

# IEEE1451.4 在机器人足部感知系统中的应用

蔡永娟<sup>1,2</sup> 沈春山<sup>3</sup> 吴仲城<sup>1,3</sup> 申 飞<sup>1,3</sup> (1.中国科学院 合肥智能机械研究所 安徽 合肥 230031; 2.中国科技大学 自动化系 安徽 合肥 230026; 3.中国科学院 强磁场科学中心 安徽 合肥 230031)

**摘 要:** 针对机器人传感器接口复杂多样的现状,提出了机器人传感器接口标准化的方案。通过赋予传感器电子表单 TEDS(Transducer Electronic Data Sheet),实现了机器人传感器的智能化,改善了由于不同传感器之间的异构性带来的诸多问题,将该接口标准用于机器人足部感知系统,并用 Labview 开发了其电子表单的读写及配置软件,实现了传感器的即插即用。

**关键词:** IEEE1451.4; TEDS; Labview; 机器人感知

## Application of IEEE1451.4 Standard to Foot Robot Perception System

CAI Yong-Juan<sup>1,2</sup>, SHEN Chun-Shan<sup>3</sup>, WU Zhong-Cheng<sup>1,3</sup>, SHEN Fei<sup>1,3</sup> (1. Institute of Intelligent Machines, CAS, Hefei230031, China; 2. Automation Department, University of Technology and Science of China, Hefei230026, China; 3. High Magnetic Field Laboratory, Chinese Academy of Science, Hefei 230031, China)

**Abstract:** With focus on various interfaces of robotic sensors, a scheme based on IEEE1451.4 is advanced in this paper, with the purpose of the standardization of robotic sensor interfaces. This standard realizes the intelligence of the robot sensors by endowing them TEDS, and it solves some of the problems due to sensors' differences. Sensor Plug-and-Play is achieved by using this standard on this foot robot perception system, and configuring TEDS of the sensors on PC is predigested by Labview.

**Keywords:** IEEE1451.4; TEDS; Labview; robot perception

## 1 引言

机器人由第一代的示教再现型机器人发展到立项阶段的智能机器人,设计向仿生感知领域拓展,大量的神经元节点提高了机器人对环境的感知能力,使之具有更高水平的“智能性”。机器人将具有识别、推理、规划和学习等智能机制,可以把感知和行动智能化结合起来,实现机器人与环境及机器人之间的完美交互。所有的机器人都装有传感器,由这些传感器组成机器人“感觉”外部环境的系统就构成了机器人的感知系统。机器人的一切行动都要从感知外界开始,一旦这个过程有障碍,那么它以后的所有行动都是徒劳,没有传感器系统的支持,就如同失去了感觉器官,

一个机器人的智能在很大程度上取决于他的感知系统。然而,如今机器人传感器的种类繁多、接口各异,因此机器人感知领域迫切需要规范传感器的接口、感知系统网络结构以及用于实现机器人传感器网络化的标准组件。

## 2 IEEE 1451.4智能传感器标准

20 世纪 90 年代美国国家标准技术研究院(NIST)领导制定了 IEEE 1451 协议族,旨在将现有的传感器方便地连接到网络和系统。1451 定义的传感器电子数据表单 TEDS(Transducer Electronic Data Sheet)对传感器关键参数进行了较为详细的描述。IEEE 1451.4

基金项目:国家高技术研究发展计划(863) (2008AA04Z205,2008AA042601)

收稿时间:2009-07-20;收到修改稿时间:2009-09-26

协议是在 IEEE1451.1 和 IEEE1451.2 基础上提出来的。一种小空间范围内智能传感器之间互联的标准<sup>[1]</sup>，该标准主要定义了 MMI<sup>[2]</sup>(mixed—mode transducer interface)混合模式接口和相应的电子数据表单 TEDS(Table electronic datasheet)，把传统的模拟传感器信号与低成本的串行数字连接结合在一起，以访问传感器内嵌的 TEDS，为了将“传感器即插即用”的优势延用于传统模拟传感器，用虚拟 TEDS<sup>[3]</sup>(存储在本地计算机或网络访问数据库中)以文档形式提供同样的传感器 TEDS，有了虚拟 TEDS，传统的模拟传感器也可以进行自我识别和描述。图 1 为虚拟 TEDS 的模型。虚拟 TEDS 让大量传统模拟传感器无需内置 EEPROM 就能实现 TEDS 的益处，应用于不能使用 EEPROM 之类电子器件的传感器时，虚拟 TEDS 也很有价值。根据 IEEE 1451 标准开发的传感器能大幅度减少传感器测量系统的搭建、配置及编程工作。

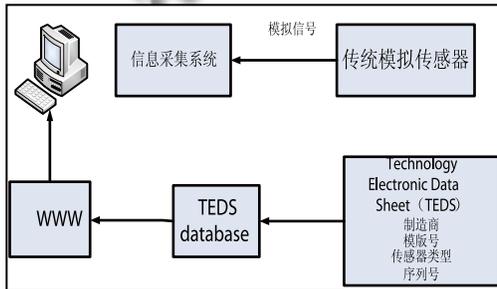


图 1 虚拟 TEDS 模型

### 3 机器人脚部感知系统

仿人机器人脚的整体模块如图 2 所示，其中六维力传感器能够同时检测三维空间的全力信息，即三维力信息( $F_x, F_y, F_z$ )和三维力矩信息( $M_x, M_y, M_z$ )；柔性阵列压力传感器是一种测量自身敏感面与外界物体相互作用参数的装置，属于触觉传感器范畴，并以行列形式排列，可以直接测量对象和环境的多种性质特征，如受力大小，受力区域等，这里的力敏阵列设置  $16 \times 16$  个敏感点，感应机器人足部所受压力的位置信息；陀螺仪是个小体积模块，提供了完全的三轴惯性检测(角度运动与线性运动)，用来检测机器人脚运动时与地面的夹角以及拐弯时扭转的角度，内置嵌入式处理器用于传感器校准与调节，SPI(串行外围设备)接口允许简单的系统接口与编程。系统数据处理信息量较大，采用 DSP 处理器，陀螺仪 SPI 接口直

接连到片上 SPI 总线，扫描力敏阵列的数据收发采用控制器内部自带 AD，六维力的数据采集精度及实时性要求比较高，这里采用外扩 14 位精度的 AD 对其进行采样。

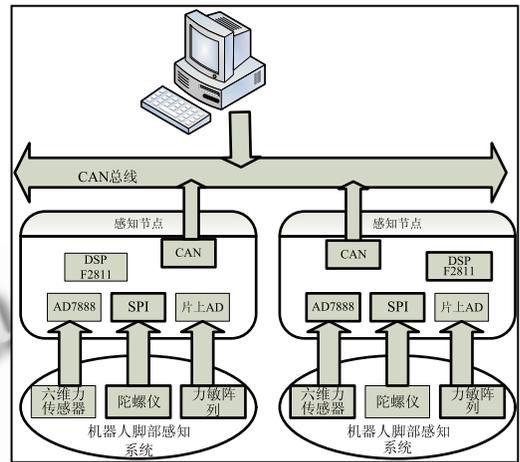


图 2 机器人脚部感知系统模块

## 4 TEDS的设计及实现

### 4.1 TEDS 的组成部分

IEEE 1451.4 标准的核心部分是 TEDS 的定义，其结构及其紧凑，具有灵活性与扩展性，可以应对范围广泛的传感器类型和要求。

表 1 IEEE1451.4 的 TEDS 构成

基本TEDS(64bit)
选择器(2bit)
模版ID(8bit)
标准模版TEDS(ID=25-39)
选择器(2bit)
模版ID(8bit0)
标定模版TEDS(ID=40-42)
选择器(2bit)
扩展结束选择器(1bit)
用户数据区

TEDS 信息分为以下几个关键部分：第一部分即基本 TEDS，包含了必要的传感器识信息，具体是制造商(14bit)、型号(15bit)、版本号(5bit)、版本号(6bit)和序列号(24bit)这五项信息；第二部分是标准 TEDS，包含了传感器专用的“数据表”信息，正确配置电气接口并将测量数据转换为工程单位所需要的数据；第三部分是校准模版，我们的六维力传感器需要输入标定信息，标准模版不能满足要求，所以需要添

加标定模版 TEDS，这里采用多项式的形式，校正引擎从该部分读入标定参数和传感器的实际输出，然后把它转换为实际的输入物理量值，对应的校准函数如下公式所示：

$$\sum_{i=0}^{D(1)} \sum_{j=0}^{D(2)} \dots \sum_{p=0}^{D(n)} C_{i,j,\dots,p} [X_1 - H_1]^i [X_2 - H_2]^j \dots [X_n - H_n]^p$$

式中： $X_n$  为从传感器输出的变量的阶数； $C_{i,j,\dots,p}$  为多项式每一项的系数； $D_{(n)}$  为输入变量的阶数。根据测量精度的要求，将校准函数分为若干个单元，每个单元中都有一个偏移值  $H_n$  用来控制算法数值大小，根据  $X_n$  是否落在相应的区间内而确定采用对应的校正算法。最后一部分用来存放传感器中自定义数据和信息，比如传感器位置信息、维修信息等。

### 4.2 TEDS 表达和处理

IEEE1451.4 采用变送器描述语言表达它所定义各类电子表单，这样用户对 TEDS 的读写更为直观方便。根据 TDL 的相关语法定义，使用专门的 TDL 语言解析器，用户只需要编写 TDL 语句就可以方便的读取或修改变送器的各种特性参数，显然这种方法屏蔽了具体的 TEDS 数据结构与存储单元之间的位映射，这些工作由解析器完成。

TDL 语法规定了三种命令语句，即识别命令 (Identification Command)、控制命令 (Control Command) 和属性命令 (Property Command)。识别命令提供唯一定义一个变送器 TEDS 的信息，该 TEDS 由一个或多个 TEDS 模板组成。具体包括模板开始及终止、模板 ID、模板间连接、模板有效性、模板文件校验、TDL 版本号、唯一描述标识等，还有一些识别命令没有在 TEDS 数据结构中实现，比如唯一组标识 (UGID, unique group identification)。控制命令描述的是整个 TEDS 的结构信息，并没有提供任何具体的变送器信息。它包括摘要、注释、选择和分支、结构数组、空格、TEDS 指针位置移动。属性命令用于读写 TEDS 数据结构中的各种属性参数，总是以百分号 % 开始。它的语法结构有以下三种：

(a) %<property\_tag>, <"description">, <access\_level>, <data\_type>, <format>, <physical\_unit>

(b) %<property\_tag>, <"description">, <access\_level>, <data\_type>, <format>, <physical\_unit> = <value>

(c) %<property\_tag>, <[subproperty]>, <"description">, <access\_level>, <data\_type>, <format>, <physical\_unit>

IEEE1451.4 标准给出了使用 TDL 表达电子表单的示例程序，包括读写和解析程序。采用 TDL 编写的 TEDS 文件可以方便的阅读、修改和解析，其处理过程如图 3 所示：

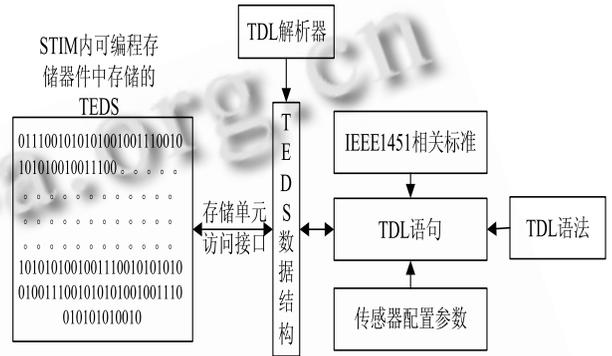


图 3 电子表单的 TDL 语言表达和处理

### 4.3 TEDS 配置界面设计

Labview 是 NI 公司推出的一种工业标准图形化编程工具，主要用于开发测试、测量与控制系统。它使用图形化的编程语言——G 语言，采用图形模式的结构框图构建程序代码，其程序按照数据流进行驱动。该软件提供了大量使用的空间，可以大大提高设计和测试时的工作效率。使用 Labview 的 TEDS 库的函数，可以创建应用程序来读取具体传感器的 TEDS 信息，基于传感器 TEDS 模版解析比特流，并以表格形式直观显示 TEDS 信息，图 4 为 Labview 的 TEDS 控件库，该库内嵌在测量 I/O 控件中，具体包括了读取虚拟 TEDS 文件、获取 TEDS 信息、获取 TEDS 特性、高级 TEDS 等。

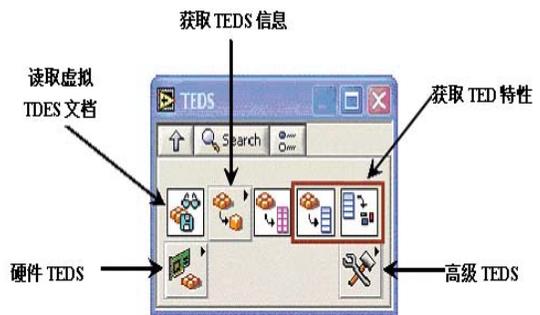


图 4 Labview 的 TEDS 控件

采用 Labview 软件作为界面开发工具,在上位机平台编写机器人脚部感知系统电子表格的配置界面。整个界面分为前面板界面设计和程序框图设计,前面板界面主要利用控制控件、显示控件和修饰控件对界面进行设计,程序框图设计则是利用串口通信控件、字符串控件以及程序结构将整个程序按照数据流的方式连接起来。该配置界面最终实现的主要功能包括:下达命令、通信参数设置以及 TEDS 的编辑、读取、写入和保存。

#### 4.4 实验结果

传感器的 TEDS 信息包含动态部分及静态部分,静态部分为固化的传感器属性信息,通过前面的 TEDS 配置界面进行编辑,与之配套的有 TEDS 读取界面,这里就不展开了;动态信息则是实时采集到的数据,表 2 给出了实验中六维力传感器的一组数据(条件:在 Mz 轴方向站体重 65 公斤的人),达到了预想的结果,为后期的 ZMP 计算提供了基础。

## 5 结论

依据 IEEE1451.4 设计的机器人传感器接口标准,可以很好地应用于机器人的脚部感知系统,完成自动获取传感器属性的功能,同时,通过实验验证,利用

TEDS 编辑界面能够由用户根据连接的传感器自行进行 TEDS 内容的修改,实时读取传感器的数据。IEEE1451 标准传感器的开发也为网络化测试的发展奠定了基础。

表 2 六维力传感器实验数据

力方向	Mx	My	Mz
大小(N)	18	22	-623
力矩方向	Fx	Fy	Fz
力矩大小 (N.cm)	328	-521	34

#### 参考文献

- 1 Lee K. IEEE 1451: A Standard in Support of Smart Transducer Networking. Proc. of the Instrumentation and Measurement Conference (IMTC), Baltimore, MD, May 1-4, 2000, 2:525 - 528.
- 2 IEEE Std 1451.4<sup>TM</sup>-2004. IEEE Standard for A Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators-Mixed Mode Communication Protocols and Transducer Electronic Data Sheet Formats.
- 3 戎舟,高翔.即插即用的智能传感器 IEEE1451.4 标准研究.计算机测量与控制, 2005,13(10):1122 - 1124.