

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.S0.003

# 约翰迪尔 AutoTrac 自动导航系统通用性应用研究<sup>\*</sup>

靳俊栋<sup>1,2</sup> 赵祚喜<sup>1,2</sup> 黄培奎<sup>1,2</sup> 李叶林<sup>1,2</sup> 可欣荣<sup>1,2</sup>

(1. 华南农业大学南方农业机械与装备关键技术教育部重点实验室, 广州 510642;  
2. 华南农业大学工程学院, 广州 510642)

**摘要:** 针对约翰迪尔 AutoTrac 自动导航系统不适用于普通车辆的问题,提出一种基于 XUV825i 型全地形车的机械改装方法,主要解决 AutoTrac 自动导航系统中 ATU (AutoTrac universal) 方向盘无法在全地形车上安装的问题。该机械改装方法为:在全地形车转向轴与 ATU 方向盘之间加装一个特制的万向节,利用万向节的特性避免两者之间因同心度精度过低导致导航精度下降的问题,使得全地形车在 AutoTrac 自动导航系统的控制下能够进行自动导航。XUV825i 型全地形车结构与普通车辆一致,所以该机械改装方案也适用于一般车辆。最后基于改装后的全地形车,进行自定义路径导航试验。试验过程中全地形车自动导航的路径轨迹与初始路径基本重合,而且在路况良好以及系统经过调试的情况下,其自动导航横向偏差平均值小于 2 cm,说明该机械改装方法并未降低该套系统的导航精度,该机械改装方法正确,安装在全地形车上的 AutoTrac 自动导航系统能够正常工作。同时说明该机械改装方法适用于普通车辆,AutoTrac 自动导航系统能够在普通车辆上正常使用。

**关键词:** AutoTrac 自动导航 通用性 万向节

**中图分类号:** S232.7      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-1298(2015)S0-0015-06

## Applied Research on John Deere AutoTrac Automatic Navigation's Versatility

Jin Jundong<sup>1,2</sup> Zhao Zuoxi<sup>1,2</sup> Huang Peikui<sup>1,2</sup> Li Yelin<sup>1,2</sup> Ke Xinrong<sup>1,2</sup>  
(1. Key Laboratory of Key Technology on Agricultural Machine and Equipment, Ministry of Education, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China  
2. College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

**Abstract:** John Deere AutoTrac automatic navigation system is an advanced and cost-effective navigation system. But this kind of systems is designed for John Deere's tractor, it is not suitable for general vehicles. This paper proposes a mechanical modifications method based on XUV825i utility vehicle to solve the problem that ATU (AutoTrac universal) steering wheel can not be installed at utility vehicle. The mechanical modification method that installing a special joints between utility vehicle steering axis and ATU steering wheel can improve the concentricity, making utility vehicle under the control of AutoTrac automatic navigation system with high navigation precision. XUV825i utility vehicle's structure is as same as general vehicles so that the mechanical modification method can also be adapted to the general vehicle. Finally, an navigation tests were carried out based on the modified utility vehicle. During the experiment, the path under manual driving was as same as the path under AutoTrac automatic navigation's control driving. The average lateral deviation of the machine's navigation path was less than 2 cm when the navigation system had been tested well and was working under the good road condition. This indicaties that the mechanical modification method is feasible and it does not affect the navigation

收稿日期: 2015-10-28 修回日期: 2015-11-15

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金资助项目(61175081)、广东省教育厅示范课程资助项目(2013SFKC04)和广东省联合培养研究生示范基地人才培养资助项目(2013JDXM13)

作者简介: 靳俊栋, 硕士生, 主要从事地面车辆及其导航系统研究, E-mail: 18825180125@163.com

通讯作者: 赵祚喜, 教授, 博士生导师, 主要从事农机导航控制和嵌入式研究, E-mail: zhao\_zuoxi@scau.edu.cn

accuracy of the AutoTrac automatic navigation system. At the same time, it shows that the mechanical modification method is applicable to general vehicles, that means, AutoTrac automatic navigation system can be used on general vehicles.

**Key words:** AutoTrac Automatic navigation Versatility Joint

## 引言

农业机械自动导航在农田平整、插播、农药喷洒、施肥、除草、收割等作业过程中,能够改善田间作业精度,降低人力成本,提高作业效率<sup>[1-2]</sup>。日本和北美、欧洲一些国家对农业自动导航技术研究起步较早,已经取得很多研究成果,甚至有些技术已经转化为商品,如美国 Trimble 公司的 AutoPilot 自动导航产品,约翰迪尔(John Deere) AutoTrac 自动导航系统<sup>[3-4]</sup>。就约翰迪尔 AutoTrac 自动导航系统而言,虽然该系统几乎可以在任何土地情况下准确地操控机器转向,导航精度高,不仅能在农业生产过程中提高工作效率,而且能够降低驾驶员的疲劳程度<sup>[5-7]</sup>,但是该套系统只适用于约翰迪尔公司生产的特定型号的拖拉机,不能直接用于普通车辆,具有较大的局限性。在转向控制方面已有很多研究,吴晓鹏等<sup>[8]</sup>以东方红 X804 型拖拉机为平台改造拖拉机转向控制油路,通过电控比例液压阀控制油路压力的方式控制车辆转向;张智刚等<sup>[9]</sup>以日本久保田 SPU-60 型插秧机为研究对象,通过摩擦轮自动转向机构控制方向盘转动,在不改变原有转向装置的情况下实现自动转向功能<sup>[10]</sup>。约翰迪尔 XUV825i 型全地形车转向方式是方向盘转向,其结构与普通车辆一致。因此,本文基于 XUV825i 型全地形车,提出一种机械改装方案,主要解决 AutoTrac 自动导航系统无法在全地形车上安装的问题。

## 1 试验材料与方法

本文主要研究约翰迪尔 AutoTrac 自动导航系统在普通车辆上的安装与应用。XUV825i 型全地形车结构与普通车辆一致,因此以该全地形车为基础,提出一种机械改装方案,解决 AutoTrac 自动导航系统无法在普通车辆直接安装的问题。本文的试验材料主要是约翰迪尔 AutoTrac 自动导航系统以及约翰迪尔 XUV825i 型全地形车。

### 1.1 AutoTrac 自动导航系统

约翰迪尔 AutoTrac 自动导航系统能够准确地操控机器转向,在农业生产过程中发挥重要作用,起到走直线的效果,并且能够充分优化机器效率,减轻操作员疲劳,延长了驾驶员的作业时间,提高了作业量。

约翰迪尔 AutoTrac 自动导航系统包括 1 个 StarFire3000 型卫星信号接收器、GreenStar 显示器以及 ATU(AutoTrac universal)转向盘。

ATU 转向盘是一个便于安装的导航系统,工作与集成系统相似,但是它并不是直接控制使机器转向的液压系统,而是转动方向盘,采取如同一个人可能采用的机制来引导机器。该方向盘包含有一个内置转向电动机。该电动机通过线束获取转向信号,从而转动汽车的转向轴控制车辆转弯。ATU 方向盘如图 1 所示。



图 1 AutoTrac universal 方向盘

Fig.1 AutoTrac universal steering wheel

### 1.2 约翰迪尔 XUV825i 型全地形车

约翰迪尔 XUV825i 型全地形车是一款跨界多功能车,拥有 36.8 kW 的功率、70 km/h 的最高时速,针对崎岖道路能精确调校的悬挂系统以及四轮驱动。该车型适用于多种地形,为试验方案的设计提供方便,该车配备有自动变速器,操作方便。约翰迪尔 XUV825i 型全地形车如图 2 所示。



图 2 约翰迪尔 XUV825i 型全地形车

Fig.2 John Deere XUV825i utility vehicle

## 2 试验结果与分析

### 2.1 AutoTrac 在全地形车辆上的安装

#### 2.1.1 安装 ATU 方向盘

要将约翰迪尔 AutoTrac 自动导航系统装载在全地形车辆上,则需要对车进行机械改装,主要是对车辆转向控制单元的改装,使导航系统中的 ATU 方向盘能够安装在车上并且能够控制车自动转向以及

不影响驾驶员手动驾驶。

以全地形车为例,约翰迪尔 AutoTrac 自动驾驶系统转向控制器 ATU 方向盘无法与 XUV825i 型全地形车直接安装有以下原因:①ATU 方向盘衬套直径比 XUV825i 全地形车转向轴直径大,如图 4 所示。②ATU 方向盘转向装置无法直接固定在 XUV825i 全地形车上。③ XUV825i 全地形车转向轴过短,无法与 ATU 方向盘直接连接。



图3 全地形车转向轴以及 AutoTrac universal 方向盘衬套

Fig.3 Utility vehicle steering axle and AutoTrac universal steering wheel bush  
1. 转向轴 2. 方向盘衬套

由于转向系统中任意零件的磨损都会影响自动驾驶的精度,所以在改装过程中要避免 ATU 转向盘与全地形车转向轴之间的过度磨损。ATU 方向盘通过内置电动机驱动全地形车转向轴从而带动转向轮转动进行转向,则 ATU 方向盘需要通过支架进行固定。当 ATU 方向盘固定在支架之后再与全地形车转向轴刚性连接,则会造成 ATU 方向盘与全地形车转向轴之间同心度精度低,最终导致 ATU 方向盘与全地形车转向轴在转动的过程中过度磨损。

为了解决 ATU 方向盘在安装过程中与全地形车转向轴同心度精度差的问题,使用十字轴式万向节将全地形车转向轴与方向盘进行连接,再使用支架将 AutoTrac 转向装置固定。十字轴式万向节不在同一轴线或轴线折角较大的两轴等角速度连续回转,具有较大角度补偿能力,并且能可靠地传递较大转矩和高速运动<sup>[11-15]</sup>。因此,在方向盘与全地形车转向轴之间安装十字轴式万向节,能在两者之间实现变角度动力传递,避免两者之间因同心度精度差而导致过度磨损。由于加装了万向节,使得方向盘高度相对于原先方向盘的位置有所增加,但是对全地形车的操纵性影响不大。在手动驾驶的情况下,驾驶员依然能够轻松地操纵全地形车。该安装方案结构简单,可靠性高,而且制作成本较低。

根据全地形车转向轴直径,选取合适的万向节。为了保证 AutoTrac 方向盘安装完成后,驾驶员能够舒适地手动驾驶全地形车,则方向盘不能偏高。因

此对选取的万向节进行加工,保留万向节头,将多余部分截去,减小万向节长度。设计加工万向与方向盘连接件。将 AutoTrac 方向盘衬套进行加工,钻孔,加工定位孔。万向节、连接件以及衬套组合安装在一起,如图 4 所示。

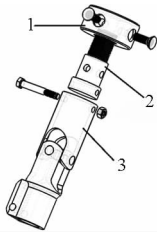


图4 万向节连接件组合安装示意图

Fig.4 Adapting piece of cardan joint

1. 衬套 2. 万向节与方向盘连接件 3. 万向节

将万向节部分与转向轴以及方向盘组合安装。如图 5 所示。

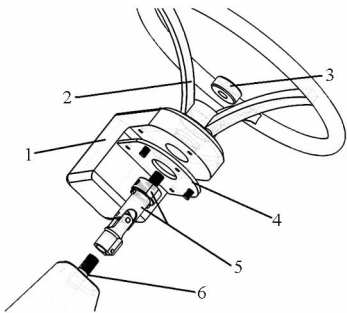


图5 方向盘安装示意图

Fig.5 Installing diagram of steering wheel

1. 转向装置 2. 方向盘 3. 衬套 4. 支架底座 5. 万向节连接件 6. 转向轴

最后将转向装置通过支架固定在全地形车上,如图 6 所示。

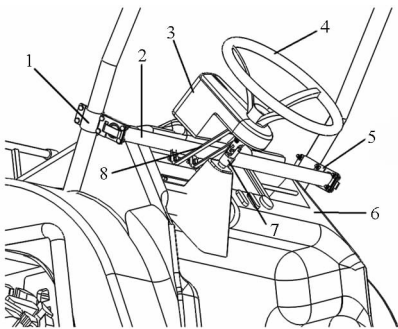


图6 转向装置与固定支架安装示意图

Fig.6 Diagram of steering device and fixing support

1. 横杆固定件 2. 固定支架 3. 转向装置 4. 方向盘 5. 横杆固定件 6. 车身 7. 万向节 8. 连杆

机械改装后的全地形车自动驾驶试验平台如图 7 所示。改装后的全地形车不会影响驾驶员的正常驾驶。

### 2.1.2 安装卫星接收器

StarFire3000 型卫星信号接收器需要安置在一



图 7 AutoTrac universal 方向盘改装结果

Fig. 7 Modification of AutoTrac universal

个无遮挡,信号接收强度高的位置,并且需要水平放置。因此选择将 GPS 接收器安置在全地形车车顶。制作一个水平平台安置在车顶,并且对水平平台进行打孔,将 StarFire3000 卫星信号接收器固定在水平台。卫星接收器在全地形车车顶水平平台的安装效果如图 8 所示。卫星接收器水平安置在车顶,水平度误差为  $\pm 1^{\circ}$ 。

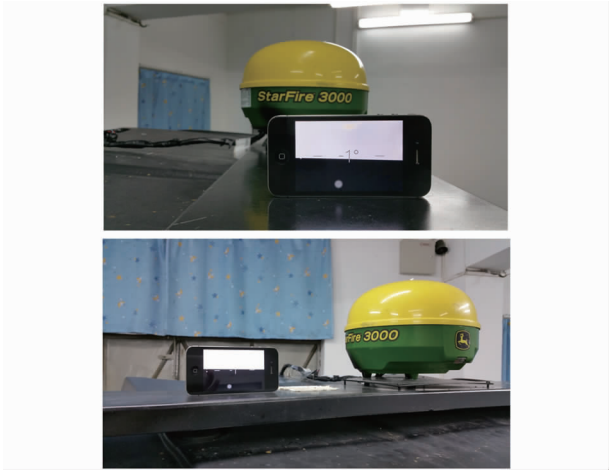


图 8 StarFire3000 型卫星信号接收器安装效果

Fig. 8 Installation result of StarFire3000  
satellite signal receiver

AutoTrac 自动导航系统在全地形车上的安装结果如图 9 所示。

2.2 结果分析

为了检验 AutoTrac 自动导航系统安装在全地形车之后的导航效果,在平坦的地面上进行了自定义路径导航试验。试验场地位于宽阔的足球场上,RTK 基准站放置在足球场旁边无遮挡的地方,试验现场如图 10 所示。

将 AutoTrac 自动导航系统的 GreenStar 显示系统设置为自适应曲线模式,在该模式下驾驶员可以



图 9 AutoTrac 自动导航全地形车

Fig. 9 AutoTrac automatic navigation utility vehicle  
1. GS2630 显示屏 2. GPS 接收器 3. ATU200



图 10 试验现场

Fig. 10 Experiment scene

记录手动驾驶的曲线路径。记录完毕后车可以根据该路径或者该路径的平行轨迹进行自动导航。导航系统模式设置完毕后,在平坦路面上手动驾驶全地形车,规划出一条路径并且使用行车记录仪记录下全地形车的路径轨迹。

将全地形车在该路径下进行自动导航。全地形车在自动导航模式下的行走轨迹与手动驾驶下的全地形车行走路径轨迹进行比较,如图 11 所示。

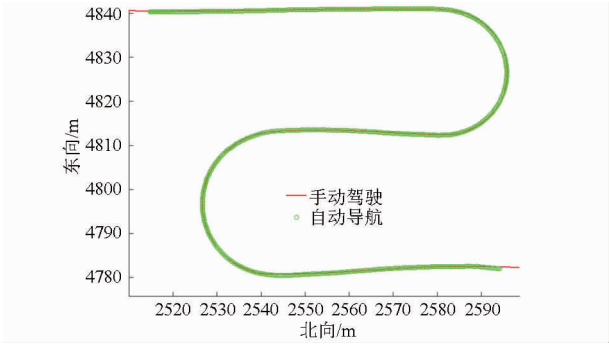


图 11 手动驾驶与自动导航路径轨迹比较

Fig. 11 Utility vehicle's path under AutoTrac  
automatic navigation's control

由以上试验情况可知,自动导航模式下的全地形车的路径轨迹与手动驾驶下的路径轨迹重合。AutoTrac 自动导航系统安装在全地形车之后,全地车能够按照用户自定义的导航路线行驶。

约翰迪尔 XUV825i 型全地形车车况良好,转向

系统转向间隙小。在水平路面的条件下,路面状况良好,无任何坑洼区域,并且 AutoTrac 自动导航系统各项灵敏度经过调试设置之后,自动导航模式下的全地形车在直线自动导航跟踪时,其自动导航路径的横向偏差如图 12 所示。其横向误差均方根误差为 1.19 cm,平均值为 0.93 cm,均低于 2 cm。说明安装 AutoTrac 自动导航系统的全地形车在最优条件下导航效果良好。

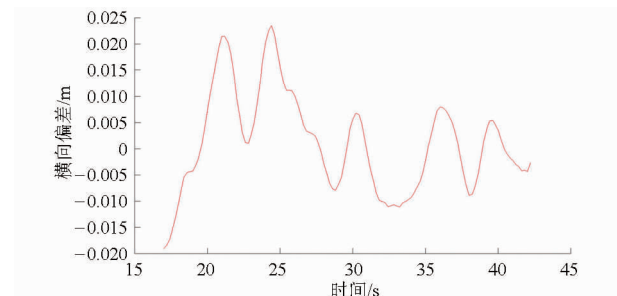


图 12 全地形车直线路径导航跟踪横向误差曲线  
Fig. 12 Curve of utility vehicle's lateral error under AutoTrac automatic navigation's control

装载有约翰迪尔 AutoTrac 自动导航系统的普通车辆均具有转向自动控制功能,能够实现车辆按

照预先规划的路径行走完成作业。经过以上改造之后的车辆虽然具有转向控制的功能,但是其发动机油门、挡位等仍然由驾驶员操作。因此,在接下来的工作中,将以改造后的车辆为基础,实现油门自动控制功能。

### 3 结论

(1)提出一种基于 XUV825i 型全地形车的机械改装方法,通过在转向轴与 ATU 方向盘之间加装万向节连接件的方式,解决了 ATU 方向盘无法与全地形车直接连接安装的问题。虽然该改装方法使得方向盘高度有所增加,但是不影响驾驶员的手动驾驶。全地形车经过机械改装后,AutoTrac 自动导航系统能够装载在全地形车上并且能够正常运行,在良好路面情况以及经过系统调试之后,其自动导航横向误差均方根误差为 1.19 cm,平均值为 0.93 cm,均低于 2 cm,自动导航效果良好。

(2)全地形车的构造与普通车辆相同,两者的转向方式都是方向盘转向。因此该机械改装方法同样也适用于普通车辆,约翰迪尔 AutoTrac 自动导航系统同样可以根据该机械改装方法安装到普通车辆上。

### 参 考 文 献

- 胡静涛,高雷,白晓平,等. 农业机械自动导航技术研究进展[J]. 农业工程学报,2015,31(10):1-10.  
Hu Jingtao, Gao Lei, Bai Xiaoping, et al. Review of research on automatic guidance of agricultural vehicles[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(10): 1-10. (in Chinese)
- 姬长英,周俊. 农业机械导航技术发展分析[J]. 农业机械学报,2014,45(9):44-54.  
Ji Changying, Zhou Jun. Current situation of navigation technologies for agricultural machinery[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(9): 44-54. (in Chinese)
- 贾全. 拖拉机自动导航系统关键技术研究[D]. 北京:中国农业机械化科学研究院,2013.  
Jia Quan. Study on key technology of tractor auto-navigation system[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, 2013. (in Chinese)
- 武宝传,马立萍. 浅谈 GPS 自动导航在农用拖拉机上的推广与应用[J]. 农业机械,2012(25):125-127.  
Wu Baochuan, Ma Liping. Popularization and application of GPS automatic navigation in agricultural tractor[J]. Farm Machinery, 2012(25): 125-127. (in Chinese)
- 赵弢. 约翰迪尔 AutoTrac 自动导航系统[J]. 农业机械,2015(12):33.  
Zhao Tao. John Deere AutoTrac automatic navigation system[J]. Farm Machinery, 2015(12): 33. (in Chinese)
- 约翰迪尔中国市场部. 约翰迪尔精准导航、液体施肥助力春播[J]. 农机科技推广,2015(5):62.  
John Deere China Market Department. Spring sowing in the help of John Deere precise navigation and liquid fertilizer[J]. Agriculture Machinery Technology Extension, 2015(5): 62. (in Chinese)
- 汪芙蓉. 约翰迪尔推动农业科技发展[J]. 农机质量与监督,2008(6):23-24.  
Wang Furong. John Deere promoted the development of agricultural science and technology[J]. Agricultural Machinery Quality & Supervision, 2008(6): 23-24. (in Chinese)
- 吴晓鹏,赵祚喜,张智刚,等. 东方红拖拉机自动转向控制系统设计[J]. 农业机械学报,2009,40(增刊):1-5.  
Wu Xiaopeng, Zhao Zuoxi, Zhang Zhigang, et al. Development of automatic steering control system base on Dongfanghong tractor[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(Supp.): 1-5. (in Chinese)
- 张智刚,罗锡文,李俊岭. 轮式农业机械自动转向控制系统研究[J]. 农业工程学报,2005,21(11):77-80.  
Zhang Zhigang, Luo Xiwen, Li Junling. Automatic steering control system of wheel model farming machinery[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005, 21(11): 77-80. (in Chinese)
- 刘金波,迟德霞,金宏亮. 国内的农用车辆自动转向系统研究进展[J]. 农业科技与装备,2011(4):67-68,72.  
Liu Jinbo, Chi Dexia, Jin Hongliang. Research progress on automatic steering system in domestic farm vehicles[J]. Agricultural

Science & Technology and Equipment, 2011(4): 67 – 68,72. (in Chinese)

11 艾维,方开翔. 十字轴万向节串联轴系传动特性研究[J]. 江苏科技大学学报:自然科学版,2007,21(2):71 – 74.  
Ai Wei, Fang Kaixiang. Study on transmission characteristic of shafting system with multiple cross universal joint[J]. Journal of Jiangsu University of Science and Technology:Natural Science Edition, 2007, 21(2): 71 – 74. (in Chinese)

12 陈晓红,董海军,葛文杰,等. 十字轴万向节串联轴系扭转动力学分析[J]. 机械传动,2011,35(8):63 – 67.  
Chen Xiaohong, Dong Haijun, Ge Wenjie, et al. Torsion vibration dynamics of shafting system with cardan joints[J]. Journal of Mechanical Transmission, 2011, 35(8): 63 – 67. (in Chinese)

13 郎锡泽,舒进,刘嵘. 汽车十字轴万向节转向机构的运动学设计及优化[J]. 汽车技术,2012(1):40 – 44.  
Lang Xize, Shu Jin, Liu Rong. Design and optimization for kinematics of universal joint steering system[J]. Automobile Technology, 2012(1): 40 – 44. (in Chinese)

14 刘涛,杨长征. 基于 Nastran 的十字轴万向节有限元分析[J]. 郑州轻工业学院学报:自然科学版,2009,24(2):98 – 101.  
Liu Tao, Yang Changzheng. Finite element analysis of cross axle axis universal joint base on the Nastran[J]. Journal of Zhengzhou University of Light Industry:Natural Science, 2009, 24(2): 98 – 101. (in Chinese)

15 周家付,李阳,沈丽娟. 基于 ANSYS 的万向节十字轴力学机理研究[J]. 煤矿机械,2013,34(2):56 – 57.  
Zhou Jiafu, Li Yang, Shen Lijuan. Research on mechanism of cross shaft universal joint base on ANSYS[J]. Coal Mine Machinery, 2013, 34(2): 56 – 57. (in Chinese)