

# 基于光电原理的微型拉压力传感器

李正伟<sup>1</sup>, 魏嘉辰<sup>1,2</sup>, 刘泽宇<sup>1</sup>, 程龙<sup>1</sup>

(1. 中国科学院自动化研究所 北京 100190;

2. 北京科技大学 北京 100083)

Email: lizhengwei2017@ia.ac.cn

**摘要:** 压力传感器一直在各个领域发挥着重要的作用, 但之前的研究大多基于传统的压电、压阻、电容原理, 其在一些环境中易受到干扰。我们设计了一种基于光学的拉压力传感器, 其具有最大 7N 的拉压力双向检测范围, 与  $0.33\text{N}^{-1}$  的测量灵敏度, 且通过简单的改变其内部的弹簧刚度可以轻易的改变传感器的测量范围与灵敏度以及其小巧的结构, 使得该传感器能够被用于大多数机器人应用环境。

**关键词:** 光学、拉压力传感器

## 1、研究背景

随着人工智能的发展, 具有高灵敏度、宽检测范围、不受环境影响的压力传感器因其在人机交互<sup>[1]</sup>、电子皮肤<sup>[2]</sup>、运动<sup>[3]</sup>、娱乐<sup>[4]</sup>等实际应用中的巨大潜力而收到广泛关注。传统压力传感器根据其输出电信号类型的不同可以分为三类, 即压电式<sup>[5]</sup>、压阻式<sup>[6]</sup>和电容式<sup>[7]</sup>压力传感器。然而, 以上以电气原理为基础的压力传感器易受环境因素影响, 如温度、电磁干扰。另一方面, 基于光学的传感方法正在迅速发展, 并带来高灵敏度和鲁棒性, 已经有大量的研究通过可变形橡胶来改变光的传播来检测压力<sup>[8,9,10]</sup>。

然而, 由于对刚性和双向拉压检测的需求, 具备高灵敏度的基于光学的小型拉压力传感器尚未实现。在此, 我们提出了一种新型拉压力传感器, 通过光学方法检测拉力和压力。该传感器包含两个传感单元, 在长时间运行和重复测试中表现出一致的响应和卓越的耐用性, 同时提供高灵敏度和高达 7N 的正常压力响应范围。其结构紧凑灵巧, 能够在大多数触觉压力应用场景中准确地提供拉压力信息。

## 2、拉压力传感器的制造

拉压力传感器的构造如图 1 所示, 首先, 利用 3D 打印机 (Markforged X7) 打印好零件, 模型中的螺纹结构使得该拉压力传感器能够更方便的应用于机器人场景。如图 1 (a) 所示的紫色结构为可以上下活动的活塞, 在其上下各放置一个弹簧, 通过调节弹簧的刚度, 可以轻易的调节该拉压力传感器的测量范围和测量灵敏度。在活塞的中间部位有一个空腔, 空腔两端为两个光敏元件和两个 LED, 光敏元件和 LED 相对, 并被固定在外壳上, 不随活塞运动。如图 1 (b) 所示为拉

压力传感器实物图，传感器规格为 13mm × 13mm × 28mm，传感器主体部分长 15.8mm。

如图 1 (c) 所示，当活塞运动时，因为空腔的移动，使得上下两个光敏元件接收到的光信号发生变化（红色箭头代表光线），通过检测两个光敏元件的传感信号的变化可以推断出该传感器收到的拉力和压力。比如在施加压力时，活塞向下稍加移动，空腔随之向下移动，使得位于上方的光敏元件 1 受到活塞的阻挡，而位于下方的光敏元件 2 更多的暴露在空腔对面 LED 的光下，所以光敏元件 1 的电压下降，光敏元件 2 的电压上升，拉力则相反。

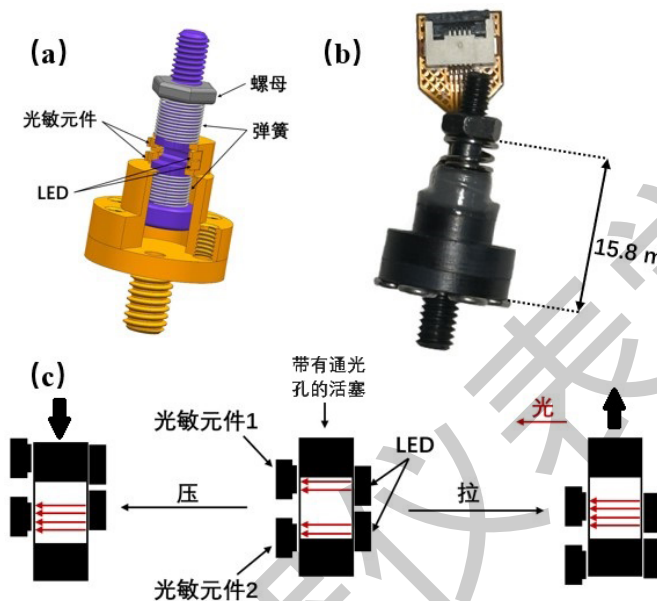


图 1 (a) 拉压力传感器的设计模型；

(b) 拉压力传感器的实物图；

(c) 拉压力传感器的原理示意模型。

Figure 1 (a) Design model of the sensor;

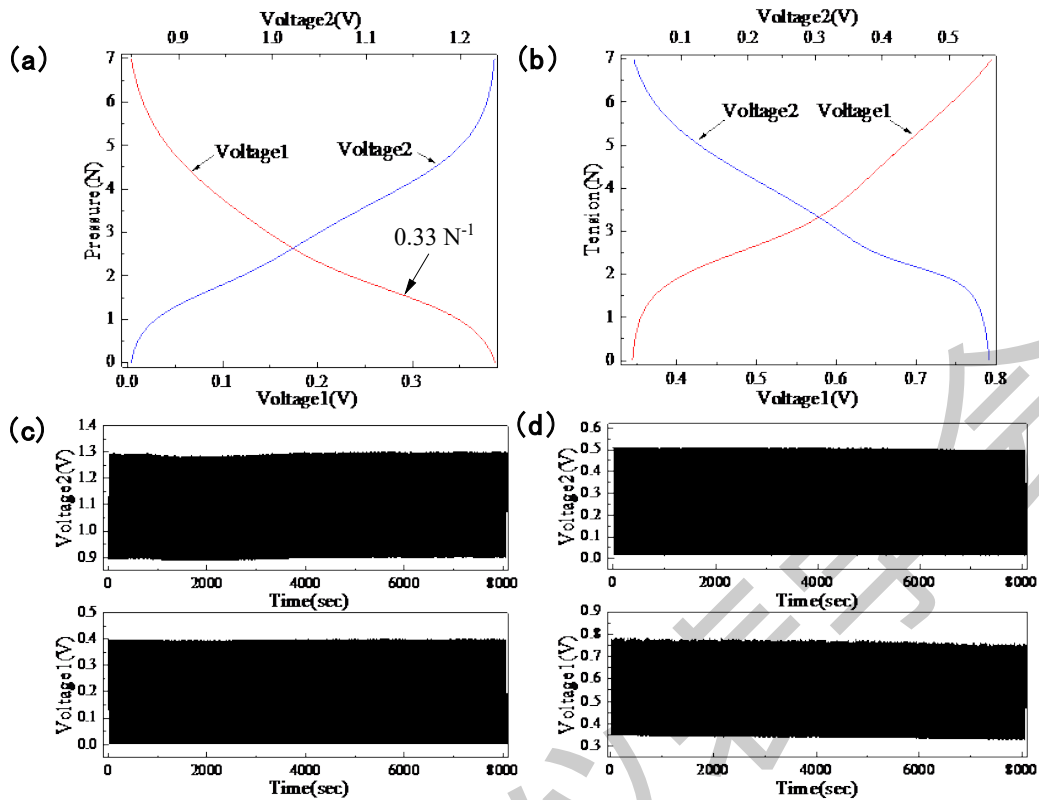
(b) Physical diagram of the sensor;

(c) Schematic diagram of the sensor principle.

### 3、实验部分

我们通过配置六维力传感器的三维电机平台对拉压力传感器的拉压特性进行了实验，压力和拉力实验结果分别如图 2 (a)、(b) 所示。

通过实验结果可以发现，在施加压力和拉力时，两个传感单元的信号变化符合上一节中的原理设计。并且，通过实验结果可以发现，该传感器能够检测高达 7N 的压力和拉力与最大  $0.33\text{N}^{-1}$  的灵敏度，灵敏度通过以下公式得出。



$$K = \Delta V / (V_0 \cdot \Delta N)$$

图 2 (a) 传感器压力性能检测；(b) 传感器拉力性能检测；(c) 传感器在 7N 压力下循环 450 次的重复实验；(d) 传感器在 7N 拉力下循环 450 次的重复实验。

Figure 2 (a) Pressure performance testing of the sensor; (b) Tension performance testing of the sensor; (c) Repeated testing of the sensor under 7N pressure for 450 cycles; (d) Repeated testing of the sensor under 7N tension for 450 cycles.

同时，我们对拉压力传感器进行了重复性实验，结果如图 2 (c) (d) 所示，分别对该传感器施加了 450 次的压力和拉力。从结果中可以发现，该传感器即使在长时间的运行过程中仍能保持较好的检测性能。

## 4、结论

综上所述，我们制作了一个基于光学的拉压力传感器，这种基于光学的传感器使其能够在一些特定环境下进行工作，比如电磁干扰环境。该传感器具有 7N 的拉压力测量范围与 0.33N<sup>-1</sup> 的灵敏度及小巧的结构，并且通过简单的改变其内部的弹簧刚度可以轻易的改变传感器的测量范围与灵敏度，使得该传感器能够被用于大多数机器人应用环境。

## 参考文献

- [1] Shao B, Lu M H, Wu T C, et al. Large-area, untethered, metamorphic, and omnidirectionally stretchable multiplexing self-powered triboelectric skins[J]. *Nature Communications*, 2024, 15(1): 1238.
- [2] Takei K, Takahashi T, Ho J C, et al. Nanowire active-matrix circuitry for low-voltage macroscale artificial skin[J]. *Nature materials*, 2010, 9(10): 821-826.
- [3] Zang Y, Zhang F, Di C, et al. Advances of flexible pressure sensors toward artificial intelligence and health care applications[J]. *Materials Horizons*, 2015, 2(2): 140-156.
- [4] Amjadi M, Kyung K U, Park I, et al. Stretchable, skin-mountable, and wearable strain sensors and their potential applications: a review[J]. *Advanced Functional Materials*, 2016, 26(11): 1678-1698.
- [5] Peng Y, Que M, Lee H E, et al. Achieving high-resolution pressure mapping via flexible GaN/ZnO nanowire LEDs array by piezo-phototronic effect[J]. *Nano Energy*, 2019, 58: 633-640.
- [6] Choong C L, Shim M B, Lee B S, et al. Highly stretchable resistive pressure sensors using a conductive elastomeric composite on a micropyramid array[J]. *Advanced materials*, 2014, 26(21): 3451-3458.
- [7] Chen G, Matsuhisa N, Liu Z, et al. Plasticizing silk protein for on-skin stretchable electrodes[J]. *Advanced Materials*, 2018, 30(21): 1800129.
- [8] Z. Li, L. Cheng, and Z. Liu, "Intentional blocking based photoelectric soft pressure sensor with high sensitivity and stability," *Soft Robotics*, vol. 10, no. 1, pp. 205-216, 2023.
- [9] Z. Li, L. Cheng and Q. Song, "An ultra-stretchable and highly sensitive photoelectric effect-based strain sensor: Implementation and applications", *IEEE Sensors Journal*, vol. 21, no. 4, pp. 4365-4376, 2021.
- [10] Z. Liu, Z. Li, and L. Cheng, "A two-dimensional reticular core optical waveguide sensor for tactile and positioning sensing," in *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 2023, pp. 8937-8942.