

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

B62D 6/04 (2006.01)



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 02804661.7

[45] 授权公告日 2006 年 10 月 11 日

[11] 授权公告号 CN 1278896C

[22] 申请日 2002.2.7 [21] 申请号 02804661.7

[30] 优先权

[32] 2001.2.7 [33] GB [31] 0103015.4

[86] 国际申请 PCT/GB2002/000523 2002.2.7

[87] 国际公布 WO2002/062647 英 2002.8.15

[85] 进入国家阶段日期 2003.8.7

[71] 专利权人 鲁卡斯工业有限公司

地址 英国西米德兰兹

[72] 发明人 詹姆斯·欧文·帕特里克·法雷利

西蒙·戴维·斯蒂文斯

安德鲁·丹尼斯·巴顿

审查员 于立彪

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利  
商标事务所

代理人 冯 谱

权利要求书 3 页 说明书 16 页 附图 7 页

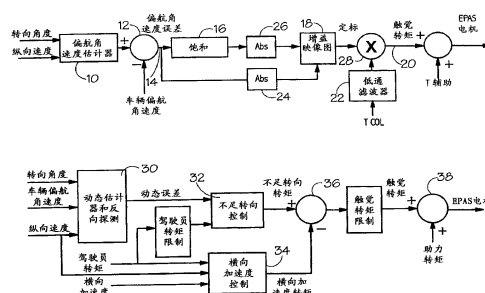
[54] 发明名称

用于电机驱动道路车辆的助力转向系统

[57] 摘要

一种用于电机驱动道路车辆的电动辅助转向系统，带有响应驾驶员施加的转矩和检测的车辆速度产生一个用于转向系统的辅助转矩信号以减小驾驶员的转向努力的辅助转矩信号产生装置。产生一个偏航角速度触觉转矩，该触觉转矩基于车辆速率误差并且布置成添加到转矩辅助信号上，从而当与车辆的增大转向不稳定性(例如不足转向或过大转向)相对应偏航角速度误差建立时，添加到转矩辅助信号上的触觉转矩在任何实际车辆稳定性失去之前减小由驾驶员感觉到的有效道路反作用反馈，由此允许驾驶员在达到最终转向不稳定性之前的适当有利时刻适当地校正。要不然，触觉转矩能基于车辆横向加速度，该触觉转矩布置成从转矩辅助信号上减去，从而当与车辆的急转弯相对应，车辆横向加速度建立时，从转矩辅助信号上减去触觉转矩

与由车辆轮胎产生的有关力的增大相对应，增大由驾驶员感觉到的有效道路反作用反馈。



1. 一种用于电机驱动道路车辆的助力转向系统，该系统包括：辅助转矩信号产生装置，配置成响应驾驶员施加的转矩和检测的车辆速度产生一个用于转向系统的辅助转矩信号，并且对于减小驾驶员的转向力有效；和一个用来根据(a)车辆偏航角速度误差或(b)横向加速度误差产生一个触觉转矩的装置，把触觉转矩布置成添加到辅助转矩信号上，从而当与车辆的增大的转向不稳定性相对应，所述误差建立时，添加到辅助转矩信号上的触觉转矩在实际失去车辆稳定性之前减小由驾驶员感觉到的有效道路反作用反馈，由此允许驾驶员在达到最终转向不稳定性之前的适当有利时刻适当地校正。

2. 根据权利要求 1 所述的转向系统，其中辅助转矩信号产生装置包括一个电动机。

3. 根据权利要求 1 所述的转向系统，其中通过把从转向角度和车辆纵向速度的测量值导出的估计偏航角速度与测量的车辆偏航角速度相比较，建立偏航角速度误差。

4. 根据权利要求 2 所述的转向系统，其中偏航角速度误差饱和以防止过大要求，并且由一个增益映像图定标。

5. 根据权利要求 4 所述的转向系统，其中增益按照偏航角速度误差控制，较低偏航角速度导致较低增益而较高偏航角速度导致较大增益，以便增大来自动力转向的辅助转矩和使转向感觉对于驾驶员较轻。

6. 根据权利要求 4 所述的转向系统，其中提供多个增益映像图，与路面条件一致的最适当的被布置成根据测量数据由路面条件的判断自动选择。

7. 根据权利要求 4-6 之任一所述的转向系统，其中通过使用定标的偏航角速度误差定标转向柱转矩建立触觉转矩，触觉转矩添加到辅助转矩信号上以提供一个用来驱动电动机的输出。

8. 根据权利要求 1 所述的转向系统，其中触觉转矩产生装置包

括一个适于根据转向角度、车辆动态速率及车辆纵向速度的测量值产生一个动态误差的动态估计器。

9. 根据权利要求 8 所述的转向系统，其中动态估计器是一个偏航角速度估计器。

10. 根据权利要求 9 所述的转向系统，包括一个用来探测车辆是否正在反向的反向探测装置，并且包括用来探测何时实际偏航角速度或估计偏航角速度位于一个死区中或它们具有不同符号的装置。

11. 根据权利要求 8 所述的转向系统，其中动态估计器是一个横向加速度估计器。

12. 根据权利要求 11 所述的转向系统，包括一个用来探测车辆是否正在反向的反向探测装置，并且包括用来探测何时实际横向加速度或估计横向加速度位于一个死区中或它们具有不同符号的装置。

13. 根据权利要求 8 至 12 任一项所述的转向系统，包括一种从动态误差和驾驶员施加转矩的一个极限值产生一个不足转向转矩的不足转向控制。

14. 根据权利要求 13 所述的转向系统，其中不足转矩提供添加到辅助转矩上的触觉转矩以驱动助力系统的一个电机。

15. 根据权利要求 14 所述的转向系统，其中不足转矩由一个基于车辆的测量横向加速度和车辆纵向速度的与横向加速度转矩相对应的反馈信号改进。

16. 根据权利要求 15 所述的转向系统，其中与横向加速度转矩相对应的反馈信号基于车辆的测量横向加速度和车辆纵向速度。

17. 根据权利要求 16 所述的转向系统，其中横向加速度转矩进一步取决于在方向盘上驾驶员的施加转矩。

18. 根据权利要求 16 所述的转向系统，其中取决于横向加速度和纵向速度的函数的乘积产生横向加速度转矩。

19. 根据权利要求 14 至 18 任一项所述的转向系统，其中不足转向控制包括一种提供依赖于驾驶员施加转矩来校正动态误差信号的定标校正增益的转矩控制。

20. 根据权利要求 19 所述的转向系统，其中转矩控制适于通过把实际驾驶员转矩与一个转矩阈值相比较和产生一个在 0 与 1 之间的定标，来寻求把驾驶员转矩保持在一个预定转矩阈值以上。

## 用于电机驱动道路车辆的助力转向系统

### 技术领域

本发明涉及在电机驱动道路车辆中的电动辅助转向系统(EAS),更具体地说,涉及一种在道路车辆中适于根据测量的车辆动态特性,如偏航角(yaw rate)速度或横向加速度,提供转向转矩补偿或触觉转矩的控制系统。

### 背景技术

电动辅助转向系统在先有技术中是熟知的。使用例如一个齿条齿轮组把转向柱联接到转向轴上的电动辅助转向系统,通过使用一个电动机提供动力援助,以便把旋转力施加到一个连接到小齿轮上的转向轴上或者把一个直线力施加到一个在其上带有齿条齿的转向件上。在这样的系统中的电动机,典型地响应(a)驾驶员施加到车辆方向盘上的转矩、和(b)检测的车辆速度被控制。

其它已知的电动辅助转向系统包括电液系统,其中动力援助由在电气或电子控制系统的至少部分控制下的液压装置提供。

至少在某些车辆市场段中希望通过方向盘转矩把关于车辆动态的信息提供给驾驶员。最普通的效果是,当车辆的横向加速度增大时驾驶员转矩增大(驾驶盘似乎变重),而当车辆达到最终不足转向时驾驶员转矩突然降低(驾驶盘似乎变得很轻)。(最终不足转向认为是当方向盘角度增大不再给出车辆偏航角速度的增大时。)传统上这些效果一直通过转向系统的认真设计产生,但现代助力转向系统、和在转向系统设计中的空间和其它综合考虑已经导致这些效果变得不太引人注目。然而,有这些效果改进车辆操纵的一般感觉,并因此它们在某些市场段中可能十分重要。

### 发明内容

本发明的一个目的在于,改进驾驶员从转向系统接收的触觉信息,并且提供一种使用已经包含在汽车中的关于汽车动态的信息的算

法，以便人为地创建上述转向感觉性能。

在其最广泛的范围中，本发明涉及一种控制算法，该控制算法使用来自运动传感器的信号以这样一种方式调节由助力转向系统提供的辅助转矩，从而从转向的感觉能收集关于动态的信息。在一个实施例中，该算法创建与横向加速度成正比的由驾驶员感觉的驾驶员(驾驶盘)转矩的增大，并且在另一个实施例中，当车辆进入最终不足转向时，驾驶员转矩减小。

按照本发明的第一方面，提供一种用于电机驱动道路车辆的助力转向系统，该系统包括：辅助转矩信号产生装置，布置成响应驾驶员施加的转矩和检测的车辆速度产生一个用于转向系统的辅助转矩信号，并且对于减小驾驶员的转向努力有效；和一个用来根据车辆偏航角速度误差产生一个触觉转矩的装置，把触觉转矩布置成添加到转矩辅助信号上，从而当与车辆的增大转向不稳定性相对应，偏航角速度误差建立时，添加到转矩辅助信号上的触觉转矩在任何实际稳定性失去之前减小由驾驶员感觉到的有效反作用反馈，由此允许驾驶员在达到最终转向不稳定性之前的适当有利时刻适当地校正。

这样一种系统具有引起驾驶员注意转向不稳定性条件(例如，不足转向或过大转向)的优点。

最好，辅助转矩信号产生装置包括一个电动机。

通过把从转向角度和车辆纵向速度的测量值导出的估计偏航角速度与测量的车辆偏航角速度相比较，能建立偏航角速度误差。

最好，偏航角速度误差如有必要则饱和以防止过大要求，并且由一个增益映像图定标。

增益最好按照偏航角速度误差控制，从而较低偏航角速度误差导致较低增益而较高偏航角速度误差导致较大增益，以便增大来自动力转向的辅助转矩和使转向感觉对于驾驶员较轻。

在某些实施例中，提供多个增益映像图，与普通条件一致的最适当的布置成根据测量数据，如测量的偏航角速度误差和转向柱转矩，由路面条件的判断自动选择。

最好通过使用定标的偏航角速度误差定标转向柱转矩建立触觉

转矩，触觉转矩添加到转矩援助上以提供一个用来驱动电动机的输出。

从一种动态偏航角速度估计能导出一个动态偏航角速度误差信号；从一个等效动态横向加速度估计器也能导出一个功能等效横向加速度误差信号。

因而，按照本发明的第二方面，提供有一种用于电机驱动车辆的助力转向系统，该系统包括：辅助转矩信号产生装置，布置成响应驾驶员施加的转矩和检测的车辆速度产生一个用于转向系统的辅助转矩信号，并且对于减小驾驶员的转向努力有效；和一个用来根据车辆横向加速度产生一个触觉转矩的装置，把触觉转矩布置成从转矩辅助信号上减去，从而当与车辆的急转弯相对应，车辆横向加速度建立时，从转矩辅助信号上减去触觉转矩与由车辆轮胎产生的有关力的增大相对应，增大由驾驶员感觉的有效道路反作用反馈。

这种后一种布置使控制器能够进一步调谐成给出高到不足转向点的较重转向感觉，接着一旦确定紧急不足转向就降低转向柱转矩。

按照本发明的第三方面，提供有一种用于电机驱动道路车辆的助力转向系统，该系统包括：辅助转矩信号产生装置，布置成响应驾驶员施加的转矩和检测的车辆速度产生一个用于转向系统的辅助转矩信号，并且对于减小驾驶员的转向努力有效；和一个用来根据车辆横向加速度误差产生一个触觉转矩的装置，把触觉转矩布置成添加到转矩辅助信号上，从而当与车辆的增大转向不稳定性相对应，横向加速度误差建立时，添加到转矩辅助信号上的触觉转矩在任何实际车辆稳定性失去之前减小由驾驶员感觉到的有效道路反作用反馈，由此允许驾驶员在达到最终转向不稳定性之前的适当有利时刻适当地校正。

按照本发明的第四方面，提供有一种用于电机驱动道路车辆的助力转向系统，该系统包括：辅助转矩信号产生装置，布置成响应驾驶员施加的转矩和检测的车辆速度产生一个用于转向系统的辅助转矩信号，并且对于减小驾驶员的转向努力有效；和一个用来根据(a) 车辆偏航角速度误差或(b)横向加速度误差产生一个触觉转矩的装置，

把触觉转矩布置成添加到转矩辅助信号上，从而与车辆的增大转向不稳定性相对应，当所述误差建立时，添加到转矩辅助信号上的触觉转矩在任何实际车辆稳定性失去之前减小由驾驶员感觉到的有效道路反作用反馈，由此允许驾驶员在达到最终转向不稳定性之前的适当有利时刻适当地校正。

因此，在后一种情况下，整个控制方法与用来提供触觉转矩的相同，但方法的预处理部分选择性地把偏航角速度或横向加速度作为控制输入，并且其中横向加速度的使用另外提供在提供高达紧急不足转向点的触觉转矩方面的好处。

#### 附图说明

参照附图仅通过例子下文进一步描述本发明，在附图中：

图 1 是方块图，表明按照本发明的一种控制系统的一个实施例；

图 2 表示在本发明中能使用的控制器增益映像图的例子；

图 3 表明图 1 的稳态控制器的一种衍生功能；

图 4 用横向加速度代替偏航角速度；

图 5 表明基于横向加速度的修改转矩的提供；

图 6 是方块图，表明按照本发明的一种控制系统的一个另外实施例；

图 7 是方块图，表明按照本发明的一种控制系统的一个另外实施例；

图 8 表明偏航角速度估计和反向探测；

图 9 是一种偏航角速度估计器的方块图；

图 10 是一种横向加速度估计器的方块图；

图 11 是方块图，表明反向探测；

图 12 是方块图，表明不足转向控制；

图 13 表明对于驾驶员转矩定标查阅表的偏航角速度误差；

图 14 是一个转矩控制部分的方块图；

图 15 表明定标校正形状；



图 16 表明横向加速度感觉控制；及

图 17 是与图 7 类似的一个另外实施例的方块图，但偏航角速度估计器由横向加速度估计器代替。

具体实施方式

首先参照图 1，把车辆转向角度和纵向速度输入到其中建立由车辆驾驶员需要的偏航角速度估计的元件 10。偏航角速度估计基于例如按如下表示的稳态不足转向公式：

$$\hat{r} = \frac{V_x}{l \left( 1 + \left( \frac{V_x}{V_{ch}} \right)^2 \right)} \frac{\delta_{sw}}{G_s}$$

其中  $V_x$  是车辆纵向速度， $l$  是轮轴距， $V_{ch}$  是车辆特征速度， $\delta_{sw}$  是驾驶盘角度，及  $G_s$  是从道路车轮到驾驶盘的转向系统的增益。这个估计值然后通过一个一阶低通滤波器，调谐成把估计类似滞后给车辆。在这个滤波器中断点的认真选择允许其中转向相对于转向权力失去变轻的点受到控制。

生成的估计偏航角速度在 12 处与一个代表由车辆稳定性控制器 (VSC) 或类似传感器测量的实际车辆偏航角速度的信号相比较，以在线 14 上产生一个偏航角速度误差信号。偏航角速度误差然后在 16 处饱和以防止过大需要，并且由一个增益映像图 18 定标。

饱和块 16 防止偏航角速度误差达到太高的电平。经验已经表明，如果允许偏航误差增大得太多，那么这能激励在 EAS 系统中的不稳定性。这在某种程序上可能依赖于装配到车辆上的 EAS 系统的具体特性，但饱和也防止在错误的情况下系统产生过大转矩。有时可能必须独立于车辆所在的表面调谐这种饱和的值。一种可能性是把转向柱转矩和偏航角速度误差用作进入一个查阅表的索引。

在 18 处的增益按照偏航角速度误差变化。一个较低的偏航角速度误差指示参照上文其中车辆正以恒定向前速度操作并且在到达最终不足转向之前的线性范围，并且其中因此需要低增益。另一方面，较高偏航角速度误差指示过大不足转向，并因此需要较大增益以增大来自动力转向的辅助转矩并且使转向感觉较轻。

通过使用来自增益映像图 18 在 28 处定标的定标偏航角速度误

差信号、在 22 处已经低通滤波以防止在动力转向中激励不稳定模式的转向柱转矩( $T_{col}$ )，建立在线 20 上的触觉转矩。通过在 28 处定标转向柱转矩，而不添加到它上，防止控制器进入一个可能试图对抗驾驶员驱动转向系统的区域。以这种方式，保持转向的固有自对中。如果驾驶员松开方向盘，那么转向柱转矩降到零，并且触觉转矩也降到零。

通过在 28 处把转向柱转矩( $T_{col}$ )与来自增益映像图 18 的输出相乘因而确定来自控制器的输出。如上所述，转向柱转矩在 22 处低通滤波，同样为了防止 EAS 不稳定模式的激励。这种滤波器 22 的认真设计可以表明，这有可能保证稳定性并且允许饱和元件 16 的除去。在 28 处相乘的结果然后添加到由动力转向控制器产生的辅助转矩( $T_{assist}$ )上，并且供给到动力转向(EAS)电机。

包括图 1 中的“Abs”块，从而取输入信号的绝对值或数值。

在图 1 的布置中的偏航角速度误差由一个在 18 处的增益映像图在建立来自控制器的最终输出时定标。增益值也取决于偏航角速度误差的值，并且也取决于在其上车辆行驶的表面的特性，即高  $\mu$  或低  $\mu$ 。

能使用的一个控制器映像图的例子表示在图 2 中。对于低偏航角速度误差，定标是负的，因此减小辅助转矩并且使转向感觉稍重。目的在于产生一个随驾驶盘角度增大的转矩。对于高偏航角速度误差，增益高得多，给出一个大大地增大辅助转矩并且使转向感觉较轻的较大正输出。能改变这些映像图的形状以在转向系统中产生希望的感觉。

能使用一个单映像图，或者最好多个映像图能是适用的，根据例如测量的偏航扭矩和转向柱转矩，或根据轮胎滑动或视频探测例行程序，能由道路表面条件的判断自动选择适于普通环境的最适当的映像图。

通过以两种方式改变在转向柱中的转矩，在上述系统中提供驾驶员接收的触觉信息的改进。在恒定向前速度下和在达到最终不足转

向的宽广线性操作区域中，在转向柱中的转矩随着驾驶盘角度增大逐渐增大。这通过在车辆上的横向加速度量的驾驶盘向驾驶员提供一种触觉指示。当达到最终不足转向从而另外的驾驶盘角度不能增大车辆偏航角速度时，大大地减小在转向柱中的转矩。这使驾驶盘变得非常轻，向驾驶员提供一种已经达到牵引极限的指示。控制器的调谐允许这种转矩下降稍在实际牵引失去之前发生，向驾驶员提供一个在转向权力失去之前较短但有用的响应时间。

传统动力转向系统试图把由驾驶员施加的转矩控制在极限内。这能容易地导致一种其中没有上述触觉特征并且随车辆动态可能有很小或没有转矩变化的系统。转向几何结构的设计也对转向感觉有显著影响。如果几何结构是这样的从而没有转向转矩的建立或一旦达到极限的转矩下降，那么简单地动力转向系统不能返回这种感觉。本系统考虑到驾驶员正在需要什么样的偏航角速度和车辆的实际偏航角速度，以确定在转向系统中的转矩应该是多少。然后相应调节由动力转向系统产生的辅助转矩。提出的系统因此产生独立于动力转向系统和转向几何结构的转向感觉。

现在参照图 3，表示有在图 1 中表明的本发明的第一方面的进一步发展，基本上是图 1 的稳态控制器的衍生功能并且根据偏航角速度估计提供动态不足转向触觉转矩。在图 3 的控制器中，同样如在第一方面中那样利用转向角度和纵向速度，但进一步包括有一个动态分量，在这种情况下是偏航角速度。生成输出提供一个当对于驾驶员转矩校正或定标时提供一个触觉转矩的偏航角速度误差，可选择地限制这个触觉转矩，以便添加到由助力系统产生的助力转矩上。

其次参照图 4，表示有一种与图 3 类似但用横向加速度代替偏航角速度的可选择发展，由此根据横向加速度估计提供动态不足触觉转矩。在图 4 的控制器中，同样利用转向角度和纵向速度，但包括有横向加速度的另外动态分量而不是偏航角速度。生成的输出提供一个当对于驾驶员转矩校正或定标时提供一个触觉转矩的横向加速度误差，可选择地限制这个触觉转矩，以便添加到由助力系统产生的助力转矩

上。

图 5 表明基于横向加速度的修改转矩的提供，以当横向加速度(并因此转弯力)增大到紧急不足转向点时给出一种触觉响应。

图 6 表明一种用来提供基于图 1、3 或 4 的布置的任一种的触觉转矩并且包括在图 5 中表示的横向加速度反馈的布置。这表明其中基于横向加速度的触觉转矩能用来提供高达紧急不足转向点的动态响应和其中能进一步添加诸如偏航角速度或横向加速度之类的动态功能以在紧急不足转向点处提供一种另外响应的整体系统。

在图 7 的实施例中，动态功能是偏航角速度，而动态误差因此是偏航角速度误差。偏航角速度估计器 30 使用车辆状态信息，以根据车辆是线性的假设计算需要的偏航角速度。这然后通到不足转向控制 32，后者计算对于由转向系统产生的辅助转矩的校正。另外，横向加速度块 34 使用一个横向加速度信号计算一个分离转矩校正信号。在 36 处在这两个校正信号之间的差成为在 38 处添加到转向系统辅助转矩上的触觉(感觉)转矩。

#### 偏航角速度估计器和反向探测

有其中能估计车辆的偏航角速度或横向加速度的多种方法。稳态估计是最简单的，但已经发现在较低车辆速度下不可靠。动态估计较复杂，但至今，还没有遇到不能解决的问题。最终解是使用来自在 VSC 内的信息。一种另外的可能解是使用横向加速度而不是偏航角速度，如在上一段中描述的那样。在估计偏航角速度或横向加速度的同时，进行检查以探测车辆是否正在反向。如果正在反向，那么把偏航角速度误差或横向加速度误差设置为零。这防止在车辆反向的同时不足转向控制器影响转向感觉，这对于驾驶员可能混淆。偏航角速度估计和反向探测表明在图 8 中。

#### 偏航角速度估计器-稳态估计

如上文描述的那样，偏航角速度估计能基于稳态不足转向公式：

$$\hat{r} = \frac{V_x}{l \left( 1 + \left( \frac{V_x}{V_{ch}} \right)^2 \right)} \frac{\delta_{sw}}{G_s}$$

其中  $V_x$  是车辆纵向速度,  $l$  是轮轴距,  $V_{ch}$  是车辆特征速度,  $\delta_{sw}$  是驾驶盘角度, 及  $G_s$  是从道路车轮到驾驶盘的转向系统的增益。这个估计值然后通过一个一阶低通滤波器, 调谐成把估计类似滞后给车辆。在这个滤波器中断点的认真选择允许其中转向相对于转向权力失去变轻的点受到控制。

与这种方法有关的经验已经突出多个有害特征。估计器在低速下中止, 使控制器致动它高度有害的“停车”型动作。当速度变化时, 估计器的性能也不反映车辆性能的变化。

#### 动态偏航角速度估计器

通过使用一个基于具有偏航角速度反馈的自行车模型的全阶观察器(full order observer)能改进偏航角速度估计器, 见图 9。把自行车模型写作:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} V_y \\ r \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} \frac{-(C_{af} + C_{ar})}{mV} & \frac{-(aC_{af} - bC_{ar})}{mV} \\ \frac{-(aC_{af} - bC_{ar})}{I_z V} & \frac{-(a^2 C_{af} + b^2 C_{ar})}{I_z V} \end{bmatrix}}_A \begin{bmatrix} V_y \\ r \end{bmatrix} + \underbrace{\begin{bmatrix} \frac{C_{af}}{m} \\ \frac{C_{ar}}{I_z} \end{bmatrix}}_B \delta(t) \quad (1)$$

$$r_{meas} = \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix}}_C \begin{bmatrix} V_y \\ r \end{bmatrix} \quad (2)$$

把估计器的闭环形式写作:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \hat{V}_y \\ \hat{r} \end{bmatrix} = [A - GC] \begin{bmatrix} \hat{V}_y \\ \hat{r} \end{bmatrix} + B\delta(t) + Gr_{meas} \quad (3)$$

把  $G$  选择成把估计器的极放置在比开环模型快 10 倍的位置处。

乍看起来，当车辆的实际偏航角速度在估计器中用来确定车辆的偏航角速度时，这似乎是不必要的。事实上是，在较低偏航角速度下，估计和测量值将重合。然而，估计器基于一个完全线性模型，这个模型当在增大不足转向期间车辆变得更加非线性时变得较不准确。因此，当车辆开始不足转向时，估计和实际偏航角速度开始脱节，引起一个用来改变辅助转矩值的误差。偏航角速度反馈的使用因此减小估计器对于随速度变化的动态特性的灵敏性。

试验已经也表明，估计器对于参数是可靠的，尽管这通过把横向加速度用作一个另外的反馈信号能进一步改进。

#### 横向加速度估计

图 10 是与图 9 相对应的图，但表明其中估计器是一个横向加速度估计块的情形。控制器基本上与用于偏航角速度估计器的相同，但添加来自下面的横向加速度公式的项  $D'$ 。

系统与用于动态估计器的相同，只是到观察器的输入是转向角度和横向加速度(而不是偏航角速度)，而输出是横向加速度的估计，公式 4。通过从实际横向加速度减去估计的横向加速度，产生一个能与图 1 的第一实施例的偏航角速度误差相同的方式使用的误差信号

$$a_{y(meas)} = \underbrace{\begin{bmatrix} \frac{-(C_{\alpha_f} + C_{\alpha_r})}{mV} & \frac{-(aC_{\alpha_f} - bC_{\alpha_r})}{mV} \end{bmatrix}}_{C'} \begin{bmatrix} V_y \\ r \end{bmatrix} + \underbrace{\begin{bmatrix} C_{\alpha_f} \\ m \end{bmatrix}}_{D'} \delta(t) \quad (4)$$

用于横向加速度观察器的状态公式由下式给出：

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \hat{V}_y \\ \hat{r} \end{bmatrix} = [A - G'C'] \begin{bmatrix} \hat{V}_y \\ \hat{r} \end{bmatrix} \hat{x} + [B - G'D'] \delta(t) + G'a_{y(meas)} \quad (5)$$

#### 反向探测

一种最佳反向探测算法在图 11 中描绘。反向标志是零，指示车辆正在反向，此时偏航角速度在死区中，或者它们具有不同符号。死区 40、42 限制噪声对偏航角速度信号的影响。它们这样设置，从而对于静止车辆，在偏航角速度上的噪声不会超过死区。在信号在死区

中的同时，那么块的输出是零。符号块 44、46 取输入信号的符号。如果输入信号是零，那么符号值也是零，否则如果输入是正则它是正或者如果输入信号是负则它是负。饱和 48 这样设置，从而如果输入是 1 或更大，那么输出是 1。如果输入是零或更小，那么输出是零。这把反向标志限制到 0 或 1。通过估计和实际横向加速度的比较同样能良好地实现反向探测。

通过从估计偏航角速度减去实际车辆偏航角速度能求出偏航角速度误差，即在驾驶员需要的偏航角速度与车辆的实际偏航角速度之间的差，如在图 8 中在 50 处指示的那样。

驾驶员转矩限制块把驾驶员转矩的值限制到预定级。当不足转向控制注入系统中的转矩量与驾驶员转矩成正比时，对于驾驶员转矩的限制有效地把限制放置在系统能注入的转矩量上。

#### 不足转向控制

不足转向控制包括在图 12 中指示的多个部分。偏航角速度误差对于定标映像图 52 控制转向感觉，而转矩控制 54 防止过大不足转矩，抵消来自动力转向的辅助转矩，及甚至反向由驾驶员施加的转矩。同样，图 12 的控制结构能同样良好地产生基于横向加速度误差估计的不足转矩。

#### 偏航角速度误差对于定标映像图

偏航角速度误差用作输入到查阅表中的索引。这种查阅的输出是驾驶员转矩定标。查阅表的元素对于较小偏航角速度误差较低而对于较高偏航角速度误差较大，如在图 13(偏航角速度误差对于驾驶员转矩定标查阅表)中指示的那样。同样，图 13 的原理能同样应用于横向加速度误差。

通过改变在查阅表中的元素，能把控制器的效果调谐到不同车辆，并且给出不同性能。通过使从高到低的过渡发生在较低偏航角速度误差处，在汽车达到最终不足转向之前，能使转向感觉良好地变轻。如果初始使转矩定标增益稍微为负，那么能使转向在较低偏航角速度下感觉较重。这与同横向加速度成正比的驾驶员转矩增大非常类

似。

### 转矩控制

有可能不足转向控制器产生比由动力转向系统产生辅助转矩大的转矩。如果这发生，则反向由驾驶员感觉的转矩。不仅这不舒服和混淆，而且有这样的潜在可能性，当驾驶员移开他的双手时，转向会转得更死而不是返回直线向前。为了防止这种转矩反向，已经构成在图 14(转矩控制部分的方块图)中表示的算法。这试图保持转矩高于一个预定转矩阈值，这通过在 56 处把实际驾驶员转矩与转矩阈值相比较和产生在 0 与 1 之间的定标实现。通过把这种定标应用于不足转向控制器的输出，能控制不足转向控制器的效果。

这样设计算法，从而借助于在图 15 中表示的形状产生一个定标校正值，其中  $T_{\text{threshold}}$  是在其下面驾驶员转矩不应该降低的转矩值，并且  $k_{\text{tune}}$  是调谐增益的值。

定标校正具有 3 个阶段。在第一阶段中，驾驶员转矩非常低，并且基本上迅速限制不足转向控制器的效果以防止转矩反向。这通过把定标校正设置到零实现，由此使不足转向控制器的效果无效。这事实上是一个死区，并且在处理来自转矩传感器的噪声时是有用的。第二阶段在某一指定点与转矩阈值之间。在这部分中，来自转矩控制器的输出线性地从 0 到 1 斜坡上升，产生不足转向控制器输出的平稳控制。最后部分是其中驾驶员转矩高于转矩阈值的部分。定标校正是一，因此对不足转向控制器输出没有影响。

### 转矩阈值

这个块 58 是等于在其处希望驾驶员转矩不会降到下面的电平的常数。已经发现一个满意值是 1Nm。

### Max

MAX 块 60、62 简单地取其两个输入的最大值。在两种情况下，它们防止输入降到零以下，这能引起负定标校正。这会提供在驾驶员处的转矩反向，这是高度有害的，因为它使驾驶员混淆。

### 调谐增益和滤波器



调谐增益和滤波器块 64 使驾驶员转矩信号平滑，从而产生具有较少切换的较平滑控制。调谐增益用来控制由下式描述的死区尺寸：

$$T_{deadband} = \frac{T_{threshold} k_{tune} - 1}{k_{tune}}$$

### 横向加速度控制

横向加速度感觉控制，图 16，设计成在转向系统中产生与车辆的横向加速度成正比的转矩建立。

### 横向加速度补偿(66)

由一个横向加速度传感器供给的横向加速度值通过一种补偿算法。这可以简单地是一个除去噪声的滤波器，或者它可以是一种用于横向加速度传感器位置的校正。如果使用在前轴处的横向加速度，则得到最好的结果。由于传感器不可能放置在哪里，那么补偿元件能用来补偿传感器离在其中测量的横向加速度希望测量的前轮之间的位置中间的实际位移。

### ABS(68)

ABS 块仅取数值，由此保证定标总是正的并且横向加速度转矩总是具有与驾驶员转矩相同的符号。如果相对符号要改变，那么转向感觉会混淆。

### 查阅表(70)

应用于该横向加速度的增益取决于速度，并且在查阅表中确定。在低速下，增益是零，在约 10 与 40 kph 之间，增益升高到一个波峰值，并且然后在所有较高速度下保持在那里。一个典型的波峰增益值是约 0.3。

### 触觉转矩极限

这是防止触觉转矩超过预定极限的饱和。如果它不超过这些极限，那么它简单地保持在极限处。

触觉控制器的最佳形式的主要特征能概括如下。

能人为地引入在不足转向中的转矩变化

如果转向系统已经这样设计，从而当车辆处于不足转向中时有不足的驾驶员转矩下降，那么使用来自车辆上其它传感器的信息这能添加。

能人为地引入与横向加速度成正比的转矩建立

如果转向系统已经这样设计，从而有与横向加速度成正比的不足驾驶员转矩建立，那么使用来自车辆上其它传感器的信息这能添加。

施加的转矩与驾驶员转矩成正比

通过使由控制器施加的转矩与驾驶员转矩成正比，保持被动车辆性能。如果驾驶员从驾驶盘移开其双手，则驾驶员转矩降到零，触觉控制器转矩也降到零并且驾驶盘本身对中。

不足转向控制的施加点是完全可调谐的

在其处转向变轻的点能与车辆隔离。因此有可能在最终不足转向之前提供稍微变轻的转向，由此向驾驶员提供牵引损失的提前警报。

在不足转向中的转矩下降量是可调谐的

在不足转向中的转矩下降量在软件中是可调谐的。因此简单的是，创建一种具有适于车辆的转矩下降特性的转向系统。

在横向加速度中的转矩累积量是可调谐的

与横向加速度成正比累积转矩的量在软件中是可调谐的。因此简单的是，创建一种具有适于车辆的转矩下降特性的转向系统，包括用速度映像它以给出适当的低速特性。

能使用横向加速度代替偏航角速度

横向加速度信号能代替偏航角速度信号，并且系统将以相同方式工作，仅有对于估计器公式的很少变化。这是便利的，因为横向加速度传感器的成本远小于偏航角速度传感器。

在反向时算法不影响转向感觉

一种简单的算法根据偏航角速度和偏航角速度估计的相对符号探测何时车辆反向。通过防止控制器在车辆反向时动作，避免在转向

感觉中的混淆变化。

### 最少辅助硬件

除基础车辆之外有最少的辅助硬件要求。一个或多个便宜横向加速度传感器可能是全部需要的。

### 符号术语

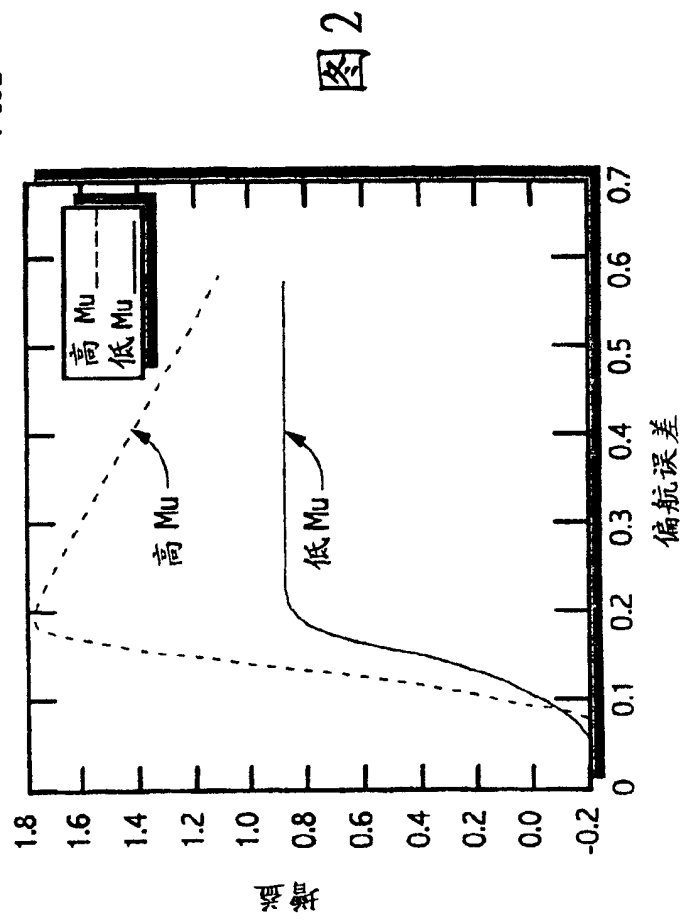
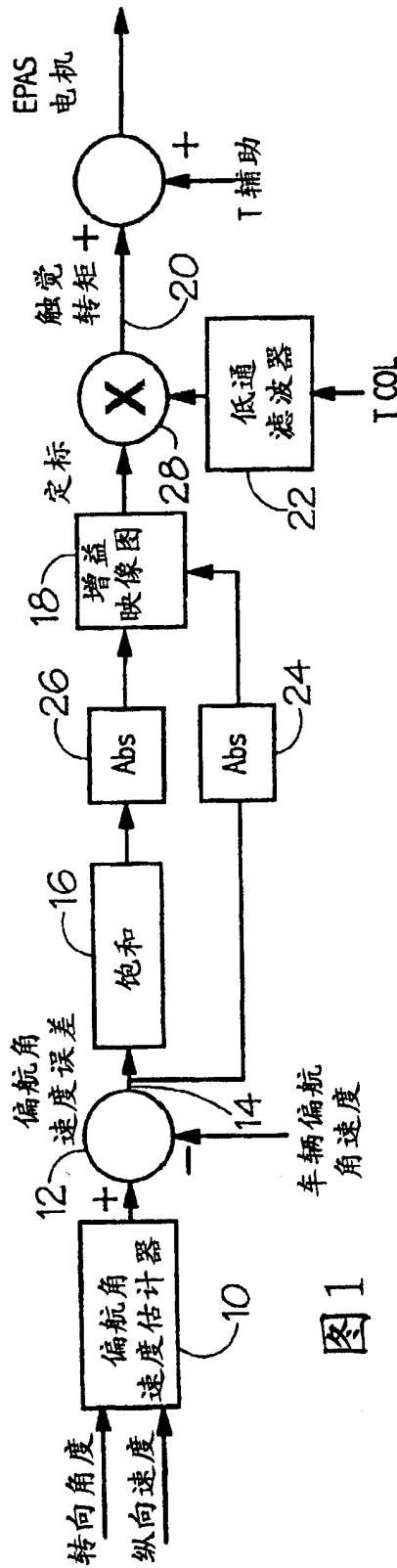
#### 参数

|          | 参数                                |
|----------|-----------------------------------|
| $l$      | 轮轴距                               |
| $V_{ch}$ | 车辆特征速度                            |
| $G_s$    | 转向比                               |
| $C_{af}$ | 前轮胎横向刚度(每轴)                       |
| $C_{ar}$ | 后轮胎横向刚度(每轴)                       |
| $m$      | 车辆质量                              |
| $I_{zz}$ | 车辆偏航惯性矩                           |
| $a$      | 从车辆齿轮到前轴的纵向距离                     |
| $b$      | 从车辆齿轮到后轴的纵向距离                     |
| $A$      | 自行车模型状态过渡矩阵( $2 \times 2$ 矩阵)     |
| $B$      | 自行车模型状态输入矩阵( $2 \times 1$ 矩阵)     |
| $C$      | 自行车模型状态输出矩阵                       |
| $G$      | 观察器增益矩阵( $2 \times 1$ 矩阵)         |
| $D'$     | 可选择自行车模型输出前馈矩阵<br>(使用横向加速度作为模型输出) |
| $C'$     | 可选择自行车模型状态输出矩阵<br>(使用横向加速度作为模型输出) |
| $G'$     | 可选择观察器增益矩阵(使用横向加速度<br>作为模型输出)     |

#### 信号

|           | 信号      |
|-----------|---------|
| $\hat{r}$ | 偏航角速度估计 |

|               |            |
|---------------|------------|
| $V_x, v$      | 车辆纵向速度     |
| $\delta_{sw}$ | 转向角度(驾驶盘)  |
| $V_y$         | 车辆横向速度     |
| $r$           | 车辆偏航角速度    |
| $t$           | 时间         |
| $\delta(t)$   | 转向角度(道路车轮) |
| $r_{meas}$    | 测量的偏航角速度   |
| $\hat{V}_y$   | 估计横向速度     |
| $\hat{r}$     | 估计的偏航角速度   |
| $a_{y(meas)}$ | 测量的横向加速度   |



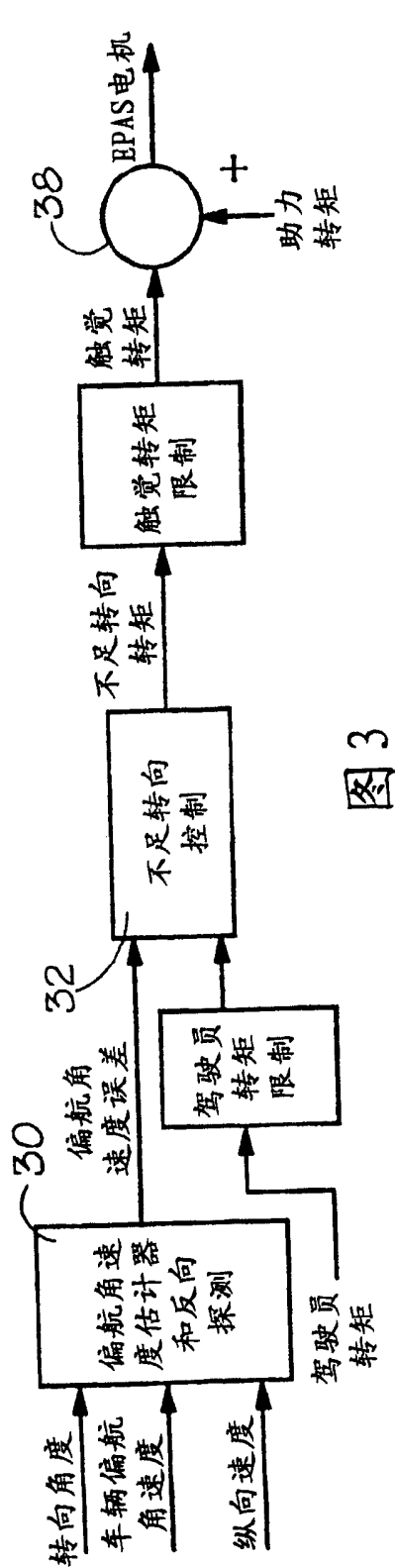


图3

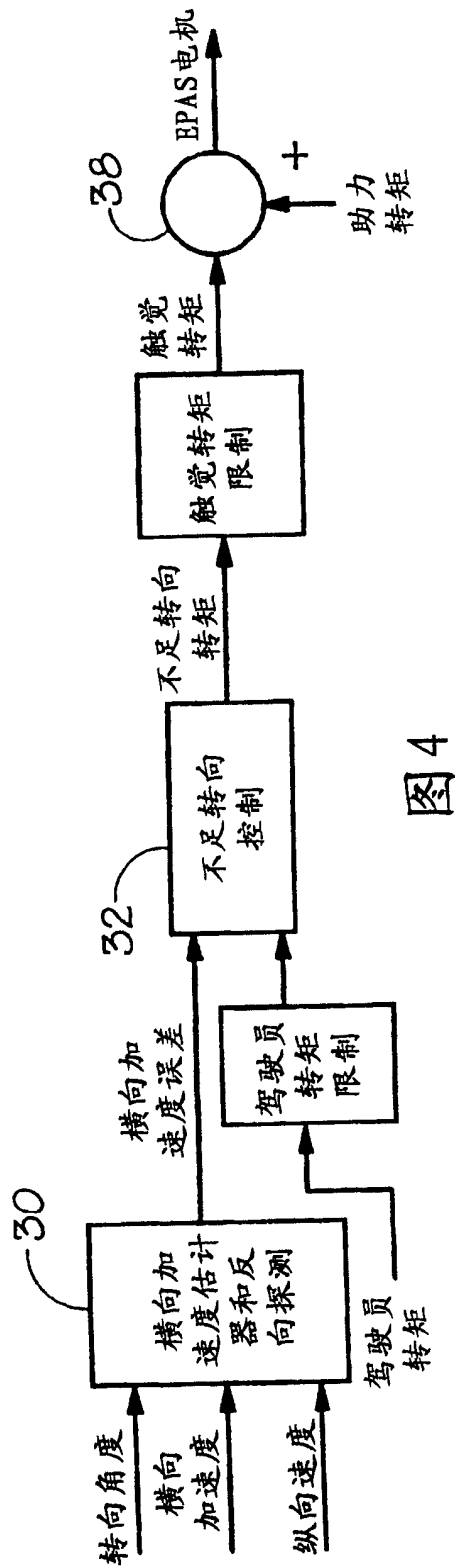


图4

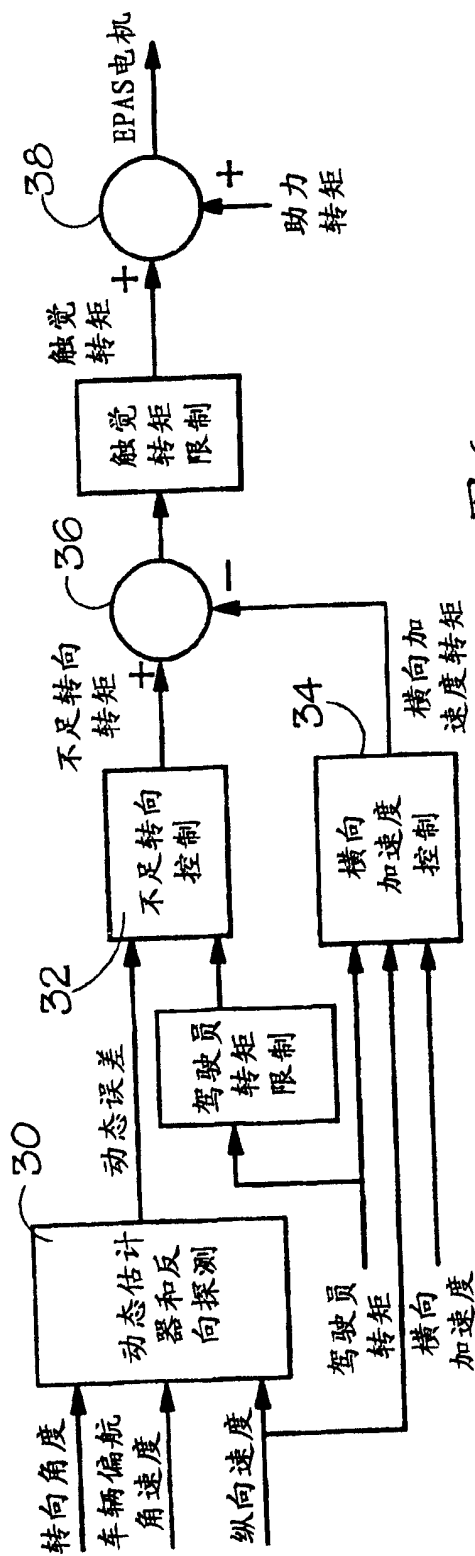


图6

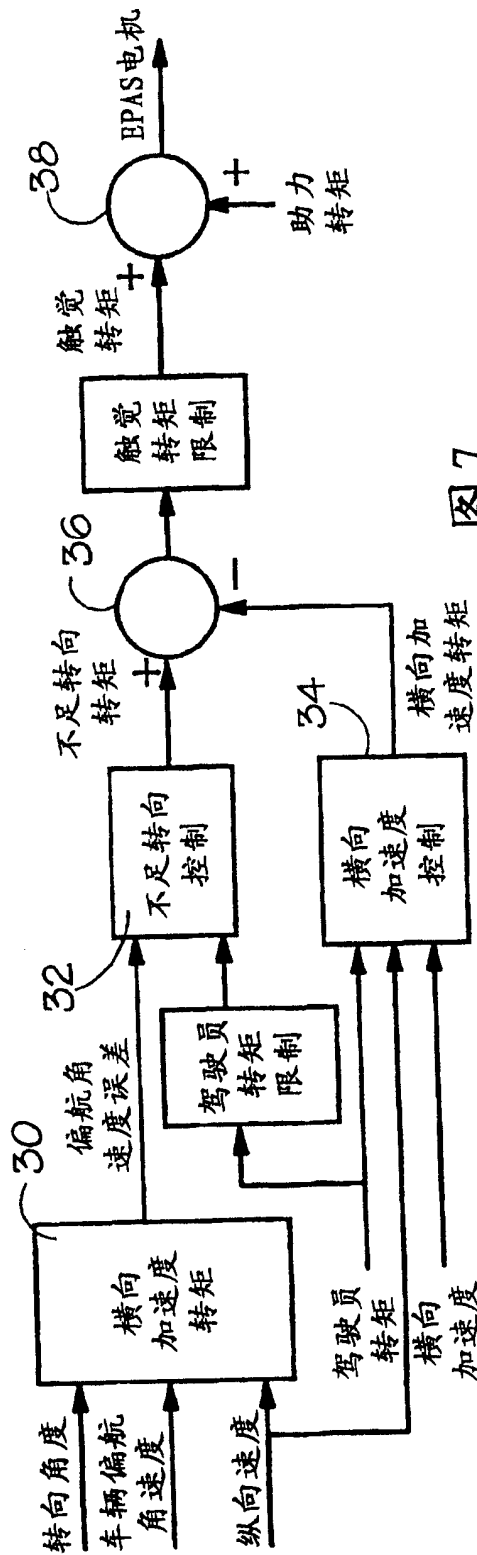


图7

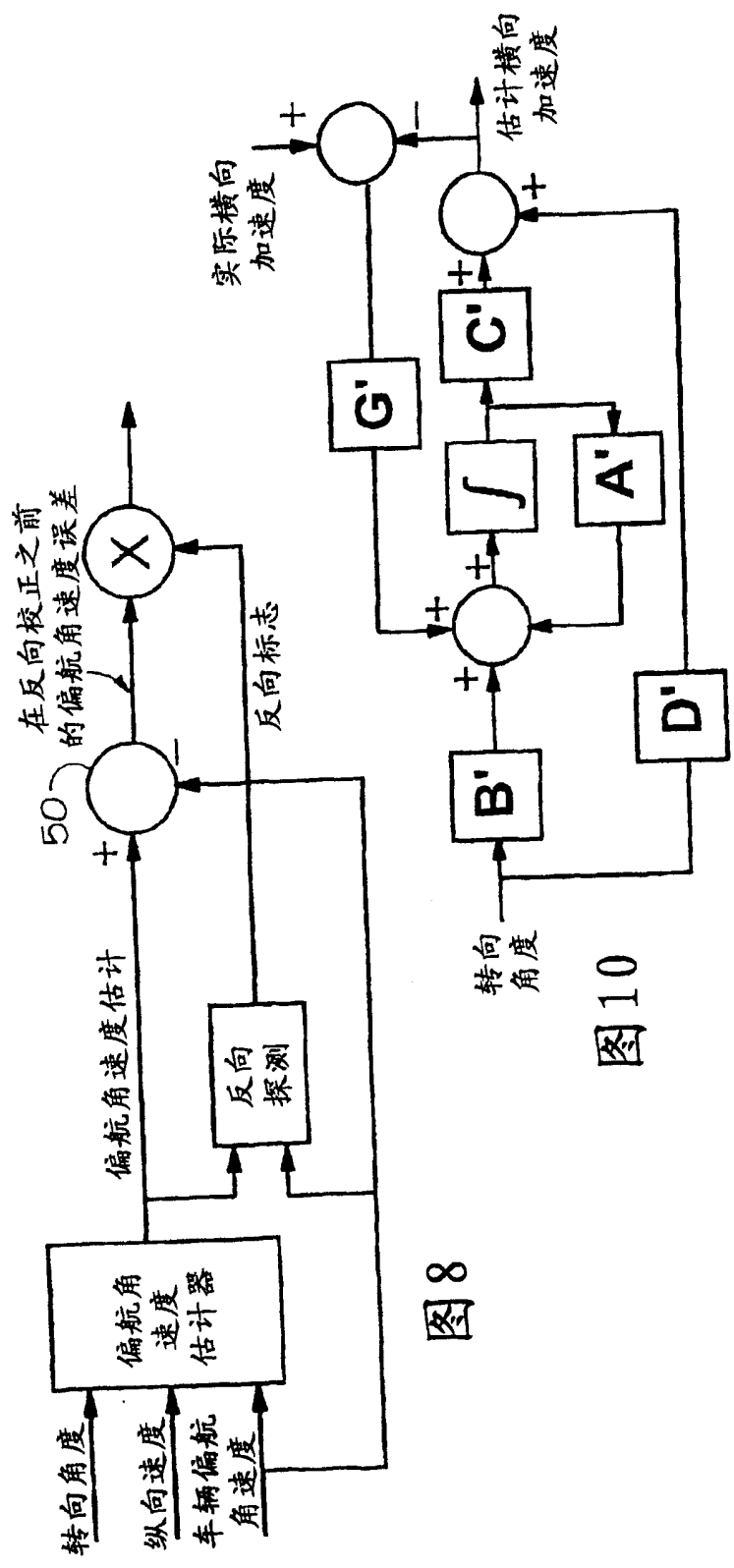
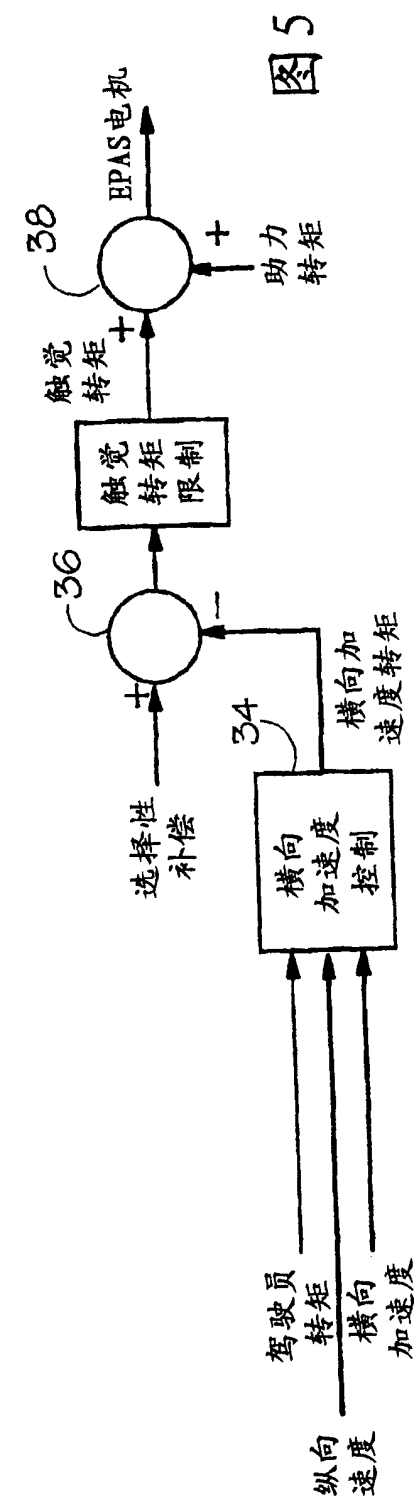


图10





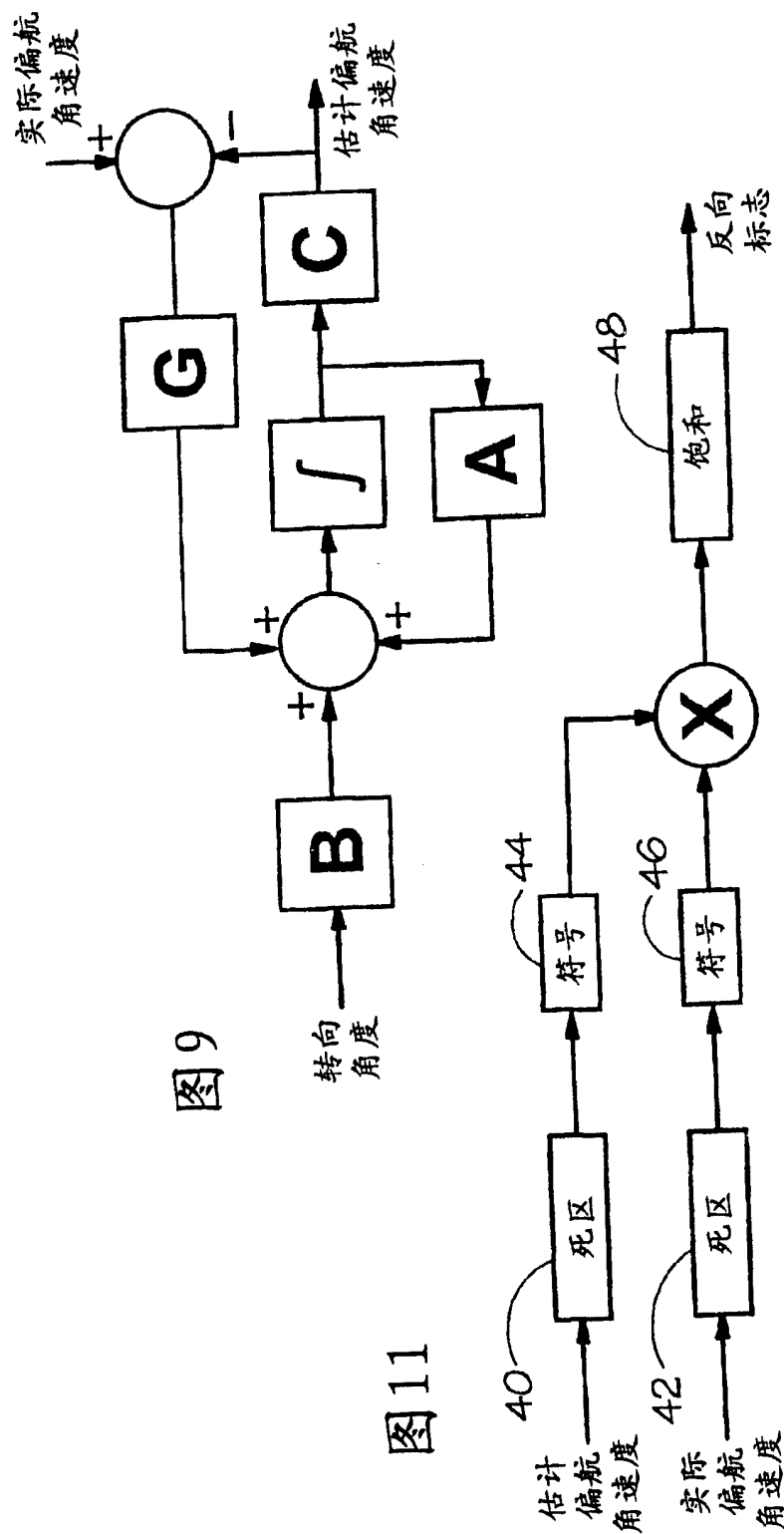
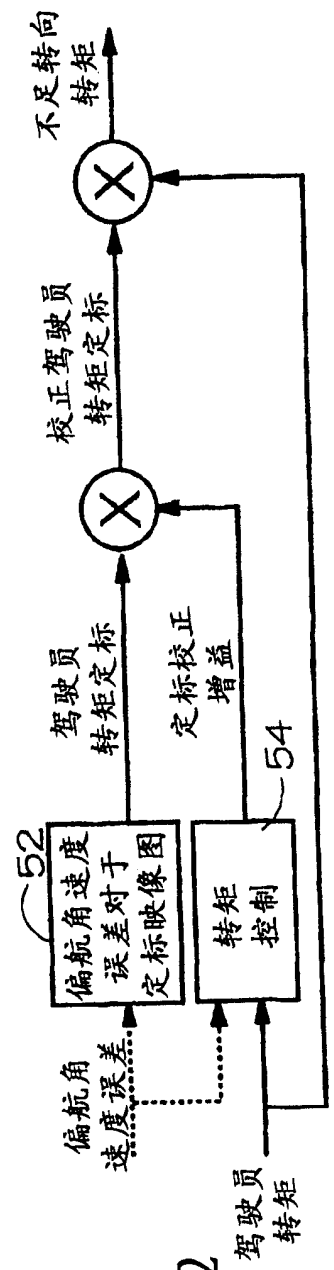
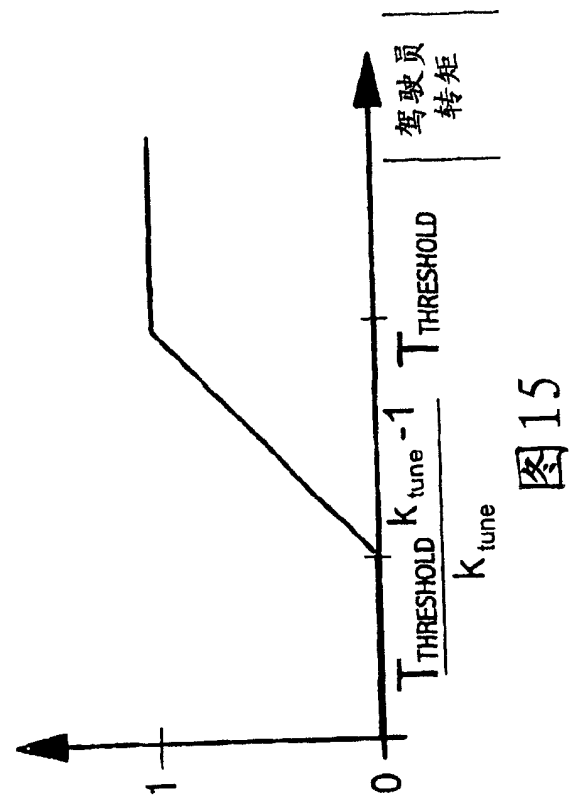
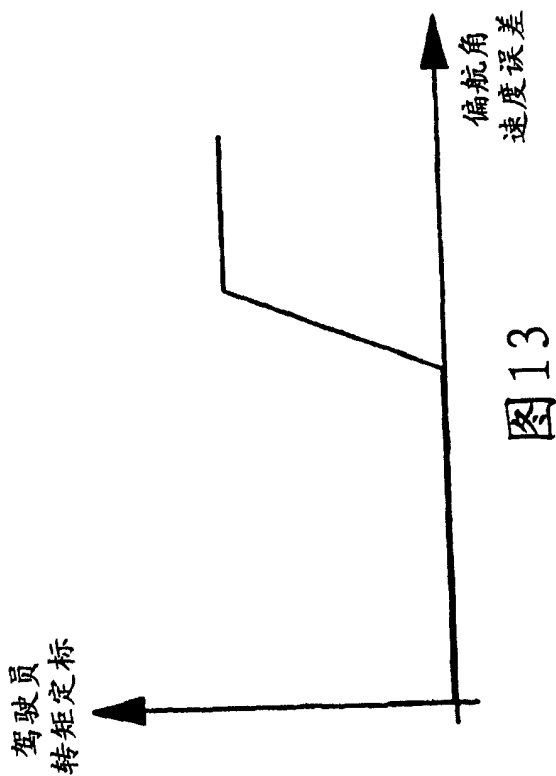
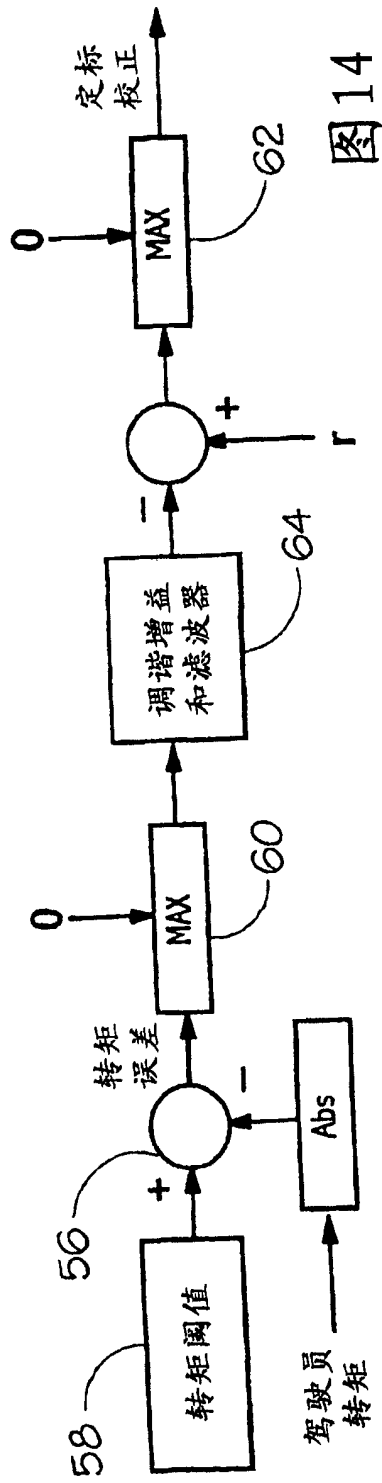


图9





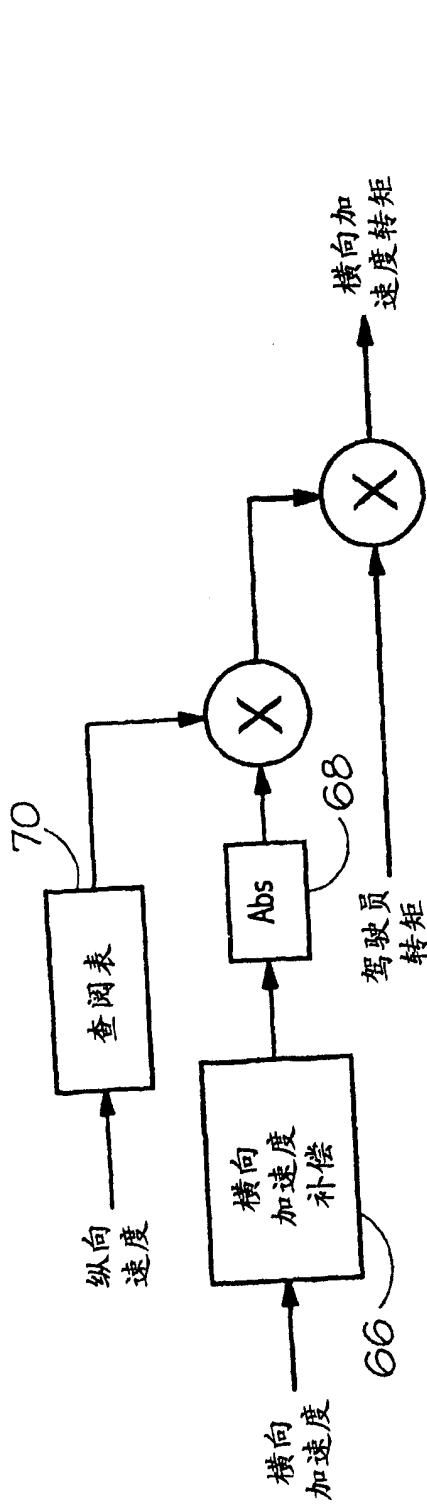


图16

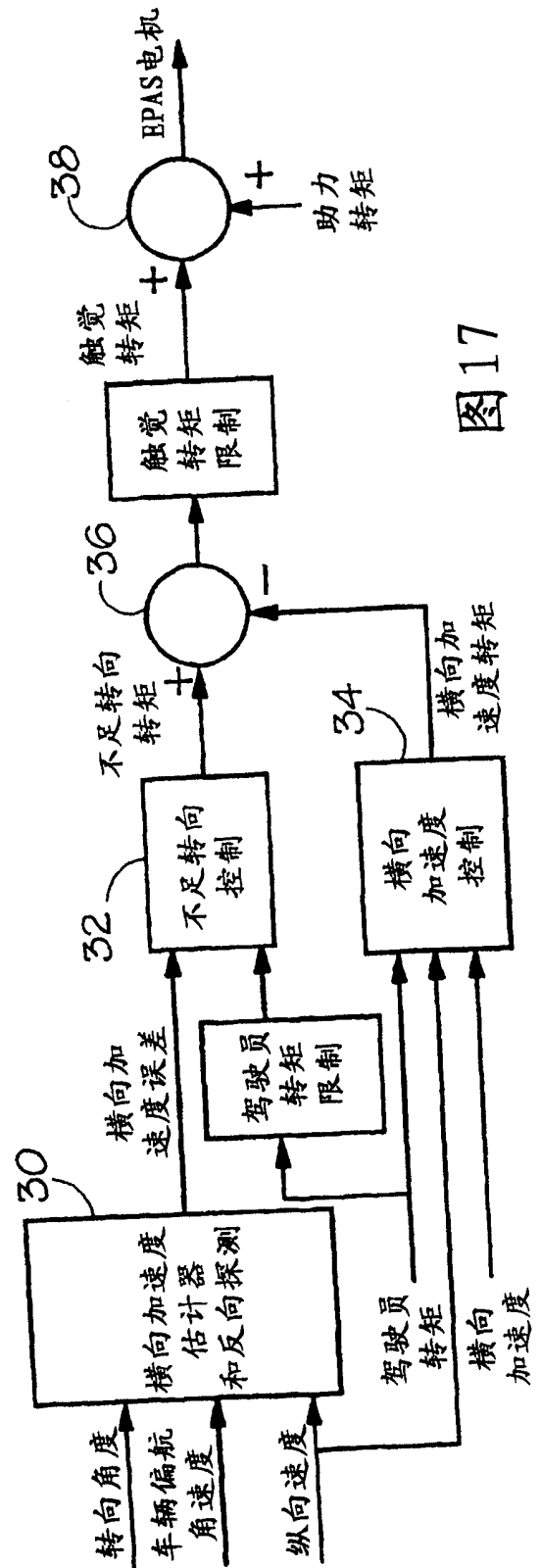


图17