doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.01.004

基于北斗卫星导航的秸秆机械化还田作业管理系统

隋铭明[1]　沈　飞[2]　徐爱国[2]　丁双文[2]

(1.南京林业大学土木工程学院，南京 210037；2.江苏北斗卫星应用产业研究院，南京 210032)

摘要：为满足秸秆机械化还田作业精准化管理的需要，解决还田工作中作业面积统计困难、现场核查工作量大、全局管理难以实现等若干现实问题，设计了基于北斗卫星导航的秸秆机械化还田作业精准管理系统。系统集成北斗卫星导航定位、物联网、地理信息系统等信息技术，通过北斗卫星导航农业机械车载信息终端，实时采集、处理秸秆还田作业中的定位和状态数据，获取还田现场的高清影像。通过建立作业管理信息系统，实现作业监控、地块识别、面积量测、质量评估、指标统计和指挥调度等功能。试验结果表明，系统可以有效实现轨迹监控、灵活调度、分类统计分析，提高了秸秆还田机械化作业效率。同时，地块识别率和地块面积统计达到了作业精度要求，可以满足秸秆机械化还田作业的需要。

关键词：精准农业；秸秆还田；北斗卫星导航系统；信息系统

中图分类号：S127　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1000-1298(2016)01-0023-06

Management System for Mechanized Straw Returning Based on BDS

Sui Mingming[1]　Shen Fei[2]　Xu Aiguo[2]　Ding Shuangwen[2]

(1. *College of Civil Engineering*, *Nanjing Forestry University*, *Nanjing* 210037, *China*
2. *Jiangsu BDS Application Industry Institute*, *Nanjing* 210032, *China*)

Abstract: In order to meet the demand of precise management on mechanization of straw returning to field operations, the difficulties were solved as follows: firstly, the area statistics of each landblock is hard. Secondly, the on-site verification needs a lot of people as well as lots of time. Finally, the manage department can not get the present situation on time. Therefore, it is in great demand to establish the precision management system for mechanized straw returning. The system integrated the Beidou satellite navigation and positioning system (BDS), the internet of things, geographic information systems and other new generation information technologies. The work carried out two parts. One part, the vehicle positioning terminal based on Beidou was established for agricultural machinery, which can real-time acquisite, and process the location and status data of agricultural machinery. The other part, the precision management system for mechanized straw returning was developed and implemented by using several functions including operation monitoring, landblock identification, area measurement, quality evaluation, index statistics and dispatching function, etc. The test results show that it can effectively control agricultural machinery operation trajectory, flexible scheduling, real time implementation of classified statistics and analysis, improve the efficiency of management of the returning operation. At the same time, the results reached the working precision in landblock identification and landblock area statistic, which can satisfy the demand of mechanization from straw to field operations.

Key words: precision agriculture; straw returning; Beidou satellite navigation and positioning system; information system

引言

秸秆焚烧已经成为近几年社会关注的焦点问题，秸秆的综合利用受到政府和社会的高度重视[1]。秸秆还田是解决秸秆焚烧所造成一系列问题行之有效的措施，对农田土壤水分、营养等综合有

收稿日期：2015-04-24　修回日期：2015-07-23

基金项目：江苏高校优势学科建设工程项目(PAPD)和2014年度江苏省工业和信息产业转型升级专项引导资金项目

作者简介：隋铭明(1979—)，女，讲师，博士，主要从事3S技术集成研究，E-mail：mingmingsui@njfu.edu.cn

益[2-4]。为推进秸秆机械化还田工作，各地各级政府采取了机械化还田补助政策，鼓励对农田实施环保处理[5]。但秸秆机械化还田工作的问题也日益凸显：①政府相关部门无法实时、全局地管理秸秆还田总体情况，仅能通过阶段性的统计上报数据了解，缺乏现势性和整体性。②无法准确统计秸秆还田面积，人工报送面积误差较大且需耗费大量人力物力，缺乏财政补贴的准确依据。③无法准确监控秸秆还田的品质，目前仅靠第三方核查抽检，缺乏行之有效的判定手段。

多年来，GPS 在农业机械（简称农机）作业的实时定位、动态监控、调度管理等精准农业领域得到了广泛应用，并取得了较好的应用效果[6-9]。但 GPS 作为美国的卫星导航系统，严重制约了其在我国相关行业大规模的推广应用。随着我国北斗卫星导航系统（简称北斗）正式组网运行，北斗应用正快速向各行业渗透[10]，北斗卫星导航系统取代 GPS 装备农业机械是未来中国农业实现自主化、现代化的必然趋势[11]。

本文拟研究基于北斗的高精度导航定位技术，联合物联网、地理信息系统等信息技术，建立秸秆机械化还田作业精准管理信息系统，实现秸秆还田作业中机械定位和状态数据的实时采集和自动化处理，获取现场的高清影像，实现对秸秆机械化还田作业的实时监控、面积量测和质量评估，大大提高当前秸秆机械化还田工作的信息化水平。

1 秸秆机械化还田作业精准管理信息系统设计

1.1 业务流程设计

江苏省既是农业大省，也是农机大省，多年来，江苏省相关管理部门一直组织开展秸秆机械化还田的试验工作[12]。江苏省秸秆还田的业务流程主要由任务分配、作业调度、农机监控、质量审核、报表输出、补贴发放和任务总结等环节组成，如图 1 所示。

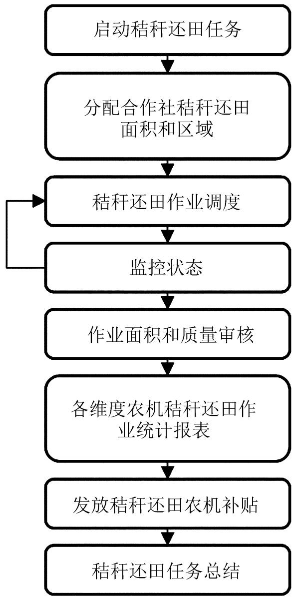

图 1 秸秆机械化还田作业管理业务流程图

Fig. 1 Flow chart of agricultural straw returning operation management business

1.2 总体架构设计

系统采用标准的层级结构体系，体系架构分层模型从下至上依次为感知层、传输层、服务层和应用层。系统体系架构如图 2 所示。

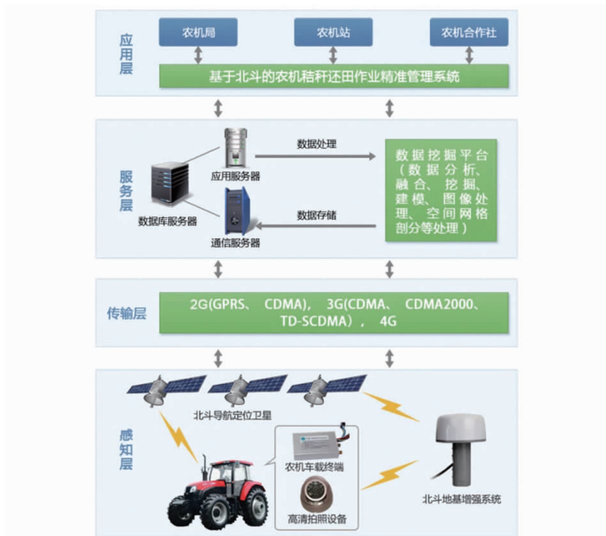

图 2 系统体系架构图

Fig. 2 System architecture diagram

感知层通过各种类型的传感器、北斗卫星导航系统农机车载信息终端（简称信息终端）、高分辨率影像设备分别获取农机秸秆还田作业过程中的机械状态、位置信息、现场高清影像等数据信息。

传输层将来自感知层的各类信息通过网络传输到服务层，融合多种移动网络通信技术，实现网络传输。

服务层根据底层采集的数据，建立与管理业务需求相适应的数据库。根据业务需求，采用建模、体系结构设计、SOA[13]等方法，开展业务体系结构、应用体系结构、数据体系结构、技术整合、业务操作视图等设计。

应用层负责将农机秸秆机械化还田作业过程中采集的各种数据、用户信息、网络资源等资源进行统一管理和应用，面向农机局、农机站、农机合作社、农机手等不同对象提供应用服务。

1.3 北斗卫星导航系统农机车载终端设计

车载终端设备由北斗高精度定位模块、影像设备等构成，如图 3 所示。

1.3.1 高精度定位模块

信息终端采用 BDS/GPS 双模模块，定位模式采

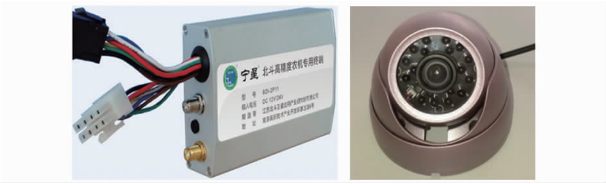

图 3　车载信息终端设备

Fig. 3　Vehicle information terminal equipment

用地基增强差分形式，数据流形式为 RTCM 格式[14]。GNSS 模块将 GGA 发送给 CPU，CPU 转给 GPRS 模块，再通过网络连接地基增强系统服务器，通过 NTRIP 协议[15]获取差分数据，获得差分数据之后传输给 GNSS 模块解算，解算之后的数据通过 GPRS 模块再传输至指定的服务器地址。定位模块指标设计如表 1 所示。

表 1　车载定位终端设计指标

Tab. 1　Vehicle positioning terminal technical index

技术指标	说明
信号频率	采用 BDS/GPS 双模单频 GNSS 模块
定位精度	平面优于 1 m
数据格式	NMEA－0183/CMR/RTCM3. 0
通信协议	NTRIP
工作模式	BDS B1 工作模式，GPS L1 工作模式，BDS B1/GPS L1 双模工作模式
数据输出	支持两种输出模式：单点定位/差分定位输出，原始数据输出

1. 3. 2　高分辨率“三防”摄像设备

农机专用摄像设备应具备防水、防尘、防震等特性，以满足农机在农田环境中作业的特殊需求，确保摄像设备的稳定性和可靠性。应用摄像控制算法，综合考虑农机作业时间、所处位置、农机行驶速度、农机状态等因素预判最佳拍摄时机，自动发出摄像指令，拍摄作业现场最佳视野图像。摄像设备设计指标如表 2 所示。

表 2　摄像设备技术性能设计指标

Tab. 2　Photo equipment design technical index

技术指标	说明
图片格式	彩色 JPEG、VGA（640 像素 ×480 像素）、QVGA（320 像素 ×240 像素）
图像传感器芯片	高灵敏 CMOS 彩色图像传感器，弱光效果近似 CCD 传感器芯片，支持彩色 1/4″ 30 万像素
视角	60°（3. 6 mm 镜头）、90°（2. 4 mm 镜头）、120°（1. 8 mm 镜头）
其他特性	视频插头输出模拟视频信号，串行插头同时输出 JPEG 图片数据
工作模式	正常、节能、休眠 3 种工作状态，夜晚拍照自动红外补光

2　系统功能设计

针对精准化作业管理的需求，系统功能主要有作业概览、作业监控、地块统计、作业分析、作业审核、作业调度、基础信息和用户管理等功能模块，功能设计如图 4 所示。

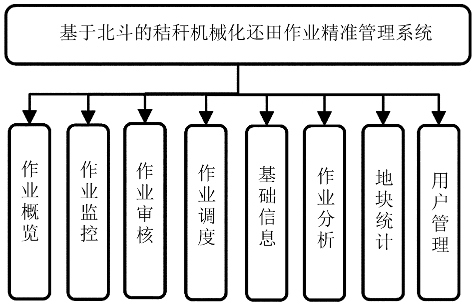

图 4　系统功能结构

Fig. 4　Structural diagram of system function

（1）作业概览：显示秸秆还田农机投入情况、作业统计信息、农机作业地块分布等。

（2）作业监控：实现对秸秆还田农机状态信息、位置分布、作业信息的全过程实时精确监控管理。图 5 所示为作业监控中农机位置分布图，可通过系统查看周边农机信息及农机分布状况。

图 5　农机位置分布信息

Fig. 5　Agricultural location distribution information

（3）作业审核：提供作业面积审核和质量审核功能，可对农机秸秆还田作业进行全面评判。此项工作可由摄像头拍摄的图像进行农田秸秆是否还田的审核，图 6 所示为车载终端采集的图像，可以看出已还田区域与周围地块存在明显差异。

图 6　作业质量审核

Fig. 6　Examination of operation quality

（4）作业调度：可为农机合作社分配秸秆还田作业区域和作业面积，并实时跟踪合作社作业完成情况和作业审核情况。

（5）基础信息：提供农机和农机手的基础信息维护和查询功能。

（6）作业分析：以农机、合作社、作业区域作为分析对象，分析农机秸秆还田作业进度、完成情况、审核情况、作业效率对比情况。通过作业分析，农机局和农机站管理员可全面准确掌握农机秸秆还田情况，并提供 Excel 报表导出、图形导出功能，为政府决策管理提供科学依据。图 7 所示为农机进度分析，使用柱形图和饼形图方式统计农机每日完成面积、作业时间、作业地点、已完成面积、审核通过、审核未通过和未审核面积占比。

图 7　农机合作社农机进度对比分析

Fig. 7　Comparative analysis of agricultural cooperatives

（7）地块统计：以地块方式统计农机秸秆还田面积，提供按农机、农机合作社、作业区域等多种统计方式。可从不同维度统计农机秸秆还田面积和地块分布情况，方便农机局管理员和农机站管理员监控秸秆还田整体进展情况。图 8 所示为地块统计界面。

图 8　地块统计界面

Fig. 8　Block statistics

（8）用户管理：提供系统用户、角色、农机合作社分组信息的维护和查询功能。

3　关键技术及试验分析

由农机上装配的北斗终端设备采集到的定位数据构成了车辆行驶轨迹，如何从海量定位数据中自动识别地块并准确计算地块面积是系统的关键。本文采用空间网格剖分和区域聚类算法，实现地块自动提取和面积计算。算法流程如图 9 所示。

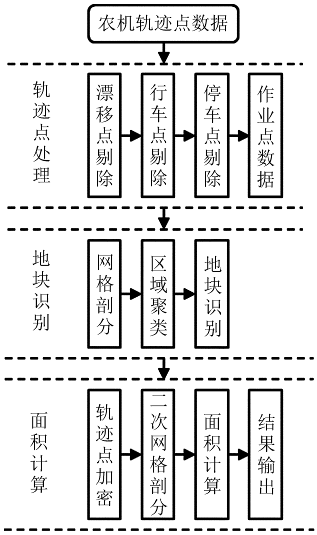

图 9　地块识别与面积计算流程图

Fig. 9　Block identification and area calculation flow chart

3.1　行驶轨迹点处理

农机行驶轨迹数据主要由车辆在道路上的行车点、地块内作业点及停车点 3 类组成，如图 10 所示。除此之外，由于空间环境和卫星几何分布等不确定性因素的影响，偶尔会出现定位漂移点，或称之为野值点。

图 10　农机定位轨迹

Fig. 10　Agricultural machinery trajectory

上述各类轨迹点中，地块内作业点是地块识别和面积统计的有效数据，其他类型点需要加以剔除。

（1）漂移点剔除：由于农机行驶时轨迹点坐标通常呈线性变化，且不会超过一定的速度，本文采用相邻 3 个坐标值之差来剔除序列中的野值点。具体剔除实现方法如下：

设轨迹点中第 i 个点坐标值为 (x_i, y_i)，前一个点坐标值为 (x_{i-1}, y_{i-1})，后一个点坐标值为 (x_{i+1}, y_{i+1})。农机行驶速度最大值为 v，采样间隔为 t。若

$$\begin{cases} \sqrt{(y_{i+1}-y_i)^2+(x_{i+1}-x_i)^2}/t>v \\ \sqrt{(y_i-y_{i-1})^2+(x_i-x_{i-1})^2}/t>v \\ \sqrt{(y_{i+1}-y_{i-1})^2+(x_{i+1}-x_{i-1})^2}/(2t)<v \end{cases} \tag{1}$$

则可以判定第 i 个轨迹点为野值点，予以剔除。

（2）行车点剔除：农机作业时的时速通常低于 10 km/h，若超过此速度则视为行车点加以剔除。

（3）停车点剔除：考虑到卫星定位坐标和速度扰动，将小于给定速度阈值的数据点判定为停车点，一般给定速度阈值取 0.01 km/h。停车点对区域有效作业点密度统计排序有干扰，需要剔除，同时可以减少算法整体计算量。

3.2　地块自动识别

农机的行驶轨迹是离散的点，如何从大量离散轨迹点中分离出作业地块，是进行作业面积统计的前提。本文引入空间网格剖分算法，并在此基础上通过位置点映射和区域聚类，实现地块自动识别。算法主要思想如下：

（1）作业范围确定。计算出包含所有作业点数据的外接矩形，以确定网格剖分的范围和搜索范围。

（2）网格剖分。以农机车辆作业设备的幅宽的整数倍（一般取 3 倍）为间距，将该包围矩形划分成网格。

（3）作业点所属网格判断。根据空间坐标包含关系将作业点映射到剖分网格单元。相应的网格单元所包含位置点计数加 1，遍历数据点，直到所有数据点处理完毕。对包含位置点数目计数大于 1 的所有网格单元进行编号排序，无数据点网格编号为 0。

（4）区域聚类。选择一个已编号的网格单元为起点，对其邻接的网格单元进行判断，若数据编号大于零则合并为一类，并继续搜索其邻域单元，直到无数据点为止。将搜索得到的网格聚类后形成一个地块，直到所有编号网格完成聚类。

3.3　地块面积计算

识别出每个地块后，开始计算每个地块的面积，地块面积计算具体方法如下：

（1）轨迹点加密。将轨迹点进行线性内插加密，以加密后点间距离小于作业幅宽为宜。

（2）确定地块范围。根据地块内轨迹点坐标的最大值和最小值，确定地块外接矩形，以确定网格剖分的范围和搜索范围。

（3）二次网格剖分。再次引入空间网格剖分的算法，此时以农机车辆作业设备的幅宽作为间距。

（4）网格遍历。根据空间坐标包含关系将作业点映射到剖分网格单元。相应的网格单元所包含位置点计数加 1，遍历数据点，直到所有数据点处理完毕。

（5）面积计算。对包含位置点数目计数大于 1 的所有网格的面积进行加和，即可得到地块面积

$$A_{\text{region}} = L^2 N \tag{2}$$

式中　A_{region}——地块面积　　L——网格边长

N——计数大于 1 的网格数量

计算结果如图 11 所示。

图 11　作业地块自动识别与面积计算

Fig. 11　Automatic identification and area calculation of operation field

3.4　试验分析

为了验证系统的稳定性和可靠性，检验系统核心算法的稳健性、适用性和准确性，2014 年秋季在江苏省宿迁市秸秆机械化还田工作中，选择了 28 台农机北斗高精度车载终端进行试验，对 11 月 8 日至 11 月 9 日的作业数据进行统计分析。

（1）地块识别率分析

对现场安装的 28 台农机北斗高精度车载终端上报的位置信息实时跟踪和分析，结合高分辨率遥感影像，对比系统识别出的农机作业地块数量、分布情况和相同时间段相同农机的定位轨迹数据，得出地块识别率达到 98% 以上。

（2）地块面积计算精度分析

为了进一步验证系统在面积测算的准确性，对农机作业的地块使用高精度测亩仪工具测得地块面积，计算出每块地块系统自动测算面积和实地丈量面积之间的误差，统计结果如表 3 所示。

表 3　作业面积精度统计

Tab. 3　Accuracy statistics of area

指标	统计结果
最大误差率/%	8.20
最小误差率/%	0.59
实地量取面积/hm^2	8.608
系统计算面积/hm^2	8.463
总误差率/%	1.68

从表 3 的结果分析可得出：系统测算面积共计 8.608 hm^2，实地丈量面积共计 8.463 hm^2，总面积测算误差为 1.68%，其中，最大误差率 8.20%，该地块为所有地块中的最小地块，面积为 0.041 hm^2。整体精度基本能够满足秸秆机械化还田工作的实际要求。

4　结束语

通过为农机配置基于北斗的车载信息终端，实现了秸秆机械化还田作业中农机的定位信息和状态数据的实时采集。通过建立作业管理信息系统，实现了作业监控、地块识别、面积量测、质量评估、指标

统计和指挥调度等功能。在试点应用过程中,通过对比系统采集的农机秸秆机械化还田作业过程中的样本数据和实地测量的数据,验证了系统在实时采集农机位置信息和秸秆还田作业现场视频图像信息的有效性和稳定性,以及自动识别地块和测算地块面积的准确性,技术上能够满足农机秸秆还田作业管理对作业面积统计分析、作业质量审核和作业监管等方面的需求。

参考文献

1 王舒娟. 江苏省农户秸秆综合利用的实证研究[D]. 南京:南京农业大学,2012.
Wang Shujuan. Research on rural householders' comprehensive utilization in Jiangsu Province[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University,2012. (in Chinese)

2 余坤,冯浩,李正鹏,等. 秸秆还田对农田土壤水分及冬小麦耗水特征的影响[J]. 农业机械学报,2014,45(10):116-124.
Yu Kun, Feng Hao, Li Zhengpeng, et al. Effects of different pretreated straw on soil water content and water consumption characteristics of winter wheat[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014,45(10):116-124. (in Chinese)

3 Kasteel R, Garnier P, Vachier P, et al. Dye tracer infiltration in the plough layer after straw incorporation[J]. Geoderma, 2007, 137(3-4): 360-369.

4 Sonnleitner R, Lorbeer E, Schinne F. Effects of straw, vegetable oil and whey on physical and microbiological properties of a chernozem[J]. Applied Soil Ecology, 2003, 22(3): 195-204.

5 平英华,彭卓敏,夏春华. 江苏秸秆机械化还田经济效益分析与财政补贴政策研究[J]. 中国农机化学报,2013,34(6):50-54.
Ping Yinghua, Peng Zhuomin, Xia Chunhua. Economic benefit and financial assistance policy of mechanized straw returning in Jiangsu Province[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2013,34(6):50-54. (in Chinese)

6 郭娜,胡静涛,王鹤. 基于GPS导航的插秧机作业控制系统[J]. 农业机械学报,2013,44(1):200-204.
Guo Na,Hu Jingtao,Wang He. Intelligent operation control system for rice transplanter based on GPS navigation[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013,44(1): 200-204. (in Chinese)

7 伟利国,张权,颜华,等. XDNZ630型水稻插秧机GPS自动导航系统[J]. 农业机械学报,2011,42(7):186-190.
Wei Liguo,Zhang Quan,Yan Hua, et al. GPS Automatic navigation system design for XDNZ630 rice transplanter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011,42(7): 186-190. (in Chinese)

8 王素珍,吴崇友,袁文胜,等. 基于CORS系统的农业机械定位问题研究[J]. 中国农机化,2011(5):50-52,58.
Wang Suzhen, Wu Chongyou, Yuan Wensheng, et al. Agricultural machinery localization question research based on CORS system [J]. Chinese Agricultural Mechanization, 2011(5): 50-52, 58. (in Chinese)

9 李小龙,李治国,陈华. 北京市农机作业调度管理与精准作业系统[J]. 农业工程,2013,3(11):44-50.
Li Xiaolong,Li Zhiguo,Chen Hua. Agricultural machinery scheduling management and precise operation system in Beijing [J]. Agricultural Engineering, 2013,3(11): 44-50. (in Chinese)

10 杨元喜. 北斗卫星导航系统的进展、贡献与挑战[J]. 测绘学报,2010,39(1):1-6.
Yang Yuanxi. Progress, cont ribut ion and chal lenges of compass/BeiDou satellite navigation system[J]. Acta Geodaetica et Cartogra phica Sinica, 2010,39(1): 1-6. (in Chinese)

11 张圣光. 北斗卫星导航系统在农业机械化中的应用与发展前景[J]. 现代农业科技,2014(4):184-185.
Zhang Shengguang. Application and development prospects of BeiDou navigation satellite system in agricultural mechanization [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2014(4): 184-185. (in Chinese)

12 张燕. 江苏省秸秆还田机械发展战略研究[J]. 农机化研究,2012(12):240-243.
Zhang Yan. The research on development strategy of Jiangsu Province crop residue recycling machine [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2012(12):240-243. (in Chinese)

13 李德仁,黄俊华,邵振峰. 面向服务的数字城市共享平台框架的设计与实现[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2008,33(9):881-885.
Li Deren, Huang Junhua, Shao Zhenfeng. Design and implementation of service-oriented spatial information sharing framework for digital city [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2008,33(9): 881-885. (in Chinese)

14 李思超,叶甜春,徐建华. DGPS RTCM数据格式简介及其解码算法实现[J]. 电子测量技术,2008,31(12):11-14.
Li Sichao, Ye Tianchun, Xu Jianhua. Introduction and decoding arithmetic & realization of RTCM data format of DGPS [J]. Electronic Measurement Technology, 2008,31(12): 11-14. (in Chinese)

15 梁静娴,张漫,李民赞,等. 基于NTRIP协议的虚拟差分GPS接收设备设计[J]. 农业机械学报,2009,40(增刊):165-168.
Liang Jingxian, Zhang Man, Li Minzan, et al. Development of a GPS receiver based on NTRIP/VRS[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,40(Supp.): 165-168. (in Chinese)