

一种具有自主识别和分拣能力的双控双能电驱动建筑运货小车的初步新型设计

王 坚

上海建工二建集团, 上海 200080

[摘要]文中以工程现场非常常见的手推式和电动手推式两款运料小车为模板,设计了一款具有自主识别和分拣能力的多控双能电驱动的运货小车。它由太阳能和充电站充电两种充能方式;可由单片机按键主板操作界面操作来执行程序控制;或由远程遥控信号输入命令执行指令指挥运货小车完成行进和装卸动作;并加装了机器图像识别系统和一条灵活的机械臂和机械手,使得它能够在行进过程中完成物体的识别和分拣动作。文中重点整理了与该型小车功能相关的基础理论,依次为:光电理论;太阳能电池理论、数字成像理论、机器图像识别理论、机械臂与机械手理论,以及小车内部与行进传感器系统等。文中更给出了基础款小车可用的行进与装卸地 PLC 电路设计与控制程序,以及机械臂抓取可用的简易电路与控制程序的研究内容。最后,给出了小车的可能改型以及展望。

[关键词]运货小车;太阳能电池;数字成像;机械臂;机械手;传感器

DOI: 10.33142/ect.v2i10.13689

中图分类号: TP242.3

文献标识码: A

Preliminary New Design of a Dual Control Dual Energy Electric Drive Building Freight Car with Autonomous Recognition and Sorting Capabilities

WANG Jian

Shanghai Construction No. 2 Construction Group Co., Ltd., Shanghai, 200080, China

Abstract: In this article, a multi control dual energy electric driven freight cart with autonomous recognition and sorting capabilities is designed based on two commonly used material transport carts in engineering sites: manual push and electric manual push. It has two charging methods: solar energy and charging stations; Program control can be executed through the operation interface of the microcontroller button motherboard; Alternatively, remote control signals can be used to input commands and execute instructions to command the transport vehicle to complete its travel and loading/unloading actions; It has been equipped with a machine image recognition system and a flexible robotic arm and manipulator, enabling it to complete object recognition and sorting actions during its movement. The article focuses on organizing the basic theories related to the functions of this type of small car, in order: photoelectric theory; Theory of solar cells, digital imaging theory, machine image recognition theory, theory of robotic arms and manipulators, as well as sensor systems for the interior and movement of small vehicles. The article also provides the PLC circuit design and control program for the basic car's travel and loading/unloading, as well as the research content on the simple circuit and control program for the robotic arm's grasping. Finally, possible modifications and prospects for the car were presented.

Keywords: freight cart; solar cell; digital imaging; mechanical arm; manipulator; sensor

1 工程背景

如今,拥有自动巡航无人驾驶技术,以及多种传感器辅助控制的电动汽车,从自动化的角度看,俨然已算是一种可以自主行驶和处理路况信息等功能的可移动载人机器人。

然而,在工程现场,大量小件和散装材料的运输以及垃圾的清运,都用到了的一款建筑手推式运货小车(如图 1. a)。之后,才有了简易的电驱动行走的装卸用手推车(如图 1. b)。它有行进和停止的控制按键开关(图 1. c),以及一个卸货用的手推杆(图 1. d)。

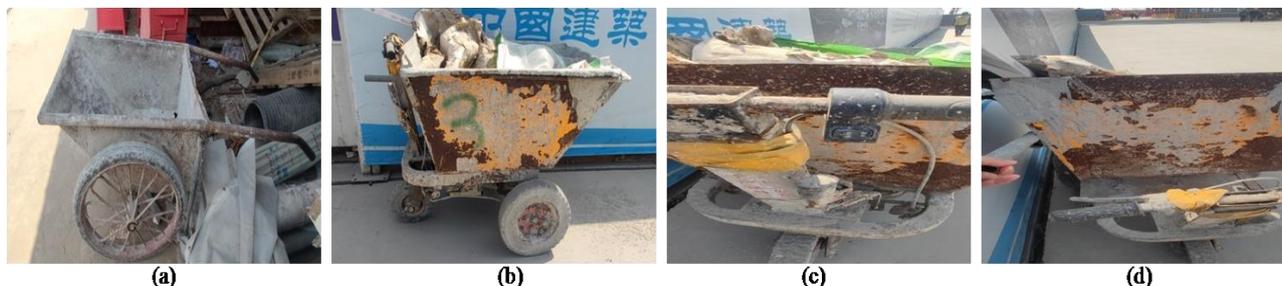


图 1 工程运货装卸小车, (a)手推式; (b)电动手推式; (c)电动手推式小车前进与停止控制开关; (d)电动手推式小车卸货时所用手推杆

建筑等行业，随着工人的减少和劳动力成本的增加，设计并研发一款新型的数控或远程遥控的电驱动多功能运货小车显得尤为必要。

2 基础理论

2.1 光电理论与太阳能电池

2.1.1 光电技术

太阳能具有普遍、无害、长久，和巨大的天然优点。狭义的太阳能包括光热、光电，和光化学。利用太阳能的技术主要包括：收集、转换、存储，和输送。唯一的缺点是能流密度不高。太阳光的辐射能量主要集中在 300~3000nm 的波段内，为主要研究对象，占据太阳能谱中 99% 的能量总量。其中，紫外线光波段约 9%，可见光 43%，红外光波段 48%。太阳能照射辐射强度是指太阳能传输到辐射能接收器的照射辐射强度。太阳能辐射通量除以该面元的面积为照射辐射强度，单位 W/m^2 。在地表的太阳光在 300nm~750nm 的波长区间内^[1]，太阳能辐射强度为 0.5~2.0 $W/m^2 \cdot nm$ 左右。

太阳光是太阳辐射的那一类属于光波段的光子所组成，是具有不同频率和波长的电磁波^[2]。通常把对应于真空中波长在 0.01 μm 到 1000 μm 范围内的电磁辐射称为光辐射或光谱（见图 2）。光有波粒二相性，传播时表现波动性，与物质发生能量交换时表现出粒子性。电磁波是能量的一种形式。频率高的电磁波可以在自由空间中传播，也可以束缚在有形的导体中传播。频率低的（即能量低）的电磁波需要借助有形的导体才能传播（见图 2）。凡

是高于绝对零度的物体，都会释放电磁波。相比于光波，人们易忽略无处不在的电磁波（只是频率范围不同而已）。赫兹实验证实了麦克斯韦的电磁理论。电磁波波谱与光谱图如下：

光子的能量计算公式： $E=h\nu$ 。其中， $h=6.626 \times 10^{-34} J \cdot s$ ； ν 是光的振动频率（ s^{-1} ）。光子的能量范围在 3.2~1.6 eV。图 1 电磁波波谱中的光波及其频率更高的基本粒子的能量可用普朗克能量计算公式计算。但粒子能量过高时，会超出电子的跃迁能级，而产生不可逆的破坏。硅光电池板在空间站中仍广泛使用因其宇宙射线的能量密度或并不高。

2.1.2 太阳能电池与光辐射探测器

电子是以一种带有负电的亚原子粒子，属于费米子，是构成原子的基本粒子之一，绕原子核运动，且可以通过导体传导^[3]。在外加电场的作用下，自由电子定向移动产生电子电流；空穴会吸引相原子中的价电子来填补形成空穴电流。两者之和为总电流。电的魅力在于它为人类提供了一种传输和控制能量最理想的方式。

当光通过固体时，由于光与固体中的电子、激子、晶格振动及杂质的缺陷的相互作用而产生光的吸收；反之，当固体吸收外界能量后，其中部分能量会以光的形式发射出来。半导体材料通常能强烈地吸收光能，具有 $10^5 cm^{-1}$ 的吸收系数。材料吸收辐射能导致电子从低能级跃迁到高能级。半导体材料可以通过吸收光子而产生电子，也可以通过电子的湮灭而发射光子。

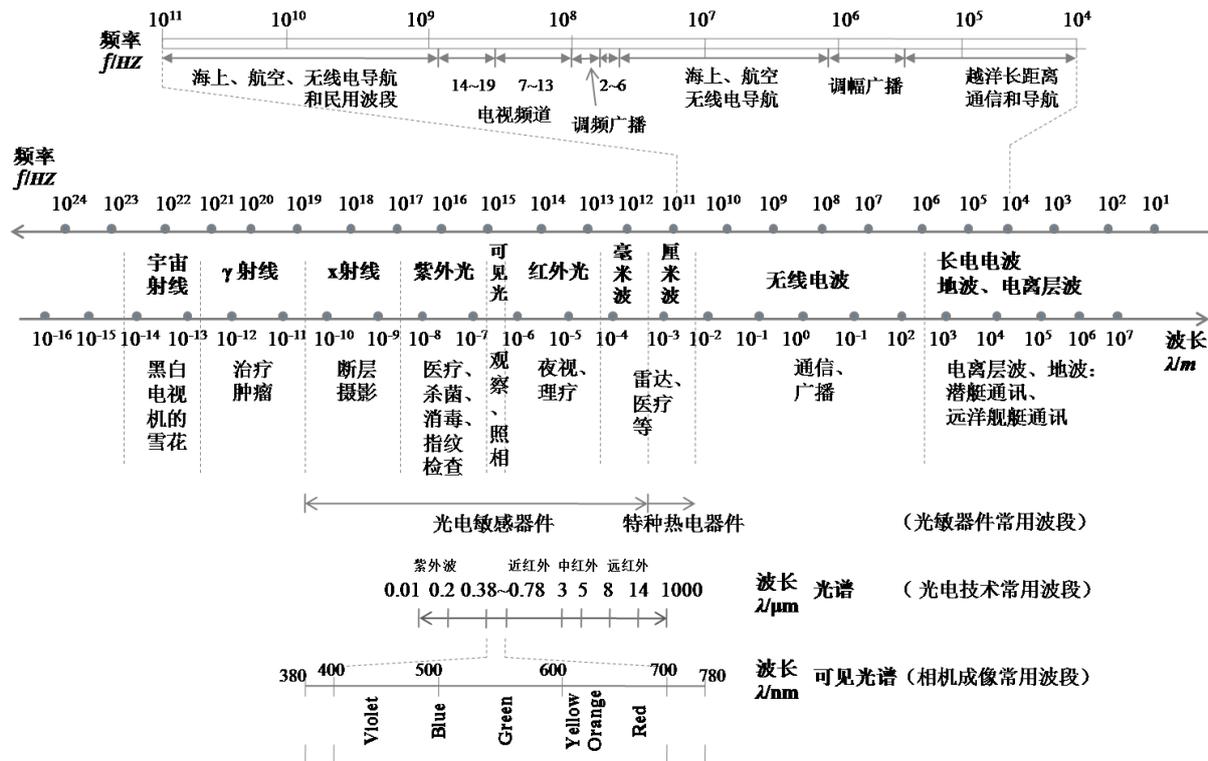


图 2 电磁波谱与光谱

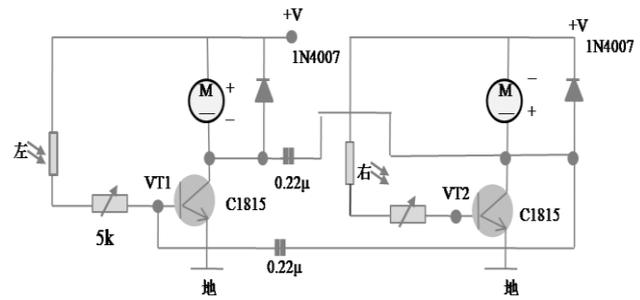
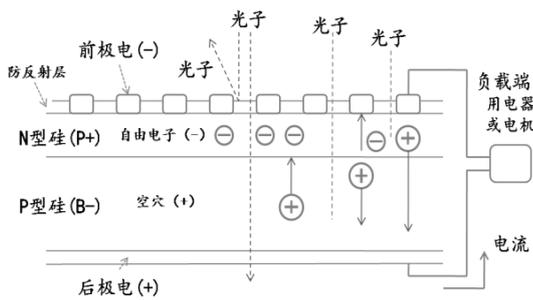


图3 (a) 硅PN结光伏发电原理示意图; (b) 简易的可左右移动寻光系统的小车的电路原理图(含红外接管、光敏二极管、振荡器, 和寻光电阻)

太阳能硅电池是一种典型的光电池, 一般由大面积硅PN结组成。N型半导体是指在本征半导体中掺入五价杂质元素, 如磷、砷等。P型半导体是指在本征半导体中掺入三价杂质元素, 如硼、镓等。太阳能直接转变成电能的物理原理是光生伏特效应。半导体的光生伏特效应的突出优点是不需要外接电源, 直接通过辐射或高能粒子激发产生非平衡载流子, 通过测量光生电压来探测辐射或粒子强度。所以常用作光或其它辐射的探测器^[4]。太阳能全光谱光子的吸收往往带有选择性, 即对某一波段的太阳能辐射能有效利用, 其余波段的吸收会引起电池温度上升从而影响转换效率。因此, 需要在太阳能利用时采用分频技术。

光伏发电是利用半导体界面的光生伏特效应, 该型小车拟采用硅光电池。硅PN结被光子冲击后, 激发了高能级状态下的电子, 使之成为自由电子, 自由电子会填充空穴形成空穴电流。自由电子在N极聚集, 空穴在P极聚集, 外部环路闭合时, 产生电流(见图3.a)。目前, 利用单晶硅光电效应的光伏电池效率已达23.7%, 多晶硅达19.8%。

2.1.3 寻光系统

借鉴某些生物的感觉器官, 可以用人工材料和电路技术来模拟生物的趋光特性。一个简易的寻光系统可以由常见的感光器件(红外线接收管、光敏二极管、光敏电阻), 以及一些电路配套器件, 如三极管、电位器、插接件、锂电池, 和充电器组成。红外线接收管除了可见光, 还可以感知红外线; 即使在黑暗环境中, 用电视遥控器的任意键来指挥机器人; 光敏二极管是专门检测光线的器件; 光敏电阻是一种电阻值随光线强度的增加而下降的特殊电阻^[5]。

电路的实际运行效果是把机器人感知的光线转换成脉冲, 驱动电机转动, 电机运转时间取决于脉冲持续时间, 是典型的光-机-电一体化的体系。光传感器(光敏电阻)和执行器(电机)的物理布局决定了寻光系统的特性。跟踪伺服系统具有捕获瞄准的功能, 只需增加一个电机并配上移动底盘, 即是可以到处移动的寻光机器人。

2.2 数字图像

2.2.1 成像原理

图像是对客观事物和环境的写真描述与表示, 是主要信息源。图像按照空间坐标、亮度, 或色彩的连续性可分

为模拟图像和数字图像。模拟图像是指空间坐标和亮度(或色彩)都连续变化的图像。数字图像是一种空间坐标和灰度都不连续的、用离散数字表示的图像。利用光学、照相方法对模拟图像的处理称为模拟图像处理。所谓数字图像处理, 就是利用计算机对数字图像进行系列操作, 从而达到某种预期目的的技术。

数字图像处理是集数学、物理、电子学、计算机科学、摄影技术、光学、信息学、控制学、心理学, 和生物学等学科的综合交叉技术。数字图像处理主要包括: 图像变换、图像增强、图像恢复与重建、图像编码与压缩、图像分割、二维图像处理与形状分析、纹理分析、模版匹配与模式识别。并且, 随着计算机科学和人工智能领域的突飞猛进, 在数字图像领域引入许多新的理论, 如: 多尺度分析、马尔科夫随机场、分形学, 和数学形态学。胶卷相机、数码相机和摄影机等照相摄影器材都仿照了人眼结构和成像原理。人眼结构如下图3.a所示: 光线通过角膜、前室水状液, 透过水晶体, 后室玻璃体, 并最终以小孔成像的原理成像在视网膜的黄斑区周围。虹膜调节晶状体厚度, 控制瞳孔大小, 以控制进入眼睛内部的光通量大小, 与照相机中光圈作用一样。视网膜上的光敏细胞, 感受到强弱不同的光刺激, 接收与产生强度不同的电脉冲, 并经神经纤维, 传输到神经中枢, 大脑形成影物影响的感觉^[6]。

机器视觉是使用机器代替人眼做测量和判断, 分为几个步骤: 先使用相机将拍摄目标转换成图像信号; 根据像素分布、颜色和亮度等信息, 图像信号会转变成数字信号并传递给专用图像处理系统; 专用图像处理系统对这些信号进行各种数字运算抽取目标特征, 包括常见的控制信息。如: 位置、数量、面积, 和长度等; 最后根据预设程序和条件, 输出最终结果, 如角度、尺寸、个数、偏移量等。典型的视觉系统包括图像采集和处理单元^[7]。

图像采集单元中镜头是重要的组成部分, 其主要作用与人眼结构类似, 先把图像聚焦(类似于晶状体的功能), 聚焦图像呈现在图像传感器的光敏面阵上。视觉处理系统的所有图像信息都是通过镜头得到的。所以镜头质量直接影响机器视觉系统的整体性能。图像处理单元中的光敏传感器是利用光电器件把光信号转换成电信号的装置, 类

似于眼睛结构里的视网膜。两者的物理原理都是光电效应。图像传感器是一种功能器件，类似视觉神经的作用，它通过光电器件的光电转换功能，将感光面上的光像转换成相应比例关系的电信号图像（像素阵列），如图4。

当然，图像的数据量大，因此需要大量的图像存储空间，而计算机内存就是一种提供快速储存功能的存储器。而图像显示也可以采用CRT显示器、液晶显示器，或投影仪等暂时性软拷贝形式，或用含有内存的显卡。

2.2.2 机器图像识别

电视图像信号的传输过程是首先由摄像机将图像变成电信号，加载到高频载波上，有天线发射；然后由接收端的电视机或显示屏利用天线将调制信号接收下来，最后通过调制解调由显像管或液晶屏还原成图像。

机器的视觉伺服控制是指利用计算机视觉数据作为伺服回路中的输入来控制机器的运动。有两种经典的视觉伺服控制：基于图像的视觉伺服控制（IBVS）和基于位置的视觉伺服控制（PBVS），如图5。

2.3 通信

一个机器人必须包含三大部分：传感器、控制器，和执行器。这三者之间的信息传输属于通信技术的范畴。该型小车需采用的通信技术不光包括在工程现场，通过发射设备发出的小车行进或装载的遥控信号，还包括视觉成像

系统中的摄像机（图像→视频）等模拟信号转换成可用单片机或计算机处理的数字信号^[8]。在电信领域，消息特指信息的载体，是通信系统的传输对象。它与电信号之间的转换由各种传感器实现。如摄像机把图像转变成视频电信号。在改型小车的信息源组成部分中需要将各种消息改换成原始电信号，并通过足够功率的发射装置产生适用于在信道中传输的信号，并应具有足够功率以满足远距离传输和抗干扰的需要，包括信号的变换、放大、滤波、编码，和调制解调等过程。通过小车对信息的识别和处理能力，判断其自动化程度甚至是智能程度。

2.4 机械手臂

机械臂类似于第一代机器人（工业机器人），机械杆件部分并不复杂，但每个轴的角位移的实现需要设置一个旋转圆盘并在每个轴的驱动末端安装一个旋转光电编码器。实现位移和速度测量的编码器按原理分为光电式、磁场式、感应式，和电容式。以应用最为广泛的光电式传感器为例：光电编码器是利用光电效应原理，将角度、位置、转速等物理量转化为电气信号并加以输出的一种传感器。它是将位移转换成一串数字脉冲信号的旋转式传感器。这些脉冲信号能控制角位移。当编码器加装齿轮条或螺旋丝杠时，也可用于测量直线位移。编码器产生的电信号可由数控装置CNC，可编程控制器PLC，或其它嵌入式控制系统来处理。

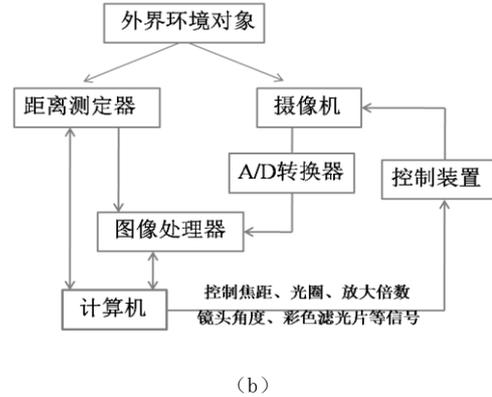
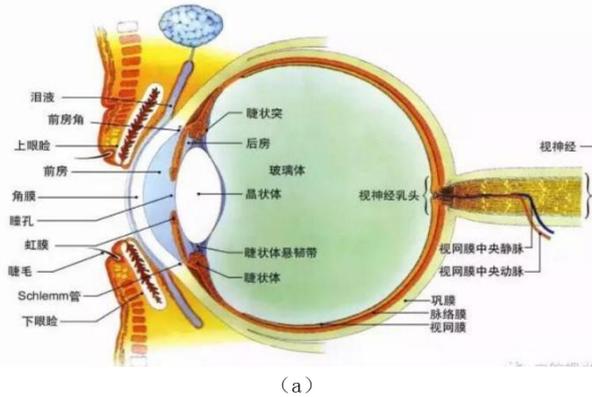


图4 (a) 以眼球的侧向剖面图理解成像原理（图片来源于网络）；(b) 机器视觉成像原理框图

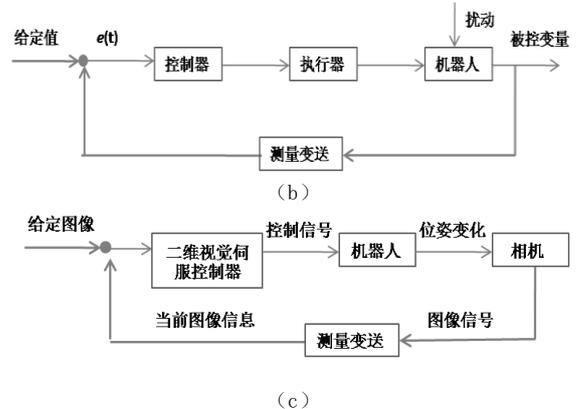
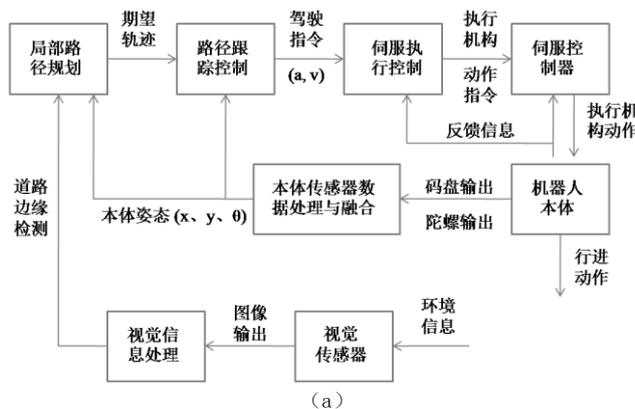


图5 基于图像的机器人视觉伺服，(a) 小车移动信息的主要处理过程框图；(b) 机器人视觉伺服控制框图；(c) 基于图像的机器人视觉伺服结构框图

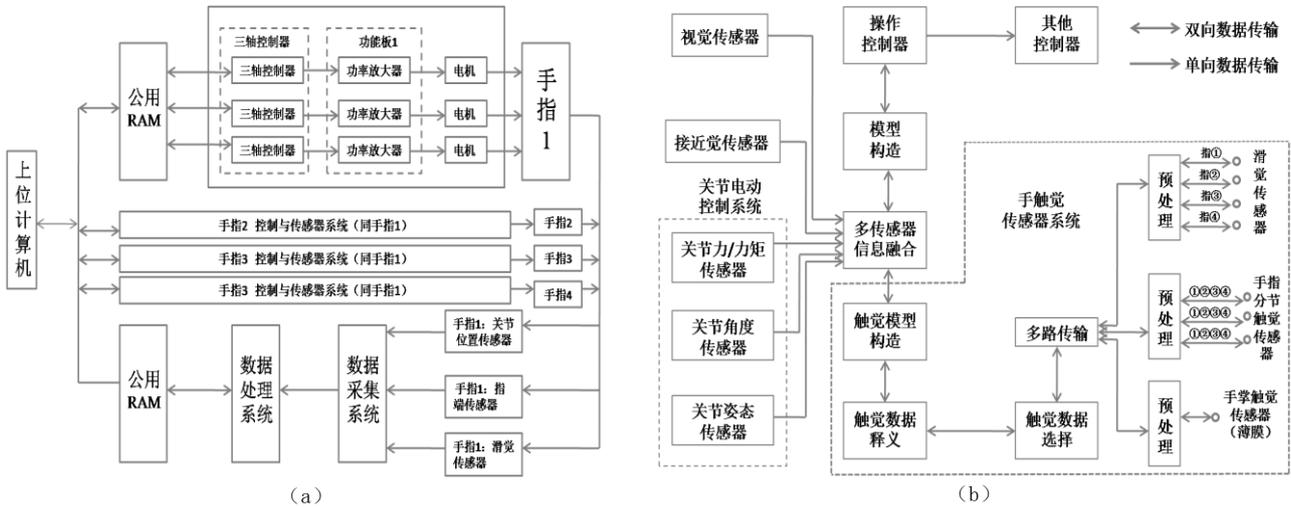


图6 (a) 三节式电驱动并配三型传感器的四指柔性机械手控制系统框架图; (b) 三节式电驱动并配三型传感器的柔性机械手传感器系统框图

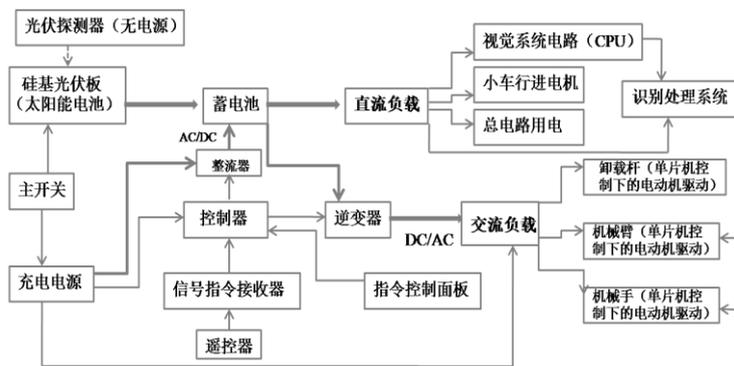


图7 新型电动运货小车电力与控制系统内部结构示意图

2.5 机械手

机械手在抓取易变形、易碎物体时会遇到一定的困难。抓取用力过大会损伤被抓取的物体。而用力过小时则无法将物体抓起或造成滑落。因此在机械手臂的末端重点部位需要加装滑觉和压觉传感器。尤其滑觉传感器可以帮助机器人实现对物体的精确软抓取。小车拟采用的机械手的控制与传感器系统的结构框架如下图6所示:

2.6 传感器系统

运货小车及其改型加装的传感器系统分为四个部分:外部采用的红外接近觉传感器,感知外部的环境;采用内部传感器检测自身的运动状态;采用机械手臂与手上的传感器中的数据融合产生指令,并控制各执行机构执行动作;小车前、后部行进时的视觉传感器。

内部传感器主要包括:里程仪、激光陀螺导航平台、磁敏感转速仪,以及几个电位计组成。里程仪安装在车体的左右后轮上,由两个光码盘组成里程仪,完成车的相对定位。同时,激光陀螺导航平台完成车体的绝对定位。其输出通过计数器传送到处理器。激光陀螺导航平台准确提供车体的方位角。磁敏感转速仪。磁敏感转速仪输出脉冲信号,脉冲经过频压转换后由A/D转换器输入处理器,控制发动机转速。其中,脉冲信号频率与磁电式传感器中旋

转触发齿轮盘的转速与齿数成正比。电位计用于测量各执行机构的状态,反馈信号经由A/D转换器进入处理器。

3 新型设计

3.1 内部电路及控制系统

新型运货小车设计成配有硅基光伏板和太阳能电池,与电站充电方式相结合。装有简易的无需电池供电的光伏探测器,可显示所在时间段和区域内太阳能可利用的强度和充电效率。所充电量存储在蓄电池中,也可用充电电源直接充电。小车的视觉成像系统、行进动力系统,和总电路用电采用直流电拖动。装卸时自动支撑起卸载所用杆件、机械臂,以及机械手的动力拖动采用交流电驱动。信号接收方式设置为单片机控制主板按钮输入型和遥控电信号控制型两种。当然,出现故障时,有主开关可关停电机而采用传统人力去矫正和修复等动作。货运小车内部电路及控制系统结构如图7:

货运小车的视觉成像系统(CPU)和识别处理系统是小车行进和机械手臂抓取物品和进行简易操作的主要信息源和信息处理部分。可以一直升级至目前发展中的神经网络和机器自主学习的AI技术。机械臂和机械手的精准程度和智能程度,也可根据传感器和处理器的配置进行智能化升级。

3.2 外观设计

3.2.1 整体外观设计

前轮设置转向电机，控制小车前进的转向。后轮为动力轮，为小车驱动轮，设置驱动用电机；前轮为转向轮，设置转向用电机。该型具有自主识别和分拣能力的双控双能电驱动建筑运货小车的外观总体设计图如图 8：

3.2.2 机械臂和机械手

该型小车上的机械手臂设计成可完成自主识别和分拣地面物品和零散材料等的任务；同时，也可替代工人完成某些特定危险场景下，或高稳定性要求下的工作。采用全电动设计，用伺服电机带动输出圆盘；通过电机带动的

圆盘旋转控制机械臂的活动。旋转半径内的咬合部分设置成齿状轮。该型具有建筑运货小车的机械臂和机械手设计如图 9：

尼龙绳韧性好，有弹性，用尼龙绳作手指的牵引带，类似于神经与肌肉功能，每个关节与尼龙绳一起共同控制手指的弯曲程度和限制反向弯曲。铜芯起到衔接轴的作用，使关节之间可以自由转动。确定好尼龙带的长度，把它们用压片固定在牵引器上。仿照人类的抓取动作，先食指、中指、无名指、小拇指收拢，最后拇指才收拢。只需要拇指的尼龙带适当放长。当舵机带动牵引器转动时，先拉动其他四个手指，到一定弯曲角度时，拇指才被牵引即可^[9]。

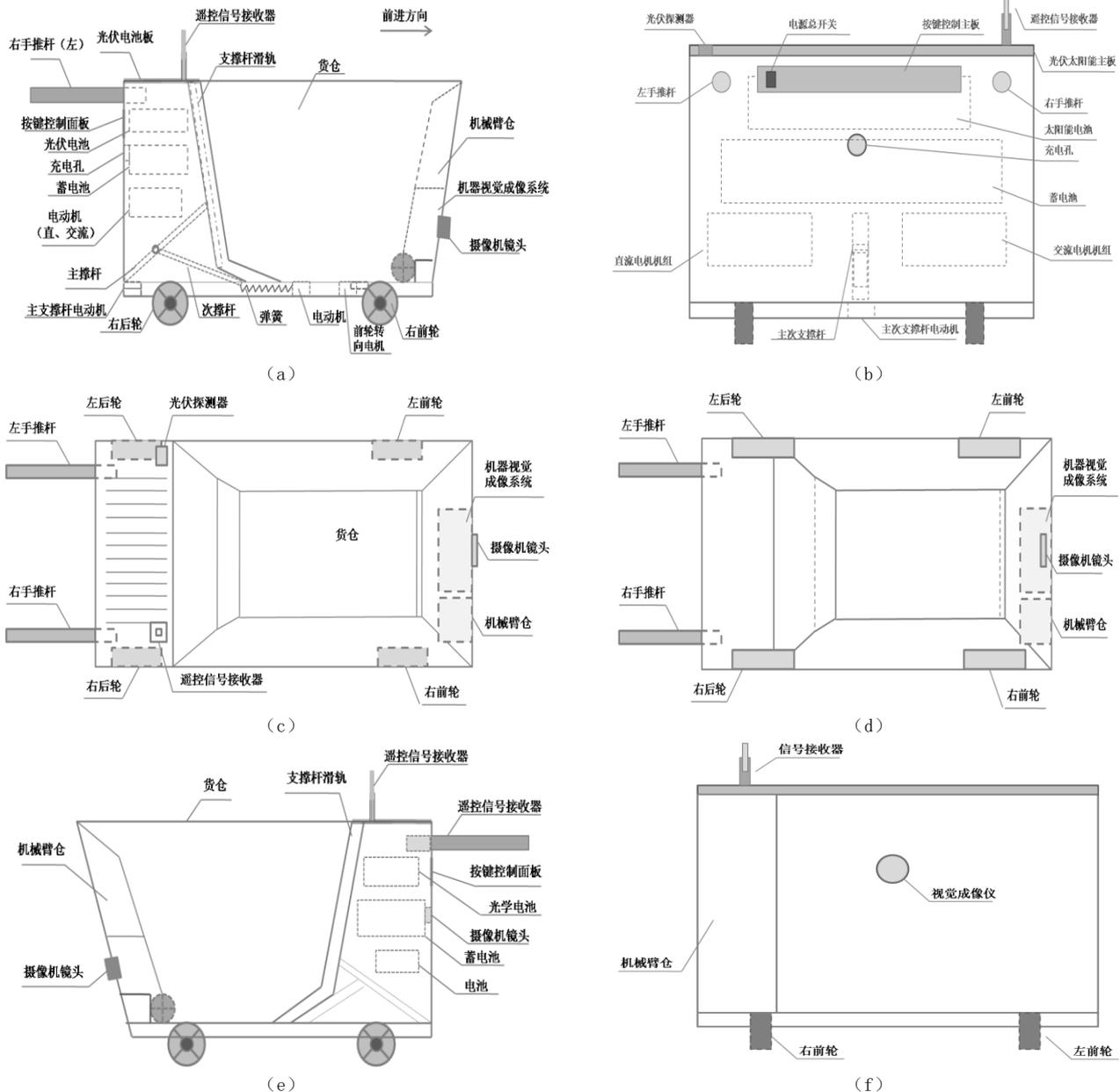


图 8 运货小车外观总设计示意图，(a) 立面（右）；(b) 后立面（车尾）；(c) 俯视图（车顶）；(d) 车底（右）；(e) 左立面；(f) 正面

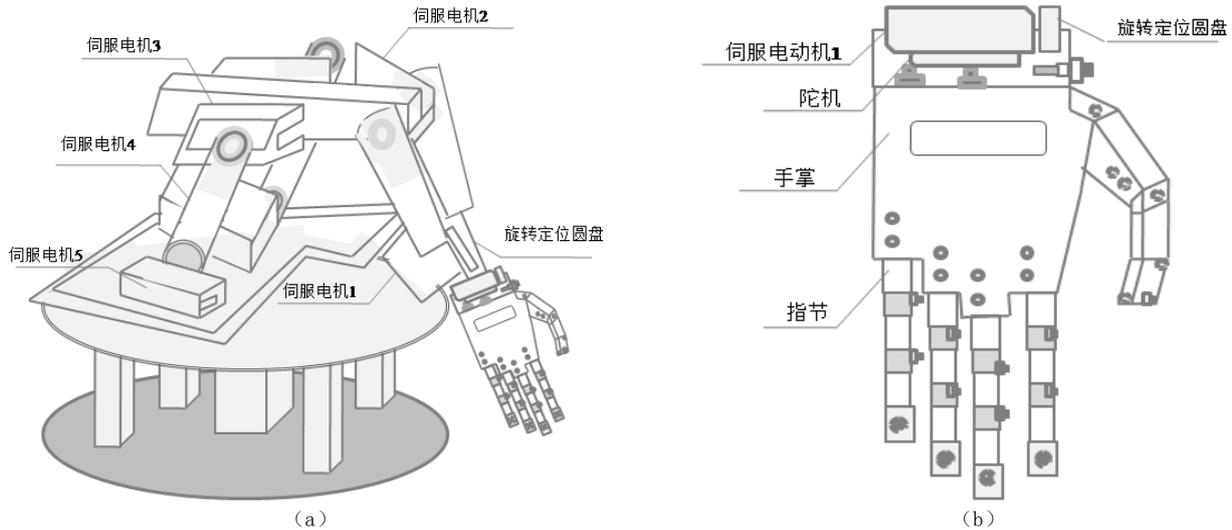


图9 运货小车机械臂和机械手结构示意图, (a) 机械臂与机械手; (b) 机械灵活手细节图^[9]

4 部分电路与运行程序

4.1 小车运行与装卸货物流程与程序

运料小车在 A、B 两地之间往返, A 点为卸料处, B 点为装料处。在 AB 两地间开始, 小车启动并达到 B 点, 装料; 完成后向前到达卸料处, 并卸完料, 再向右行驶回到 C 点。在 PLC 系统电路控制的模式下, 该型小车可以执行两点间往返装卸料的重复性工作。如图 10 所示:

初步设定卸料时间 $t_1=60s$, 受定时器和继电器控制; 装料时间 $t_2=30s$, 受定时器和装料继电器控制。由此, 列出 PLC 控制电路下的行进系统的 I/O 分配表, 如表 1 所示。

该型自主往返装卸的运货小车, 在采用 PLC 控制电路来自动操控往返与装卸动作模式下, 可避免采用更为复杂的电路连接和实现无人化操作。小车由启动(左移、右移)和停止按钮进行控制。小车右移启动运行后, 右移至限位

开关 SQ_1 处, 此时运料小车停止右移并开始装料, 30s 后装料完成。然后小车开始左移, 左移至限位开关 SQ_2 处, 小车开始卸料, 60s 后卸料结束。再开始右移, 如此循环, 直至按下停止按钮。根据顺序控制程序设计步骤和规划, 在分析送料小车控制工艺的基础上, 绘制送料小车的往返运行的控制电路图和自动连续运行顺序功能如图 11:

4.2 机械手臂抓取运行程序

采用 AT89S51 来控制 6 个 R/C 伺服电机。其中, 6 个伺服电机中 4、5 共享一个信号源。这两个电机并联, 动作一模一样, 为机械臂中的第四轴提供最大的扭矩。该型小车中的机械臂和小车常常需要离线工作, 因此可充电的蓄电池可使用锂电池或聚锂电池(串联至 5~6 伏)。由于锂电充放电效果很好, 可提供电流较大, 非常适合机械臂的使用, 如图 12。

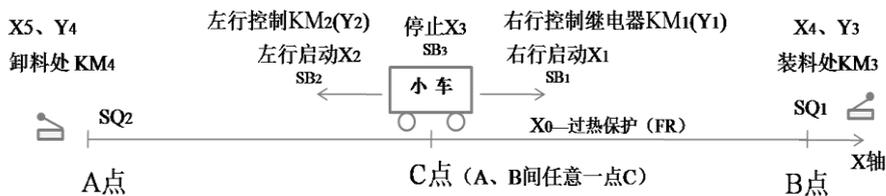


图10 运料小车装载货物往返工作示意图

表1 采用 FX2N 系列的 PLC 往返控制电路中的 I/O 分配表^[9]

输入			输出		
设备名称	代号	输入点编号	设备名称	代号	输出点编号
过热保护继电器	FR	X_0	左行限位开关	SQ_2	X_5
右行启动控制按钮	SB_1	X_1	左行接触线圈	KM_1	Y_1
左行启动控制按钮	SB_2	X_2	右行接触线圈	KM_2	Y_2
停止按钮	SB_3	X_3	装料电磁线圈	KM_3	Y_3
右行限位开关	SQ_1	X_4	卸料电磁线圈	KM_4	Y_4

5 结论与展望

该型小车采用的机械手臂只能无差别地抓取物品,当然也可以采用液压传动。但由于缺乏传感器和处理器的安装,手臂还属于自动化的机械构件,而没有达到机器人手臂的精密控制,更遑论达到智能传感的程度。该型小车中的机器视觉成像系统、机械手臂的传感器与控制系统需要非常复杂的电路设计与制作,目前个人和小团队尚无法完成如此高要求的电路与相关芯片的制造。

此外,通过加装与扫地机器人中相近的超声波技术,可实现小车的智能避障、行进路线记忆,以及自动回充电站充电(无线充电区域)等功能。为获得更强的光电效应,也可选用砷化镓、磷化铟等。

[参考文献]

- [1]王庆有. 光电技术[M]. 北京:电子工业出版社,2018.
- [2]杨金焕. 太阳能光伏发电应用技术[M]. 北京:电子工业出版社,2014.
- [3]周治平. 硅基光电子学[M]. 北京:科学出版社,2023.

[4]靳瑞敏. 太阳能电池原理及应用[M]. 北京:北京大学出版社,2017.

[5]臧海波. 机器人制作-从入门到精通[M]. 北京:人民邮电出版社,2017.

[6]贾永红. 数字图像处理[M]. 武汉:武汉大学出版社,2022.

[7]邵欣,马晓明,徐红英. 机器视觉与传感器技术[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2017.

[8]樊昌信,曹丽娜. 通信原理[M]. 北京:国防工业出版社,2021.

[9]王允上. 学用单片机制作机器人[M]. 北京:科学出版社,2012.

[10]韩雪涛. 步步图解自动化综合技能[M]. 北京:机械工业出版社,2023.

作者简介:王坚(1986.12—),毕业院校:天津理工大学,所学专业:项目管理,当前就职单位:上海建工二建集团有限公司,职务:项目副经理,职称级别:工程师。