技术白皮书

位置传感器入门指南

Mark Howard

Zettlex UK Ltd 总经理

www.zettlex.com

1.引言

本指南的读者是工程师、技师和学生，特别是那些需要快速学习、了解位置传感和位置传感器技术基本知识的人士。本指南短小简练，目的是提供一个概述，而不是详尽的论述。

2.术语

工程师们都喜欢用专业术语，通过它可以帮助我们区分工程师和普通人。然而，术语也让一个工程领域的工程师很难掌握另一个领域的技术。位置传感技术也不例外，所以让我们从一些术语的澄清开始。

首先，你会遇到各种各样的”传感器”：编码器，发送器，探测器，变换器等等。他们之间是有些区别，但是对于大多数意图和目的我们可以考虑它们都是同一事物的术语。我们将采用通用术语“传感器”。

令人困惑的是，一些传感器，尤其是接近传感器，实际上是接近开关，它们只是能确定物体的存在与否。这意味着，它们输出的只是一个简单的数字或开/关信号输出，而不是连续的位置测量信号。在本文中，我们将关注真正的传感器，而不是接近开关。换句话说，传感器输出一个信号(通常是电信号)，它与沿测量路径的位移成正比。

还有一大堆术语，指的是（直线和旋转）位置-位移，角度，角位置，旋转的，旋转，直线。再次说明，为了本文的目的，我们将使用通用的术语“位置”来涵盖直线和角度。

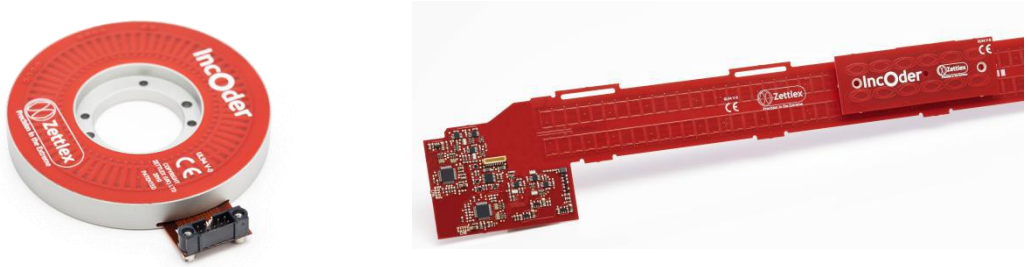

图 1 旋转和线性位置传感器

许多，但不是全部，位置传感器也可以被认为是速度传感器。由于速度可以被定义为位置的变化率，因此任何位置信号可频繁更新的位置传感器，实际上也是一个速度传感器。速度可以很容易地由典型的现代控制系统，通过传感器输出对时间的微分来确定，或者更简单的，通过计算位置相对于时间的变化来确定。

所有位置传感器都可以被划分为绝对式，或者增量式。增量式传感器的输出只有在位置改变时才会改变。绝对式传感器的输出与所测量的真实位置成正比，无论是静止，还是运动。判断传感器是绝对式的还是增量式的一个好测试方法是考虑电源上电时会发生什么，如果有一个真实的位置信号输出，但没有任何运动，那它就是一个绝对式传感器。

3.位置测量基础知识

也许你在他们做仪器理论的那一天就离开了大学。如果你还知道准确性，分辨率，可重复性等等这些东西。那你是在一个很好的公司，但是很多工程师要么被遗忘了，要么从来没有真正理解过这个工程领域。应用于仪器领域的术语和相当深奥的技术概念令人困惑。然而，它们对于为您的应用选择合适的测量仪器是至关重要的。如果选错了，你可能最终会为超过所需指标的传感器付出代价；相反，你的产品或控制系统可能会达不到关键的性能指标。

首先给出下列定义：

- 仪器的准确性是衡量其输出准确性的一种方法
- 仪器的分辨率是在测量位置上可测量的最小增加量或减少量
- 位置测量仪器的精度，是指它的重复精度
- 位置测量仪器的线性度，是测量传感器输出与实际位移之间的偏差

为了理解准确度和重复精度之间的区别，我们可以通过对目标靶的射箭来解释。准确度就指箭头距离靶心的距离。

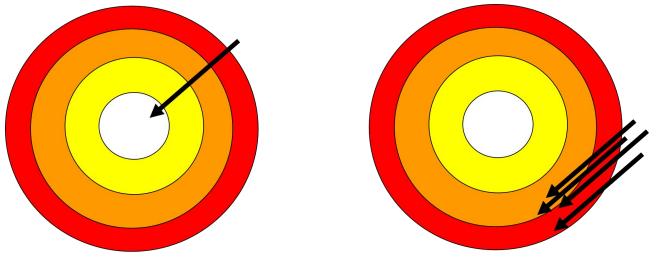

图 2 准确的射击(左)和精确的射击(右)

如果射出许多箭，那么重复精度就指箭簇的大小。如果所有的箭头聚集在一起，则认为这个箭簇是精确的，或者，换句话说，是高度可重复的。

一个具备极佳线性度的位置传感器，同时也是非常准确的。对于大多数应用来说，可以认为线性度和准确度是等同的。

那么，这就很简单了，只要每次都指定非常准确的测量仪器，你就可以了吗？不幸的是，这种方法存在很大的问题。首先，高准确度的测量仪器总是昂贵的；其次,高准确度的测量仪器可能需要仔细而精密的安装，可能在有些场合不切实际，因为存在振动、不同的热膨胀系数，还有最可能的成本因素；第三，某些类型的高准确度、高精度测量仪器比较脆弱，可能在恶劣的环境下可能出现故障或失效。

最优策略是指定什么才是需要的—不多不少。例如，在一个工业流量计的位移传感器中，线性度不是一个最关键的要求，因为流体的流动特性有可能是高度非线性的。更有可能的，在变化的环境条件下，重复精度和稳定性才是最关键的要求。需要注意的是，在许多工程应用中，分辨率和重复精度往往比线性度更重要。

再如，在数控机床上，准确度和重复精度可能是关键的要求。因此，具有高准确度（高线性度）、高分辨率、高重复精度的位置传感器，即使长时间处于肮脏、潮湿环境中而不需要维护，才是最关键的要求。

4.位置传感器常见类型

位置传感器被广泛应用于各种工业和商业应用中，从高端军用和防务应用到低成本的汽车和家用电器。事实上，继温度测量之后，位置测量是我们生活中需要测量的第二种最常见的特性。

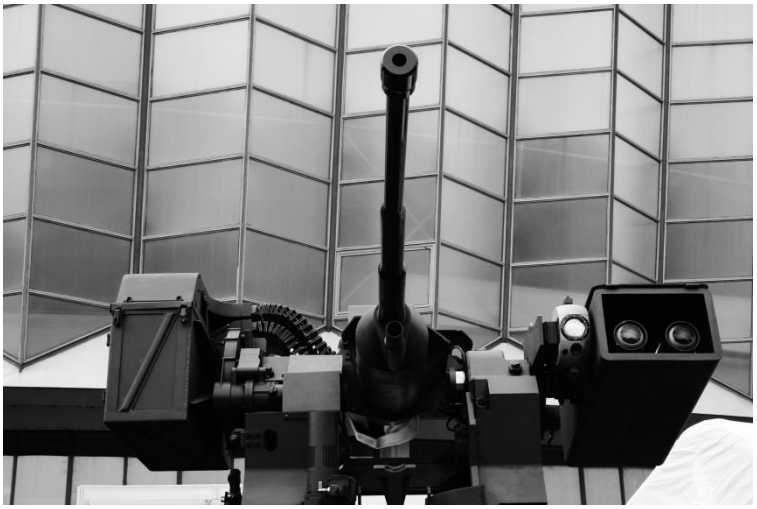

图 3 位置传感器用于军事和国防应用

现今，有很多令人眼花缭乱的位置传感器可供选择，如何选择合适的位置传感器？这一节概述了传感器的主要类型以及它们各自的优缺点。

4.1 电位计



图 4 典型单圈电位计

虽然有一种倾向于非接触式传感器的趋势，但电位计（pot）仍然是最常见的位置传感器。这种传感器通过测量电触点沿着电阻条的电压降，而测量位置与电压输出成比例。电位计有旋转型、直线型和曲线型结构形式，结构紧凑、重量轻。一个简单的电位计只需花费几便士，而高精度的电位计则可能需要 200 美元以上。通过激光对电阻条进行微调，线性度可达到小于 0.01%。

电位计在适当的工作循环、良好的环境和性能要求不严格的应用场合中工作良好。不幸的是，电位计容易磨损，尤其是在高振动环境，或者灰尘/沙粒等外来物质会使电阻条受到磨损。高质量的电位计以工作循环数给出寿命指标，但往往忽略了振动的影响。

还必须注意的是，电位计指标种经常引用“无限分辨率”。虽然理论上是这样，但许多控制系统需要数字数据，因此实际的分辨率将是模拟/数字转换器的分辨率（设计时要考虑这个成本）。

奇怪的是，在航空航天、医疗和石化行业的一些安全相关应用中，电位计被归类为“简单传感器”。这意味着，虽然电位计有很多的故障模式，但它们并不像电子传感器那样受到严格的设计和选型审查。这是一个愚蠢但是真实的情形，使得在某些应用中取代不可靠的电位计很困难。

优势:：低成本；结构简洁；重量轻；制造精度高。
劣势： 易磨损；耐振动差；对外来物敏感；不适合苛刻温度环境。

进阶阅读:

- The True Cost of Potentiometers
- Why do engineers dislike potentiometers?

4.2 光电式位置传感器

光电传感器通常被称为编码器，它们是位置传感器的一种常见形式，从简单的价格几美元的编码器到价格超过 1 万美元的高精密编码器。在所有这些传感器中，基本原理都是一样的：光束照射到光栅，光电探测器测量光，产生一个位置信号。

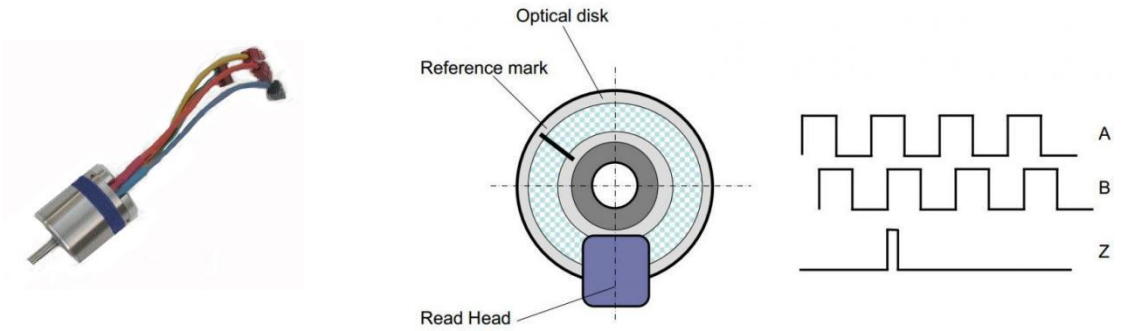

图 5 光学传感器利用光学圆盘测量角度

整体式旋转编码器应用很广泛，通常每一转有 50-5000 脉冲（cpr）输出，实践证明在良好的应用环境中工作良好。然而，在更苛刻的环境中，如果镜头或光栅系统被诸如灰尘、碎屑或水等外来杂志遮挡，那么测量就会失效。

在光电传感器选型时，需要特别注意的是，如果传感器标称每一转 1000 个脉冲（cpr）输出，这并不意味着它能达到 1/1000 转的准确度。传感器的数据表需要仔细阅读，特别是编码器套件或环形编码器，传感器安装要求非常精密，并且确保没有被污染。

如果编码器采用是玻璃编码盘，该编码器只有有限的抗冲击能力。

优势: 高分辨率；精密安装可得到良好准确度；广泛应用。
劣势: 对外来物体敏感；失效前无任何征兆；耐冲击差；不适合极端温度。

进阶阅读:

- Optical Encoders Vs. Inductive Encoders

4.3 磁位置传感器

磁传感器都使用类似的测量原理：当永磁体与磁探测器有相对移动时，磁场的变化与它们的相对位移成比例。一种常见的形式是 Hall 效应传感器，可以制造成芯片形式。它们常用于汽车和电动机的应用场合，性能适中。



图 6 Hall 效应传感器是最常见的磁传感器

磁传感器克服了许多与光电编码器有关的缺陷，因为它们对外来物质更有容忍性。然而，这些传感器很少被用于高准确度要求的应用，这是由于磁滞效应，以及运

动和静止部件之间的精密机械加工的影响。应仔细研究任何磁传感器数据表中的安装公差、温度系数和工作温度指标。

更进一步，要考虑磁性材料或电缆的接近。永磁体可能吸引一些外部杂质，传感器失效的一个因素就是杂质碎屑随时间的累积。

在有恶劣冲击的环境中，通常不选择磁传感器，因为当今的 NdFeB 永磁体众所周知的脆性。

优点：非常坚固牢靠；大多数液体没有影响。
缺点: 温漂；滞环；不适合高准确度应用；对附近导磁材料、直流磁场敏感；耐冲击能力差。

进阶阅读:

- Magnetic Vs. Inductive Position Sensors

4.4 磁致伸缩位置传感器

这种传感器利用一种特殊的现象，叫做“磁致伸缩”。这种现象存在于一些材料中，当磁铁靠近材料时，它会使沿着材料传递的能量发生反射。位置可以从能量脉冲沿着磁致伸缩材料来回移动的时间来测量，磁致伸缩材料通常是一条细线或一条带。

几乎所有的磁致伸缩传感器都是直线传感器，因为精细的磁致伸缩带必须小心地安装在壳体内，比如铝型。壳体使得磁致伸缩传感器不受磨损和寿命问题的影响，适用于高压应用场合，比如液压油缸。

每一个传感器，与精密的外壳组合后，都需要由制造商来校准，这使得磁致伸缩传感器相对昂贵。对飞逝时间的一些影响因素，该技术很敏感，最明显的就是对温度的敏感。

磁致伸缩数据表中的标称准确度指标通常是在恒定温度条件下的，因此，设计工程师需要利用给出的温度系数来计算实际能达到的准确度。

微小的磁致伸缩材料非常精细，其长度两端的支架至关重要。最终的结果是，磁致伸缩传感器不应被选择用于严酷的冲击/振动环境中。

优点: 坚固牢靠；适合高压环境应用；长度增加，准确度提高。
缺点: 相当昂贵；不耐冲击；温漂大；短量程准确度低(<100mm)。

进阶阅读:

- Magnetic Vs. Inductive Position Sensors

4.5 电容式位置传感器

电容器是一种积累电荷的电子元件。通常，它有两个电极板，由绝缘体隔开。电容器可以储存的电荷量根据电极板的尺寸大小、它们之间的重叠百分比、他们之间的距离以及板间材料的介电常数而变化。在最简单的形式中，电容式位置传感器可用来测量电极板间的距离。在力、应变和压力测量中，位移通常在小于 1mm 范围内。

另一种旋转或直线位置传感形式，在测量轴上，切割或蚀刻了一系列的电极板。当另一个板块移动时，电路中沿着轴方向上的电容会变化，反映出两个极板之间的相对位置。电容式位置传感器是不常见的，很少用于安全相关的应用。不幸的是，除了电极板的重叠因素等，电容会随着温度、湿度、周围材料和外界异物的不同而变化，这使得研发一个稳定的、高准确度的位置传感器具有挑战性。

我在传感器、自动化和电子产品领域工作了近 30 年。我还没有遇到一个设计工程师，他对他选择的电容式位置传感器很满意。电容式传感器在经验丰富的工程师中名声不佳，不太可能被选用在与安全相关的场合中。一些制造商已经不再提及“电容式”，取而代之的是使用诸如电荷存储、电荷耦合或电效应之类的替代术语来混淆视听。这种做法很不好，因为有太多的可能性传感器要出错，除非你是在高度稳定和临床应用中进行高精度的测量，否则最好避使用电容式位置传感器。

优点: 结构简单；低功耗。
缺点: 温度和湿度漂移系数大；对外部物质进入很敏感；安装公差要求严格。

进阶阅读:

A Comparison of Capacitive and Inductive Position Sensors

4.6 传统感应式位置传感器

传统的感应式位置传感器利用感应或变压器原理，已经使用了 100 多年。它们在恶劣环境下安全、可靠的工作特性赢得了极佳的声誉，使得它们在许多安全相关的应用中几乎成了首选传感器。

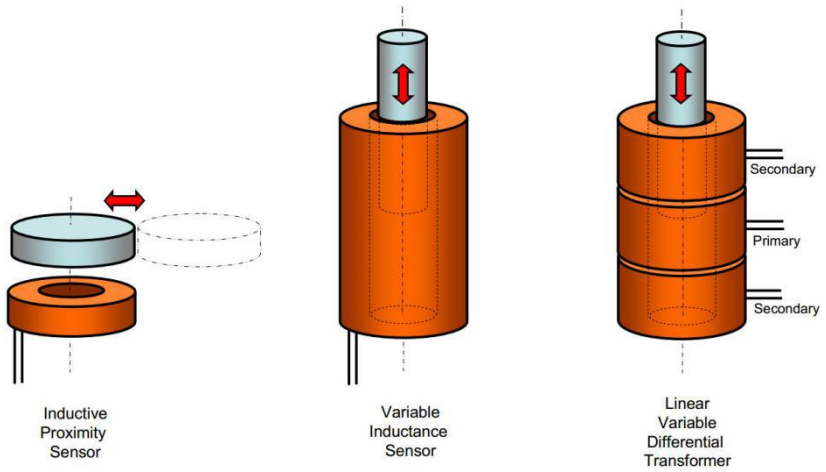

图 9　传统的感应传感器安全可靠，赢得了极佳的声誉

直线感应式位置传感器通常被称为可变磁阻或线性差动变压器（LVDT）。旋转形式的有同步器，旋转变压器和 RVDT。LVDT 采用变压器结构，至少有 3 个线圈：一个初级线圈，二个级线圈级。当磁棒在线圈中移动时，它会改变初级线圈和次级线圈之间的电磁耦合。感应信号的比值表明了磁棒相对于线圈的位置。这种比率测量技术是 LVDT 实现高稳定性和测量性能的关键。

光电和磁传感器需要电子电路部分就在测量点附近，而感应式传感器可以将电子电路部分从测量点移开，这样传感器就可以工作在恶劣的环境中，而电子电路部分可工作在更温和的环境中。

然而，由于绕绕变压器的结构，它们往往体积大，价格昂贵。

优点: 高准确度；高可靠；坚固牢靠；适合苛刻环境；使用广泛。
缺点: 价格昂贵，体积、重量大。

进阶阅读:

- Traditional Inductive Vs. New Generation Inductive Sensors

4.7 新一代感应式编码器 IncOder



图 10　新一代感应式编码器 **IncOder**

新一代的感应传感器，通常称为 IncOder，采用与传统感应式传感器相同的原理，因此可在恶劣的环境中提供优异的、非接触的测量性能。然而，这些传感器并没有采用传统感应式传感器笨重的线绕结构，而是在柔性或刚性的基板上使用印刷电路板技术。

印制绕组技术有如下特殊优势：

- 生产成本、尺寸和重量大幅降低
- 结构形式上更大的灵活性
- 消除了传统感应式传感器绕线过程中的不准确性
- 可实现复杂的几何图形测量，如曲线、二维和三维位置测量
- 采用多层印制电路板可将多个传感器集成在一起（安全相关应用冗余传感器）

EMC 性能，通常与旋转变压器和 LVDT 的一样好。这一点可以从航空航天和军用应用场合中日益增加的选择得到证明。

优点: 高准确度；高可靠；坚固牢靠；多种几何尺寸形状；结构简单；重量轻。
缺点: 价格贵于电位计。

进阶阅读：

- IncOder Inductive Encoders

5.常见易犯错误

以下是工程师们在位置传感器选型上最常见的易犯错误：

不计传感器出现故障的成本

所有的工程师都想选择一个低成本的解决方案。这与简单地选择最低成本的传感器是不一样的。一般来说，传感器在现场出现故障的成本将更麻烦，比传感器本身的成本要高很多倍。换句话说，选择一个不会在现场失效的传感器通常是最好、最全面的成本解决方案。此外，再考虑一下失效的本质，一个出现故障而停止工作的传感器通常不是一个最严重的问题，最高的成本，如果一个传感器出现故障，但是它还输出一个看起来可靠但错误的信号，这个问题更加严重，成本更高。因此，从成本和安全性方面考虑，一个错误的传感器输出信号的后果，可能比出现故障后停止工作并发出错误告警的传感器要高的多。

不理解重复精度、分辨率和准确度之间的区别

回顾第 3 节，确定您理解这些基础知识。您应该能避免分辨率和准确度混淆的错误（通常在位置传感器行业中宣传）。因为一个光电编码器能产生每转一百万个脉冲（cpr），并不意味着它能准确度能到百万分之一转，准确度远远低于这个分辨率。相反，重复精度常常是许多工程应用的关键要求，并不需要指定高准确度（也以为着高成本）的传感器。

传感器类型和工作环境不匹配

人类已经发明了利用大多数基本物理现象的方法，采用光、磁、电容、电阻和电磁感应技术来测量位置。每种技术都有自己的长处和弱点。一般来说，不要选择传感器用于以下工作环境中：

- 电阻型（电位计）、光电或电容式传感器，用于肮脏或潮湿环境。室外设备的冷凝水和表面冰是导致传感器失效的常见原因。
- 光电、磁或电容式传感器，用于极高的温度环境（大多数工作温度不超过 125° C）。

- 磁传感器，用于需要高测量性能的场合，除非采取措施消除外界磁场影响，并实现传感器的精密机械安装。
- 电位计，用于存在苛刻、长时间振动的场合，因为滑动电触头受到长时间振动后引起微动，微动引起电触头的磨损和失效。

推断测量，而不是直接测量

一个好的位置传感器设计准则是-测量你感兴趣的物体的位置，换句话说，就是直接测量它的位置。不要试图通过测量另一个部件的位置来推断或计算这个部件的位置。例如，不要试图用驱动电机的位置来推断齿轮传动链末端的位置，因为在传动链中存在背隙、间隙、零件之间的变化、机械故障、不同的热膨胀/收缩系数等等，这将不可避免地降低测量的性能和可靠性。

忘记电缆和连接器

电缆和连接器是传感器故障的一个主要原因。确保在任何结构设计中都考虑到它们，特别是确保当应用场合存在运动、冲击和振动时电缆上应力的消除。

不阅读传感器数据表中的附属细则

位置传感器行业是一个具有竞争力的行业。不幸的是，这导致一些制造商在规格性能数据方面过于商业化。通常他们会侥幸过关，因为业界也知道很多工程师不会读这样的论文。其结果是，公布的传感器性能数据，比如达到每转 10000 脉冲的分辨率，但是并没有提到准确度指标。另一个例子，传感器的分辨率高得惊人，但重复精度却很低，换句话说，也就是虽然传感器输出的分辨率很高，但是输出含有太多的噪声。

一个诀窍就是不要被一个数据表的头行数字误导—仔细阅读附属细则。

6.如何确定位置传感器

在为项目选择位置传感器时，第一步，也是最重要的一步是，完全弄清楚什么才是需要的，特别是传感器分辨率、重复精度和线性度。过多地指定这些特性会导致不

必要的开销。诀窍在于找到一个以最小总成本为目的的传感器—记住在分析中要考虑对现场出现故障的允许程度。

您可以使用以下检查列表来确保您已经考虑了规格数据中的所有重要内容。将此信息提供给一个位置传感器供应商，并提供一个有体积尺寸要求的机械图纸，这将为您的讨论提供一个坚实的基础。

A. 几何形式：例如，直线型，旋转型，曲线型，2D，3D

B. 外形尺寸：机械固定点，电缆布置，外形尺寸

C. 测量类型：增量式，绝对式

D. 测量全行程：例如 360°，或 600mm

E. 分辨率：必须测量的最小变化，比如 0.1°，或 0.2mm

F. 重复精度：即回到相同的点时测量的稳定性，例如，重复精度=+/-0.025mm

G. 线性度：与完全准确的读数之间的最大允许偏差。您可能需要仔细考虑这个问题，因为我们经常发现，对于许多应用来说，最重要的是重复精度。

H. 工作和储存温度范围：最典型的，-40~+85° C

I. 电源：例如，5V，12V 或 24V

J. 电信号输出：例如串行数据，A/B 脉冲，0-10V，4-20mA

K. 其它特殊要求：比如，“我们想要尽可能低消耗”，或者“传感器工作在硫酸液中”，或者“我们正使用一个电容传感器，存在可靠性问题”。

更多的信息及联系方式

Zettlex 设计和生产传感器，用于苛刻环境中的位置或速度的精确测量。我们的位置传感器采用一种独特的非接触式技术，在恶劣环境条件下提供高准确度、高可靠性的位置测量。

我们的感应式位置传感器应用于医疗、防务、航空航天、工业、海洋、赛车运动和石油化工等领域的伺服控制、电机编码器和用户人机接口装置中。

英国总部

Zettlex UK Ltd
Newton Court, Newton, Cambridge, CB22 7ZE, United Kingdom
Contacts: Mark Howard or Josef de Pfeiffer
Email: info@zettlex.com
Telephone: +44 1223 874444
Web: www.zettlex.com