

## 面向智能交通行业的统一时频解决方案

## 免责声明

本方案内容仅作为我司向客户提供的参考性技术方案，旨在辅助客户进行初步评估与决策。方案中所述信息、配置、指标及效果基于当前已知条件，实际应用中可能因环境、设备、配置或其他因素产生差异。我司不对本方案用于任何研究、教学、转载或超出原定合作范围的用途承担责任。客户在采纳或实施本方案前，应根据自身实际情况进行充分验证与评估，我司对因方案引用或使用而产生的任何直接或间接后果不承担法律或其他责任。

## 目录

第 1 章 需求与现状	6
1.1 时间同步精度分级需求	6
1. 亚微秒级和纳秒级	6
2. 亚毫秒级和微秒级	6
3. 毫秒级	6
1.2 现网典型问题	6
4. 设备代际跨度大	6
5. 授时设备混用、协议栈不统一	7
6. 缺乏统一监控与运维手段	7
7. 安全域划分与时间基准割裂	7
第 2 章 总体设计	7
2.1 设计原则	7
8. 统一基准	7
9. 分级接入	8
10. 平滑演进	8
2.2 总体架构	8
第 3 章 系统架构	9
3.1 核心层 (T830)	9
3.1.1 多参考源与智能选源	9
3.1.2 PTP/NTP 双引擎架构	10
3.1.3 多网口输出	10
3.1.4 守时能力与输出接口	11
3.2 传输层	12
11. 模式 A: PTP BC/TC 主干 (Multicast)	12
12. 模式 B: Unicast PTP (G.8275.2)	12
13. 模式 C: 纯 NTP 模式	12

3.3 接入层.....	13
14. PTP 接入终端.....	13
15. 混合 PTP/NTP 终端.....	13
16. NTP 接入终端.....	13
第 4 章 城市道路交通.....	13
4.1 拓扑结构概述.....	13
4.2 Tier 1: 信控业务 PTP Unicast 单播路径.....	14
4.2.1 路径描述.....	14
4.2.2 参数与精度目标.....	15
4.3 Tier 2/3: 电警 / 视频 NTP 汇聚接入.....	15
4.3.1 拓扑描述.....	15
4. 中心 T830 NTP 输出.....	15
5. 区域 NTP 服务器 (可选) .....	15
6. 终端接入方式.....	15
4.3.2 分级配置示例.....	16
第 5 章 智慧高速.....	16
5.1 三级级联架构.....	16
7. 省中心层.....	16
8. 路段中心层.....	16
9. 站点层 (收费站 / 门架 / 服务区 / 隧道口机房) .....	16
5.2 路段级 T830 统一全线门架时间.....	17
5.2.1 路段拓扑.....	17
5.2.2 多点协同方式.....	17
10. 门架控制器 / 车道控制器.....	17
11. 站内视频/辅助系统.....	18
12. 统一基准说明.....	18
5.3 隧道与屏蔽区的授时与守时.....	18
5.3.1 隧道拓扑.....	18
5.3.2 授时方式.....	18

13. 收费站 T830 上游.....	18
14. 隧道口 / 隧道内设备下游.....	18
5.3.3 守时行为.....	19
5.4 工程配置要点.....	19
15. 省中心 T830 .....	19
16. 路段 T830 .....	19
17. 收费站与隧道.....	19
第 6 章 轨道与车路协同 .....	20
6.1 轨道交通时钟系统架构 .....	20
6.1.1 一级母钟：OCC 中心 T830 .....	20
6.1.2 车站二级母钟与末端时钟 .....	21
1. 信号系统.....	21
2. 电力与继保系统.....	21
3. 弱电系统（PIS / AFC / 视频等） .....	21
6.1.3 传统母钟系统的替代与演进.....	21
6.2 车路协同时钟系统.....	22
6.2.1 车路协同时间域拓扑.....	22
6.2.2 RSU 硬件时间戳接入方式.....	22
第 7 章 典型配置与选型.....	23
7.1 配置分级说明.....	23
7.2 配置清单表.....	23
7.3 多源智能选源算法.....	24
第 8 章 总结.....	24

## 第 1 章 需求与现状

### 1.1 时间同步精度分级需求

智能交通系统内部存在明确的时间同步精度分级需求，可按业务特性划分为：

#### 1. 亚微秒级和纳秒级

- 典型场景：车路协同（V2X）、部分轨道信号系统、精确事件关联与高精度定位融合。
- 要求：端到端时间偏差可控、抖动小，可支撑硬件时间戳和高精度融合算法。
- 实现技术：以 PTP (IEEE 1588v2) 硬件时间戳为主，配合 SyncE、BC/TC 架构。

#### 2. 亚毫秒级和微秒级

- 典型场景：城市信号控制（绿波协调、公交优先）、电子警察/卡口多设备取证、门架计费、路段级事件检测等。
- 要求：同一系统内多设备时间误差在毫秒量级，保证事件顺序和数据对齐。
- 实现技术：PTP（含 Unicast 模式）、高频 NTP 组合。

#### 3. 毫秒级

- 典型场景：视频监控、信息发布、管理平台、办公系统等。
- 要求：时间大体一致，用于日志对齐、人工研判。
- 实现技术：标准 NTP 即可满足。

上述三类需求在同一城市、同一路网内并存，无法用单一精度、单一协议覆盖全部场景，需要通过统一时间基准与分级接入策略进行匹配。

### 1.2 现网典型问题

在全国范围内的城市交管、智慧高速及轨道交通项目中，现网普遍存在以下问题：

#### 4. 设备代际跨度大

- 核心路由器、部分汇聚交换机已支持 PTP；
- 大量存量接入交换机仅支持基本三层转发，不支持 PTP 硬件时间戳或 BC/TC 功能；

- 前端设备（信号机、RSU、门架控制器、摄像机等）支持协议不统一，有的支持 PTP，有的只支持 NTP 或串口对时。

#### 5. 授时设备混用、协议栈不统一

- 同一网络内并存多种授时方案：
  - 各系统自带的小型卫星授时盒子；
  - 厂家自带 NTP 服务器；
  - 直接使用公网 NTP 或互联网时间源。
- 时间源未统一管理，各系统间存在秒级乃至分钟级偏差。

#### 6. 缺乏统一监控与运维手段

- 对上层时间源（北斗、GPS、上级 PTP）的质量缺少可视化监测；
- 对下游 PTP/NTP 客户端的偏差、抖动缺乏集中监控；
- 发生绿波失效、取证争议、计费投诉时，难以快速定位时间同步是否为根因。

#### 7. 安全域划分与时间基准割裂

- 公安网、视频专网、政务网、车路协同专网等存在物理或逻辑隔离；
- 各安全域内往往独立部署授时设备，导致时间基准不一致；
- 缺少在“网络流量互不连通”的前提下实现统一时间基准的工程手段。

综上，现网问题可以归纳为：**精度分级明确、现网条件复杂、时钟源分散、监控手段薄弱。**

## 第 2 章 总体设计

### 2.1 设计原则

本方案的总体设计遵循以下三项原则：

#### 1. 统一基准

- 通过在市级交管中心、高速集团中心、路段中心、轨道 OCC 等关键节点部署 T830 高性能时钟服务器，构建统一时间基准层；
- 在同一物理安全域或路由可达网络内，各系统共享同一套原子钟/高稳振荡器和多参考源算法输出的时间基准；

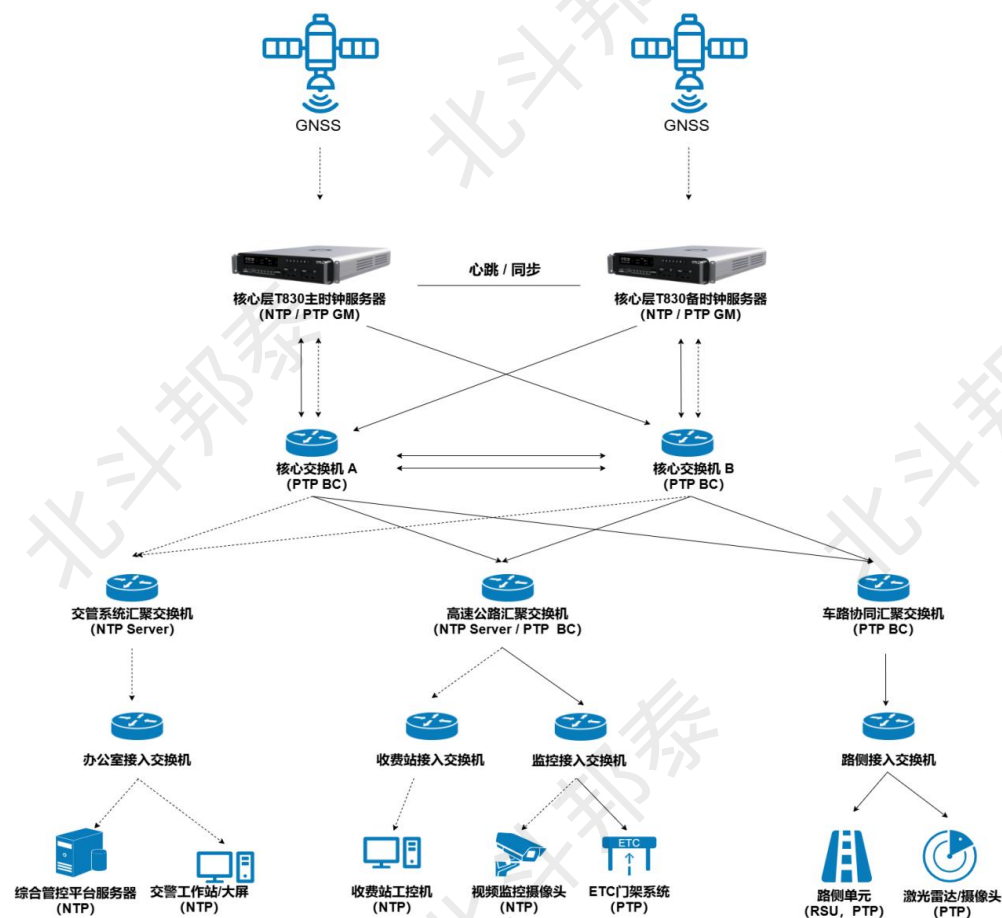
## 2. 分级接入

- 按业务精度需求和网络条件，将接入终端分为 PTP 域、混合 PTP/NTP 域和纯 NTP 域：
  - 微秒级业务接入 PTP 域；
  - 毫秒级业务采用 PTP 或高频 NTP；
  - 秒级业务采用标准 NTP。
- 避免在非关键业务上强制使用 PTP，降低全网改造范围和成本。

## 3. 平滑演进

- 先统一 NTP 上游，形成统一时间基准；
- 再在骨干网络和关键链路引入 PTP（含 BC 模式与 Unicast 模式），逐步提升关键业务的时间精度；
- 新建和大修项目优先采用 PTP 能力完备的网络设备，旧网按需升级。

## 2.2 总体架构



统一时频系统采用“三层架构 + 多行业子系统”的逻辑结构：

- 核心层

- 由 T830 时钟服务器构成，提供多参考源智能选取、PTP/NTP 双引擎以及多种接口输出（PTP、NTP、1PPS、10 MHz、IRIG-B 等）；
- 提供多个以太网网口，所有网口共享同一操作系统和同一安全边界，可在同一安全域内进行业务网段的逻辑划分，为不同业务 VLAN/子网提供统一时间基准。

- 传输层

- 承载 PTP/NTP 授时流量，可采用：
  - 支持 BC/TC 的 PTP 主干；
  - 基于 G.8275.2 的 Unicast PTP；
  - 现有三层网络上的 NTP。

- 接入层

- 面向具体业务终端，包括：
  - 城市信号机、雷达、RSU、门架控制器、轨道信号设备；
  - 电子警察、卡口、视频前端、PIS、AFC、管理平台等；
- 按业务等级选择 PTP 或 NTP 接入方式。

- 行业子系统

- 城市交管、智慧高速、轨道交通、车路协同等，通过各自的专业网络或专网与核心层连接，共享统一时间基准。

## 第 3 章 系统架构

### 3.1 核心层 (T830)

核心层以 T830 高性能时钟服务器为中心，提供统一时间基准和多协议输出能力，主要功能包括：

#### 3.1.1 多参考源与智能选源

- 支持多种上游参考源：
  - 北斗授时信号；

- GPS 等其他 GNSS;
- 上级 PTP (集团或其他地方提供的 PTP 基准) ;
- 地面 1PPS/10 MHz 等有线参考源。
- 通过内部算法对各参考源进行实时评估:
  - 评估参数包括: 时间偏差、短期/长期抖动、报文完整性、卫星数量与信噪比、历史稳定性等;
  - 基于评分结果自动选择主用时钟源, 对异常源进行降级或屏蔽。
- 在 PTP 域内采用优化 BMC (Best Master Clock) 算法:
  - 加入源可信度、质量衰减等附加参数;
  - 提升对异常跳变、欺骗信号的识别能力。

### 3.1.2 PTP/NTP 双引擎架构

- PTP 引擎
  - 基于硬件时间戳实现 IEEE 1588v2 PTP Grandmaster/BC 功能;
  - 支持多 Domain、多 Profile (如 G.8275.1、G.8275.2) , 可为不同业务域提供独立 PTP 时间域;
  - 支持报文速率、延迟机制、优先级参数可配置。
- NTP 引擎
  - 内置高并发 NTP 服务器, 支持大规模终端并发对时;
  - 支持对访问源进行控制 (ACL) , 配合网络侧安全策略。

两个引擎共用同一原子钟作为本地时钟源, 共用同一套多参考源智能选源算法, 保证 PTP 与 NTP 输出在同一时间基准上。

### 3.1.3 多网口输出

T830 提供多个以太网端口, 用于在同一设备上实现业务网段的逻辑分区:

- 端口独立配置
  - 每个物理网口可独立配置:
    - IP 地址及子网、访问控制策略;
    - PTP 功能开关、Profile 类型、报文速率;
  - 不同端口的网络参数互相独立。

## ● 网络层隔离

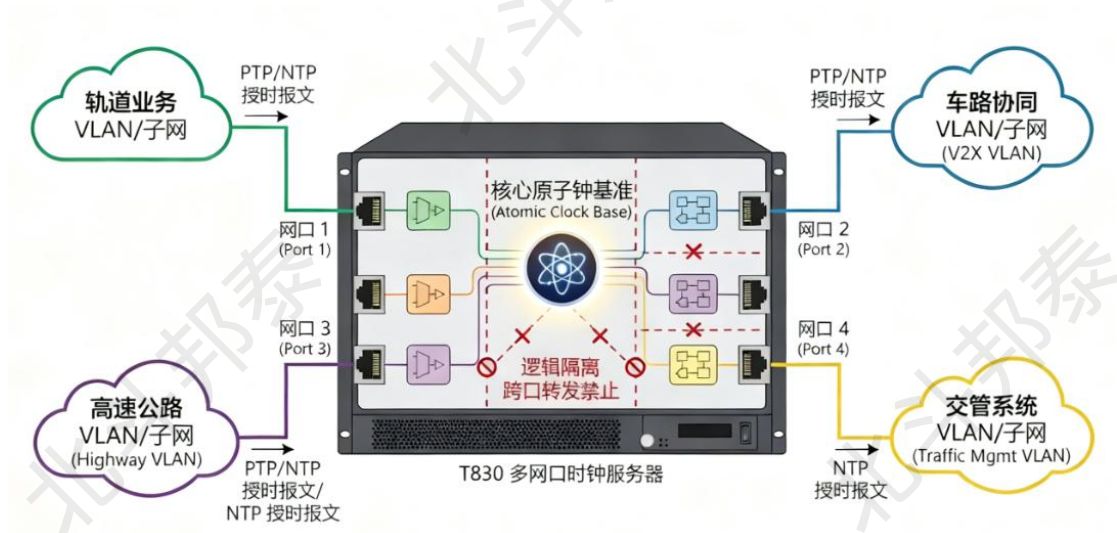
- 所有物理网口共享同一操作系统和同一安全边界；
- 各网口在网络层面仅作为授时服务出口使用；
- 多网口适用于同一安全域内部不同业务网段的划分，例如：
  - 将信号控制业务、视频业务、管理业务划分到不同 VLAN/子网，由 T830 的不同网口分别服务；
  - 由网络拓扑和上游安全设备保证不同业务网段之间的访问控制。

## ● 时间基准统一

- 所有网口的 PTP/NTP 协议栈在内部共用同一原子钟与多参考源算法；
- 在逻辑分区前提下，为多个业务网段提供统一时间基准。

## ● 安全域使用边界说明

- 多网口设计不等同于跨安全域物理隔离设备；
- 对于安全规范中要求物理隔离的不同安全域（例如公安专网与外部网络），应在各安全域内分别部署 T830 或采用其他隔离手段，不通过单台 T830 同时跨域提供授时。



### 3.1.4 守时能力与输出接口

#### ● 守时能力：

- 选配恒温晶振或铷钟，在上游参考源失效时提供小时级至天级的守时精度；
- 输出侧采用限步进和渐进收敛策略，避免时间跳变对业务系统造成冲击。

- 输出接口：
  - IP 协议输出：PTP、NTP；
  - 物理信号输出：1PPS、10 MHz、IRIG-B（码型可选）；
  - 满足信号、电力、弱电等多专业系统接入需求。

### 3.2 传输层

传输层负责在同一安全域或路由可达网络内承载授时协议流量，采用模式化设计：

#### 1. 模式 A：PTP BC/TC 主干 (Multicast)

- 条件：核心、汇聚、接入交换机普遍支持 PTP BC/TC 与 SyncE；
- 网络拓扑：以核心 T830 为 GM，经由多级 BC/TC 向下游扩展 PTP 域；
- 适用场景：
  - 新建示范区；
  - 轨道信号网；
  - 车路协同专网等对亚微秒级到纳秒级精度有要求的专用网络。

#### 2. 模式 B：Unicast PTP (G.8275.2)

- 条件：中间传输网络仅支持普通三层转发，不具备 PTP BC/TC 功能；
- 网络拓扑：T830 或 PTP 边界时钟通过 G.8275.2 与终端或边缘小型时钟建立一对一 PTP 会话，中间设备只做 IP 转发；
- 适用场景：
  - 城市交管存量网络，汇聚/接入不统一支持 PTP；
  - 高速路段跨运营商专线或多级三层网络的关键链路；
  - 目标精度为微秒级到亚微秒级的场景。

#### 3. 模式 C：纯 NTP 模式

- 条件：网络仅能提供基本 IP 联通，不适宜引入 PTP；
- 网络拓扑：T830 作为上游 NTP 服务器，直接为终端或下级 NTP 服务器授时；
- 适用场景：
  - 视频监控、管理平台、办公系统；
  - 边缘站点、独立路口、小型收费站等网络条件受限区域；

- 要求时间精度为毫秒级到亚毫秒级。

三种模式可在同一城市或同一路网内并行存在，按网络条件和业务等级选择组合。

### 3.3 接入层

接入层面向各类业务终端，按精度等级和协议能力进行接入方式设计：

#### 4. PTP 接入终端

- 包括：信号机、RSU、轨道信号设备、部分门架控制器、高精度雷达等；
- 接入方式：
  - 模式 A 网络中，作为 PTP 客户端接入支持 PTP 的接入交换机；
  - 模式 B 网络中，通过 Unicast PTP 与 T830 或边界时钟直接建立会话。

#### 5. 混合 PTP/NTP 终端

- 包括：多功能电子警察主机、卡口系统核心设备等；
- 接入方式：
  - 核心设备采用 PTP 接入；
  - 周边设备采用 NTP 接入，统一指向 T830 时间轴。

#### 6. NTP 接入终端

- 包括：摄像机、PIS、AFC、管理平台、办公终端等；
- 接入方式：通过 NTP 客户端接入本地域 T830 或下级 NTP 服务器。

接入层的配置原则为：**关键控制类设备优先 PTP，记录与展示类设备优先 NTP，所有终端统一指向少数 T830 节点或其下级服务器作为上游时钟源。**

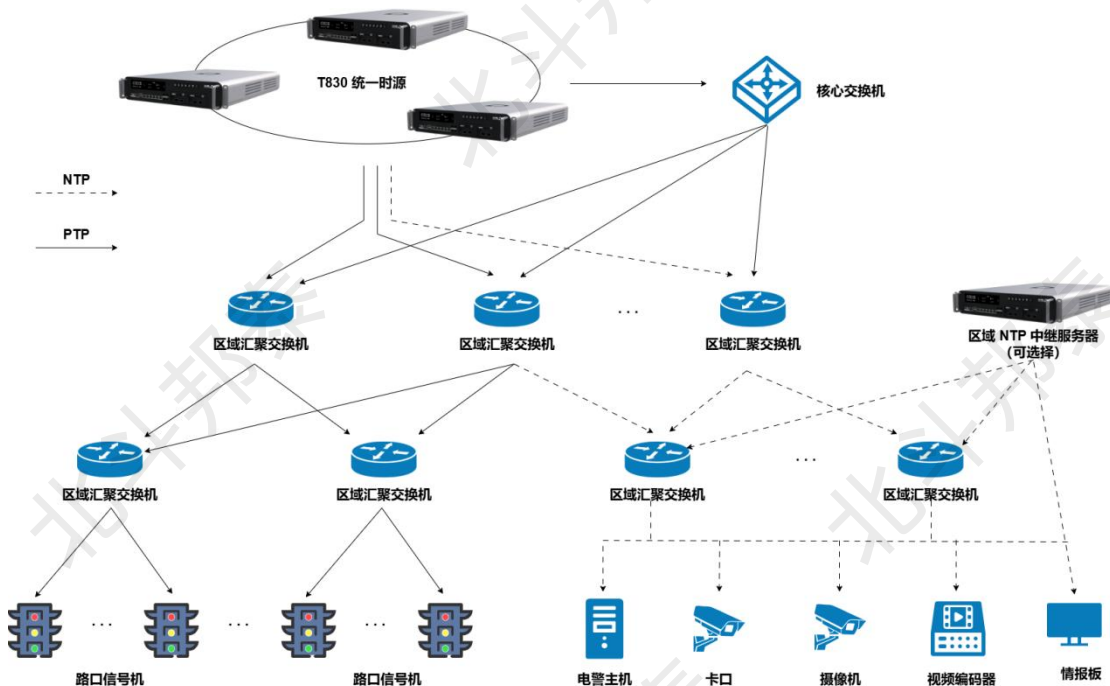
## 第 4 章 城市道路交通

### 4.1 拓扑结构概述

城市交管场景按网络拓扑可抽象为四层：

1. **中心机房层**：交警支队指挥中心机房，部署 T830，接入核心交换机。
2. **区域汇聚层**：分局或区域分中心汇聚交换机，多数仅为三层转发设备，部分新设备支持 PTP。
3. **接入层**：路段/路口机柜内的接入交换机，大量为不支持 PTP 的存量设备。
4. **终端层**：信号机、雷达、电子警察前端、卡口前端、摄像机、情报板等。

在该拓扑下, 信控业务 (Tier 1) 采用 PTP Unicast 直达前端, 电警/视频业务 (Tier 2/3) 采用 NTP 汇聚接入方式。



## 4.2 Tier 1: 信控业务 PTP Unicast 单播路径

### 4.2.1 路径描述

以单个路口为例, PTP Unicast 授时路径如下:

- **起点:** 中心机房内 T830, 作为 PTP Grandmaster (GM), 接口接入核心交换机的管理/业务 VLAN。
- **中间层:** 核心交换机 → 区域汇聚交换机 → 接入交换机, 全路径为 IP 三层转发, 部分或全部设备不具备 PTP BC/TC 能力。
- **终端层:** 路口信号机 (或内置 PTP 客户端的控制器) 直接作为 PTP 客户端, 与中心 T830 建立 G.8275.2 单播会话。

逻辑上, T830 对每个信号机维护一条 PTP 会话, 使用单播 Sync/Delay\_Req/Follow\_Up/Delay\_Resp 报文。中间交换机将其视为普通 UDP 流量进行转发, 不参与时间戳。

#### 4.2.2 参数与精度目标

- 报文模式：G.8275.2 Unicast，双向延迟测量。
- 报文周期：可根据路由跳数和网络负载设置为 16 ~ 128 报文/秒。
- 客户端规模：按中心 T830 性能和链路带宽规划，每台 T830 支持一定数量的信号机 PTP 客户端，必要时可在区域汇聚层部署边界时钟分担会话。
- 目标指标（典型交管专网环境）：
  - 单路口信号机相对 T830 的时间偏差控制在毫秒到亚毫秒范围；
  - 干道多路口之间时间偏差在同一量级，满足绿波协调和优先控制对事件顺序的要求。

### 4.3 Tier 2/3：电警 / 视频 NTP 汇聚接入

#### 4.3.1 拓扑描述

电警、卡口和视频业务量大，前端设备多，采用 NTP 进行汇聚接入：

#### 5. 中心 T830 NTP 输出

- 中心 T830 在核心交换机侧配置 NTP 服务地址，对全网提供统一 NTP 上游。

#### 6. 区域 NTP 服务器（可选）

- 在区域分中心或大型派出所机房部署通用服务器或小型 NTP 设备，作为区域 NTP 中继：
  - 向上以 NTP 客户端方式对时于 T830；
  - 向下作为 NTP 服务器服务区域内电警/视频设备。

#### 7. 终端接入方式

- 电警/卡口前端主机、抓拍控制单元等：
  - 可将对时周期设置为 1–4 s，以收敛时间偏差；
  - 上游指向中心 T830 或区域 NTP。
- 摄像机、视频编码器、情报板等视频类设备：
  - 对时周期一般设置为 16–64 s；
  - 上游同样指向中心 T830 或区域 NTP。

通过统一 NTP 上游，可将同一系统内设备时间偏差控制在 10–50 ms 范围，满足取证时间对齐和视频检索需求。

#### 4.3.2 分级配置示例

- 电警/卡口：
  - NTP 定时周期：1–4 s；
  - 最大时间步进：1 s；
  - 超限触发本地日志记录或告警。
- 视频/诱导：
  - NTP 定时周期：16–64 s；
  - 最大时间步进：2–5 s；
  - 重点保证时间方向一致和大致对齐。

## 第 5 章 智慧高速

### 5.1 三级级联架构

智慧高速按运维管理和网络布局，多采用“省中心—路段中心—收费站/门架”的三级拓扑。授时系统沿用该拓扑进行级联：

#### 1. 省中心层

- 在省级高速集团数据中心部署省中心 T830：
  - 上游接入北斗/GPS、上级 PTP 或 1PPS/10 MHz；
  - 下游通过集团 IP 专网或传输网向各路段中心提供 PTP/NTP。

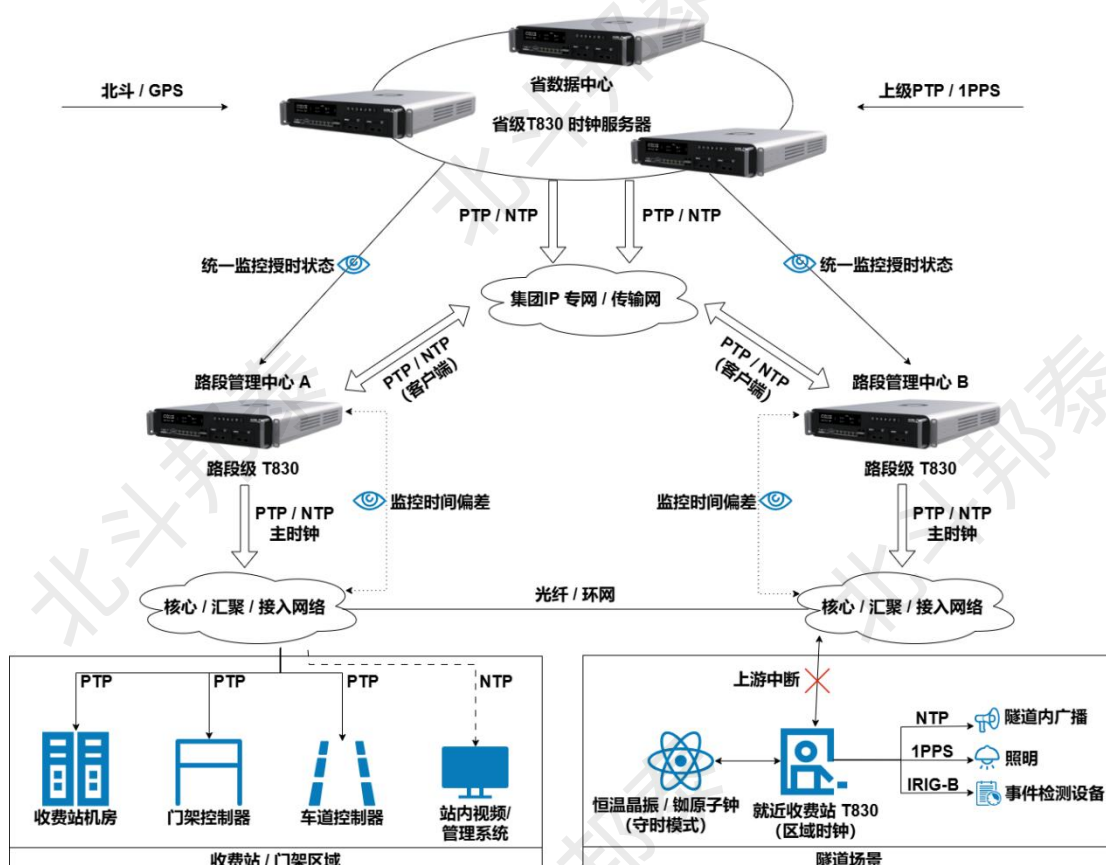
#### 2. 路段中心层

- 每个路段管理中心部署 1 台 T830：
  - 上行作为 PTP 客户端或 NTP 客户端，对时于省中心 T830；
  - 下行作为本路段的主时钟，为各收费站和门架提供 PTP/NTP。

#### 3. 站点层（收费站 / 门架 / 服务区 / 隧道口机房）

- 收费站机房通过专线或光纤与路段中心网络互联；
- 门架控制器、车道控制器及站内视频/管理系统通过本地交换机与收费站机房连接；

- 隧道口机柜通过光纤与就近收费站机房相连。



## 5.2 路段级 T830 统一全线门架时间

### 5.2.1 路段拓扑

以单条高速路段为例，拓扑为：

- 路段中心机房：部署 T830，接入路段核心交换机；
- 收费站机房：通过汇聚或环网接入路段核心；
- 门架：通过就近收费站机房的接入交换机或光纤环接入路段网络。

在该拓扑中，路段 T830 是本路段统一时间基准：

- 支持 PTP 输出，用于新型门架控制器、部分 RSU 等设备；
- 支持 NTP 输出，用于仅支持 NTP 的门架控制器、车道控制器和视频设备。

### 5.2.2 多点协同方式

#### 4. 门架控制器 / 车道控制器

- 若支持 PTP：

- 作为 PTP 客户端接入路段 PTP 域，可采用 BC 主干+接入或 Unicast 直连方式；
- 时间偏差控制在 1–10 ms 范围内，满足计费时间一致性需求。
- 若仅支持 NTP：
  - 作为 NTP 客户端，以路段 T830 或收费站内本地 NTP 服务器为上游；
  - NTP 对时周期设置在 1–4 s 范围，收敛后同一路段各门架间时间偏差控制在 10–20 ms 范围。

## 5. 站内视频/辅助系统

- 统一从路段 T830 或收费站 NTP 服务器对时；
- 对时周期 16–64 s，确保事件回放和图像留存时间与计费系统基本一致。

## 6. 统一基准说明

- 本路段各门架、收费车道和站内系统时间均源自同一台路段 T830；
- 在三级架构下，省中心 T830 与路段 T830 之间的 PTP/NTP 偏差可以通过监测进行控制，使整个路网的门架时间基准一致。

## 5.3 隧道与屏蔽区的授时与守时

### 5.3.1 隧道拓扑

隧道场景中，卫星信号通常无法覆盖，拓扑一般为：

- 隧道附近收费站机房：部署 T830 或从路段 T830 获取 PTP/NTP；
- 隧道口机柜：通过光纤与收费站机房连接；
- 隧道内广播、照明控制、事件检测设备通过隧道口交换机接入。

在此拓扑下，收费站 T830 承担隧道区域时间源角色。

### 5.3.2 授时方式

## 7. 收费站 T830 上游

- 上行通过 PTP 或 NTP 对时于路段 T830 或省中心 T830；
- 根据项目等级选配高稳振荡器或铷钟，保证上游授时中断时的守时能力。

## 8. 隧道口 / 隧道内设备下游

- NTP：

- 隧道内广播控制、事件检测、视频前端作为 NTP 客户端, 以收费站 T830 为上游;
- 时间偏差可控制在毫秒级和亚毫秒级。
- 1PPS / IRIG-B (如有需求) :
  - 特定控制设备可通过 1PPS 或 IRIG-B 接入收费站 T830 或从收费站引出的同步单元。

### 5.3.3 守时行为

当收费站 T830 上游 (路段 T830 或省中心 T830、卫星源) 短时中断时:

- T830 切换至守时模式, 依靠守时单元 (恒温晶振/铷种) 维持时间;
- 在数小时到一天时间尺度内, 隧道区域内的相对时间偏差可保持在业务可接受范围;
- 上游恢复后, T830 通过限步进与渐进收敛策略, 避免隧道设备出现时间瞬时跳变。

## 5.4 工程配置要点

### 9. 省中心 T830

- 提供 PTP/NTP 给各路段 T830;
- 对各路段 T830 的授时状态进行统一监控。

### 10. 路段 T830

- 向下为本路段收费站/门架提供 PTP/NTP;
- 对本路段内门架、收费站的时间偏差进行监控与告警。

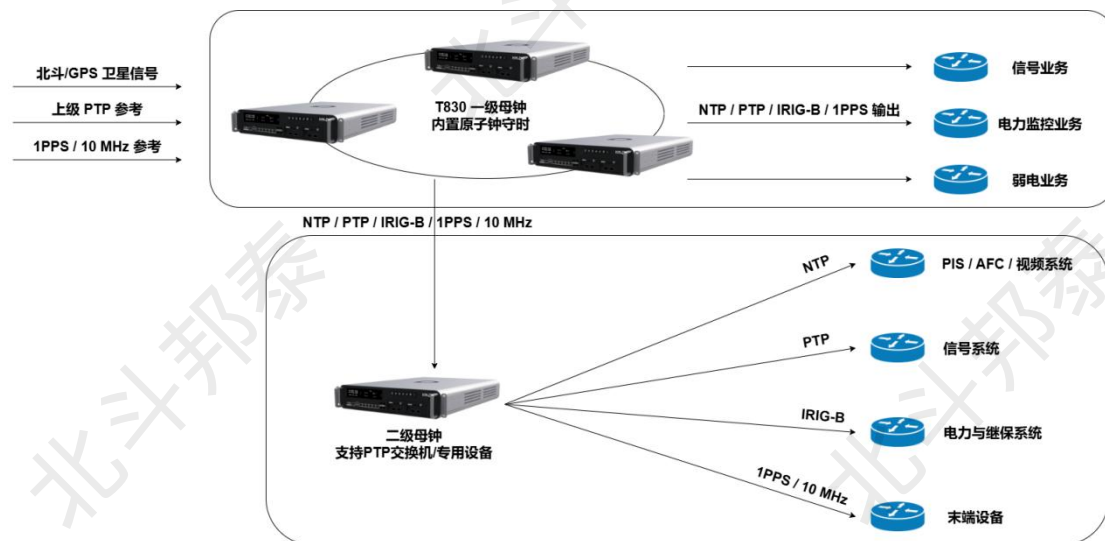
### 11. 收费站与隧道

- 收费站机房优先部署 T830 或本地 NTP 服务器, 统一站内和隧道口设备时间;
- 隧道方向链路建议独立 VLAN 承载 NTP 或同步信号, 并适当配置 QoS, 保证在事件高发时段链路拥塞不影响授时。

通过上述拓扑化方案, 可在“省中心—路段中心—收费站/门架/隧道”的三级结构内, 完成时间基准统一与多点协同, 对门架计费、事件检测和隧道运行提供可量化的时间同步精度保障。

## 第 6 章 轨道与车路协同

### 6.1 轨道交通时钟系统架构



#### 6.1.1 一级母钟：OCC 中心 T830

在轨道交通时钟系统中，线网级时钟按“一级母钟 + 二级母钟 + 末端时钟”体系设计。

本方案中，OCC 中心部署 T830 作为**线网一级母钟**，替代传统母钟设备：

- 上游：北斗 / GPS / 上级 PTP / 1PPS 等多源输入，作为一级母钟参考时钟。
- 内部：由 T830 原子钟提供守时基准，配合多源智能选源算法。
- 下游接口：
  - PTP：输出至信号系统网络，用于联锁系统、ATS、CBI 等；
  - IRIG-B：输出至牵引变电所、电力监控系统、继电保护装置；
  - NTP：输出至 PIS、AFC、视频监控、综合监控等弱电系统；
  - 1PPS/10 MHz：供需要频标的测试或同步设备使用。

T830 的多个业务网口可在同一安全域内按照业务类型划分不同 VLAN 或逻辑子网，例如：信号业务网段、电力监控网段、弱电网段等。各网口均只作为授时服务出口，不在设备内配置跨口转发。

对于按行业规范明确划分为不同安全域的网络（例如信号安全区与非安全区），应在各安全域内分别部署 T830 或采用独立二级母钟等方式分发时间，不通过单台 T830 跨越不同安全域。

### 6.1.2 车站二级母钟与末端时钟

车站侧按行业习惯采用**二级母钟**概念，与 OCC 一级母钟形成分层结构：

- 车站二级母钟角色可由以下设备承担：
  - 支持 PTP 的车站级交换机 + 本地同步单元；
  - 或专用二级母钟设备，从 OCC T830 获取 PTP/IRIG-B。

车站侧时钟分发关系：

#### 1. 信号系统

- 车站联锁、ZC、ATS 终端等通过信号专网，从上级 PTP 域获取时间；
- 若信号系统仍保留原有专用母钟，可由该母钟通过 IRIG-B 或 1PPS 对时于车站二级母钟。

#### 2. 电力与继保系统

- 牵引变电所 / 配电所接收来自 OCC 或最近车站的 IRIG-B 信号，作为区域时钟；
- 通过 IRIG-B 分配器将时间信号扩展到各保护装置和测控单元。

#### 3. 弱电系统 (PIS / AFC / 视频等)

- 车站综合监控网络通过 NTP 统一对时于车站二级母钟或直接对时于 OCC T830；
- PIS、AFC、DAS、视频等业务终端在站内网络内作为 NTP 客户端运行。

### 6.1.3 传统母钟系统的替代与演进

在既有线路或扩能改造场景中，存在传统独立母钟系统：

- T830 作为一级母钟替代传统母钟，可通过以下方式实现演进：
  - a. 初始阶段：保持原一级母钟运行，T830 以 IRIG-B 或 1PPS 的形式为其提供上游时钟，实现“母钟对母钟”的平滑替换；
  - b. 过渡阶段：新车站或新线段直接使用 T830 作为一级母钟，旧线保留原二级母钟，统一从 T830 对时；
  - c. 完成阶段：全部切换为 T830 体系，传统母钟系统退役。

在全生命周期内保持“统一一级母钟、车站二级母钟分发”的拓扑，不改变轨道交通原有安全分级和接口模式。

## 6.2 车路协同时钟系统

### 6.2.1 车路协同时间域拓扑

车路协同系统由示范区控制中心、路侧单元（RSU）、MEC、传感器和车辆终端构成，时间域拓扑如下：

- 控制中心机房部署 T830，作为车路协同业务网络的时钟源；
- T830 通过独立业务网口接入车路协同专用网络，该网口在设备内不与其他业务网口做 L2/L3 转发，形成网络层逻辑分区；
- 控制中心交换机、汇聚交换机、路侧接入交换机构建 PTP 能力网络；
- RSU、MEC 和部分高精度传感器作为 PTP 客户端加入该时间域。

T830 多网口能力用于区分不同业务网段，所有网口共享同一操作系统和安全边界。涉及不同安全域（例如车路协同专网与其他业务网），隔离由上层网络和安全设备负责，本设备不承担物理隔离功能。

### 6.2.2 RSU 硬件时间戳接入方式

RSU 和 MEC 采用 IEEE 1588v2 PTP 接入，要求硬件时间戳能力：

- RSU 接入方式：
  - 上联 PTP 交换机端口配置为 PTP 边界时钟或透明时钟；
  - RSU 网卡/SoC 支持硬件时间戳，在 MAC 层或 PHY 层完成时间标记。
- 同步链路：
  - T830 → 核心 PTP 交换机 → 汇聚 PTP 交换机 → 接入 PTP 交换机 → RSU；
  - 全链路使用 SyncE（如网络支持）降低抖动。
- 精度指标：
  - 控制中心到 RSU 的同步偏差设计目标为微秒级和亚微秒级；
  - RSU 内部将 PTP 时间映射到 V2X 消息时间字段，用于消息时间对齐。

## 第 7 章 典型配置与选型

### 7.1 配置分级说明

根据应用关键性和预算条件，给出三种配置档次：高配（旗舰）、标配（主流）、低配（经济）。各档均基于 T830，实现统一时间基准；差异主要体现在冗余等级、守时性能力和网络 PTP 能力。

### 7.2 配置清单表

配置级别	典型应用场景	T830 配置 (是否双机、晶振类型)	交换机/PTP 要求	典型授时模式	典型端到端授时精度
旗舰	省中心、高速集团中心、市级交警中心、轨道交通 OCC、车路协同示范区控制中心	多机部署（主/备或双主），原子钟或铷钟守时，多业务网口逻辑分区（同一安全边界内划分信号/视频/管理等网段）	核心/汇聚/关键接入交换机支持 PTP BC/TC 和 SyncE；车路协同、信号系统使用全 PTP 网络	PTP (Multicast/B C) 为主，Unicast 补充，NTP 和 IRIG-B/1PPS 并行输出	微秒级：1–5 $\mu$ s（车路协同、轨道信号）；毫秒级：1–5 ms（信控、门架）；NTP 终端 10–50 ms
主流	区县交管分中心、路段管理中心、大型收费站中心、一般城市示范路段	单台 T830，铷钟或高稳晶振守时，多业务网口逻辑分区（同一安全边界内划分前端/平台等网段）	核心/部分汇聚交换机支持 PTP BC/TC；接入层可为普通三层交换机；关键节点可用 Unicast PTP 直连	核心层 PTP (Multicast/B C) + 接入层 Unicast PTP + NTP 混合	关键 PTP 终端 10 $\mu$ s ~ 1 ms；Unicast PTP 终端 1–5 ms；NTP 终端 10–50 ms
经济	边缘收费站、小型路口独立机柜、偏远服务区、局部老旧片区	单台 T830，普通温补晶振守时，单网口或少量网口（无需网段分区）	现有交换机仅需支持基本 IP 转发，无 PTP 要求	纯 NTP 授时（可配少量 1PPS/IRIG-B 输出）	终端时间偏差收敛至 10–100 ms 范围，满足日志对齐和基本取证需求

- 授时精度为典型工程条件下参考值，实际精度与网络拓扑、负载、设备能力有关。

**补充说明：**

- 表中“多业务网口逻辑分区”指在同一 T830 上通过多个物理网口和配置策略，将同一安全域内部的不同业务网段（如信号、视频、管理）分离接入，各网口仅作为授时服务出口使用；
- 所有网口共享同一操作系统和安全边界，不构成不同安全域之间的物理隔离；
- 对于需要物理隔离或严格安全分区的场景，应在各安全域内分别部署 T830 或采用其他合规的隔离手段，不通过单台 T830 跨安全域提供授时服务。

### 7.3 多源智能选源算法

所有配置档次中，T830 多参考源智能选源算法为统一功能：

- 输入：北斗、GPS、上级 PTP、1PPS/10 MHz 等多路参考；
- 核心算法模块：综合评估偏差、抖动、报文质量、卫星状态等，选出当前最优参考源；
- 输出：统一时间基准，供 PTP、NTP、IRIG-B、1PPS 等各类接口使用。

## 第 8 章 总结

本方案在统一时钟基准的前提下，采用 T830 构建“统一底座、多模接口、算法择优”的时频系统架构：通过一级母钟 / 路段中心 / 区域节点的分层拓扑，将 PTP、NTP、IRIG-B 和 1PPS 按业务需求分级接入，在不强制全网改造的条件下，将关键业务时间同步精度收敛至微秒~毫秒量级，为城市交管、智慧高速、轨道交通和车路协同提供可工程实现的时间统一方案。