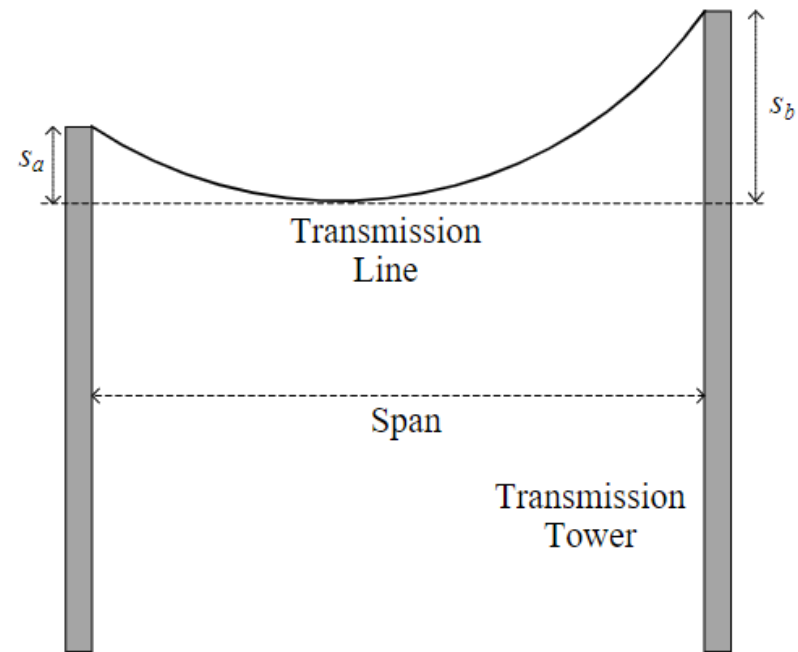




摘要⁺ PREFACE

本次对于输电线路的弧垂测量我们选择了基于DGNSS技术去实现，通过滤出错误数据、最小二乘法和卡尔曼滤波等方法来减小误差。

什么是弧垂？



(b)

Fig. 2.2: Symmetrical (a) and asymmetrical (b) sag in a span.

国内外研究现状

各类方法的发展



基于物理参数的方法

多种物理参数均可反应输电线路的垂度，包括线路温度、张力、振动和倾角等



基于通信和讯号处理的方法

包括图像处理、磁场、GPS信号、毫米波、电力线载波和相量测量单元



基于人工智能的方法

使用半自动线路侦察机器人（LRR）可测量实时高压传输线上的不同参数，如凹陷、电流、倾角、温度、振动和噪声。



基于光学技术方法

光学技术测量输电线路弧垂，又可分为基于红外激光扫描系统、激光扫描传输线接地间隙测量方法和基于光学传感器的方法



弧垂测量系统

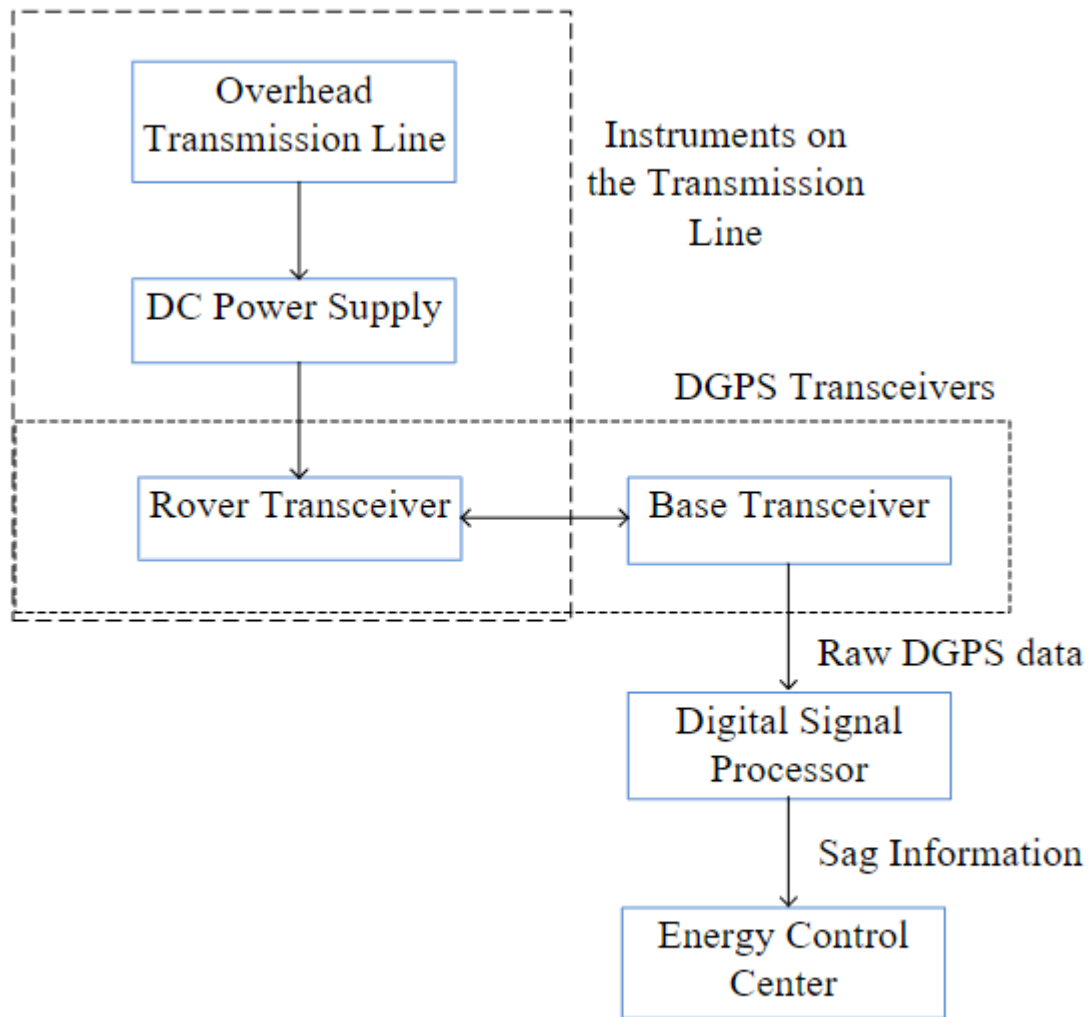
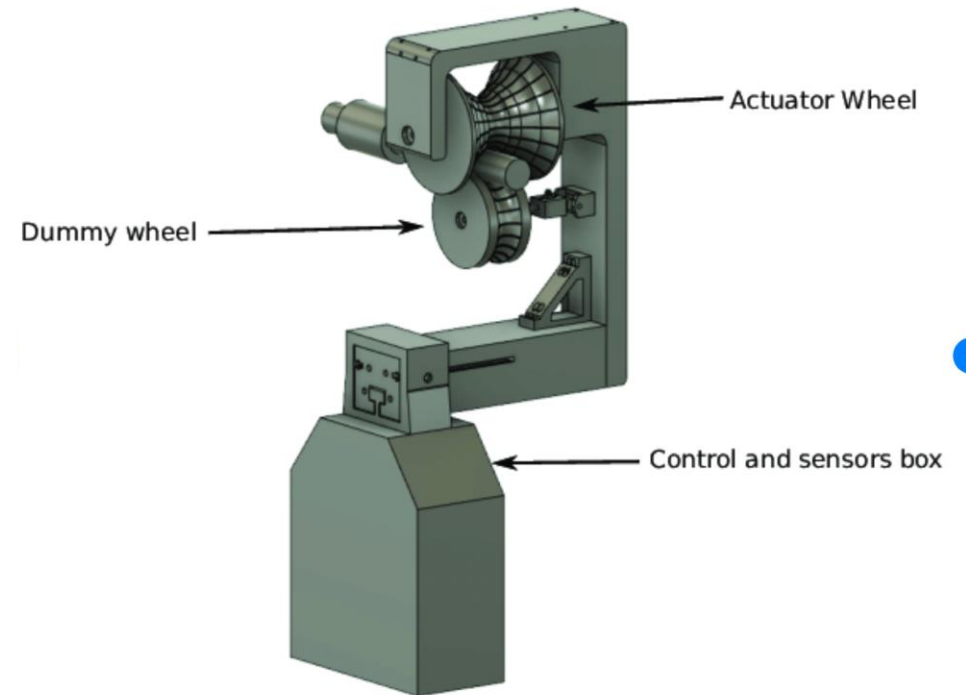
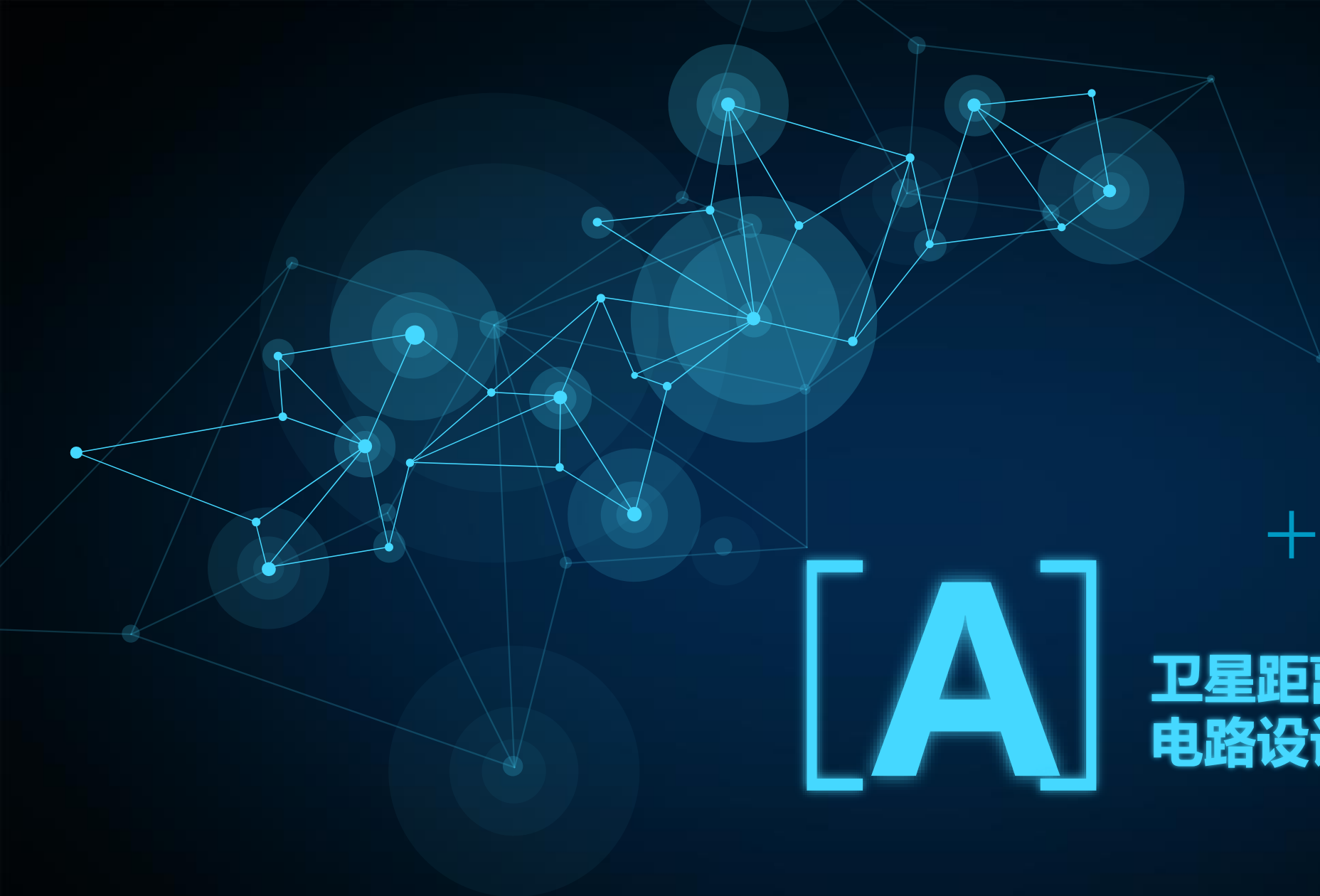


Fig. 2.4: DGPS based sag measurement system.



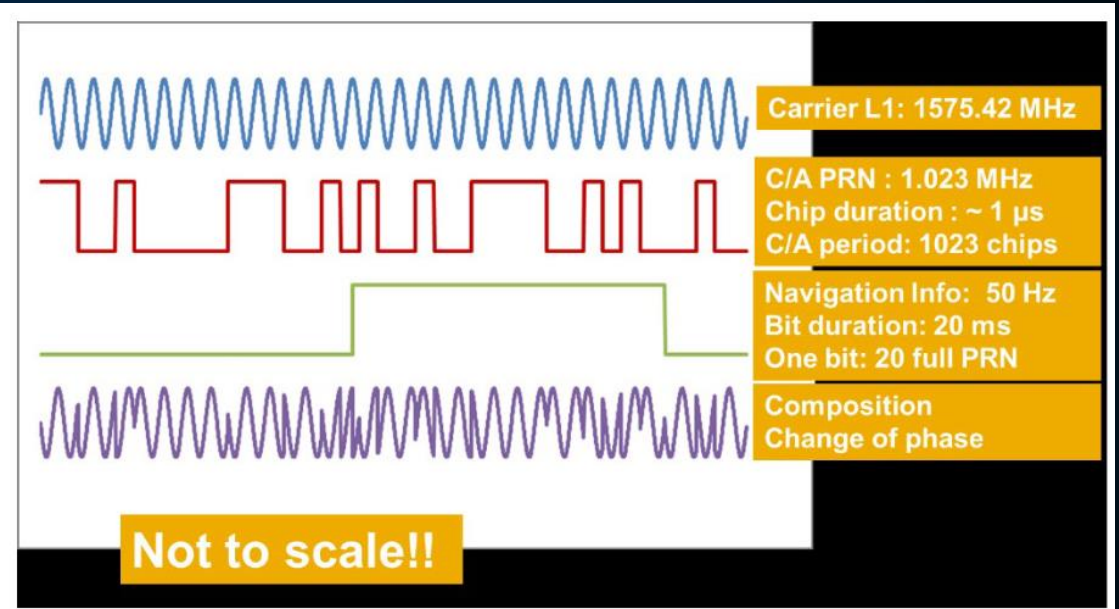
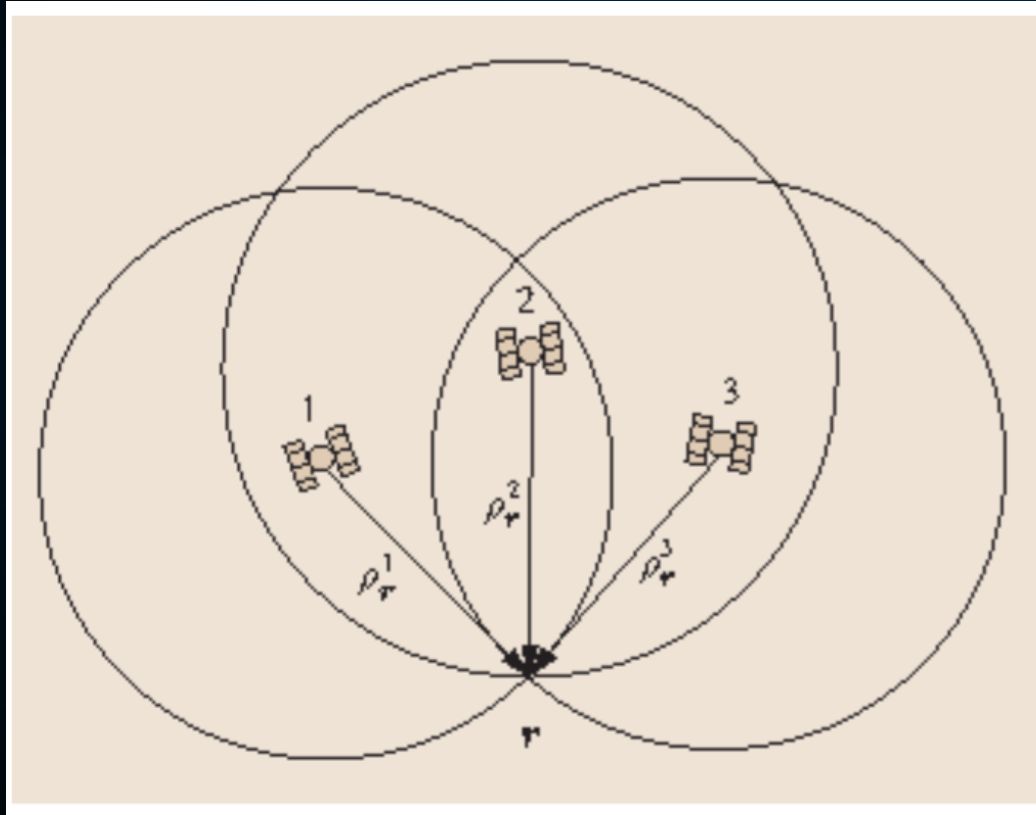


+

[A]

卫星距离检测 “传感器”
电路设计

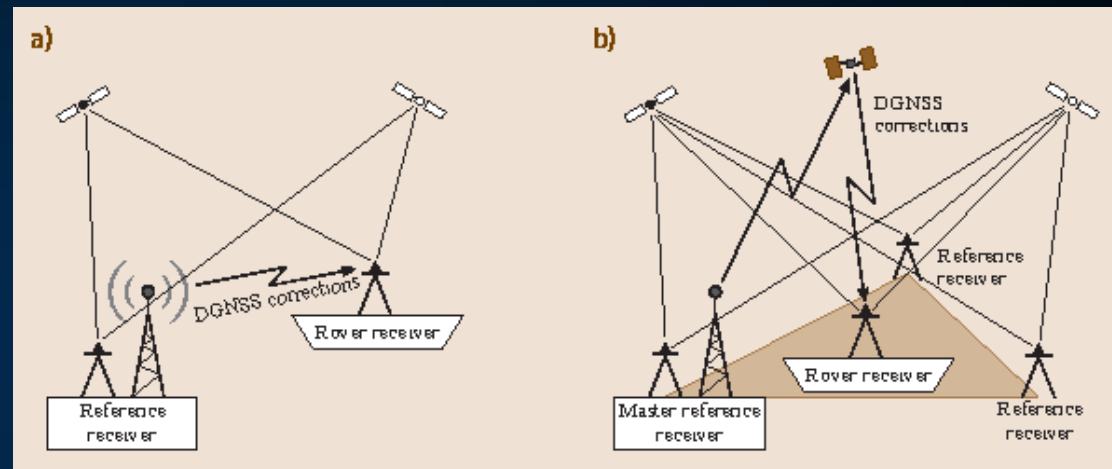
GNSS原理



基于差分的卫星定位技术

3.2 差分GNSS介绍

差分GNSS (DGNSS) 是一种应用广泛并且又行之有效地降低甚至消除各种测量误差的方法，从而使差分定位精度要明显地高于单点定位精度。差分GNSS可以在水平与竖直方向上实现**1m**之内的定位精度。



DGNSS 的原理如图所示。位于已知位置的 GNSS 参考接收器跟踪视野中所有卫星的数据并确定差分 (DGNSS) 校正，这些校正（实时）传输给在参考的特定距离处跟踪 GNSS 数据的用户（流动站接收器）车站。与 SPP 解决方案相比，这些用户可以更正他们的数据，从而提高定位精度。

基于差分的卫星定位技术

3.3 差分算法的比较

1. 位置差分

基站将定位的坐标与已知坐标的误差发送出去由用户接收并修正。这种差分的先决条件是基准站和用户站观测同一组卫星，适合用户在基站100km之内的情况。

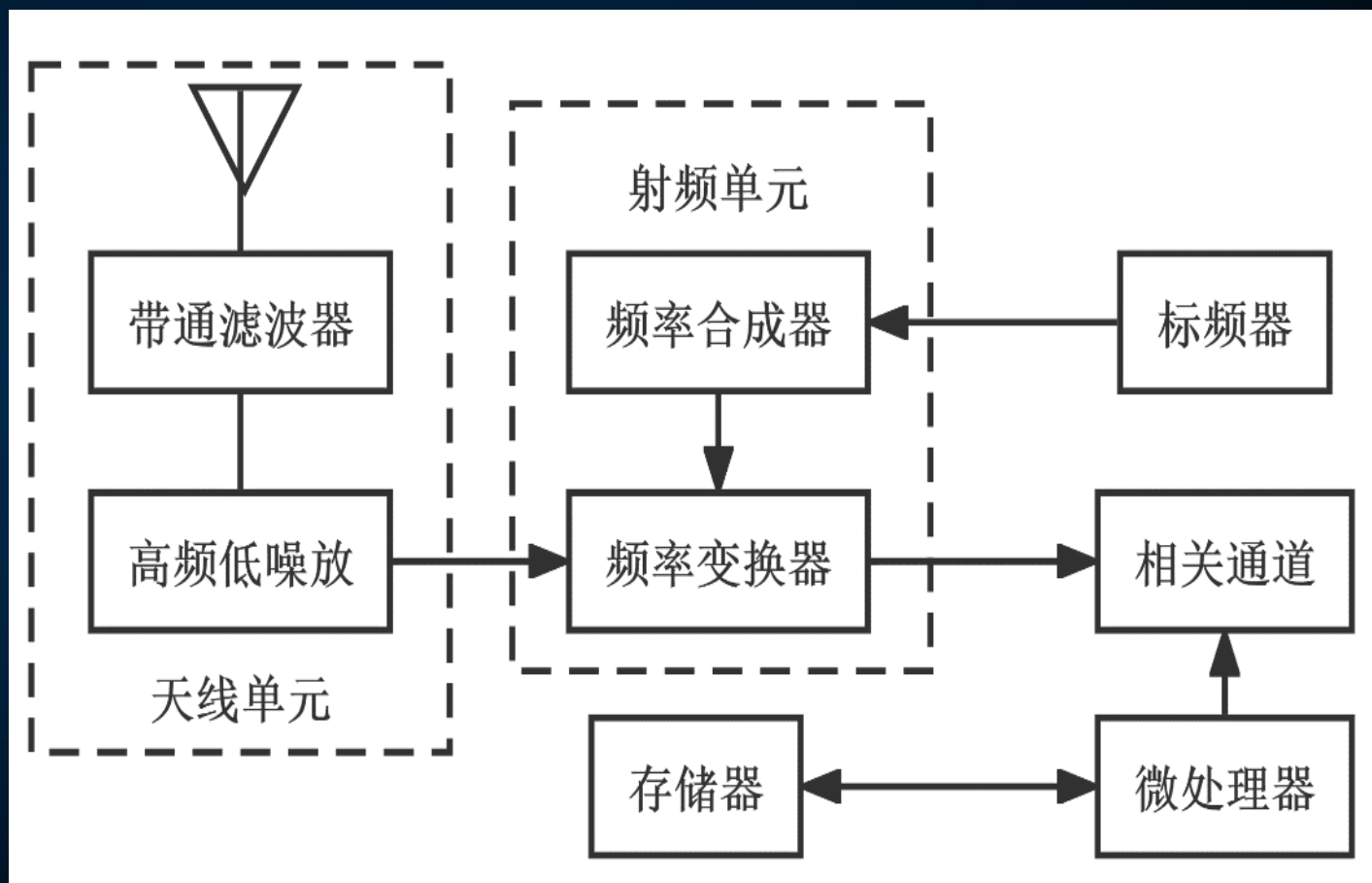
2. 伪距差分

在基准站上，观测所有卫星，根据基准站已知坐标和各卫星的坐标，求出每颗卫星每一时刻到基准站的真实距离，再与测得的伪距比较，得出伪距改正数，将其传输至用户接收机，提高定位精度。这种差分能得到**米级**的定位精度，应用最广。

3. 相位差分

实时动态载波相位技术，即将基准站采集的载波相位发给用户接收机，进行求差解算坐标。由于载波的精度远高于其内容，载波相位差分可使定位精度达到**厘米级甚至毫米级**。大量应用于动态需要高精度位置的领域。载波相位差分有整周模糊度的问题。

卫星距离检测“传感器”电路设计



卫星距离检测“传感器”电路设计

4.2 GNSS接收器方案选择

射频单元

我们选择了目前Part of Analog Device的maxim integrated 公司的芯片MAX2742进行GPS射频电路研究，其作为射频电路芯片很好满足我们学习需求。

Features
◆ Complete Single-Chip GPS Front-End Receiver
◆ Single-Ended or Differential Outputs at 1.023MHz
◆ Low 4.5dB Typical Noise Figure
◆ No External IF SAW or Discrete Filters Required
◆ Very Low 32mW Power Consumption at +2.4V
◆ Wide +2.4V to +3.6V Operational Supply Voltage Range
◆ Extended -40°C to +85°C Temperature Range

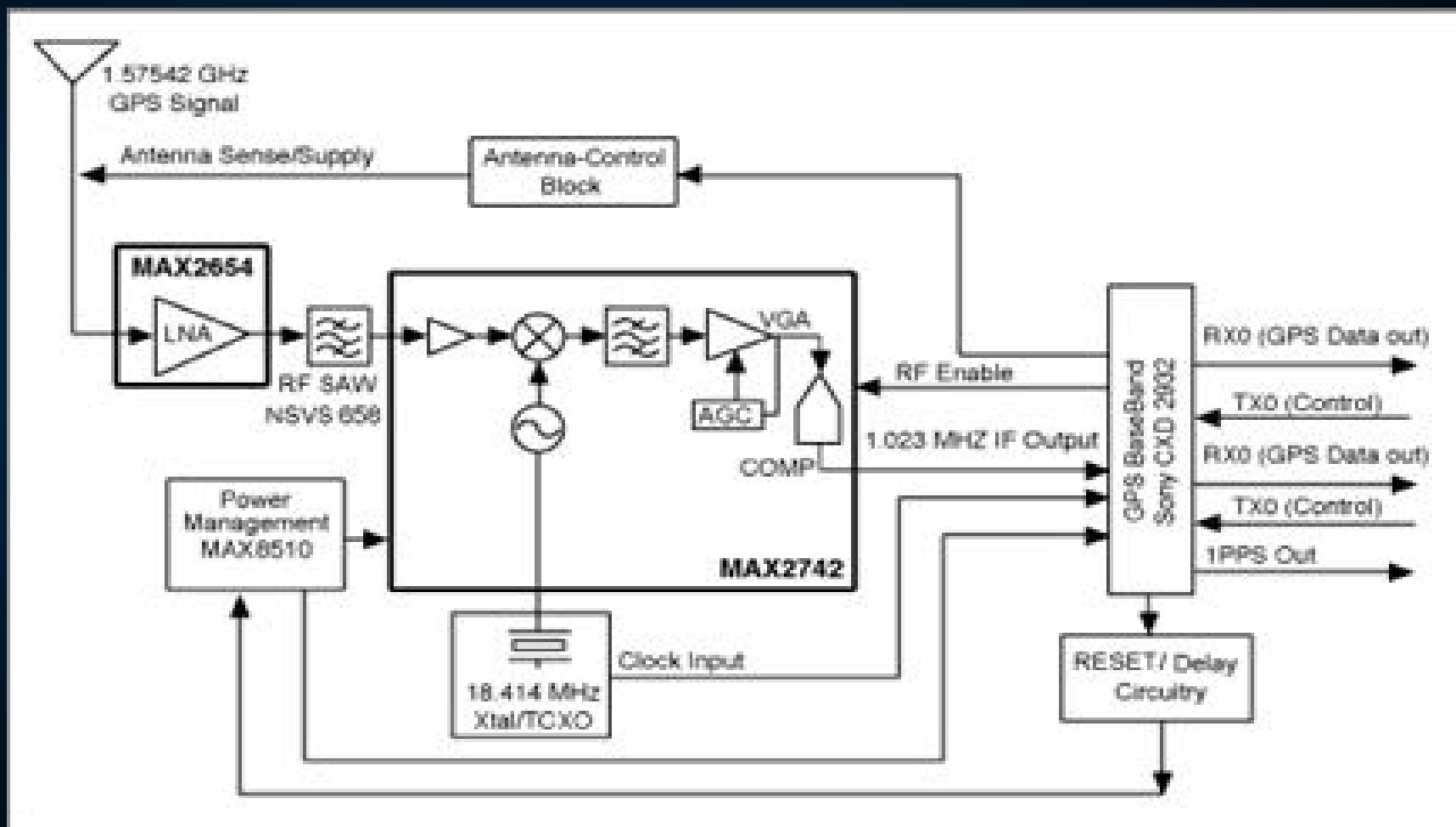
MAX2742数据手册显示特性

MAX2742在低功耗32mW情况下将射频信号解调成1.023MHz的信号，只有4.5dB的误差，在数据处理中可以通过错误分析轻易找到相关误差并滤除，详细方法见后续分析。

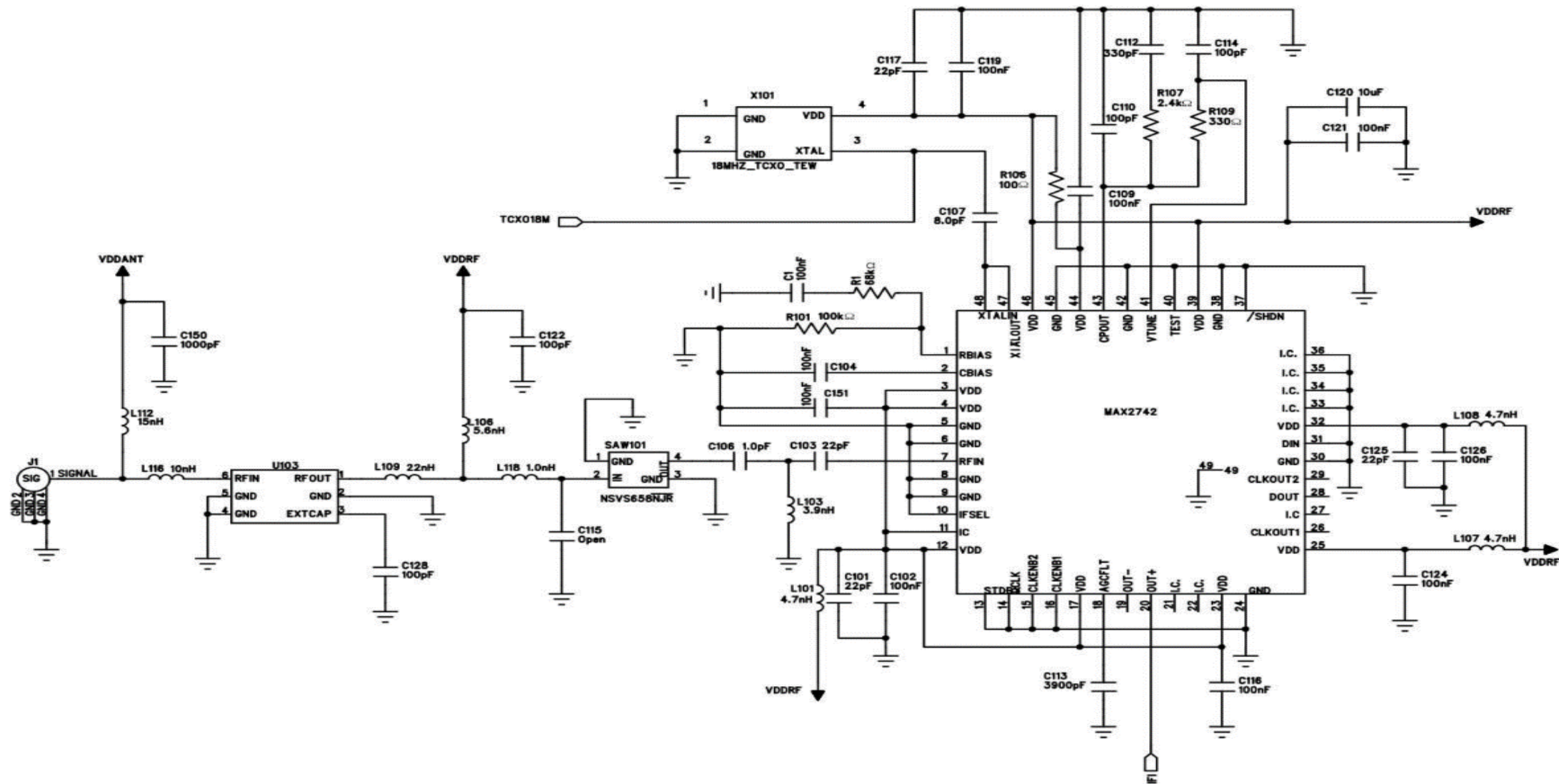
天线单元

天线选择常规芯片SAW101AWEP942MCM0F

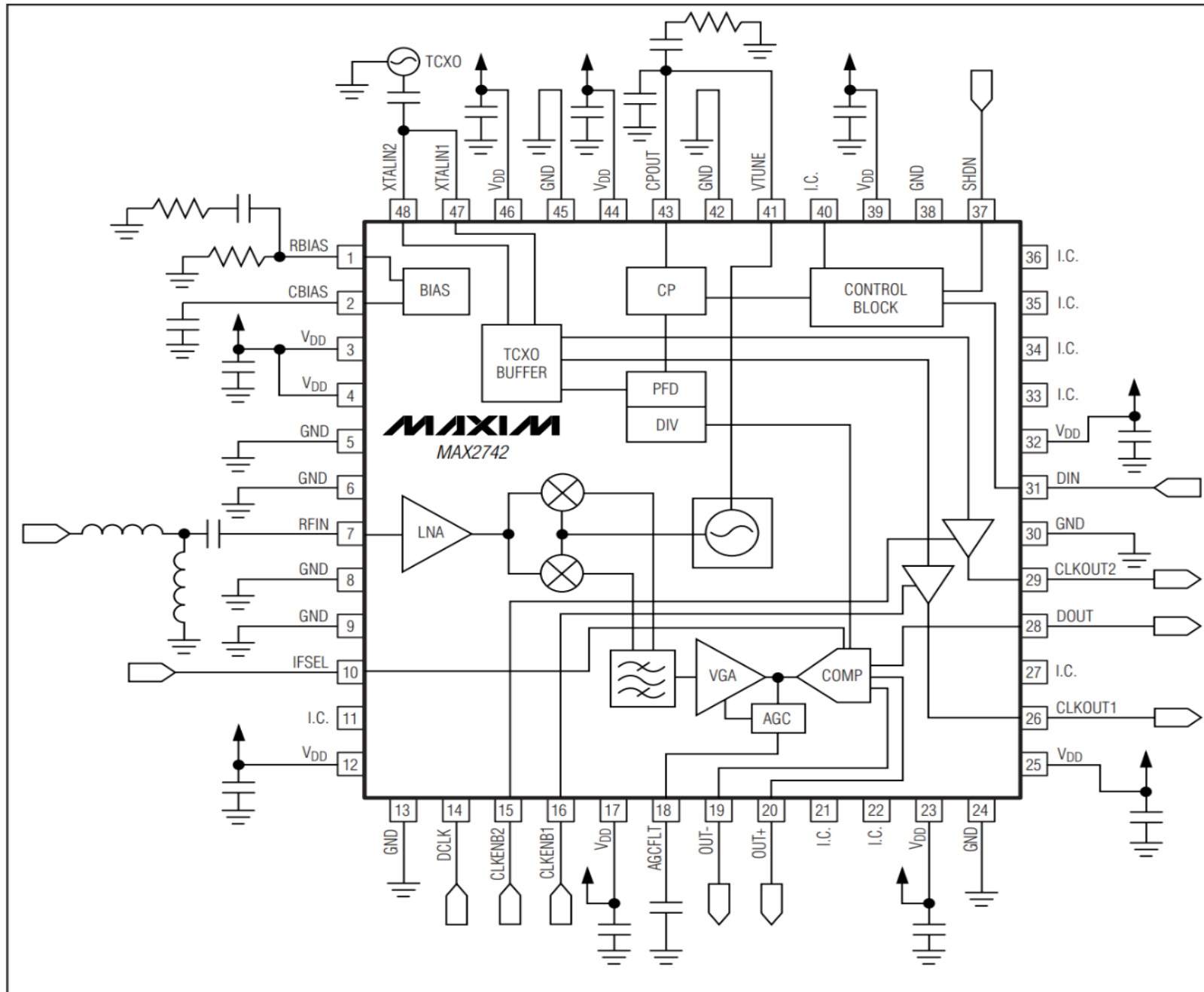
总方案逻辑图



总方案硬件设计图



Typical Application Circuit



+

卫星距离检测“传感器”电路设计

4.3 GNSS接收器天线射频原理图设计

该方案整体可以达到效果如表所示

表 2 模块性能(LNA + MAX2742 + SONY CXD2932)							
No.	Parameter	Symbol	Conditions	System Specifications	Maxim Target	Measured	Units
1	Power supply	Vcc	(Note 1)	2.7 ~ 3.6		T.C.	V
2	Current consumption	Icc	Vcc = 3.0V		91	88	mA
3.1	Sensitivity	Sens	Acquisition	Tracking	-145	-145	dBm
3.2					-138	-138	
4	TTFF	TFC	Cold start		58 (typ)	60 (max)	s
5		TFW	Warm start		45	30 (max)	s
6		TFH	Hot start		17	6 (max)	s
7	Position drift range	PR	95% possibility		100	90	ft
8	1PPS output accuracy	1PPS			1	N.M.	ns

可以看出，该方案其启动用时不超过1min，工作功率不超过0.3W，一次点输出在1ns量级，敏感度在10^-7m量级。满足我们的需求

卫星距离检测“传感器”电路设计

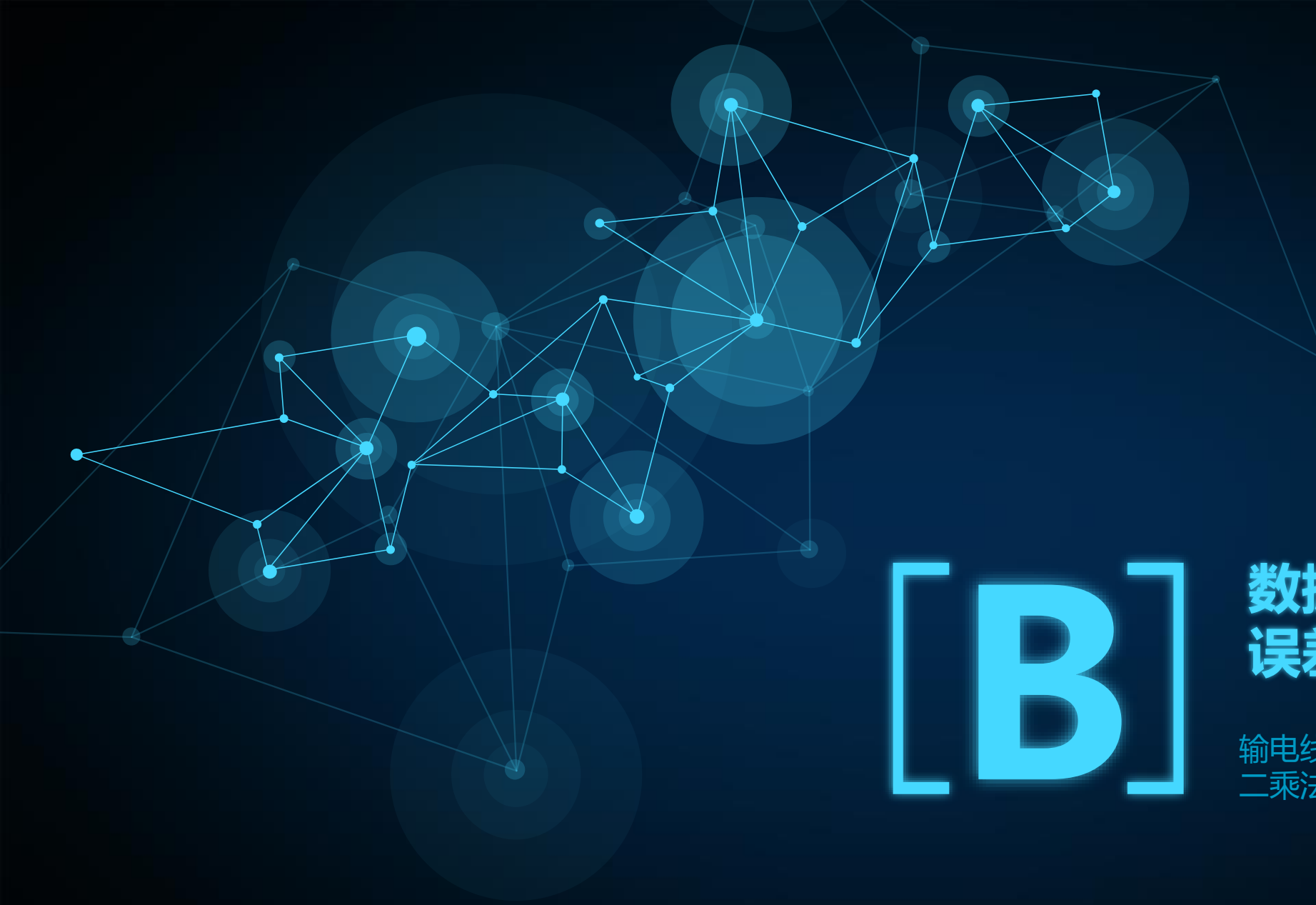
4.4 GNSS接收器单距误差分析

由于接收器本身接收的是数字信号，故不像传统传感器因为电磁干扰等因素造成对模拟信号的误差。单距误差有：

- **卫星产生的误差**，比如轨道误差和时钟误差；
- **传播途径的误差**，比如电离层延迟（误差的最大来源）和对流层延迟；
- **地面接收机的误差**，比如接收机噪音。

距离误差由接收器带来的主要指偶然的噪声带来的错误和时钟差距误差，前者可以通过数据处理环节轻易消除，时钟误差可以通过选用合适的晶振与计数器，频繁进行时钟对其减少误差。

故我们将进入检测技术数据处理的核心，数据滤波算法，将以最小二乘法作为基础，引入卡尔曼滤波器进行误差的进一步减小。

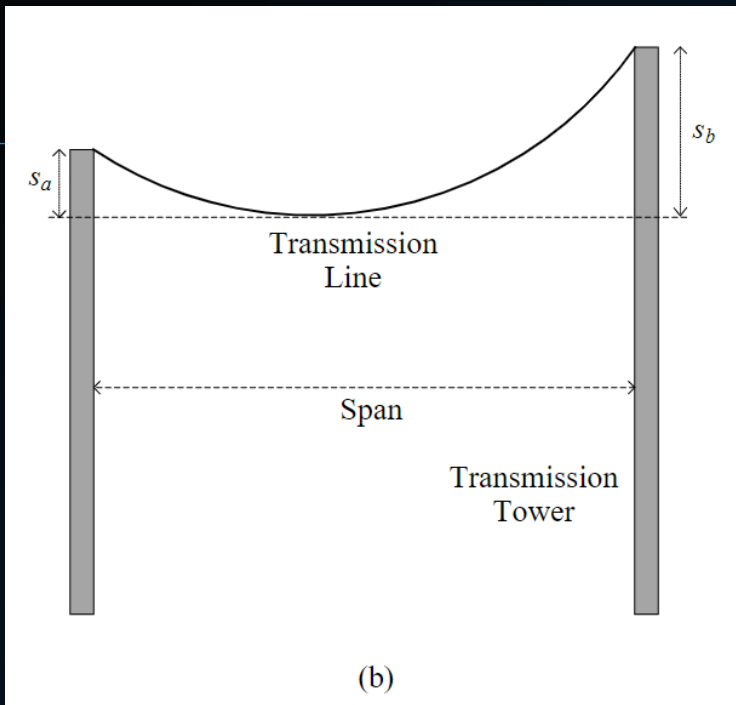


[B]

+

数据处理和 误差分析

输电线路模型构建与最小
二乘法拟合数据



模型假设

现今传输线广泛使用多股细线较和而成，故其刚性对传输线悬挂形状的影响可以忽略，将其视为柔索

悬链线方程

垂直方向分力: $G = T_x \sin \alpha = g S L_x$

水平方向分力: $T_0 = T_x \cos \alpha = \sigma_0 S$

其中: σ_0 导线最低点的应力

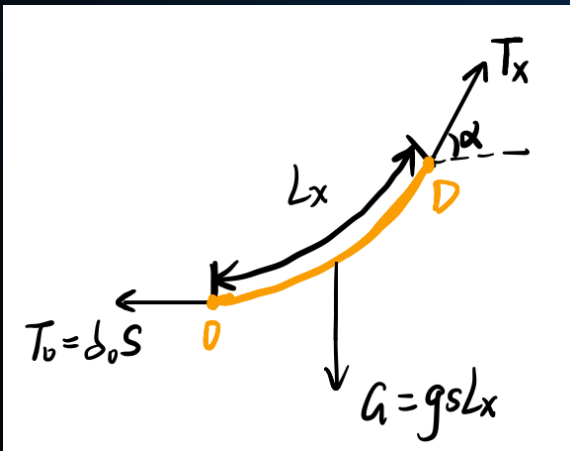
T_0 导线最低点的张力

σ_x 导线任一点的应力

T_x 导线任一点的张力

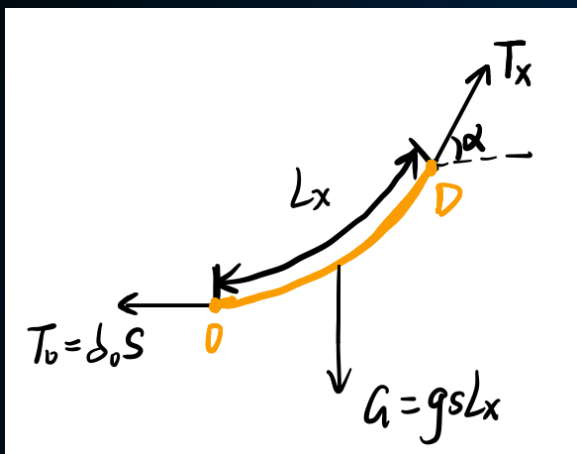
S_x 导线截面

g 导线比截



数学建模和误差分析

悬链线方程



输电线路受力情况

点D处斜率为: $\tan \alpha = \frac{dy}{dx} = \frac{g}{\delta_0} L_x$

消除不定长 L_x : $D(\tan \alpha) = \frac{g}{\sigma_0} d(Lx) = \frac{g}{\sigma_0} \sqrt{(dx)^2 + (dy)^2} = \frac{g}{\sigma_0} \sqrt{1 + \tan^2 \alpha} dx$

积分有: $y = \frac{\sigma_0}{g} ch \frac{g}{\sigma_0} (x + c_1) + c_2$

带入初始条件得悬链线方程为:

$$y = \frac{\sigma_0}{g} \left(ch \frac{g}{\sigma_0} - 1 \right)$$

在实际工程中，大部分线路档距只略小于该档输电路线长，因此可认为作用在传输线弧长上的荷载沿传输线在x轴上的投影均匀分布

同理可得： $G = gSX$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{gx}{\delta_0}$$

可求得抛物线方程为：

$$y = \frac{g}{2\sigma_0} x^2$$

当悬挂点高差 $h/d \leq 10\%$ 时，用抛物线方程进行导线力及计算可符合工程精度要求。

以抛物线方程为基础，讲采集到的大量离散点集通过最小二乘法拟合算法构建输电线路的模型。

选取 P_2 为拟合函数：

$$P_2(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2$$

记差的平方和为：

$$Q(a_0, a_1, a_2) = \sum_{i=0}^n [y_i - P_2(x_i)]^2 = \sum_{i=0}^n [y_i - (a_0 + a_1x + a_2x^2)]^2$$

为使误差尽可能小，则 Q 应该最小，将 Q 看作是 a 的多元函数，即为多元函数求极值的问题。

数学建模和误差分析

最小二乘法拟合数据

$$\text{令: } \begin{cases} \frac{\partial Q}{\partial a_0} = 0 \\ \frac{\partial Q}{\partial a_1} = 0; \\ \frac{\partial Q}{\partial a_2} = 0 \end{cases}$$

$$\text{可得: } \begin{cases} S_0 a_0 + S_1 a_1 + S_2 a_2 = t_0 \\ S_1 a_0 + S_2 a_1 + S_3 a_2 = t_1 \\ S_2 a_0 + S_3 a_1 + S_4 a_2 = t_2 \end{cases}$$

$$\text{其中: } S_k = \sum_{i=0}^n x_i^k, k = 0, 1, 2, 3, 4$$
$$t_k = \sum_{i=0}^n x_i^k y_i, k = 0, 1, 2, 3, 4$$

则可求得 a_0, a_1, a_2 的值

数学建模和误差分析

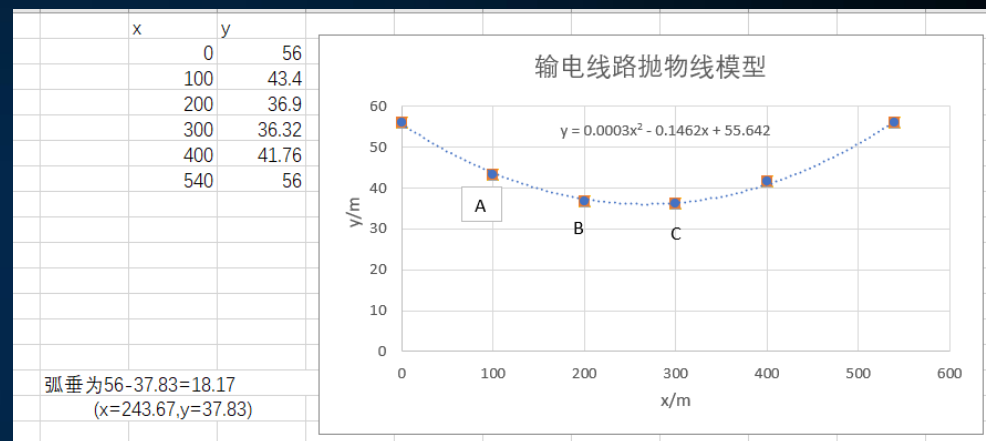
数学分析

一 数学误差分析

1. 实际的输电线路表面附着灰尘、雨珠等杂质，作用在传输线弧长上的荷载并不是沿传输线在x轴上的投影均匀分布

2. 悬链线方程近似为抛物线方程时存在误差

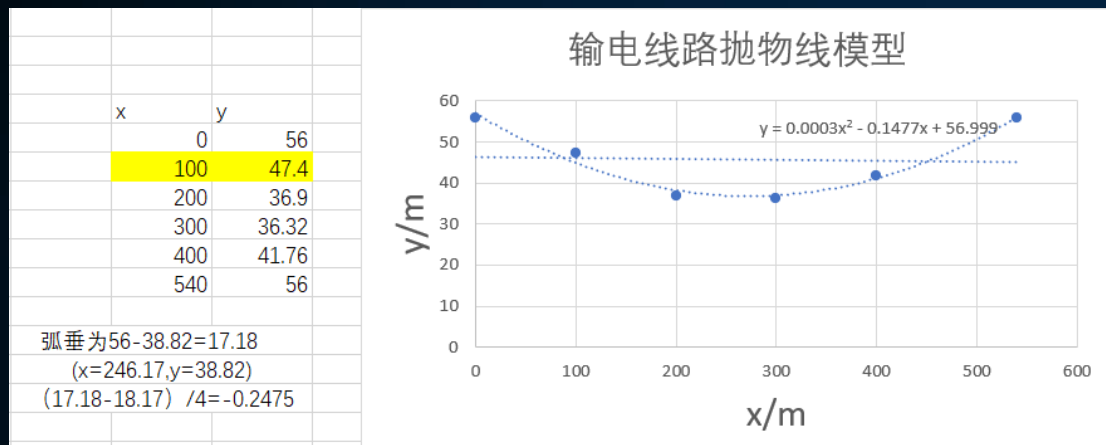
利用搜集到的正确数据以抛物线方程为基础，利用excel进行拟合，构建输电线路的模型，根据构建的曲线模型计算出弧垂值，如图所示。



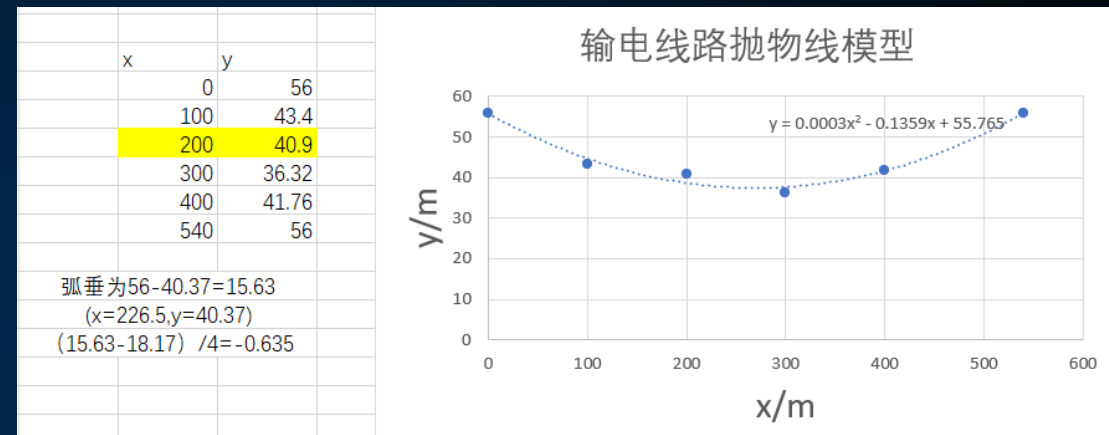
数学建模和误差分析

数学分析

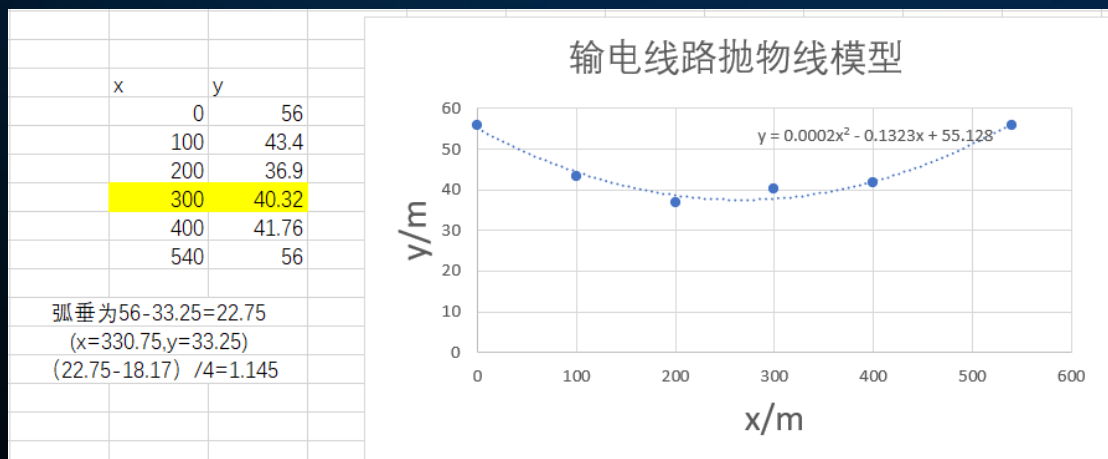
现比较处于输电线路不同的A,B,C三点因测量误差分别增加4m对弧垂值的影响，如图所示



A点增加4m构成的数据构建的输电线路抛物线模型



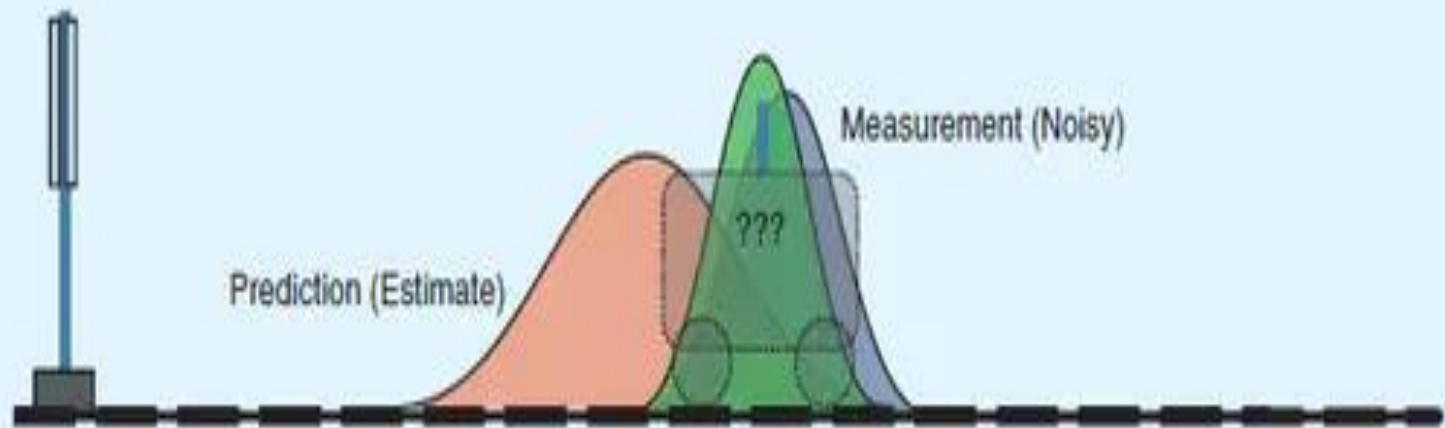
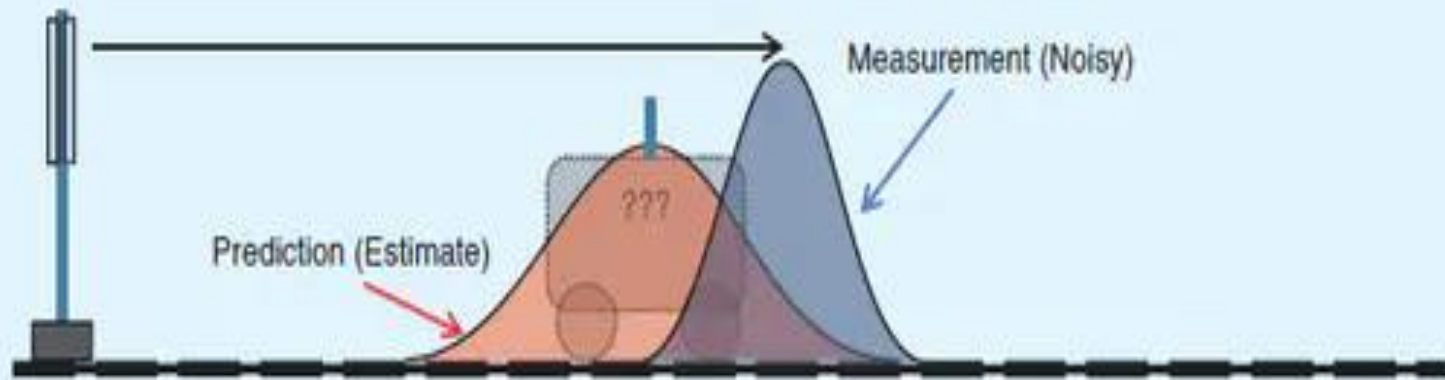
B点增加4m构成的数据构建的输电线路抛物线模型



C点增加4m构成的数据构建的输电线路抛物线模型

由图可知，处于输电线路最靠近边缘处的A点因测量误差每增加1m，弧垂值变化-0.2475m；处于输电线路较靠近边缘处的B点因测量误差每增加1m，弧垂值变化-0.635m；处于输电线路较靠近中心处的C点因测量误差每增加1m，弧垂值变化1.145m。

卡尔曼滤波处理



弧垂计算与卡尔曼滤波

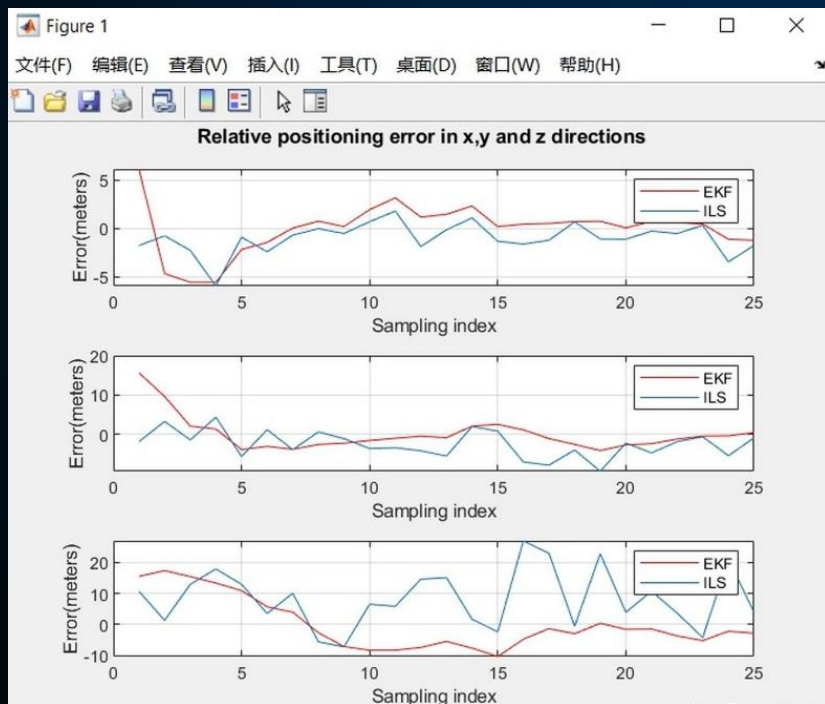
- 迟滞与WMA滤波
- 悬链线形状作为状态估计与预判
- 对点值进行卡尔曼滤波处理
- 根据点值进行最小二乘法估算弧垂

数学建模和误差分析

卡尔曼滤波

卡尔曼滤波对减小误差的效果

给定实时卫星伪距和卫星坐标，使用Matlab软件分别用最小二乘和卡尔曼滤波进行位置估计，分别得到的误差结果如下。



卡尔曼滤波对减小误差的效果

结论:

图中EKF为扩展卡尔曼滤波算法下的误差折线，ILS为迭代最小二乘法算法下的误差折线。由图可以明显看出，卡尔曼滤波对减小GPS测量误差具有显著的作用。



THANK
YOU