

AMR 磁阻传感在车辆检测和罗盘定向的应用

摘要

最早的检测磁场的人通过测量地球磁场的方向在茫茫无际的大海上航行。随着科技的发展,多种磁传感器被用来测量磁场的存在、强度和方向,这个磁场不仅仅是地球磁场,还包括永磁体、磁化的软磁体、车辆的扰动、脑电波以及电流产生的磁场。磁传感器可以非接触地测量这些物理参数,成为许多工业和导航控制系统的眼睛。本文将讨论在地球磁场范围内的磁感测技术的现状,以及这些传感如何应用。侧重于在地磁场环境下的车辆检测和导航的应用。

概述

人类使用磁传感器已有两千多年的历史。早期的应用仅为定向和导航。今天,磁传感器仍然是解决导航问题的基本方法之一,但更多的用途被开发出来。同时人们一直朝着提高灵敏度、缩小体积、和电子系统兼容的方向努力。在这里所介绍的是基于集成电路的异向性磁阻传感器(anisotropic magnetoresistive),以下简称 AMR 传感器。使用 AMR 磁传感器的有关应用将重点介绍。

使用磁传感器的一个特点是所测量的磁场通常不是人们的初衷。第二级的参量才是所需要的,如轮速、磁性油墨的存在、车辆的检测和方向的判定等。这些参量不能被直接测量,但可以从磁场的变化或畸变中提取出来。传统的传感器,如温度、压力、应变、或光传感器可以直接将所需的参量转化为成比例的输出电压或电流,参见图 1。另一方面,使用磁传感器只能对方向、存在、旋转、角度或电流进行间接的检测。首先,输入量必须创造或改变一个磁场。例如导线中的电流、在永磁体表面通过的齿牙、在地磁场中移动的铁磁物体都可以创造出磁场的变化。一旦磁传感器检测到磁场的变化,需要信号处理电路将传感器的输出信号转化成所需的参量值。这给在大多数应用中的磁感测方法带来一点困难。但是如果充分理解这些磁场变化的影响,可以精确可靠地检测到这些参量,而这些参量是使用其它方法难以检测到的。

区分不同的磁传感器的方法之一是按照它们所感测的磁场范围的不同来区分。可分为三类:低磁场、中磁场和高磁场。检测低于1毫高斯磁场的传感器定义为低磁场传感,检测从1毫高斯到10高斯磁场的传感器定义为地球磁场传感器,检测高于10高斯磁场的传感器在本文中定义为附加磁场传感器。表 1 列出了各种技术的传感器和相应的检测磁场的范围。

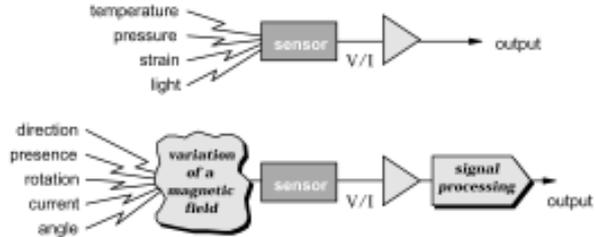


图 1 传统感测相对磁感测的区别

Magnetic Sensor Technology	Detectable Field Range (gauss)*				
	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁰	10 ⁴	10 ⁸
Squid	[10 ⁻⁵ , 10 ⁸]				
Fiber-Optic	[10 ⁻⁵ , 10 ⁰]				
Optically Pumped	[10 ⁻⁵ , 10 ⁰]				
Nuclear Precession	[10 ⁻⁵ , 10 ⁰]				
Search-Coil	[10 ⁻⁵ , 10 ⁸]				
Earth's Field	[10 ⁻⁵ , 10 ⁰]				
Anisotropic Magnetoresistive	[10 ⁻⁵ , 10 ⁰]				
Flux-Gate	[10 ⁻⁵ , 10 ⁰]				
Magnetotransistor	[10 ⁻⁵ , 10 ⁰]				
Magnetodiode	[10 ⁻⁵ , 10 ⁰]				
Magneto-Optical Sensor	[10 ⁻⁵ , 10 ⁰]				
Giant Magnetoresistive	[10 ⁻⁵ , 10 ⁰]				
Hall-Effect Sensor	[10 ⁻⁵ , 10 ⁰]				

* Note: 1gauss = 10⁻⁴ Tesla = 10⁵ gamma

表 1 各种磁传感器的检测磁场范围

本文重点放在异向性磁阻传感器(AMR),最适合工作在地球磁场范围内。AMR 传感器可以准确检测出地球磁场 1/12,000 的强度和方向的变化。使用 AMR 传感器进行车辆检测和导航定向的应用将在本文中详细讨论。

地球磁场传感器(1 毫高斯到 10 高斯)

地球磁场的范围非常适合于中磁场传感器。利用地磁场可以用来确定罗盘的指向、车辆检测、测量磁场变化的导数来确定偏航的速率。

异向性磁阻传感器(AMR)

William Thompson 在 1856 年, Lord Kelvin 在晚些时候,先后发现了在铁磁金属中的磁阻效应。这一发现一直等待了 100 多年,直到厚膜电路技术的发展制造了第一只实验性的传感器投入应用。磁阻传感器有多种形式。对于磁阻传感器最新的增长的市场是用在磁带和磁盘驱动器中的高密度读入头。其它的典型应用包括汽车轮速和曲轴转速的测量、罗盘定向、车辆检测、电流传感等。

AMR 磁阻传感在车辆检测和罗盘定向的应用

AMR 传感器是其中一种形式，最适于工作在地球磁场范围。即可以检测直流静态磁场，也可以检测磁场的强度和方向。传感器的制作过程是将铁 - 镍合金 (Permalloy) 薄膜沉积在硅片上,形成电阻条。在磁场中其阻值可变化 2 - 3%。通常,四个这样的电阻连接成一个惠斯通电桥的形式 (图 2),可以测出沿着单一轴线的磁场的强度和方向。桥臂的典型阻值为 1000 欧姆,典型带宽为 1 - 5MHz。磁阻效应的反应是非常快的,不会受到诸如线圈和振荡频率的影响。AMR 传感器的一个关键的优点是在硅片上大量生产,封装成商用集成电路的形式。这样使得磁传感器可以和其它电路和系统元件自动组合在一起。

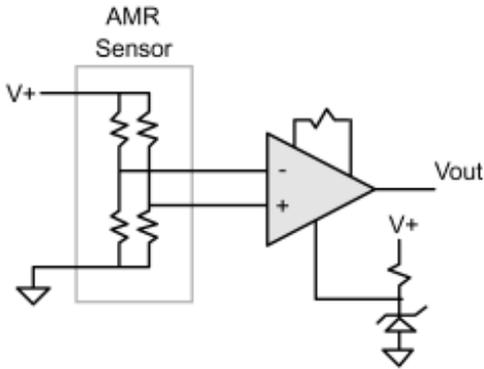


图 2 AMR 传感器电路

AMR 传感器的特性

AMR 传感器提供了一个极好的方法来测量在地磁场内的线位置 / 位移和角位置 / 位移。铁镍合金薄膜沉积在硅片基底上,可组成各种阻值的电桥,在遇到磁场时,可提供具有高预见性的输出。低成本、高灵敏度、小体积、噪声抑制和可靠性,是它相比于机械的或其它电子式的传感器的突出的优点。高适应性和易于组装的特点解决了客户应用中的许多难题。

铁镍薄膜的一个特性是当暴露在变化的磁场中时,其电阻有所改变 (R),引起相应的输出电压的变化,如图 3 所示。电桥的灵敏度常表示为 $mV/V/Oe$ 。这个单位中间的 V 表示电桥的电压 V_b ,当电桥电压 V_b 为 5V,灵敏度为 $3mV/V/Oe$,则输出增益为 $15mV/Oe$ 。选择适当的放大器,可达到 $1mV$ 的输出电平,则磁分辨率为 $67\mu Oe$,或 $1/15000Oe$ 。如果放大器的增益为 67,则总体的输出灵敏度为 $1V/Gauss$ ($67 \times 15mV/gauss$)。如果需要满量程为 $\pm 2gauss$,则输出为从 $0.5V$ 到 $4.5V$ 的电压,以 $2.5V$ 电压为中心。这个信号电平适合于大多数 A/D 转换器,使用 AMR 传感器和放大器,精确的磁场信息可提供磁场强度和方向信息。

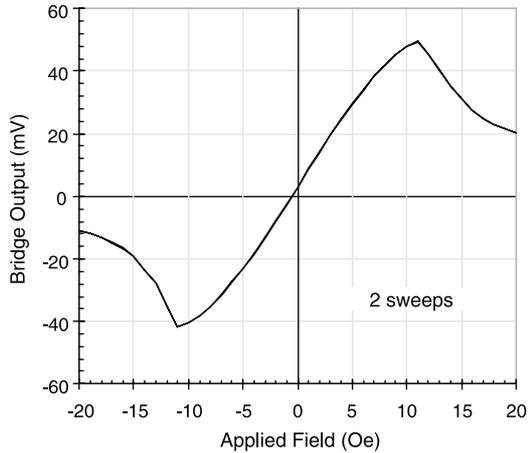


图 3 AMR 传感器输出曲线

在传感器设计中用一些独特的技术,来建立一个非常灵敏的磁传感器子系统。通过简单地切换铁镍薄膜的磁属性,可以消除传感器的偏置电压,还可以消除传感器和放大器的温漂。在传感器芯片上的偏置条用来在平时工作中自动修正 AMR 传感器。使用闭环反馈技术可以明显地减少输出增益随温度的变化,使传感器一直工作在零磁场环境下。

AMR 传感器的应用

现有的 AMR 传感器可以很好地感测地磁场范围内的磁场 - 低于 1 高斯。传感器可用于检测一些铁磁性物体如飞机、火车、汽车。其它应用包括磁罗盘、旋转位置传感、电流传感、钻井定向、线位置测量、偏航速率传感器和虚拟实景中的头部轨迹跟踪。

车辆检测

地球磁场在很广阔的区域(大约几公里)是一定的。图 4 说明了一个铁磁性物体,如汽车,是如何扰动地球磁场的,无论是运动的还是静止的。AMR 传感器可检测由于车辆干扰而引起的地磁场的变化,可以用于很多应用场合。

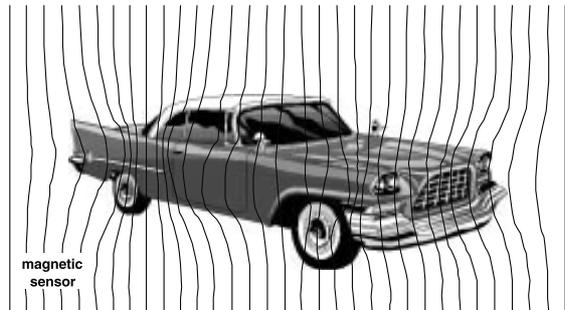
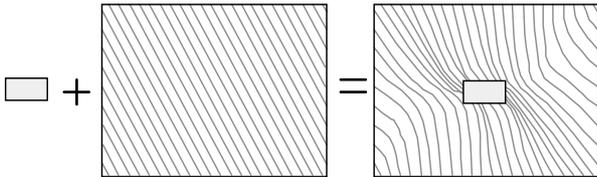


图 4 在地球磁场中车辆的扰动

AMR 磁阻传感在车辆检测和罗盘定向的应用

车辆检测可以有几种应用方式：单轴传感器可以用来检测车辆是否存在，根据车辆铁磁物质含量的不同，传感器距车辆的检测距离最远可达15米。可以用于停车场的车位指示，让司机选择将车停在何处。另一种应用是检测火车的通过，来控制道口的防护栏。在这个应用中，可使用两个传感器来判断火车的存在、行驶的方向和速度，使道口的操作者获取足够的信息。

大的铁磁物体的磁扰动，如一辆汽车，可看作多个双极性磁铁组成的模型。这些双极性磁铁具有北-南的极化方向，引起地球磁场的扰动。这些扰动在汽车发动机和车轮处尤为明显，但也取决于在车辆内部。车顶或后备箱中有没有其它铁磁物质。总之，其综合影响是对地球磁场磁力线的扭曲和畸变，见图5，这种扭曲也被称作车辆的硬铁影响或干扰。



Ferrous Object + Uniform Magnetic Field = Field Disturbance

图5 在均匀磁场中铁磁物体引起的畸变

车辆分类

利用磁干扰可以分辨不同类型的车辆，如轿车、面包车、卡车、大客车、拖车等。当车辆靠近磁传感器，从旁边或上面驶过时，传感器将感测出车辆不同部位的所有不同的双极性磁矩。磁场的变化将描述出车辆的非常详细的磁特征。

将一个三轴的AMR磁场计安装在车道旁，可以提供车辆通过时带来的丰富的磁信号。图7和图8表示出两种不同车辆从磁场计上方开过时，磁场计三个轴的输出。图7中的车辆是Silhouette面包车，图8中的车辆是Saturn轿车。四条曲线分别代表了X、Y、Z的曲线和汽车向南开时地球磁场强度的变化。X轴指向西，Y轴指南，Z轴竖直向上。曲线的开始点是传感器所在的地磁场值：

该点是磁场值 $(X, Y, Z) = (-24, -187, -554) \text{ mGauss}$

对于这些变量进行模式识别和匹配解算，可以对车辆的种类进行区分。从图7和图8的磁场计输出曲线中，有几个观

察的结果揭示了车辆是如何引起地球磁场的变化的。在每条曲线中最大的扭曲发生在当发动机从传感器上方通过时。在图7和图8的时间标记51处产生最大的峰值。两种车辆的Y轴和Z轴输出有一些类似，而X轴输出具有各自的特点。

如果车速已知，则可以确定车辆的长度。如果用另一个Y轴的传感器放置在，比如说，6英尺远的地方，就可以测量车辆通过6英尺时由发动机引起的两个峰值信号间的时间。由此可以得出车速（通过的距离6英尺除以所有的时间）。计算出车速以后，可以通过图7和图8最下面的曲线观察畸变部分的大小来确定车辆的长度，以此对车辆进行分类。

车辆的方向和存在

对于检测车辆的存在和方向，不需要象对车辆进行分类时那么详细的信息。也不需要车道的路面上挖坑来埋入传感器。推荐将传感器放置在路边，沿着被检测的车道，不需要在车道表面挖坑。通过对AMR传感器简单的设置，可以有效而可靠地检测车辆。

对于车辆方向和存在进行测定的实验设置如图6所示。三轴磁传感器放在距地面1英尺高的位置，X、Y、Z轴方向定义如图所示。

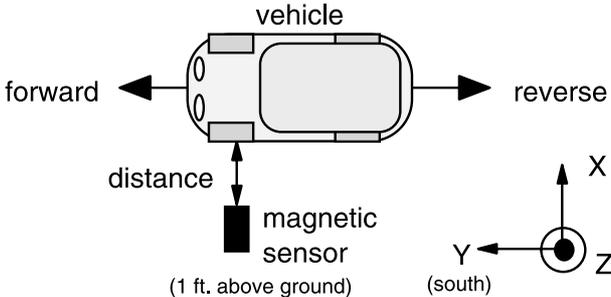


图6 车辆和磁场传感器的方向初始化设置

在这个实验中，一辆轿车（Saturn）分别从距离磁传感器1英尺和3英尺处开过。X、Y、Z曲线分别如图9和图10所示。两个图的区别在于：图9中，传感器距离车1英尺，汽车按北-南方向行驶。图10中，传感器距离车3英尺，汽车按东-西方向行驶。每条曲线都有两次车辆引起的扰动：第一次是车辆正向行驶，第二次是倒车行驶。当汽车从传感器开过时，图9比图10得到了更多的信息。这些信息来源于在较近的距离下车辆的偶极矩对传感器的影响。同时，请注意在图10中峰值的振幅有所降低，这是由于传感器距车

AMR 磁阻传感在车辆检测和罗盘定向的应用

辆较远的缘故。还可以观察到正向行驶和车速是不一样的。在倒车时速较慢。图9和图10中，当车辆的发动机部分通过传感器时，X轴和Z轴的曲线都出现显著的尖峰。轿车的车身对传感器每一轴的影响则有一些不同。另外一个值得注意的事情是当车辆正向通过传感器时曲线的对称性。车

辆南-北方向行驶和东-西方向行驶，曲线很相似，这也是一个重要的特点。表明车辆的每个部分都产生一个可重复的对地球磁场的扰动，这种特性有的扰动可作为这种车辆或这类车辆的特性，不管车辆向哪个方向行驶，这个特征都会被可靠地检测到。

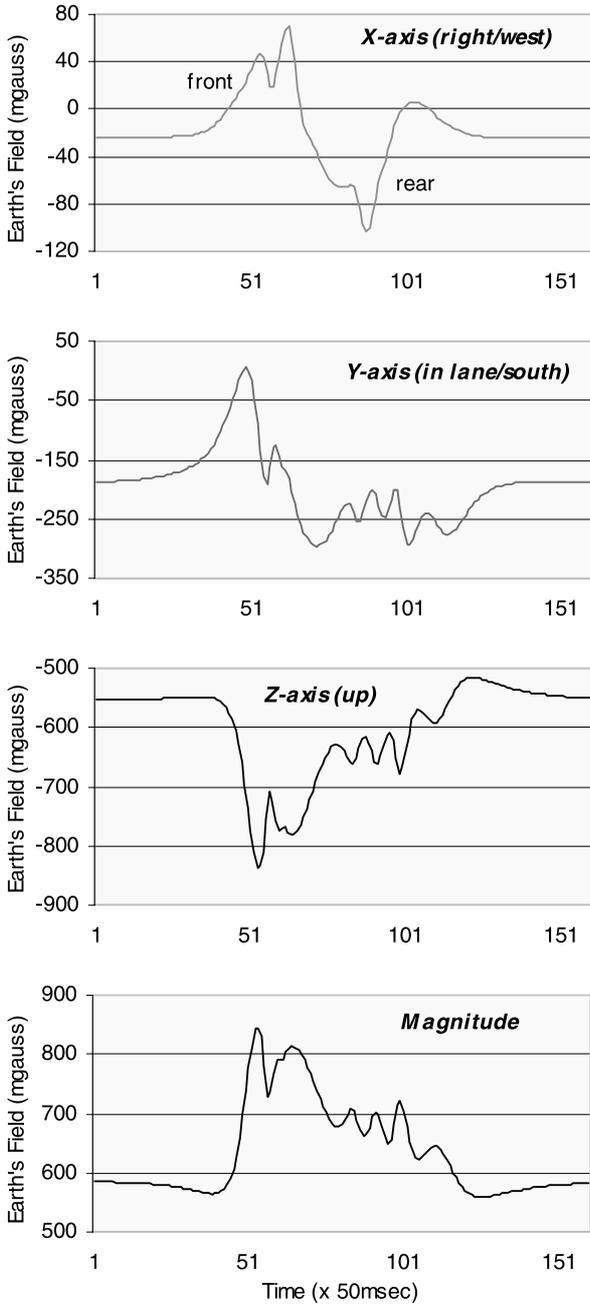


图7 面包车从磁场机上方通过时对地球的扰动。车辆从北向南行驶

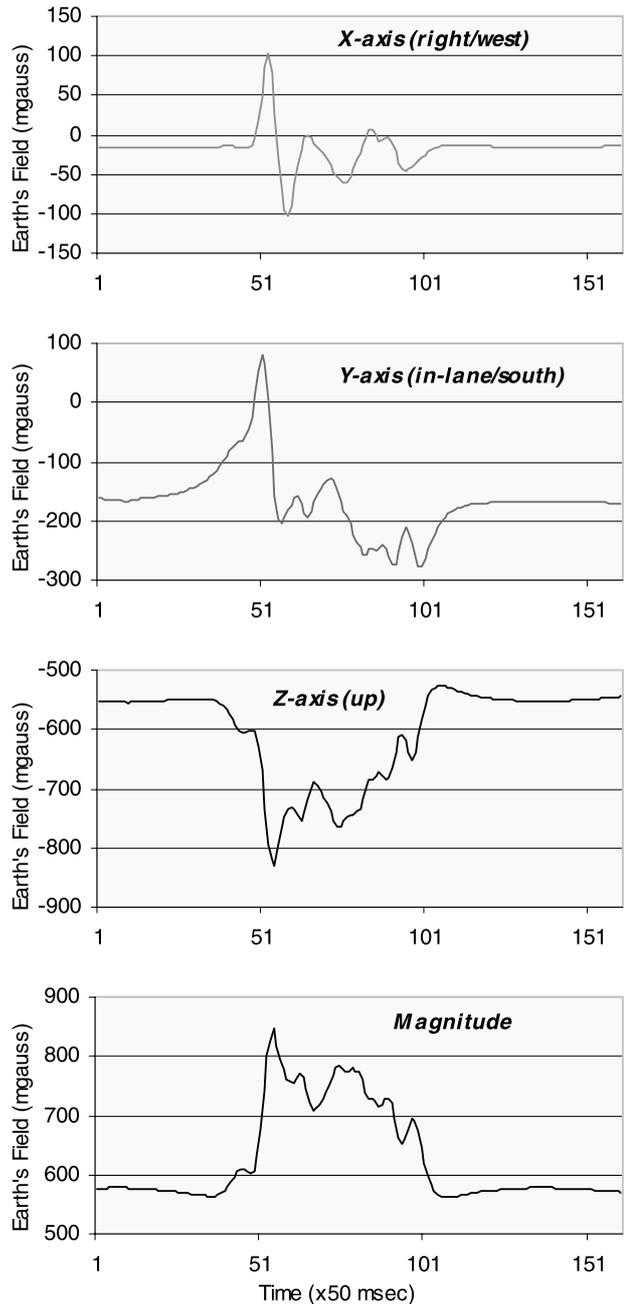


图8 轿车从磁场机上方通过时对地球的扰动。车辆从北向南行驶

AMR 磁阻传感在车辆检测和罗盘定向的应用

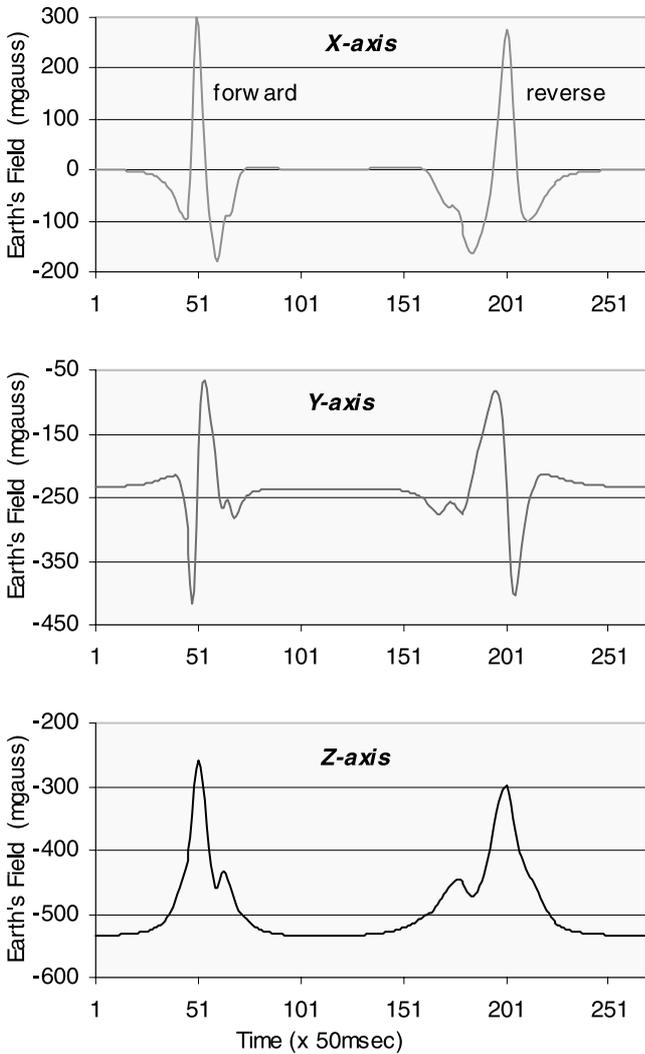


图9 当一辆轿车正向（向南）和倒车（向北）行驶时，X、Y、Z磁场的扰动。传感器距地面1英尺，距车辆1英尺。

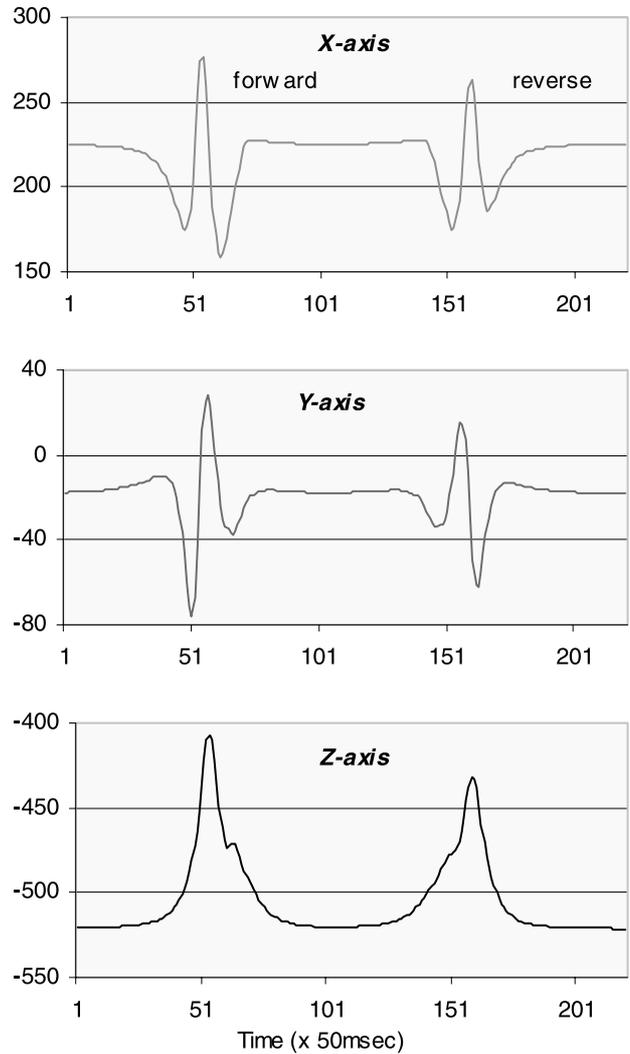


图10 当一辆轿车正向（向西）和倒车（向东）行驶时，X、Y、Z磁场的扰动。传感器距地面1英尺，距车辆3英尺。

AMR 磁阻传感在车辆检测和罗盘定向的应用

车辆的方向

另一项有用的检测是车辆行驶的方向。检测车辆行驶的方向经常是出于安全的考虑：例如高速公路的驶入坡道不是很明显时，车辆驶入隧道时点亮警告灯，检测火车的方向来控制平交道口的防护栏等等。如果我们了解当车辆通过时会对地球磁场带来何种变化，那么只需要一个单轴的传感器就可以判断车辆的方向。

使传感器的敏感轴沿着行驶方向，可以检测出车辆的方向（见图11）。当没有车辆存在时，传感器输出背景的磁场，做为它的初始值。当有车辆接近时，地磁场的磁力线将会偏向铁磁性的车辆。如果磁传感器的敏感轴是指向右侧，而车辆是由左向右行驶，那么磁场计首先“看到”的是减弱的磁场，因为更多的磁力线弯向迎面开来的车辆。所以，从传感器的初始值开始，续之而来的第一个畸变是曲线偏向负方向。

当车辆正好与传感器成一条线时，通过车辆的磁场变化量与开始时类似，传感器输出曲线返回到初始值。当车辆继续向右时，磁力线将沿着敏感轴的正方向偏向车辆。所以传感器的输出将会在初始值的基础上增大。当车辆远离传感器的时，传感器输出恢复到初始值。图11左面的图表明当车辆从左向右时传感器的响应。当车辆反方向行驶时，磁力线会被吸引向车辆，沿着传感器敏感轴的正向，引起传感器输出的增加。图11右面的图表明当车辆从右向左时传感器的响应。

这一模型也可以从图9中Y轴的曲线中表现出来。当车辆从左面开来（向南开），同时传感器敏感轴也指南，起始的传感器输出必然反映了沿着负方向的磁场的变化。（参考图11）。图9中的Y轴曲线表明它确实下降了，在时间标记51处变成一个较大的负磁场。当车辆向传感器右边的方向远离而去时，磁场会增加，因为磁力线跟随车辆远离传感器。随着车辆的远离，传感器的输出先增加，然后返回起始值。请注意在时间标记60的位置尾部波形有两次跳动，很可能是由于汽车后桥和后备箱中的备用轮胎造成的。

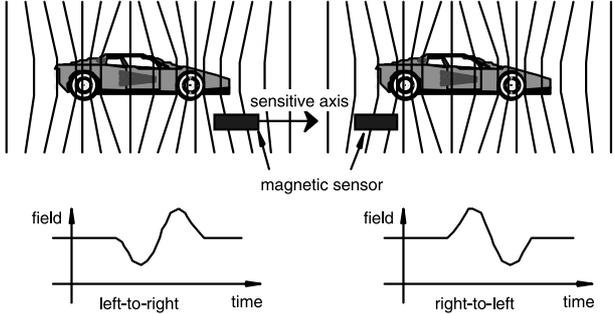


图 11 对于通过传感器车辆的方向检测

对于图9中Y轴曲线的后半部分，车辆倒车开回，从反方向接近传感器。这部分的曲线正好是第一部分曲线的镜反射。波形的长度有些加大，是因为倒车时速度较慢的缘故。关键的一点是，当车辆沿某一方向通过传感器时，如果信号首先出现向下的峰值，那么当车辆反方向通过传感器时，信号必定首先出现向上的峰值。通过对磁场强度变化的简单的检查，就可以判定车辆行驶的方向。

车辆的存在

沿着向上方向的Z轴磁场可用来检测车辆的存在。该曲线的特点是：当传感器与车辆平时出现峰值。当在车辆距传感器1英尺的情形下（图9），对该曲线进行平滑处理后，可用来指示车辆的存在。通过建立合适的阀值，可以滤掉旁边车道的车辆或远距离车辆带来的干扰信号。检测车辆存在的另一方法是观察磁场变化的大小：

$$\text{磁场的大小} = (X^2 + Y^2 + Z^2)^{1/2}$$

数值的变化表明了对地磁场整体的干扰的程度。图12显示了传感器距车辆1英尺、5英尺、10英尺和21英尺时，一辆轿车通过所产生的曲线。

AMR 磁阻传感在车辆检测和罗盘定向的应用

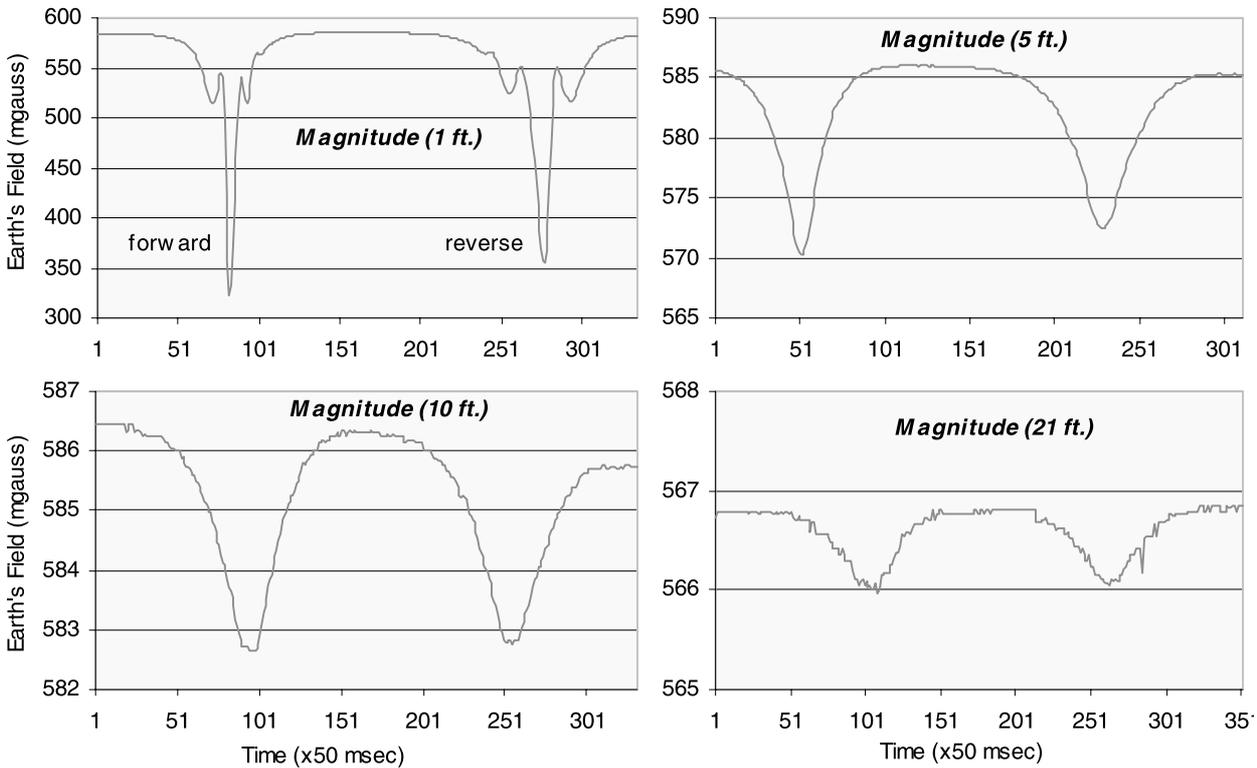


图 12 当车辆距传感器 1、5、10、英尺（南北方向）和 21 英尺（东西方向）正向和倒车行驶时，磁场扰动的数量级

在不同距离下，图 12 曲线的形状很相似，但是信号强度却大不相同。从 1 英尺到 5 英尺，信号强度衰减得非常快。图 13 显示了这种数值上的快速衰减。当传感器只检测单一车道车辆，而忽略其他车道车辆的存在时，这种特点非常有用。

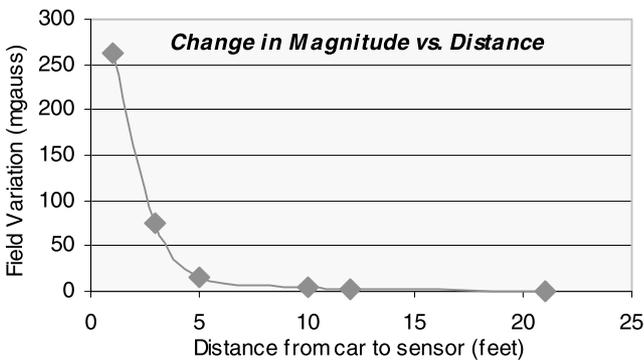


图 13 当车辆距传感器不同距离时，磁场强度数值的变化

AMR 磁传感器在 1 至 4 英尺的路边检测距离范围内可以工作得很好。通过观察磁场的变化，可以确定通过车辆的存在和方向。这种检测方法的好处是不用在铺路时切割路面，传感器可以安装在铝制外壳中。

根据不同的检测车辆的要求，需要的磁场变化的程度和类型将决定传感器如何安放，距离有多远。如果需要检测车辆速度和对车辆分类，最好将传感器埋入路中，车辆从传感器上方驶过；如果需要检测车辆的存在和方向，最好将传感器以较远距离安装在路边。

AMR 磁阻传感在车辆检测和罗盘定向的应用

罗盘定向和导航

霍尼韦尔的磁阻传感器是专门为低磁场环境而设计。即 2 至 3 倍的地球磁场强度。在前一节我们讨论了检测由于铁磁物体的存在而造成的地磁场的畸变，以及如何利用这些畸变进行交通检测和车辆分类。这类的应用以间接的方式利用地磁场来检测铁磁物体的存在与否。另一方面，直接检测地球磁场才是磁阻传感器的“本行”，也是在定向导航中所需要的。霍尼韦尔磁阻传感器的高分辨率和低噪声特点超出了制作高分辨率、高精度罗盘的需要。

磁和地球磁场

在 2500 年前，人们就发现某种岩石可见吸引铁，这是有关人类发现磁的最早的记载。现在人们把这种矿石称作磁铁矿。英语称之为“lodestone”化学上称之为四氧化三铁(F_3O_4)。

磁铁矿在全世界范围都可找到，在土耳其储量最为丰富。人们还发现一块铁在接触和磨擦磁铁后，本身会带有磁性。这一发现和人们发现自由放置的磁针始终指向同一方向一起，赋予磁罗盘以生命。我们发现经磁化的磁针可以沿着地球磁场方向排列。现代的罗盘仍然依据这一原理工作，只不过对于“同一方向”的定义更为严格罢了。

地球磁场的强度为 0.5 至 0.6 高斯，可以简化成如图 14 所示的双极性磁场，相当于沿着地球中心的一个磁棒。磁棒的磁极相对与地理的两极存在着一个约 11.5° 的夹角。磁场的南极代表着地理的北极。

地磁场方向在北半球指向下，在赤道平行，在南半球指向上。这一全球性的变化被称作磁倾角 (Dip Angle)，定义为磁场和当地水平面之间的夹角。磁倾角随纬度的变化而改变，变化范围为 $\pm 90^\circ$ 。

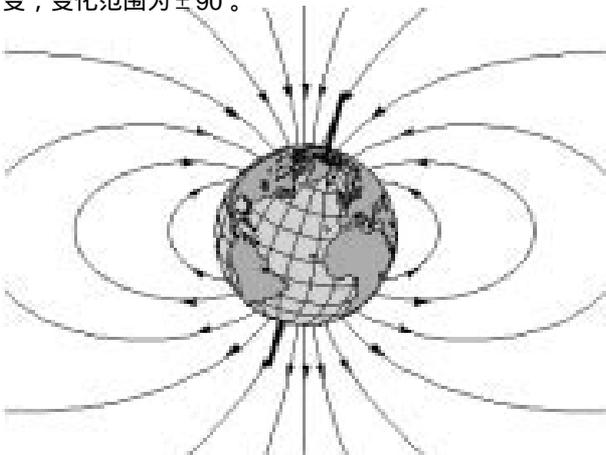


图 14 地球磁场可以等效为一个双极磁场

如上所述，一个罗盘指针会沿着当地磁场矢量的方向选定自己的指向，这个指向通常被认作当地的磁北。因为磁极和地理的南北没有重合，所以磁北和地理北通常不在一起的。这一当地的偏差被成作磁偏角 (Declination Angle)。简单地说它是磁北和地理北之间的角度差，表示为偏东的或偏西的。全球的磁偏角情况被绘制成图，并标注在航海图上，或制成电子表格，或制订出计算公式。这个参数使磁罗盘成为可以全球使用的工具。

电子罗盘

随着工作在地磁场环境下的诸如磁通门或 AMR 传感器的出现，电子形式的磁罗盘的问世成为可能。和机械式的罗盘相比，这类罗盘具有绝对的优势，体现在其电子输出、可达到高精度和可以集成到控制回路中等方面。

传感器的电子输出是与沿着其敏感轴的磁场强度成比例的。当传感器放置在水平面上，从指向磁北的角度开始旋转，输出为航向角度的余弦函数。将至少两个传感器相互垂直地放置，会消除输出的双值性，使输出和航向角一一对应，如图 15 所示。这些信号可以用来控制轮船的舵，使它照预先制定的航线行驶，即使航向在绝对意义上讲是不知道的。

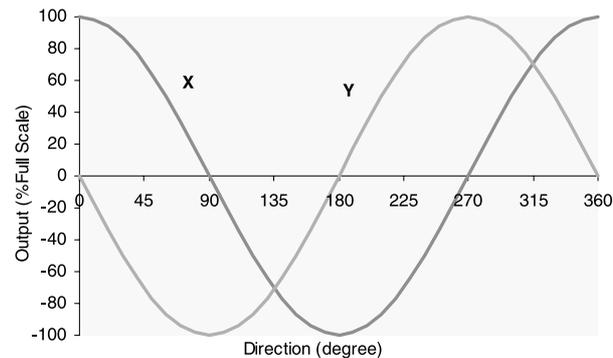


图 15 两个正交的磁传感器在地磁场中，在水平面内作旋转运动，输出为正弦和余弦函数

图 16 为一个提供向数字输出的电子罗盘的基本框图。航向由下面的公式计算得出。X 轴传感器定义为向前，Y 轴传感器定义为向右。

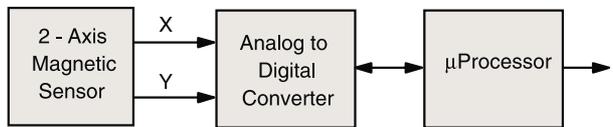


图 16 两轴罗盘的功能框图

AMR 磁阻传感在车辆检测和罗盘定向的应用

$$\begin{aligned} \text{航向} &= 90 - \text{ArcTan}(X/Y) \cdot 180/\pi \quad (Y>0) \\ &= 270 - \text{ArcTan}(X/Y) \cdot 180/\pi \quad (Y<0) \\ &= 180 \quad (Y=0, X<0) \\ &= 0 \quad (Y=0, X>0) \end{aligned}$$

这种两轴的罗盘只要保持水平就可以工作正常，可以用在手持的仪表中。然而，如果罗盘不能保持水平，将会带来相当大的航向误差。图 17 中显示了在不同的俯仰角下航向的误差情况。该误差与方向相关，随俯仰角的增大而增大。在南北向时没有误差。当 Y 轴传感器输出基本为零时，航向与 Y 轴传感器没有关系。同时，如果磁倾角越大，航向误差越大。

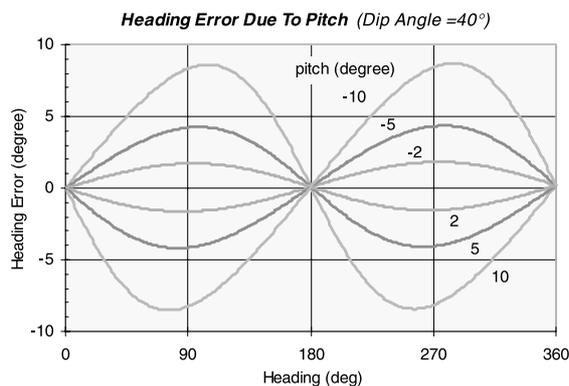


图 17 两轴罗盘随俯仰角的变化，航向误差变化的情况，模拟 40 度磁倾角。

通常传感器是装在飞机、轮船、或车辆这样的动态环境中，不可能保证罗盘永远保持水平。在这样的安装场合下，罗盘的可使用性大大降低。解决这个问题一个途径是用机械的方法使罗盘保持常平。这样磁传感器可以永远保持在水平面内，以保证从上述计算中得到较高的航向精度。

另一种方法是捷联或电子常平罗盘。这种设计将使用三个磁传感器和一个附加的传感器来寻找当地的重力加速度方向——通常利用俯仰（纵摇）和横滚（横摇）两个姿态。在得知倾斜的状态的前提下，地磁场在水平面上的分量可通过三轴磁场计的读数用数学的办法计算出来。这种方法较机械常平架的方案而言增加了问题的复杂程度。然而，追求可靠性和补偿附近的磁干扰的能力，使这种方法成为必需。

电子常平罗盘

这种设计包括进了一个传感器来确定罗盘相对于地水平面的方向。通常使用两轴的倾斜传感器，也可使用两轴或三轴的加速度计来测量俯仰和横滚角。俯仰和横滚在航空工业

中经常遇到，俯仰角指的是飞机的机头与水平面夹角，横滚角指的是飞机的右翼与水平面的夹角。通常使用灌有液体的倾斜传感器。其工作原理非常简单，液体的上表面将永远保持水平，在下表面排列有三个电极，外电极到中央电极的阻值将随倾角的不同而变化。这三个电极构成一个分压器，其输出为倾斜信号。

加速度计，特别是比较先进的微电子-机械系统（MEMS），正在变的越来越通用，成本也在不断降低。MEMS 由两个微机械结构组成一个电容的两个极板。每一个极板包括很多齿，其中有一个是固定的。在重力的影响下，活动的部分将会发生位移，引起电容值的变化，加速度计输出的电压是与沿其敏感轴方向的重力分量成比例的。需要说明的是这两种传感器都依赖于重力或重力加速度。

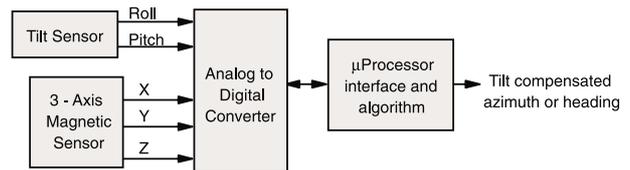


图 18 捷联电子罗盘的功能框图

捷联电子罗盘的框图如图 18 所示，单片机控制着磁场计和倾斜传感器的驱动电路，收集和数据处理数据，输出航向信息。这种仪器被称作对倾斜进行补偿的罗盘，即罗盘的输出与它的倾斜角度无关。通常，不必在 $\pm 90^\circ$ 的倾角范围内进行补偿，某些特殊的应用会对倾斜范围提出要求。

数字解算方法是首先测量出以罗盘自身为坐标系的磁场分量，和俯仰、横滚角度。利用俯仰和横滚的角度值，磁场分量被转化成为以当地水平面为坐标系的分量。这样航向角可以通过被转化过的 X 值和 Y 值计算出来，参见图 19。

水平的磁场分量 (X_H, Y_H) 被用来确定航向，对于任何角度的横滚和俯仰都可通过下式计算出来：

$$\begin{aligned} X_H &= X \cdot \cos(\varphi) + Y \cdot \sin(\theta) \cdot \sin(\varphi) - Z \cdot \cos(\theta) \cdot \sin(\varphi) \\ Y_H &= Y \cdot \cos(\theta) + Z \cdot \sin(\varphi) \end{aligned}$$

其中 θ 和 φ 是把罗盘转化到当地水平面的转角。

用另一种方法，即通过矢量计算的方法也可以计算出航向角：

- 1, 计算矢量 $G \times H_E = \text{East}$ (东方向)
- 2, 计算指向右的矢量, $G \times X = Y_H$
- 3, 航向角 ψ 可以通过计算矢量点积 $Y_H \cdot E$ 而求得。

AMR 磁阻传感在车辆检测和罗盘定向的应用

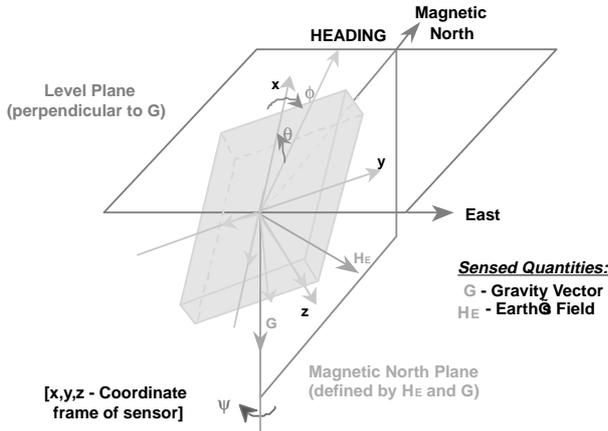


图 19 · 在罗盘坐标系中重力矢量和磁场矢量的说明。

磁传感器的要求

磁场计应该分辨 0.1% 的水平分量，以获得航向输出的 0.1 度的分辨率，精确到 0.5% 已获得 0.5 度的航向精度。它的航向计算的输出是所测量的磁场分量的映射，并不需要的知磁场分量的绝对值。关键是要使三个磁传感器的增益一致。倾斜传感器可以得出罗盘俯仰和横滚的绝对值。倾斜传感器的误差会乘以约为 $2 \cdot \tan(\text{磁倾角})$ 的系数带入航向误差。可见这一误差对整体误差的影响有多么之大。

目前有好几家公司生产罗盘类产品，具有 0.5 至 3 度的航向误差，各家产品都有不同的倾斜修正范围。这些罗盘分别针对不同的应用领域，并随着 GPS 导航的发展而发展。一套移动电视转播设备利用罗盘来使卫星天线对准某颗卫星，或者一艘轮船上的接收天线连续跟踪卫星。罗盘可以引导一个遥控的车辆到达指定的目的地，海洋气象浮漂可以确定风向和洋流。罗盘输出和电子地图系统结合在一起，可以帮助船只在恶劣天气中安全到达码头。此外，在航空和航海中还有很多传统的应用。

罗盘的安装

罗盘的现场表现十分依赖于它的主平台上的安装位置。毕竟罗盘是依靠地球的磁场来提供航向，任何其它来源的对磁场的干扰都应该被补偿掉，以求得精确的航向信息。

磁场计对磁场范围和最大磁场值有一个上限。在罗盘安放位置所遇到的磁场应该在磁场计所允许的场强范围之内。磁场的来源包括永磁体、电机、直流或交流电流、以及诸如钢铁的铁磁性金属。如果罗盘远离这些磁场源放置，它们对

罗盘精度的影响可以大大地降低。有些磁场的影响通过标定来补偿，然而，随着时间变化的磁场不可能被补偿掉。比如由于磁性金属的运动而产生的磁场，或者不能预料到的附近强电流的变化等等，所以在这里重申最好的校正方法是距离！最后，千万不要把罗盘封装在一个铁磁性金属的盒子里。

地球磁场的畸变

磁场的畸变可分为硬铁和软铁的影响。硬铁影响来源于永久磁铁和磁化的钢铁，沿磁场计的轴线附加了一个磁场分量，具有恒定的数值，这个数值不依赖于主平台的方向。

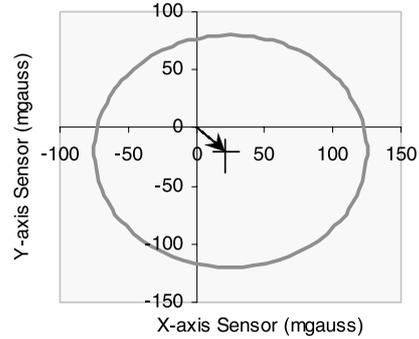


图 20 当在地球磁场下，在水平面内旋转时，X 和 Y 轴的输出显示出硬铁的偏置影响

图 20 说明了对于 X 和 Y 磁传感器的硬铁影响。其净影响的结果是地磁场从中心偏移。这类干扰会导致类似图 21 的航向误差，人们知道它是单周期误差。

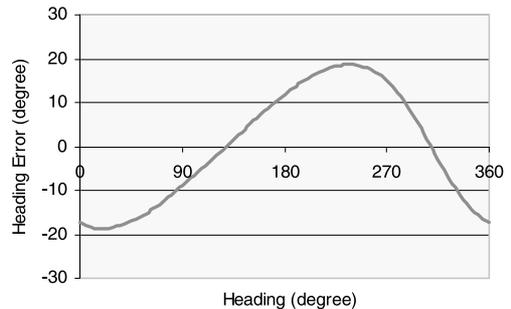


图 21 因为单周期误差的硬铁影响造成的航向误差

软铁影响来源于地磁场和主平台的软磁材料的交互影响。软金属扭曲了地磁场的磁力线，扭曲的程度取决于主平台的方位，还取决于主平台的磁特性。图 22 显示了 X 和 Y 传感器所测量的磁场值所受到的软铁的影响。图 23 说明了因为这种影响而对航向造成的误差。人们知道这种误差为双周期误差。

AMR 磁阻传感在车辆检测和罗盘定向的应用

标定手段

罗盘的制造者提供了一些标定方法，来补偿硬件和软件的影响。每一种标定方法都与主平台系统的物理运动相关，来对围绕罗盘的磁空间进行采样。这些物理标定程序可以简单到让主平台指向三个已知的位置，也可以复杂到让平台移动一个完整的圆周、移动一个圆周加上俯仰和横滚的姿态变化、或者给主平台指定 24 个方位，包括倾斜状态的变化。当然不可能让船只完成这种 24 点的标定，但是对于陆地上的车辆却可能做到。如果主平台在标定过程中只能对水平磁场分量进行采样，那么通常来说没有对倾斜状态下的航向误差进行补偿。通常是通过几个已知点的航向来产生航向误差曲线，来提高航向精度。

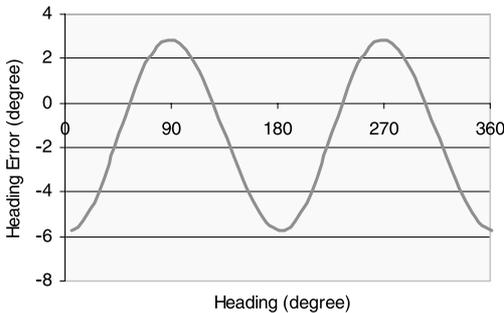


图 22 当在水平面旋转时，因为靠近软铁金属而产生的 X 和 Y 轴的误差。

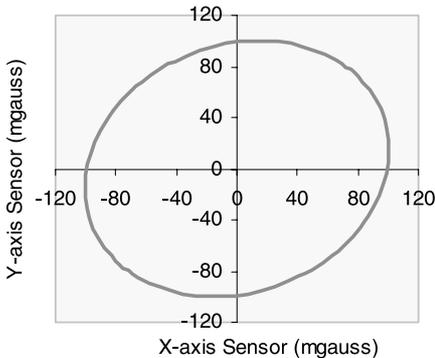


图 23 因为软铁影响造成的双周期航向误差

即使在同一平台上，不同位置的硬铁和软铁偏置磁场都会不同。罗盘只有永久地固定在平台的某位置上，才能进行有效的标定。

这种特定的标定对于特定的罗盘的位置和方位来讲是有效的。即使罗盘在同一位置，但相对于平台的方向发生了变化，也要重新进行标定。带有常平架的罗盘不能满足这些需要，但是捷联设备可以做到这一点，这也是捷联设备的优势之一。如果只追求重复性，而不追求精度，在使用罗盘是可以不进行任何标定。

加速度的影响

罗盘受到任何的加速度都会影响倾斜传感器或加速度传感器的输出，进而影响到航向误差。飞机进行盘旋时倾斜传感器会受到向心力的作用，向心力将附加在重力上，传感器的输出将会带来误差。然而对于大多数应用，如果加速度比较小或者只发生于短时间内，磁罗盘是一种有效的导航工具，惯性系统(陀螺)可以用在这些不能容忍这种航向误差的应用中，但是惯性系统无论在重量上、在成本上还是在功耗上都至少是磁罗盘的十倍！

结论

我们已经讨论了 AMR 传感器的两个应用。AMR 传感器设计工作在地磁场范围内，具有高灵敏度和低噪声。它提供了干净的磁信号来检测磁场分量或小的扰动。传感器的优势在于可以检测存在、方向和对车辆进行分类。我们对于使用 AMR 传感器的实践提供了几个例子做为资料。磁阻传感器可用在罗盘的应用中，两轴罗盘和电子常平的三轴罗盘在这里进行了讨论。磁罗盘对硬铁和软铁的影响是敏感的，这一影响可被计算出来并且予以去除。我们将证明 AMR 传感器既适用于交通车辆检测，也适用于罗盘定向和导航的应用。