

# 基于线圈的机动车检测与运动建模

清华大学 毛晗扬

**摘要：**交通检测是智能交通系统中非常重要的一部分，而其中一个检测技术就是地感线圈。本文将从地感线圈重点，分析交通检测的数学模型及其构建方法。

**关键词：**交通检测、瓶颈分析、地感线圈

## 1 交通检测的作用

### 1.1 实时路况

实时路况展示现在在各大城市已有较好的普及，同时地图软件也通过实时路况来规划路径。司机可以通过提前获取路况来自行决定行程与路线，有效降低了拥挤的可能性。

### 1.2 瓶颈分析

目前，交通拥挤问题成为多个城市的“城市通病”。虽然高架路和快速路的建设满足了日益增长的机动车交通量需求，但是随着经济发展和城市活动的增加，人们出行越来越频繁，大面积拥堵时有发生。

另一方面，交通的拥挤不会从远离交通瓶颈的地方自发产生，而这里的瓶颈可以分为固定瓶颈（道减少、上下匝道、道路线型变换、转弯处等位置）和临时瓶颈（如交通事故、慢车等），瓶颈对于交通又截留的作用，影响了整条道路，甚至整个路网的运行效率。[1]

同理，通过交通检测以实时更新瓶颈位置，可以有利于提前进行拥堵地区车辆调度。

由于建在路面下，具有高精度、稳定的特点，但是维修拓展困难。线圈式检测占据了约 90% 的市场。

### 2.2 基于视频技术

通过道路上摄像头模拟人眼进行识别，由于技术原因仍然无法解决诸如天气、光照影响，故没有大范围普及。

### 2.3 基于微波技术

通过雷达发射微波，微波接触车辆后的反射回传感器来感知车辆信息。

雷达技术又分为横向雷达（建在路边立杆上横向检测是否有车辆通过）和正向雷达（建立在道路前方/上方检测）这种方式首次投资较高，但是维护方便。

该技术可以检测多车道、静止车辆，且不易被恶劣天气所影响。[5]

## 2 交通检测方式

### 2.1 基于线圈技术

将金属环形线圈埋设于路面下，利用车辆经过线圈区域时因车身铁材料所造成的电感量的变化来探测车辆的存在。该探测技术可测车速、占有率等基本交通信息参数，但是静止车辆信息、排队长度、车型以及车速无法直接测出或是存在较大的测量误差。

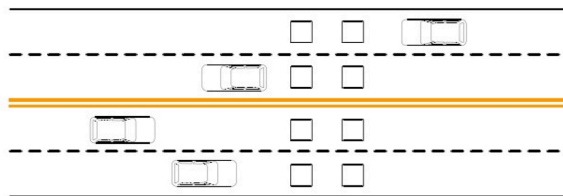


图 1. 双线圈车速检测

### 3 基于线圈的道路检测数学模型

#### 3.1 线圈感应测量路面空间占有率

线圈式车检器由电磁感应原理实现, 利用由环形埋地线圈构成回路的耦合电路对其振荡频率进行检测, 震荡频率的计算表达式为:

$$f = \frac{1}{2} \sqrt{LC} \quad (1)$$

式(1)中,  $L$  为线圈的电感量;  $C$  为震荡电路中的等效电容值。

当线圈上方有车辆经过时, 车体内产生涡流反应占主导作用, 减少线圈电感量, 此时震荡频率增大, 由此可判定是否有车辆通过。

令  $f_b$  为基准频率,  $\delta_t$  为设定阈值

$$|f(x) - f_b| \leq \delta_t \quad (2)$$

$$|f'(x)| \leq \delta_t \quad (3)$$

$$|f''(x)| \leq \delta_t \quad (4)$$

检验式(2)、式(3)、式(4)可以精确的检验是否有车通过。[2]

对函数  $f(x)$  进行判断同时也可得出车辆占有率  $O(x)$ , 方法如下:

$$O(x) = \frac{\text{有车时间}}{\text{总时间}} \quad (5)$$

#### 3.2 线圈感应测量车速

##### 3.2.1 单线圈测速

通过测量汽车经过线圈产生的方波波形宽度来得出车辆经过时间, 但是由于不知道车辆本身的长度, 故只能用平均车长来计算, 存在较大的误差:

$$v = \frac{\bar{l}}{t_{off} - t_{on}}$$

由于国外线圈发展较早, 大部分都是单线圈测速, 随着高速扫描卡以及滤波技术的发展, 已经可以实现通过扫描得到不同车型, 并以此获得车长, 进而得到速度的估计。[5]

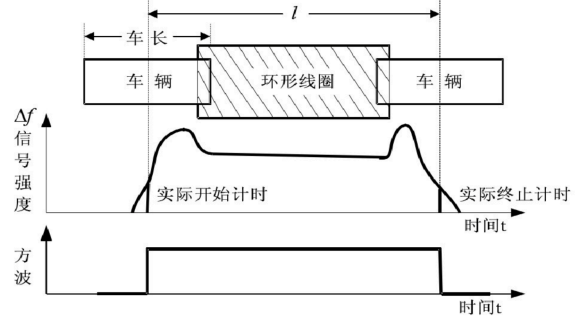


图 2. 单线圈测速示意图

##### 3.2.2 双线圈测速

通过设置前后两个线圈来检测车速, 同一辆车先后经过上游线圈和下游线圈, 分别产生了一个波形, 两个波形起始位置对应的时间差即为汽车经过两线圈间距离的用时。

令线圈距离  $S$ , 时间分别为  $t_A, t_B$ :

$$v = \frac{S}{t_B - t_A}$$

亦可加入汽车离开线圈的时刻提高精度

$$v = \frac{1}{2} \left( \frac{S}{t_3 - t_1} + \frac{S}{t_4 - t_2} \right)$$

由于可能发生一辆车还没有到达下游线圈, 下一辆车已经进入了上游线圈的情况, 因此需要对于车的震荡频率提取特征并加以匹配。

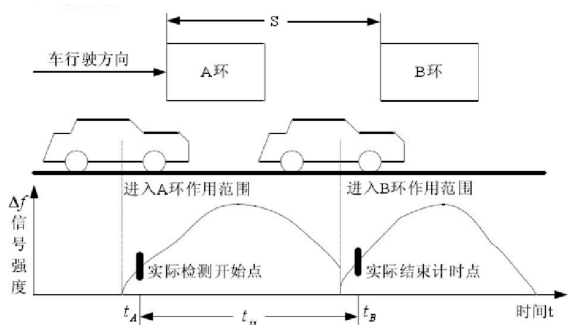


图 3. 双线圈测速示意图

### 3.3 占有率-流量数学模型

车道占有率是指在某一瞬间已知路段上所有车辆的长度总和与该路段长度之比值或者说观测期间所有车辆在该路段上的占用时间与总观测时间的百分比率。

根据车道占用率的定义知道道路空间占有率  $O$  与车流密度  $K$ 、平均车长  $\bar{L}$  的关系为：

$$O = \frac{1}{1000} \bar{L} K \quad (6)$$

根据 GreenShield 提出的速度-密度线性模型可推知高速公路车流量  $Q$ ，速度  $v$  以及密度  $K$  存在如下关系

$$v = aK + b \quad (7)$$

$$Q = Kv = aK^2 + bK \quad (8)$$

将式(6) 带入式(8) 得到

$$Q = \frac{1000^2 a}{\bar{L}^2} \cdot O^2 + \frac{1000b}{\bar{L}} \cdot O \quad (9)$$

由式(9) 可发现，实际上只要求出道路占有率，就可以推导出流量，车速等一系列量。

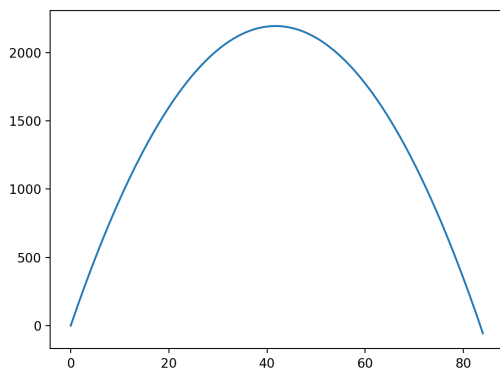


图 4. 流量-占有率关系曲线

根据实际数据回归分析可以得出上述公式中，回归系数  $a = -1.26$ ， $b = 105.17$  [1]，而可以发现占有率-通行流量曲线是一个抛物线。合理预测出抛物线的顶点有利于我们调控不同路线的占有率以最大化流量。

## 4 小结

通过线圈实现交通检测是当前使用最为普遍的技术，也为智能交通系统的实现有不晓得贡献。不过线圈感应存在很多缺陷，而在电磁波检测、视频检测技术日益成熟的当下，可能会一部分的取代线圈成为新的检测手段。

另一方面，交通流量、占有率有着很强的内在联系，通过线圈有不同的流量计算路径、不同的路径有不同的优势劣势，而计算结果也会发现很多有用的规律。对于流量模型的建立有利于更好的实现交通调度。

## 参考文献

- [1] 弓晋丽，杨东援. 基于检测线圈数据的道路交通瓶颈分析 [J] 公路交通科技. 2010 年 7 月
- [2] 侯荣涛，周彬，唐盼. 线圈式车速及车流量检测器设计 [J] 科学技术与工程. 2015 年 9 月
- [3] 张亚平，汪建鸽. 基于流量-车道占有率模型的高速公路路段通行能力分析 [J] 中南公路工程. 2000 年 3 月
- [4] Traffic Flow Theory [OL] [http://www.webpages.uidaho.edu/niatt\\_labmanual/Chapters/trafficflowtheory/theoryandconcepts/GreenshieldsModel.htm](http://www.webpages.uidaho.edu/niatt_labmanual/Chapters/trafficflowtheory/theoryandconcepts/GreenshieldsModel.htm)
- [5] 金盛. 环形线圈检测器交通数据预处理方法研究 [C] 吉林大学硕士学位论文. 2006 年 3 月