

智能网联场景下信号交叉口协同控制虚拟仿真教学指导书

一、实验所属课程及时

- (1) 实验所属课程：《交通工程综合设计》，共 48 学时；
- (2) 该实验所占课时：3 学时。

二、实验原理

本实验聚焦于智能网联场景下交叉口协同控制优化设计问题，构建了“理论方法教学+虚拟交通仿真+真实路网实践”的实验体系，从“点-线-面”三个层次设计了“单点交叉口信号控制”、“干线绿波信号控制”和“信号交叉口协同控制”，并拓展到“智能网联场景下交叉口协同控制”，形成四个递进式实验环节，环环相扣，依次递进，共设置了 16 个实验步骤。

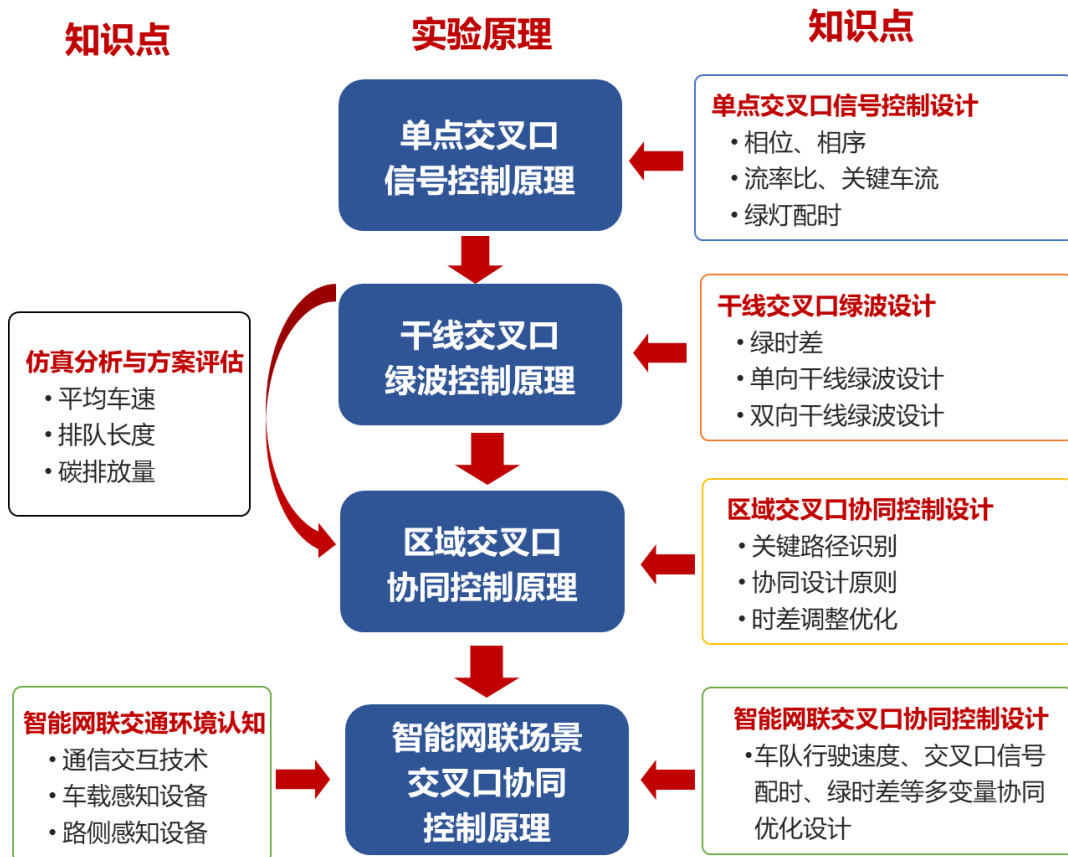


图 1 实验原理和知识点框图

本实验包括以下具体原理，学生可以通过知识角获取。

1、单点交叉口信号控制原理

理想的交叉口信号控制方案应将交叉口各车道的交通负荷（流率比）控制在一个恰当的水平，并且尽可能使各车道的饱和度相当，以达到交叉口时空资源的均衡配置。根据各进口道的交通流量分布情况确定相位相序，计算各车道的流率比，其中流率比最大的车道组为关键车道组，每个相位的有效绿灯时间与该相位的关键车道组流率比成正比。

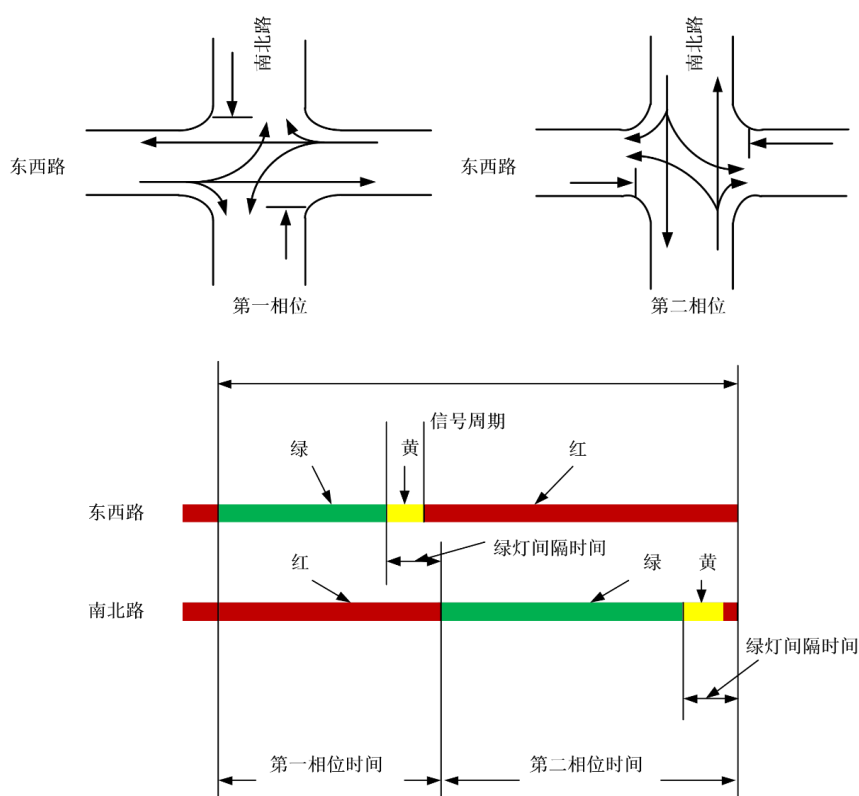


图 2 单点交叉口两相位信号控制图

2、干线交叉口绿波控制原理

干线交叉口绿波控制本质都在于获得理想时差，即相邻交叉口的信号灯绿灯启亮时间之差。当车队中的首车刚刚到达下游交叉口时，下游交叉口的信号灯刚好变绿。理想时差与上、下游相邻交叉口之间的距离和车队的行驶速度相关。

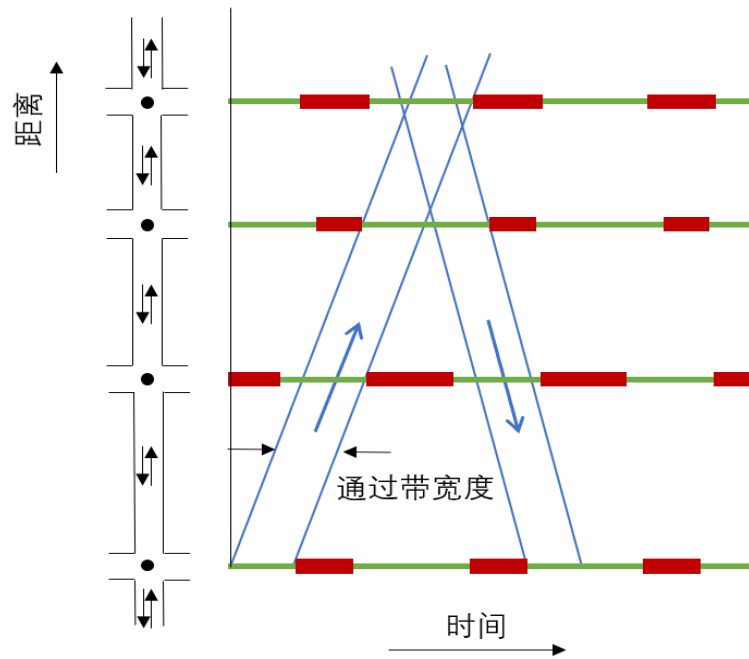


图 3 干线交叉口绿波控制原理图

3、区域交叉口协同控制原理

依据交通流量信息识别路网内的关键路径,即交通流量相对较大或需要满足特殊需求的路径。关键路径可以为直行路径,也可以为不规则的转向路径,通过调整交叉口信号理想时差,实现车流在该路径上的连续通行,注意甄别参与协调控制的进口方向与相位。对于多条关键路径相交,则先完成流量最大的关键路径信号协调设计,再基于交点交叉口依次完成其他路径的信号协调设计。

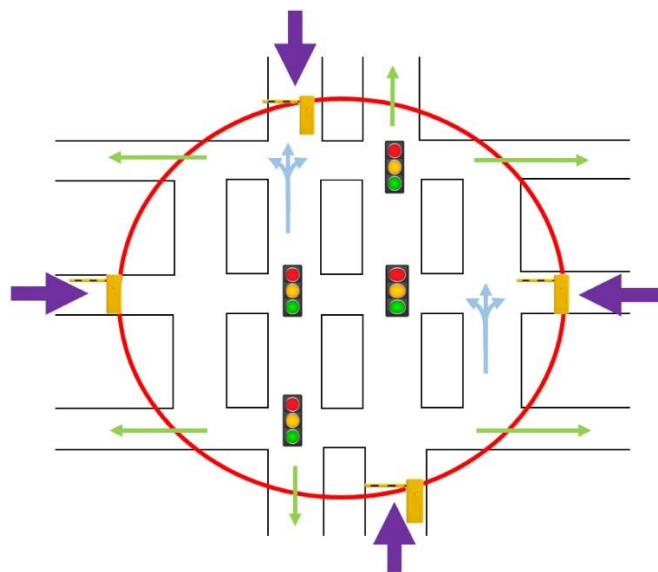


图 4 区域交叉口协同控制原理图

4、智能网联场景下信号交叉口协同控制原理

在智能网联环境下，车车、车路之间可实现信息实时交互。在正常交通状况下，可从信号控制与行驶速度协同层面，对车队行驶速度、交叉口信号配时、交叉口之间的绿灯时差等多因素进行协同优化设计，以提高路网交通流的整体运行效率。



图 5 智能网联场景下交叉口信号配时、行驶速度协同控制示意图

在交通事故等特殊场景下，为防止局部拥堵进一步扩散，可将交通流诱导分流、交叉口信号控制、车队行驶速度引导三者相结合进行协同优化，引导学生进行自主设计、规律探究，实现路网交通流全局最优自适应控制。

三、知识点

1、智能网联环境认知

从技术层面看，智能网联技术可拆分为智能化和网联化两个层面。智能化层面是指利用先进的智能感知设备以及信息传输设备，检测车辆内部数据以及周围环境数的智能车辆，自动的分析车辆行驶状态与危险状况，也可以按照驾驶员的预先设定来操控车辆到达目的地，达到智能驾驶替代人工驾驶的目的；网联化层面指的是通过车车互联(V2V)、车路互联(V2R)、车网互联(V2I)等技术实现车内

网络与车外网络的通讯以及信息的交换，进而实现人-车-路的实时信息交流。

2、单点交叉口信号控制设计方法

在进行信号相位方案设计时，根据左转车流量来判断各进口道是否需要设置左转保护相位，若所有进口道方向都不需要设置左转保护相位，则该交叉口可采用两相位信号控制。若仅有位于同一条道路上的两个进口方向需要设置左转保护相位，则采用三相位信号控制。若四个进口方向均需要设置左转保护相位，则采用四相位信号控制设计。

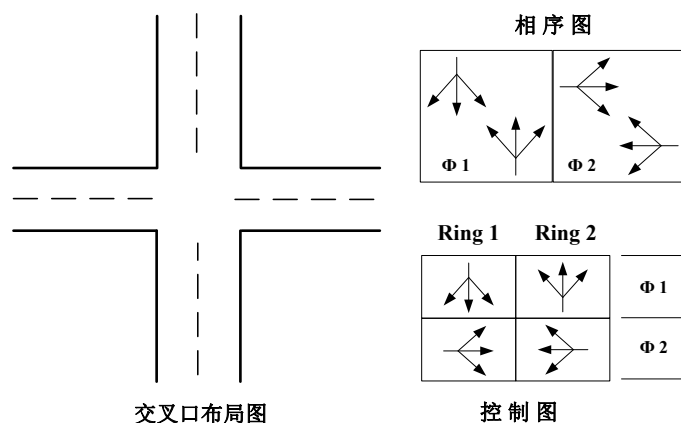


图 6 两相位信号控制方案示意图

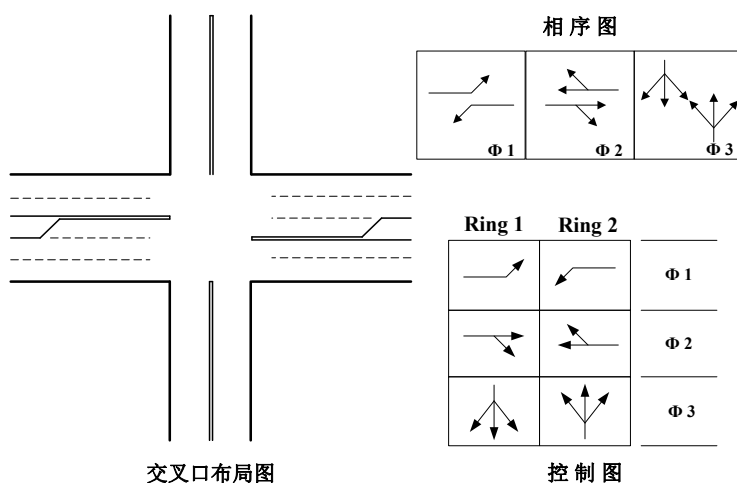


图 7 三相位信号控制方案示意图

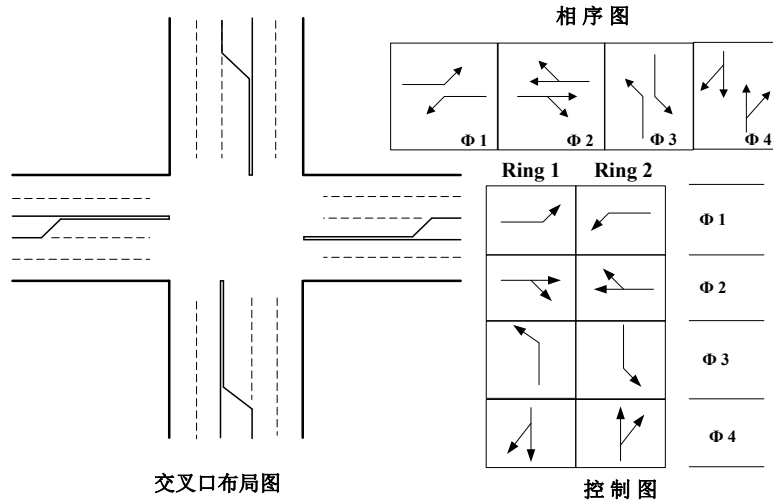


图 8 四相位信号控制方案示意图

交叉口第 j 个相位的有效绿灯时间可表示为:

$$g_{E,j} = (C - L) \frac{y_j}{Y}$$

式中: y_j —— j 相位的关键车道组流率比;

Y ——周期内所有相位的关键车道组流率比之和;

L ——信号总损失时间, 一个周期的信号损失时间由所有相位的启动损失及全红时间组成;

C ——信号周期时长, s。

3、干线绿波信号控制设计方法

在一条双向行驶的主干道路上, 可以对某一个方向的交通流进行协调控制, 也可以对两个方向的交通流都进行协调控制。

单向绿波控制设计方法: 假定系统的周期时长已选定, 系统内每一个信号灯的绿灯时间分配方案已确定, 则将上、下游交叉口之间的距离除以车队的行驶速度, 即可得到相邻交叉口之间的理想时差。

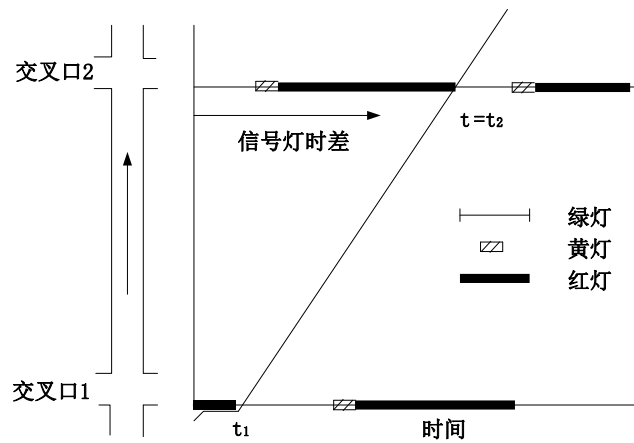


图9 车辆运行的时空轨迹

双向绿波控制设计方法：双向行驶道路的协调控制非常困难，通常很难在同一路段两个方向同时取得良好的协调效果，两个方向的带宽存在“此消彼长”的现象，构建协调控制的最大带宽可采用试错法。

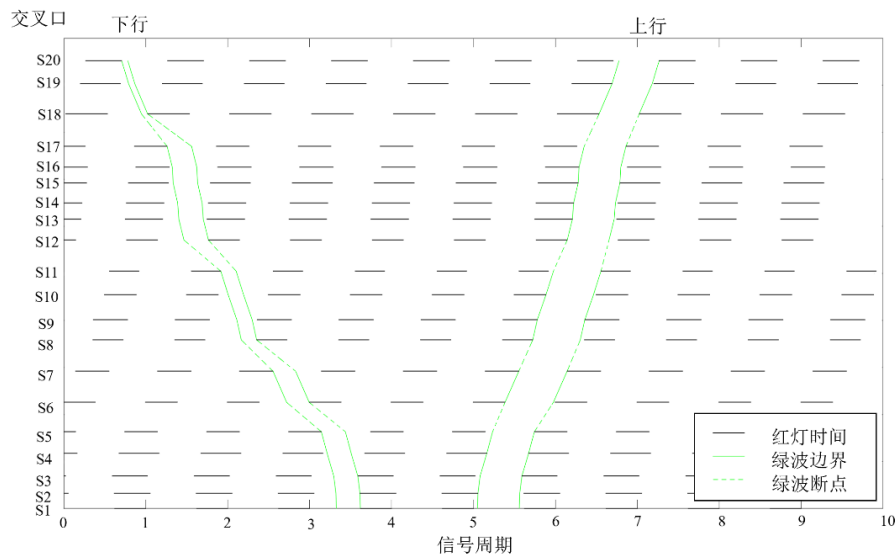


图10 双向长干线分段绿波控制时空图

4、区域交叉口协同控制设计方法

根据路网中的交通流分布情况识别关键路径，即交通流量相对较大或需要满足特殊需求的路径，关键路径可以为直行路径，也可以为不规则的转向路径，通过调整交叉口信号理想时差，实现车流在该路径上的连续通行，注意进行绿波控制时需要甄别参与协调控制的进口方向与相位。对于多条关键路径相

交，则先完成流量最大的关键路径的信号协调设计，再基于交点交叉口依次完成其他路径的信号协调设计。

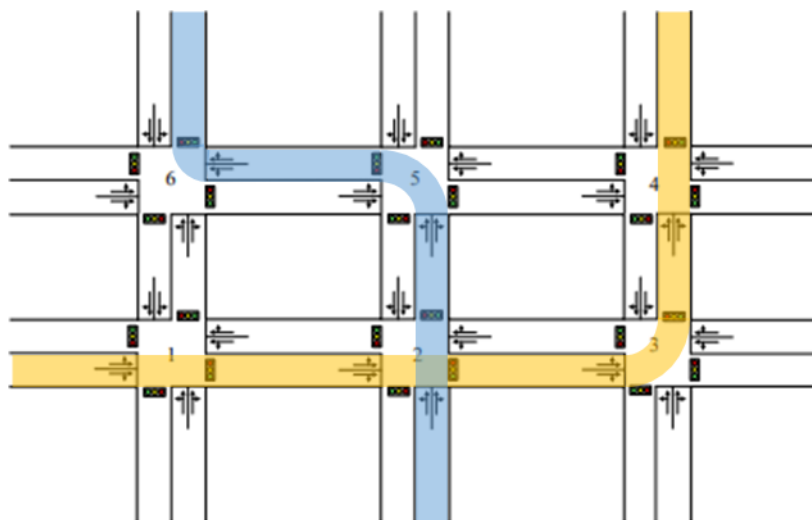


图 11 基于关键路径的区域交叉口协同控制设计

5、智能网联场景下信号交叉口协同控制设计方法

在正常交通状况下，可从信号控制与行驶速度协同层面，对车队行驶速度、交叉口信号配时、交叉口之间的绿灯时差等多个设计参数进行调整优化，模拟实际操作中“优化-实施-评价-再优化”的信号控制闭环工作。

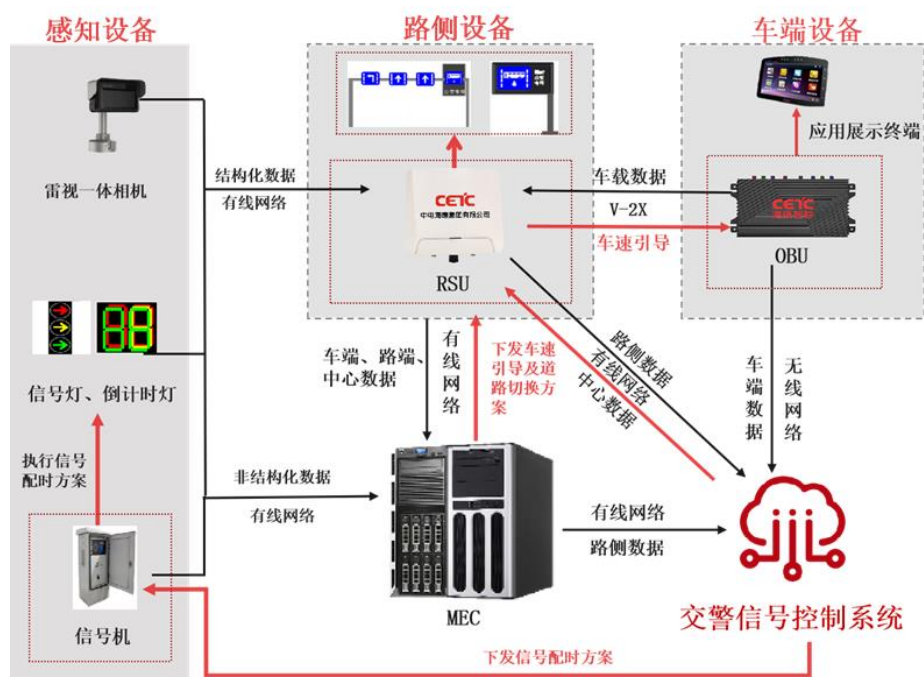


图 12 智能网联场景下信号交叉口协同控制技术架构图

在交通事故等特殊状况下，为防止局部拥堵进一步扩散，限制流入事故路段的总流率，实施“事故自动感知、信息实时交互、信号智能优化、诱导精准有效”的全流程智慧管控策略，将交通流诱导分流、交叉口信号控制、车队行驶速度引导三者相结合进行协同优化，实现路网交通流全局最优自适应协调控制。

6、路网交通运行仿真分析与控制方案评估

通过仿真对不同交叉口信号控制方案下的交通运行状态进行可视化，观察交叉口车辆排队长度、关键路径车流连续性、路网整体运行效率等情况，验证设计方案是否出现较为明显的纰漏，及时对方案进行检验与调整。



图 13 不同视角下的交叉口交通运行模拟仿真

交通现象的模拟给出了交通状况感观上的认识，此外，仿真更需要给出不同交通方案下的交通状况的客观评价，为不同的方案提供分析、比较的平台。仿真模拟在仿真结束后输出相关的评价指标，如路网平均车速、平均排队长度和碳排放等，完成对方案量化的多目标评价。