

# GPS在农业信息系统中的应用

2004.4.5



张小超  
中国农业机械化科学研究院  
北京德胜门外北沙滩1号

# 报告内容

- 一. 农业信息与GPS概述
- 二. 面向农业信息GPS研究的必要性
- 三. 农业信息中GPS的研究对象
- 四. 卫星定位导航系统的概况
- 五. GPS设计中的误差问题
- 六. 减少误差的解决方法
- 七. GPS信号处理设计方法
- 八. GPS技术的应用技术研究

# 1. 农业信息与GPS概述

农业信息的获取：农业信息的获取是农业信息技术的关键点。其特点是：

1. 包括时间、空间和农业对象的描述
2. 要求具备自动获取农业信息的手段
3. 高精度的测量技术是获得精确信息的前提条件



1.2GPS 的概况：全球卫星定位系统（Global Positioning System）的问世标志着电子导航技术发展到了一个更加辉煌的时代，GPS可为各类用户连续地提供高精度的三维位置、三维速度和时间信息，它从根本上解决了人类在地球上的导航和定位问题。



# 1. 农业信息与GPS概述

- 农业生产信息以GPS全球卫星定位系统作为线索；
- 作为连接农业机械到电子信息系统的桥梁；
- 将农田中产量分布、土壤养分分布、土壤水分分布与播种、施肥、灌溉、收获机械结合起来。



## 2. 面向农业信息GPS的研究

### 2.1 GPS需要解决数字农业的定位性能要求

- 播种机的自动导航：日本农林水产省农业研究中心开发出的无人播种机，利用全球定位系统（GPS）在指定位置播种稻苗。其植苗误差只有8厘米。
- 插秧机的自动导航：日本农林水产省农业研究中心利用高精度全球卫星定位（GPS）技术开发出了稻田无人插秧机，将定位精度控制在2厘米以内。
- 拖拉机的自动导航：日本北海道大学与农业机械厂联合研制的无人驾驶拖拉机首次实现了从农机具仓库到农场的无人驾驶，它通过GPS测量技术可瞬间定位，精确度达2厘米。



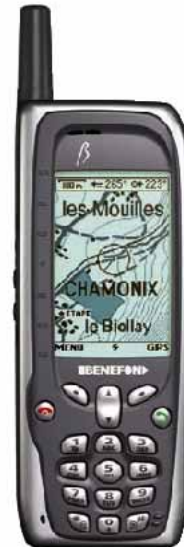
## 2. 面向农业信息GPS的研究 GPS WORLD

- 精准农业技术所需要的GPS具有与其它行业不相同的技术特点
  1. 通用的GPS精度较低不能满足精准农业的技术性能要求
  2. 进口高精度的GPS系统价格难以为我国农业经济水平所接受
  3. GPS需要具有与精准农业技术体系的配套性



# 3. 农业信息中GPS的研究对象

- 军工行业研究双系统
- 航空行业研究高动态
- 测绘行业研究静态高精度
- 交通行业研究组合导航
- 数字农业研究低速高精度定位导航

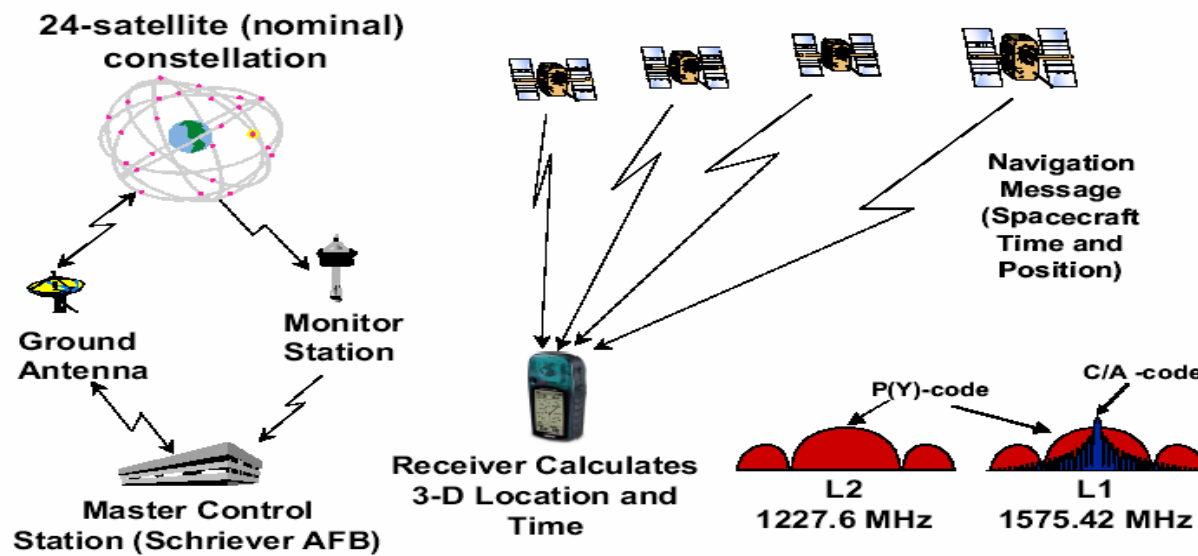




# 4. 卫星定位导航系统的概况

4. 1GPS系统概况：GPS系统主要有三大组成部分，即空间星座部分、地面监控部分和用户设备部分。

GPS的空间星座部分中24颗卫星基本均匀分布在6个轨道平面内



# 4. 卫星定位导航系统的概况

- 4.2典型的GPS介绍
- 美国天宝 (Trimble) 公司具有面向农业而开发的GPS系统。5800双频GPS接收机是Trimble公司在2003年最新推出的双频大地测量GPS系统。
- 美国阿什泰克 (Ashtech) 双频Z-Xtreme GPS接收机, Z-Xtreme 包容 Ashtech 有专利权的 Z跟踪技术 (Z-Tracking), 可减少在诸如树下、峡谷中或建筑物之间等不利卫星可见度的条件下, 增强了其收星跟踪能力。
- 加拿大的诺瓦泰 (Novatel) 拥有多项GPS领域的专利技术, 如高采样率技术、窄相关技术 (NCT)、微脉冲相关技术 (PAC)、风火轮技术 (Pinwheel) 多路径消除及延迟锁相环技术 (MET&MEDLL)。DL-4-L1/L2双频GPS接收机是最新产品。
- 瑞士的徕卡 (Leica) SR530接收机基于徕卡革新的ClearTrak专利技术, 能提供最佳的信号接收、卫星跟踪、抗干扰和抑制多路径效应。



# 5. GPS设计中的误差问题

- **5.1 星历误差**
- GPS卫星导航电文中的广播星历是一种外推的预报星历。由于卫星在实际运行中受多种摄动力的复杂影响，故预报星历必然有误差，一般估计由星历计算的卫星位置的误差为20~40m。随着摄动力模型和定轨技术的改进，工作卫星的位置精度可能提高到5~10m。但这种改进后的星历仅提供给美国军方和特许用户使用。

# 5. GPS设计中的误差问题

- 5.2 卫星钟差
- GPS测量定位实质上是一个测时—测距定位系统。从而，GPS测量定位精度与时钟误差密切相关。为此，GPS测量均以GPS时间系统为统一标准，该时间系统由GPS地面监控系统确定和保持。为了保证卫星时钟的高精度，各GPS卫星均装置高精度的原子钟，但它们与GPS标准时之间仍存在有偏差和漂移。其偏差总量在 $1 \sim 0.1 \text{ms}$ 以内，由此引起的等效距离误差将达 $300 \sim 30 \text{ km}$ 。因此，必须予以精确地修正。

# 5. GPS设计中的误差问题

- 5.3 电离层的干扰
- 电离层是高度位于50~1000 km之间的大气层。由于太阳的强辐射，电离层中的部分气体分子将被电离而形成大量的自由电子和正离子。当电磁波信号穿过电离层时，传播速度会发生变化，所以信号传播时间乘以真空中的传播速度 $c$ 就不等于信号的实际传播距离，从而引起测距误差。此误差称之为电离层延迟误差。

# 5. GPS设计中的误差问题

- 5.4对流层的干扰
- 对流层是高度为40 km以下的大气层。由于其离地面近，所以大气密度较电离层的密度大，且大气状态随地面的气候变化而变化。电磁波通过对流层时，传播速度将产生变化，从而引起传播延迟。天顶方向的对流层延迟约为2.3 m，而仰角 $E$ 为 $10^\circ$ 时，传播延迟将增大到约13 m。

# 5. GPS设计中的误差问题

- 5.5多路径效应误差
- 在实际的GPS测量中，接收机天线除接收直接来自卫星方向的信号外，还接收到其他物体反射回来的信号。因此，接收的信号是直射波和反射波产生干涉后的组合信号。由于直接波和各反射波路径不同，从而使信号变形，产生测量误差，称为多路径效应误差。



# 5. GPS设计中的误差问题

- **5.6接收机误差**
- 接收机的主要误差是，测距码的分辨误差和测量噪声。
- 分辨误差取决于码元的宽度，通常认为可达码元宽度的 $1 / 100$ 。因此，P码和C / A码的分辨误差分别为0.3 m和3.0 m。
- 测量的噪声涉及的因素较多，主要取决于接收机质量、信号品质(码特性、调制方式、信噪比等)和码元宽度等。一般估计P码的测量误差为1.5 m左右，C / A码为7.0 m左右。



# 6. 减少误差的解决方法

- 6.1 一般差分技术
- (1) 位置差分
- (2) 伪距差分
- (3) 相位平滑伪距差分：基站覆盖范围200KM。因为载波相位的测量精度比码相位的测量精度高2个数量级，因此利用此特性，可以获得几乎无噪声的伪距测量，使精度更高。
- (4) 载波相位差分技术又称为RTK技术（Real Time Kinematic）：是建立在实时处理两个测站的载波相位基础上的。一般用于测量型GPS应用，能达到厘米级精度。

# 6. 减少误差的解决方法

- 6.2 广域差分
- 微型网的构建：由一个基准站和若干个移动站组成，一般作用距离50km左右，配置灵活，投资较少，最适合单位用户的需求，实时精度从米级到厘米级。
- 局域差分GPS (Local Area Differential GPS 简称为LADGPS) 局域差分的技术特点是向用户提供综合的差分GPS改正信息-**观测值**改正，而不是提供单个误差源的改正。它的作用范围比较小，例如在150km之内。
- 广域差分 (Wide Area DGPS, 简称为WADGPS) 的技术特点是将GPS定位中主要的**误差源**分别加以计算，并分别向用户提供这些差分信息，它作用的范围比较大，往往在1000km以上。

## 6. 减少误差的解决方法

- 6.3 广域增强差分GPS (Wide area augmentation differential GPS system, 简称WAAS)。
- 它的主要工作方式是将主控站所算得的广域差分改正信息, 通过地球站传输至地球同步卫星, 该同步卫星以GPS的L1频率为载波, 将上述差分改正信息当作GPS导航电文转发给用户站。

# 6. 减少误差的解决方法

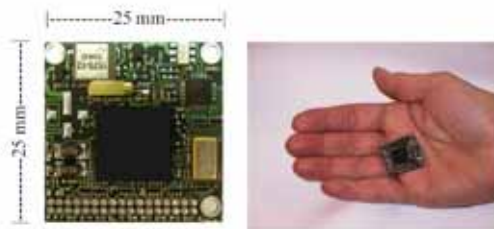
- 6.4连续运行参考站网系统（CORS）
- 由美国国家大地测量局（NGS）牵头，包括NGS的跟踪网等137个GPS基准站组成了所谓连续运行参考站网系统（Continuous Operation Reference Station's---CORS）。平均站距为100-200km（个别400km），覆盖全美（包括阿拉斯加）。
- 每一天通过因特网向全美和全球用户提供基准站坐标和GPS卫星跟踪观测站数据。
- 用户用一台GPS接收机在美国任一位置观测，然后通过因特网卸载CORS若干基准站数据，即可进行事后精密定位。
- 其服务方式原则上是公益性的。

## 6. 减少误差的解决方法

- 6.5调频副载波 (FM)
- CUE和ACCQPOINT公司是美国、加拿大地区的两个卫星无线网络通信公司，他们利用调频副载波 (FM) 广播广域差分修正信号。
- 公司在美国和加拿大有20余个GPS永久跟踪站，通过FM提供亚米级到十米级的广域差分有偿服务，最近，这个公司开发了利用FM副载波发送GPS载波相位观测修正数据进行实时动态精密定位 (RTK FMTM) 技术，有效作用距离可达70km，在20-40km的多条实验基线上，2-4min的初始化时间，十个历元左右，动态定位精度可达 $\pm 1\text{cm}$ 左右。

# 6. 减少误差的解决方法

- 6.7精密星历
- 在全球地基GPS连续运行站(约200个)的基础上所组成的IGS (International GPS Service), 是GPS连续运行站网和综合服务系统的范例。它无偿向全球用户提供GPS各种信息, 如GPS精密星历、快速星历、预报星历、IGS站坐标及其运动速率、IGS站所接收的GPS信号的相位和伪距数据、地球自转速率等。
- 提供精密轨道, 要在 $10^{-12}$ 天以后得到它, 常用于精密定位。IGS目前提供的卫星精密星历精度为35cm



# 7. GPS信号处理设计方法

- 卡尔曼滤波
- 运动载体动态模型
- 自适应扩展卡尔曼滤波器
- 改进的自适应扩展卡尔曼滤波器
- 信息融合与卡尔曼滤波
- 模糊多模型跟踪算法
- 卡尔曼滤波器与混沌控制
- 载波相位测量定位方法
- 确定整周模糊度方法研究
- 组合导航系统
- 神经网络GPS导航
- 小波变换与卡尔曼滤波
- GPS与GLONASS
- 码/载波相位扩散技术



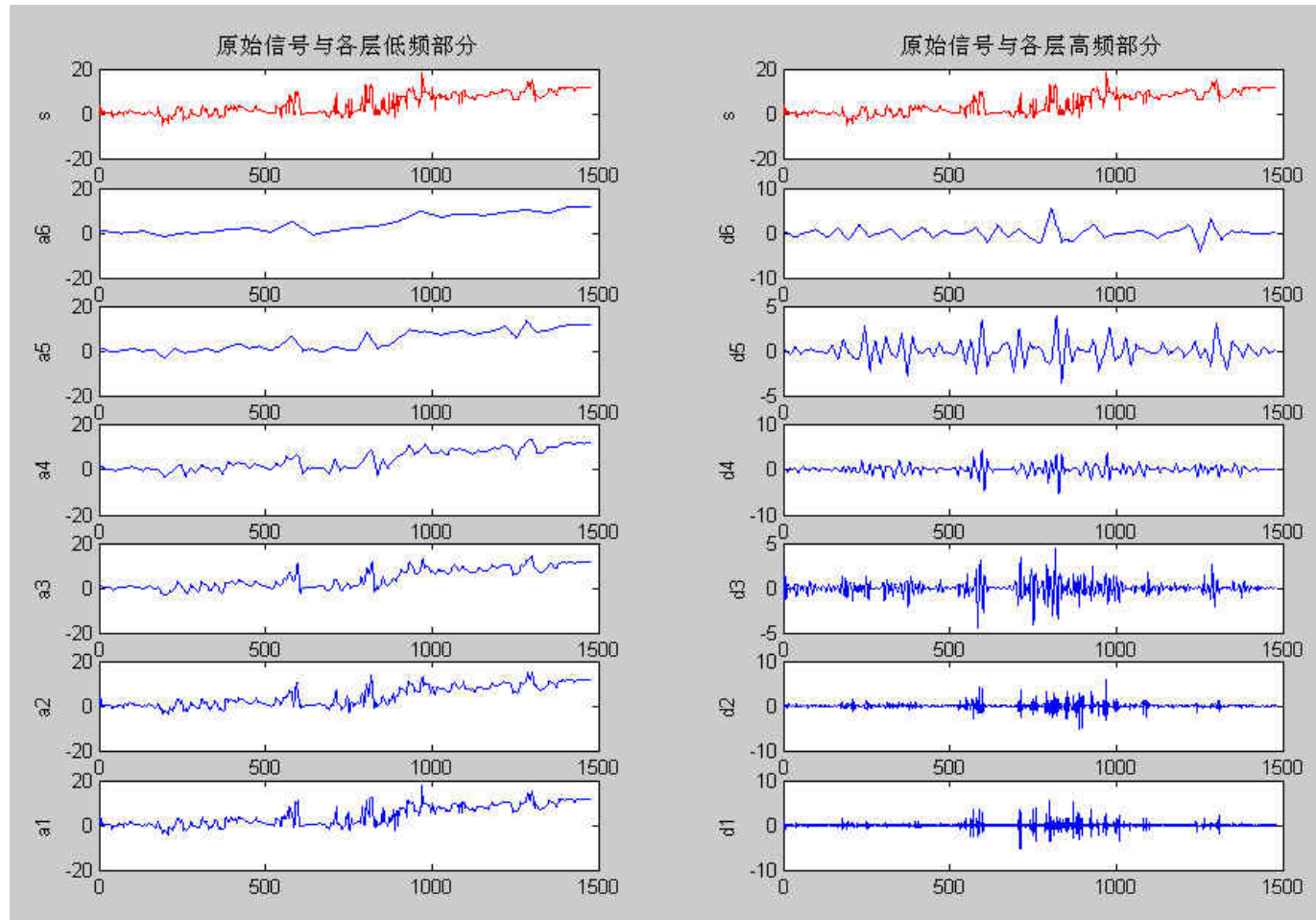
# 7. GPS信号处理设计方法

- 7.1 卡尔曼滤波器
- 卡尔曼滤波是一个最优估计方法。
- 由于其在求解时不需要贮存大量的观测数据，并且当得到新的观测数据时，可随时算得新的参数滤波值，常用于实时地信号处理。
- 卡尔曼滤波可以处理非平稳的随机信号。
- 扩展的卡尔曼滤波器可以用于非线性系统。
- 但传统卡尔曼滤波应用于实际时，常常由于不能满足其假定条件，或计算方法的限制，造成滤波发散，使得滤波结果最终失真。为此，人们提出了许多克服发散的方法。

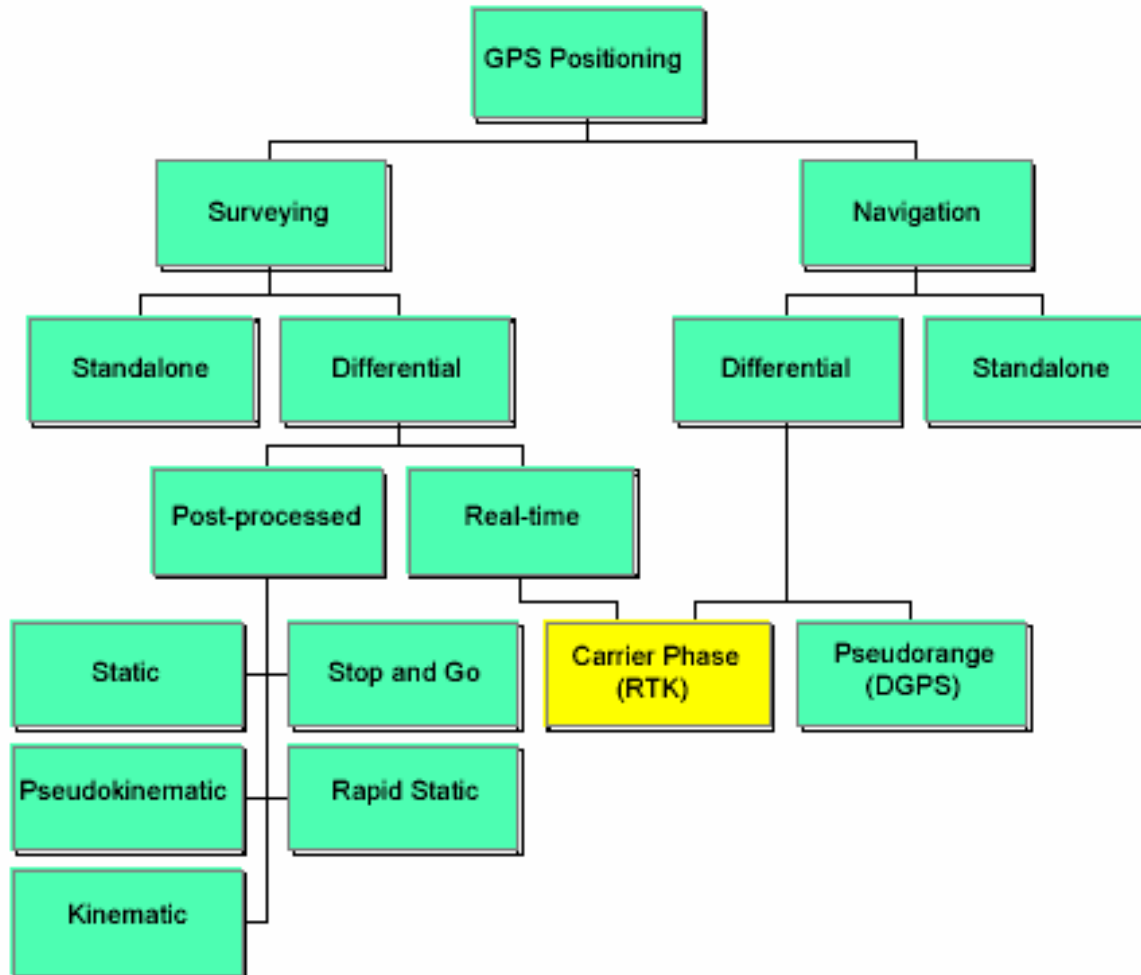


# 7. GPS信号处理设计方法

## 7.4 小波分析



# 8. GPS的应用技术研究



# 8. GPS的应用技术研究

- 8.1 田间农业机械定位导航



# 8. GPS的应用技术研究

- 8.2 飞机导航
- 利用飞机进行播种、施肥、除草等工作，作业费用昂贵。合理地布设航线和准确地引导飞机，将大大节省飞机作业的费用。
- 据国外介绍，利用差分GPS对飞机精密导航，估计会使投资降低50%。具体应用中，利用GPS差分定位技术可以使飞机在喷洒化肥和除草剂时减少横向重叠，节省化肥和除草剂用量，避免过多的用量影响农作物生长。对于在夜间喷施，更有其优越性。因为夜间蒸发和漂移损失小，另外夜间植物气孔是张开的，更容易吸收除草剂和肥料，提高除草和施肥效率。



# 8. GPS的应用技术研究

## • 8.3联合收割机测产

- 在联合收割机上配置计算机、产量监视器和GPS接收机，就构成了作物产量监视系统。对不同的农作物需配备不同的监视器。例如监视玉米产量的监视器，当收割玉米时，监视器记录下玉米所接穗数和产量，同时GPS接收机记录下收割该株玉米所处位置，通过计算机最终绘制出一幅关于每块土地产量的产量分布图。通过和土壤养分含量分布图的综合分析，可以找出影响作物产量的相关因素，从而进行具体的田间施肥等管理工作。



# 8. GPS的应用技术研究

- 8.4土壤养分分析
- 依据农田土壤养分含量分布图，设置有GPS接收机的"受控应用"的喷施器，在GPS的控制下，依据土壤养分含量分布图，能够精确地给田地的各点施肥，施用的化肥种类和数量由计算机根据养分含量分布图控制。



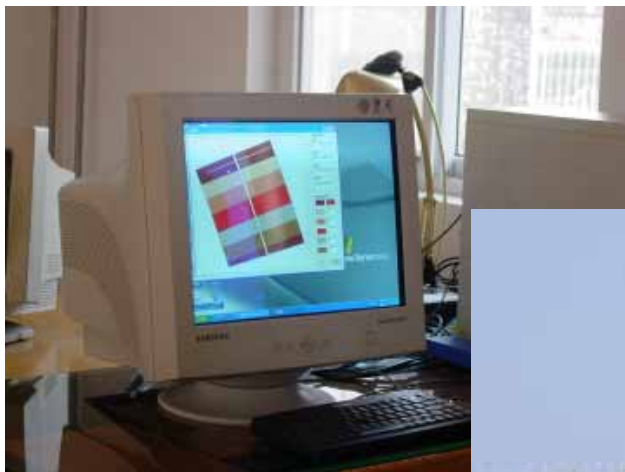
# 8. GPS的应用技术研究

## • 举例说明:

• 大型喷灌机具有精准农业典型的低速动态特点，速度一般为 $25\text{mm/s}$ - $200\text{mm/s}$ 左右，各跨沿前进方向偏移角度小于 $1^\circ$ ，允许偏航距离小于 $\pm 200\text{mm}$ ，若采用GPS伪距或伪距差分定位方法将造成较大误差，故采用载波相位差分方法进行测速与定位，并采用GPS跟踪算法确定偏航距离。



# 8.1 大型喷灌机遥控系统



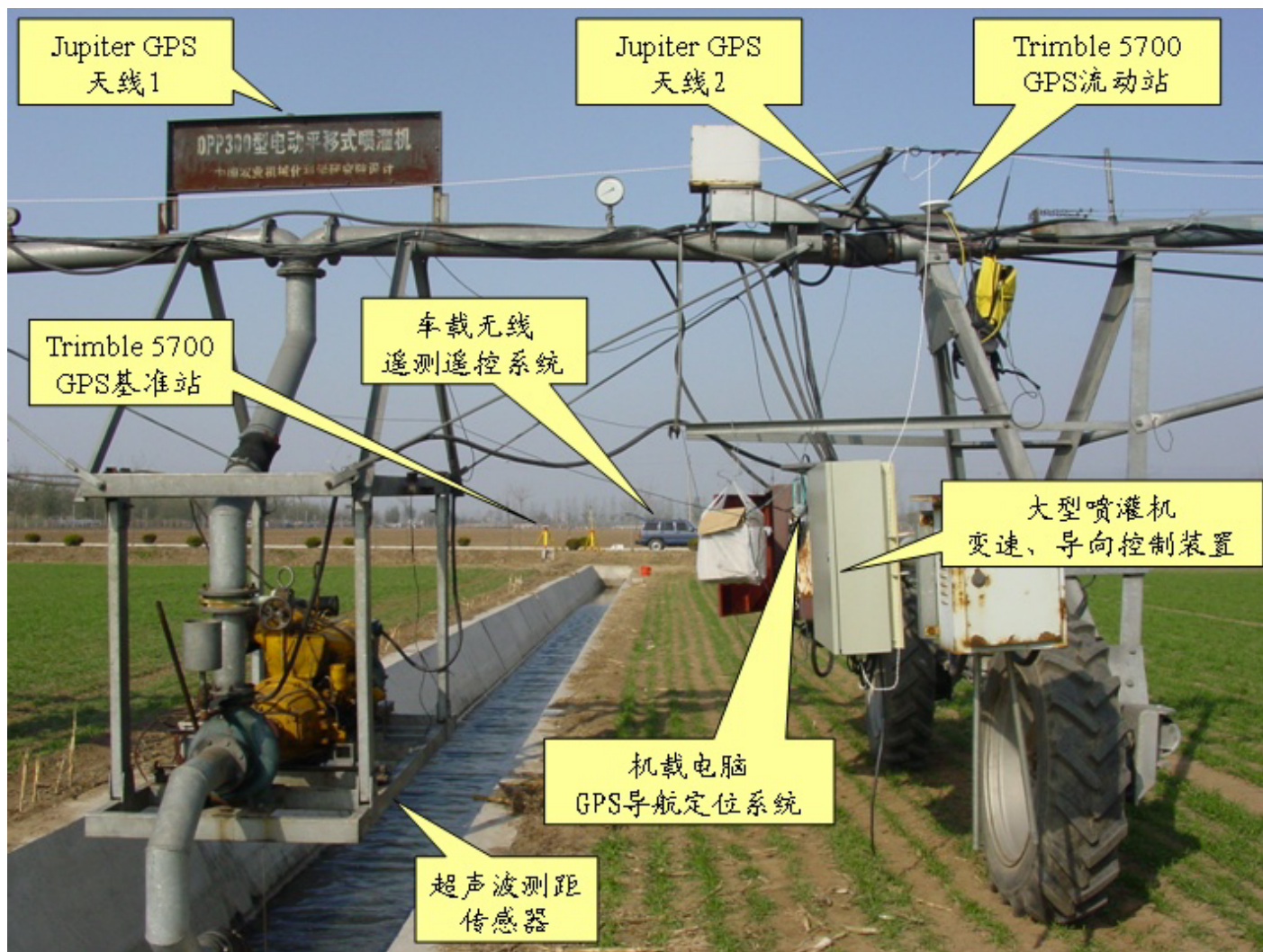
在室内遥控大型喷灌机

无人驾驶大型  
平移式喷灌机

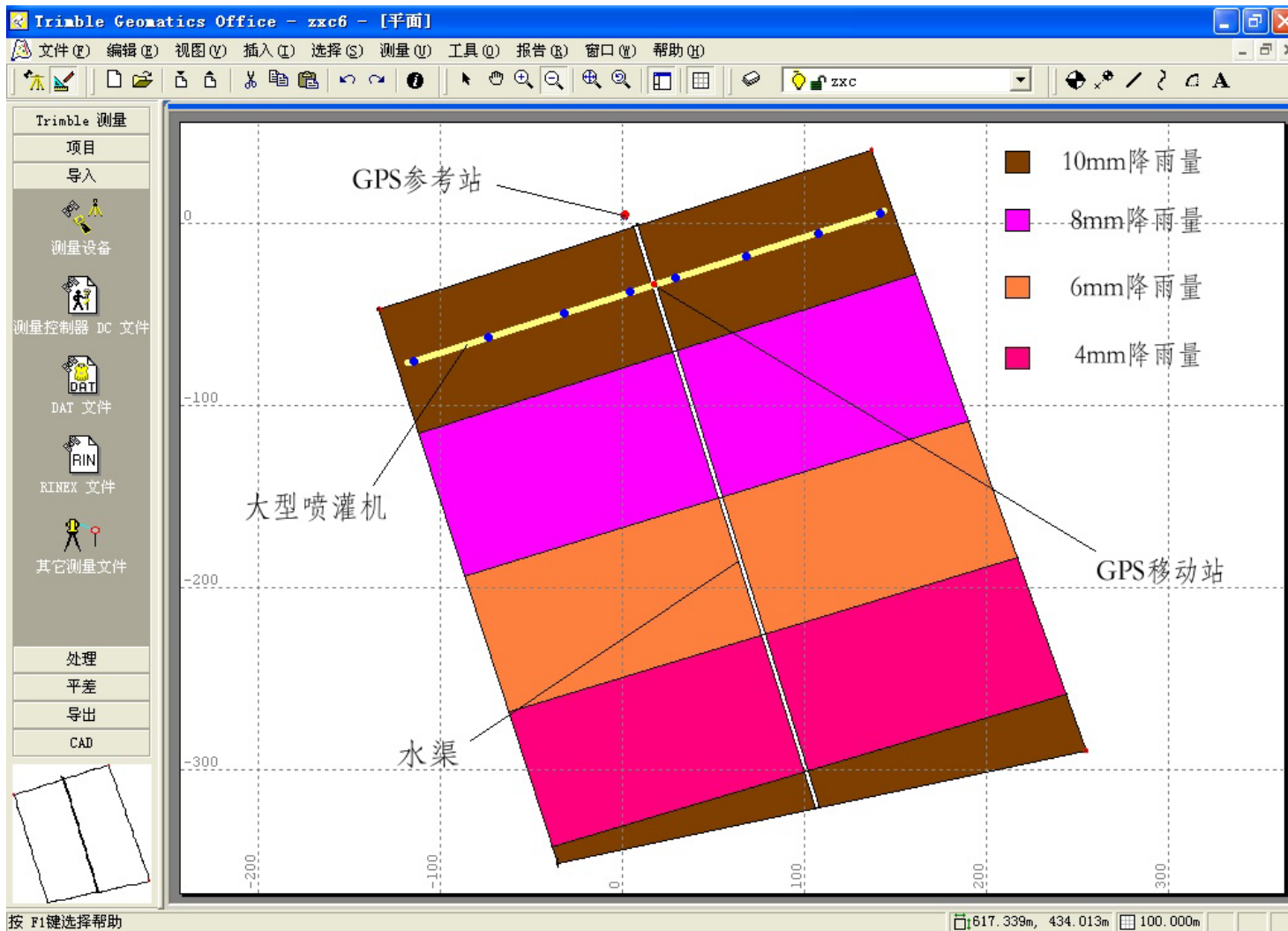




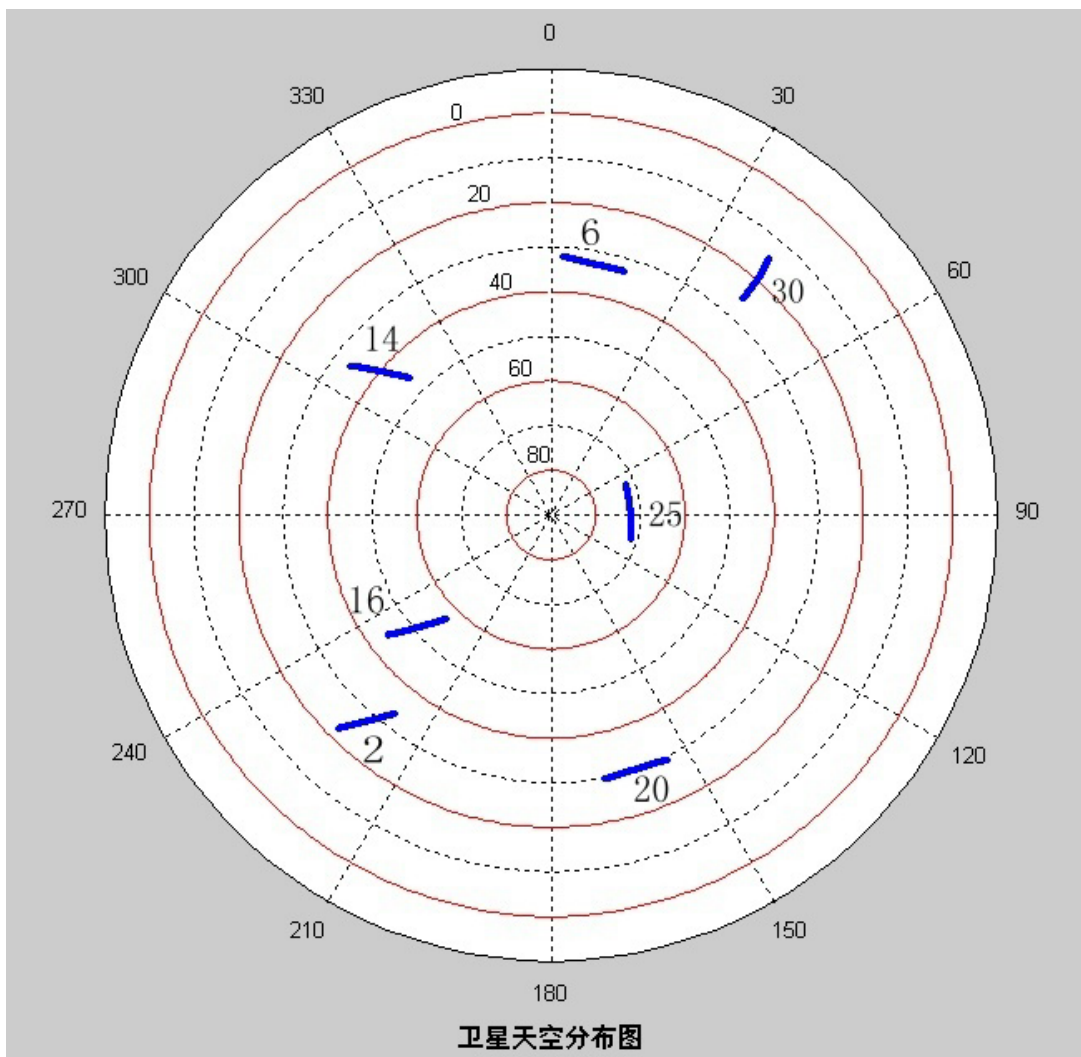
# 8.2 高精度GPS测量系统试验



# 8.3 试验计划图

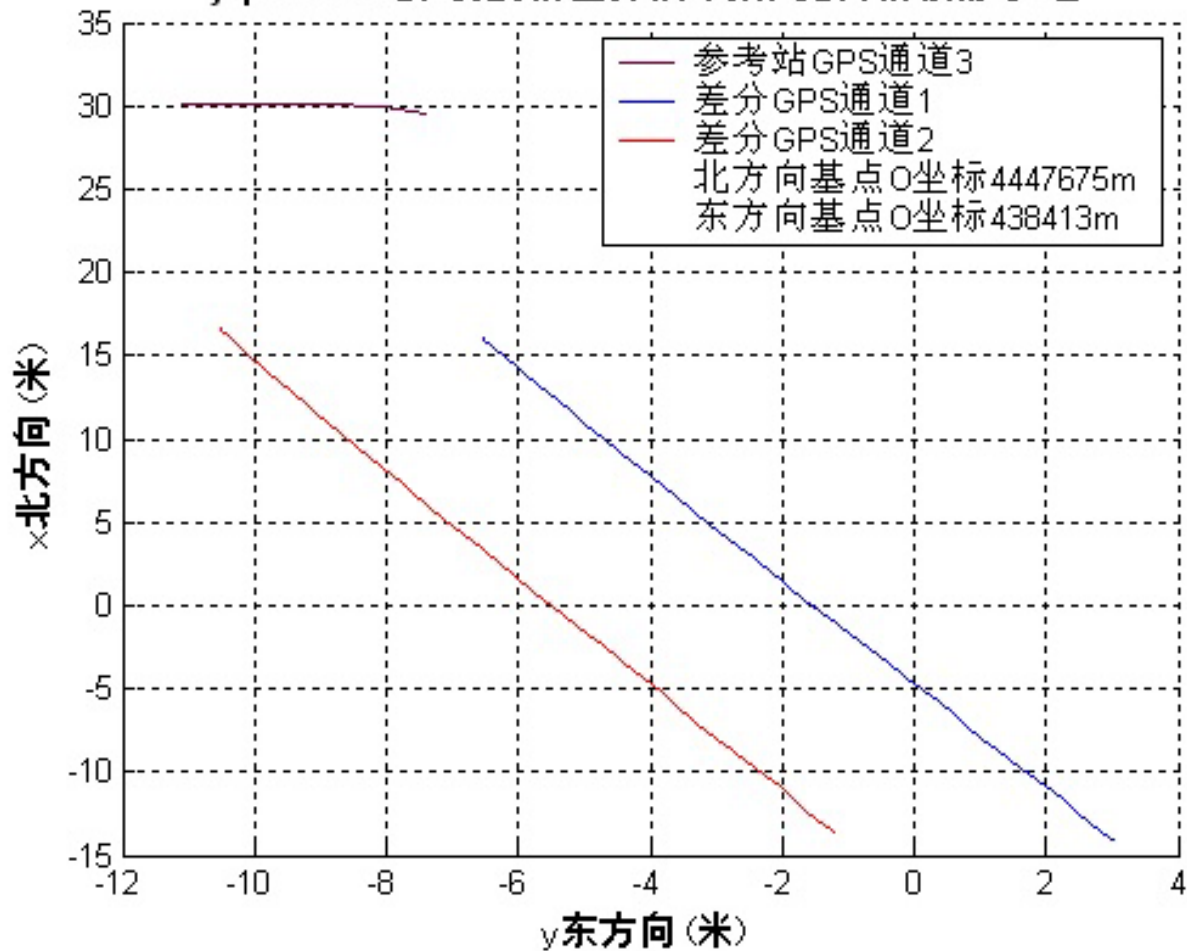


# 8. 4GPS天空分布图

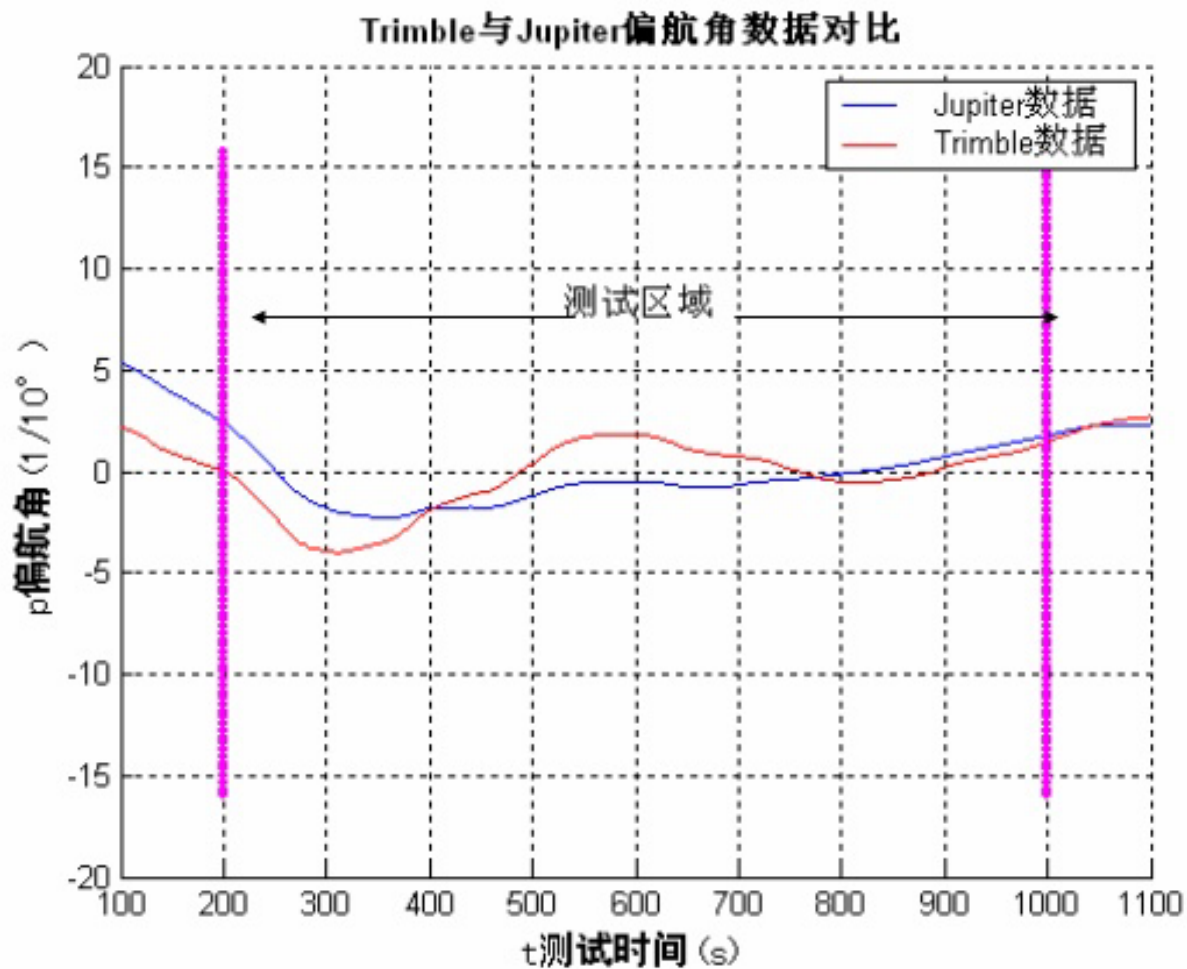


# 8.5大型喷灌机运行轨迹图

jupiter OEM板 载波相位算法 高斯-克吕格投影轨迹

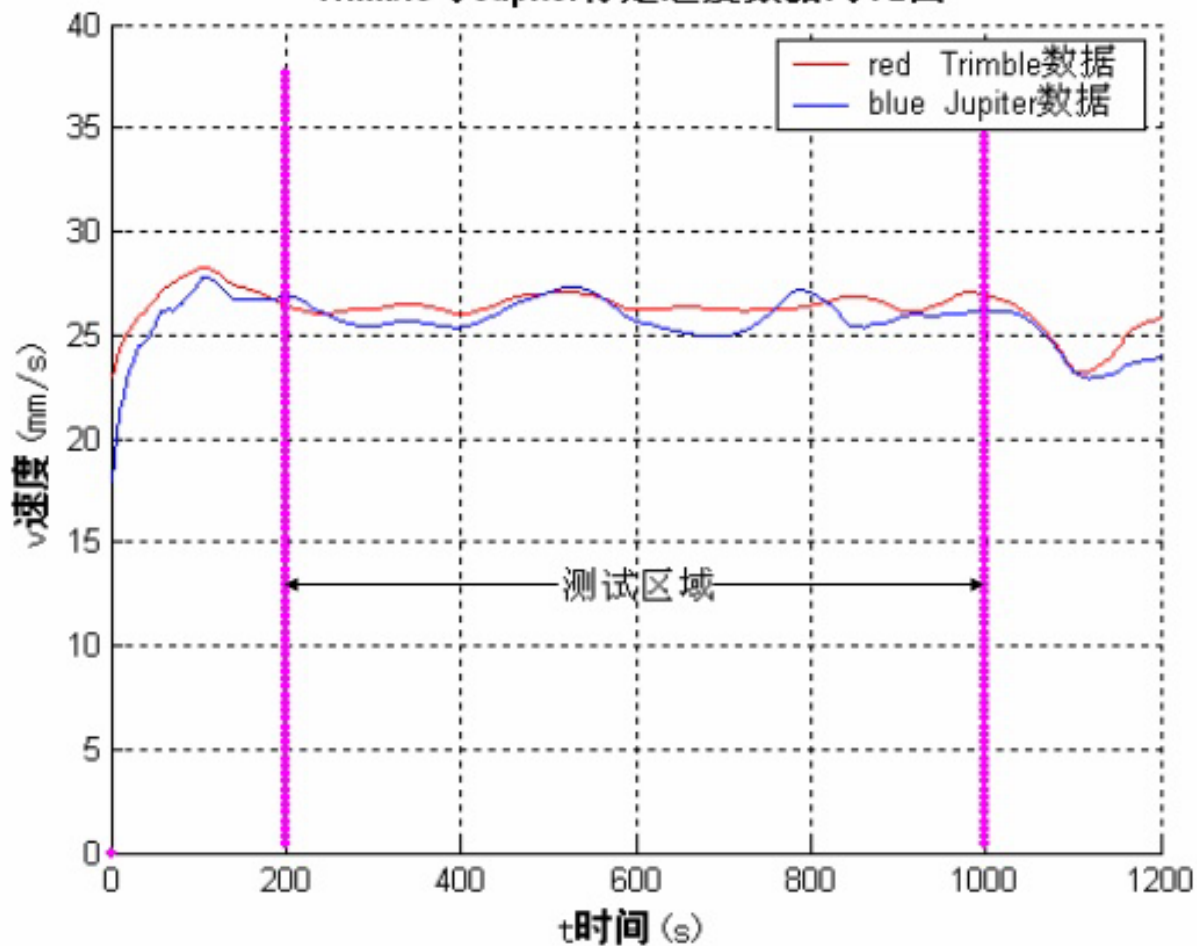


# 8.6 偏航角的对比图

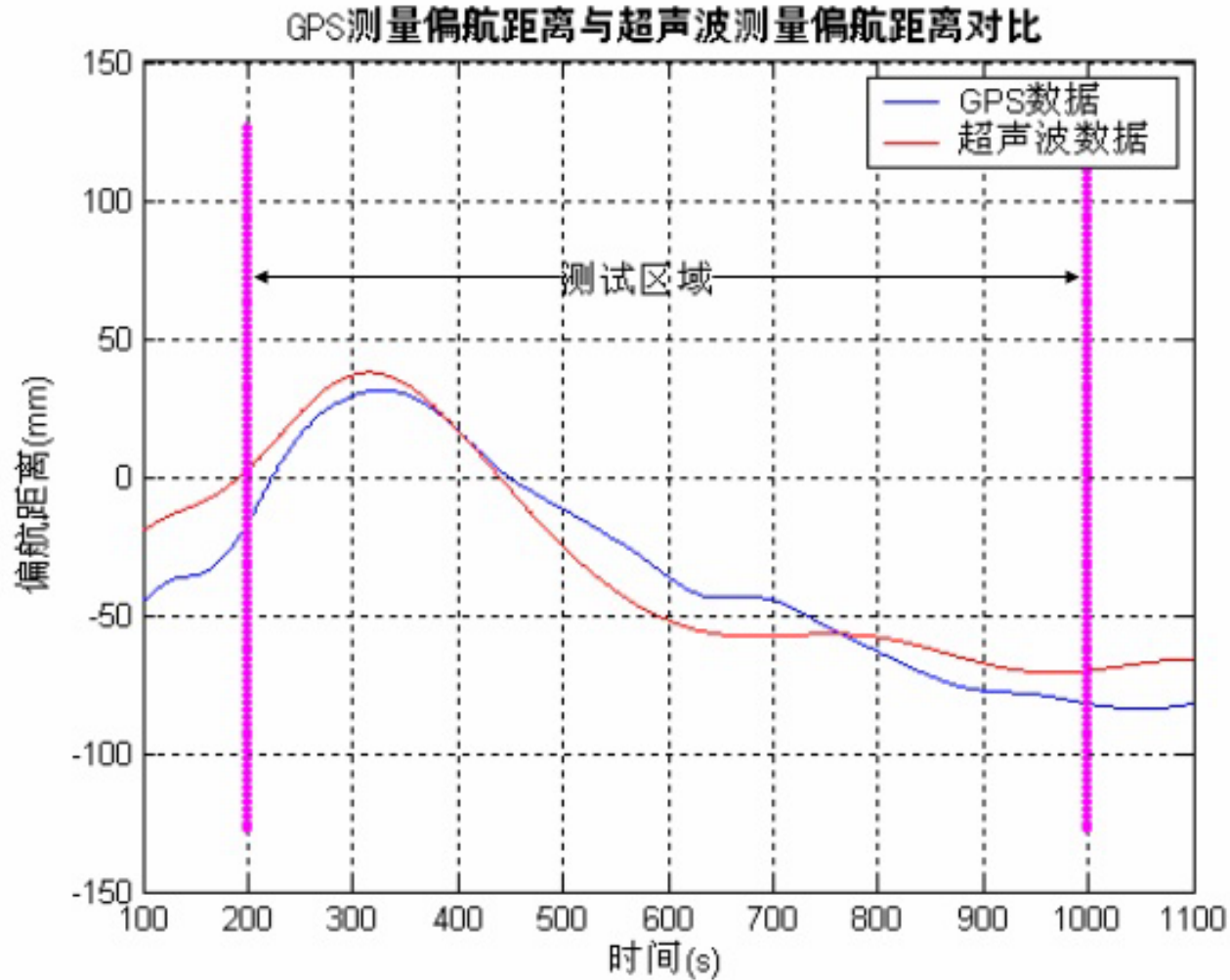


# 8.7 田间行走速度测试结果

Trimble与Jupiter行走速度数据对比图



# 8.8 偏航距离测试结果



# 结束语

1. GPS在农业信息获取、分析与处理中占据极其重要的地位。
2. 面向农业信息系统的GPS具有显著的专业特征。
3. 采用差分技术可以消除各种误差，采用载波相位测量技术可以获得高精度的定位和测姿结果。相对定位精度可以达到厘米级。
4. GPS在农业信息技术中应用广泛。



# 感谢各位专家的指导！

