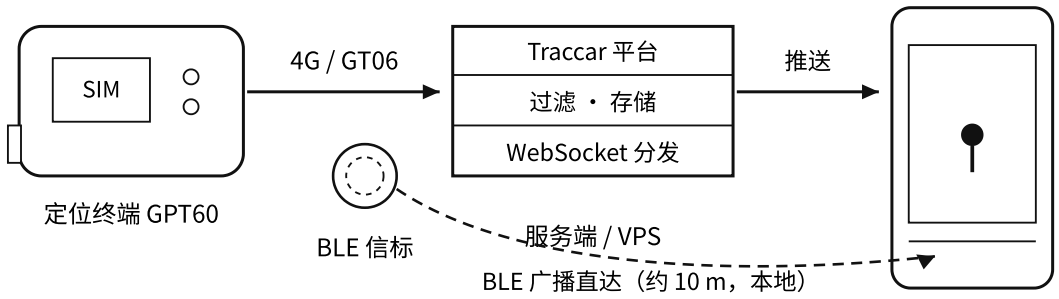
TECHNICAL SPECIFICATION · YZ-TS-2026-01

影踪定位报警系统
技术文档

单向可见架构下的移动目标卫星定位、蜂窝回传与近场接近报警系统

系统设计 · 硬件构成 · 通信协议 · 报警机制 · 部署与验收



系统构成黑线图：定位终端与信标随身携带，位置经 VPS 单向推送至手机，蓝牙报警在本地直达

项目	内容
系统名称	影踪定位报警系统 英文全称：ShadowTrace Positioning Alarm System 缩写：STAS
文档版本	V1.0（设计定稿版）
文档性质	系统级技术文档：供设计评审、开发实施、部署标定与验收测试使用
适用范围	小尺度封闭或半封闭区域（典型尺度 300-500 m）内的单目标定位监视与近距离接近报警
核心构成	便携式 4G 卫星定位终端 · 低功耗蓝牙信标 · 定位接入与分发服务器 · 移动接收终端

设备参数以文中注明的参考机型为准；报警阈值均为参考值，交付前必须按第 11 章完成实地标定。

版权所有：人机Cyborg

版权所有：人机Cyborg

目录与阅读说明

1　系统概述与设计原则　3

2　系统总体架构　4

3　定位终端硬件构成　6

4　卫星定位与辅助定位原理　9

5　定位数据传输链路与协议　10

6　近距离报警子系统　11

7　接收终端与电子地图　14

8　服务端软件结构与处理流程　17

9　时延、误差与性能分析　20

10　安全、隐私与合规设计　21

11　部署、标定与验收　21

12　已知限制与演进路线　22

附录 A　术语表　·　附录 B　报警参数汇总　22

文档约定

监测对象：佩戴或携带定位终端与蓝牙信标的移动目标，是本系统唯一被定位、被上报的一方。**监护方**：持有接收终端的一方，仅接收监测对象的位置与接近报警，自身位置不被采集、不被上报。**平台**：部署于服务器的定位接入、解析、存储与分发软件集合。

全文统一使用以下计量约定：位置坐标采用 WGS-84 坐标系（与开放街图地图数据原生一致，见 7.3 节）；上报间隔指定位终端生成并发送位置报文的周期，定稿值为 5 s；距离指标均指水平面距离；信号强度以 dBm 为单位，数值越接近 0 表示信号越强。

缩略语

缩略语	全称与说明
GNSS	全球导航卫星系统，泛指 GPS、北斗等卫星定位系统的统称
LBS	基于蜂窝基站的网络定位，作为卫星定位失效时的兜底手段
A-GPS	辅助全球定位系统，经蜂窝网络下发星历以缩短首次定位时间
BLE	低功耗蓝牙，本系统用于近距离接近感知的无线技术
RSSI	接收信号强度指示，用于由信号衰减反推近似距离
GT06	一种广泛使用的车载/便携定位终端二进制通信协议
OSM	开放街图（OpenStreetMap），开放许可的地图数据项目

1　系统概述与设计原则

1.1　系统定位

影踪定位报警系统是一套面向小尺度区域的移动目标监视与接近感知系统。系统持续获取一名监测对象在区域内的实时位置，将其单向呈现于监护方的移动终端地图之上；当监测对象与监护方之间的物理距离进入预设的近距离区间时，系统在监护方终端本地触发分级报警。

系统的典型工作尺度为边长 300-500 m 的封闭或半封闭区域，如园区、院落与建筑群。在此尺度下，卫星定位的固有误差（5-10 m）与目标间距处于同一量级，这是本系统采用双层架构的根本原因，详见第 6 章。

5 s	**约 6 s**	**10 m**	**0**
定位上报间隔（定稿值）	端到端位置呈现时延预算	近距离报警判定距离（蓝牙判定）	监护方位置数据的采集量

1.2　三项设计原则

原则一：单向可见

位置数据在系统中只沿一个方向流动：自监测对象流向监护方。监护方终端在协议层面不具备位置上报通道，服务端不设监护方位置的存储结构。该原则是架构层面的数据缺席，而非界面层面的权限设置：任何环节都不存在可供反向追踪监护方的数据。

原则二：粗定位与精报警分工

卫星定位回答「目标大致在哪里」，用于地图呈现；近距离报警回答「目标是否已经足够近」，由同址携带的蓝牙信标在接收终端本地判定，不经过服务器、不依赖卫星精度。两条链路互相独立，任一失效不影响另一功能。

原则三：最小化采集与成熟组件优先

系统只采集功能必需的数据：位置、速度、电量与定位方式标识。平台侧优先采用成熟开源组件（见第 8 章），自研代码集中于过滤、推送与报警环节。

1.3　功能与非功能指标概览

类别	指标
定位	室外开阔精度 5-10 m（GNSS）；上报间隔 5 s；A-GPS 辅助下首次定位数秒至 30 s
呈现	端到端时延预算约 6 s；轨迹连续、无异常跳点
报警	近距离（约 10 m）报警在接收终端本地触发，触发时延小于 1 s；具备防抖与迟滞重置机制
可用性	断网期间终端本地缓存、恢复后补传；接收端地图支持离线瓦片

2　系统总体架构

2.1　分层架构

系统按职责划分为感知层、传输层、平台层与应用层四层。感知层完成定位与近场广播；传输层完成蜂窝回传与互联网分发；平台层完成协议解析、数据过滤、存储与推送；应用层完成地图呈现与本地报警。四层之间以明确的数据接口衔接，任一层的实现替换不影响其他层。

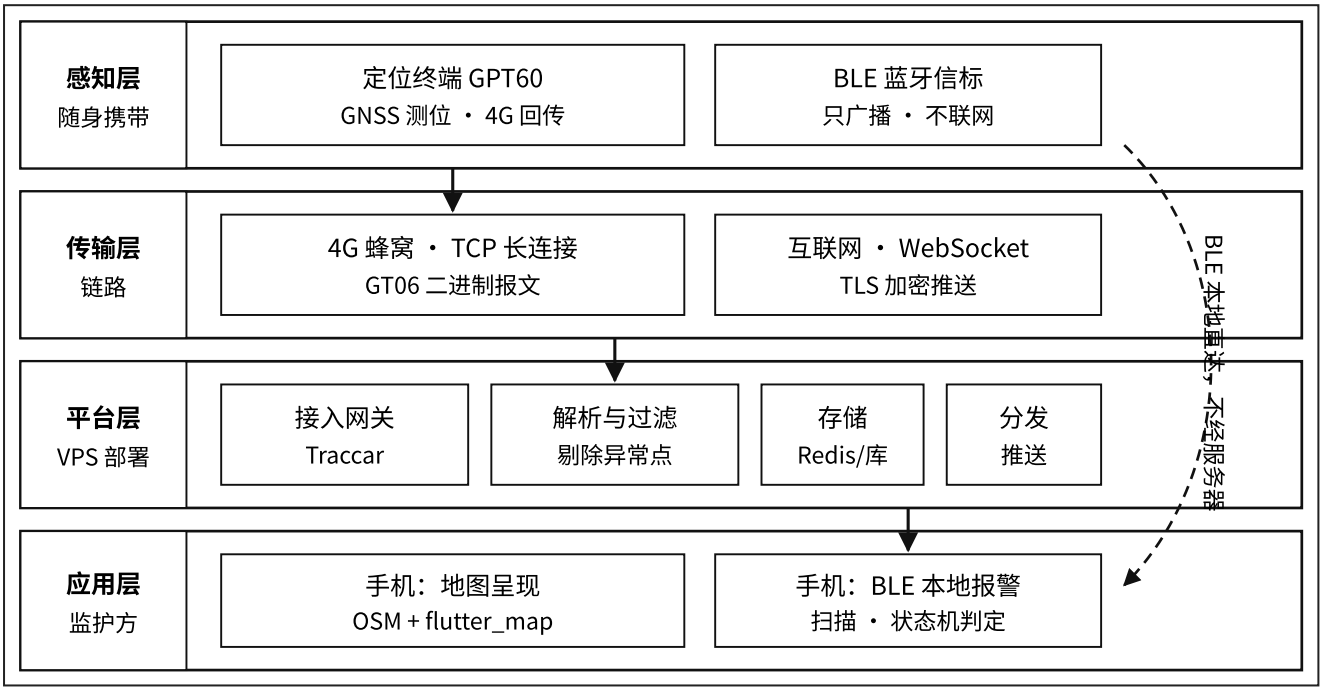


图 2-1　系统分层架构图。实线为位置数据主链路，虚线为蓝牙近场链路；蓝牙链路全程不经过服务器。

2.2　数据流与单向性

位置数据的完整路径为：定位终端 →（4G / TCP）→ 平台接入网关 → 解析与过滤 → 实时分发 →（WebSocket）→ 接收终端地图。接收终端向平台仅发送订阅与连接维持报文，不发送任何位置字段；平台数据库中仅存在监测对象一张位置表。蓝牙信标的广播只在约 10 m 的物理范围内被接收终端直接接收，不进入上述链路的任何一环。

> **设计要点：**单向性由三处共同保证——终端固件不实现监护方定位采集、通信协议不定义监护方位置字段、服务端不提供监护方位置的写入接口。仅靠应用界面隐藏入口不构成单向性。

2.3　物理部署拓扑

系统部署涉及四类物理实体：定位终端与蓝牙信标由监测对象随身携带；平台部署于一台具备公网地址的云服务器（虚拟专用服务器）；接收终端为监护方持有的智能手机。小尺度区域场景下，监测对象数量为单个至数个，平台单机部署即可满足负载，无需集群。

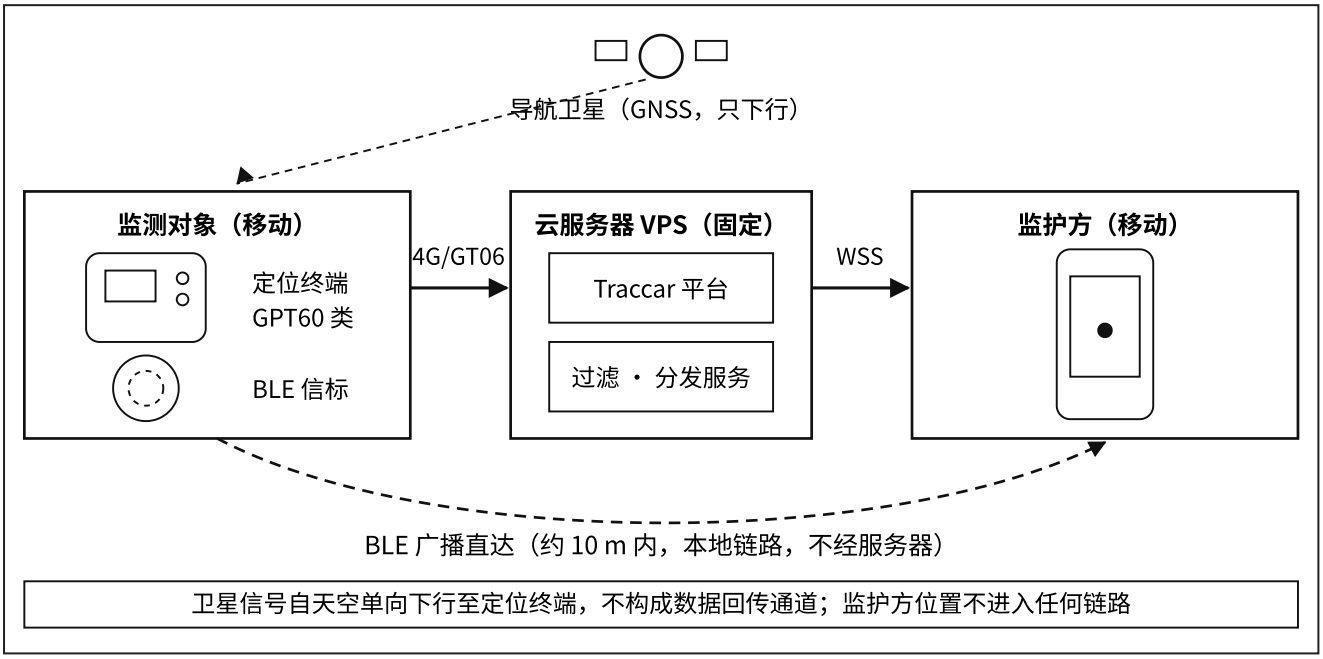


图 2-2　物理部署拓扑图。位置数据经蜂窝网络与互联网两跳到达接收终端；近场感知由蓝牙广播在本地直达。

2.4　工作时序概览

1. **开机注册：**定位终端上电后连接平台，发送含设备标识（IMEI）的登录报文，平台校验白名单后建立会话。
2. **定位与上报：**终端完成卫星定位后，每 5 s 发送一帧位置报文；30 s 发送一次心跳以维持会话。
3. **解析与分发：**平台解析报文、过滤异常点、写入存储，并立即经 WebSocket 推送至已订阅的接收终端。
4. **呈现与感知：**接收终端更新地图标记；与此同时持续扫描蓝牙广播，信号强度越过标定阈值时在本地触发报警。
5. **离线判定：**平台超过 90 s 未收到某终端心跳时将其标记为离线，接收端将对应标记置灰并标注最后位置时间。

3　定位终端硬件构成

3.1　参考机型与选型依据

定位终端选用面向人员携带的便携式 4G 定位设备，参考机型为 Eelink GPT60 一类产品。选型依据有三：其一，整机尺寸与重量满足全天随身携带而不显异物感；其二，通信制式为 4G LTE Cat.1 并支持自定义服务器地址，可接入自建平台而非厂商封闭云；其三，协议生态成熟，GT06 等通用协议可被开源平台直接解析。车载类终端（如 TK905 类）体积与重量约为其三至四倍，且部分型号依赖车辆电源，不适用于人员携带场景，故不采用。

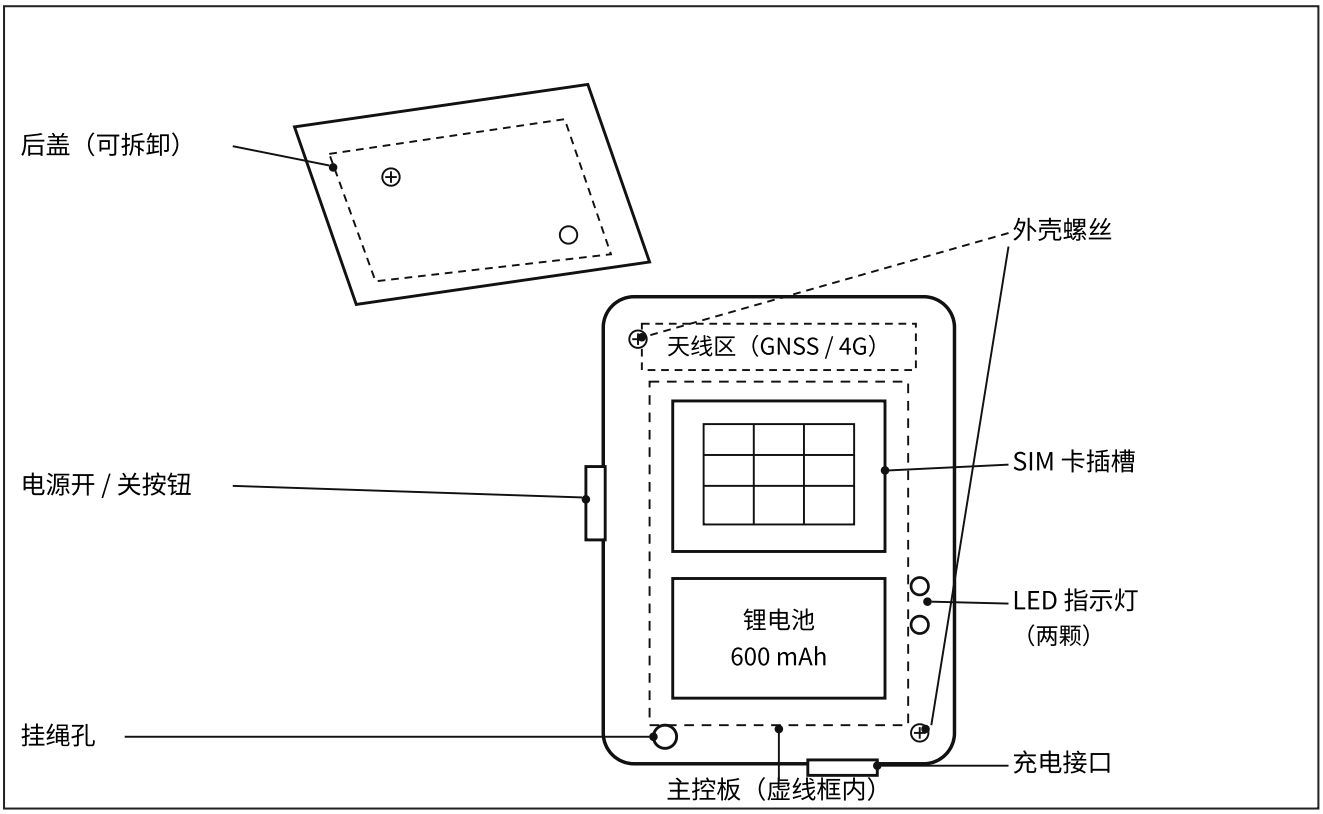


图 3-1　定位终端 GPT60 分解黑线图（背面，后盖打开状态）。引线所指即实物部件：后盖、外壳螺丝、SIM 卡插槽、LED 指示灯、电源开 / 关按钮、挂绳孔、充电接口，以及内部的主控板、天线区与锂电池；逐项说明见 3.2 节。

读图说明：图 3-1 按实物背面绘制，后盖向左上方打开。看图顺序为：先认后盖与外壳螺丝（怎么打开），再认 SIM 卡插槽与电池（怎么装卡、供电），最后认 LED、电源按钮与挂绳孔（怎么判断状态、怎么开关机、怎么固定）。每个部件是什么、干什么用，在下一页 3.2 节逐项说明。

3.2 部件逐项介绍（对照图 3-1）

部件	是什么	干什么用
后盖与外壳	机身背面的可拆卸盖板，与前壳以卡扣和螺丝合为整机外壳	保护内部电路；打开后盖才能换卡、看电池。日常使用保持闭合，盖不严会影响防水防尘与佩戴牢固度
外壳螺丝	固定后盖与机身的小螺丝，位于后盖与机身四角（图 3-1 中两处引线分别指向后盖螺丝孔与机身螺丝）	把后盖锁紧在机身上，防止行走震动使盖板松脱、电池与 SIM 卡接触不良。拆装须用对应小螺丝刀，丢失后盖板只能靠卡扣固定，不可靠
SIM 卡插槽	机身背面的卡座，插入 Nano-SIM 物联卡，卡座金属盖可开合锁定	装入物联卡后终端才能连上 4G 网络回传位置。无卡、无流量或卡接触不良时，终端只定位不上报，平台侧表现为设备离线
天线区	机身上部内侧的 GNSS 与 4G 天线布置区域（虚线框示意，位于主板上）	GNSS 天线接收卫星信号、4G 天线收发蜂窝信号。佩戴时该侧应朝外、朝上，避免被金属物或人体完全遮挡，否则定位变慢、精度变差
主控板	整机的电路主板（图 3-1 虚线框范围），其上集成主控 MCU、GNSS 模块与 4G 模块	主控负责调度：读取 GNSS 算出的坐标、按 5 s 周期组装 GT06 报文、经 4G 模块发出。GNSS 模块只测位，4G 模块只回传与辅助定位，分工见第 4 章
锂电池	主板下方的可充电锂电池，参考容量 600 mAh	整机唯一电源。5 s 上报下续航约 5-8 h（见 9.2 节），使用前须充满；电量百分比随位置报文一并上报，监护方据此判断续航余量
LED 指示灯	机身背面的两颗小指示灯，分别对应定位与网络状态（以厂商说明为准）	不开手机也能现场判断终端是否正常：闪烁规律表示搜星中、已定位、无网络等状态。装入携带物前应先看灯确认已定位、已联网
电源开 / 关按钮	机身左侧边的实体按键	长按开机或关机。开机后终端自动搜星、联网、登录平台，无需其他操作；误关机即停止上报，平台 90 s 后判定离线
挂绳孔	机身下角的穿绳小孔	穿挂绳后可挂佩于颈部或固定在书包、衣物上，防止终端在活动中滑落丢失。固定时注意不要让挂绳或衣物盖住天线区
充电接口	机身底边的充电触点 / 接口	连接充电线或充电座为锂电池充电。充电时 LED 常亮或变色表示状态（以厂商说明为准），充满后再开始一次完整监视任务

3.3 主要参数与采购核验

参数	参考机型指标	对本系统的意义
外形 / 重量	约 60 x 45 x 19 mm / 约 40 g	可置于口袋或挂佩，不影响正常活动
电池	600 mAh 锂电池	5 s 上报下支撑一个工作时段，使用前须充满
蜂窝制式	4G LTE Cat.1，Nano-SIM	覆盖与功耗平衡，物联卡即可使用
定位方式	GNSS（GPS + 北斗）+ LBS 兜底	室外精度 5-15 m；室内自动降级（见 4.4 节）
服务器配置	支持短信 / 应用修改服务器 IP 与端口	接入自建平台的先决条件，采购时必须确认

> **采购核验清单：**下单前须向供应商逐项确认——（1）为 4G 版本而非 2G 版本；（2）支持自定义服务器地址与端口；（3）支持国内 4G 频段与 Nano-SIM。三项缺一，终端无法接入本系统平台。

3.4 外形与佩戴方式

终端外形约 60 x 45 x 19 mm、整机约 40 g，可置于口袋、挂佩于颈部或固定在书包等携带物上，不影响正常活动。固定时应使机身上部的天线区朝外、朝上，避免被金属物或人体完全遮挡；挂绳孔穿绳固定可防滑落（见图 3-1）。与信标的固定位置应尽量接近，两者同址携带是近场报警成立的前提（见 6.3 节）。开始一次监视任务前，应依次确认：后盖闭合且螺丝锁紧、物联卡已插好、电池已充满、LED 显示已定位且已联网。

版权所有：人机Cyborg

4　卫星定位与辅助定位原理

4.1　分工：测位与回传是两件不同的事

公众常将「4G 定位」理解为由 4G 网络完成定位，此为误解。ShadowTrace Positioning Alarm System（STAS）中三个无线系统分工明确：GNSS 负责计算位置，它只接收卫星下行的微弱信号，不向外发送任何数据；4G 蜂窝网络负责把算出的位置送往服务器，同时承担辅助定位与兜底定位；蓝牙负责 10 m 量级的近场感知。三者不可互相替代。

4.2　GNSS 测位原理

定位终端同时接收多颗导航卫星播发的信号，每颗卫星在信号中注明自身位置与发送时刻。终端以光速乘以信号传播时延得到与每颗卫星的距离（伪距），四个以上距离方程联立即可解算出终端的三维坐标与时钟偏差。参与解算的卫星越多、几何分布越分散，结果越稳定；建筑物遮挡与反射（多路径效应）是城市与园区环境中误差的主要来源。

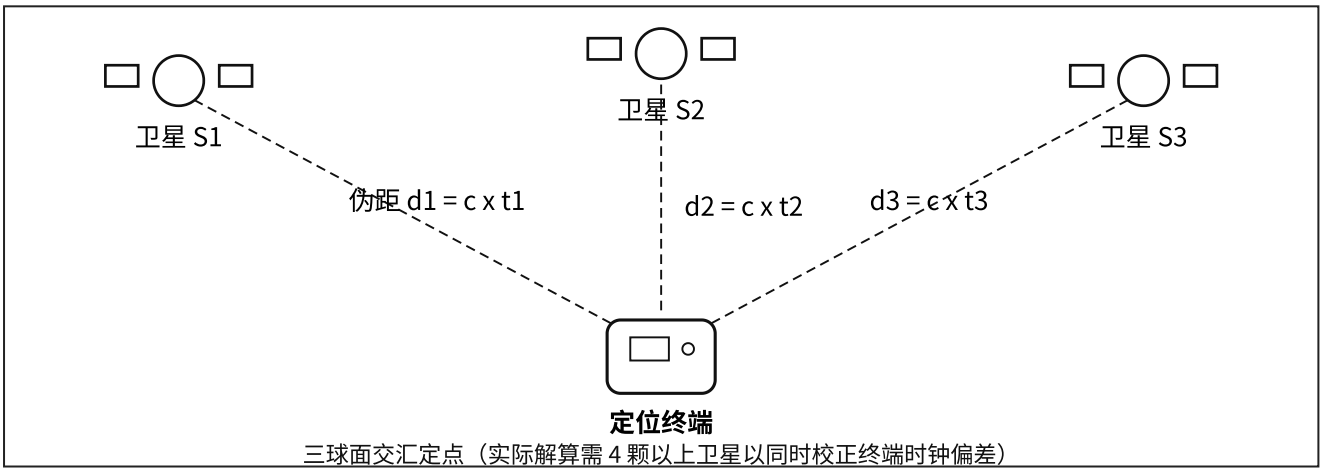


图 4-1　GNSS 伪距定位原理示意图。距离来自信号传播时延，而非信号强度。

4.3　A-GPS 辅助与冷启动

终端在完全无先验信息时开机（冷启动），需先从卫星信号本身解调星历，首次定位可达 30 s 以上。A-GPS 通过 4G 网络预先下发星历与概略位置，使终端跳过解调环节，数秒内即可完成首次定位。本系统的终端在开机入场阶段依赖此机制缩短就绪时间。

4.4　LBS 兜底与降级规则

当终端进入建筑物内部、地下空间或高楼夹缝时，卫星信号衰减至不可用，终端自动改用 LBS：依据所连接基站及邻区信号估算位置，其误差骤增至 100-500 m。平台对 LBS 来源的位置点单独标识，且**不将其用于任何距离判定**（见 8.4 节过滤规则）；地图端在收到 LBS 点或长时间无新点时，应呈现「信号弱 / 最后已知位置」状态而非将跳变的点直接连线，以避免误导监护方。

5　定位数据传输链路与协议

5.1　链路构成

回传链路采用「TCP 长连接 + 二进制协议」而非 HTTP 轮询：终端与平台网关建立一条长期保持的 TCP 连接，位置报文以二进制帧直接发送，连接开销与报文体积均最小，适合 5 s 一次的高频小报文场景。平台至接收终端一段采用 WebSocket 长连接推送，服务端有新位置即主动下发，避免客户端轮询带来的时延与电量浪费。

5.2　GT06 帧结构

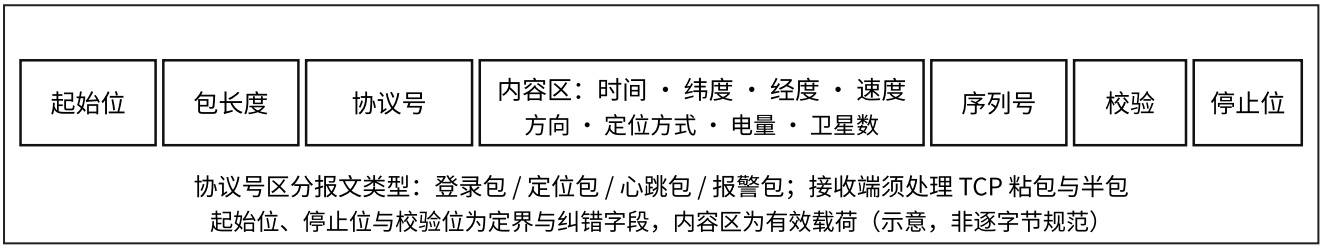


图 5-1　GT06 类协议定位报文帧结构草图（示意，非逐字节规范；实现以协议手册为准）。

5.3　会话生命周期

阶段	行为
登录	终端发送含 IMEI 的登录包；网关查白名单，命中则回执并登记会话「设备标识 → 连接」
定位上报	每 5 s 一帧定位包；网关解析后交过滤模块，合格点立即进入分发通道
心跳	每 30 s 一帧心跳包；超过 90 s 无心跳判定离线，接收端标记置灰
断网缓存	无蜂窝信号时终端本地缓存位置帧，恢复后按时间戳顺序补传；补传点只入库绘制轨迹，不触发实时呈现跳变
重连	连接中断后终端自动重拨并重新登录；网关以设备标识幂等登记，避免重复会话

5.4　平台侧推送格式

平台向接收终端推送结构化 JSON，每条消息对应一个位置点。接收终端仅凭该消息更新地图标记，不作二次坐标转换（坐标系一致性见 7.3 节）。

```
{"deviceId":"stas-001","lat":38.04231,"lng":114.51482,
 "time":1731480000,"speed":1.4,"course":86,
 "source":"GNSS","battery":78}
```

字段说明：source 标识定位来源（GNSS / LBS），LBS 点在界面上须区别呈现；battery 为终端剩余电量百分比，供监护方判断续航余量。

6　近距离报警子系统

6.1　为何不用卫星定位判定近距离

在小尺度区域内，GNSS 的 5-10 m 误差与 10 m 报警距离同量级：以两点间卫星定位距离判定接近，会同时产生漏报（实际已接近而测距偏大）与误报（定位漂移使测距瞬间变小）。因此 STAS 将近距离判定与卫星定位彻底解耦，改由物理上只在近距离有效的蓝牙信号承担：信号本身传不到远处，这一物理约束即是最可靠的判定依据。

6.2　BLE 信标与 RSSI 测距原理

与定位终端同址携带的 BLE 信标以固定间隔（典型 350-1000 ms）广播含固定标识的数据包，不建立连接。接收终端在后台周期扫描，测得每个广播包的 RSSI。自由空间中 RSSI 随距离按对数规律衰减，距离越近衰减越小；据此可由 RSSI 阈值反推近似距离。人体遮挡、墙体与佩戴朝向会使同一距离下的 RSSI 波动约 ±6-10 dB，故阈值只能给出「进入约 10 m 区间」的判定，不能给出精确距离读数。

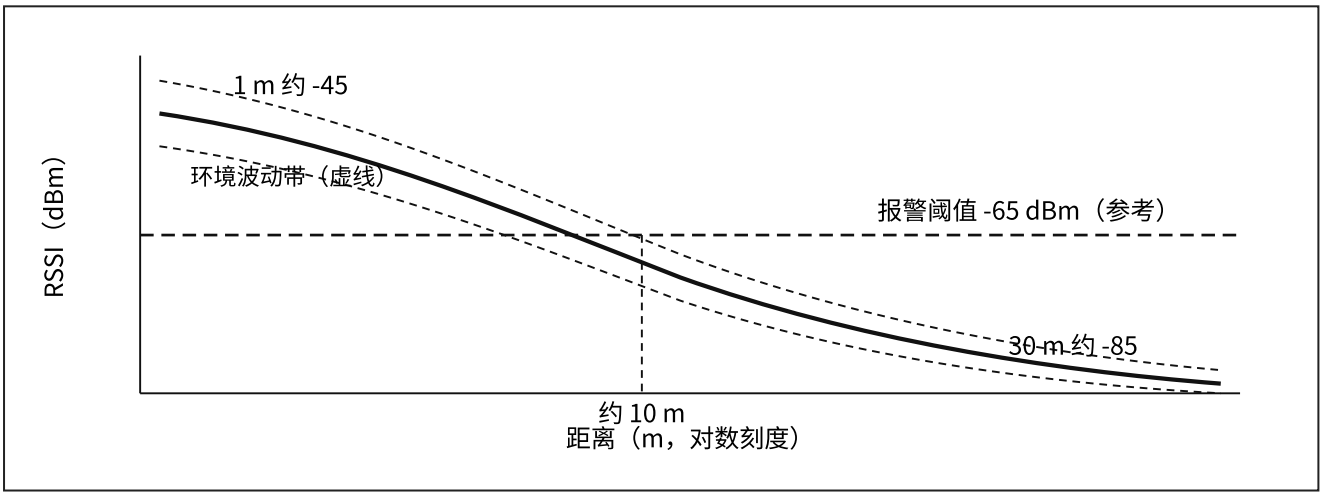


图 6-1　RSSI-距离衰减关系示意图。中间曲线为典型值，上下虚线为环境波动带；阈值线与曲线的交点即报警距离。

6.3 信标选型

信标选用纽扣式 BLE 广播器：直径约 30 mm，纽扣电池供电，续航数月量级，发射功率与广播间隔可配置。其与定位终端分工独立、互不供电，即使定位终端电量耗尽，近场报警仍可在信标续航期内工作——这是双设备分离设计带来的可用性收益。

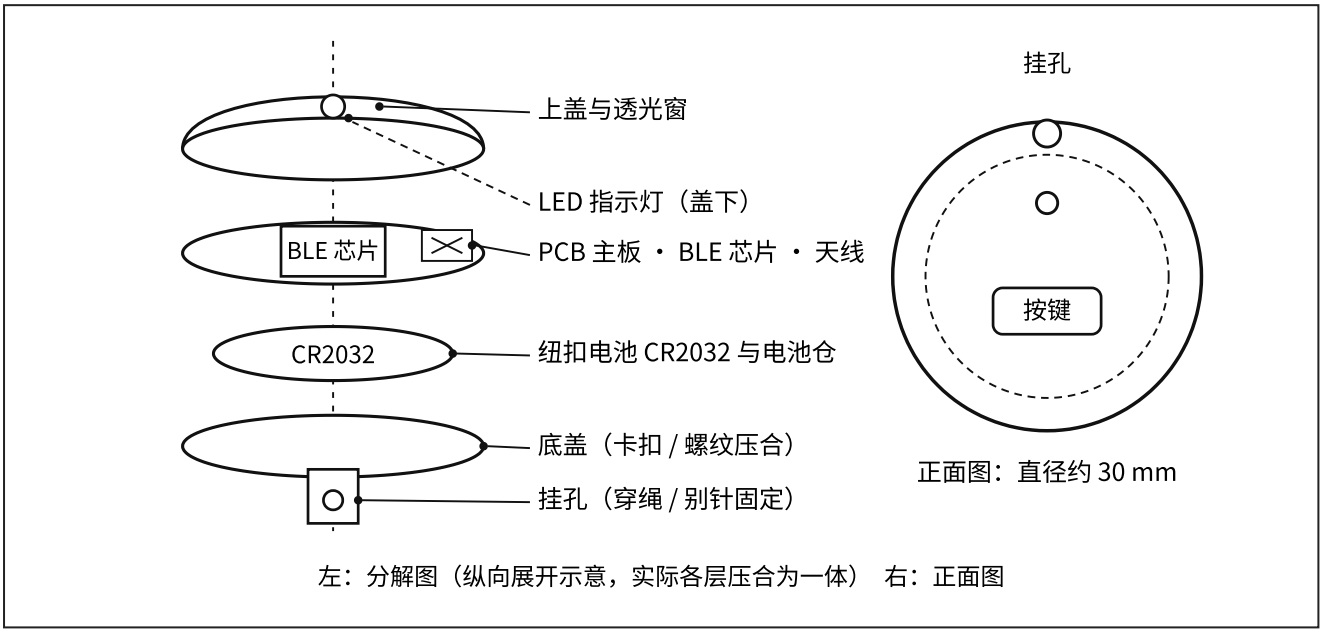


图 6-2　BLE 蓝牙信标分解黑线图（左）与正面图（右）。信标只广播、不联网；各部件是什么、干什么用，见本节下文逐项介绍。

信标部件逐项介绍

- **上盖与透光窗：**信标外壳的上半部分，顶部留有一小块透光区。它既保护内部电路，又让 LED 的光透出来；外壳多为塑料件，无天线外置。
- **LED 指示灯：**位于上盖下方的小指示灯。广播、配对或低电量时以闪烁提示，平时可关到最暗或关闭以省电——它只是状态提示，不参与测距。
- **PCB 主板与 BLE 芯片：**信标的电路板，核心是一颗低功耗蓝牙芯片。它按固定间隔（典型 350-1000 ms）把含固定标识的广播包发出去，不与任何设备建立连接。
- **天线：**主板边缘的板载天线（图 6-2 中打叉小框示意），负责把广播信号辐射出去。金属物贴住信标会明显压低信号，固定时应让信标外露。
- **纽扣电池与电池仓：**一颗 CR2032 纽扣电池压在电池仓内供电。因广播功耗极低，一颗电池可工作数月；电量低时广播变弱、有效距离缩短，应整场活动前检查。
- **底盖与挂孔：**外壳下半部分，与上盖以卡扣或螺纹压合，更换电池时从此处打开。底盖延伸出的小耳带挂孔，可穿绳、别针或背胶固定到携带物上，与定位终端同址携带。
- **按键：**正面小按键，用于开关机、切换广播模式或恢复出厂。部署时按下确认开始广播后即可固定，不再操作。

6.4 报警状态机与防抖设计

单次 RSSI 采样越过阈值不直接报警。接收终端对扫描结果先做滑动平均，再经三态状态机判定：连续多次采样稳定越过阈值才进入报警态；进入报警态后，须 RSSI 持续回落至重置线以下才退出。触发线与重置线之间的迟滞区间，消除了目标在报警距离边缘徘徊时的反复触发。

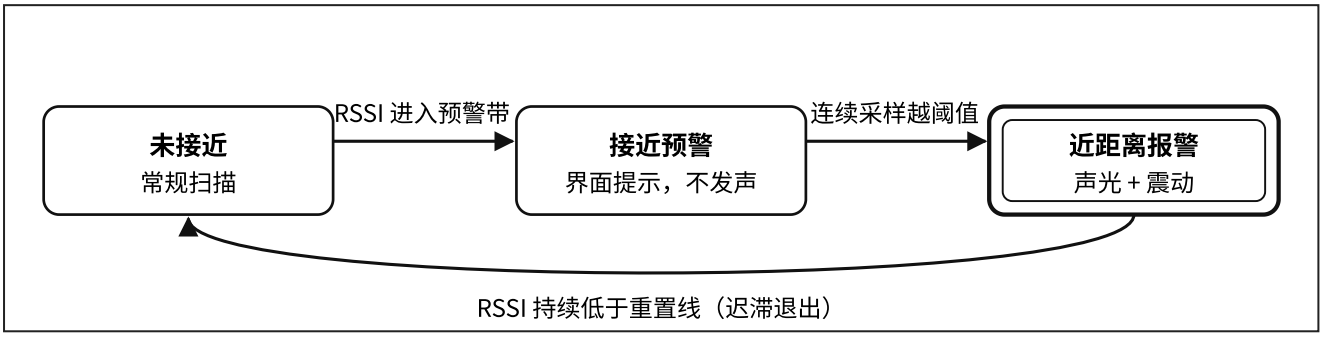


图 6-3　近距离报警状态机。判定全部在接收终端本地完成，不依赖服务器与网络连通性。

参数	参考值	说明
预警带	约 -75 dBm 起	对应约 15-25 m，仅作界面弱提示
报警阈值	约 -65 dBm	对应约 10 m；以实地标定结果为准（第 11 章）
触发确认	连续 3 次采样达标	抑制单点毛刺造成的误报
重置条件	低于阈值 8 dB 并持续 5 s	迟滞退出，防止边缘抖动反复报警
报警时延	小于 1 s（本地判定）	与地图链路约 6 s 的呈现时延形成互补

> **权限说明：**主流移动操作系统要求应用持有定位权限方可执行蓝牙扫描，此为系统级接口约束。STAS 接收终端持有该权限仅用于开启扫描功能，不据此采集监护方位置（见 7.4 节方案一）；权限用途应在应用内向使用者明示。

7　接收终端与电子地图

7.1　终端形态与技术栈

接收终端为运行于智能手机的跨平台应用，采用 Flutter 框架单代码库构建 Android 与 iOS 两端。应用由三部分构成：地图视图（呈现监测对象位置）、推送客户端（维持 WebSocket 订阅）、报警模块（蓝牙扫描与状态机）。三者相互独立，地图瓦片加载失败不影响报警，推送中断不影响已缓存地图的浏览。

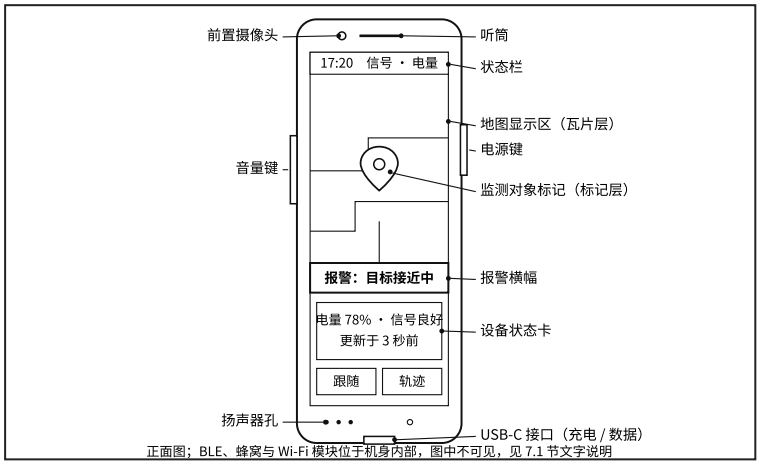


图 7-1　接收终端（智能手机）正面黑线图。屏幕内为应用界面分区（状态栏、地图区、标记、报警横幅、状态卡），侧边与下沿为实体键与接口；机身内部模块图中不可见，见 7.1 节逐项介绍。

手机部件与界面分区逐项介绍

- **听筒、前置摄像头：**听筒是报警提示音的发声通道之一；前置摄像头与本系统无关，应用不调用。
- **状态栏：**屏幕最上方一行，显示时间、蜂窝信号与手机电量。它属于手机系统，不是应用数据；判断位置新鲜度要看状态卡里的「更新于 x 秒前」，不要看状态栏时间。
- **地图显示区：**屏幕主体，渲染 OSM 瓦片底图（瓦片层）；离线时显示预缓存瓦片。
- **监测对象标记：**地图上唯一的位置标记（标记层），每收到一条 WebSocket 推送就平滑移动到新坐标；超过 15 s 无新点时置灰并标注最后位置时间。
- **报警横幅：**屏幕中下部的提示条，平时隐藏；BLE 状态机进入报警态时弹出，并同时触发提示音与震动。它由本地扫描触发，不依赖地图数据是否到达。
- **设备状态卡：**横幅下方的信息卡，显示定位终端的剩余电量、定位来源（GNSS / LBS）与数据更新时间，是监护方判断「位置可不可信、终端还能撑多久」的依据。
- **跟随 / 轨迹按钮：**底部操作区。「跟随」让地图中心自动跟住标记，「轨迹」回看历史路线；手动拖动地图后自动退出跟随，避免视角与操作打架。
- **电源键、音量键：**机身侧边实体键。电源键锁屏后应用须靠前台服务 / 后台蓝牙模式保活（见 7.5 节）；音量键决定报警提示音大小，部署时应确认音量未被静音。
- **扬声器孔、USB-C 接口：**机身下沿的扬声器孔是报警声的外放出口，勿被手机壳堵死；USB-C 口用于充电与数据连接，与定位链路无关。
- **机身内部模块（图中不可见）：**BLE 模块在后台扫描信标广播并测 RSSI，是 10 m 报警的硬件前提；蜂窝 / Wi-Fi 模块维持与 VPS 的 WebSocket 长连接。

7.2 地图呈现规则

- **初始视图：**应用打开即定位至预设区域中心（部署时标定），缩放级别 17-18 级，一屏覆盖整个监测区域。
- **跟随模式：**地图中心随监测对象标记移动；使用者手动拖动后自动切换为自由查看，避免视角与操作相互争夺。
- **平滑移动：**相邻两点（间隔 5 s）之间以约 1 s 线性插值滑动呈现。须注意插值仅改善观感，不降低真实时延，界面应同时显示数据时间。
- **失效呈现：**超过 15 s 无新点时标记置灰并标注「最后位置 · xx 秒前」；LBS 来源点以区别样式呈现并附精度提示。

7.3 地图数据源选型：免注册的开放方案

STAS 采用开放街图（OpenStreetMap, OSM）数据与 Flutter 地图组件 flutter_map 作为地图底座。选型理由有三：其一，OSM 无需开发者注册、实名认证与密钥申请，部署门槛为零，特别适合由监护人协助未成年使用者完成实名类注册存在障碍的场景；其二，OSM 数据原生采用 WGS-84 坐标系，与定位终端输出一致，全链路免去坐标系转换这一常见误差源；其三，瓦片可预缓存至终端本地，契合区域内蜂窝信号不均的现实条件。

对比项	OSM + flutter_map（本系统）	商业地图 SDK（备选）
注册与密钥	无需注册、无需密钥	需开发者实名认证后申请密钥
坐标系	WGS-84，与终端原始坐标一致	国内服务多为 GCJ-02，须全链路转换
离线使用	区域瓦片预缓存，体积数 MB 级	离线包能力因厂商而异
细节与限流	建筑与道路轮廓满足小区域使用；公共瓦片服务有调用限流，大规模使用须自建瓦片服务	地点信息更丰富，配额内稳定

后续如需切换商业地图，仅替换应用层地图组件与坐标转换环节，感知层、传输层与平台层不受影响——这是分层架构在地图选型上的直接收益。

7.4 接收端定位策略：方案一（不定位）

接收终端采用「方案一」：应用不请求自身定位结果用于业务逻辑，不在地图上绘制监护方位置，服务端不存在监护方位置字段。其依据即 1.2 节的单向可见原则：监护方判断自身与监测对象的相对关系，依靠地图上监测对象的绝对位置与周边建筑、道路参照完成，无需系统知晓监护方坐标。

作为可选扩展，「方案二」允许应用在本机绘制监护方位置标记以便直观比对，但该坐标只参与本地渲染、禁止进入任何网络报文。两种方案共用同一代码路径，差异仅为一个本地开关；默认交付配置为方案一。

7.5 离线与保活

- **离线地图：**部署阶段在有网环境预下载监测区域 15-18 级瓦片并缓存，区域尺度下数据量约数 MB；无网时底图照常显示，位置点在连接恢复后继续推送。
- **后台保活：**Android 端以系统前台服务维持 WebSocket 与蓝牙扫描，iOS 端使用系统后台蓝牙模式；两者均须引导使用者将应用加入电池优化白名单，否则锁屏后扫描与推送会被系统回收。

8　服务端软件结构与处理流程

8.1　组件划分

平台部署于一台云服务器，以容器方式运行开源定位平台 Traccar 承担协议接入与设备管理，自研服务承担过滤、分发与业务接口。Traccar 内建 GT06、JT808 等主流协议解析与轨迹存储，直接采用可避免自研二进制解析的兼容风险；自研代码不接触原始字节流，起点为解析后的标准位置对象。

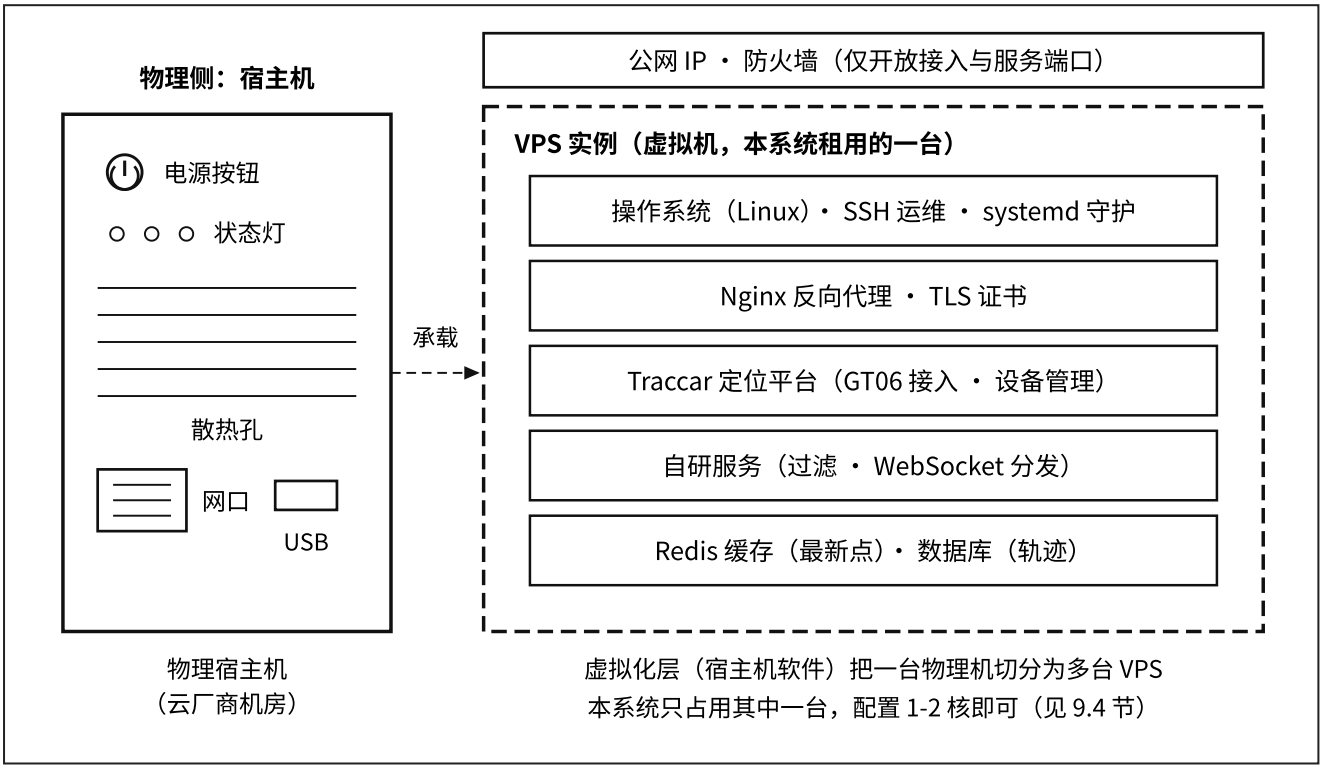


图 8-1　服务端 / VPS 构成黑线图。左为物理宿主机正面（电源按钮、状态灯、散热孔、网口、USB 口），右为 VPS 实例内部软件分层；各构成是什么、干什么用，见 8.2 节逐项介绍。

8.2 服务端构成逐项介绍（对照图 8-1）

构成	是什么	干什么用
物理宿主机	云厂商机房里的一台真实服务器，前机面板有电源按钮、状态灯、散热孔、网口与 USB 口（图 8-1 左）	提供真实的 CPU、内存与网络。它由云厂商运维，使用者接触不到实体，只通过网络使用它切分出的 VPS
虚拟化层	宿主机上把硬件切分为多台虚拟机的软件层	把一台物理机切成多台互不干扰的 VPS。本系统只租用其中一台，与同宿主机的其他租户互不可见
VPS 实例	本系统租用的虚拟服务器，有独立的公网 IP、操作系统与磁盘（图 8-1 右虚线框）	平台的实际运行场所。单目标场景 1-2 核即可；VPS 停机时位置链路中断，但 BLE 本地报警不受影响
公网 IP 与防火墙	VPS 对外的网络地址与端口过滤规则（图 8-1 顶部横条）	终端与手机靠它找到平台；只放行 GT06 接入、WebSocket 与 SSH 端口，其余一律关闭
操作系统与运维	VPS 内的 Linux 系统、SSH 远程登录与 systemd 服务守护	承载全部软件进程；服务异常退出时由 systemd 自动拉起。运维只经 SSH 进行，不开放图形桌面
Nginx 反向代理	位于服务最前面的 Web 入口与 TLS 终结层	对外提供加密的 WebSocket（WSS）与管理页面，把外部请求转发给内部服务，避免内部端口直接暴露公网
Traccar 定位平台	开源定位平台软件，以容器方式运行	承担 GT06 接入与解析：校验 IMEI 白名单、把二进制报文解成标准位置对象、维护设备在线状态
自研服务	本系统自写的过滤与分发程序	对位置对象执行 8.4 节过滤规则，合格点立即经 WebSocket 推给已订阅的手机；它不接触原始字节流，起点是 Traccar 解析后的对象
Redis 与数据库	内存键值缓存与关系型轨迹库	Redis 存每台设备最新位置供快速读取；数据库按设备与时间存历史轨迹供回放与验收。系统不设监护方位置表（见 2.2 节）

8.3 处理流水线

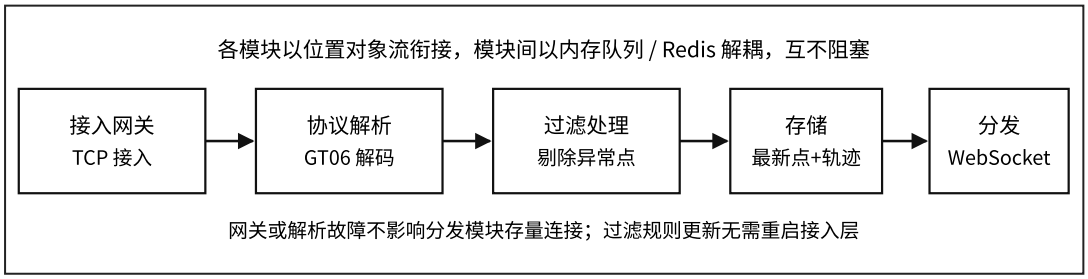


图 8-2　服务端处理流水线。各环节职责单一，故障域相互隔离。

8.4 过滤规则（按执行顺序）

1. **来源过滤：**source 为 LBS 的点只入库备查，不进入实时分发与任何距离相关逻辑。
2. **漂移过滤：**由相邻两点推算的瞬时速度超过合理上限（如步行/奔跑场景取 15 m/s 并留裕量）的点判定为漂移，丢弃且不更新最新点。
3. **时序整理：**补传点按报文时间戳排序入轨迹库；时间戳早于当前最新点的报文不触发实时推送，防止标记回跳。
4. **重复抑制：**静止状态下坐标抖动小于 3 m 的连续点合并呈现，避免标记原地跳动。

8.5 存储设计

最新位置以键值方式存于 Redis（每设备一个键），供分发服务以 O(1) 读取；历史轨迹写入关系型数据库，按设备与时间索引，支撑事后回放与验收测试。系统不设监护方位置表（见 2.2 节）。位置数据保留周期可配置，默认仅保留至当次监视任务结束，结束后由管理员执行清除（见 10.2 节）。

9　时延、误差与性能分析

9.1　端到端时延预算

地图呈现的时延主要由上报间隔决定，传输与处理环节占比很小。下图给出定稿参数下的时延构成：自终端完成一次定位起算，监护方在地图上看到该位置时，信息年龄约为 5.5-6.5 s。监测对象以奔跑速度（约 5 m/s）移动时，该时延对应约 30 m 的空间滞后——此即为近距离判定不能依赖地图距离、必须由蓝牙本地完成（第 6 章）的量化依据。

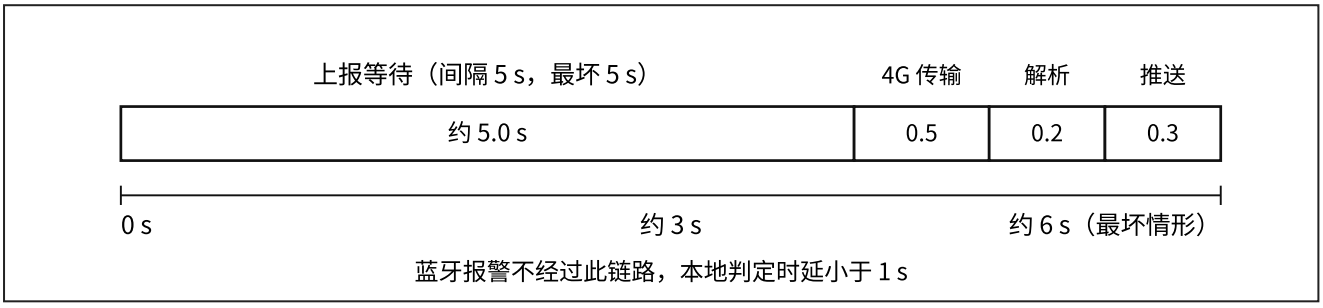


图 9-1　端到端时延预算构成图。优化呈现时延的唯一有效手段是缩短上报间隔，代价为终端功耗上升。

9.2　上报间隔的权衡

上报间隔	最坏呈现时延	奔跑滞后距离	参考机型续航（测算）	结论
3 s	约 4 s	约 20 m	约 3-5 h	实时性好，续航风险高
5 s（定稿）	约 6 s	约 30 m	约 5-8 h	平衡点，满足一个工作时段
10 s	约 11 s	约 55 m	约 10 h 以上	仅适用于低速、低频监视

9.3　误差分级

环节	典型量级	处置方式
GNSS 定位（开阔）	5-10 m	直接用于地图呈现
GNSS 定位（建筑旁/多路径）	10-30 m，偶发漂移	速度过滤剔除突变点（8.4 节）
LBS 兜底	100-500 m	标识来源，不参与判定
BLE 近场判定	约 10 m 区间判定	阈值标定 + 防抖状态机（6.4 节）

9.4　平台负载

单目标场景下平台每秒处理的位置报文不足一条，单机云服务器（1-2 核）负载可忽略；架构横向扩展路径为接入网关无状态化与按设备分片，数百目标以内无需调整。真正的扩展瓶颈在公共地图瓦片服务限流，已由离线缓存设计规避。

10　安全、隐私与合规设计

10.1　安全机制

- **设备准入：**网关以 IMEI 白名单准入，未登记设备不予建立会话；服务器地址仅可经终端本地配置修改。
- **通道保护：**平台至接收终端的 WebSocket 应运行于 TLS 之上并校验订阅凭证；管理后台启用强口令与访问来源限制。
- **完整性：**GT06 帧自带校验字段，网关校验失败即丢弃整帧，防止噪声数据污染轨迹。

10.2　隐私设计

隐私保护在本系统中首先是架构问题，其次才是策略问题：单向数据流使监护方位置「不存在」而非「被保护」（2.2 节）；采集字段限于功能必需的最小集合；位置数据默认短周期保留，监视任务结束后清除轨迹库与缓存；定位终端与信标的佩戴须事先取得监测对象本人（涉未成年人的，须其监护人）的明确知情同意，并明确告知采集范围与用途。

10.3　合规提示

地图与账号类服务的实名要求、个人信息处理规则因部署地法规而异。采用免注册的开放地图方案可规避开发者实名环节，但不免除数据处理方的告知与同意义务；正式部署前应按部署地现行《个人信息保护法》等规定复核数据处理流程，本文件不构成法律意见。

11　部署、标定与验收

11.1　部署步骤

1. 云服务器以容器部署 Traccar，开放 GT06 接入端口与 WebSocket 服务端口，配置设备白名单。
2. 定位终端插入物联卡，按厂商说明以短信指令将服务器地址、端口与上报间隔（5 s）写入终端。
3. 接收终端安装应用，预缓存监测区域离线瓦片，配置平台地址与订阅凭证，完成电池白名单设置。
4. 信标与定位终端同址固定于监测对象携带物上，记录信标标识与终端的配对关系。

11.2　RSSI 阈值实地标定（必做）

在实际监测区域的典型环境（开阔地、建筑旁、室内各至少一处）进行标定：标定人员持接收终端，监测对象持信标在 5 m、10 m、15 m、20 m 四个距离点各静止采样 30 s，记录 RSSI 均值与波动；以 10 m 处均值作为报警阈值，以 15-20 m 处均值校核预警带。标定结果填入附录 B 并写入应用配置，环境发生显著变化（如新增建筑遮挡）后应重新标定。

11.3 验收指标

验收项	合格标准
轨迹连续性	连续移动 3 min 无异常跳点，时延不超过 6.5 s
近距离报警	标定环境下进入 10 m 区间，报警在 1 s 内触发；15 m 以外无误报（连续观察 5 min）
离线呈现	终端离线后 15 s 内呈现最后位置与时间标注
单向性核查	抓取接收端全部出站报文与平台全部数据表，确认不存在监护方位置字段

12 已知限制与演进路线

限制	影响	演进路线
室内无 GNSS 信号	室内仅有 LBS 粗位置与蓝牙感知	重点建筑内部署 BLE 定位基站
续航与间隔绑定	5 s 上报下续航约一个工作时段	运动自适应上报：静止降频、移动恢复 5 s
公共瓦片限流	大规模或高频刷新时底图可能受限	自建区域瓦片服务或切换商业地图（架构已预留，见 7.3 节）
终端防拆	成品终端不具备防拆与防屏蔽检测	换用带震动/光感传感器型号，或软件异常检测补偿
自研终端自由度	成品终端固件不可定制	远期评估 ESP32-S3 + 4G + GNSS 模组自研，平台不变

附录 A 术语表（节选）

信息年龄：呈现位置距其真实产生时刻的时间差。**迟滞**：触发与退出采用不同阈值以避免边界抖动。**粘包**：TCP 中多帧合并到达，解析须按帧长切分。**冷启动**：无星历条件下开机定位。

附录 B 报警参数汇总（定稿值与标定留空）

参数	定稿 / 参考值	实地标定结果（填写）
位置上报间隔	5 s	—
BLE 报警阈值	参考 -65 dBm（约 10 m）	
BLE 预警带起点	参考 -75 dBm	
报警重置迟滞	低于阈值 8 dB 持续 5 s	

— 全文完 — 影踪定位报警系统（ShadowTrace Positioning Alarm System, STAS）技术文档 V1.0。标注为「参考」「测算」的数值以实物测试与实地标定为准。

版权所有：人机Cyborg