**摘 要**

随着人工智能被推上高潮，汽车工业也与时俱进，线控转向系统应势而生。与传统转向系统相比，线控转向系统取消了方向盘与前轮系统转向轴的机械连接，这使得汽车转向不再拘泥于固定的转向比，汽车可以根据实施工况进行变角传动比调整即对汽车进行主动转向控制。本文主要针对线控转向主动转向的控制器设计，主要研究内容有：

首先，根据线控转向的国内外的研究现状以及现已实现的变角传动比装置，了解线控转向主动转向的研究重点，确定本文的设计内容与目的。

其次，根据线控转向系统结构结合实际情况对线控转向系统建立动力学模型，结合汽车的线性二自由度模型进行运动状态分析，导出空间状态方程，并在Matlab中搭建Simulink模型，分析不同前轮转角和不同车速时横摆角速度和质心侧偏角响应。根据理想的横摆角速度增益确定一个固定的较佳的增益值进行变角传动比设计结合实际情况线性拟合角传动比与速度的关系。

最后，确定控制策略，利用位移传感器实时反馈前轮状态进行PID控制。绘制程序框图，编写程序，进行试验台实验验证。

**关键字：**线控转向系统；变角传动比；建模与仿真；前轮转角；PID控制；横摆角速度增益

**ABSTRACT**

With artificial intelligence being pushed to a climax, the automobile industry is also advancing with the times, and the steer-by-wire system has emerged. Compared with the traditional steering system, the steer-by-wire system eliminates the mechanical connection of column shaft between the steering wheel and the front wheel system. This makes the steering of the vehicle no longer rigidly adhere to the fixed steering ratio. The vehicle can be adjusted according to the operating condition, called active steering control of the car. This article mainly focuses on the controller design of the steer-by-wire active steering. The main research contents are:

First of all, according to the research status of the steer-by-wire steering at home and abroad, and the now-implemented variable-angle transmission ratio device, the research focus of the steer-by-wire steering is studied, and the design content and purpose of this article are determined.

Secondly, according to the structure of the steer-by-wire system and the actual situation, the dynamic model of the steer-by-wire system is established. The linear two-degree-of-freedom model of the vehicle is used to analyze the motion state and the spatial state equation is derived. The Simulink model is built in Matlab to analyze lateral yaw rate and lateral slip angle response at a different front wheel angle and vehicle speed. Based on the ideal yaw rate gain, a fixed, better gain value is determined for the angular gear ratio de-sign combined with the actual case linear fit angle gear ratio versus speed.

Finally, the control strategy is determined and the displacement sensor is used to feed back the front wheel state in real time to perform PID controller. Draw a block diagram, write a program, and verify the test bench.

**KEYWORDS:** Steer-by-wire steering system; variable steering ratio; modeling and simulation; front wheel angle; PID controller; yaw rate gain

# 绪论

## 课题背景及其意义

随着社会的发展人们生活水平的提高，汽车已然成为了一种不可或缺的交通工具，据我国统计局的资料显示，我国的机动车保有量在1949年约为5万辆，然而在2017年底，我国仅汽车的保有量就已经达到了2.17亿辆。伴随着机动车越来越普及，交通事故的频发映入眼帘，汽车的安全性和操纵稳定性备受人们和汽车生产商关注。

伴随着电子技术、计算机技术以及当下热门的人工智能，这些都推动着汽车工业的发展。未来汽车的发展方向，就目前而言，电动化、网联化、智能化是大势所趋。近些年来，汽车的电子控制系统在不断发展，传统汽车上面复杂的机械机构正在逐渐被简化，取而代之的是各类控制器、传感器和车载网络总线等，汽车的内部空间得到改善。当前世界上，各大汽车生产商、研究所、高校正致力于高级驾驶辅助和智能驾驶技术的开发，目前也取得了一定的成果。各种主动安全系统，辅助驾驶系统逐渐开始装载在越来越多的汽车上如车道保持辅助系统（Lane Keeping Assist System, LKAS）、自动泊车系统（APS, Automobile Parking System）、自适应巡航系统（ACC, Adaptive Cruise Control）等，在很大的程度上提高的汽车的安全性舒适性以及稳定性。在汽车驾驶过程中，对于驾驶员而言，最直观的感觉来自于手里的方向盘，然而方向盘反馈信号的好坏取决于汽车的转向系统，汽车的转向系统的优劣直接影响着驾驶员的驾驶体验以及汽车的操纵稳定性和安全性能。如此，汽车的转向系统的发展变得尤为重要。在汽车工业的发展史上，汽车转向系统的确经历了很多变革，从最初的传统机械转向（Mechanical steering, MS）到液压助力转向（HPS, Hydraulic power steering）以及电控液压助力转向（Electro-hydraulic power steering, EHPS），再到当前广泛应用的电动助力转向（Electronic power steering, EPS），以及正在研究的主动转向（AFS, Active front steering）和线控转向系统（Steer-by-wire, SBW）。

MS结构虽然简单，但它的缺点也很明显，转向力完全由驾驶员提供，这给驾驶员造成了很大的压力并且很难保证汽车正常行驶。HPS系统的出现在一定程度上改善了MS系统的转向费力的问题，但是油泵的动力来源于发动机，两者一起工作导致油耗增加，而且液压助力特性比较单一，并不能始终给予驾驶员很舒适的转向感觉。紧接着EHPS系统顺势而生，改善了HPS系统的缺点，采用独立电机来驱动液压助力泵，由于电机可以单独控制，故助力特性也可控，可以跟据汽车行驶状态和驾驶员的输入力矩提供合适的助力，但毕竟要使用油泵，体积大和漏油的缺点难以掩盖，随后EPS系统被研发出，利用电控单元、传感器来控制助力电机。EPS系统具备效率高、节能环保、空间小等优点。AFS系统是针对转向的“轻”与“灵”的矛盾提出的，对于之前的转向系统来说转向角传动比都是确定的，该系统在转向系统上装配双行星齿轮机构和电机以及电控单元。电控单元根据汽车的行驶状况控制电机利用双行星齿轮机构使得车轮产生附加角度，也就是使角传动比在一定范围内可以改变。