下局限性:(1)现有牧群位置服务平台主要实现了上述 3 种位置服务功能,鲜有实现牧场的放牧强度监测功能和牧群的采食情况监测功能,因而无法满足草地畜牧管理部门对牧场监测的更高要求;(2)主要使用国外的 GPS 项圈,其设备成本与后期的服务费用高昂,难以大规模应用。为此,本研究在现有的研究基础上,研发了 1 种基于 WebGIS 与北斗/GPS 的放牧监测系统。本研究选择深圳谷米电子有限公司的 GT03C 定位跟踪器作为畜群位置数据的采集终端,以现有的 EXLIVE 超越位置服务平台作为轨迹数据采集平台。以放牧轨迹为研究对象,针对数据分析环节,结合 ArcGIS Server 服务发布和 ArcGIS Javascript API 等技术构建放牧监测平台,并以草地学为理论基础,结合网格分析、缓冲区分析、叠加分析等空间分析方法实现牧场的放牧强度监测和牧群的采食情况监测等功能。

1 系统组织结构

1.1 基于物联网的牧群轨迹数据采集

本系统是在现有的 EXLIVE 超越位置服务平台基础上构建的。EXLIVE 平台是由西安超越软件有限公司研发的位置服务平台,其特点为多地图多协议、服务免费、开放平台接口。截至目前已接入北斗/GPS 位置采集终端总数约为 275.84 万台。将定位终端部署到牧群上,通过位置终端对牧群位置信息进行实时采集并远程传输至服务平台,实现对牧群位置信息的动态监测,为基于 WebGIS 与北斗/GPS 的放牧监测平台的研发提供了轨迹数据采集的基础。

基于物联网的牧群轨迹数据采集架构采用物联网的 3 层体系结构进行设计,3 层体系结构依次为感知层、传输层、应用层(图 1)。

感知层解决牧群轨迹数据获取问题。将北斗/GPS 追踪项圈部署到牧群中,对牧群的经纬度位置、时间、速度等信息进行定时采集,并按照数据传输标准进行封装后传送到传输层。其中,定位终端的选择是实现牧群轨迹数据采集的重要前提条件之一,由于深圳谷米电子有限公司的 GT03C 定位跟踪器具有价格经济、功能实用和系统稳定等特点,并且该产品

的续航能力、整机质量、工作模式与定位精度等指标满足野外牲畜定位要求,所以选择该设备作为牲畜位置数据的采集终端。

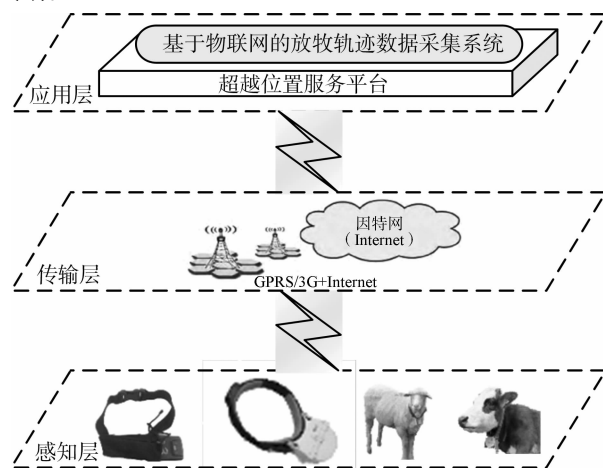


图1 基于物联网的放牧轨迹数据采集的层次结构

其终端指标详细说明如下:该终端定位误差小于 10 m;在定位时间间隔分别为 20 s、3 min 工作模式下,可正常工作时间分别为 72、120 h;机身尺寸为 91.5 mm × 57.0 mm × 37.5 mm(长 × 宽 × 高),整机质量为 202 g。Hulbert 等研究表明,GPS 设备的质量与羊的质量之比小于 2.2% 时,不会对羊的生理行为与采食行为造成影响^[16]。Akasbi 等研究表明,记录时间间隔越短,所记录轨迹越近似现实放牧轨迹^[3]。本试验权衡记录轨迹和现实轨迹的拟合度与 GPS 设备续航能力 2 个因素,确定记录时间间隔为 3min。在部署终端时,将设置好的 GPS 定位跟踪器装入防雨袋内并固定在羊的脖颈上进行自动跟踪,定位项圈如图 2 所示。



图2 定位项圈示例

传输层解决数据远程异地传输问题。该层通过短信、GPRS/3G 移动通信网和 Internet 实现轨迹数据远程传输。

应用层解决信息处理和人机交互问题。该层由服务器等基础架构平台和 Web 应用程序等软件平台构成,主要功能是接受各个定位项圈获取的牧群轨迹数据,并将数据信息解析后存入数据库。本研究在应用层进行 WebGIS 空间分析技术的集成,以草地学为理论基础,结合时空分析技术,建立牧场放牧强度监测方法、牧群采食量分布监测模型,实现对放牧信息的动态监测。

1.2 基于 WebGIS 的牧群轨迹数据分析

基于 WebGIS 的牧群轨迹数据分析的结构设计由系统数据库服务器、WebGIS 应用服务器、Web 服务器以及运行其上

的 Web 应用程序组成(图 3)。系统数据库包括地理数据库、牧场数据库、气象数据库等。其中,地理数据库记录牧群轨迹点数据、轨迹线数据、牧场边界面数据、Lansat-8 影像栅格数据、归一化差分植被指数(NDVI)栅格数据、研究区高程栅格数据、放牧强度专题图面数据、采食量分布栅格数据等。牧场数据库主要记录地面实测牧草生物量样方数据等。WebGIS 应用

服务器则是系统实现牧群轨迹数据地图显示、牧场放牧强度分布专题图制作、牧群采食量分布专题图制作等各种空间数据检索与分析功能的核心组成,以 Web Service 空间数据接口性提供应用服务^[9,17-18]。当用户使用放牧监测平台时,服务器针对用户服务请求调用相应功能模块与数据进行处理操作,并将处理结果在监测系统界面上以专题图或表的形式显示。

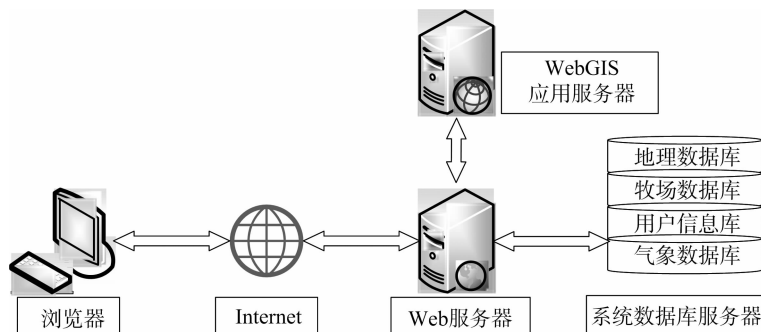


图3 基于 WebGIS 的牧群轨迹数据分析的结构

2 系统功能设计

2.1 系统总体功能模块

基于 WebGIS 的放牧监测系统在功能上主要分为放牧行为监测、牧场放牧强度监测和牧群采食量分布监测 3 个部分。WebGIS 技术在系统各个功能模块的实现上都起到了非常重要的作用。放牧行为监测功能即实现牧群位置的实时显示、历史回放、围栏报警,牧场放牧强度与牧群采食量分布的监测,是本系统的核心功能部分。其中,放牧强度分布是通过网格分析方法对牧群轨迹点数据处理创建而成的^[3-5];牧群采食量分布的监测是基于放牧轨迹所记录的时间和空间属性数据,根据放牧过程的空间分布特征,采用缓冲区与网格分析方法生成放牧分布,同时利用模拟采食量计算方法计算各个局部放牧区域的采食量信息,进而得到牧群的采食量分布^[11]。

2.2 放牧强度分析

放牧强度是单位草地面积在一定时间内放牧家畜的数量(头),以单位可食牧草面积上放牧家畜数量(头)表示^[19]。Kenward 研究表明,在对不同样本个体数据的空间分布进行分析时,网格分析方法是非常有效的手段^[20]。因此,采用网格法对定位项圈以 3 min 为记录时间间隔获得的轨迹点数据进行分析,进而生成牧场的放牧强度分布图^[5]。具体方法如下:首先,对研究区牧场进行网格划分,其单元格大小需综合考虑放牧强度分布结果的细节信息与宏观模式 2 个因素,本研究设定单元格大小为 50 m × 50 m;其次,对每个单元格内牧群位置点进行计数,进而生成牧群位置点的频数分布;最后,计算给定时间范围的放牧强度(grazing intensity,简称 GI),计算方法如下:

$$D_{GI} = \frac{C \times N}{S} \quad (1)$$

式中: D_{GI} 为放牧强度,单位为 1 km² 羊单位(sheep units,简称 SU)个数, SU/km²,其中,1 只绵羊为 1 个羊单位,1 匹马为 6 个羊单位,1 头牛为 5 个羊单位,1 只山羊为 0.6 个羊单位^[21];C 为单元格内位置点的总数,个;N 为每个 GPS 终端代表羊单位的个数,例如 100 只绵羊羊群里面放 10 台定位项

圈,则 N 为 10;S 为单元格面积,km²。

由于 ArcGIS Desktop 具有强大的空间分析能力,借助模型构建器(model builder)可以以流程化的方式构建放牧强度分析模型,建模过程如图 4 所示。首先采用“创建渔网工具”对研究区进行网格划分,再利用“空间连接工具”对给定时间范围轨迹点数据与网格进行处理,得到给定时间范围内放牧轨迹点频数的空间分布图,最后使用“添加字段工具”与“计算字段工具”用公式(1)计算每个单元格的放牧强度,进而生成牧场的放牧强度分布。

2.3 牧群采食量分布生成

牧群采食量分布的建模过程主要分为 2 个部分:(1)如何根据放牧轨迹生成放牧分布;(2)如何计算各个局部放牧分布的采食量。

放牧分布的生成:如图 5 所示,用 1 个网格代表研究区,放牧轨迹由轨迹段 L_i 组成。根据现实放牧场景中放牧空间分布呈带状区域特点,采用缓冲区方法对牧群的轨迹数据进行分析,进而生成缓冲区,并通过将其与网格进行叠置处理,最后得到相应轨迹段的局部放牧分布,其中 R 是与牧群移动方向垂直的方向上的距离。

局部放牧分布采食量的计算:假定牧群日平均进食速度无明显差异条件下,以模拟采食量计算方法为依据,从每个轨迹段 L_i 的时间属性中提取有效采食时间,并将其累加得到日采食时间,则轨迹段 L_i 对应的局部放牧分布内的采食量计算公式:

$$I_i = t_i \cdot \frac{I_{D_0}}{t_{D_0}} \quad (0 < i < n) \quad (2)$$

式中: I_i 为轨迹段 L_i 内的采食量,g; t_i 为轨迹段 L_i 内的采食时间,s; t_{D_0} 为日采食时间,s; I_{D_0} 为畜群日采食总量,g。

牧群采食量分布模型主要利用 ArcGIS 的地理处理工具实现。考虑到实现后的模型图幅较大并且本文篇幅有限,本研究只对模型主要实现过程进行说明:缓冲区分析方法是“缓冲区工具”实现的,缓冲区半径的计算则是通过“生成近邻表工具”对牧群轨迹数据进行分析实现的;对放牧缓冲区进行网格化处理则是通过“面转栅格工具”实现的。在局部放牧分布内采食量的计算过程中,首先通过“线追踪间隔”

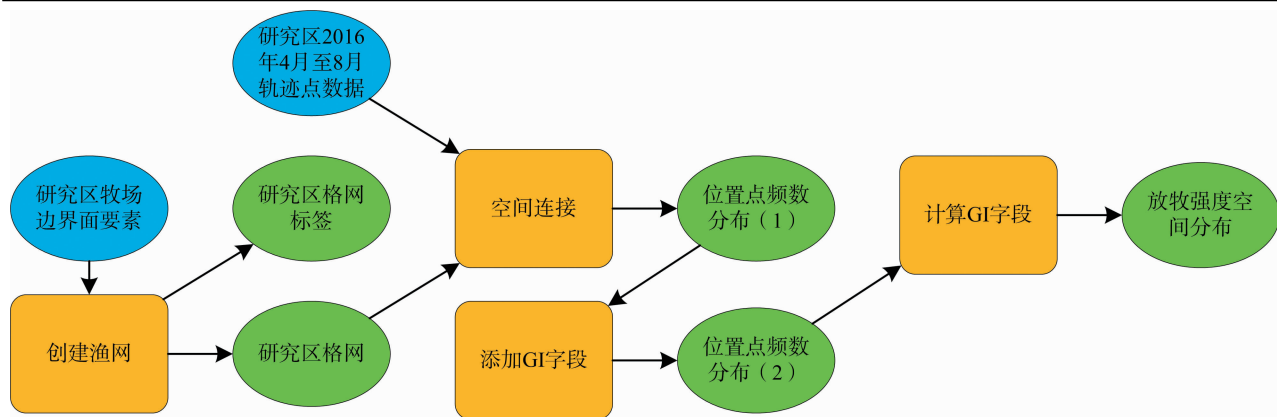
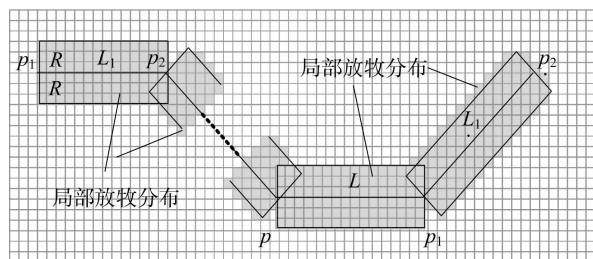


图4 牧场的放牧强度分析建模



格网代表研究区牧场; $p_1, p_2, \dots, p_i, p_{i+1}, p_{i+2}$ —放牧轨迹点; L_1, \dots, L_i, L_{i+1} —轨迹段; R —缓冲距离

图5 放牧分布生成方法示意

工具计算各个轨迹段的持续时间,进而利用“汇总统计数据工具”计算日采食时间,最后使用“添加字段工具”和“计算字段工具”实现公式(2)的计算内容。

3 系统实现与应用案例

系统采用 Web AppBuilder for ArcGIS 框架进行开发,以 ArcGIS Server 10.3 作为 GIS 服务器,以 Tomcat7 为 Web 服务器,数据库采用 Microsoft SQL Server 2008 + 空间数据引擎 ArcSDE for Microsoft SQL Server,使用 JavaScript 语言借助

Ajax 技术采用 ArcGIS REST API 进行 WebGIS 应用的设计与构建。

本研究以新疆生产建设兵团农八师一五一团天山北麓牧场为案例,进行本系统的实例应用与测试。对研究区 2015 年 9 月 10 日牧群轨迹数据进行轨迹地图显示,系统运行结果如图 6 所示;以研究区 2015 年全年放牧轨迹数据作为牧群采食量分布模型的输入,输出 2015 年研究区牧群采食量空间分布专题(图 7);对 2016 年 4—8 月放牧轨迹数据进行放牧强度分析,结果如图 8 所示。



图6 牧群轨迹数据地图显示实例

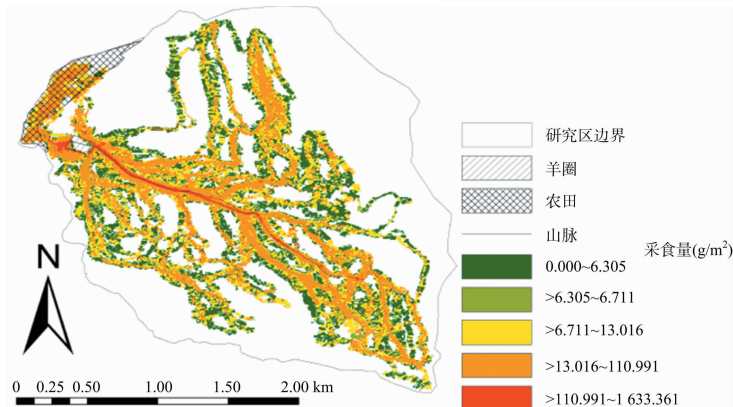


图7 2015年研究区牧群采食量分布专题

4 结论与讨论

本研究以牧群轨迹为研究对象,综合利用空间分析、北斗/GPS 定位、物联网、无线通信等技术,进行基于 WebGIS 与北斗/GPS 的放牧监测系统研究。以草地学为理论基础,根据放牧过程的时空特征,结合时空分析技术,实现了基于放牧

时空轨迹数据的牧群采食量分布模型与放牧强度分析方法;以 EXLIVE 超越位置服务平台为基础,设计开发了物联网牧群轨迹数据采集与 WebGIS 时空数据分析的放牧监测系统。系统实现了牧群轨迹地图显示、牧群的采食量分布监测、牧场的放牧强度分布监测功能。最后,以天山北麓牧场的放牧监测为案例对系统进行实例应用测试。该系统能有效地实现对

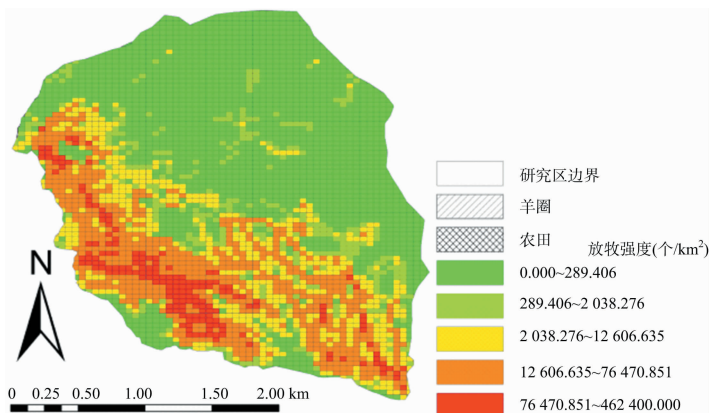


图8 2016年4—8月研究区牧场放牧强度专题

牧民的放牧行为、牧场的放牧强度和牧群的采食情况的监测,为相关部门草地畜牧管理提供更为便捷的应用服务。

本研究的贡献主要体现在以下 2 个方面:(1)综合利用物联网数据获取、北斗/GPS 位置服务、地理信息系统空间分析等技术,实现了基于放牧轨迹数据的牧群采食量分布模型与放牧强度分析方法;(2)基于以上方法,设计开发了基于 WebGIS 的放牧监测系统,实现了放牧信息的动态监测功能。

下一阶段工作将重点深入研究基于放牧时空轨迹、遥感影像、牧场生境因子与非生境因子等多源数据融合,结合物联网、云计算与深度学习技术实现牧场的智能监测、超载预警与放牧规划。

致谢:新疆农垦科学院杨永林老师、紫泥泉种羊场工作人员提供轨迹数据采集的支持与帮助,谨此致谢!

参考文献:

- [1] 新疆维吾尔自治区统计局. 新疆畜牧业发展现状及存在的问题“课题组分析报告”[R]. 乌鲁木齐:新疆维吾尔自治区统计局,2011.
- [2] 李勤奋,韩国栋,敖特根,等. 划区轮牧制度在草地资源可持续利用中的作用研究[J]. 农业工程学报,2003,19(3):224-227.
- [3] Akasbi Z, Oldeland J, Dengler J, et al. Analysis of GPS trajectories to assess goat grazing pattern and intensity in Southern Morocco[J]. Rangeland Journal,2012,34(4):415-427.
- [4] 郭冬生,王文龙,龚群辉,等. 我国畜牧业发展现状及发展趋势[J]. 江苏农业科学,2014,42(2):18-21.
- [5] Kawamura K, Akiyama T, Yokota H, et al. Quantifying grazing intensities using geographic information systems and satellite remote sensing in the Xilingol steppe region, Inner Mongolia, China[J]. Agriculture Ecosystems & Environment,2005,107(1):83-93.
- [6] Rutter S M, Beresford N A, Roberts G. Use of GPS to identify the grazing areas of hill sheep[J]. Computers and Electronics in Agriculture,1997,17(2):177-188.
- [7] 王萨仁娜,韩国栋,张圣微,等. 基于 3S 技术的绵羊牧食行为与草地环境相互作用研究[J]. 中国生态农业学报,2015,23(7):

860-867.

- [8] 雷宏洲,杨璐. 野外放养牲畜跟踪与定位技术的探索和设计[J]. 农业工程学报,2014,30(23):232-237.
- [9] 杜克明,褚金翔,孙忠富,等. WebGIS 在农业环境物联网监测系统中的应用[J]. 农业工程学报,2016,32(4):171-178.
- [10] 赵亮,刘皓,王伟强,等. 基于北斗/GPS 和 GPRS 的车载定位终端的研究与实现[J]. 石河子大学学报(自然科学版),2015(3):391-396.
- [11] 汪传建,王伟强,鲁为华,等. 基于放牧时空轨迹数据的牧群采食量分布模型[J]. 农业工程学报,2016,32(13):125-130.
- [12] Henkin Z, Ungar E D, Dolev A. Foraging behaviour of beef cattle in the hilly terrain of a Mediterranean grassland[J]. The Rangeland Journal,2012,34(2):163-172.
- [13] Pérez-Barbería F, Small M, Hooper R, et al. State-space modelling of the drivers of movement behaviour in sympatric species[J]. PLoS One,2015,10(11):e0142707.
- [14] 陈俊. 卫星放牧系统的设计与实现[D]. 上海:华东师范大学,2012.
- [15] 成志龙. 基于 GPS/GPRS 羊群自动踪迹识别系统的设计与实现[D]. 包头:内蒙古科技大学,2015.
- [16] Hulbert I R, Wyllie J B, Waterhouse A, et al. A note on the circadian rhythm and feeding behaviour of sheep fitted with a lightweight GPS collar[J]. Applied Animal Behaviour Science,1998,60(4):359-364.
- [17] 马保国,李华刚,王连锋. 基于 WebService 的 WebGis 设计与实现[J]. 计算机与数字工程,2007,35(4):136-138.
- [18] 王凌云,李琦,喻文承. Web Service 与地理信息互操作[J]. 测绘科学,2004,29(1):38-41.
- [19] 中国农业大学. 草地学[M]. 北京:中国农业出版社,1999:184-187.
- [20] Kenward R. Wildlife radio tagging: equipment, field techniques and data analysis[J]. Biological Techniques,1987,3(2):56-57.
- [21] 章祖同,刘起. 中国重点牧区草地资源及其开发利用[M]. 北京:中国科学技术出版社,1992:115-116.