



控制论

Cybernetics

授课教师：杨春节 教授

浙江大学控制科学与工程学院





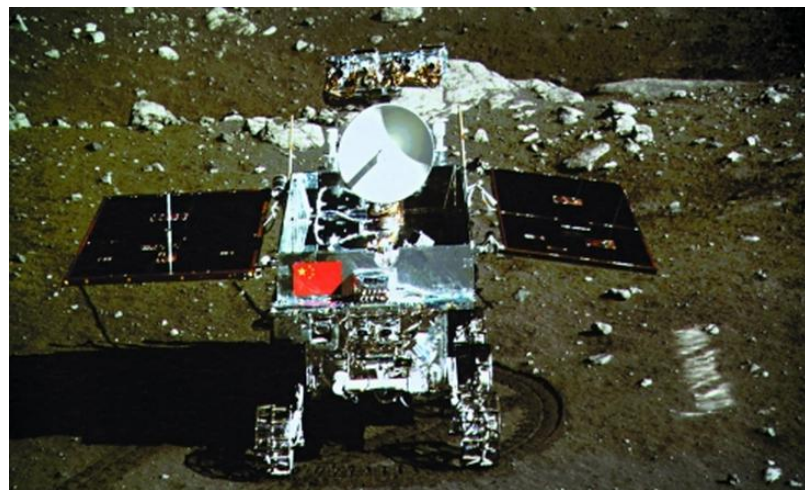
第11讲

自主车辆与交通控制



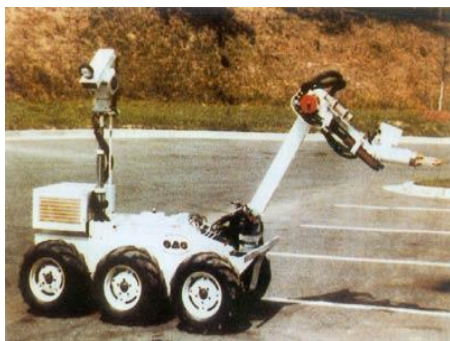
自主车辆的概念

- **自主车辆**: 可以根据规定的任务，在行驶的过程中不断**感知**环境信息，自主地做出各种实时的**判断和决策**，及时调整车辆自身的行驶状态并**执行**相应的动作和操作。



自主车辆的作用

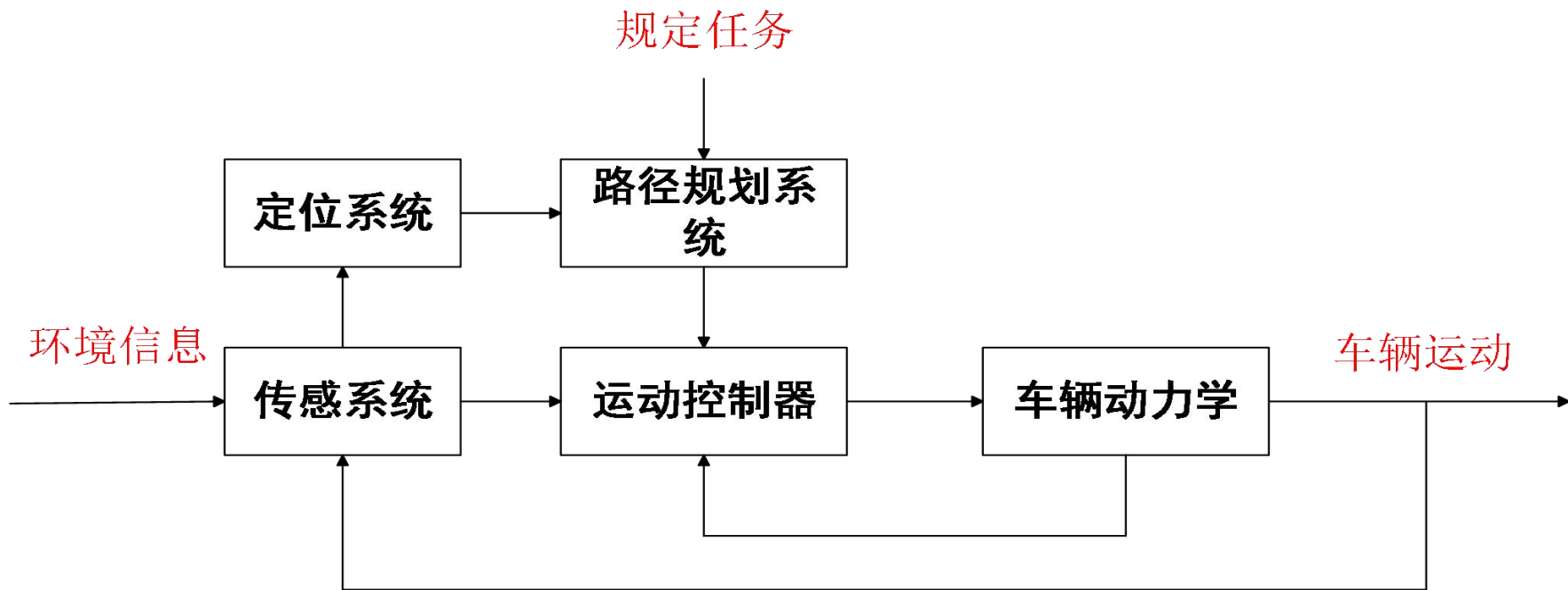
- 可以代替人在复杂的环境中完成危险的工作
- 可以代替人从事精细的工作而提高工作效率
- 广泛运用于柔性生产线，完成刀具、材料、工件等的自动传输任务，是物流自动化的重要组成部分。





自主车辆的构成

- 由传感系统、定位系统、路径规划系统、运动控制器等部分组成，是一个多回路反馈控制系统。



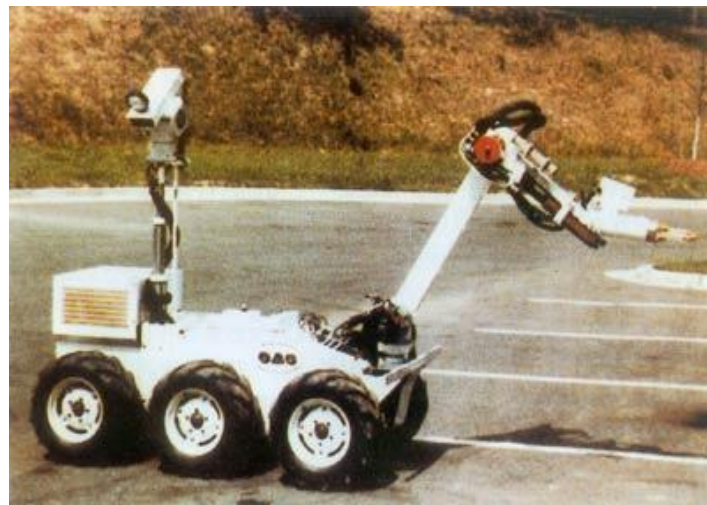


自主车辆

- **传感系统**：感知环境信息与车辆自身的位置信息等
- **定位系统**：根据传感系统提供的信息，确定车辆当前位置
- **路径规划系统**：根据定位系统提供的车辆信息，结合预先规定的任务，确定合适的行进路线

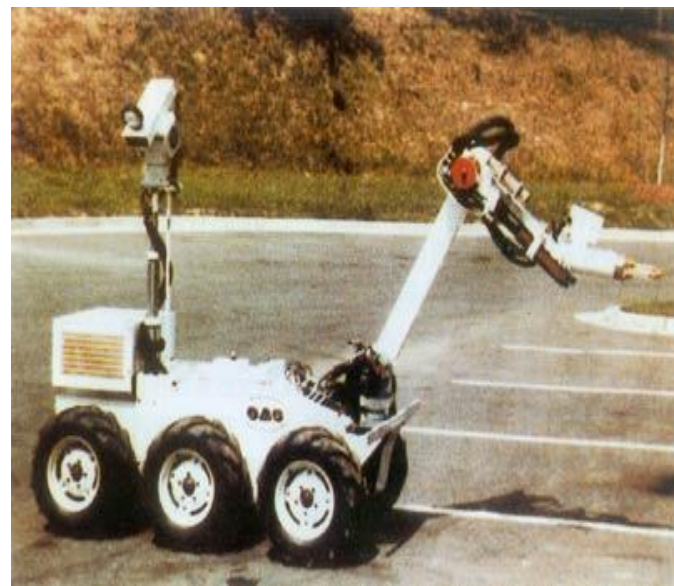
自主车辆

- **运动控制器**：根据车辆当前的位置与速度信息以及规划产生的路径操纵车辆运动，或完成规定的操作。
- 运动控制器与车辆本体也构成一个反馈控制系统，目的是使车辆平稳地行进，并在适当的时候完成规定的动作。图中运动控制器还包括驱动车辆运动的伺服驱动系统，微观上一般也是一个反馈控制系统。



自主车辆

- 自主车辆是一个以计算机为中心的控制系统，可能包括摄像机、陀螺仪、加速度表以及红外、超声或激光测距仪等，也可以有无线通信模块、GPS接收机等。根据需要，还可以包含电子地图、地理信息系统等软件。





无人驾驶汽车的传感系统

- 激光发射器
- 雷达
- 摄像头
- GPS

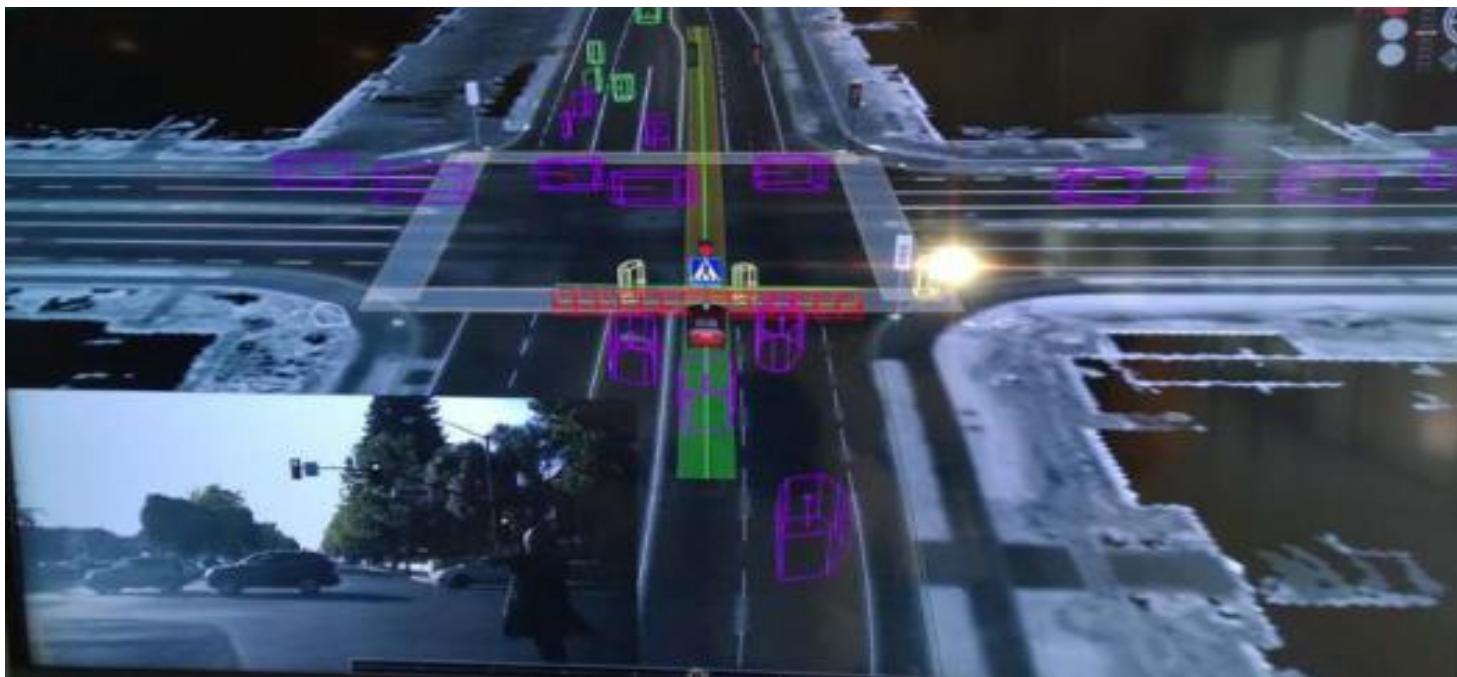
无人驾驶汽车的传感系统

- **激光发射器**：一边旋转一边连续发射激光束并接收，根据收发时间差计算物体与汽车距离，计算物体形状大小与运动轨迹，绘制周围3D地形图，



无人驾驶汽车

- 3D地形图：



无人驾驶汽车的传感系统

- **车载雷达**：可以弥补激光发射器的盲点，准确计算汽车运行相对速度



无人驾驶汽车的传感系统

- **摄像头：**后视镜旁安装两个，如同人的双眼，帮助确定汽车位置与速度，辨识信号灯与信号标示



无人驾驶汽车的传感系统

- 融合多源传感器数据，并于GIS系统整合，得到周围3D地形图



无人驾驶汽车

• Google无人驾驶汽车

Autonomous Driving

Google's modified Toyota Prius uses an array of sensors to navigate public roads without a human driver. Other components, not shown, include a GPS receiver and an inertial motion sensor.

LIDAR

A rotating sensor on the roof scans more than 200 feet in all directions to generate a precise three-dimensional map of the car's surroundings.

VIDEO CAMERA

A camera mounted near the rear-view mirror detects traffic lights and helps the car's onboard computers recognize moving obstacles like pedestrians and bicyclists.



POSITION ESTIMATOR

A sensor mounted on the left rear wheel measures small movements made by the car and helps to accurately locate its position on the map.



RADAR

Four standard automotive radar sensors, three in front and one in the rear, help determine the positions of distant objects.

无人驾驶汽车

- 2018年12月，百度Apollo自动驾驶全场景车队，在长沙高速上行驶





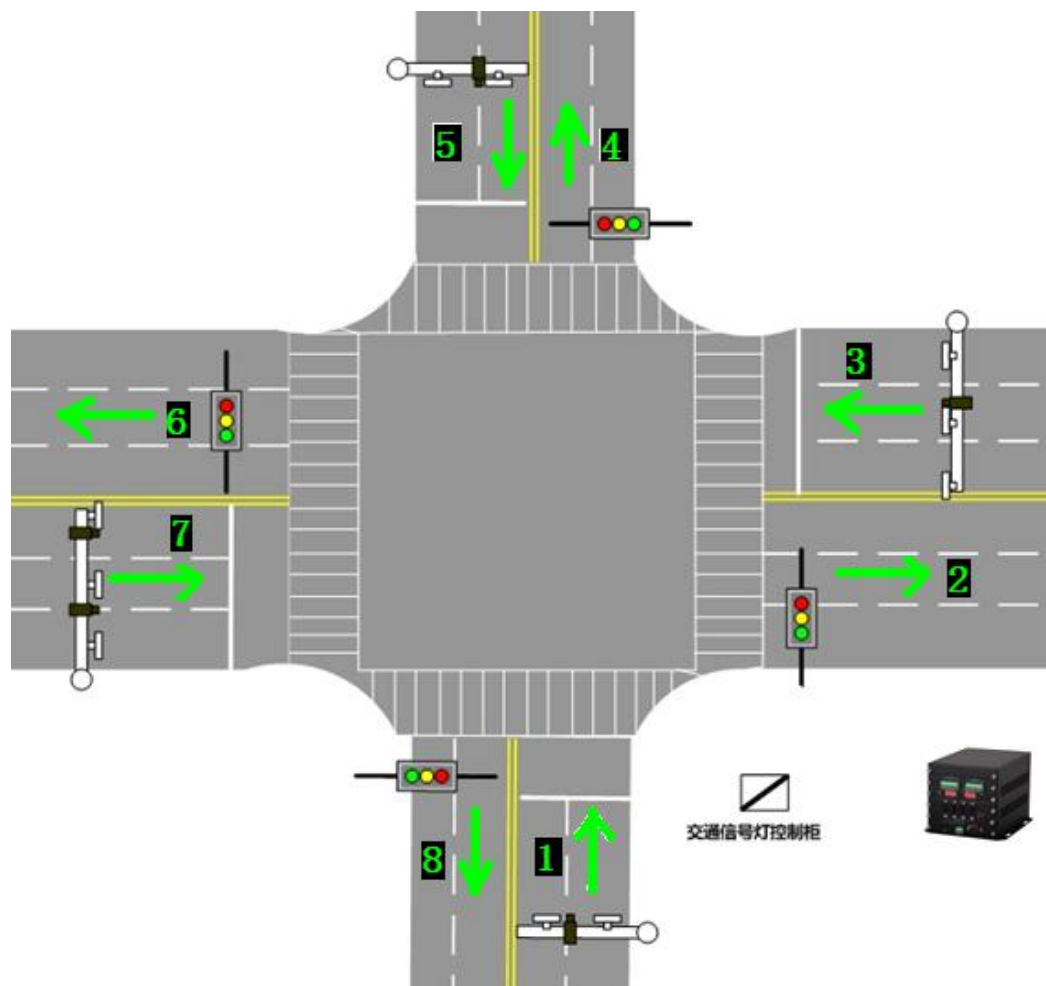
交通控制

□ 交通控制的目标主要包括：

- (1) 减少交通事故，提高交通运输的安全性；**
- (2) 降低能源消耗，减少汽车运输对环境的污染；**
- (3) 改善交通状况，提高网络的通行能力；**
- (4) 提高运输生产率，增加经济效益。**

交通控制

- 包括航空交通控制、船运交通控制、陆路交通控制以及有轨交通控制等，这里仅讨论城市交通控制
- **城市交通控制**主要目标是交通畅通、减少延误，从而实现降低油耗、减少车辆污染排放。





交通控制

- 城市交通控制通过交通信号来实现
- 传统上分为点控、线控与面控三大类，而每类中又分为若干种方式，如定周期方式、感应方式等
- 从控制的角度，可以分为两种：
 - 程序控制型
 - 反馈控制型



程序控制型城市交通控制

- 在**程序控制型**中，预先设定好每个交通信号的配时方案，包括周期时间长度、绿信比、相位差。
- 每个交通信号都按既定程序变换红、黄、绿三种色灯，周期也不断重复，从而实现对交通流的控制。



程序控制型城市交通控制

- 有时或有的地方，可以事先准备好集中不同的配时方案，在每天不同时段选择不同的配时方案。例如，对一个大型工厂前的交通信号，在上下班时与平时可以采用2种不同的配时方案。
- 对一个交叉路口、一条线路或一个区域都可以采用这种方式，严格按时间顺序控制交通信号的灯色。



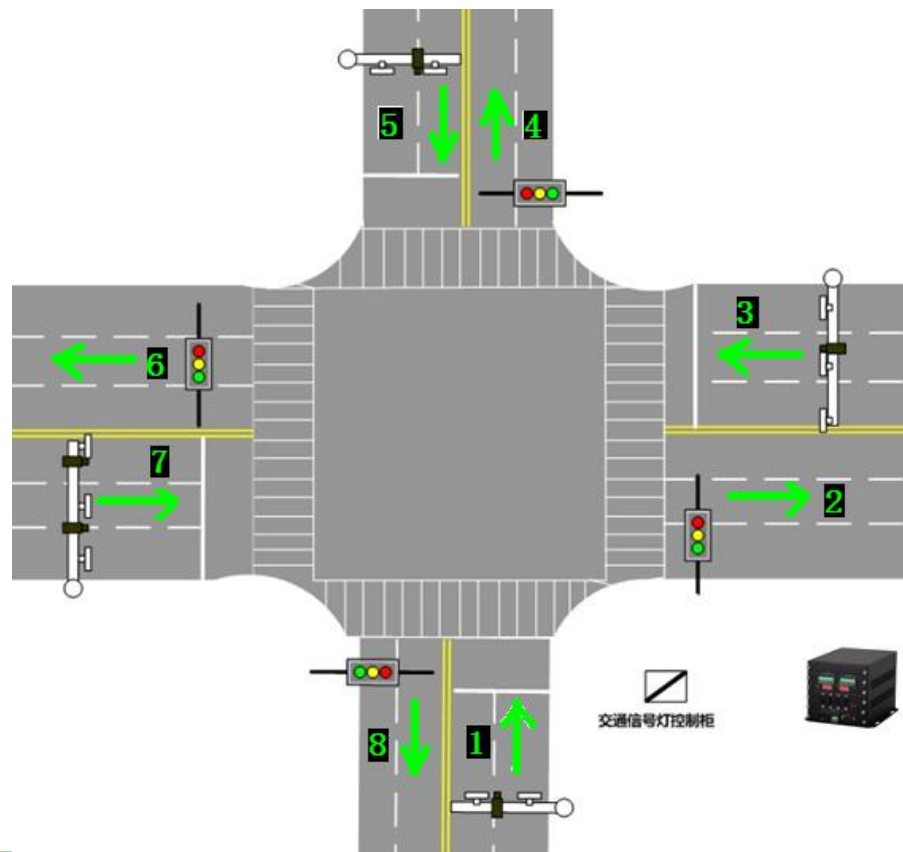
程序控制型城市交通控制

特点：

- **系统简单、可靠，投资少、见效快。**对于比较稳定的交通流有较好的作用，但不能适应交通流的随机变化，特别是当交通流发生突变时，控制效果将明显下降。
- **柔性较差。**对于一个较大的区域来说，如果重新制定配时方案，需要重新进行交通调查、优化计算，将耗费大量的人力和时间。
- **不具有抗干扰能力。**从控制的观点来说，这种交通信号控制方法属于典型的**开环控制**。

反馈控制型城市交通控制

- 根据**车辆检测器**得到的交通流情况，实时制定**最优化的配时方案**，及时调整交通信号参数（周期、绿信比、相位差）。
- 适用于单个交叉路口、一条路线、一个区域或一个城市。





反馈控制型城市交通控制

特点：

- **建设成本较高**：用这种方式控制一个区域的交通信号，需要安装大量的车辆检测器、需要联网、需要有功能强大的计算机及配套软件。
- **适应性强**：能较好地适应交通流的随机变化，对交通流特性变化较大的城市或区域具有重要价值。
- 从控制的观点来说，这是理想的解决方案，**可以有效地抑制干扰**。



反馈控制型城市交通控制

特点：

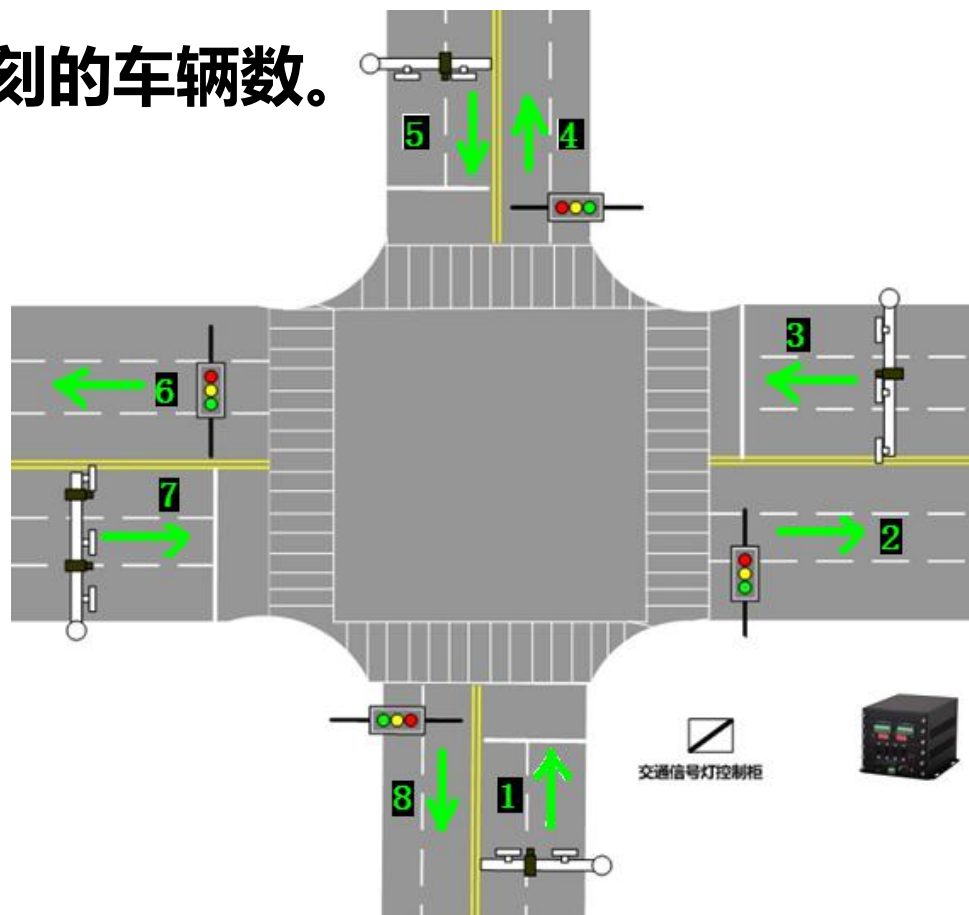
- 为了减少计算机的实时计算任务，一种简化方法是预先编制若干套交通信号参数方案，实时地根据检测到的交通流情况选择其中一种最好的方案。

交通控制

□ 如图所示为一个十字路口交通流示意图，设 $x_i(k)$ 为第 $i \in I \stackrel{\text{def}}{=} \{1, 2, \dots, 8\}$ 路段上 k 时刻的车辆数。

(每个路段是事先确定的
测控区域，当车辆进入
该区域，行进方向不变)
路段 $k+1$ 时刻的车辆数为

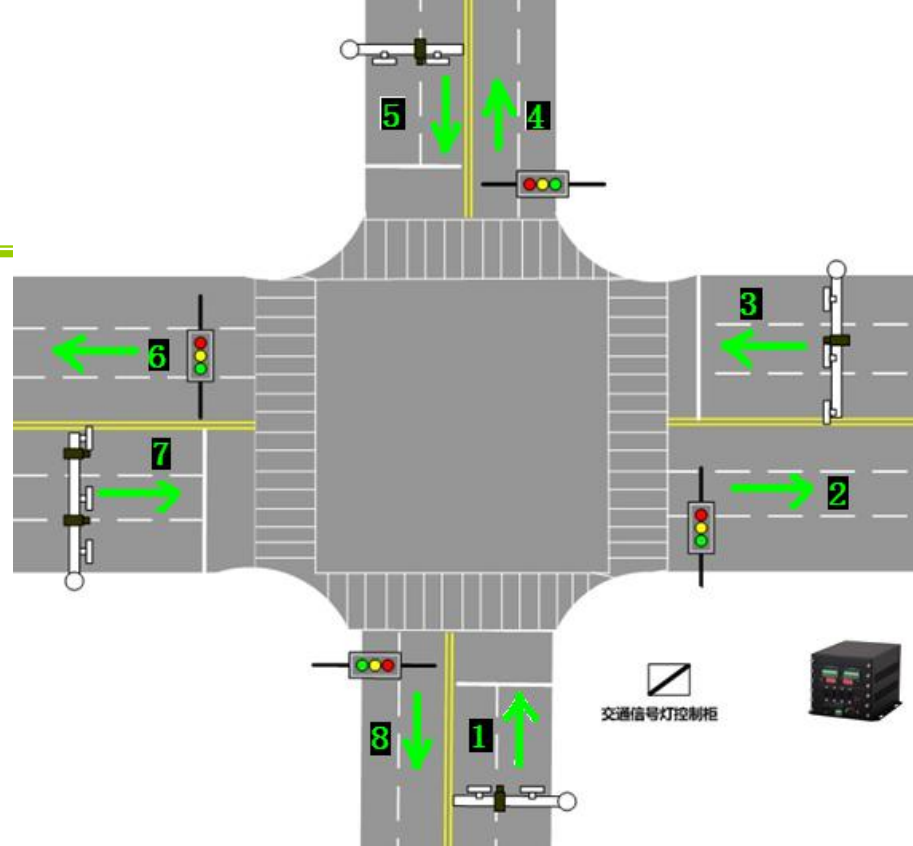
$$x_i(k+1) = x_i(k) - \alpha_i g[x_i(k)] + \omega_i(k)$$



交通控制

□ 路段 $k+1$ 时刻的车辆数为

$$x_i(k+1) = x_i(k) - \alpha_i g[x_i(k)] + \omega_i(k)$$



□ 式中, $\omega_i(k)$ 表示 k 时刻到 $k+1$ 时刻之间 (即采样周期 $T (= t_{k+1} - t_k)$ 内) 新进入该路段的车辆, $\alpha_i(k)g[x_i(k)]$ 表示同一时间段 T 内离开该路段的车辆。对于**奇数路段**, 信号灯可以控制的量是 $\alpha_i(k)g[x_i(k)]$; 对于**偶数路段**, 信号灯可以控制的量是 $\omega_i(k)$ 。一般地, 如果 $\alpha_i(k)g[x_i(k)] \leq \omega_i(k)$, 将可能出现拥塞现象。



交通控制

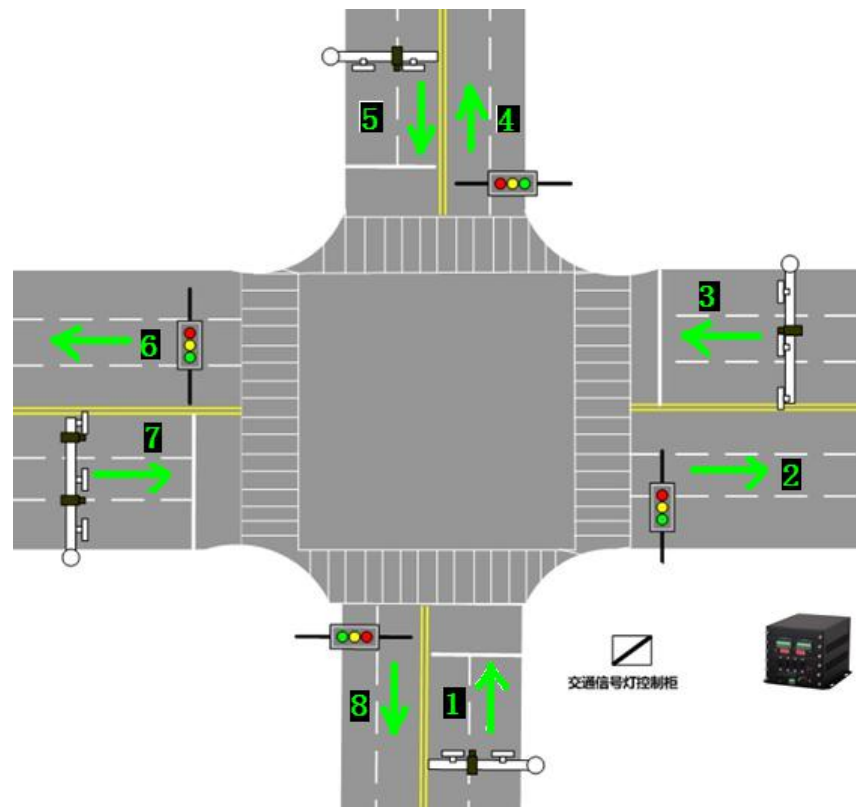
- 一般路口右转弯的车辆不受信号灯的控制，为此可以简化为仅包含直行与左转弯的车辆之和。
- 当直行与左转弯的绿色或黄色信号灯不同时出现，即交替出现，可以根据式 $x_i(k+1) = x_i(k) - \alpha_i g[x_i(k)] + \omega_i(k)$

建立路口车辆变化的状态方程。下面分四种可能的情况分别进行说明。

交通控制

□ 第1和第5路段直行绿灯使能时。

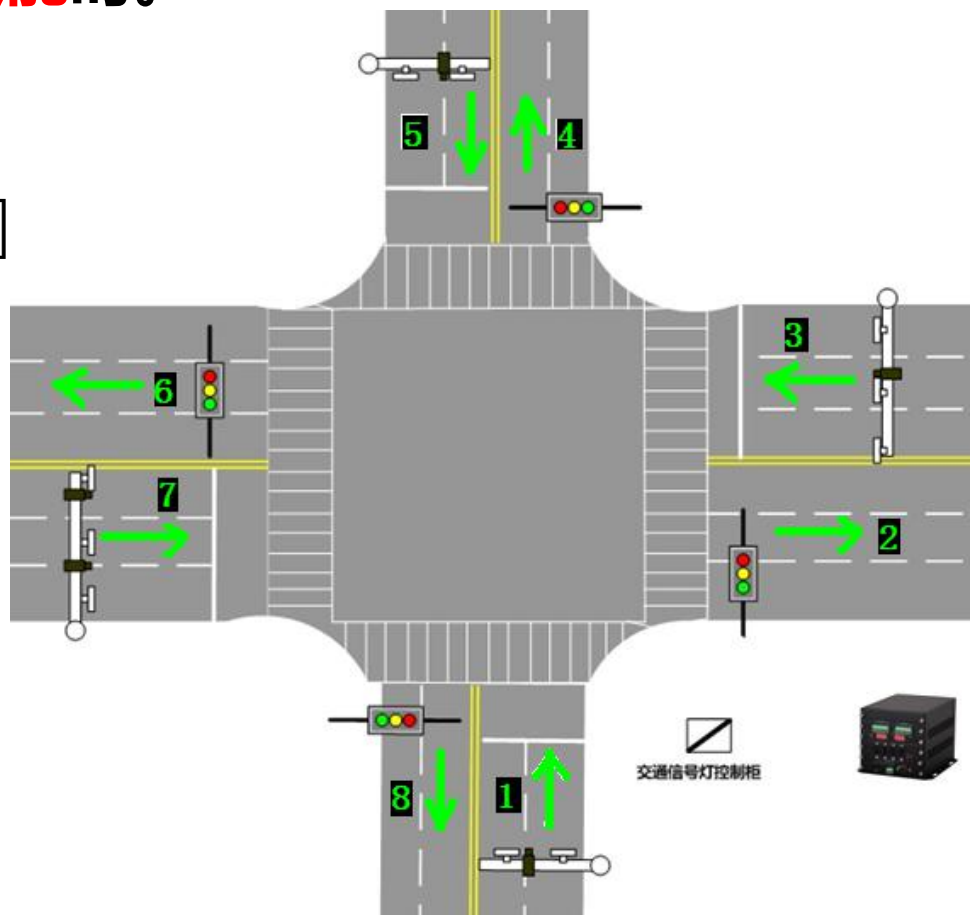
$$\begin{cases} x_1(k+1) = x_1(k) - \alpha_1(k)g[x_1(k)] + \omega_1(k) \\ x_2(k+1) = x_2(k) - \alpha_2(k)x_2(k) \\ x_3(k+1) = x_3(k) + \omega_3(k) \\ x_4(k+1) = x_4(k) - \alpha_4(k)x_4(k) + \alpha_1(k)g[x_1(k)] \\ x_5(k+1) = x_5(k) - \alpha_5(k)g[x_5(k)] + \omega_5(k) \\ x_6(k+1) = x_6(k) - \alpha_6(k)x_6(k) \\ x_7(k+1) = x_7(k) + \omega_7(k) \\ x_8(k+1) = x_8(k) - \alpha_8(k)x_8(k) + \alpha_5(k)g[x_5(k)] \end{cases}$$



交通控制

□ 第1和第5路段左转弯绿灯使能时。

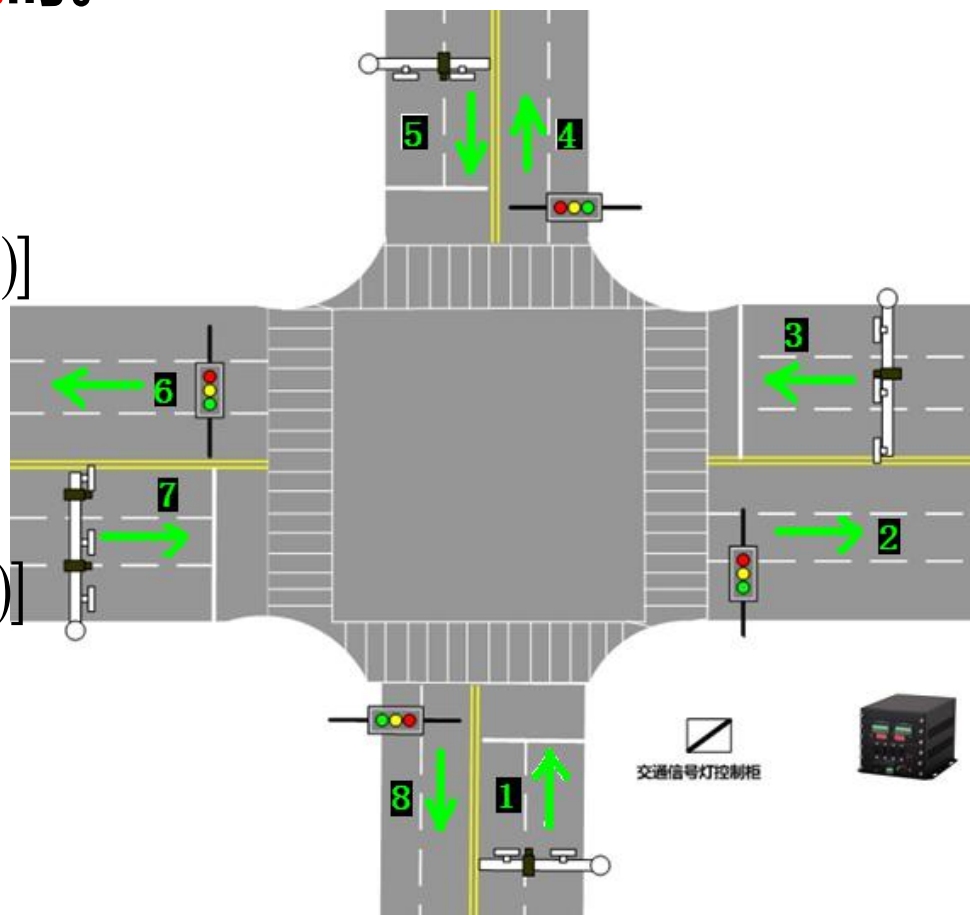
$$\begin{cases} x_1(k+1) = x_1(k) - \alpha_1(k)g[x_1(k)] + \omega_1(k) \\ x_2(k+1) = x_2(k) - \alpha_2(k)x_2(k) + \alpha_5(k)g[x_5(k)] \\ x_3(k+1) = x_3(k) + \omega_3(k) \\ x_4(k+1) = x_4(k) - \alpha_4(k)x_4(k) \\ x_5(k+1) = x_5(k) - \alpha_5(k)g[x_5(k)] + \omega_5(k) \\ x_6(k+1) = x_6(k) - \alpha_6(k)x_6(k) + \alpha_1(k)g[x_1(k)] \\ x_7(k+1) = x_7(k) + \omega_7(k) \\ x_8(k+1) = x_8(k) - \alpha_8(k)x_8(k) \end{cases}$$



交通控制

□ 第3和第7路段直行绿灯使能时。

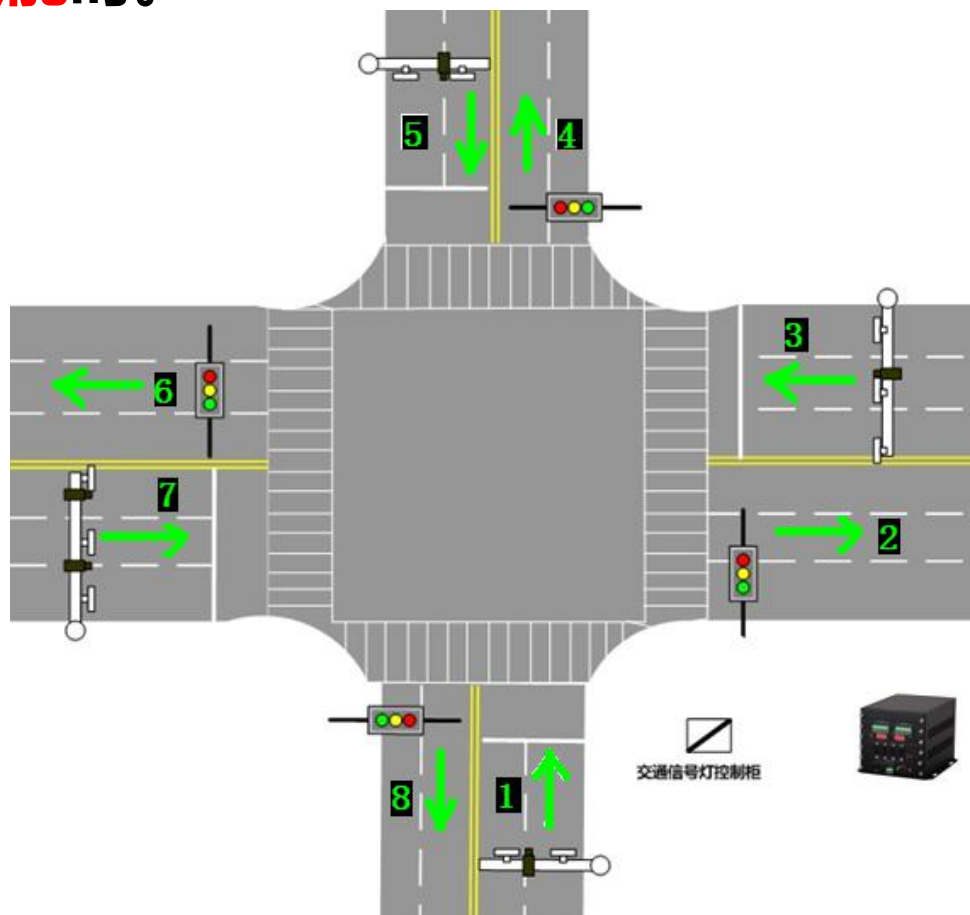
$$\begin{cases} x_1(k+1) = x_1(k) + \omega_1(k) \\ x_2(k+1) = x_2(k) - \alpha_2(k)x_2(k) + \alpha_7(k)g[x_7(k)] \\ x_3(k+1) = x_3(k) - \alpha_3(k)g[x_3(k)] + \omega_3(k) \\ x_4(k+1) = x_4(k) - \alpha_4(k)x_4(k) \\ x_5(k+1) = x_5(k) + \omega_5(k) \\ x_6(k+1) = x_6(k) - \alpha_6(k)x_6(k) + \alpha_3(k)g[x_3(k)] \\ x_7(k+1) = x_7(k) - \alpha_7(k)g[x_7(k)] + \omega_7(k) \\ x_8(k+1) = x_8(k) - \alpha_8(k)x_8(k) \end{cases}$$



交通控制

□ 第3和第7路段左转弯绿灯使能时。

$$\begin{cases} x_1(k+1) = x_1(k) + \omega_1(k) \\ x_2(k+1) = x_2(k) - \alpha_2(k)x_2(k) \\ x_3(k+1) = x_3(k) - \alpha_3(k)g[x_3(k)] + \omega_3(k) \\ x_4(k+1) = x_4(k) - \alpha_4(k)x_4(k) + \alpha_7(k)g[x_7(k)] \\ x_5(k+1) = x_5(k) + \omega_5(k) \\ x_6(k+1) = x_6(k) - \alpha_6(k)x_6(k) \\ x_7(k+1) = x_7(k) - \alpha_7(k)g[x_7(k)] + \omega_7(k) \\ x_8(k+1) = x_8(k) - \alpha_8(k)x_8(k) + \alpha_3(k)g[x_3(k)] \end{cases}$$





交通控制

□ 在上式中，

$\{\omega_1(k), \omega_3(k), \omega_5(k), \omega_7(k)\}$ 是四个方向在周期T进入十字路口的车辆数；

$\{\alpha_2(k), \alpha_4(k), \alpha_6(k), \alpha_8(k)\}$ 是自由驶离车辆比例系数，与车辆驾驶员喜好、习惯、驾车技能熟练程度等因素有关；

$\{\alpha_1(k), \alpha_3(k), \alpha_5(k), \alpha_7(k)\}$ 是信号灯可以直接改变的量，为本问题中的控制变量；

$g[\bullet]$ 为关于车流量的检测量，通常固定为非线性函数。



交通控制

□ 一般地，十字路口的控制与状态量还受如下限制。

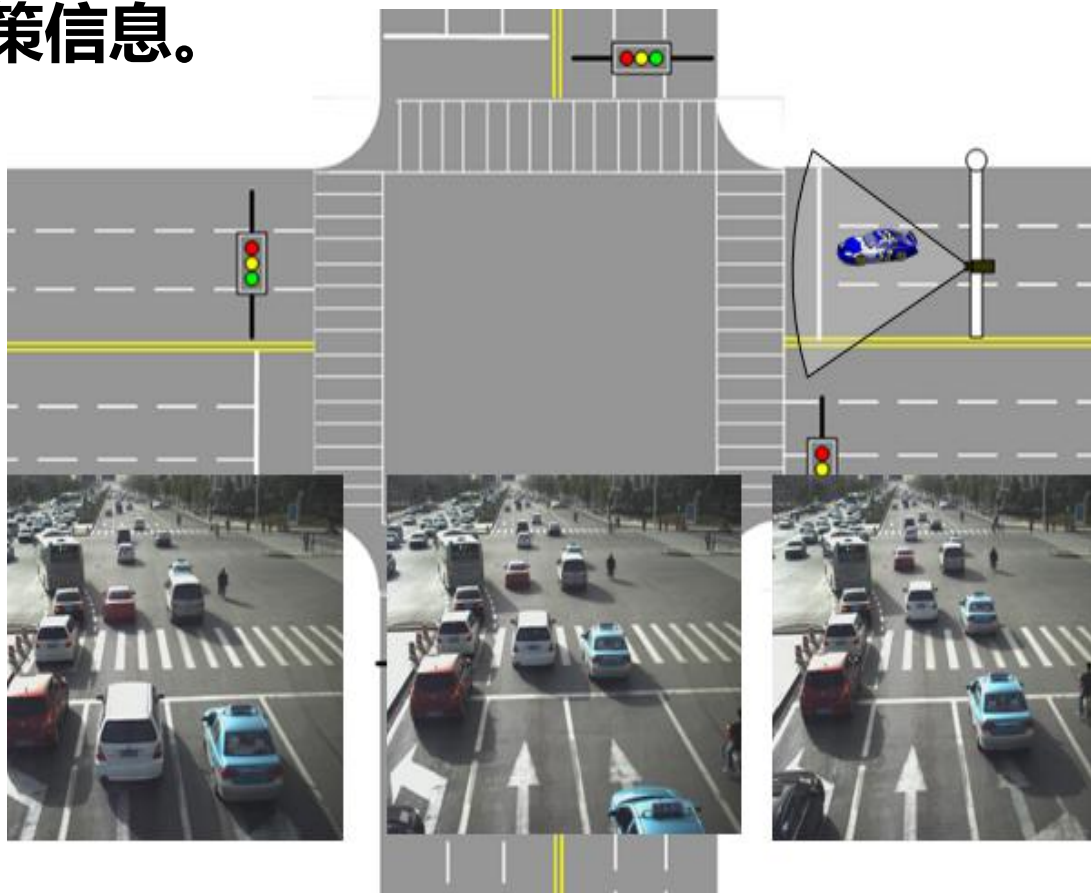
$$\begin{cases} 0 \leq \alpha_i(k)g[x_i(k)] \leq u_{\max}, i \in \{1,3,5,7\} \\ 0 \leq x_i(k) \leq x_{\max}, i \in \{1,2,\dots,8\} \end{cases}$$

□ 上述方程可以用于单一路口，也可以用来研究一条路线、一个区域或一个城市的交通控制问题。

□ 通过现场交通调查，可以获得不同时间、不同地理位置相关的统计参数，从而可以由上述方程进行仿真研究。仿真中，既可以检验配时方案的合理及有效性，也可以进行交通信号参数优化设计。

交通控制

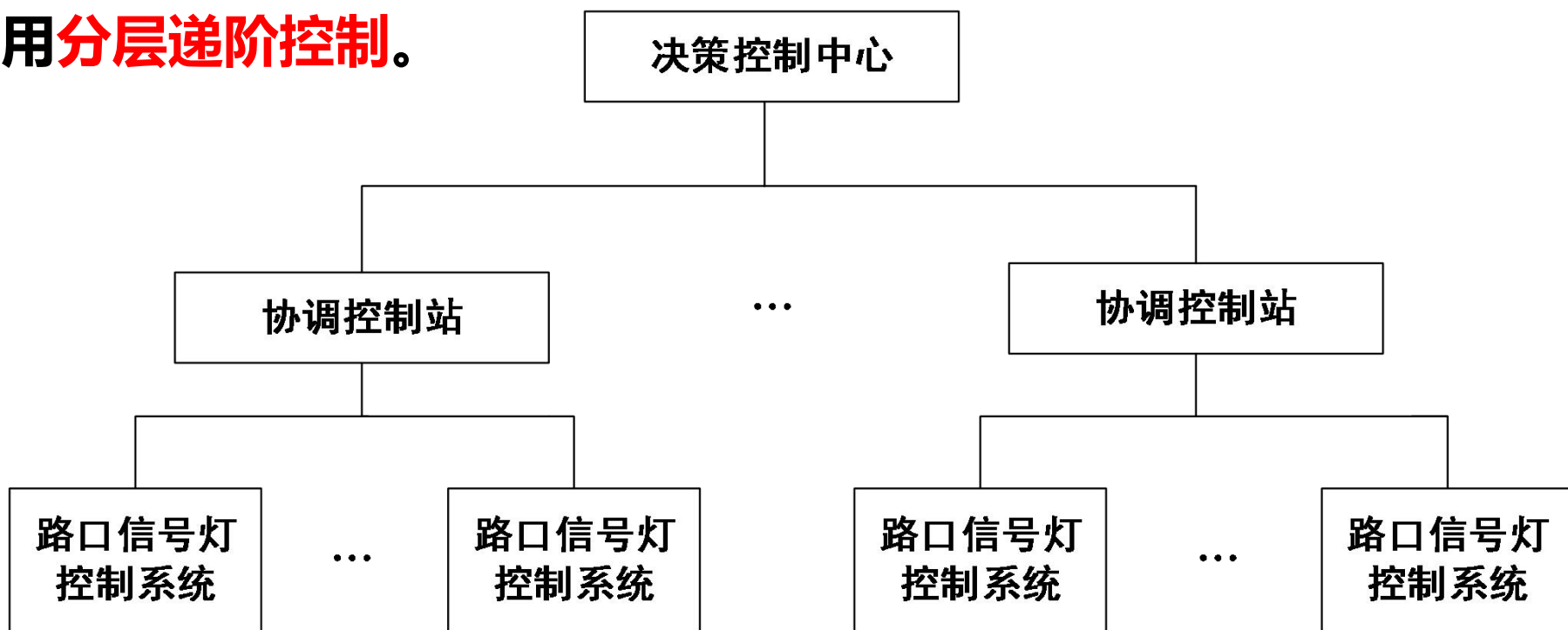
- 除车辆检测器外，还采用视频技术获得交通现场动态画面，给监管人员提供直观决策信息。
- 从视频信号中自动提取交通信息，需要应用图像模式识别等先进技术。在交通信号参数优化计算中，可以考虑公共交通优先等。





交通控制

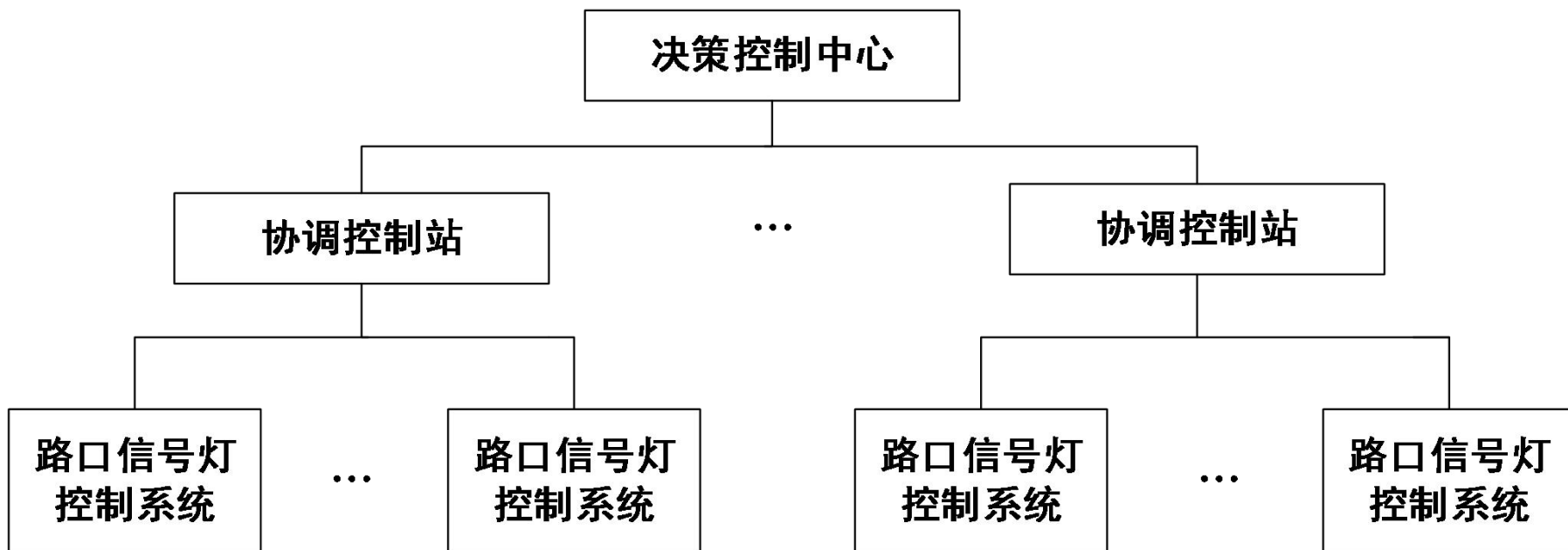
- 对于控制区域不大、交通信号比较集中的情况，可以采用**集中监控系统**。即用一台中央主机控制辖区内的所有交通信号，优点是结构比较简单、建设和维护费用相对较低。但一般需要采用**分层递阶控制**。





交通控制

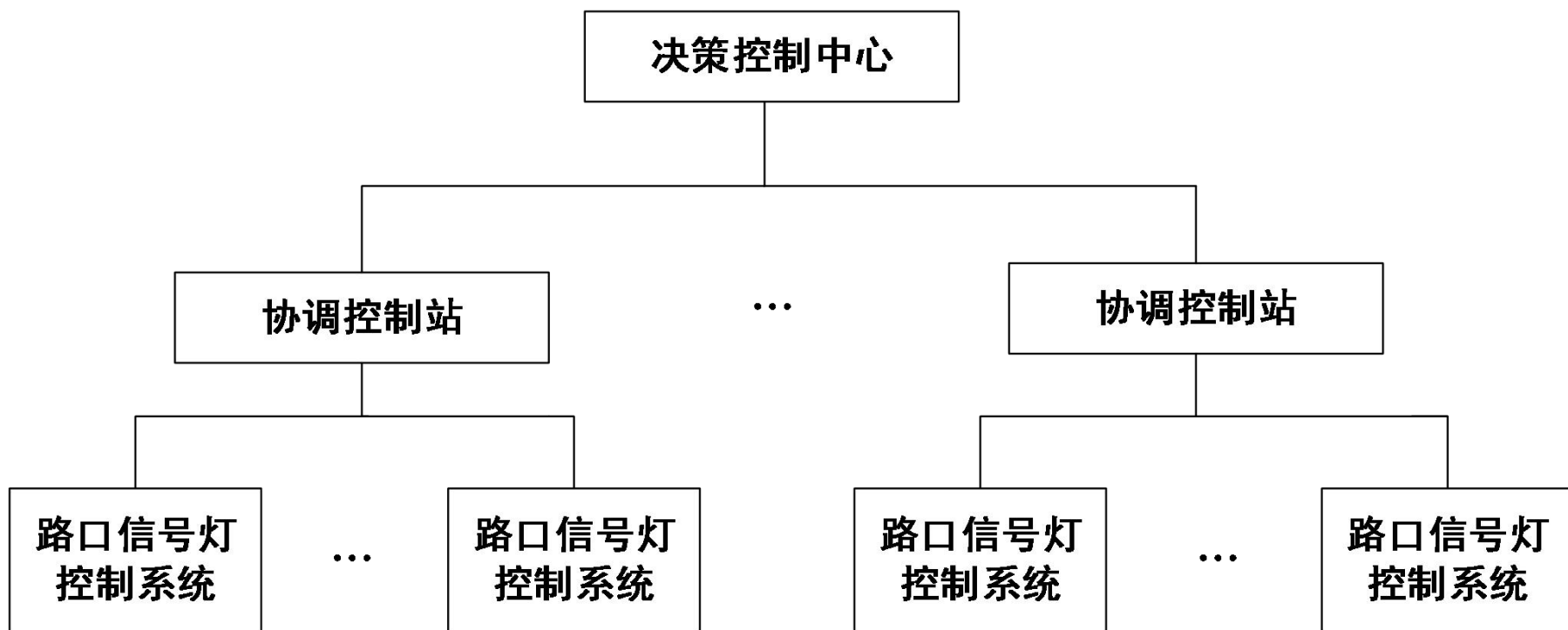
- **决策控制中心**下辖若干协调控制站。根据外部需求及全系统交通现状，制定交通计划，并作为约束条件传给各协调控制站。外部需求包括VIP（贵宾）车队、大型集会等信息，交通现状包括各区域通行能力、路况、突发事件等。





交通控制

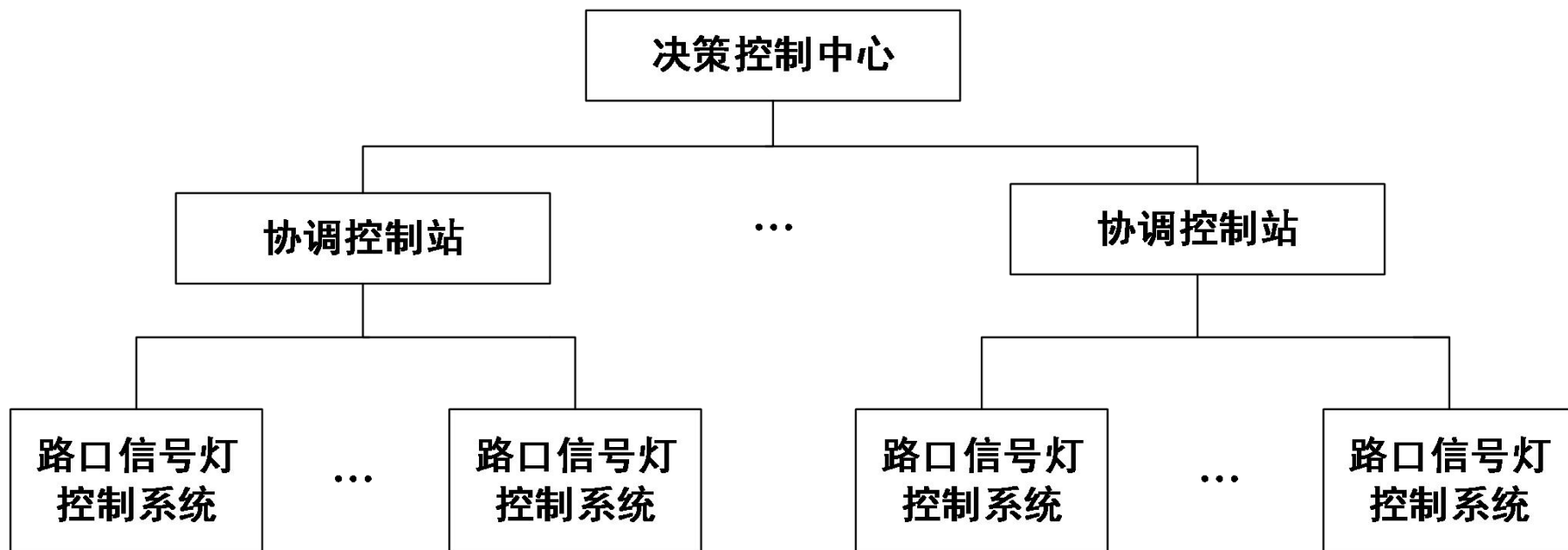
- **路口信号灯控制系统**是底层基本单元，负责实时采集本路口车流信息，以本路口交通顺畅为目标进行初步决策，并将初步决策上报协调控制站。





交通控制

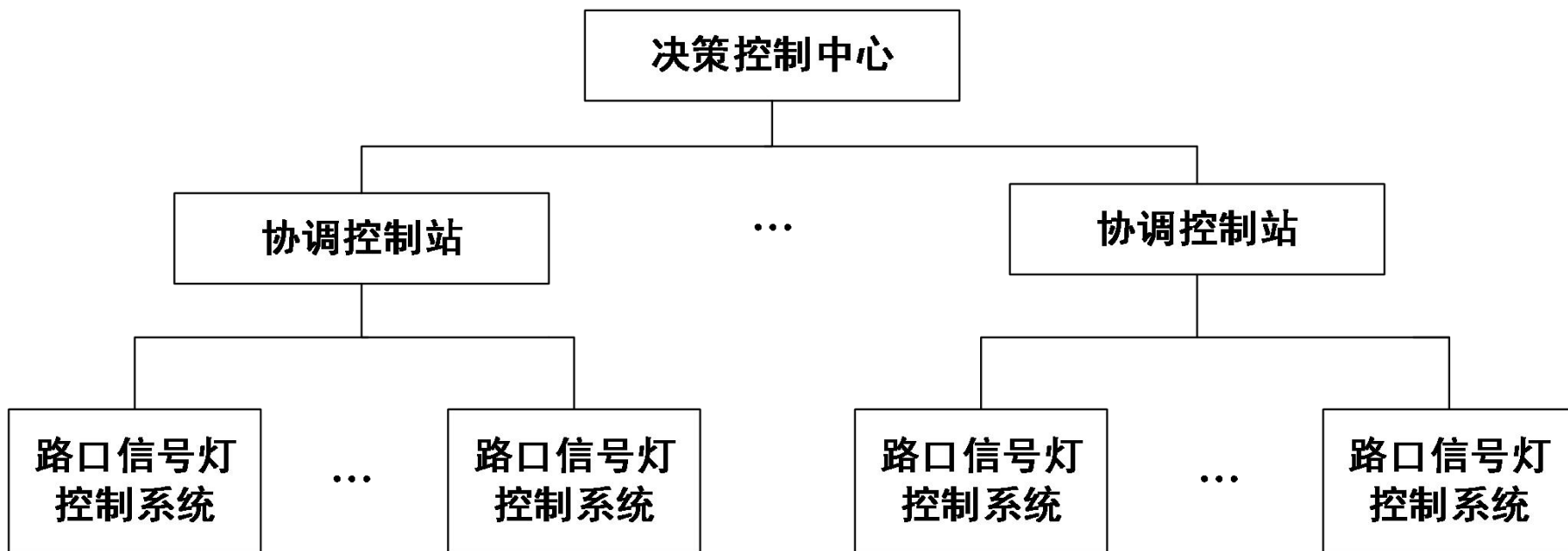
- **协调控制站**管辖若干路口信号灯控制系统，以本辖区交通顺畅为目标，同时考虑决策控制中心给定的约束条件，对下属路口信号灯控制系统上报的决策方案进行协调，协调结果作为实际方案下发各路口信号灯控制系统具体执行。





交通控制

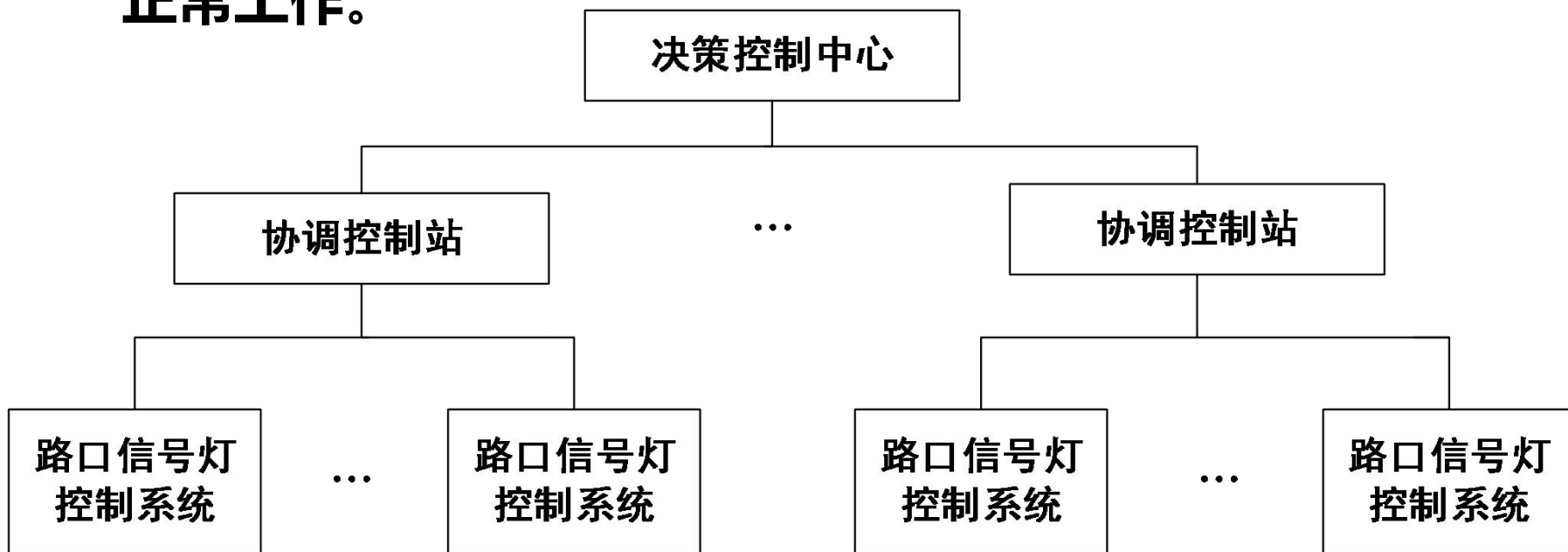
- **协调控制站**需要及时地将本区域重要的交通信息上报决策控制中心，必要时可以申请决策控制中心更改交通计划。协调控制站可能还需要在非路口设立交通信息采集点，重要路段、路口的交通信息要上传决策控制中心。



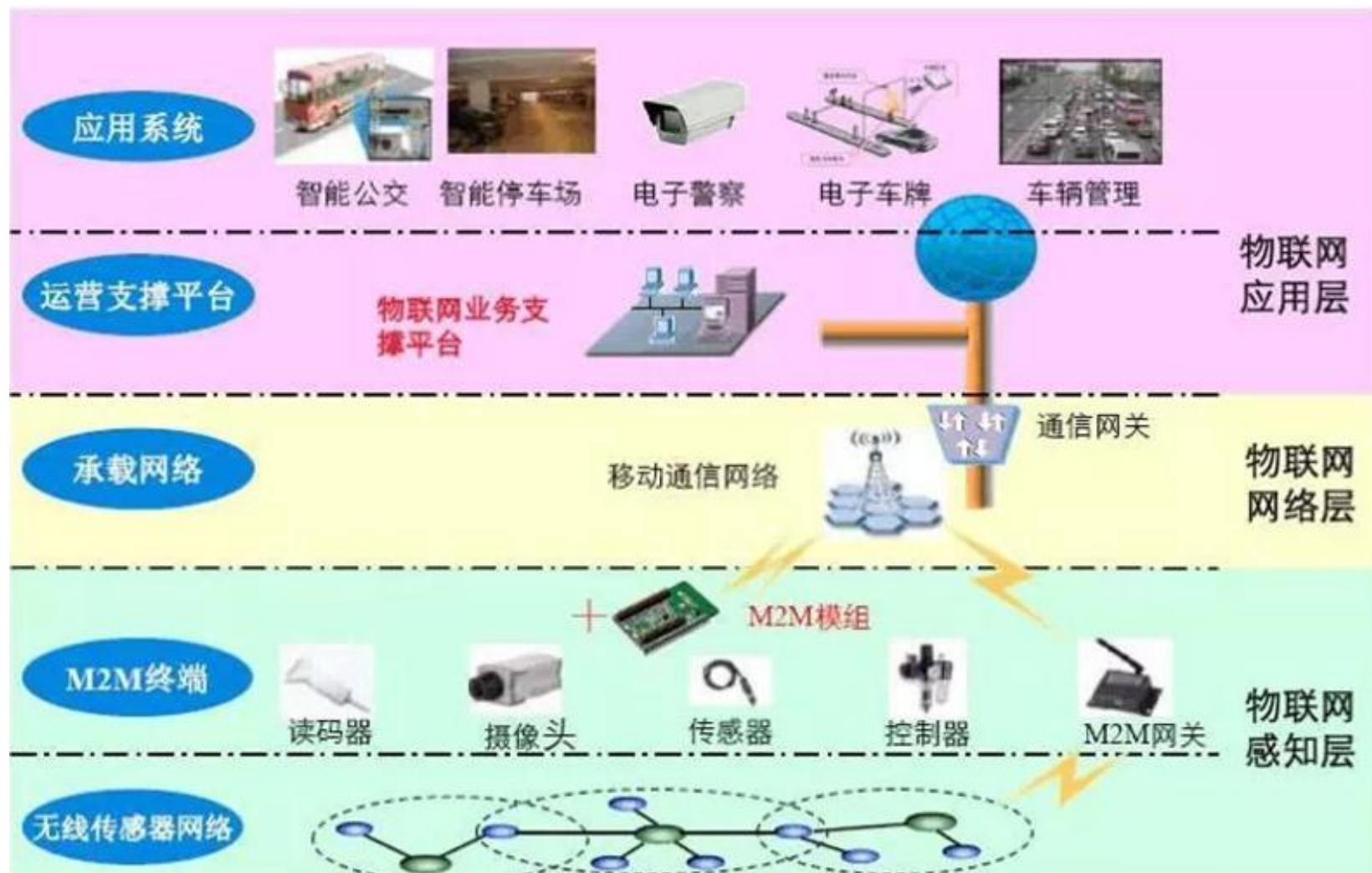


交通控制

- 交通控制系统的分层递阶结构可以有效地克服集中控制的缺点，可靠性较高，当系统局部出现故障时，全系统仍然可以正常工作。

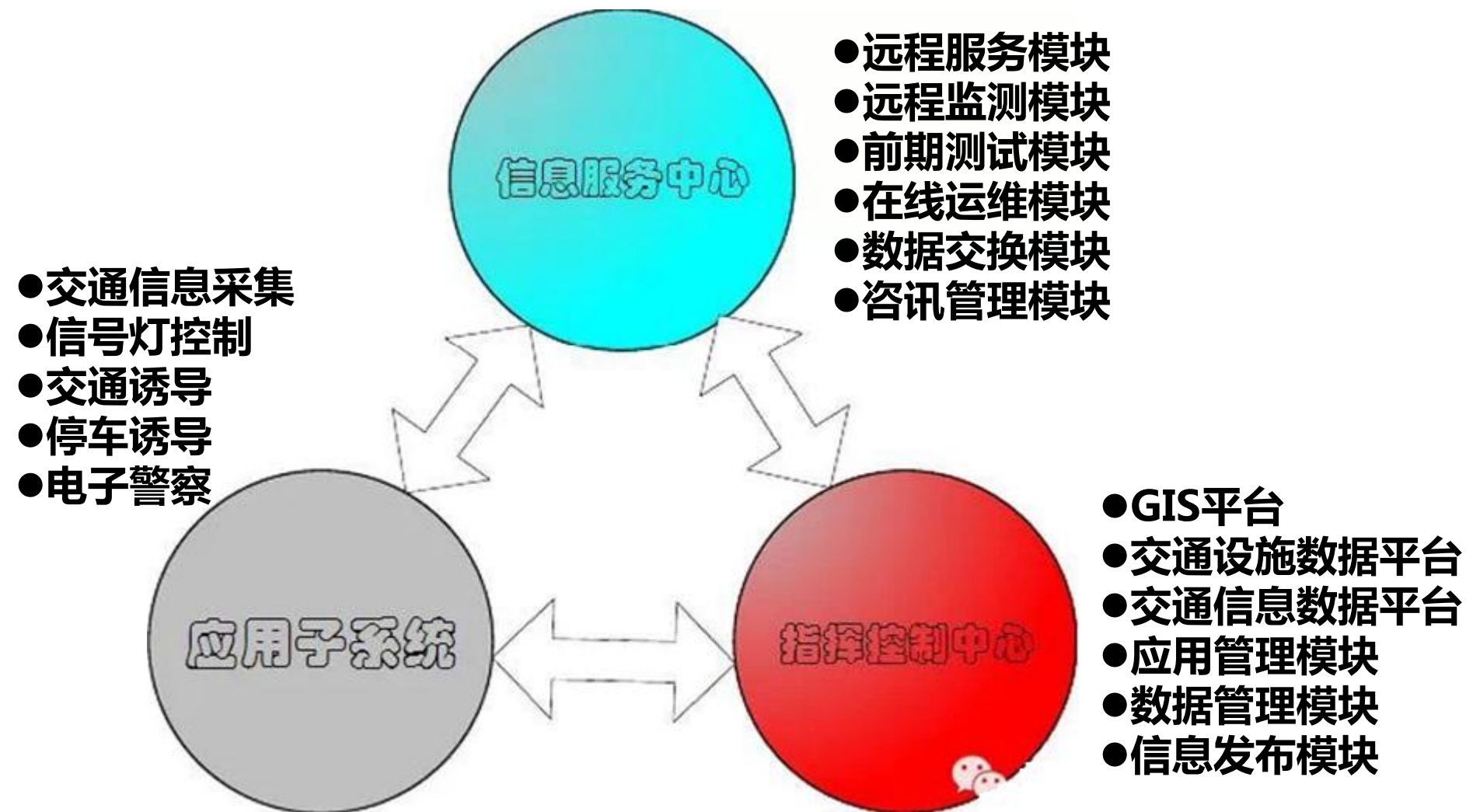


智能交通系统整体架构



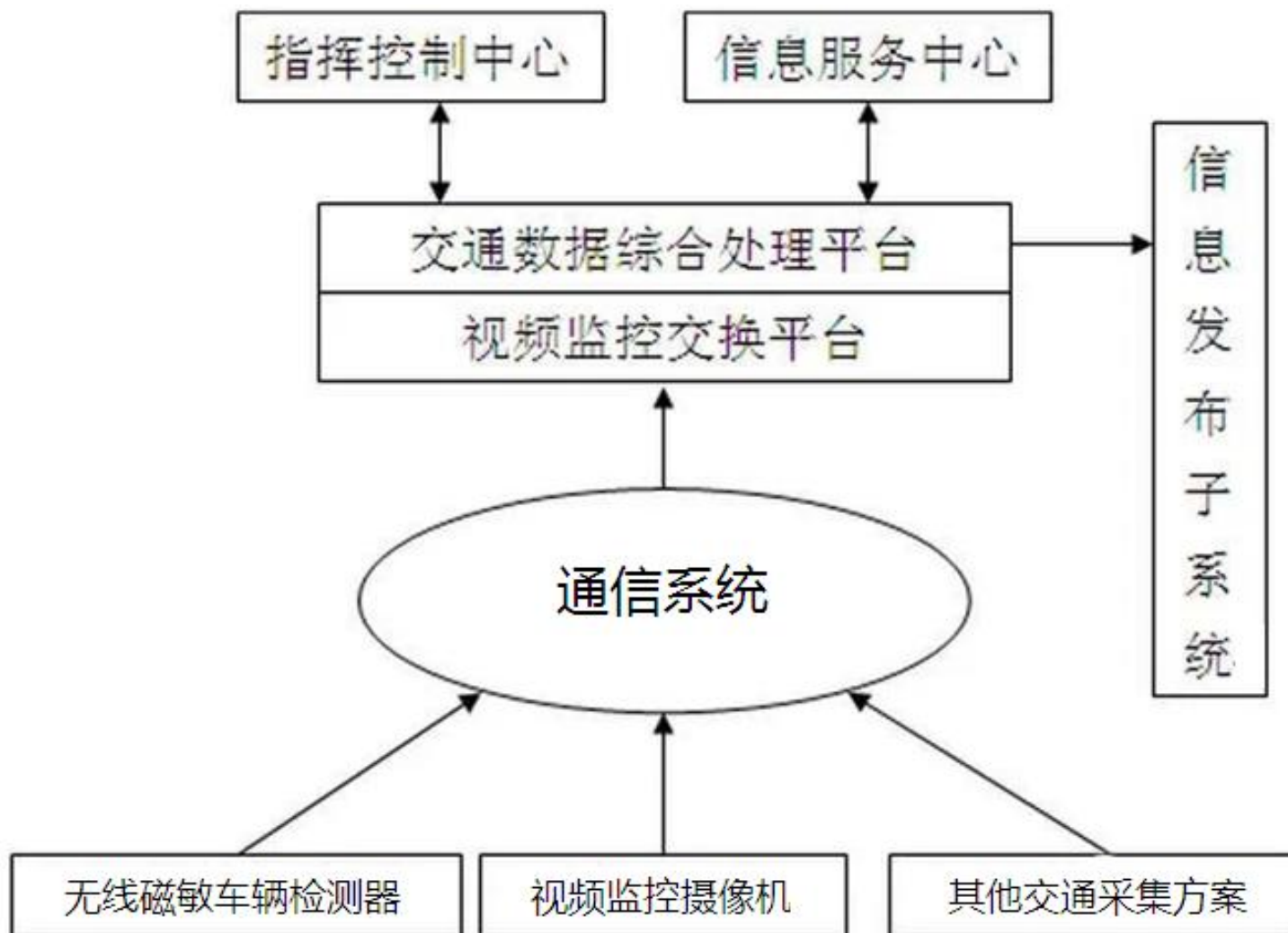


智能交通应用系统构成

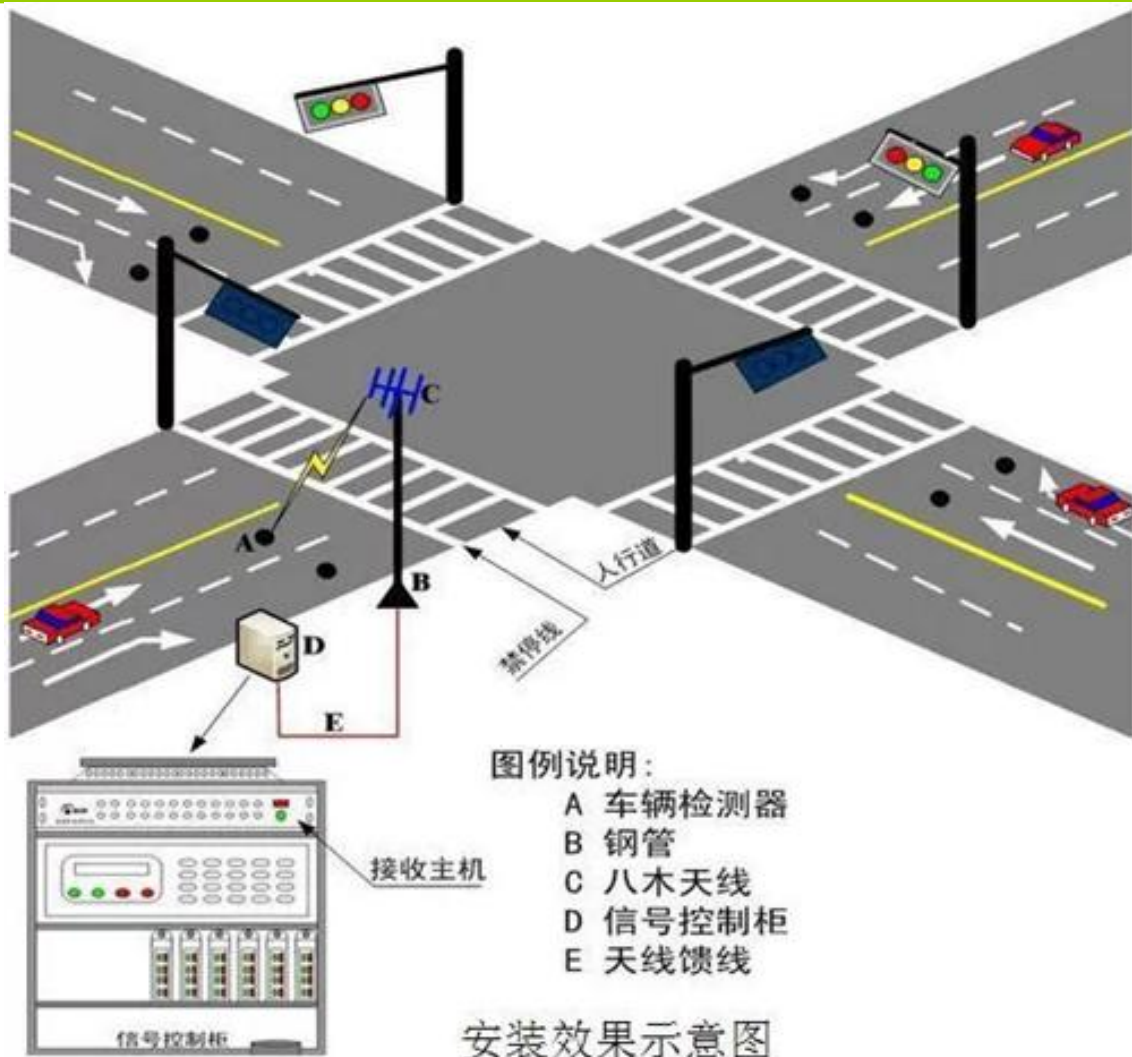




交通信息采集系统



交通信息采集系统



- **磁敏传感器**探测车辆对地磁的影响，以此判断车辆经过情况

- 将采集的信息通过无线传感器网络发送至接收主机

- **接收主机**再把相关信息传送给信号控制机

- **信号控制机**通过获取的车流量信息来分析当前车道的占有率，从而智能分配红绿灯的开启时间，达到智能控制效果

交通信息采集系统

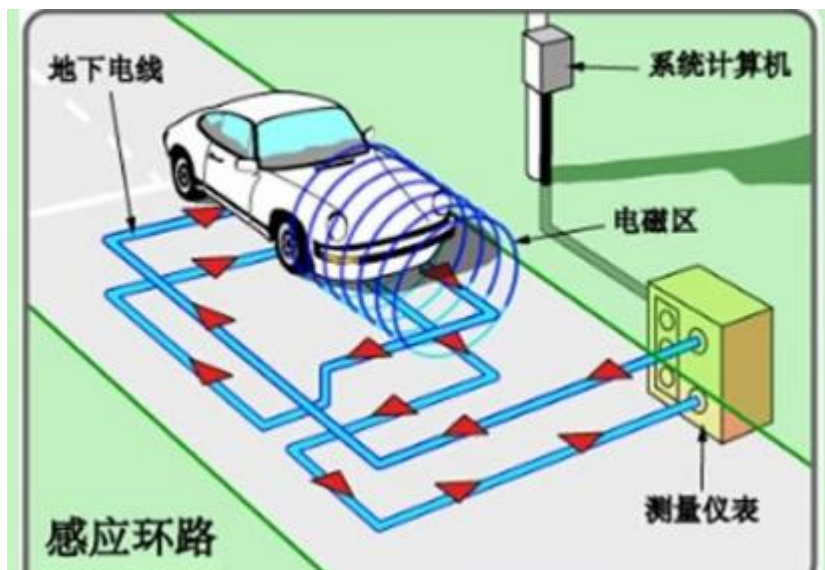


环形线圈车辆检测器

检测技术：环形线圈、微波、视频、磁敏、超声波等。

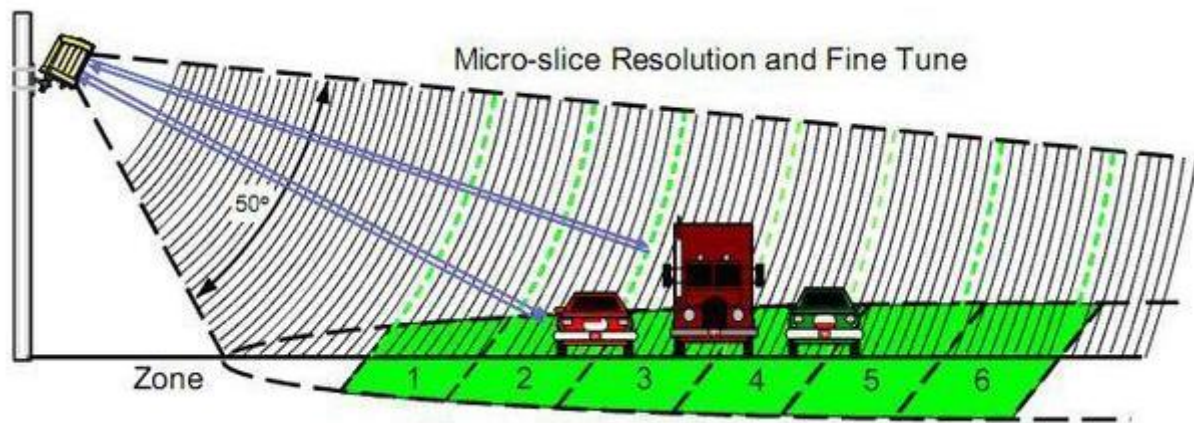
采集数据：原始流量、5分钟流量、占有率、拥堵程度、行程时间和行驶速度等

交通信息采集系统

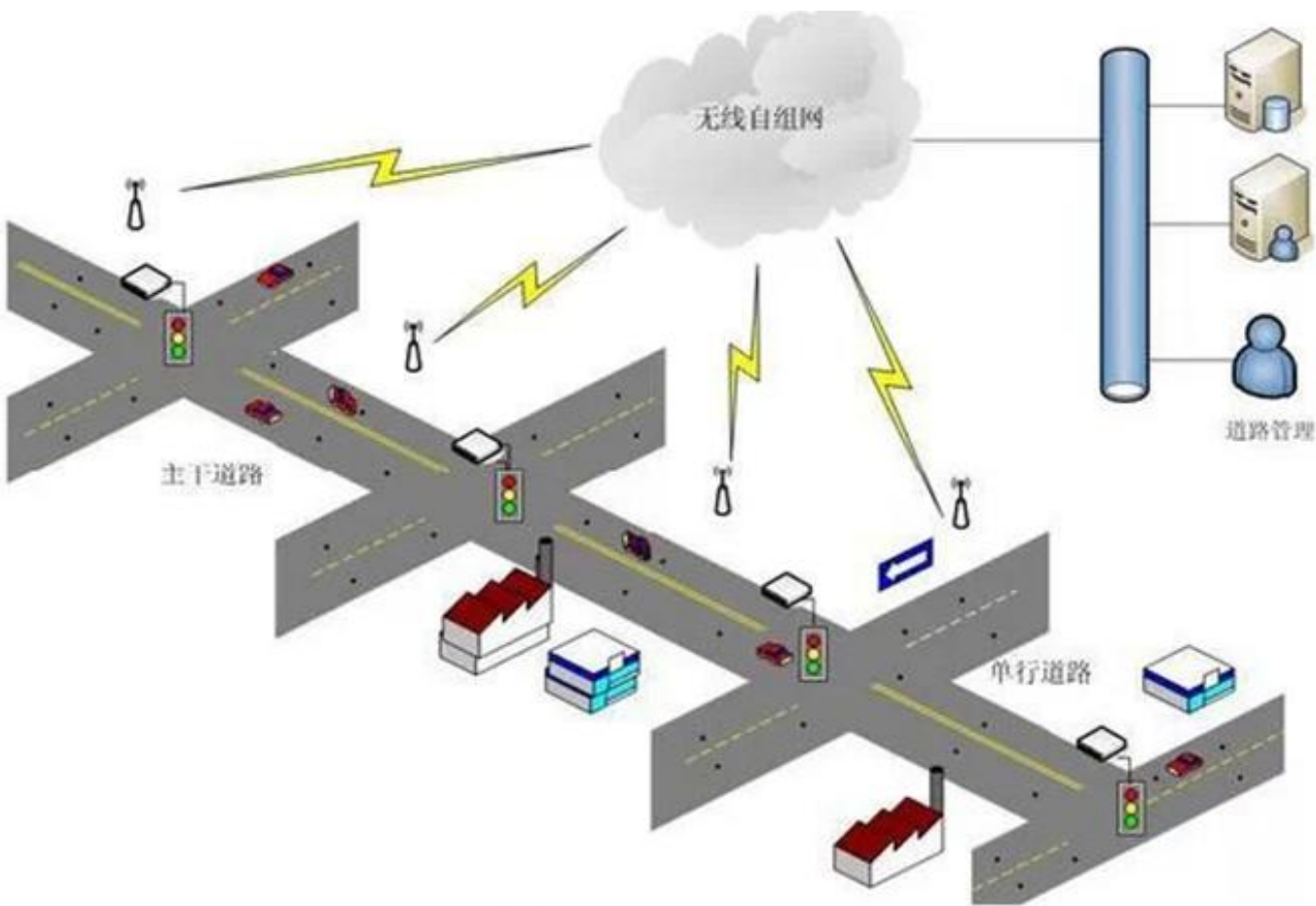


检测技术：环形线圈、微波、视频、磁敏、超声波等。

采集数据：原始流量、5分钟流量、占有率、拥堵程度、行程时间和行驶速度等



智能信号灯控制系统

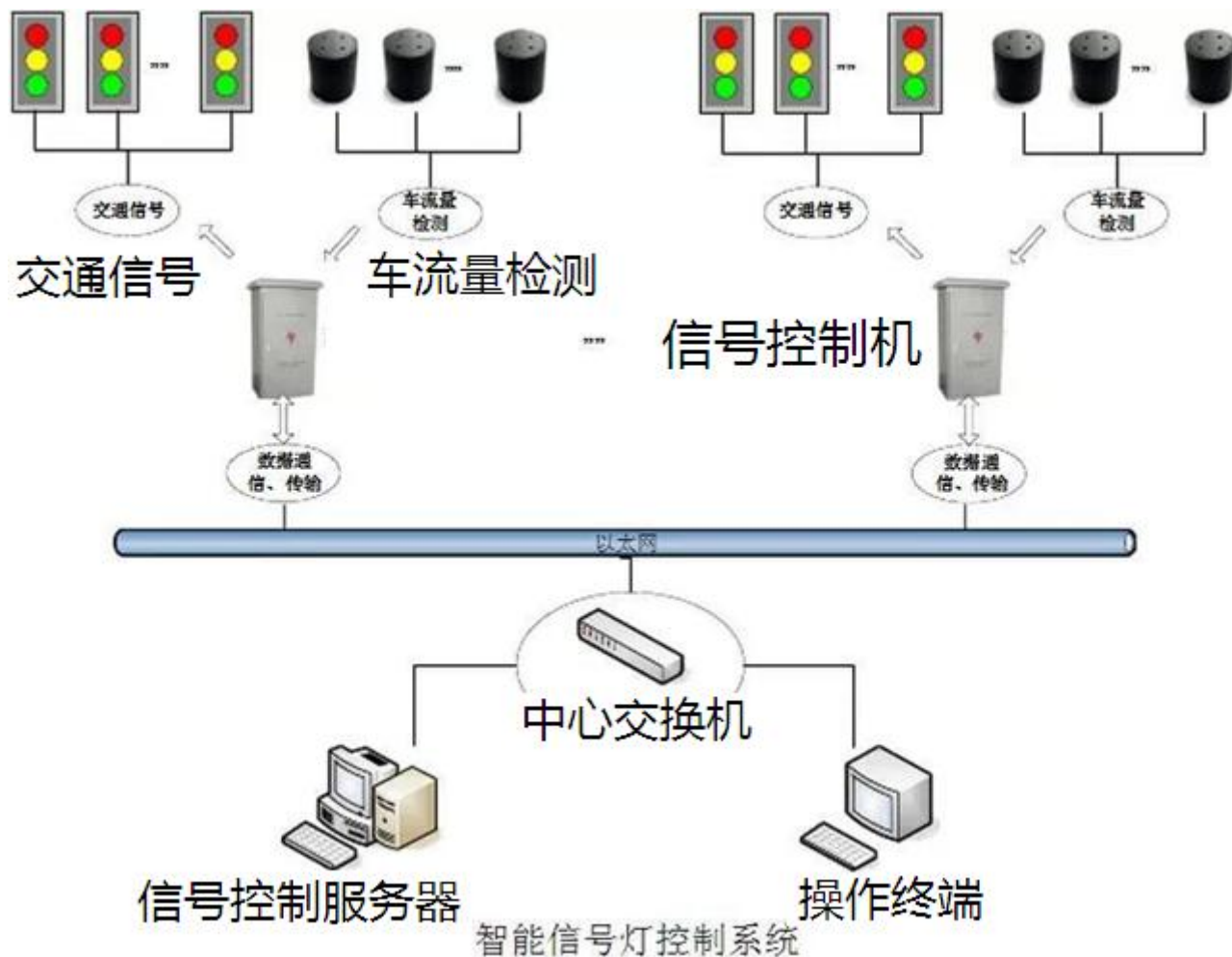


无线自组网智能交通信号控制系统

- 以自组网方式建立智能控制网络，通过系统平台与信号控制机协同处理，制定路网车辆通行最优化的信号机配时方案

- 以智能分布式控制与交通流平衡技术，对区域交通流总延误、车辆排队长度、通行速度，进行绿波控制和区域优化控制

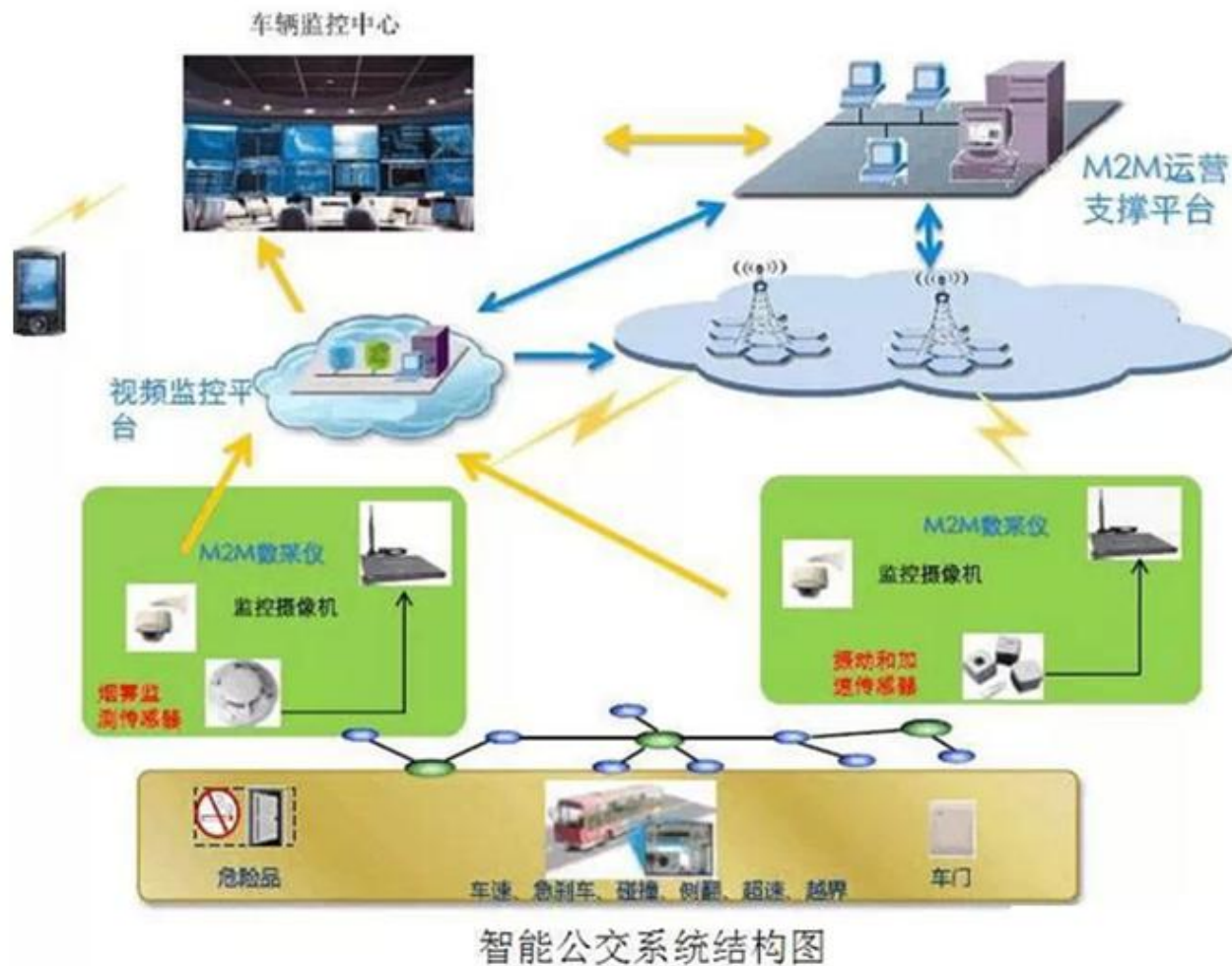
智能信号灯控制系统



- 通过埋在路口的车辆检测器，判断车道使用状况

- 根据中心平台对于相应车道车流量的统计数据，自适应变更路口信号灯配时方案，实行绿波控制，最大限度保证道路口的通行顺畅。

智能公交系统

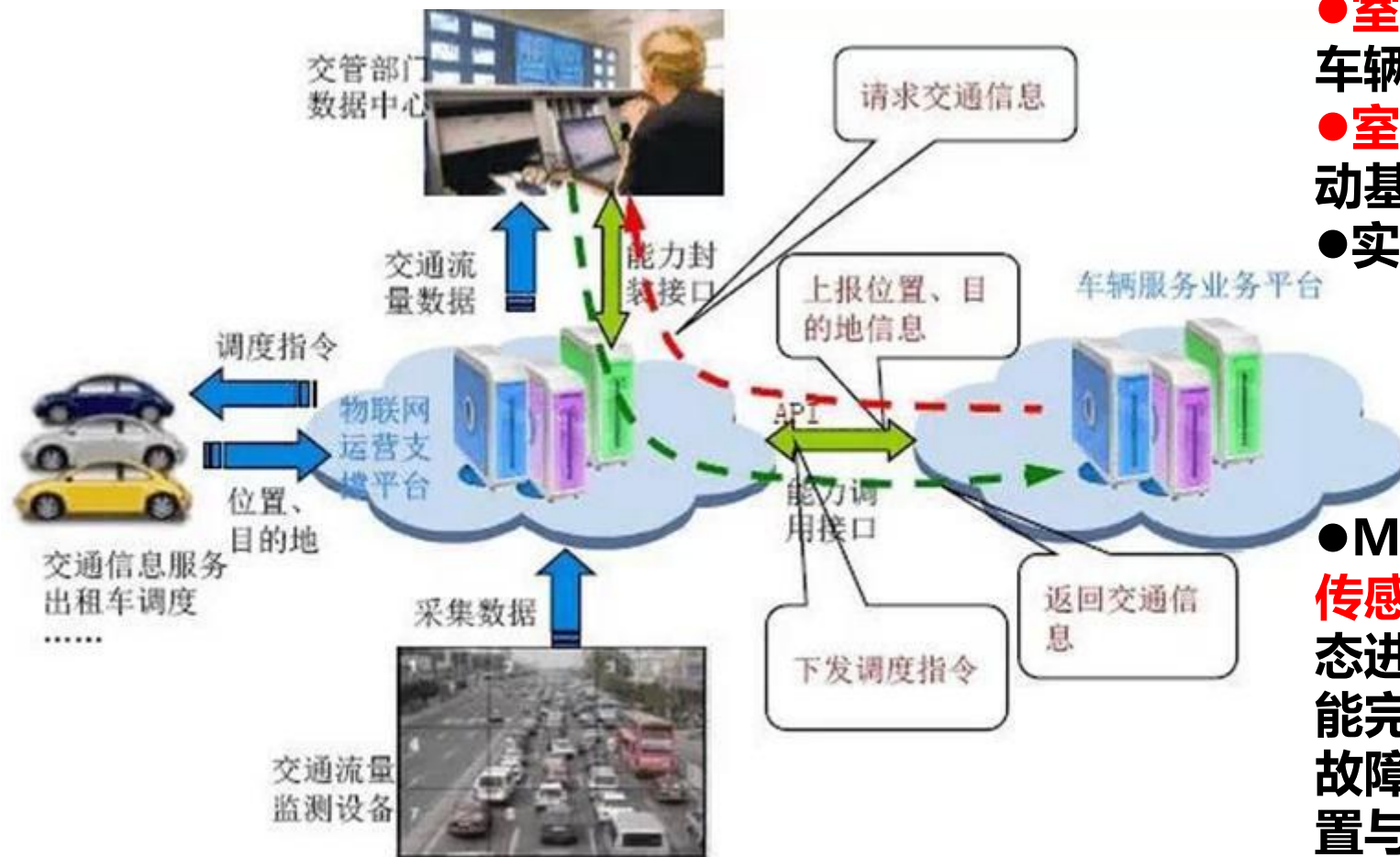


●新一代人车交互系统，是**物联网**在交通行业的应用

●通过加载**无线网络**和**传感器**到汽车中，将汽车运行状况、位置信息采集后，用移动无线网络传递到M2M平台

●M2M平台进行统一处理，实现对汽车的**远程监控和调度管理**

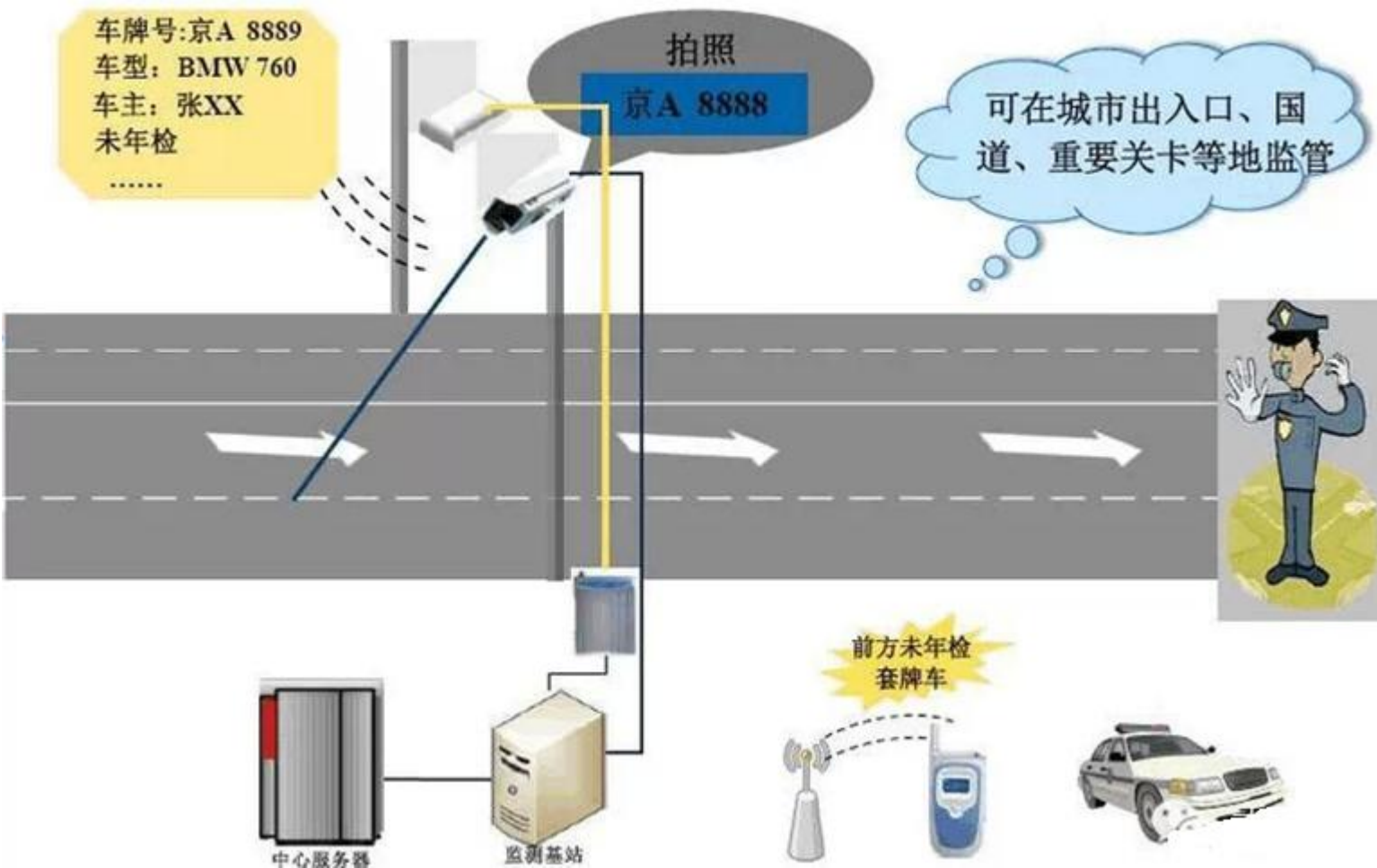
智能公交系统



- 室外**:卫星信号对车辆精确定位/监控
- 室内**:通过中国移动基站定位。
- 实现全覆盖

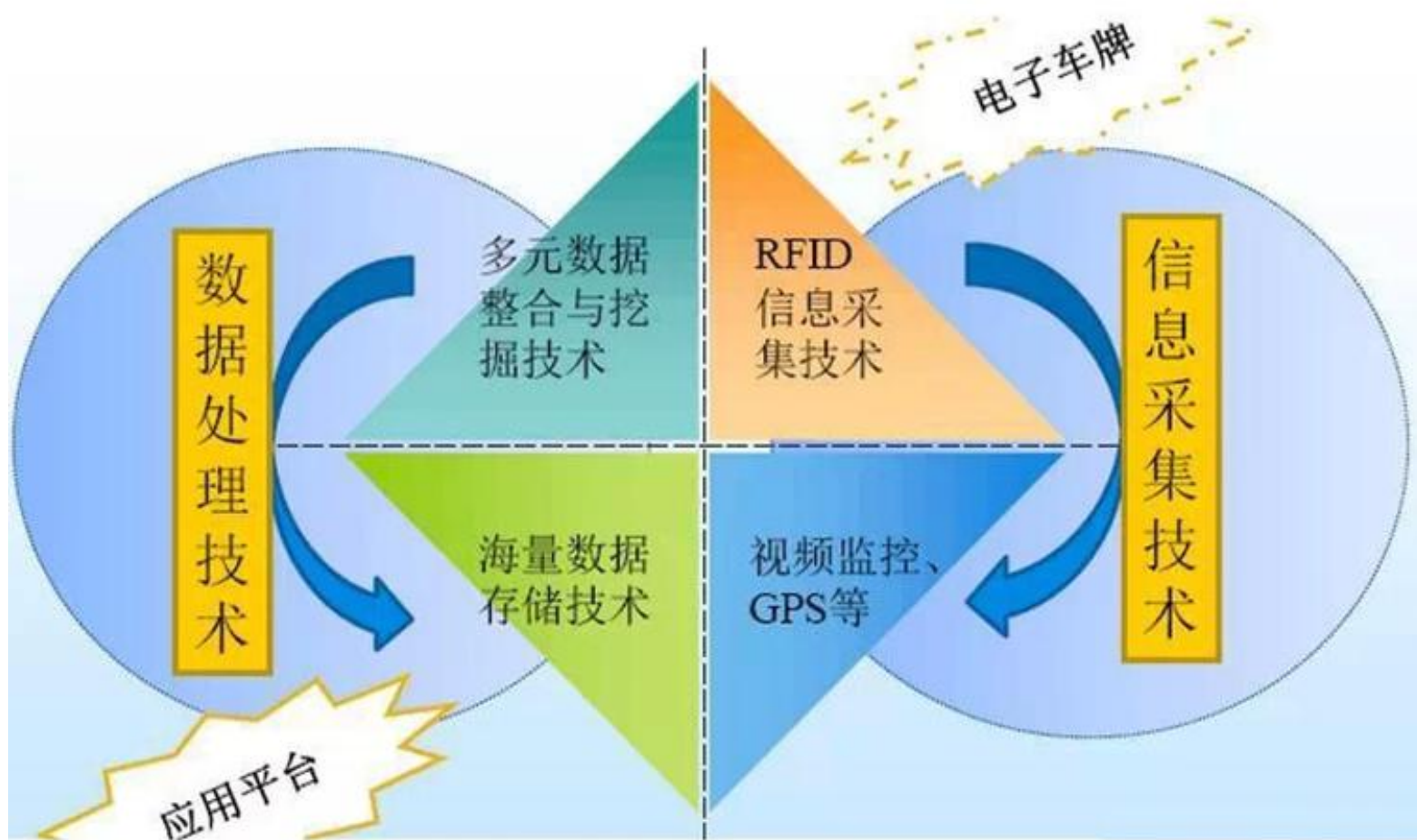
●M2M平台对**车载传感器与终端**的状态进行实时管理，能完成远程升级、故障告警、参数配置与远程控制功能

电子车牌应用中的控制技术



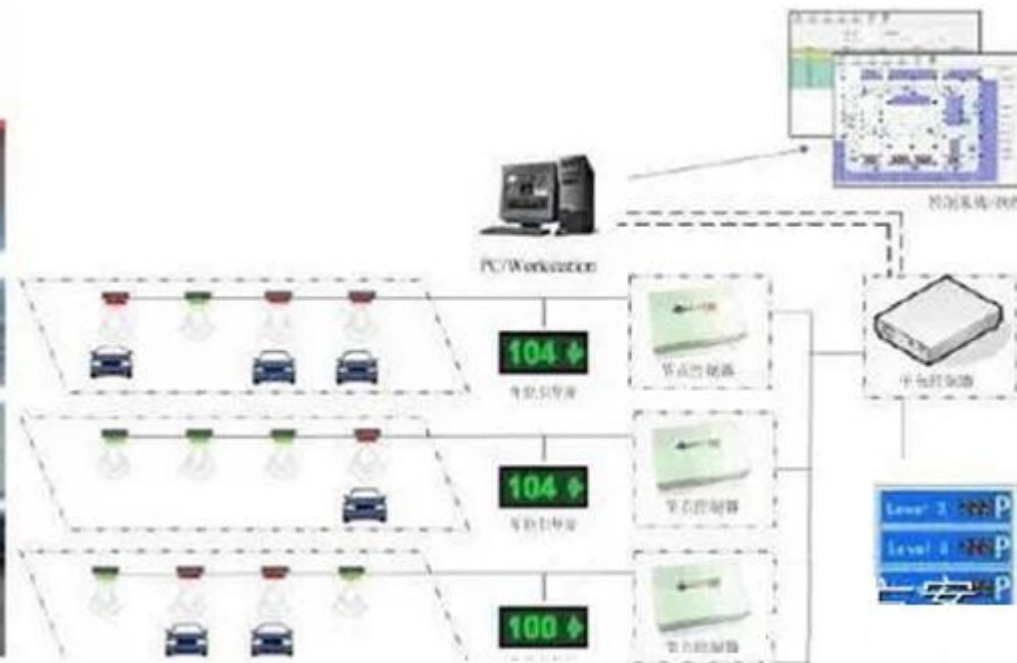
通过路侧设备实现与车载RFID的通信，并取得车辆信息，从而可以进行车辆识别、收费、监测和处罚

电子车牌应用中的控制技术



电子车牌应用关键技术分布图

智能停车场系统中的控制技术



- **车位探测器**实时采集停车场的车位数据
- **节点控制器**按照轮询方式收集各车位探测器的车位数据，传送至中央控制器
- **中央控制器**对信息进行分析处理，并传送到停车场管理电脑、数据库服务器
- 通过各LED车位引导屏、车位状态指示灯对外发布，引导车辆进行停放



电子警察系统中的控制技术





谢谢!