



HEXAGON

测量机器人精密三角高程 测量系统设计

杨丁亮
宿迁学院

目录

Part 1

研发背景及目的

Part 2

系统总体设计

Part 3

系统实现算法与关键技术

Part 4

系统展示

Part 5

总结

1、研发背景及目的

- 桥隧高程测量发展
- 传统高程测量方法缺点
- 研发意义和目的

1、研发背景及目的：桥隧高程测量发展



跨河大桥、跨山隧道高程测量存在地形复杂、精度要求高、效率要求高的难题

1、研发背景及目的：传统高程测量方法缺点

传统方法1

水准测量

- 观测时间长、观测时段和频率受限制、无法满足日益增长快速施工和不断提高运营维护效率的要求



传统方法2

单向三角高程测量

- 远距离测高差受大气折光影响显著
- 仪器、目标量高误差



1、研发背景及目的：研发目的和意义

研发目的：

- 使其自动生成满足规范要求的电子三角高程测量手簿
- 测量数据采集自动化、检核与存储实时化
- 节省人力物力，降低成本，实现内外业一体化、测绘智能化发展

研发意义：

- 解决水准仪在复杂地形高程测量效率低、工作强度大等问题
- 为跨山、跨河的桥隧工程的精密高程控制测量提供技术支撑。

2、系统总体设计

- 需求分析
- 可行性分析
- 系统开发框架
- 功能模块开发

2、系统总体设计：需求分析

主要服务对象

桥隧施工建设单位

主要需求

大跨度复杂地形

高程控制测量

- 精密三角高程测量方案
- 数据自动化采集和传输
- 数据实时处理与检核
- 数据存储
- 观测手簿、水准平差文本自动生成

2、系统总体设计：可行性分析

技术成熟

- 高精度智能全站仪
(0.5"、1"测角、马达)
- 安卓终端普及

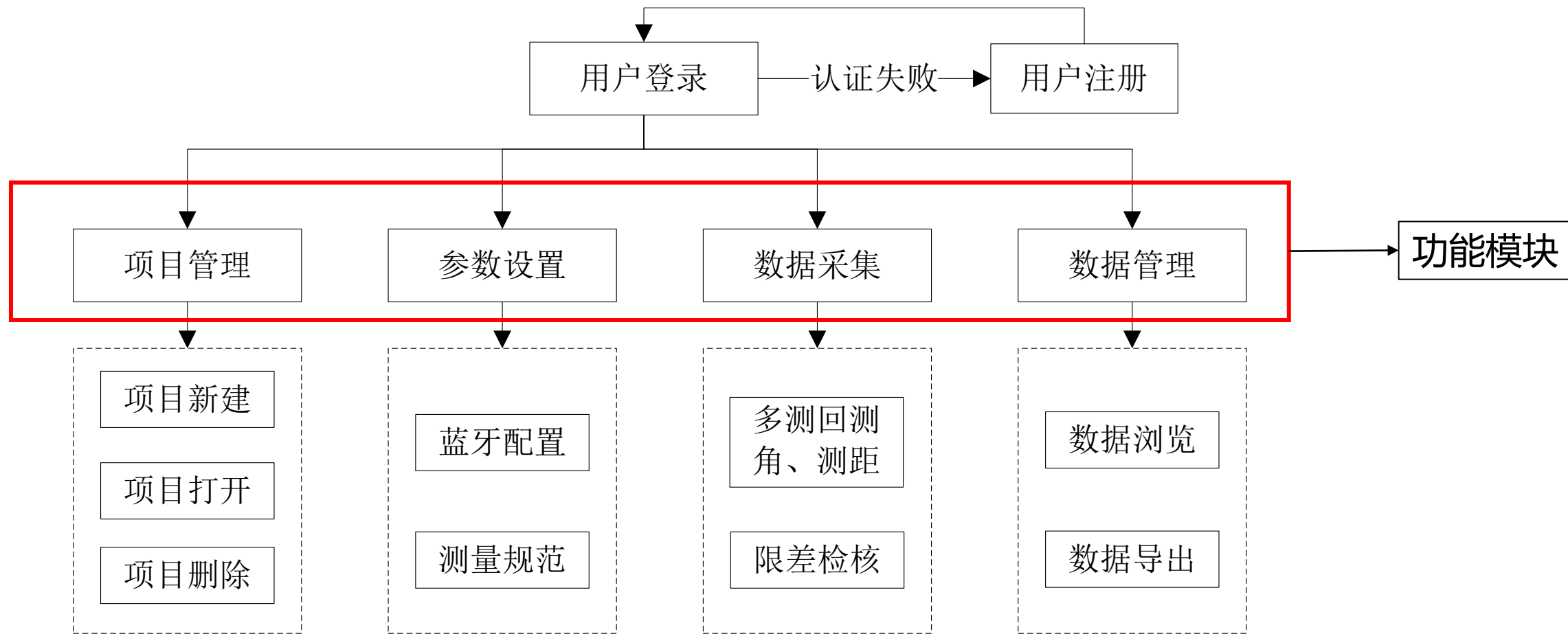
系统友好

- 界面简单，布局合理
- 技术支持，保证运行

成本可行

- 经济成本：重复使用
- 时间成本：节省人力

2、系统总体设计：程序框架

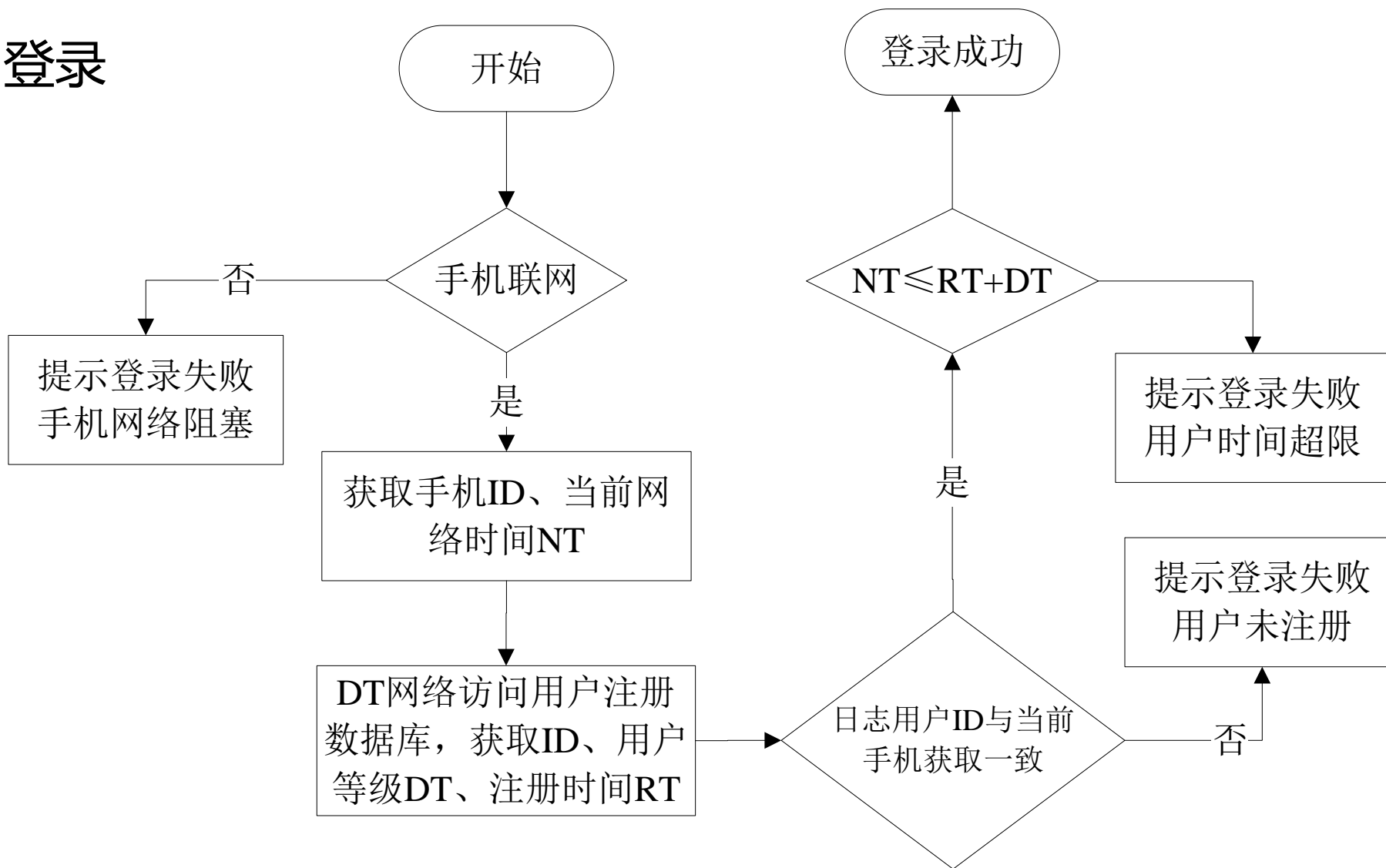


2、系统总体设计：程序开发框架

| 模块 | 功能介绍 |
|------|--|
| 用户登录 | 用户登录是访问网络用户数据库、网络时间、用户等级确定用户的合法性。 |
| 项目管理 | 项目新建、项目删除、项目打开；项目名不可重复。 |
| 参数设置 | 安卓移动端的蓝牙、全站仪的蓝牙建立数据无线通信； 测量规范指测回数、指标较差、距离较差、竖直角较差。 |
| 数据采集 | 安卓移动终端向全站仪发送测量指令实现多测回测距、测角数据获取，并且对数据实时检核限差，若符合限差规范便保存数据。 |
| 数据管理 | 对打开项目的测量数据进行浏览以及导出三角高程的水准手簿。 |

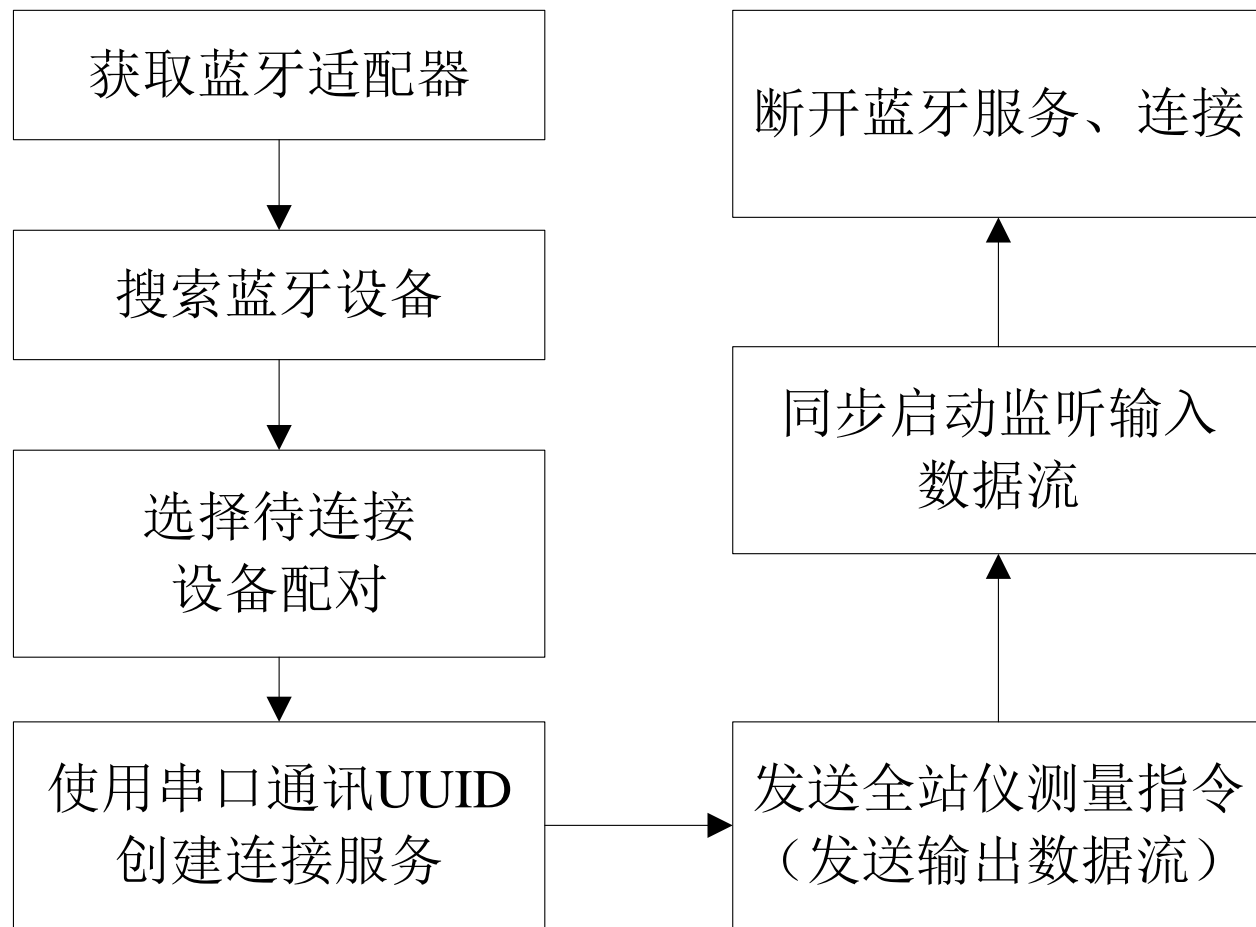
2、系统总体设计：功能模块开发

● 用户登录



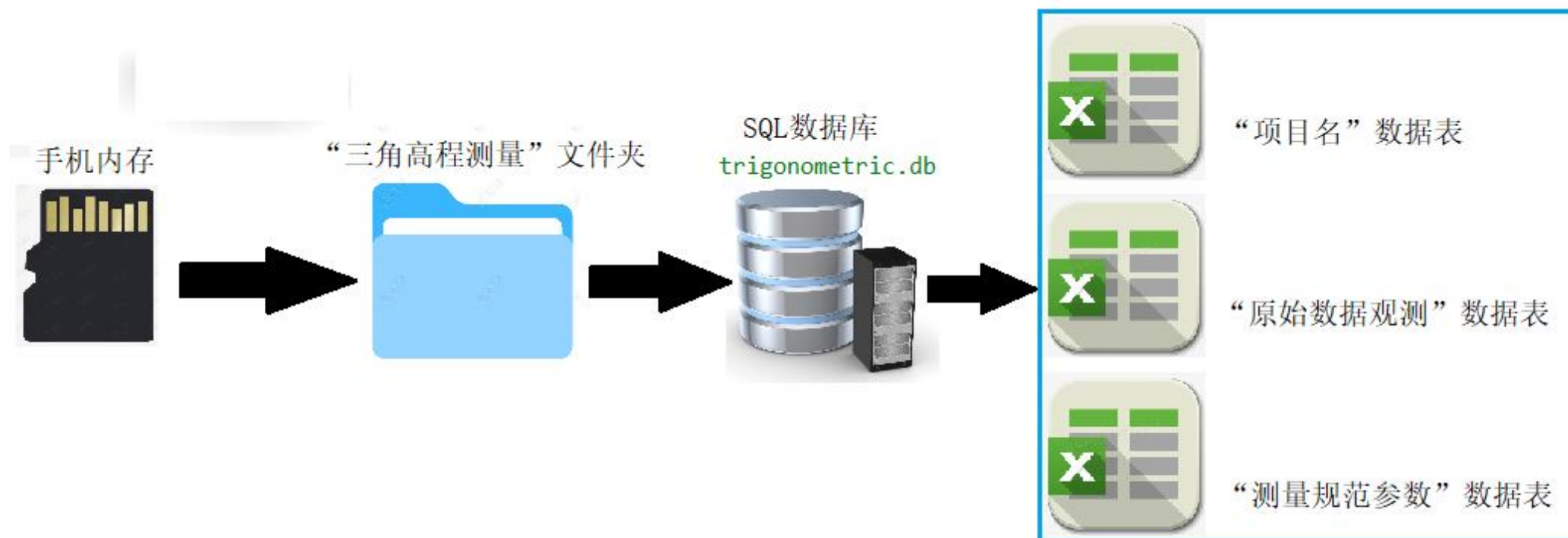
2、系统总体设计：功能模块开发

● 蓝牙通信模块开发



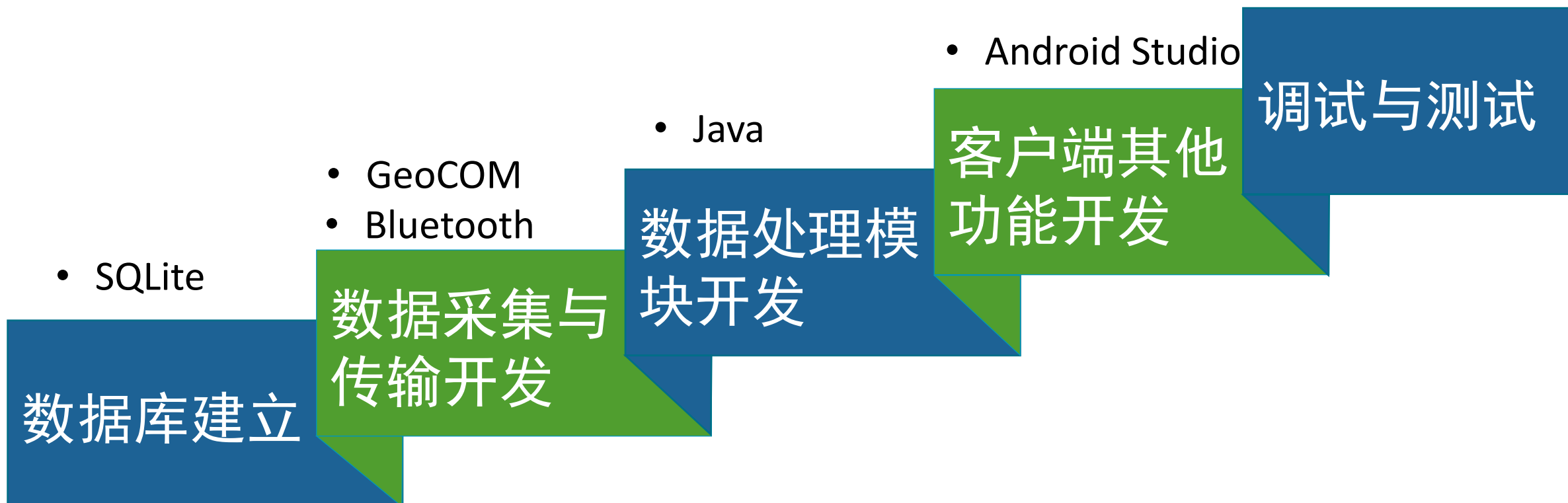
2、系统总体设计：功能模块开发

- 数据存储模块开发



2、系统总体设计：运行环境

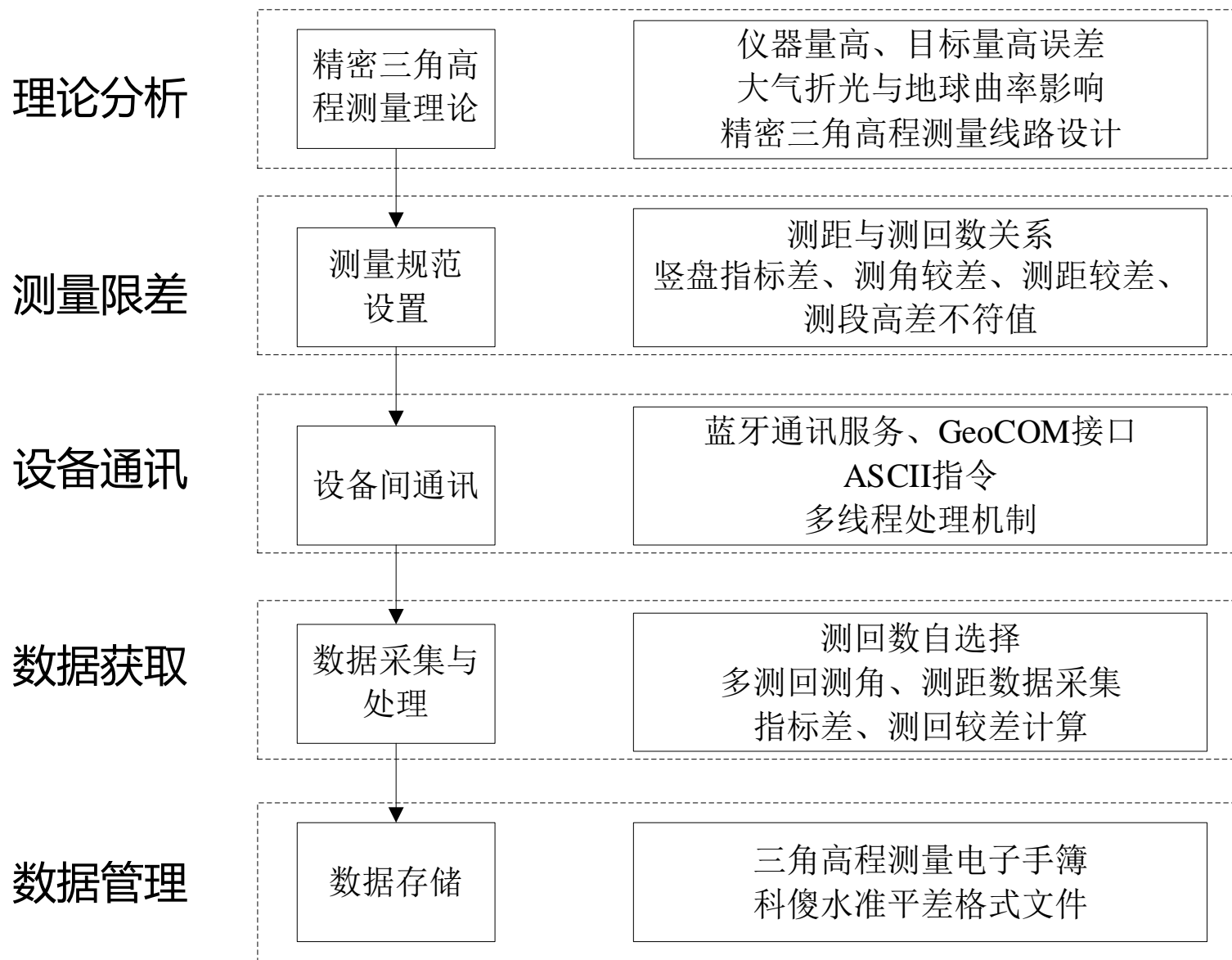
● 程序开发运行环境



3、系统实现关键技术

- 总体技术路线
- 精密三角高程质量保证
- 智能全站仪GeoCOM开发
- Android程序多线程运行

3、关键技术：总体技术路线



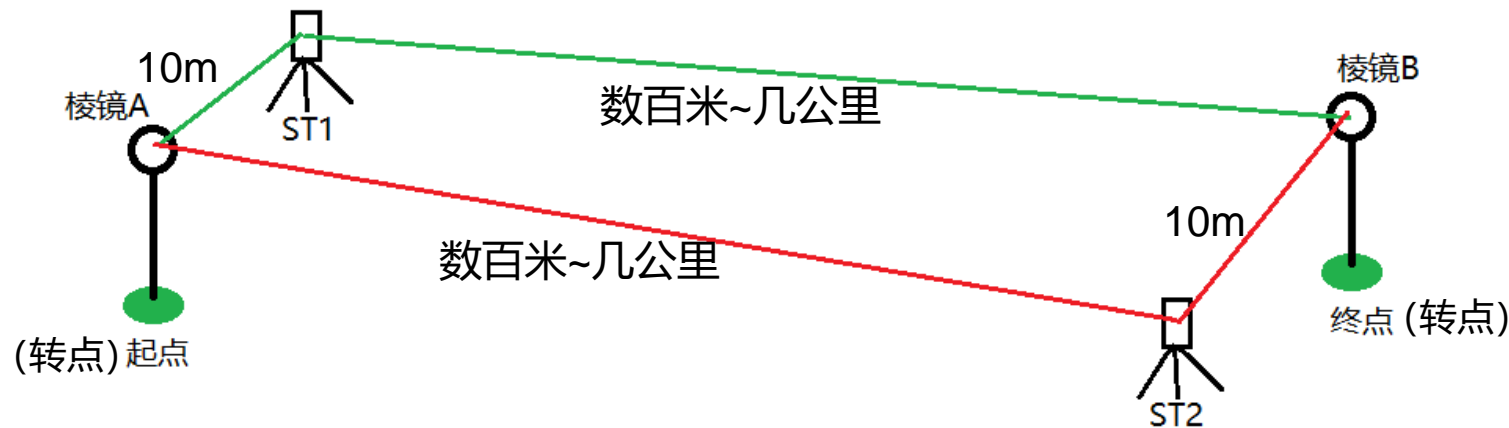
3、关键技术：精密三角高程质量保证

- 精密三角高程测量理论

测段起点、终点附近10m内架设全站仪；

架站要求 起点、终点架设相同高度对中杆；

同岸棱镜全站仪观测2测回、异岸棱镜全站仪观测至多10测回。



计算公式

$$h_{AB}^1 = S_1^B \cdot \cos(\beta_1^B) - S_1^A \cdot \cos(\beta_1^A)$$

$$h_{BA}^2 = S_2^A \cdot \cos(\beta_2^A) - S_2^B \cdot \cos(\beta_2^B)$$



$$h_{AB} = \frac{1}{2} (h_{AB}^1 - h_{BA}^2)$$

通过缩短起、末点的观测距离，有效削弱了起、末点单向三角高程测量带来的误差影响，通过同时对向观测，极大减弱了大气折光和地球曲率的影响。

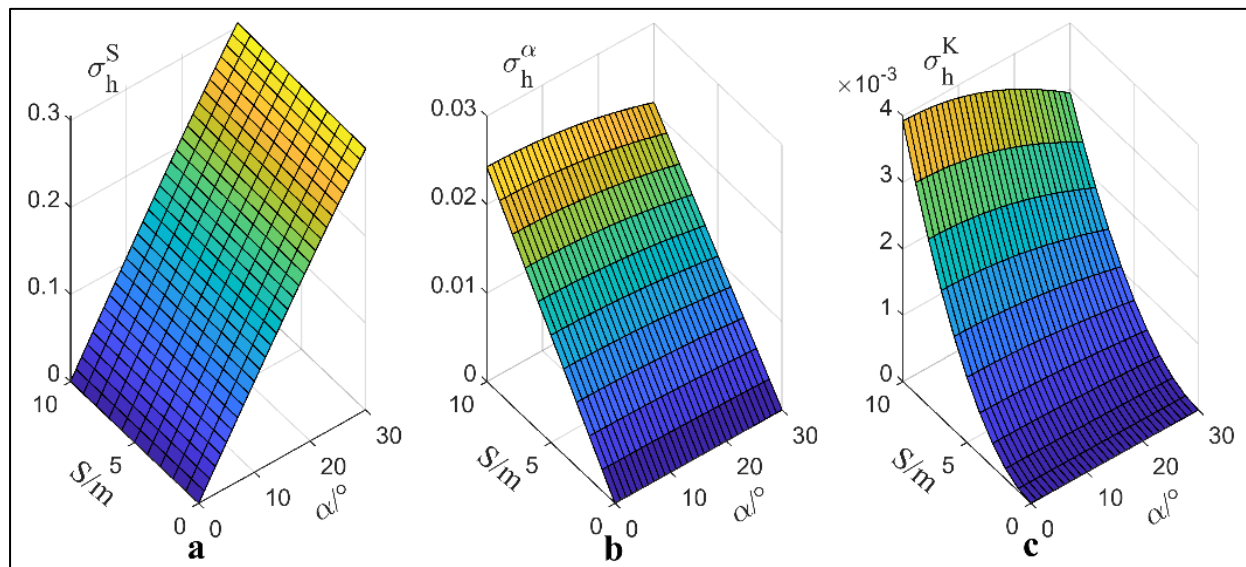
3、关键技术：精密三角高程质量保证

● 单向三角高程测量理论分析

10m范围三角高程误差

三角高程测量误差根源是测距误差

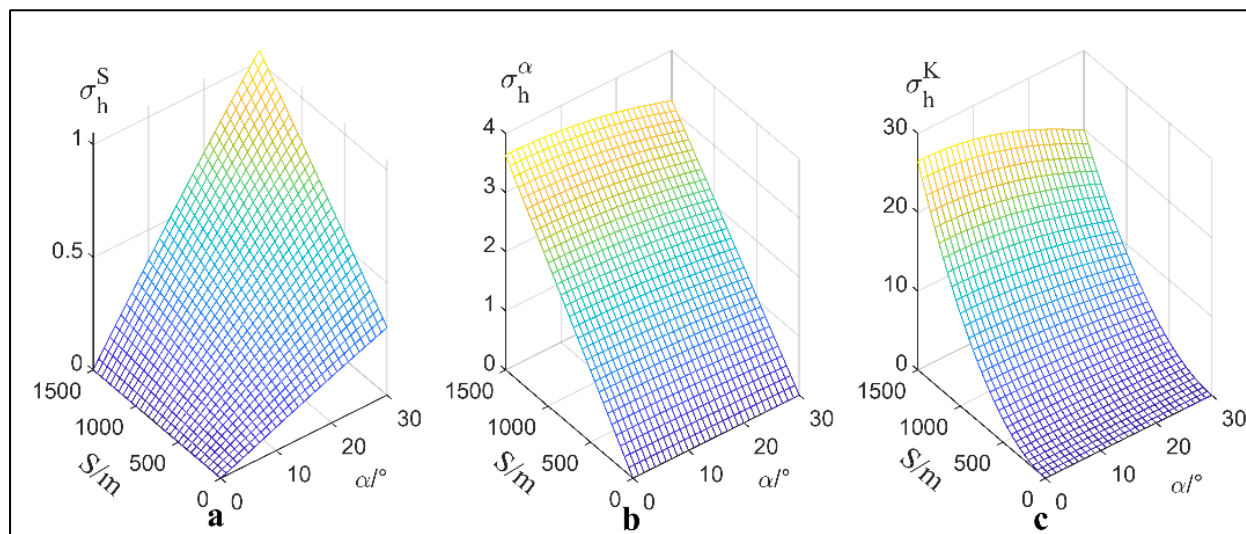
垂直角误差项、大气折光误差项忽略不计



1500m范围三角高程误差

三角高程测量误差根源是大气折光

垂直角误差项显著大于测距误差项



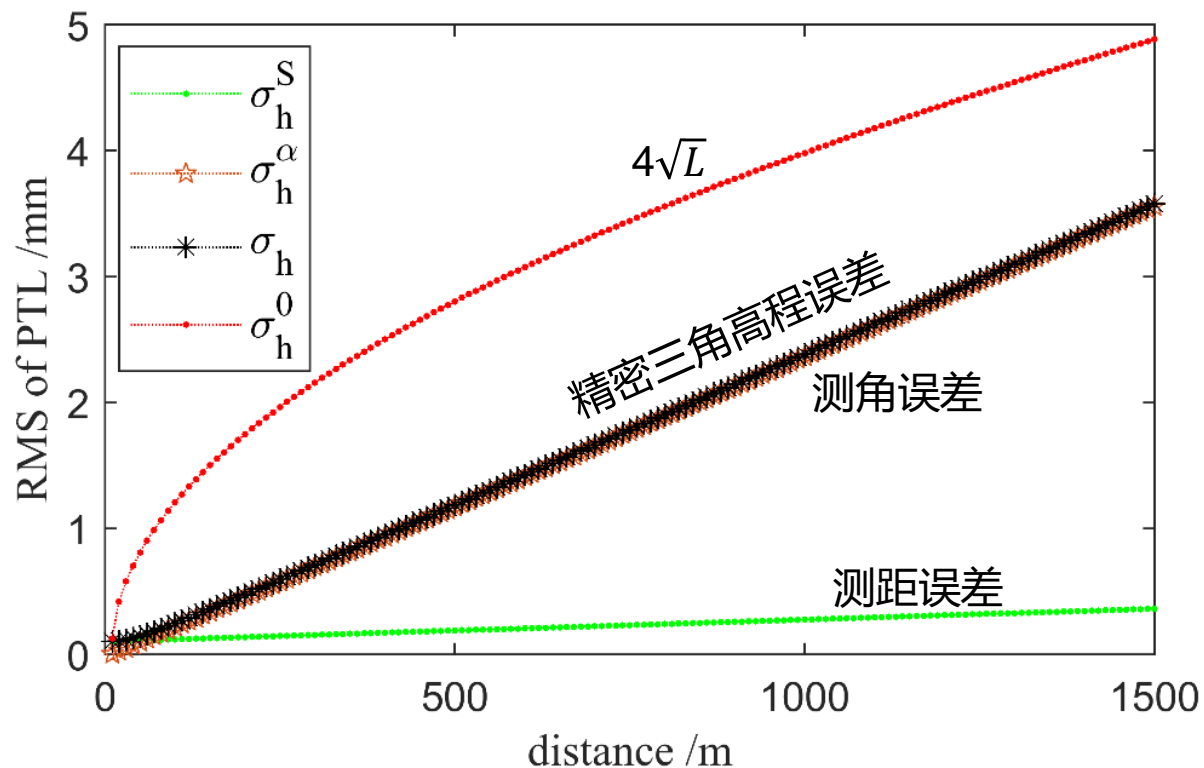
3、关键技术：精密三角高程质量保证

- 精密三角高程测量理论分析

1500m范围精密三角高程误差

高程测量误差根源是垂直角误差项

测距误差项变化平缓、占比较小



1500m范围内精密三角高程测量中误差满足二等水准测量限差要求

3、关键技术：精密三角高程质量保证

- 精密三角高程测量限差与规范

观测边长与测回数的关系

| 边长D/m | 测回数 |
|---------------------|-----|
| $D < 100$ | 2 |
| $100 \leq D < 500$ | 4 |
| $500 \leq D < 800$ | 6 |
| $800 \leq D < 1000$ | 8 |
| $1000 \leq D$ | 10 |

二等三角高程测量各项限差

| 类别 | 限差值 |
|----------|---------------|
| 指标差 | 4" |
| 指标差较差 | 4" |
| 竖直角较差 | 4" |
| 测距较差 | 5mm |
| 测段高差不符合值 | $4\sqrt{L}mm$ |

3、关键技术：智能全站仪GeoCOM开发

- 中纬全站仪GeoCOM开发

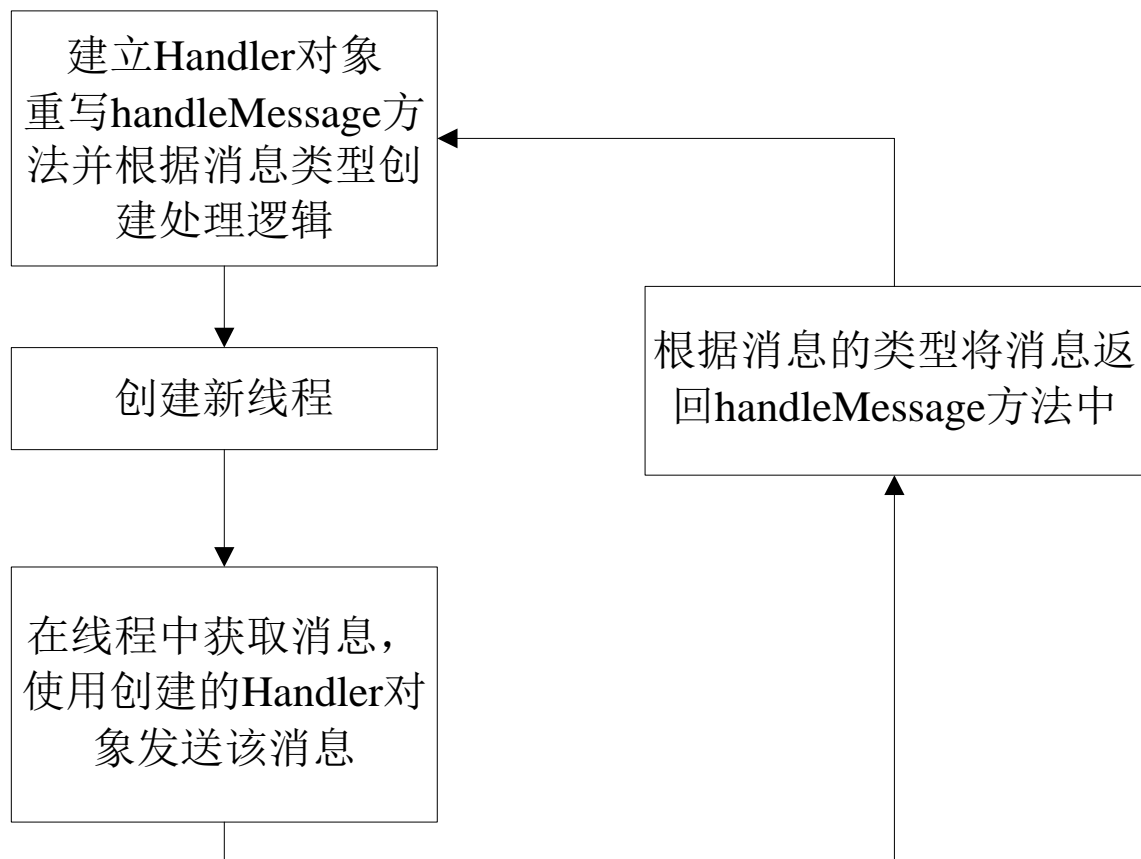
GeoCOM是中纬全站仪的二次开发接口，其ASCII指令是驱动全站仪测量的命令。

| 请求码 | 应答码 | 含义 |
|-----------------------------|---------------------------------------|--------------|
| %R1Q,17021:eTargetType | %R1P,0,0:RC | 设置EDM类型 |
| %R1Q,17008:ePrismType | %R1P,0,0:RC | 设置默认棱镜类型 |
| %R1Q,18005:On/Off | %R1P,0,0:RC | 设置ATR模式的开关状态 |
| %R1Q,17019:eMeasPrg | %R1P,0,0:RC | 设置距离测量程序 |
| %R1Q,2020:Mode | %R1P,0,0:RC | 设置EDM测量模式 |
| %R1Q,2026: | %R1P,0,0:RC,Face | 获取当前盘面信息 |
| %R1Q,9037:dHz,dV,0 | %R1P,0,0:RC | 设置自动搜索范围 |
| %R1Q,9028:PosMode,ATRMode,0 | %R1P,0,0:RC | 换面 |
| %R1Q,17017:DistMode | %R1P,0,0:RC,dHz,dV, dDist,DistMode | 测量角度距离 |

3、关键技术：Android程序多线程运行

● Android程序多线程运行

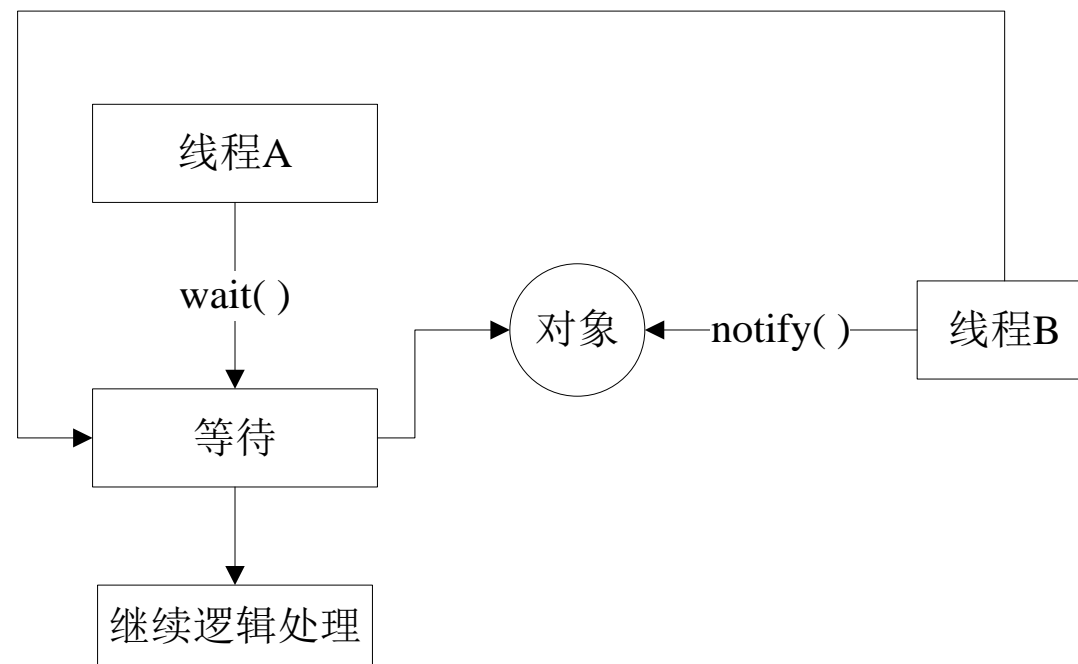
Handler对象即可实现在子线程中更新UI



Handler消息处理机制

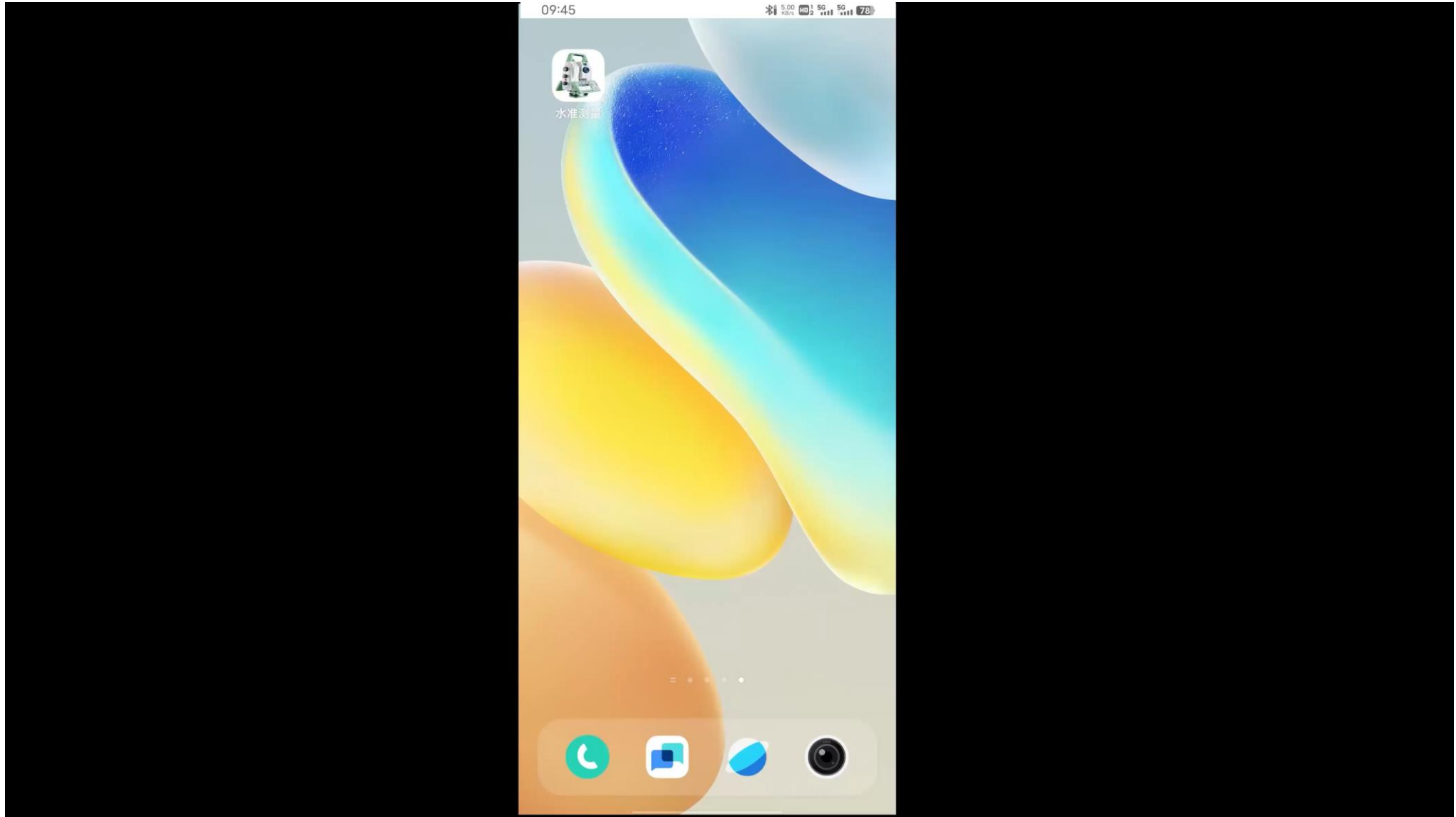
全站仪处理ASCII指令存在时延，发送的指令过多导致先发送的指令被移除，产生测量失败。

线程的等待与唤醒可以很好地解决这个问题



线程等待与唤醒

4、系统展示



5、总结

▶ 融合中间设站和对向观测法建立自由设站精密三角高程测量方法：融合中间设站法、对向观测法的优势，建立了四边形观测网观测模型，削弱球气差、量高误差，实现高精度三角高程测量。

▶ 以智能终端为载体，联合高精度智能全站仪：基于安卓终端开发精密三角高程测量程序，联合高精度智能全站仪可为“大跨度”跨河水准内外业一体化提供解决方案。

我的汇报到此结束!