

[19]中华人民共和国专利局

[51]Int.Cl⁶

G08G 5/04

G01S 13/00 G06F 19/00

// G06F165:00



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 96190877.7

[43]公开日 1997年10月1日

[11] 公开号 CN 1161097A

[22]申请日 96.3.15

[30]优先权

[32]95.8.7 [33]US[31]08/512,011

[86]国际申请 PCT/US96/03291 96.3.15

[87]国际公布 WO97/06500 英 97.2.20

[85]进入国家阶段日期 97.4.7

[71]申请人 迈脱有限公司

地址 美国马萨诸塞州

[72]发明人 约纳塔思·B·哈默

[74]专利代理机构 上海专利商标事务所

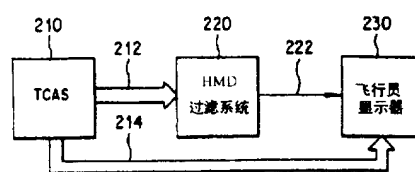
代理人 陈亮

权利要求书 6 页 说明书 13 页 附图页数 6 页

[54]发明名称 抑制虚假分辨报警的水平避免相撞距离过滤系统

[57]摘要

提供一种水平避免相撞距离过滤系统 (220)，用于禁止空中交通报警和防撞系统 (210) 向飞行员显示器 (230) 提供分辨报警消息。水平避免相撞距离过滤使用抛物线距离跟踪器 (10) 得到距离加速度估计值 (11)，用于区分具有非零水平避免相撞距离的闯入飞机 (110)。把根据抛物线距离跟踪器提供的距离数据算得的水平避免相撞距离与基于方位角的跟踪器 (22) 提供的基于方位角的水平避免相撞距离比较。把两个算得的水平避免相撞距离中较小的一个规定为投影水平避免相撞距离，把它与阈值比较。任何投影水平避免相撞距离大于阈值的闯入飞机的分辨报警都被禁止，除非确定碰撞包含了飞机之一在作机动飞行。



权 利 要 求 书

- 1、一种抑制空中交通报警和防撞系统的虚假分辨报警消息的系统，包含：
从空中交通报警和防撞系统输入闯入飞机的监视距离测量值的装置；
连接到所述监视距离测量值输入装置的距离跟踪装置，它利用多个预期的基于距离的参数中的至少一个参数确定大于预定值的水平避免相撞距离，所述选出的预期的基于距离的参数与预定的第一阈值比较；以及
连接到所述距离跟踪装置和空中交通报警和防撞系统的禁止装置，用于响应于所述选出的预期的基于距离的参数大于所述第一阈值，禁止传送分辨报警消息。
- 2、如权利要求1所述的系统，其特征在于，还包含连接到所述距离跟踪装置的阈值修正装置，用于响应于所述监视距离测量值与计算得到的预期距离值之间的差值修正所述第一阈值。
- 3、如权利要求2所述的系统，其特征在于，还包含方位角跟踪装置，其监视方位角输入端连接到所述空中交通报警和防撞系统，用于计算基于方位角的水平避免相撞距离。
- 4、如权利要求3所述的系统，其特征在于，所述距离跟踪装置包括联接到所述方位角跟踪装置的输入端，用于输入所述基于方位角的水平避免相撞距离，所述距离跟踪装置包括从所述基于方位角的水平避免相撞距离与基于距离的水平避免相撞距离的比较中选择最小的水平避免相撞距离的装置，把所述最小水平避免相撞距离与所述预定值比较，所述禁止装置响应于所述最小水平避免相撞距离大于所述预定值，禁止传送分辨报警消息。
- 5、如权利要求4所述的系统，其特征在于，还包括机动飞行检测装置，连接到所述距离跟踪装置和所述禁止装置，用于响应于确定闯入飞机的方向或者速度正在变化，防止禁止传送分辨报警消息。
- 6、如权利要求1所述的系统，其特征在于，所述预期的基于距离的参数包括预期距离、预期距离速率和预期距离加速度。
- 7、如权利要求6所述的系统，其特征在于，选择所述预期距离加速度与所述第一阈值比较，以确定相应的水平避免相撞距离是否大于所述预定值。
- 8、如权利要求7所述的系统，其特征在于，所述距离跟踪装置包括响应于所述监视距离测量值与所述预期距离之间的差值修正所述第一阈值的装置。
- 9、如权利要求8所述的系统，其特征在于，还包含方位角跟踪装置，其监视方位角输入端连接到所述空中交通报警和防撞系统，用于计算基于方位角的水平避免相撞距离。

10、如权利要求9所述的系统，其特征在于，所述距离跟踪装置包括连接到所述方位角跟踪装置的输入端，输入所述基于方位角的水平避免相撞距离，所述距离跟踪装置包括从所述基于方位角的水平避免相撞距离与基于距离的水平避免相撞距离的比较中选择最小的水平避免相撞距离的装置，所述最小水平避免相撞距离与所述预定值比较，所述禁止装置响应于所述最小水平避免相撞距离大于所述预定值，禁止传送分辨报警消息。

11、如权利要求10所述的系统，其特征在于，还包括机动飞行检测装置，连接到所述距离跟踪装置和所述禁止装置，用于响应于确定闯入飞机的方向或者速度正在变化，防止禁止传送分辨报警消息。

12、如权利要求11所述的系统，其特征在于，所述机动飞行检测装置包括其输入端连接到所述距离跟踪装置的第一机动飞行检测器，所述第一机动飞行检测器响应于所述预期距离的三次导数小于零的计算，识别闯入飞机正在进行机动飞行。

13、如权利要求12所述的系统，其特征在于，所述机动飞行检测装置包括其输入端连接到所述距离跟踪装置的第二机动飞行检测器，所述第二机动飞行检测器响应于所述预期距离加速度小于预定的第二阈值的计算，识别闯入飞机正在进行机动飞行。

14、如权利要求13所述的系统，其特征在于，所述机动飞行检测装置包括连接到所述空中交通报警和防撞系统的直角坐标跟踪装置，以计算直角坐标距离、直角坐标距离速率和直角坐标距离加速度。

15、如权利要求14所述的系统，其特征在于，所述机动飞行检测装置包括其输入端连接到所述直角坐标跟踪装置的第三机动飞行检测器，所述第三机动飞行检测器响应于所述直角坐标距离加速度小于预定第三阈值的计算，识别闯入飞机正在机动飞行。

16、如权利要求15所述的系统，其特征在于，所述机动飞行检测装置包括其输入端连接到所述直角坐标跟踪装置的第四机动飞行检测器，所述第四机动飞行检测器响应于所述直角坐标距离与所述监视距离测量值之间的差值小于预定的第四阈值的计算，识别闯入飞机正在机动飞行。

17、如权利要求16所述的系统，其特征在于，所述机动飞行检测装置包括其输入端连接到所述方位角跟踪装置的第五机动飞行检测器，所述第五机动飞行检测器响应于所述基于方位角的水平避免相撞距离小于所述基于距离的水平避免相撞距离的预定百分比的计算，识别闯入飞机正在机动飞行。

18、如权利要求17所述的系统，其特征在于，所述机动飞行检测装置包括响应于由所述第一、第二、第三、第四或第五机动飞行检测器识别出闯入飞机

正在机动飞行，用于防止所述禁止传送分辨报警消息的装置。

19、如权利要求1所述的系统，其特征在于，还包括方位角跟踪装置，其监视方位角输入端连接到所述空中交通报警和防撞系统，用于计算基于方位的水平避免相撞距离。

20、如权利要求19所述的系统，其特征在于，所述距离跟踪装置包括联接到所述方位角跟踪装置的输入端，输入所述基于方位角的水平避免相撞距离，所述距离跟踪装置包括从所述基于方位角的水平避免相撞距离与基于距离的水平避免相撞距离的比较中选择最小的水平避免相撞距离的装置，所述最小水平避免相撞距离与所述预定值比较，所述禁止装置响应于所述最小水平避免相撞距离大于所述预定值，禁止传送分辨报警消息。

21、如权利要求20所述的系统，其特征在于，还包括机动飞行检测装置，连接到所述距离跟踪装置和所述禁止装置，用于响应于确定闯入飞机的方向或者速度正在变化，防止禁止传送分辨报警消息。

22、如权利要求21所述的系统，其特征在于，所述机动飞行检测装置包括其输入端连接到所述距离跟踪装置的机动飞行检测器，所述机动飞行检测器响应于所述预期距离的三次导数小于零的计算，识别闯入飞机正在进行机动飞行。

23、如权利要求21所述的系统，其特征在于，所述机动飞行检测装置包括其输入端连接到所述距离跟踪装置的机动飞行检测器，所述机动飞行检测器响应于所述预期距离加速度小于预定的第二阈值计算，识别闯入飞机正在进行机动飞行。

24、如权利要求21所述的系统，其特征在于，所述机动飞行检测装置包括连接到所述空中交通报警和防撞系统的直角坐标跟踪装置，以计算直角坐标距离、直角坐标距离速率和直角坐标距离加速度。

25、如权利要求24所述的系统，其特征在于，所述机动飞行检测装置包括其输入端连接到所述直角坐标跟踪装置的机动飞行检测器，所述机动飞行检测器响应于所述直角坐标距离加速度小于预定第三阈值的计算，识别闯入飞机正在机动飞行。

26、如权利要求24所述的系统，其特征在于，所述机动飞行检测装置包括其输入端连接到所述直角坐标跟踪装置的机动飞行检测器，所述机动飞行检测器响应于所述直角坐标距离与所述监视距离测量值之间的差值小于预定的第四阈值的计算，识别闯入飞机正在机动飞行。

27、如权利要求21所述的系统，其特征在于，所述机动飞行检测装置包括其输入端连接到所述方位角跟踪装置的机动飞行检测器，所述机动飞行检测器

响应于所述基于方位角的水平避免相撞距离小于所述基于距离的水平避免相撞距离的预定百分比的计算，识别闯入飞机正在机动飞行。

28、如权利要求 1 所述的系统，其特征在于，还包括补偿至闯入飞机最近点的估计时间的装置，所述补偿装置提供对应于估计距离加速度的校正距离速率，该估计距离加速度由所述至最接近点的所述估计时间建立的时间间隔所应用。

29、一种抑制空中交通报警和防撞系统的虚假分辨报警消息的系统，包含：
从空中交通报警和防撞系统输入闯入飞机的监视距离测量值的装置；
连接到所述监视距离测量值输入装置的距离跟踪装置，它利用多个预期的基于距离的参数中的至少一个参数确定大于预定值的水平避免相撞距离，所述选出的预期的基于距离的参数与预定的第一阈值比较，所述距离跟踪装置包括机动飞行检测装置，用于确定闯入飞机的方向或者相对速度正在变化，并提供机动飞行指示输出；以及

连接到所述距离跟踪装置和空中交通报警和防撞系统的禁止装置，用于响应于所述选出的预期的基于距离的参数大于所述第一阈值和没有所述机动飞行指示时输出禁止传送分辨报警消息。

30、如权利要求 29 所述的系统，其特征在于，所述预期的基于距离的参数包括预期距离、预期距离速率和预期距离加速度。

31、如权利要求 30 所述的系统，其特征在于，选择所述预期的距离加速度与所述第一阈值比较，以确定相应的水平避免相撞距离是否大于所述预定值。

32、如权利要求 31 所述的系统，其特征在于，所述距离跟踪装置包括响应于所述监视距离测量值与所述预期距离之间的差值修正所述第一阈值的装置。

33、一种在空中交通报警和防撞系统中检测闯入飞机正在机动飞行的方法，其特征在于，包含下列步骤：

以预定的时间间隔提供测量得到的距离值；

根据所述测量得到的距离值，计算预期的距离值；

计算所述预期的距离值的三次导数；以及

响应于所述预期的距离值的三次导数小于零，确定发生了机动飞行。

34、如权利要求 33 所述的方法，其特征在于，还包含下列步骤：

计算所述预期的距离值的二次导数；以及

响应于所述预期的距离值的所述二次导数小于加速度阈值，确定发生了机动飞行。

35、如权利要求 33 所述的方法，其特征在于，还包含下列步骤：

在直角坐标系统中根据所述测得的距离值计算预期的距离值；

计算所述预期的直角坐标距离值的二次导数；以及
响应于所述预期的直角坐标距离值的所述二次导数小于直角坐标加速度阈值，确定发生了机动飞行。

36、如权利要求 33 所述的方法，其特征在于，还包含下列步骤：

计算所述预期的直角坐标距离值和所述测得的距离值的一个相应值之间的差值；以及

响应于所述计算得到的差值小于预定距离差阈值，确定发生了机动飞行。

37、如权利要求 33 所述的方法，其特征在于，还包含下列步骤：

根据所述测得的距离值计算基于距离的水平避免相撞距离；

提供相对方位角值；

利用所述相对方位角值计算基于方位角的水平避免相撞距离；以及

响应于所述基于方位角的水平避免相撞距离小于所述基于距离的水平避免相撞距离的预定百分比，确定发生了机动飞行。

38、一种抑制空中交通报警和防撞系统的虚假分辨报警消息的方法，其特征在于，包含下列步骤：

a)提供测得的至闯入飞机的距离值；

b)根据用于预定的将来时间间隔的所述测得的距离值计算预期距离值、预期距离速度值和预期距离加速度值；

c)把所述预期距离加速度值与加速度阈值比较；

d)如果所述预期距离加速度值小于所述加速度阈值，进到步骤(a)；否则继续；

e)计算该闯入飞机的投影水平避免相撞距离；

f)把所述投影水平避免相撞距离与距离阈值比较，

g)如果所述投影水平避免相撞距离小于所述距离阈值，进到步骤(a)，否则继续；

h)确定闯入飞机的相对方向或相对速度是否有变化，以识别机动飞行情况；

i)如果识别出机动飞行情况，进到步骤(a)，否则继续；以及

j)禁止空中交通报警和防撞系统的分辨报警消息。

39、如权利要求 38 所述的方法，其特征在于，把所述预期距离加速度值与加速度阈值比较的所述步骤包括计算所述测得的距离值与所述预期距离值之间的差值的步骤，以及响应于所述算得的差值大于预定值，调节所述加速度阈值的步骤。

40、如权利要求 38 所述的方法，其特征在于，计算投影水平避免相撞距离的所述步骤包括下列步骤：

- a)提供方位角测量值;
- b)根据所述预期距离值、所述预期距离速度值和所述预期距离加速度值计算第一水平避免相撞距离;
- c)根据所述方位角测量值在直角坐标中计算闯入飞机相对估计位置和估计速度;
- d)根据所述估计位置和估计速度计算第二水平避免相撞距离;
- e)把所述第一水平避免相撞距离与所述第二水平避免相撞距离比较,确定最小的水平避免相撞距离,把所述最小的水平避免相撞距离识别成所述投影水平避免相撞距离。

41、如权利要求 40 所述的方法,其特征在于,确定相对方向或相对速度是否有变化的所述步骤包括把第二水平避免相撞距离与所述第一水平避免相撞距离比较的步骤和响应于所述第二水平避免相撞距离小于所述第一水平避免相撞距离预定的百分比,识别所述机动飞行情况的步骤。

说明书

抑制虚假分辨报警的水平避免相撞距离过滤系统

技术领域

本发明涉及一种与空中交通报警防撞系统(TCAS)结合的用于抑制虚假分辨报警的系统。本发明尤其涉及一种利用抛物线距离跟踪器提供投影距离、投影距离速率以及投影距离加速度的水平避免相撞距离过滤。投影距离加速度用于辨别可能产生虚假分辨报警的非零水平避免相撞距离的碰撞。再者，本发明本身涉及一种系统，该系统进一步估计具有非零避免相撞距离的碰撞，以确定估计的水平避免相撞距离是否足够大到不受碰撞的威胁，从而保证抑制虚假分辨报警。另外，用基于方位的跟踪器根据 TCAS 系统提供的方位信息表达出水平避免相撞距离，把基于距离的水平避免相撞距离或者基于方位的水平避免相撞距离中较小的一个用于确定闯入的飞机是否造成碰撞威胁。而且，为了避免错误地禁止分辨报警，在水平避免相撞距离过滤器中包括有机动飞行(maneuver)检测逻辑，以防止检测到机动飞行时禁止分辨报警。

背景技术

目前在所有具有大于预定座位数的商用飞机上所用的交通报警和防撞系统(TCAS)是设置成把“闯入”飞机将要发生碰撞警告飞行员。TCAS 系统包括安装在飞机上的信标发射机，它询问周围的装备有转发器的闯入飞机，并激励编码的响应。闯入飞机的位置是通过确定极线定时和寻向来确定的。在目前的系统中，通过使用距离测量来近似定时的到达最近点。至到达最近点的时间 τ 用距离除以由计算得到的距离速率来近似。当算得的定时到达最近点达到临界值时，向飞行员发出分辨报警，指示飞行员以特定的方式作机动飞行，以避免可能的碰撞。

在目前的 TCAS 系统中，对于水平避免相撞距离没有计算提前量。因此，飞行员可以接收分辨报警，并指令作机动飞行，而实际上，闯入飞机尚有足够的水平偏离，不会造成碰撞威胁。这种虚假报警不仅烦人，而且在描述成紧急情况但实际上飞行员不需要采取任何行动期间，航空公司的飞行员作了不必要的突然改变，这增加了空难的风险。人们早就知道了 TCAS 系统的这种缺点，但直到现在仍没有克服。

自 1979 年以来已经对可能的水平避免相撞距离过滤进行了大量的调查研究，在 John W. Andrews 等的题为“基于距离跟踪的 TCAS 避免相撞距离过滤”

的报告(发表在 1990 年 7 月 5 日的《林肯实验室计划备忘录 NO.42PW-TCA-0052》)中有概述。该报告得出结论认为,利用距离跟踪数据的水平避免相撞距离过滤实际上不能实现。该报告考察了基于距离的避免相撞距离过滤的大量失败模式,断定这是不可能克服的,甚至在设备中进行适当的技术改进也不可能。然而,所有的飞行员都尝试利用距离的平方及其导数的基于距离的避免相撞距离过滤,但这不包括检测飞机的机动飞行的方法。

申请人已知的其它已有技术文献包括美国专利#3,898,656; #5,157,615; #5,107,268; #5,075,694; #4,910,526; #5,029,092; #5,081,457; #5,208,591; #5,077,673; #5,153,836; #5,321,406; #5,317,316; #4,322,730; #5,089,822; #5,264,853; #5,247,311; #5,248,968; #5,235,336; #4,486,755; #5,313,201; #5,058,024; #5,280,285; #5,272,725; #4,782,450; #5,138,321; 以及#5,074,63。申请人还注意到了几份涉及利用距离测量的交通报警和防撞系统的出版物。尤其是 Zhogin A. I. 等的“ACAS 中威胁检测的外推法”(1990 年 7 月,美苏通信小组第一次会议,列宁格勒); Zhogin A. I. 等的“通过距离跟踪的抛物线外推减小不必要的报警率”(1991 年 8 月,美苏通信小组第三次会议,列宁格勒); 以及 Zhogin A. I. 等的“避免相撞距离过滤和距离跟踪的抛物线外推的比较分析”(1991 年 8 月,美苏通信小组第三次会议,列宁格勒)。然而,在这些涉及该问题的已有技术的方法中没有揭示或者建议限定本发明的组成部分的联系。

发明内容

本发明提供一种抑制来自空中交通报警和防撞系统的虚假分辨报警报告消息的系统。该系统包括从空中交通报警和防撞系统输入闯入飞机的监视距离测量的子系统。该系统还包括距离跟踪子系统,连接到监视距离测量输入子系统,以便利用多个预定的基于距离的参数中选出的至少一个参数判定水平避免相撞距离大于此预定值。把所选预定的基于距离的参数与预定的第一阈值比较。而且,该系统包括禁止子系统,连接到距离跟踪子系统和空中交通报警和防撞系统,用于禁止传输响应于所选预定的基于距离的参数大于第一阈值的分辨报警消息。

图 1 是一架本飞机与一对可能闯入的飞机的示意图;

图 2 是闯入飞机的距离速率对时间的曲线图;

图 3 是闯入飞机的距离加速度对时间的曲线图;

图 4 是闯入飞机在不同的避免相撞距离上的距离加速度对至最近点时间的曲线图;

图 5 是本发明接口的系统方框图;

图 6 是本发明的流程图;

图 7 是本发明的机动飞行检测系统的流程图;

图 8 是预期的水平避免相撞距离阈值对至最近点时间的曲线图。

本发明的实施方式

现在参见图 5-8，图中示出了系统 220，它抑制来自空中交通报警和防撞系统 210 的虚假分辨报警或者报告传输给飞机内的显示器 230。系统 220 提供了水平避免相撞距离过滤，禁止由于闯入飞机与本飞机的水平位移的投影在其最近点上大于预定最小值而把分辨报警消息传输给飞行员的显示器 230。除了抑制虚假分辨报警之外，系统 220 还更准确地估计到闯入飞机最近点的估计时间。

为了理解该问题以及系统 220 提供了解决方案，请参见图 1-4。如图 1 所示，本飞机 200 正在预定的航线上以预定的高度和速度飞行。本飞机 200 的空中交通报警和防撞系统(TCAS)检测到闯入的飞机 110 和 120。闯入飞机 120 正在与飞机 200 要实际碰撞的航线上飞行，与飞机 200 位移用矢量 102 表示一段距离。当最近点或者碰撞的估计时间达到预定值时，飞机 200 上装备的 TCAS 系统将适当地发出分辨报警，指令飞机 200 的飞行员机动飞行以避免可能的碰撞。如图中所示，飞机 200 和 120 的水平避免相撞距离(HMD)在它们的最近点大致为零。显然，向飞机 200 的飞行员发出闯入飞机 120 的分辨报警消息是适当的，不应抑制。对于其它的水平避免相撞距离大于零的飞机，确定是否应当抑制 TCAS 系统 210 传输的分辨报警消息将是两飞机之间最近点处投影水平避免距离大小，以及两飞机之一是否机动飞行的函数。

现在请看相对于本飞机 200 的闯入飞机 110，在时间 t_1 ，飞机 200 与飞机 110 之间的距离由矢量 104 表示。如图所示，即使飞机 200 和 110 的航向相对，它们之间的实际水平距离如矢量 104、106 和 108 表示。由于飞机 200 和 110 彼此向前移动，它们之间的距离变短，距离矢量的幅度减小。因此，在时间 t_2 ，飞机 200 与飞机 110 之间的距离用矢量 106 表示，矢量 106 的幅度比矢量 104 的幅度减小很多。在飞机 200 与飞机 110 之间的最近点上，距离最小，用矢量 108 表示，并等于实际的水平避免相撞距离。当投影这种水平避免相撞距离大于某个最小值时，不应发出分辨报警消息，然而，目前的 TCAS 系统 210，要过滤出这种具有足够的投影水平避免相撞距离而又不认为它是威胁的闯入飞机的手段很有限。水平避免相撞距离过滤系统 220 提供了有效地识别不对 TCAS 系统 210 产生威胁的闯入飞机的能力，从而禁止传输在最近点处投影的水平避免相撞距离大于所要求的最小值的那些闯入飞机的分辨报警消息。

当飞机 200 与飞机 120 互相接近时，两飞机之间的距离变化线性地减小，它

们之间的方位角不变。然而，对于闯入飞机 110，由于其水平位移使得飞机 200 与飞机 110 之间的距离变化是非线性的。飞机 200 与飞机 110 之间的方位角与幅度两者都随时间变化，一直减小到最近点，然后再随两飞机互相沿相反交会时增加。与本飞机有水平位移的闯入飞机的距离对时间变化的非线性提供了区别这种情况的手段。然而，由于在必须能区别出闯入飞机是否存在实际的威胁的较小时间间隔增量上的实际距离值变化太小，因而不能准确地进行这种鉴别。TCAS 系统对于任何单次测量提供的距离数据，其准确度约为 30 英尺 RMS(均方根)，其中飞机 110 的距离对时间曲线的非线性可能只变化了小于两英尺的距离。然而，在其它状态变量中可以看到更大的变化，例如一次导数(速度)和二次导数(加速度)。

参见图 2，图 2 示出了飞机 110 的距离速率对时间的曲线图。速度曲线 112 从时间 t_1 的负值单调增加到最近点(当两飞机并排时)的 0。当飞机继续飞行并互相交会时，将在零基准线上方产生曲线 112 的镜像，得到正的距离速率。同样，图 3 所示的距离加速度比时间曲线也显示出单调增加曲线 114。

考察距离加速度数据，并利用一秒的距离测量更新速率，经过滤的加速度数据提供了加速度估计标准偏差 0.43ft/s^2 。另外，实际的飞机轨迹会受到由于阵风、湍流等引起的偏离直线飞行的不希望有的飞机运动的影响。这种随机的、没有准备的机动性把 RMS 加速度标准偏差估计增加到约为 0.5ft/s^2 。标准偏差的倍数用于提供保守的阈值，以区别出水平避免相撞距离充分接近零，并对本飞机 200 构成实际威胁的飞机，从而不再由水平避免相撞距离过滤器进行处理。因此把距离加速度阈值设置成三倍于距离加速度的标准偏差，如图 4 所示，使该阈值为 1.5ft/s^2 。

在图 4 所示的特定的例子中，飞机以每秒 500 英尺的速度接近，并且在飞机的特定高度上，在至最近点 25 秒的估计时刻传输分辨报警消息。如图所示，投影水平避免相撞距离为 2 海里的飞机具有的距离加速度由曲线 116 表示，它在估计的最接近之前的 50 秒时超过了阈值 122，将由当前的 TCAS 系统进行过滤。对于投影水平避免相撞距离为 1 海里的飞机，如曲线 117 所表示的，它在最接近之前约 32 秒时超过了阈值 122，并不再由当前的 TCAS 系统过滤。因此，在由曲线 117 所表示的情况下，如果满足其它标准，则可以抑制 TCAS 系统在最接近之前的 25 秒时发送的分辨报警。如果它们相对的飞行路线保持不变，则加速度曲线为 116 和 117 的飞机的避免相撞距离具有足够的位移，不会造成威胁，因此，保证了对这种闯入飞机数据的进一步处理。然而，对于投影水平避免相撞距离为 0.5 海里的飞机，当在传输分辨报警消息时(在最接近之前 25 秒)距离加速度保持低于阈值 122。在这种情况下，因为投影避免相撞距离足够近，以保

证本飞机 200 进行规避机动时，故不抑制分辨报警。仍可以认为水平避免相撞距离大于 0.5 海里的闯入飞机具有威胁，并在下面段落中描述的进一步处理中与无威胁相区别。

如图 5 所示，水平避免相撞距离过滤系统 220 从 TCAS 系统 210 接收数据 212。该数据包括测得的距离数据，也可以包括方位角数据。TCAS 系统 210 还把数据 214 提供给飞行员显示器 230，以显示闯入飞机的轨迹。使用 TCAS 系统 220 提供数据的 HMD 过滤系统 220 禁止那些与投影水平避免相撞距离在既定的威胁限制之外的飞机相关联的分辨报告消息，而把没有被禁止的消息通过线路 222 传输给飞行员显示器 230。利用距离加速度状态变量可以使系统 220 区别出与避免相撞距离非常小的闯入飞机的碰撞，该避免相撞距离可以认为基本为零。需要其它的过滤处理来把水平避免相撞距离较小的闯入飞机与水平避免相撞距离足够大的闯入飞机分开，并进一步计及可能故意机动飞行的飞机。

现在转到图 6，图 6 示出了系统 220 的方框流程图。TCAS 系统以预定的更新速率，一般为每秒一次向抛物线距离跟踪器 10 提供监视距离测量 8。抛物线距离跟踪器接受对闯入飞机的监视距离测量(测得的倾斜距离)，并产生对预期距离、预期距离速率、预期距离加速度和距离跟踪残差(residual)的估计值作为输出。抛物线距离跟踪器应用 α 、 β 、 γ 跟踪过滤器进行距离测量。过滤器使用如下的抛物线状态外推模型：

$$A_p = A_s \quad (1)$$

$$V_p = V_s + \Delta t A_s \quad (2)$$

$$R_p = R_s + \Delta t V_s + \Delta t^2 A_s / 2 \quad (3)$$

其中：

A_p 为预期的距离加速度，

V_p 为预期的距离速率，

R_p 为预期的距离，

A_s 为平滑后的距离加速度，

V_s 为平滑后的距离速率，

R_s 为平滑后的距离，

Δt 为最近一次更新与当前测量值之间的时间间隔。

残差 R_E 用下式计算：

$$R_E = R_M - R_p \quad (4)$$

其中： R_M 为当前测得的距离。

平滑是根据下式进行的：

$$R_s = R_p + \alpha R_E \quad (5)$$

$$V_S = V_P + \beta R_E / \Delta t \quad (6)$$

$$A_S = A_P + \gamma R_E / \Delta t^2 \quad (7)$$

平滑参数 α 、 β 、 γ 示于表 1 中。所用的特定参数是基于数据“稳定性”，稳定性随每个相继的目标回波而增加，当一个目标回波消失时减少。还应注意跟踪稳定性为零或者不需要预测即仅使用当前的测量值时的平滑。

表 1

跟踪稳定性									
参数	0	1	2	3	4	5	6	7	8
α	1.0	1.0	0.83	0.70	0.60	0.46	0.40	0.40	0.40
β	0.0	1.0	0.50	0.30	0.20	0.11	0.10	0.10	0.10
γ	0.0	0.0	0.16	0.07	0.035	0.013	0.01	0.01	0.01

所揭示的特定的平滑参数已经加以选择使过滤器的特定的特征最佳。其它的参数值可以不偏离本发明的精神或范围使用。抛物线距离跟踪器 100 向范围噪声估计器 14 输出残差值(R_E)，向阈值测试块 18 输出平滑后的距离加速度估计值(A_S)11，以与图 4 所示的 3σ 阈值 122 相比较。

距离噪声估计器 14 对从 TCAS 系统 210 接收到的例外噪声数据提供补偿手段。距离噪声估计器 14 估计距离测量值中的噪声，并对阈值 122 进行调整，当检测到噪声大小大于期望的正常值时，把阈值提得更高。距离噪声估计器 14 通过监视距离残差估计噪声。距离残差是表示 α 、 β 、 γ 跟踪器的预期距离值与测得的值之间的差的值。距离残差的标准偏差正比于在直线飞行期间距离跟踪器的测量误差的标准偏差。因此，连续地估计残差的方差(variance)可以正比于距离测量方差的估计值来调整距离加速度阈值，最小阈值为 1.5 英尺/秒²。这保持预测虚假避免相撞距离的几率大体相同，而与测量噪声无关。距离测量误差的估计值是由应用于距离残差平方的 α 过滤器提供的。残差的平均二次矩用作估计残差误差，使用下面的公式：

$$E[R_E^2(n+1)] = \alpha E[R_E^2(n)] + (1-\alpha)R_E^2(n+1) \quad (8)$$

其中：

$E[R_E^2(n+1)]$ 为估计的当前循环的残差(residual)的平方，

$E[R_E^2(n)]$ 为估计的前一循环的残差的平方，

$R_E^2(n+1)$ 为当前循环的残差的平方，

α 为平滑参数，标称值为 0.1。

则，估计的残差的标准误差为

$$\sigma_E = \{E[R_E^2(n+1)]\}^{1/2} \quad (9)$$

如图 6 所示，距离噪声估计值 16 从距离噪声估计器 14 输出到测试块 18，以便在距离噪声估计值超出预期值时向上调整阈值。把阈值取作等于下列较大的一个：

$$T_{AI} = \begin{cases} 1.5 \text{ft/s}^2 & \text{或者} \\ 1.5 \sigma_E / 35 \text{ft/s}^2 \end{cases} \quad (10)$$

其中：1.5 的值是加速度估计值中误差的义上的三倍标准偏差，35ft 是残差标准偏差的期望值。

因此，当估计的残差二次矩超过 35 英尺时，加速度阈值增加。如果加速度估计值不超过阈值，则流程从测试块 18 移到返回块 20，结束避免相撞距离处理，一直到下一个 TCAS 循环。因此，不抑制对于被监视的特定闯入飞机发出的任何分辨报警，例如，对于水平避免相撞距离的投影非常小，认为基本为零的分辨报警。

如果投影的水平避免相撞距离不投影成基本为零，则利用距离加速度值对阈值的关系进行确定，流程进至基于投影距离的水平避免相撞距离计算块 24。利用下式进行基于距离的水平避免相撞距离的投影：

$$R_{HMD} = [R_S^2 - (R_S V_S)^2 / (R_S A_S + V_S^2)]^{1/2} \quad (11)$$

把根据基地投影距离的数据的水平避免相撞距离的该值输出到水平避免相撞距离选择块 26。

与确定基于距离的水平避免相撞距离相平行，基于方位的跟踪器 22 也估计水平避免相撞距离。与抛物线距离跟踪器 10 接收距离测量值 8 的同时基于方位的跟踪器 22 从 TCAS 系统 210 接收监视方位测量值 6。在直角坐标中把基于方位的跟踪器的状态估计值保持为 R_{BX} ， R_{BY} ， V_{BX} ， V_{BY} 等。然后利用下式进行状态外推：

$$R_{PX} = R_{EX} + \Delta t V_{EX} \quad (12)$$

$$R_{PY} = R_{EY} + \Delta t V_{EY} \quad (13)$$

$$V_{PY} = V_{EY} \quad (14)$$

$$V_{PX} = V_{EX} \quad (15)$$

其中：

R_{EX} ， R_{EY} 为估计的相对于本飞机的闯入飞机位置，

V_{EX} ， V_{EY} 为估计的碰撞速度，

R_{PX} ， R_{PY} 为预期的相对于本飞机的闯入飞机位置，

V_{PX} ， V_{PY} 为预期的碰撞速度，

Δt 为估计值最近一次更新时刻与当前测量时刻之间的时间。

计及测量值误差的形状, 通过把轨迹残差分解成距离和偏航距离(cross-range)来完成协方差。把独立的 α 、 β 平滑参数应用于距离残差和偏航距离残差。选择这些平滑参数, 以适当地用测量值误差对测量值进行加权。利用两状态 Kalman 滤波递归式确定偏航距离平滑参数, 而距离平滑参数是固定不变的。Kalman 递归式可以在碰撞过程中动态地改变偏航距离测量误差。

首先, 在直角坐标中利用下式计算残差:

$$x_m = \rho_m \sin \theta_m \quad (16)$$

$$y_m = \rho_m \cos \theta_m \quad (17)$$

$$\Delta x = x_m - R_{PX} \quad (18)$$

$$\Delta y = y_m - R_{PY} \quad (19)$$

其中: ρ_m 为测得的距离,

θ_m 为测得的方位角,

x_m, y_m 为测得的位置的直角坐标表示,

$\Delta x, \Delta y$ 为直角坐标中的测量残差。

然后把残差变换成距离和偏航距离分量:

$$\Delta \rho = \Delta x \sin \theta_m + \Delta y \cos \theta_m \quad (20)$$

$$\Delta \rho_x = \Delta y \sin \theta_m - \Delta x \cos \theta_m \quad (21)$$

其中:

$\Delta \rho$ 距离测量残差,

$\Delta \rho_x$ 为偏航距离测量残差。

然后根据下式进行平滑:

$$R_{EX} = R_{PX} + \alpha_1 \Delta \rho \sin \theta_m - \alpha_2 \Delta \rho_x \cos \theta_m \quad (22)$$

$$R_{EY} = R_{PY} + \alpha_1 \Delta \rho \cos \theta_m + \alpha_2 \Delta \rho_x \sin \theta_m \quad (23)$$

$$V_{EX} = V_{PX} + (B_1/\Delta t) \Delta \rho \sin \theta_m - (B_2/\Delta t) \Delta \rho_x \cos \theta_m \quad (24)$$

$$V_{EY} = V_{PY} + (B_1/\Delta t) \Delta \rho \cos \theta_m + (B_2/\Delta t) \Delta \rho_x \sin \theta_m \quad (24)$$

把独立的平滑参数应用于测量的距离和偏航距离分量。 α_1 和 B_1 为要应用于沿距离方向的平滑参数, 而 α_2 和 B_2 为应用于沿偏航距离方向的平滑参数。把偏航距离平滑参数设置成比距离平滑参数小, 可以有效地对方位角测量进行去加权。

然后根据下式的直角坐标状态估计, 计算预期的避免相撞距离 B_{HMD} :

$$B_{HMD} = | R_{bx}V_{by} - R_{by}V_{bx} | / [(V_{bx})^2 + (V_{by})^2]^{1/2} \quad (26)$$

在块 26 内把基于方位角的避免相撞距离 m 与基于距离的避免相撞距离 R_{HMD} 进行比较, 把基于距离或基于方位的水平避免相撞距离中较小的一个输出

到测试块 28。因此，用水平避免相撞距离最保守的投影确定是否应当禁止分辨报警。

测试块 28 把块 26 提供的投影水平避免相撞距离与一阈值进行比较。把水平避免相撞距离阈值作为 TCAS 灵敏度大小基于与距离的时间至最近点(τ_R)的函数来计算。TCAS 灵敏感度大小是由碰撞高度建立的。如图 8 所示，预期水平避免相撞距离阈值在曲线 130 所示的灵敏度大小 3 到曲线 138 指出的灵敏度大小 7 之间变化。灵敏度 4 的阈值关系由曲线 134 表示，灵敏度 6 的关系由曲线 136 表示。因此，根据处理循环的为碰撞与到最近点时间建立的灵敏度大小，在测试块 28 中利用特定预期水平避免相撞距离阈值。如果投影水平避免相撞距离小于该阈值，则认为闯入的飞机靠近本飞机足够近，以保证把分辨报警没有阻碍地从 TCAS 系统传送到飞行员显示器上，因此，流程进到返回块 20，在当前 TCAS 循环期间，系统 220 不抑制分辨报警。然而，如果水平避免相撞距离的投影大于阈值，则应当禁止任何分辨报警，除非判定闯入的飞机相对于本飞机来说是机动飞行的。如果其中一架飞机处于有准备的机动飞行，则不应当抑制分辨报警。如果在块 28 中，判定投影的水平避免相撞距离大于阈值，则流程进到块 30，在其中进行检查以判定是否检测到机动飞行。

现在参见图 7，图 7 示出了系统 200 的机动飞行检测子系统的逻辑流程图。由于飞机可以进行许多不同的机动飞行，包括速度变化，所以在机动飞行检测子系统中使用了多于一个的机动飞行检测器。实际上，使用了五个机动飞行检测器，它们中的任一个确定一种机动飞行的发生，这样建立了一种机动飞行情况。当图 6 的块 30 测试到建立了机动飞行情况，则图 7 所示的子系统设置标志。当测试块 30 指出已经建立了机动飞行，则流程进至返回块 20，从而不抑制任何传输的分辨或者消息。然而，如果在测试块 30 中指出没有机动飞行，则流程进到块 32，它禁止在当前的 TCAS 循环内的任何分辨报警消息。当测试块 30 指出有机动飞行时，除了不禁止当前 TCAS 循环的分辨报警之外，系统 220 还关闭固定数量的 TCAS 循环，以使闯入飞机的条件稳定。名义上，水平避免相撞距离过滤系统 220 在再启动以确定是否要抑制分辨报警消息之前可以关闭十个 TCAS 循环。

第一机动飞行检测器 50 是基于在与具有非零避免相撞距离的闯入飞机直线碰撞期间的观察，距离加速率单调增加。机动飞行检测器 50 简单地观察距离加速度估计值，以确定它们是否连续增大。为了判定距离加速度是否增大，对逐个循环估计的距离加速度的差值进行 α 过滤。 α 过滤保持由于触发机动飞行检测器产生的随机噪声造成的距离加速度的跳变。 α 过滤的有效输出为距离三次导数的估计值，它是由公式(7)提供的距离加速度的导数。当估计的距离三次导

数降低到低于零时，表明有机动飞行。对于这种机动飞行检测器确定 α 过滤的公式为：

$$dA_S(n)/dt=(1-\alpha)dA_S(n-1)/dt+\alpha(A_P-A_S) \quad (27)$$

其中：

A_S 为公式(7)的结果，

A_P 为公式(1)的结果，

α 为标称值为 0.1 的过滤器平滑参数，

n 为当前 TCAS 处理循环，

$n-1$ 为前一 TCAS 处理循环。

因此，如果 dA_S/dt 小于零，则检测器表示有机动飞行。因而，由抛物线距离跟踪器 10 向测试块 50 提供距离加速度的基于距离的计算值，其中，确定距离加速度的导数是否小于零。如果小于零，则流程进到块 60，在块 60，设置机动飞行标志，并由图 6 的块 30 进行测试。在设置了机动飞行标志后，流程进到返回块 20。

如果在测试块 50 没有检测到机动飞行时，流程进到下一个机动飞行检测器 52。第二机动飞行检测器 52 利用距离加速度是否小于零的事实，来判定机动飞行是否发生。为了确定距离加速度是否小于零，利用公式(10)计算得到的三 Σ 阈值。因此，如果 A_S 小于 $-T_{A1}$ ，则表示有机动飞行。如果，第二机动飞行检测器 52 指出了机动飞行，则流程进到块 60。然而，如果在测试块 52 中没有检测到机动飞行，则流程进到块 54，在块 54，由直角坐标跟踪器 54 进行大量的直角坐标计算。

与抛物线距离跟踪器 10 相同，直角坐标距离跟踪器 54 把 TCAS 系统提供的监视距离测量值作为其输入。直角坐标跟踪器 54 的输出为测量值残差，由第三机动飞行检测器 56 利用。直角坐标距离跟踪器与抛物线距离跟踪器之间的差值为状态外推模型。每当直角坐标跟踪器的距离加速度估计值超过加速度阈值 122 时，直角坐标跟踪器就使用与抛物线跟踪器不同的状态外推模型。具体地说，公式(1)、(2)和(3)可用下式代替：

$$R_{YS}=R_S V_S/V_{YS} \quad (28)$$

$$V_{YS}=[R_S A_S+(V_S)^2]^{1/2} \quad (29)$$

$$R_{XS}=[(R_S)^2-R_{YS}^2]^{1/2} \quad (30)$$

然后在直角坐标中进行状态外推如下：

$$X_P=R_{XS} \quad (31)$$

$$V_{YP}=V_{YS} \quad (32)$$

$$Y_P=R_{YS} + \Delta t V_{YS} \quad (33)$$

其中:

Δt 为预测时间间隔,

X_p, Y_p 为预期的闯入飞机水平位置,

V_p 为预期的距离加速度 Y 坐标。

在直角坐标内进行了预测之后, 把该状态换回距离坐标, 以利用下式进行平滑:

$$R_{p2} = [(X_p)^2 + (Y_p)^2]^{1/2} \quad (34)$$

$$V_{p2} = Y_p V_{pY} / R_{p2} \quad (35)$$

$$A_{p2} = (X_p)^2 (V_{pY})^2 / (R_{p2})^3 \quad (36)$$

然后同样对已在抛物线距离跟踪器中描述的完成轨迹残差和平滑。

直角坐标距离跟踪器更准确地表示了闯入飞机与本飞机之间的直线碰撞。由于这种模型的假设是基于直线轨迹进行的, 所以当发生机动飞行时, 不能满足模型的基本假设, 从而明显地变得不准确。就是这一特征可以用于识别作机动飞行的飞机。因此, 通过在该过滤器的预测对实际测量值大于阈值时监视直角坐标跟踪器的残差并加以查看, 我们可以识别是否有机动飞行发生。当闯入飞机落在本飞机的轨迹上时, 直角坐标跟踪器将产生大于实际距离测量值的预期距离测量值。然后, 当测得的距离值与预期的距离值之间的差值变得较大和变为负时, 表明有机动飞行。在闯入飞机正在机动飞行并用其轨迹与本飞机岔开的情况下, 测得的距离值将大于预期的距离值。因此, 我们可以看残差的符号, 以确定闯入的飞机是否汇合或者岔开, 因此, 当检测到有汇合的机动飞行时, 在块 60 内设置机动飞行标志, 而避免对轨迹岔开的闯入飞机进行虚假的分辨报警。

因此, 在块 56 测试残差, 把测得的距离 R_M 减去投影的基于直角坐标距离 R_{p2} , 以确定它是否为负, 小于确定关于零基准的预定距离方差的预定阈值 (R_{RV})。用这种方式, 当机动飞行检测器 56 检测到表示轨迹汇合机动飞行的机动飞行时, 残差充分变负, 流程进到块 60。如果没有检测到机动飞行, 或者机动飞行识别为汇合, 则流程进到第四机动飞行检测器 58。

第四机动飞行检测器 58 也利用直角坐标跟踪器 54 的数据。第四机动飞行检测器 58 利用如果距离加速度小于零, 则发生机动飞行这一事实。因此, 利用直角坐标计算, 把平滑的距离加速度值与 3σ 加速度阈值进行比较。如果在块 58 中进行的测试表示距离加速度(块 54 中算得的)比阈值更负, 则流程进到块 60, 指出已经识别到机动飞行。如果加速度不小于阈值, 则流程进到块 62。

第五机动飞行检测器 64 用于检测本飞机与闯入飞机之间的相对速度的变化。当两飞机之间的接近(closure)速率正在减慢时, 如果闯入飞机的速度相对于

本飞机正在减小，或者如果本飞机的速度相对于闯入飞机正在减小，则产生正的距离加速度。在不是这种情况时，这种类型的机动飞行将“欺骗”抛物线距离跟踪器，预期一个大的避免相撞距离。在第五检测器 64 起作用的特定碰撞中，闯入飞机进入到直线轨迹，水平避免相撞距离较小。在这种情形时，即使闯入飞机改变速度，方位角测量值将不变，这一事实可用于识别速度变化的机动飞行。

因此，在块 62 中，水平避免相撞距离 B_{HMD} 公式(26)利用基于方位角的跟踪器 22 的数据进行计算，以输出到第五检测器 64。测试块 64 把基于方位角的水平避免相撞距离 B_{HMD} 与基于距离水平避免相撞距离 R_{HMD} 的百分比作比较，以识别是否发生速度变化的机动飞行。名义上，当基于方位角的水平避免相撞距离小于基于投影距离的水平避免相撞距离的一半时，就会可靠地识别出速度基机动飞行。

利用下式估计最接近的时间 τ ：

$$\tau = R_p / V_p \quad (37)$$

其中：

R_p 为预期的距离，

V_p 为预期的距离速率。

至最接近点的时间是过滤较大水平相撞距离的碰撞唯一手段。新近，已经利用 DMOD 项来改正 τ 以计及可能的加速度。校正的到碰撞(最接近点)的估计时间 τ_R 由下式建立：

$$\tau_R = -(R_p - DMOD^2 / R_p) / V_p \quad (38)$$

其中：

R_p 为距离跟踪器的估计距离，

V_p 为距离跟踪器的估计距离速率，

DMOD 为使报警边界足够大的校正项，以防止闯入飞机转向。

DMOD 项主要把时间加到估计的 τ 值上作为安全系数。然而，利用系统 220 的抛物线距离跟踪器提供的加速度估计值可以把该值变得更准确。利用抛物线跟踪器的距离加速度估计值来改善 τ_R 函数的两个特性。首先，利用抛物线跟踪器的距离加速度估计值可以使 τ_R 值对于大的水平避免相撞距离的碰撞减小得更慢，以减少虚警率。其次， τ_R 值对于带有负距离加速度的小的大避免相撞距离的碰撞将减小得更快，可以改善近空中碰撞检测。尤其是，这种较佳的检测可以得到较佳的对“内部”转向机动飞行的检测。

为了校正 τ_R ，首先如式(38)计算 τ_R 。当不需要禁止为这架闯入飞机传送的分辨报警消息时，如果抛物线跟踪器的距离加速度小于加速度阈值，则不必

进行校正。另一方面，如果已计算出距离加速度大于阈值，则利用下式计算对距离速率的校正，如果一直到最接近点应用估计的距离加速度，则得出该校正：

$$V_C = V_S + \tau_R A_S \quad (39)$$

其中：

V_C 为校正后的速度，

V_S 为经平滑的抛物线跟踪器的距离速率估计值，

A_S 为经平滑的抛物线跟踪器的距离加速度估计值，

τ_R 为公式(37)的结果。

然后利用当前时间与 τ_R 之间的平均预期的距离速率再计算 τ_R ，得出：

$$\tau_R = -2(R_S - D_{MOD}^2/R_S)/(V_S + V_C) \quad (40)$$

然后可以把该新的 τ_R 值输出到 TCAS 系统 210，在识别临界时间周期时应用，以确定是否应传输特定的闯入飞机的分辨报警消息。

因此，为空中交通报警和防撞系统设置水平避免相撞距离过滤系统 220，可以改善高要求的空中安全系统的整体安全性和效率，有利于旅行的公众。系统的效率通过减少引起飞机不必要地脱离原先的飞行路线的虚假报警得以提高，这种报警增加了各航空公司飞行员和乘客的风险。水平避免相撞距离过滤器 220 利用几种不同的方法来辨别不会造成碰撞威胁的闯入飞机，避免错误地错过在作速度或者方向机动飞行的飞机潜在的碰撞威胁。

虽然已经结合具体的形式和其实施例描述的本发明，但应当理解，可以有不同于上述描述的各种改变而不脱离本发明的精神和范围。例如，可以用等效的部件代替所具体示出和描述的部件，某些特征可以独立使用，在某些情况下，部件的相对位置可以颠倒或者介于两者之间，所有这些都脱离所附权利要求限定的本发明精神或者范围。

说明书附图

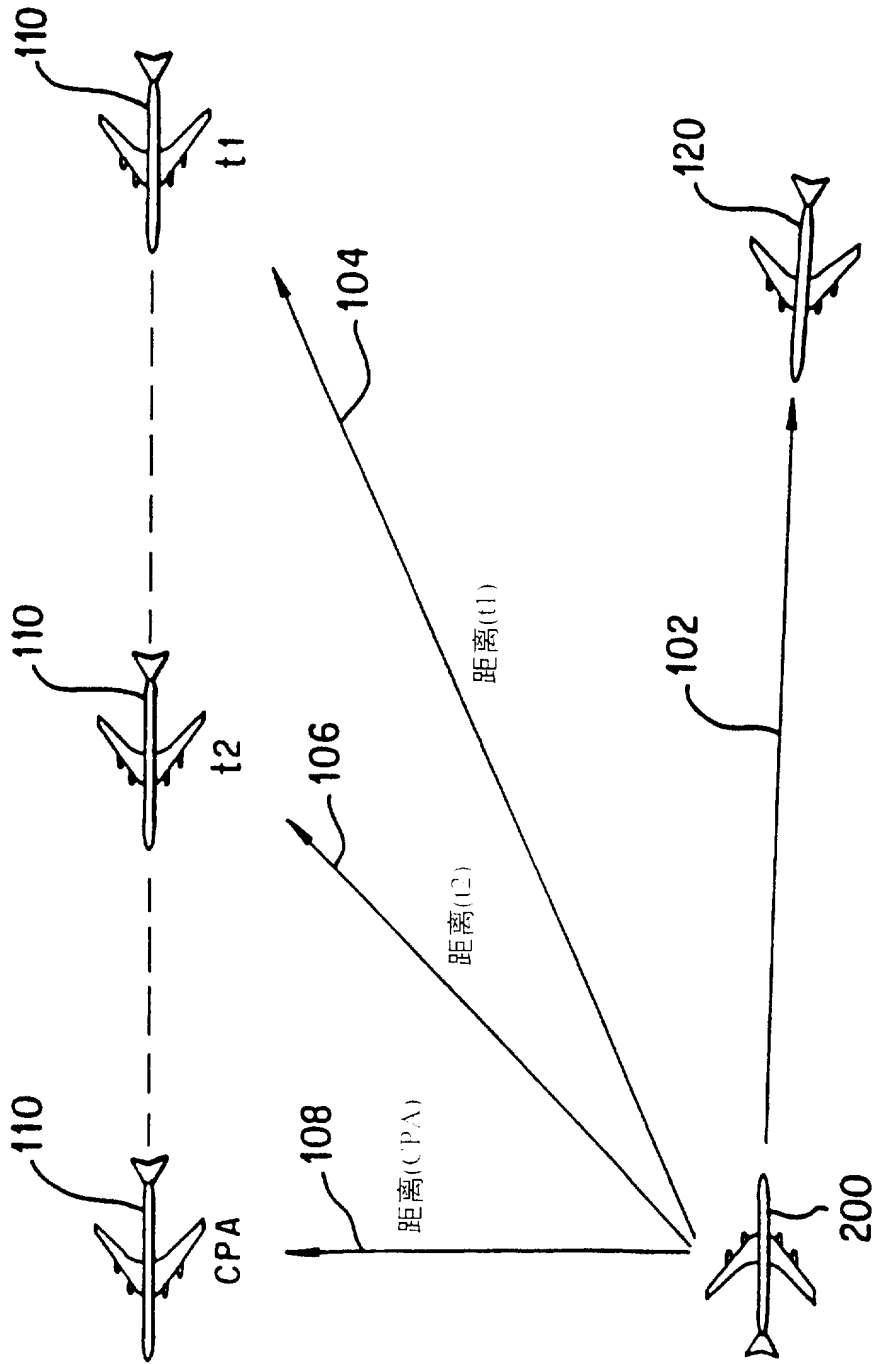


图 1

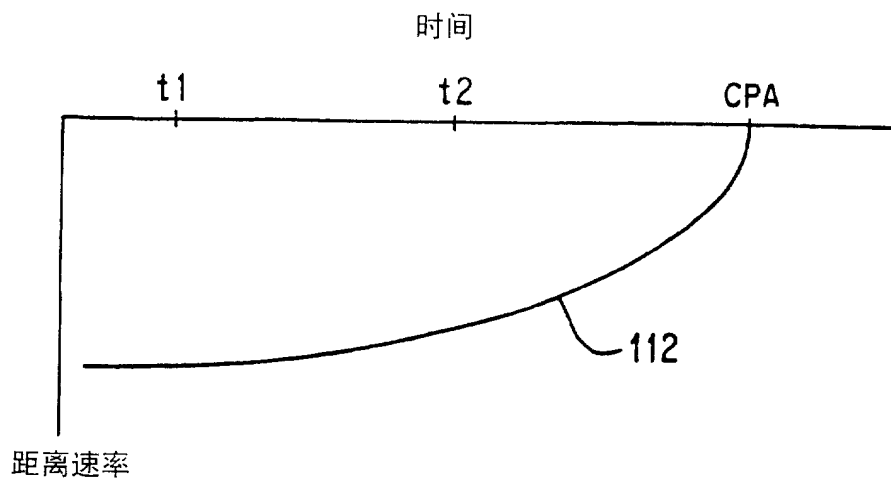


图 2

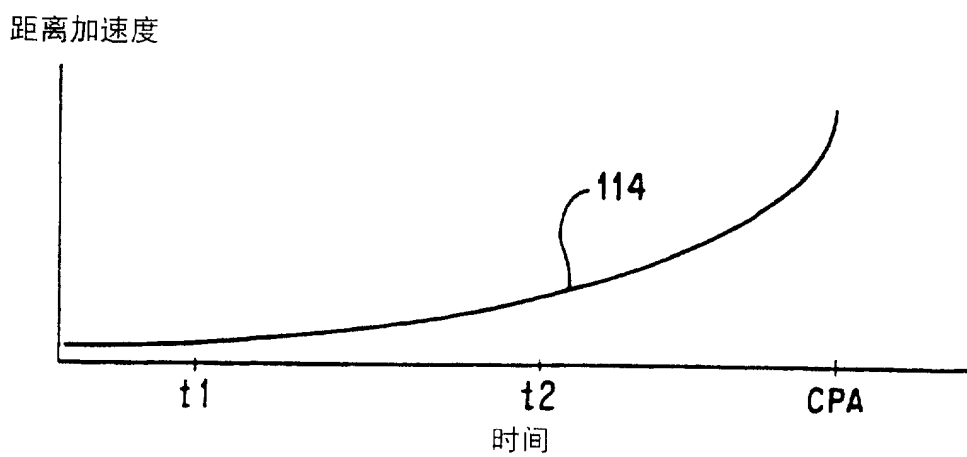


图 3

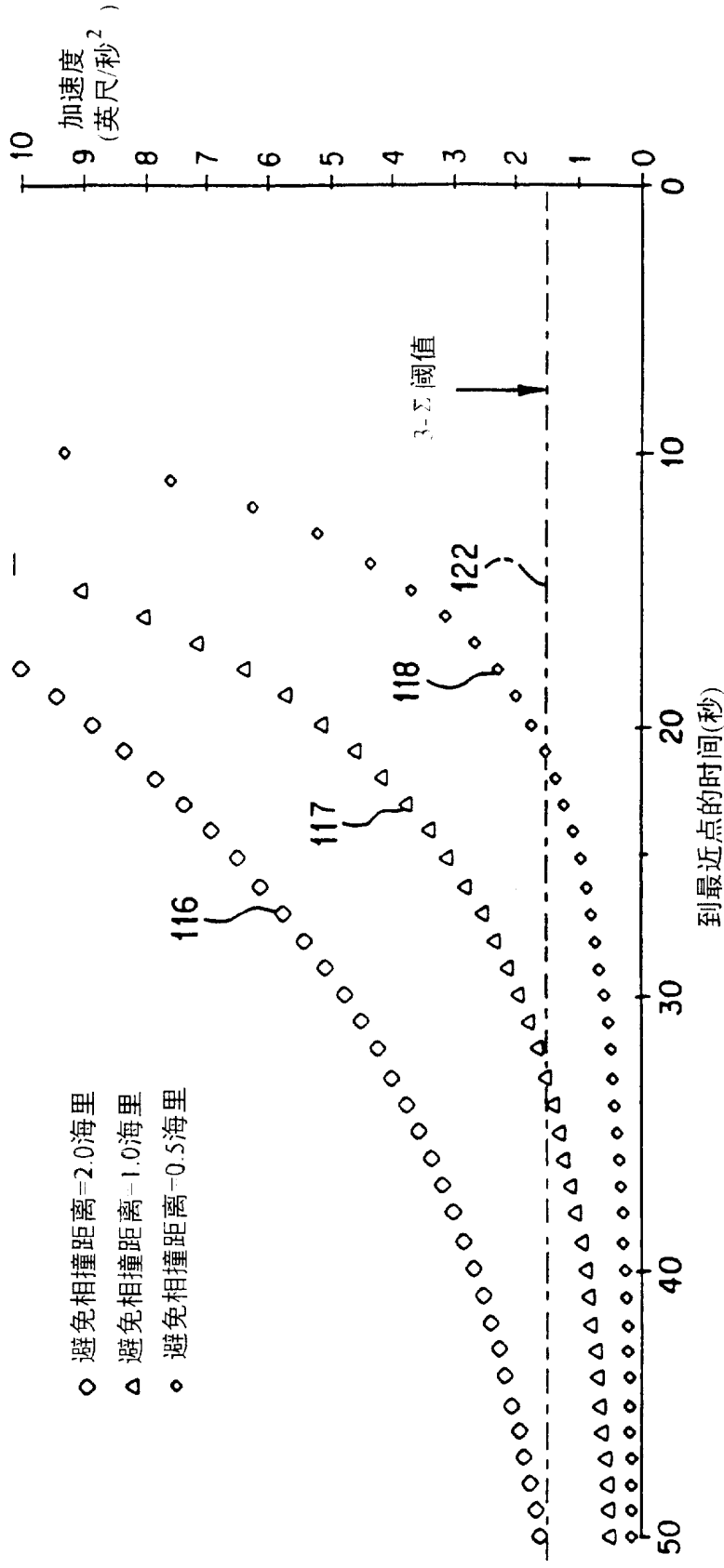


图 4

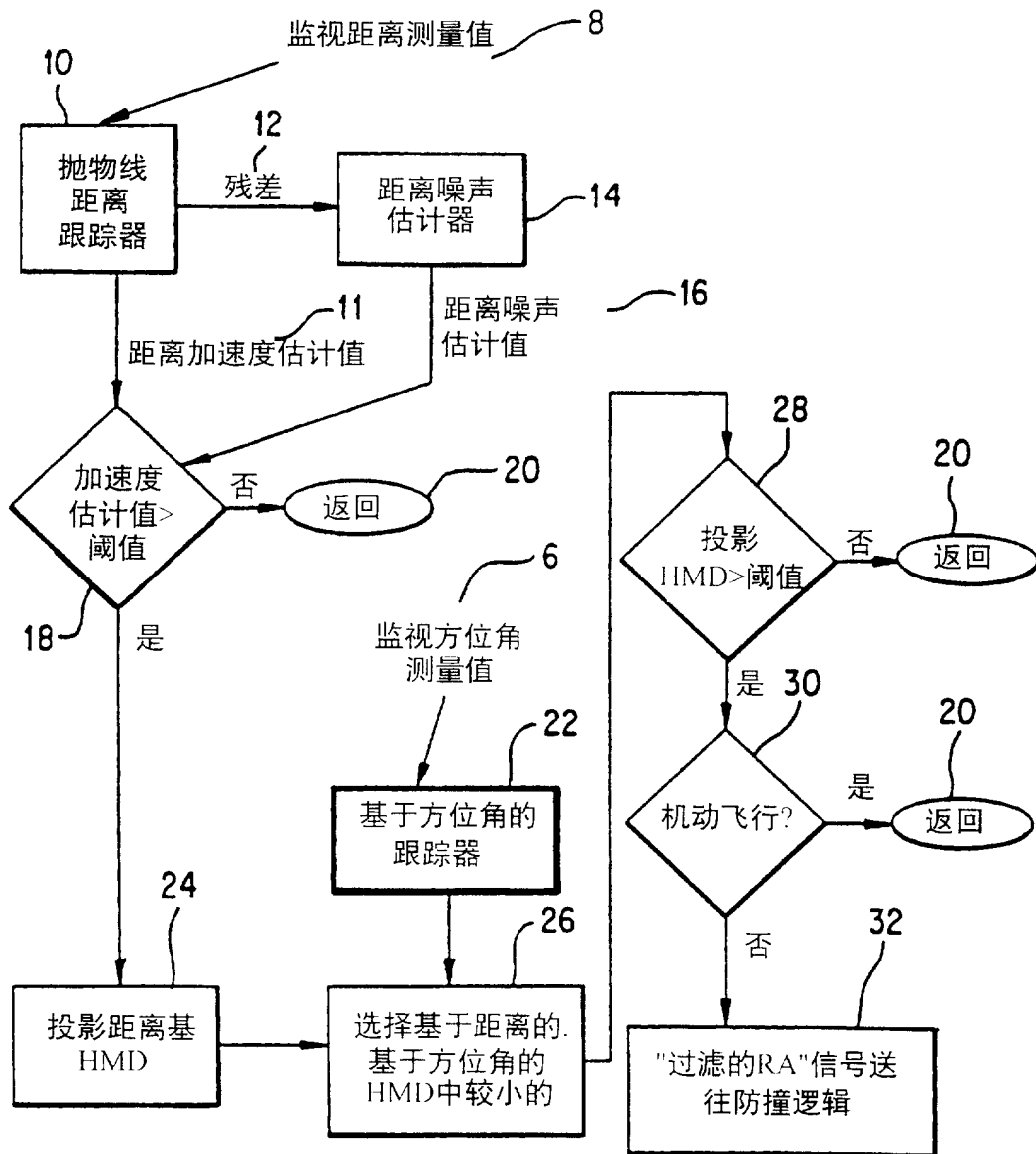


图 6

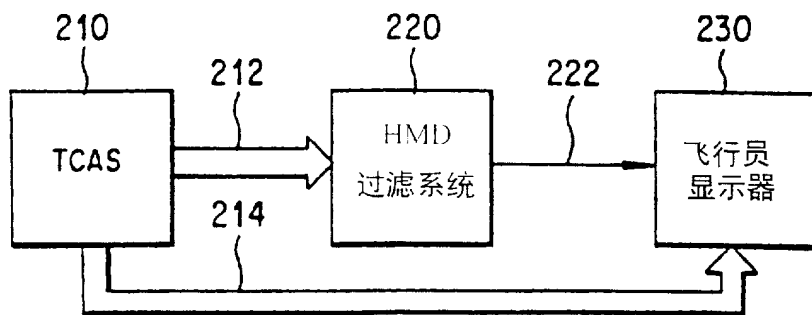


图 5

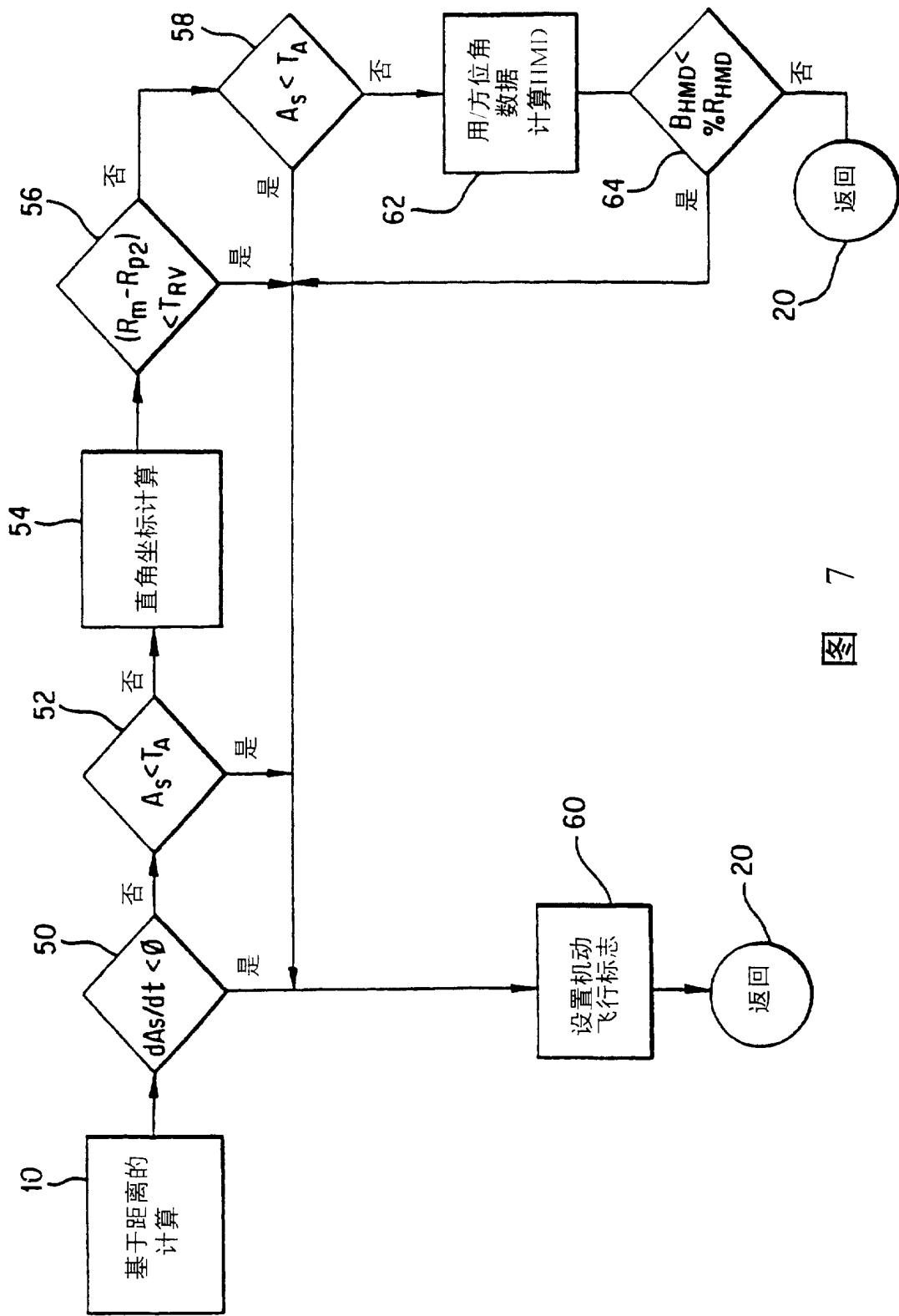


图 7

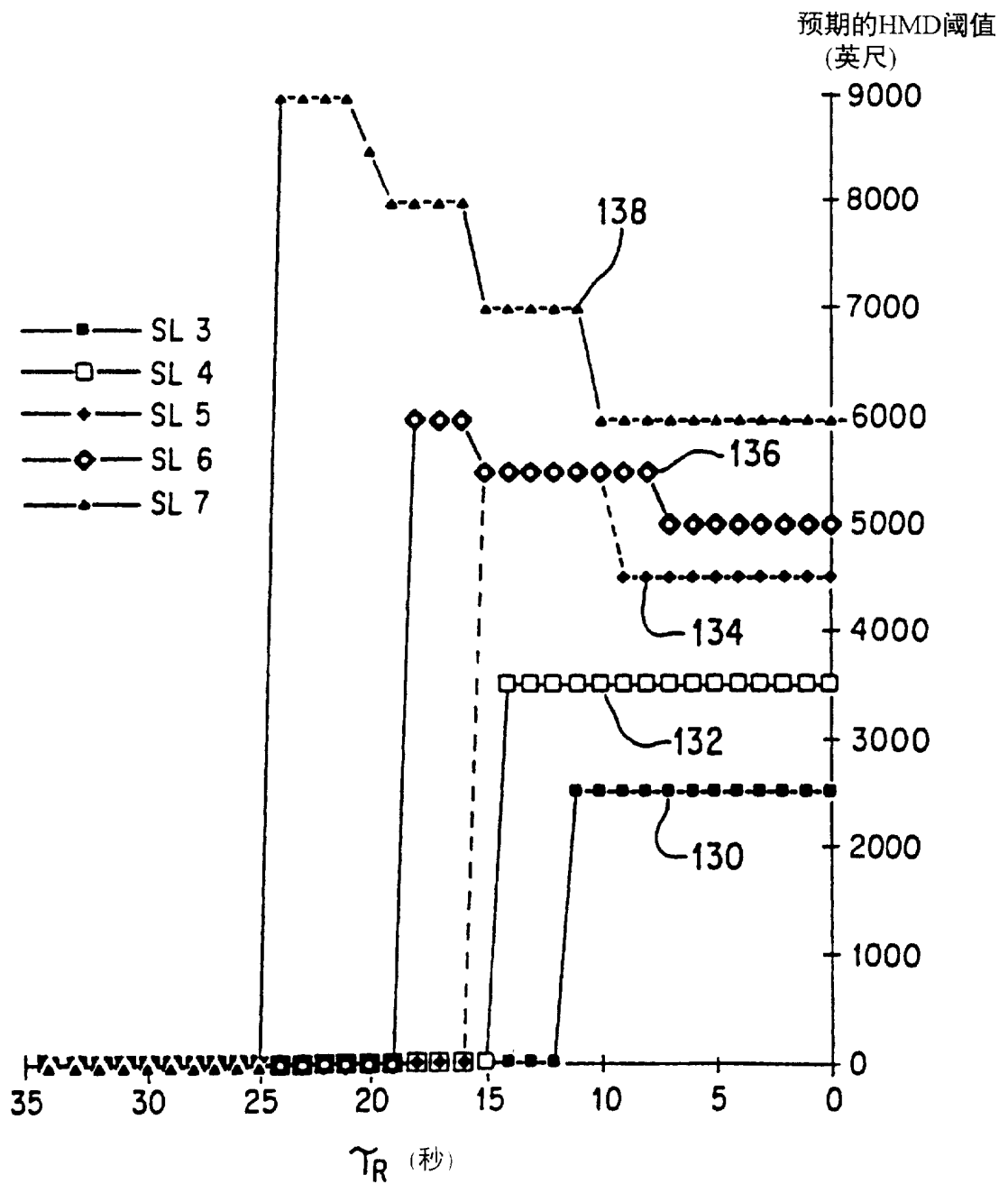


图 8