



摘要：本文阐述了声表面波无源无线传感器的分类、原理和特点，详细介绍了声表面波无源无线传感器的发展历史、成功应用实例和国内外研究现状，分析了该传感器与其它传感器相比的优势和存在的不足之处，展望了研究的学术意义和潜在的应用前景。

关键词：声表面波传感器；无源无线传感器；谐振器；延迟线；编码器

中图分类号：TP212 文献标识码：A 文章编号：1006-883X(2004)04-0006-010

►► 文玉梅 周志坤 李平 杨进

一、前言

对环境、对象状态的感知，是人类智能的重要特征。模仿人的感觉功能的智能化传感，是现代传感技术的前沿和重要的研究内容之一。随着智能化、自动化技术发展，以及智能结构材料系统的深入研究，人们希望现代的智能结构单元和系统能够自诊断、自适应和自控制。

在智能材料结构系统技术的研究中，国外有关专家提出“粒子标记”技术^[1]，就是在工程材料中加入对特定的物理、化学参数敏感的物质微粒。这样，当这些材料形成工程结构时，结构本身对这些参量的变化就具有随结构空间分布的敏感特性。寻求合适的标记粒子是实施这项技术的关键，而更重要的是这些标记信号（敏感输出）应能够用比较容易的方法读出，才能形成实用的敏感材料和结构。所以把一些能够无源无线工作，特别是具有自供电和自诊断功能的敏感元件埋入工程材料中，较之埋入敏感的物质微粒，能够更容易地获得敏感输出信号，这是实现智能敏感材料、智能敏感结构切实可行的方法。

二、无源无线传感器分类、原理和特点

在传感器技术迅猛发展的今天，对于许多传感器应用的特殊场合，传感器和被测单元间的连线通常是无法实现的，例如，用连线传感器进行滑环、电刷、电机转子和许多运动物体的参量测量时，会产生许多的机械问题和电路问题，会出现中断、噪声，甚至根本无法进行测量^[2]。再如，直升飞机旋转时螺旋桨尖端速度和角速度的测量，汽车碰撞时车内加速度的测量^[3]，汽车轮胎内部压力、温度和摩擦的测量等^[4]，也是不能采用连线的方式，因此，必须采用无线传感器来实现测量。

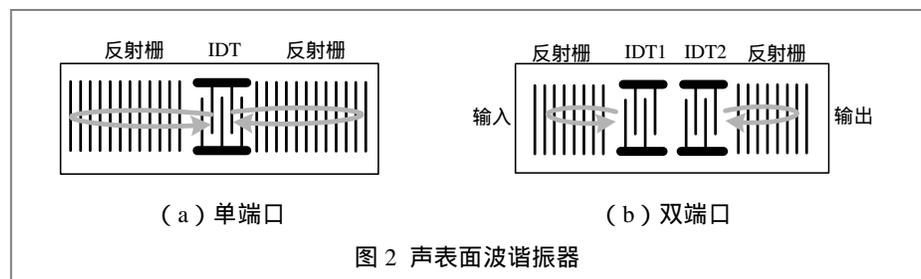
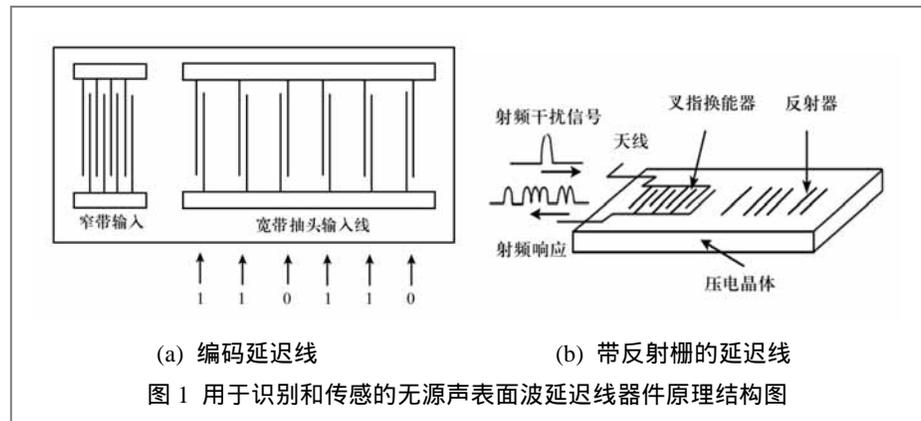
无线传感器按供能方式不同可分为两种：有源和无源传感器。前者由于有电池等电源供电，传感距离非常远，可采用各种电路，控制和处理方便、灵活，目前已广泛应用。然而，对于许多不能提供电源，需长期监测的场合，或电池不易更换的传感位置和易燃易爆等危险场合的应用，这种有源的无线传感器显然不能实用。无源传感器没有电源（如电池）直接供电，它是靠电磁波的能量维持传感器工作的。该类传感器根据能量耦合方式又可分为两类：电感线圈耦合型和天线型。

利用电感线圈耦合供能的传感器和应答器作为身份监测器,已广泛用于商场、图书馆、机场的物品管理和智能化的交通系统中。然而采用线圈等电磁耦合方式,能量主要集中在线圈中心很近的区域,其传感的距离很近,1m 的距离已是远耦合,1m 以上远距离系统更是非常罕见^[5]。并且,耦合的电能直接提供给传感器和处理电路,因此,要求发射的能量非常大。按国际标准 ISO 14443(7cm ~ 15cm 近耦合 IC 卡)和 ISO 15693(1m 疏耦合 IC 卡),此时的场强分别为: 1.5A/m H 7.5A/m 和 115mA/m H 7.5A/m。

天线型传感器采用天线收集空间的电磁能量,然后高效地转化为其它形式的能量。它能感知被测量的大小,然后,将被调制的传感量通过天线高效地转化成电磁能量发送给远端的接收系统,实现无源无线的传感和测量。由于能量转换方式的不同,从理论上它比电感耦合的传感器有更远的测量距离。目前,声表面波器件是将天线的电磁能直接、高效转换为声能进行传感的最佳器件之一。如重庆大学研制的 144MHz 无源无线声表面波传感器系统,采用半波长偶极子天线时,传感距离已达 10m 以上。

1965 年,White 等人首次在压电基片上制作金属叉指换能器,并在叉指换能器上施加交变电场,使基片上激发出声表面波。声表面波在基片上传播,其传播路径上的叉指换能器将声表面波再次转换成电磁波信号^[6]。由于声表面波的传播速度只有电磁波传播速度的十万分之一,所以压电基片上叉指换能器的这一功能适合于电子模拟信号处理技术,能实现多种模拟信号处理功能。

声表面波无源无线传感器和目标识别器的研究是上世纪 80 年代中后期开展起来的新兴研究领域^[1]。声表面波器件的电-声、声-电转换和高效蓄能特性为声表面波器件的无源无线应用奠定了基础。由于压电效应和逆压电效应,叉指换能器能够将电磁波和声



表面波相互转换,即实现机电能量互换。由于声表面波的频率至少大于 10MHz,属于电磁波射频范围,所以声表面波器件可以直接从空间耦合射频电波,实现无源、无线工作方式。声表面波器件的这一特性结合它的二元以及多元编码功能,首先被用作无线非接触识别器^[2]。

声表面波传感器按检测原理分为两种类型:延迟型和谐振型。

延迟型声表面波传感器结构上有许多形式,主要有编码延迟线(或扫频延迟线)和带反射栅的延迟线结构,如图 1。前者的激励信号主要采用编码脉冲或扫频信号方式,而后者则多采用冲激脉冲或间歇脉冲激励。

延迟型主要是利用激励信号与接收信号在时间上的时延或相位上的变化进行测量的。当外界被检测量发生变化时,将影响时延或相位。检测出该时延,就可感知被测量的大小。编码延迟线利用激励信号到达各个延迟抽头的相位是否同相或反相实现编码;而常用的带反射栅的延迟线则利用反射栅位置的不同,将延时信号构成不同的编码,便于对多个传感器或标识器进行识别。

谐振型声表面波传感器在一个或多个叉指换能器(IDT)的左右两边对称分布等间距的反射栅阵,形成谐振腔,典型的结构为单端口和双端口,如图 2



所示。由于谐振的特点,该传感器仅仅响应与谐振器固有频率相同或接近的激励信号,因此,可利用声表面波谐振器良好的频率选择性直接测量反映器件固有频率的谐振频率,从而感知被测量量的大小。

延迟型能利用延迟时间进行编码,从而构成较大规模的阵列传感器,但传感距离非常短;而谐振型传感器的品质因素较延迟型器件高许多,因而损耗极小,更适应于远距离的无源无线遥感。采用多个无源的声表面波传感器可构成分布式无源无线阵列传感器,只要阵列传感器中各个声表面波器件的叉指换能器具有不同的频率选择特性,或者不同的编码(解码)功能,就可以通过发射信号的频率或者编码选择激励阵列中各个传感元,从而达到识别(寻址)阵列中各个传感单元的目的。

三、国内外研究现状

无源无线声表面波传感器是一项较新的传感器研究领域,国外始于上个世纪八十年代中后期^[7],目前,该传感器原理及应用的研究主要集中在欧美日等发达国家和地区。而国内从上世纪九十年代中后期才开始探索^[8],先后有清华大学、上海交大和重庆大学等单位对该技术开展研究。近几年来,国内外对单个无源无线传感器、标识器的研究取得了许多的进展和研究成果,并将其扩展到许多应用领域^[9]。

多功能无源无线声表面波传感器,具有十分诱人的工程应用前景,也是目前传感器技术研究发展中较新的研究内容。对于谐振型和延迟型两类现有的无源无线声表面波传感器,各有不少应用的实例。如2000年德国Ilmenau技术大学的M. Binhack研究的谐振型无源无线声表面波传感器,是利用声表面波谐振器的谐振频率随外界参数变化而改变达到测量目的^[10]。而对于延迟编码型则有更多成功的例子,如1997年12月美国Pennsylvania州立大学的V.K.Varadan教授提出一种无源、无线反射式声表面波加速度测试系统,它用电磁波激励声表面波延迟反射器,根据天线反射回波的延迟来测量加速度,能应用于对直升飞机叶片高速转动时尖端的加速度及汽车碰撞时数据的自动测试^[11]和应力应变及温度的测量^[12,13]。奥地利Vienna技术大学的R. Steindl等采用带反射器的延迟线作为无线查询的传感器,该反射器是可编程的,这样,可实现对目标的程控编码^[14]。A. Pohl等研究成功

的汽车轮胎的压力、温度、摩擦的测量^[4,15]和刹车的监测系统^[16]。此外,目前世界各地还有许多各种无源声表面波查询、识别和传感器系统的研究成果^[9,17]。

国内专利主要是国外企业在中国申请的声表面波标识器专利,如西门子公司的L.雷恩德尔等申请的“用声表面波工作的识别或传感装置-声表面波装置”^[18],W.瑞勒的“无线问答表面波技术传感器”^[19],R.迈尔等的“用于高压设备、使用表面波技术的可用无线电询问的变流器”^[20],A.米勒尔等的“用于中/高电压设备具有表面波设备的电压表”^[21]和F.施米特的“采用声表面波工作的鉴别标识”^[22],这些专利大多是对声表面波标识器进行研究。此外,重庆大学开展了无源无线声表面波传感器技术研究,建立了无源无线传感器阵列系统,并在2002年初申请了三项中国专利:“声表面波无源无线多传感器信号接收处理装置”、“无源无线声表面波多传感器系统及其应用的频率识别方法”和“谐振编码型声表面波无源无线阵列传感系统”^[23-25]。

国外专利主要集中在欧美发达国家,研究的范围也比较广泛。如美国专利中有利用反射型声表面波器件的应答器^[26],也有由声表面波器件作为物体和目标识别的无线识别器^[27],还有对结构完整性检测的无源无线声表面波传感器^[28]。欧洲专利中有对基本的无源无线声表面波器件原理方法的研究^[29],也有应用扫频和相位识别的射频应答器和标识器^[30-32],还有对轮胎压力和温度测量的传感器^[33,34]。此外,世界专利中有无线查询器^[35],日本专利中有利用扫频信号的目标识别器研究^[36]。这些专利几乎涵盖了谐振型和延迟型的各种结构。

四、存在的主要问题

无源无线声表面波传感器是近十年来发展起来的新兴传感器,在国内外已有许多成功应用的例子,展现出非常诱人的发展潜力,然而,大多数无源无线传感器研究集中在延迟型和谐振型声表面波传感器的原理和应用问题研究。由于空间激励的电磁能量有限,传感器的体积较小,并且无法高效的收集和储存电磁能量,其传感距离非常近,限制了应用和普及。如何提高传感距离和信噪比是今后无源无线传感器的关键。此外,对于特定结构和测量参数仍然存在许多问题,如传感器数量与传感距离之间矛盾等。因此,

针对现有无源无线声表面波传感器存在的问题,对储能的、仿人的、自诊断的、自处理的、高精度的、超小型化的、远距离的压电无源无线智能化传感器原理和结构的研究,具有重要的科学意义。

五、结论

由于声表面波无源无线传感器具有非接触、快速、无电源、抗干扰、易编码、保密性好、成本低等优点,目前,已广泛应用于许多领域。由它构成的传感器阵列,传感元之间可无信号线连接,阵列输出也无需引线连接,分布更容易,应用不受限制,特别适合一些应用环境复杂,不直接接触的工程结构和环境的遥测、传感和目标识别。将无源的声表面波传感元分布在大型机械结构的运动部位,能不妨碍其运动而得到各种动态参数,如火车轮子、火炮及坦克的履带等;也可以将无源的声表面波器件置于地下及海洋的金属管道及线路中,还可以将它放置于许多不能有电源、高电压、强电磁场及强加速度运动的场合等。此外,适当加入其它敏感的材料于声表面波结构中,可传感各种其它的物理、化学参数,构造出更多种类的无源无线传感器。因此,对无源无线声表面波传感器的研究,尤其是对更远距离无源无线传感器研究,有广泛的应用前景。

参考文献:

- [1] Suwei Zhou, et al. Review of embedded particle tagging methods for NDC of composite material and structure[C]. Proc. of Smart Structures and Materials 1995, SPIE, 1995, Vol.2444, pp.39,
- [2] A. Pohl, et al. Radio signals for SAW ID tags and sensors in strong electromagnetic interference[C]. Proceedings of the IEEE Ultrasonics Symposium, 1994, Vol.1, pp.195-198
- [3] V. K. Varadan. Wireless remote micro-accelerometer. [C] Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 1998, Vol.3316, No.1, pp. 497-503
- [4] A. Pohl, et al. Measurement of Physical Parameter of Car Tires Using Passive SAW Sensors. [C] Advanced Microsystems for Automotive Applications Conference 98, Berlin, 1998, pp.250-262
- [5] Klaus Finkenzeller. 射频识别(RFID)技术[M].电子工业出版社, 2001
- [6] R.M.White et al. Direct piezoelectric coupling to surface elastic waves.[J] Appl. Phys. Lett., 1965, No.7, pp.314
- [7] Anon. TechNology focus: Norway implements rf vehicle identification. [C] London: Electronic Engineering, 1989, Vol.61, No.7, pp.42-43
- [8] 李源等. 声表面波无源传感器及其遥测系统的研究[J].电子学报, 1997, Vol.25, No.12, pp.79-81
- [9] Alfred Pohl. A Review of Wireless SAW Sensors.[C] IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, 2000, Vol.47, No.2, pp.317-332
- [10] M. Binhack, et al. A combination of SAW-Resonators and conventional sensing elements for wireless passive remote sensing. [C] Proceedings of the IEEE Ultrasonics Symposium, 2000, Vol.1, pp.495-498
- [11] Vijay K. Varadan, et al. Design and fabrication of wireless remotely readable MEMS accelerometer. [J] SPIE, 1997, Vol.3242, pp.36-45
- [12] V. V. Varadan, et al. Wireless passive IDT strain microsensor. [J] Smart Mater., 1997, No.6, pp.745-751
- [13] Vijay K. Varadan, et al. Design and development of a smart wireless system for passive temperature sensors. [J] Smart Mater., 2000, No.9, pp.379-388
- [14] R. Steindl, et al. SAW delay lines for wirelessly requestable conventional sensors. [C] Proceedings of the IEEE Ultrasonics Symposium, 1998, Vol.1, pp.351-354
- [15] A. Pohl, et al. The "Intelligent Tire" utilizing passive SAW sensor-measurement of tire friction. [C] IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 1999, Vol.48, No.6, pp.1041-1046
- [16] A. Pohl, et al. Wireless Interrogable surface acoustic wave sensors

for vehicular applications. [C] IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 1997, Vol.46, No.4, pp.1031-1038

[17] Werner Buff, et al. Passive remote sensing for temperature and pressure using SAW resonator devices. [C] IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 1998, Vol.45, No.5, pp.1388-1392

[18] L.雷恩德尔等(西门子公司). 用声表面波工作的识别或传感装置-声表面波装置. [P] 中国发明专利, 申请号: 97117768.6, 1997年

[19] W.瑞勒等(西门子公司). 无线问答表面波技术传感器. [P] 中国发明专利, 申请号: 96193349.6, 1996年

[20] R.迈尔等(西门子公司). 用于高压设备、使用表面波技术的可用无线电询问的变流器. [P] 中国发明专利, 申请号: 96193347.X, 1996年

[21] A.米勒尔等. 用于中/高压设备具有表面波设备的电压表. [P] 中国发明专利, 申请号: 96197869.4, 1996年

[22] F.施米特. 采用声表面波工作的鉴别标识. [P] 中国发明专利, 申请号: 95191741.2, 1995年

[23] 文玉梅、李平等. 声表面波无源无线多传感器信号接收处理装置. [P] 实用新型专利, 专利号: ZL 02 2 21602.2, 2002年

[24] 李平等. 无源无线声表面波多传感器系统及采用的频分识别方法. [P] 发明专利, 公开号: 02113358.1, 2002年

[25] 文玉梅, 李平等. 谐振编码型声表面波无源无线阵列传感系统. [P] 发明专利, 公开号: 02113480.4, 2002年

[26] Haivor Skeie, et al. Surface acoustic wave passive transponder having acoustic wave reflectors. [P] United States Patent, Patent Number: 4625208, 1986

[27] Elio A. Mariani, et al. Passive SAW-ID tag using a chirp transducer. [P] United States Patent, Patent Number: 5469170, 1995

[28] Elio A. Mariani, et al. Remote sensing of structural integrity using a surface acoustic wave sensor. [P] United States Patent, Patent Number: 5821425, 1998

[29] Lewis, Meirion Francis. Acoustic transducer. [P] European Patent, Patent Number: EP 0 140 618 A2, 1984

[30] J. Ronald Richard, et al. Remote wireless switch sensing circuit using rf transceiver in combination with a SAW chirp processor. [P] European Patent, Patent Number: EP 0 867 826 A2, 1998

[31] McColl, James R. A multiplexed surface acoustical wave apparatus. [P] European Patent, Patent Number: EP 0 415 063 A2, 1990

[32] Siemens. System for determining the position and/or velocity of an object by means of surface wave identification tags, to be used especially for loading and handling systems. [P] European Patent,

Patent Number: EP 0 618 460 B1, 1994

[33] Robinson Jeiry H. Remote tire pressure monitoring system employing coded tire identification and radio frequency transmission, and enabling recalibration upon tire rotation or replacement. [P] European Patent, Patent Number: EP 0 687 225 B1, 1993

[34] Wauer. Arrangement for wirelessly transmitting the temperature and for the presence of cookware on a cooktop. [P] European Patent, Patent Number: EP 0 883 327 A2, 1998

[35] Reindl Leonhard. Passive surface wave sensor which can be wirelessly interrogated. [P] International Patent, Patent Number: PCT/DE92/01075, 1992

[36] 竹内嘉彦. チャープ信号を用いた SAW-ID-TAG 装置. [P] 公开特许公报, 特开平 11-145874, 平成 11 年 (1999 年)

A Review of Passive Wireless SAW Sensors

Abstract: The classification, principle and characteristics of the passive wireless SAW sensors are introduced. The development history, successful applications and inland and oversea research situations for SAW passive wireless sensors are reviewed too. The advantages and disadvantages of SAW sensors, and estimates the scientific significance and foresees the potential application prospects are also analyzed.

Keyword: SAW sensors; passive wireless sensor; resonator; delay line; encoder

作者简介:

文玉梅, 重庆大学光电工程学院教授, 博士生导师, 现主要从事信号处理、仪器系统和图像处理的研究。

通讯地址: 重庆大学光电工程学院。

邮编: 400044 联系电话: 023-65105517

E-mail: ymwen@cqu.edu.cn

周志坤, 重庆大学光电工程学院研究生。

李平, 重庆大学光电工程学院教授, 现主要从事传感器、仪器系统和信号处理的研究。

杨进, 重庆大学光电工程学院研究生。

本文编辑: 李晓延 读者服务卡编号 001