

汽车安全行驶的模糊控制器^①

李 溯 田成方

(北方工业大学模糊控制研究所, 北京, 100041)

摘 要 论述汽车安全行驶防撞模糊控制的可行性, 以及实现汽车安全行驶模糊控制器的机理和模糊控制的基本算法, 并讨论了距离探测中的几个重要问题。

关键词 模糊控制 单片机 汽车防撞

目前, 全世界汽车的拥有量不断增加, 公路上的车流量大幅度上升, 交通事故也日益频繁和严重。这一问题已经引起世界各国的广泛关注。我们在多年从事模糊控制研究的基础上, 对汽车安全行驶模糊控制器的实现机理做了较深入的探讨和大量的试验, 以使汽车安全行驶模糊控制器的尽早问世成为可能。

1 汽车防撞的可能性及控制系统

自从1965年美国自动控制专家 Zedeh 提出用“Fuzzy sets”(模糊集合)描述模糊事物以来, 模糊逻辑及其应用技术发展十分迅速, 在很多领域的应用取得了成功。影响汽车安全行驶的因素很多, 如车速、与障碍物的距离、天气情况、路面条件等等, 这些因素中绝大部分是“模糊”的。如果用经典控制理论来建立车辆安全行驶的控制模型将是非常困难的, 而用模糊数学的隶属函数来描述就比较方便。选用功能较强的单片机做核心, 对各种传感器测得的信号进行处理, 根据模糊控制模型做出相应的模糊运算和判决, 产生相应的控制信号。围绕单片机是一些外围电路和驱动电路, 分别与相应的传感器和控制主回路相连接, 构成一完整的控制系统。其结构如图1所示。这个系统是一主动式实时并行控制系统, 它不影响司机的

正常驾驶, 只有在司机反应不及时, 通过对诸多因素无级变量过程的分析判断, 自动地实施相应控制动作。危险状态解除后, 自动恢复正常行驶。系统要求对各种传感器测得的信号进行有效的滤波, 保证信号的准确性。输出控制电路采用隔离放大和无触点电子驱动相结合的方式, 以保证控制的可靠性和响应速度的要求。同时, 系统设置了声光报警功能和显示功能, 以方便司机使用。

2 距离信号检测

2.1 被动式测距

被动式测距是指主车被动地接受被测车辆发来的信号, 经计算机运算处理, 得到主车与前车的距离。这种测距方法对传感器和相应的辅助电路要求较为简单, 只要前车安装发射装置, 本车安装接收装置即可。这种方案对解决车辆的追尾会起到一定的作用。如果要求解决两车正向相撞的问题, 就要求在车辆的前方和尾部各安装一个发射器, 接收器要在汽车的前方, 这样可以解决两车相对和两车相向的距离信号测量。这种测距方案存在着以下问题: (1) 由于两辆车要求有两个发射装置和一个接收装置, 这会增加安装成本和安装难度; (2) 由于是被动式接收, 会引起不同车辆间的相互

① 收稿日期: 1994-09-17 修回日期: 1994-11-07

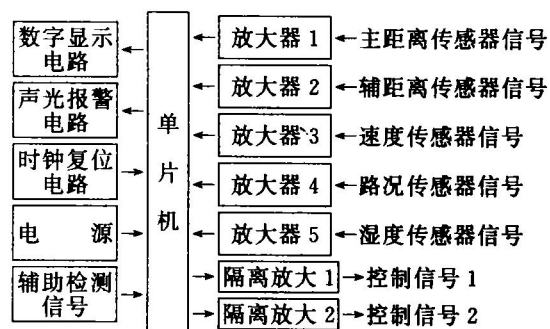


图1 模糊控制系统硬件结构

干扰问题；(3) 只适用于机动车之间的相互碰撞问题，对于其他障碍物(如人，非机动车、固定障碍物等)的测距则无法实现。

2.2 主动式测距

主动式测距是由系统自身发射信号，并检测由障碍物反射的信号，得到主车与障碍物间的距离。这种测距方法往往是发射与接收共用一个传感器，其辅助电路和处理手段要求较高，但可以解决在被动式测距中所存在的问题。按其测距方法可分为单一主传感器测距和复合式双传感器测距。

单一传感器测距是在主车的前方安装一测距传感器，其结构如图2所示。图中M为汽车，R为被测目标，T为安装在汽车正前方中央的测距传感器。主传感器T以一固有频率连续或间断地发射信号，当遇到障碍物时，信号与障碍物表面碰撞产生反射，再由T接收。控制系统的核心单片机对传感器接收到的信号进行分析和处理，得出本车与障碍物之间的距离量。这种方式较被动式方案有很大的改善。首先，发射和接收合二为一，减少了传感器的个数；第二，由于采用的是主动测距方式，对被测目标的性质要求放宽了，可测得与非机动车、固定目标、人、牲畜等间的距离。

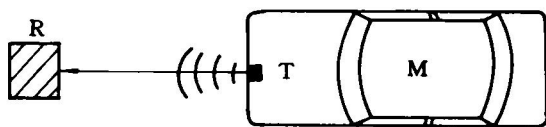


图2 单一主传感器测距

在单一传感器测距中，测距精度可从传感器本身的精度和数据的有效滤波两个方面提高，而判断目标是否在车辆正前方却不容易解决。车辆前方目标测量范围与传感器发射信号的波束角有关，而发射角是一个正比于波长，反比于发射天线直径的量，这在传感器生产出来时就已确定。波束角如果小，可对车道以外信号的干扰得到较好的抑制，但在车辆宽度范围内的目标测量上容易存在盲区。如果波束角大的话，车道外目标的干扰就会增加。所以，如何协调测量盲区与车道外干扰，是单一传感器测距中要解决的主要问题。

复合式双传感器是在汽车的前方两端各安一个距离传感器。汽车在行驶中两个传感器 T_1 、 T_2 在计算机的协调下各自独立工作。发射的信号在遇到障碍物R时产生反射， T_1 、 T_2 分别接收各自信号的反射信号，经计算机进行滤波处理后，作为控制判决的依据。其结构如图3所示。这种方案的测量盲区在汽车前方靠近车辆前端的中部，它可以通过增加传感器的波束角而解决。而是否是正前方的目标判断，则要用下面的方法处理。

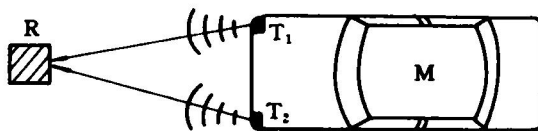


图3 复合式双传感器测距

我们假设 T_1 到R的距离为A， T_2 到R的距离为B，而 T_1 与 T_2 间的距离为C，则障碍物与汽车的位置关系有如图4所示的三种情况。在这三种关系中，(a)、(b)所示为障碍物在汽车正前方的情况，(c)为障碍物在汽车侧前方，而我们所需要做的是将(c)的情况排除掉，以保证计算机判断的有效性。

由余弦定律：

$$A^2 = B^2 + C^2 - 2BC\cos\alpha \quad (1)$$

当 $\alpha < 90^\circ$ 时， $\cos\alpha$ 为正；当 $90^\circ < \alpha < 180^\circ$ 时， $\cos\alpha$ 为负；当 $\alpha = 90^\circ$ 时， $\cos\alpha$ 为0。由此可以得出：情况(a)时有 $A^2 < B^2 + C^2$ ；情况(b)时

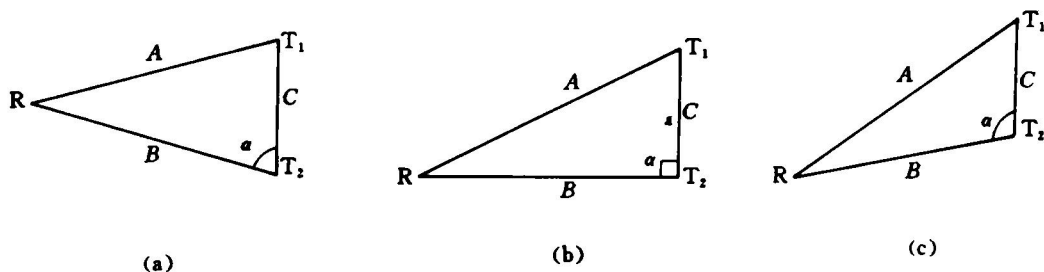


图4 障碍物与车辆的位置关系

有 $A^2 > B^2 + C^2$ 。这样, 我们通过对于距离 A 、 B 、 C 之间的关系判断, 即可确定障碍物在汽车前方的位置。

2.3 辅距离信号的检测

正常行驶时, 驾驶员通过三面反光镜观察除前方以外的情况, 尽管汽车设计人员在反光镜的设计和安装方面做了很多努力, 使驾驶员的观察视野不断加大, 但仍存在着视线盲区。在这些视线盲区中, 右侧后方的视线盲区较容易引发交通事故, 其主要表现在主车 M_1 在向右并线或靠边停驶时, 右后方车辆 M_2 与主车 M_1 发生侧向相撞, 以及主车 M_1 与右侧的其他障碍物发生刮蹭。为了避免这一问题, 我们在车辆的尾部右侧安装一个距离传感器 T_3 , 对这一传感器的要求不像前面讨论的主传感器那样, 虽说也是主动式的, 但距离测量的范围和精度要求不太高。当车辆的右侧后方有障碍物时, 传感器 T_3 接收副信号, 通过相应的接口送入计算机, 计算机处理分析后, 发出声光报警信号, 提醒驾驶员注意, 其结构如图5所示。车辆后方障碍物的检测方法与之类似。

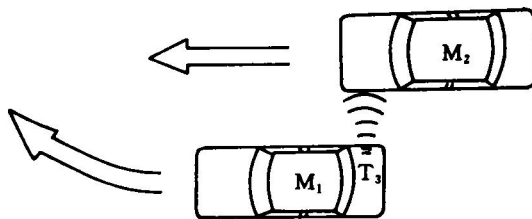


图5 视线盲区的信号检测

小, 可保持原速行驶。”

“如果与障碍物相距较远, 且相对速度较大, 应适当减速行驶。”

“如果与障碍物相距较远, 且相对速度很大, 应减速行驶。”

“如果与障碍物相距较近, 且相对速度很大, 应进行紧急制动。”

.....

这里, 我们把“相距”做为误差 $E(e)$, 把速度做为误差变化率 $C(e)$, 并根据实际情况和控制精度的要求, 分别把它们模糊化为13个等级。其中, 以模糊化量化因子 K_1 将 $E(e)$ 量化为 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12。以模糊化量化因子 K_2 将 $C(e)$ 量化为 -6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6。并将模糊控制量 U 分为13个等级, 即 -6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6。根据总结出的模糊控制规则整理出一般模糊控制表。

附表是一个原始的模糊控制表, 在控制系统运行过程中, 根据系统运行情况和控制效果, 按照某种修正规则自动进行修正, 使之不断完善。在实际控制中, 仅依靠距离和速度来决定制动量控制的方法是相当粗糙的, 在某一

3 模糊控制算法

实现汽车安全行驶模糊控制, 除了信号检测、计算机的高速处理及可靠的制动系统等硬件条件保证外, 一个完善的模糊算法是必不可少的。我们根据驾驶员的经验, 按照模糊控制规则进行抽取和提炼, 可得到如下的模糊控制规则:

“如果与障碍物相距很远, 且相对速度较

距离情况下,虽然相对速度一定,但当时的车辆加速度的大小和方向不同,则以相同的制动控制量进行制动,其效果也不尽相同。所以,为了使控制效果更加理想,我们引入加速度 $D(e)$,做为第三个量,并将其模糊化为 $-6 \sim +6$ 之间 13 个等级。同时,考虑到距离 $E(e)$ 、速度 $C(e)$ 和加速度 $D(e)$ 对控制量的影响程度不同,引入变因子 α 、 β ,则可得到二维变因子的模糊控制规则:

附表 模糊控制量 $\tilde{U}$

$\tilde{C}$	$\tilde{E}$												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
-6	0	0	0	-1	-1	-1	-2	-2	-3	-3	-4	-5	-6
-5	0	0	0	0	-1	-1	-1	-2	-2	-3	-3	-4	-5
-4	1	0	0	0	0	-1	-1	-1	-2	-2	-3	-3	-4
-3	1	1	0	0	0	0	-1	-1	-1	-2	-2	-3	-3
-2	2	1	1	0	0	0	0	-1	-1	-1	-2	-2	-3
-1	2	2	1	1	0	0	0	0	-1	-1	-1	-2	-2
0	3	3	2	2	1	1	0	0	0	-1	-1	-1	-2
1	4	3	3	2	2	1	1	0	0	0	-1	-1	-2
2	4	3	3	2	2	1	1	0	0	0	0	-1	-1
3	4	4	3	3	2	2	1	1	0	0	0	0	-1
4	5	5	4	4	3	3	2	2	1	1	0	0	0
5	6	6	5	5	4	3	3	2	2	1	1	0	0
6	6	6	5	5	4	4	3	3	2	2	1	1	0

$U = [\alpha E + (1 - \alpha)\beta C + (1 - \beta)D]$ (2)
其中 α 、 β 为修正因子,是介于 0, 1 之间的实数; E, C, D 是模糊量化后的量。设计者根据系统的实际情况,对修正因子 α 、 β 进行合理的选取,使其达到理想的控制效果。按照(2)的控制规则,可构成图 6 所示的模糊控制器。

图中 W 是一个与道路情况有关的因子。

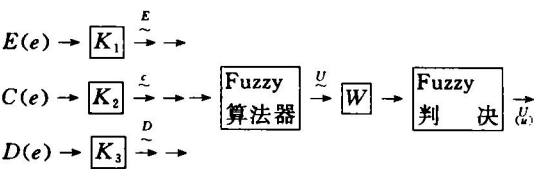


图 6 模糊控制器示意图

汽车安全行驶模糊控制器,是一个对控制效果、可靠性和实时性要求都很高的控制器,不仅要求有较为完善的控制规则,还要求控制器能在线地根据控制效果自修正控制规则,以使控制效果更佳,同时,还要设计快速算法,以保证控制器的实时性。这些问题都是设计者在设计时需要考虑的。

4 结束语

我们采取主动式测距方案并配合模糊控制算法,构成汽车安全行驶模糊控制器,经实验室仿真完善,并经万余公里的公路行驶试验,证明我们所提出的控制方案是可行、实用的。它的推广应用,将对减少交通事故、保障人们的生命财产安全起到积极的作用。

参考文献

1 王学慧,田成方等. 微机模糊控制理论及其应用. 北京: 电子工业出版社, 1987.
2 陈永义. 模糊控制技术及应用实例. 北京: 北京师范大学出版社, 1993.