

# 基于最佳燃油经济性的换挡指导系统<sup>①</sup>

蔡文学<sup>1</sup>, 萧超武<sup>1</sup>, 黄晓宇<sup>1</sup>, 邱珠成<sup>1</sup>, 陈康<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(华南理工大学 经济与贸易学院, 广州 510006)

<sup>2</sup>(中国电信股份有限公司广东研究院, 广州 510630)

**摘要:** 针对驾驶员不良换挡习惯造成明显燃油浪费的现状, 提出了一套基于最佳燃油经济性的换挡指导系统, 其基本原理是通过汽车 OBD- II 接口读取车辆状态参数, 然后依据最优换挡理论, 在恰当的时机提醒驾驶员换挡. 对系统的设计与实现进行了详细说明, 主要包括系统框架、缺失参数的识别算法、最佳换挡的判别算法. 最后对系统进行有效性验证, 结果表明应用该系统平均节油 8.6%, 并且能使油耗水平更加稳定. 研究成果可在现实中进一步推广, 对交通领域节能减排有重要的价值.

**关键词:** 换挡行为; 换挡指导系统; 燃油经济性; OBD- II; 系统应用

## Optimum Fuel Saving Policy Based Assistant Gear Shift System

CAI Wen-Xue<sup>1</sup>, XIAO Chao-Wu<sup>1</sup>, HUANG Xiao-Yu<sup>1</sup>, QIU Zhu-Cheng<sup>1</sup>, CHEN Kang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(School of Economic and Commerce, South China University of Technology, Guangzhou 510006, China)

<sup>2</sup>(Academy of Guangdong Telecom Limited Company, Guangzhou 510630, China)

**Abstract:** A remarkable amount of fuel consumption is due to driver's incorrect or non-optimized shift behavior. To solve the problem, a shifting guidance system based on the best fuel economy is proposed. The basic principle is to read the vehicle state parameters via OBD- II interfaces, and then to remind the driver shift at the right time based on the optimal shift theory. The design and implementation of the system is detailed, including the system framework, missing parameter identification algorithm, the optimal shift discrimination algorithms. Finally, the system validation results show that the application of the system can bring an average fuel savings of 8.6%, and can make the fuel consumption more stable. Results of this study can be generalized in reality, and has an essential value for energy saving and emissions reduction of transportation.

**Key words:** shift behavior; shift guidance system; fuel economy; OBD- II; system design and implementation

当前, 在全球范围内, 随着汽车工业的快速发展, 汽车保有量也在迅速增加. 汽车的普及虽然提高了人们的生活品质, 但同时也加剧了石油资源短缺的矛盾, 并造成了严重的环境污染. 为缓解这一问题, 一个重要的途径是通过指导驾驶员优化其驾驶行为以降低车辆的油耗. 现有的研究表明<sup>[1,2]</sup>: 驾驶员的驾驶行为对汽车的实际油耗有重要的影响, 特别的, 不良换挡操作会造成明显的燃油浪费. 目前, 虽然装载了自动变速器(AT)、连续可变变速器(CVT)、机械式自动变

速器(ATM)等的汽车正在快速普及, 但由于手动变速器具有传动效率高、结构简单可靠, 生产工艺成熟、油耗低等优势, 装载手动变速器的汽车仍然占据相当大的市场份额, 如在欧洲和亚太地区(除日本), 半数以上的汽车都配置了手动变速器<sup>[3]</sup>. 因此, 研究通过优化驾驶员的换挡行为以达到降低汽车油耗的目的具有重要的意义.

众所周知, 每个驾驶员都有其自身独特的驾驶经验和操作习惯, 本文研究的最佳燃油经济性的换挡指

① 基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)(2012AA12A203)

收稿时间: 2014-07-07; 收到修改稿时间: 2014-09-09

导系统期望通过获取驾驶员在驾车行驶过程的参数,在适当的时机指导驾驶者的换挡操作,以获得更低的油耗。为达到此目的,需要解决如下两个关键问题:

### 1) 数据获取

本文的研究要求能实时获取汽车行驶过程中的挡位信息和汽车状态信息。对此,一种常用的做法是在汽车上安装专门的数据传感器,如钱臻<sup>[4]</sup>等提出在汽车上安装磁敏转矩转速器以采集转动轴的转矩与转速信息。然而这类方法需要针对特定的数据采集对象开发专门的传感设备,代价过于高昂,并且系统的可扩展性也不高。

在本文的工作中,我们提出了一种基于车载诊断系统(On-Board Diagnostic, OBD)的数据采集方案。我们开发了一个基于第二代 OBD(即 OBD-II)的数据采集系统,由于当前大部分小汽车都具备 OBD-II 接口,所以本文的工作有广泛的适应性。

### 2) 参数识别

基于 OBD-II 的数据采集系统虽然能获取到较多行车参数,但是无法直接读取到支持最佳燃油经济性换挡点判断的两类参数,一是传动比,二是当前挡位状态。依据汽车传动系统的原理<sup>[5]</sup>可知,通过转速和速度的关系可推断各级传动比,前提条件是离合器完全闭合。然而本系统无法获取离合状态数据,因此采集到数据集中并没有标注离合器是否完全闭合。针对此现状,本文提出了一种算法,能从任意状态的数据集中自动识别车辆传动比参数。

本文余下部分的组织为:论文的第 2 部分总结了与本文相关的主要工作;论文的第 3 节用于介绍本文的系统的详细设计与实现;论文的第 4 节汇报了本文工作的实验结果;论文的最后是对全文工作的总结。

## 1 相关工作

根据文献[5]的定义,“汽车燃油经济性”指的是在保证车辆动力性的基础上,以尽量少的油耗行驶的能力。而本文研究的最佳燃油经济性换挡指导系统,其目的是能在车辆处于最经济换挡点时提醒用户换挡,从而达到降低油耗的目标。

当前,对汽车换挡规律的研究主要围绕自动变速器开展<sup>[6-9]</sup>,其目标是提取驾驶员行为的共性规律。而在本文的工作中,我们研究的对象是手动挡汽车,其目标是发现驾驶员的个性化行为。在现有的工作中,

与本文关系最为密切的是牛秦玉等人<sup>[9]</sup>提出的最佳燃油经济换挡规律,他们根据发动机燃油特性理论分析及公式推导得等式(1),并且最佳燃油经济换挡点的转速满足式(2)。

$$\frac{3600r_w\eta_t\rho}{\sigma_i i_g i_o} = An_{ei}^4 + Bn_{ei}^3 + Cn_{ei}^2 + Dn_{ei} + E \quad (1)$$

$$A[1 - (\frac{i_{i+1}}{i_i})^4]n_{ei}^3 + B[1 - (\frac{i_{i+1}}{i_i})^3]n_{ei}^2 + C[1 - (\frac{i_{i+1}}{i_i})^2]n_{ei} + D[1 - (\frac{i_{i+1}}{i_i})] = 0 \quad (2)$$

其中,A、B、C、D、E 为等式系数,均为汽车结构参数、行驶环境参数以及车辆加速度的函数, $r_w$ 为车轮半径,单位 m; $\eta_t$ 为机械传动效率;燃油密度取  $\rho$ ,单位 g/L; $i$ 为挡位挡位数;瞬时油耗  $\sigma_i$ ,单位 km/L; $i_g$ 为变速器传动比; $i_o$ 为最终传动比(由分动器、副变速器、轮边减速度器传动比等组成,一般固定); $i_i$ 为总传动比, $n_{ei}$ 为发动机转速。

值得注意的是,式(1)(2)成立的前提是油门开度  $\beta$  不变。对式(2)求解可得最佳换挡点转速  $n_{ei}$ ,在此之前需要根据式(1)求出 A、B、C、D、E,共有 5 个未知系数,因此至少需要 5 组数据才能求解得到。

## 2 基于 OBD-II 的换挡指导系统

在上述理论分析的基础上,我们开发了一套基于 OBD-II 的换挡指导系统,该系统能在汽车行驶途中实时采集获得油门踏板、转速、速度、瞬时油耗、节气门开度、发动机负荷等信息。

### 2.1 系统框架

我们开发的系统的总体架构如图 1 所示。

由图 1 可以看出,该系统包括蓝牙 OBD 设备、智能手机客户端、云端服务中心等部分。蓝牙 OBD 设备通过标准 OBD-II 接口与车载网络相连,主要负责将车辆 ECU 数据输出到外部设备。

智能手机客户端既承担了车辆与云端服务中心通信的桥梁,又承担大部分的业务逻辑,主要功能包括采集 OBD、GPS、手机加速度器、陀螺仪等数据并上传至云端;管理用户资料、设置、车辆型号等基础数据;用户输入操作以及行程等相关信息显示输出;驾驶过程的实时辅助,如换挡、高油耗、超速等提醒等。

云端服务中心由数据处理程序、数据库、专家组成,主要负责相关数据的保存与共享,提供车辆诊断、

驾驶点评等服务。

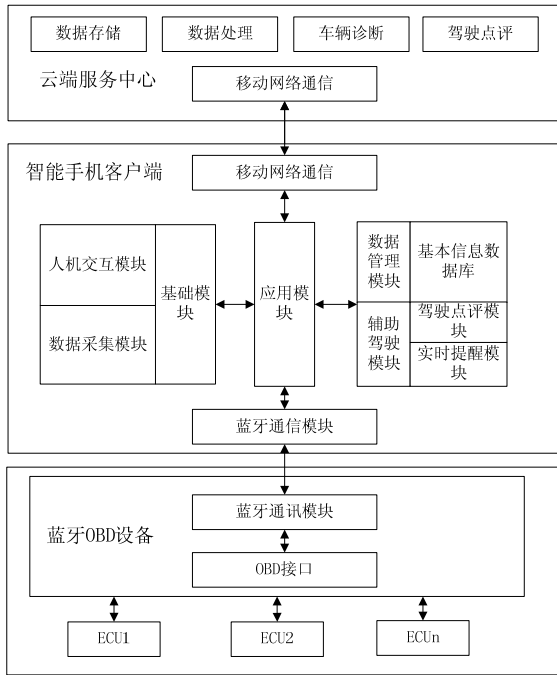


图 1 结合 OBD- II 的换挡指导系统框架

2.2 参数识别

由式(1)(2)可知，实现实时换挡指导需要的数据包括瞬时燃油消耗量、车速、发动机转速、传动体系总传动比。特别的，为实现提醒驾驶员换挡的功能，系统还需要知道汽车当前的挡位。注意到在我们的系统中，传动比参数和挡位参数是无法直接采集获得的，因而还需根据已有的数据作估算处理。在得到传动比参数前，需要使用本系统采集一段数据并上传至云端，云端的分析程序将对该参数进行自动识别，用  $D$  表示车辆状态参数集合，用  $d_t = \{\mu_t, n_t, \alpha_t, \beta_t\}$  表示时间点  $t$  的部分车辆状态参数，是一个多维向量，由速度  $\mu_t(km/h)$ 、转速  $n_t(rad/min)$ 、加速度  $\alpha_t(m/s^2)$ 、油门开度  $\beta_t(\%)$  构成，传动参数识别的算法设计如表 1 所示。

表 1 传动比参数识别算法

Algorithm: IdTransmissionParameter
Input: 车辆状态参数集合 $D$ , 阈值 $\lambda$ , 挡位数 $k$ , 轮胎周长 $c$
Output: 各个挡位总传动比集 $I$
1: $D = \text{GetDataset}()$ ://获取车辆状态参数集合
2: $D^* = \text{FilterData}()$ ://根据条件过滤数据得到新数据集
3: <b>foreach</b> ( $d_t$ in $D^*$ )
4: $r_t = c * n_t / \mu_t$ ://计算时间点 $t$ 的瞬时传动比得到集合 $R$
5: <b>end for</b>
6: $R^* = \text{OrderByAsc}(R)$ ://升序排序得到序列 $R^*$

7: **foreach**( $r_t$  in  $R^*$ )

$rr_t = (r_{t+1} - r_t) / r_t$ ://计算序列前后两个值的变化率，得到新序列  $RR$

8: **end for**

9: **foreach**( $rr_t$  in  $RR$ )

10: **if**( $rr_t < \lambda$ )

11:  $q.\text{Add}(rr_t)$ ://将  $rr_t$  添加到列表  $q$

12: **else if**( $q.\text{Length} > 0$ )

13:  $i_i = \text{Avg}(q)$ ://计算平均值得到挡  $i$  的传动比

14:  $I.\text{Add}(i_i)$ ;  $i++$ ;  $q.\text{Clear}()$ ;

15: **end if**

16: **end for**

17: **if**( $I.\text{Length} == k$ ) **return**  $I$ ;

18: **else** **return** null;

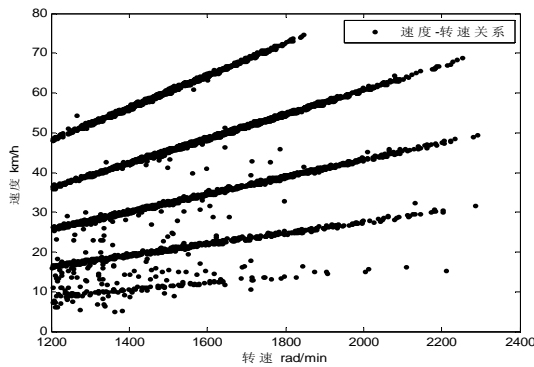
当上述算法返回 null 时，说明输入的数据集还不能满足识别传动比参数的要求，需要采集更多的数据。

以下我们以 2010 年款 1.4T 高尔夫为例说明表 1 算法的具体应用及基本原理，该车的变速箱为手动 5 挡，轮胎型号“205/55R16”，半径 31.6cm，轮胎周长 1985cm。对表 1 算法修改表述如下：

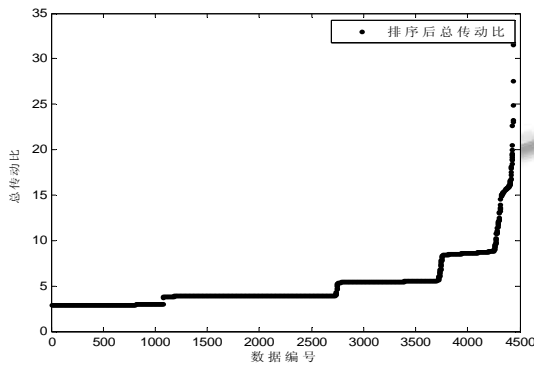
Step 1: 在读取车辆状态参数集合后，对数据进行过滤，筛选数据的条件设为油门位置  $\beta_t > 0$ 、加速度  $\alpha_t > 0$  且转速  $n_t > 1200$ ，理由是满足这 3 个条件反映驾驶员踩下离合的几率较低，发动机与变速箱大部分时间处于联动状态，转速与速度的关系最接近真实的传动比。筛选后的转速和速度散点图如图 2(a)，从图中可以看出这些散点在 5 条斜线上聚集，这 5 条斜线的斜率分别对应 5 个不同挡位的总传动比，但是还需要下面的步骤才能实现自动识别参数。

Step 2: 计算每个时间点的瞬时传动比得到集合  $R$ ， $R$  中既有真实的传动比，也有由于离合器滑动带来的非真实传动比，对  $R$  升序排序，排序后的数据如图 2(b)，挡位越高对应的传动比越小。

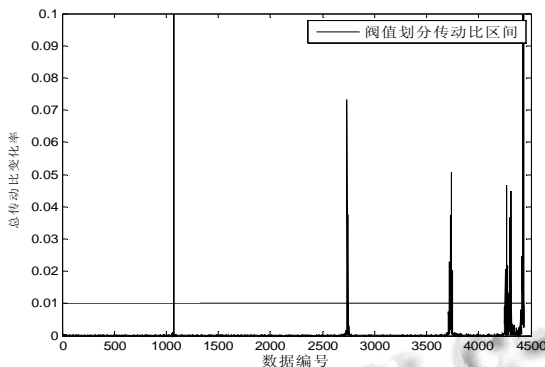
Step 3: 由 Step2 得到的结果仍然难以自动提取出各个挡位的传动比，因为相邻两个挡位的传动比差异不够明显，因此再对排序后的  $R$  计算前后两点变化率，将前后两点的差异放大，如图 2(c)所示，再以  $\lambda = 0.01$  作为阈值(实验经验值)，提取满足  $rr_t < \lambda$  连续数据段，可以得到多个数据片段，计算各段内  $rr_t$  的平均值得到集合  $I$ ，若  $I$  的长度等于挡位总数，则  $I$  中各值分别对应各个挡位的传动比， $I$  为升序排序序列，最小值表示最高挡位的传动比。根据得到的 5 个传动比参数分别绘制斜线  $u = n_t / i_t * c$  如图 2(d)所示。



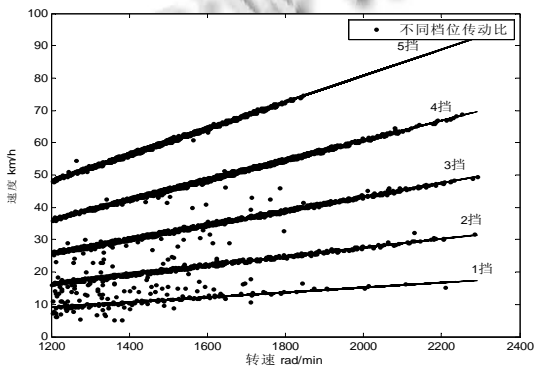
(a) 筛选后的转速和速度散点图



(b) 对 R 升序排序后的数据



(c) 前后两点的差异放大



(d) 斜线  $u = n_t / i_t * c$

图 2 传动比识别过程

为识别汽车当前的挡位状态，我们提出最邻近原则，即根据当前转速和速度，计算当前瞬时传动比，即  $r_t = n_t / \mu_t * c$ ，将  $r_t$  与传动比集合  $I$  中每个值比较，以最接近的值对应的挡位作为当前的挡位。

### 2.3 判断最佳挡位算法

本文研究的是经济换挡指导系统，为了使换挡点转速选择更合理，预先将经济换挡区间设为 (1600r/min, 2500r/min)。根据前面理论分析制定挡位指导算法，用  $D'$  表示最近 5 组(包括当前)车辆状态参数集合， $d_t = \{\mu_t, \beta_t, n_t, \sigma_t, i_t\}$  表示时间  $t$  的参数，算法过程如表 2 所示。

表 2 判断最佳挡位算法

Algorithm: GetRightGear	
Input:	最近 5 组车辆状态参数集 $D'$ ，传动参数集 $I$ ，挡位数 $k$ ，轮胎周长 $c$
Output:	最佳挡位 $i_{opt}$
1:	$i_{opt} = i_e$ ; //最佳挡位默认为当前的挡位
2:	if(IsTopGear( $i_e$ )) return $i_{opt}$ ; //已达最高挡位
3:	if(OverReasonableRPM( $n_e$ )) return $i_{opt} = i_e + 1$ ; //当前转速超出合理经济换挡最高转速则返回下一挡位值
4:	if(SameGear( $D'$ )) //5 组数据挡位相同
5:	if(SamePedal( $D'$ )) //5 组数据油门开度相同
6:	$\mathcal{G} = \text{GetCoefficient}(D')$ ; //求解式(1)中 5 个未知系数 A、B、C、D、E
7:	$n_{opt} = \text{GetOptimalRpm}(\mathcal{G})$ ; //对式(2)解 1 元 3 次方程得最佳换挡转速
8:	if( $n_e \geq n_{opt}$ )
9:	$i_{opt} = i_e + 1$ ; //若当前转速等于或大于最佳换挡转速，则返回下一挡位值
10:	return $i_{opt}$ ;
11:	end

在我们的系统中，采集到的油门开度是百分比数据，在判断油门是否变化时允许数据有一定的波动，以 5 组数据均满足(为的均值)作为油门稳定的判断条件。

### 3 实验

我们使用了 5 种不同的车型来测试本文开发的系统，具体的车型信息如表 3 所示。

表 3 测试车型信息

车型	品牌	年款	排量/L	变速箱	轮胎周长/cm
高尔夫	大众	2011	1.4	5 挡 MT	1985
V6 菱仕	东南	2014	1.5	6 挡 MT	1873
宝骏 630	宝骏	2012	1.5	5 挡 MT	1815
乐风	雪佛兰	2009	1.4	5 挡 MT	1952
颐达	日产	2008	1.6	5 挡 MT	1932

实验对每种不同的车型进行分组测试, 在同一组实验中由相同驾驶者选取相同的路线和相近的行驶环境, 分别按不启用换挡提醒和启用换挡提醒进行 3 次测试, 每次实验均使用本系统记录行程数据, 并计算每个行程的平均油耗. 几组实验的详细结果如表 4 所示, 对每组实验按不启用和启用换挡指导计算平均油耗(如图 3)和方差(如图 4), 可以看出启用换挡指导后节省油耗明显, 同时方差也变小了, 说明使用换挡指导后油耗趋于稳定, 针对每组测试计算节油比例如图 5, 可知平均节油率达 8.6%.

表 4 使用换挡提醒前后油耗对照表

车型	里程 /km	油耗/升每百公里					
		不启用			启用		
高尔夫	30	5.58	5.72	6.1	5.09	5.15	5.34
V6 菱仕	19	8.91	9.12	9.2	8.47	8.59	8.7
宝骏 630	15	6.78	6.83	7.05	6.3	6.41	6.48
乐风	35	7.31	7.62	7.68	6.77	6.83	6.87
颐达	18	5.08	5.11	5.32	4.65	4.73	4.82

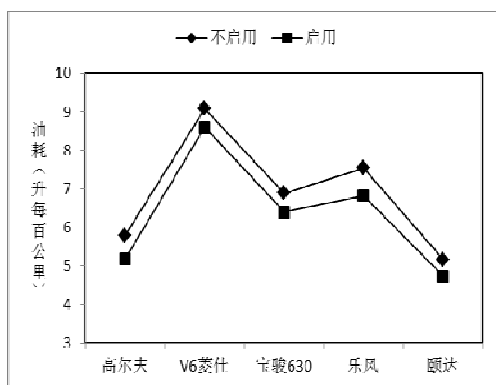


图 3 平均油耗对比

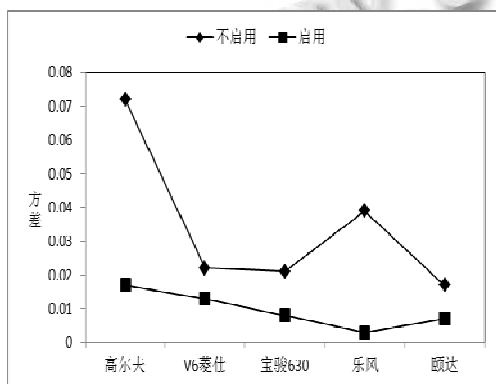


图 4 实验方差

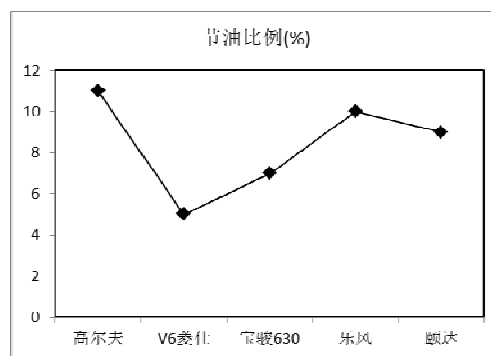


图 5 节油比例

#### 4 结语

手动挡车市场份额大和换挡行为对油耗明显影响, 使得研究优化驾驶员换挡行为以降低油耗意义重大. 本文在汽车 OBD- II 接口的基础上, 提出一套换挡指导系统设计方案, 并将最佳燃油经济换挡策略应用到系统中, 对涉及的参数识别问题提出解决方法, 最后将设计方案实现, 并进行多次实验验证, 结果表明使用该系统不仅能明显降低油耗, 还能使油耗趋于稳定. 本系统的特点是使用简单, 成本低廉, 不需要改装汽车或安装传感器, 也不需要人工调整参数, 并且采集到的数据丰富, 可以扩展更多的驾驶辅助功能. 通过推广本文提出的系统, 有助于交通领域的节能减排.

#### 参考文献

- 1 Casavola A, Prodi G, Rocca G. Efficient gear shifting strategies for green driving policies. American Control Conference(ACC), 2010, 6: 4331-4336.
- 2 张浩. 基于燃油经济性的驾驶员换挡品质研究[学位论文]. 长春: 吉林大学, 2009.
- 3 徐泉, 周荣. 轻型汽车变速器市场分析与预测. 汽车工程师, 2009, 6: 21-23.
- 4 钱臻. 最优挡位指导系统在载货汽车上的应用. 森林工程, 2009, 2: 53-55.
- 5 余志生. 汽车理论. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- 6 邢文金, 杨宝坤. 国内自动变速器换挡规律研究状况综述. 装备制造技术, 2014, 3: 283-286.
- 7 吴光强, 孙贤安. 汽车自动变速器发展综述. 同济大学学报(自然科学版), 2010, 10: 1478-1483.
- 8 刘振军, 胡建军, 李光辉, 秦大同. 模糊神经网络的自动变速汽车换挡规律分析. 重庆大学学报, 2009, 8: 897-903, 914.
- 9 牛秦玉, 李建华. 最佳燃油经济性换挡规律实时调整方法研究. 西安科技大学学报, 2011, 1: 77-80, 95.