

Dotykové senzory v robotice

Petr Bužga

Faculty of Mechanical Engineering, Brno University of Technology
Institute of Automation and Computer Science
Technická 2896/2, Brno 616 69, Czech Republic
229299@vutbr.cz

Abstract: *Text se zabývá problematikou dotykových senzorů, které jsou v robotice využívány pro interakci robotů s okolním světem. Jedná se zejména o lokalizaci, uchopování a přemísťování předmětů. Nejdříve jsou přiblíženy rozdíly mezi vnímáním člověka a robota, poté jsou rozebrány jednotlivé druhy senzorů.*

Keywords: *Senzor, Průmyslové roboty, Průmysl 4.0, Vnímání okolí, Manipulace, Průzkum prostředí*

1 Úvod

V posledním desetiletí i díky příchodu Průmyslu 4.0 dosáhla robotika velkého pokroku a otevřela dveře k mnoha dalším užitečným aplikacím automatizace. Díky tomu mohou být mnohé aplikace zdokonaleny za účelem lepší produktivity, kvality, spolehlivosti a bezpečnosti výroby. V poslední době se velmi usnadňuje vývoj pokročilých komplexních průmyslových robotických systémů, které automatizují a vylepšují výrobní procesy.

Tradičně byly aplikace průmyslových robotů navrženy přesně předvídatelným způsobem v přesně ohraničeném prostoru. S tím, jak roboti vystupují z ohrazených oblastí a jsou nasazováni pro čím dál širší škálu aplikací, od kolaborativní robotiky až po autonomně řízená auta je nezbytné, aby roboty měli schopnost vnímání svého okolí. Ta poté umožňuje odhadovat stav robota, ale také stav jeho okolního prostředí. Vzhledem k těmto novým požadavkům význam sensoriky výrazně vzrostl a v budoucnu bude bezpochyby dále růst. [6]

2 Senzory dotyku

Hmat je v přírodě základním nástrojem pro přežití. I ti nejjednodušší tvorové jsou vybaveni velkým počtem mechanoreceptorů, které jim umožňují zkoumat různé podněty a reagovat na ně. U lidí je hmatové vnímání nepostradatelné pro manipulaci či průzkum svého okolí. Význam hmatového vnímání pro manipulaci je nejzřetelnější u motorických úkolů. Při zkoumání si neustále osvojujeme informace o materiálech a vlastnostech povrchu (např. tvrdost, tepelná vodivost, tření, drsnost), které nám pomáhají identifikovat předměty. [6]

Běžné hmatové senzory byly vytvořeny pro zaznamenávání stavu dotyku pomocí určitých fyzikálních principů. Za účelem záznamu informací o deformaci nebo napětí bylo vyvinuto mnoho hmatových senzorů, například tenzometrické snímače, piezoelektrický jev, pryž citlivá na tlak, různé membrány, atd.[4] Samostatnou kapitolou jsou pak snímače detekující strukturu povrchu.

Tento vzrůstající důraz na sensoriku dotyku a vnímání okolí robota je důležitý, protože umožňuje robotům lépe interagovat se světem kolem nich. V minulých desetiletích bylo vyvinuto mnoho různých hmatových senzorů pro roboty. Hlavní součástí těchto hmatových senzorů je detekce kontaktu a rozložení síly dotyku na ploše prstu. Díky měření síly z hmatových senzorů na špičce prstu je mnohem méně pravděpodobné, že robot rozbije křehké předměty. Detekce a lokalizace kontaktů také zdokonaluje výkon robotů při uchopování předmětů.

Úspěšně komercializovaným senzorem je například soustava hmatových senzorů od společnosti Pressure Profile Systems, která měří normálové rozložení tlaku na špičce prstu robota s prostorovým rozlišením 5 mm. Senzor byl použit u několika komercializovaných robotů a úspěšně asistoval při běžných robotických úlohách. Při těchto úlohách je právě důležitá detekce kontaktu s uchopovaným objektem a řízení síly jeho úchopu. Příklad aplikace senzorů na prsty robota můžeme vidět na obrázku 1. [10]



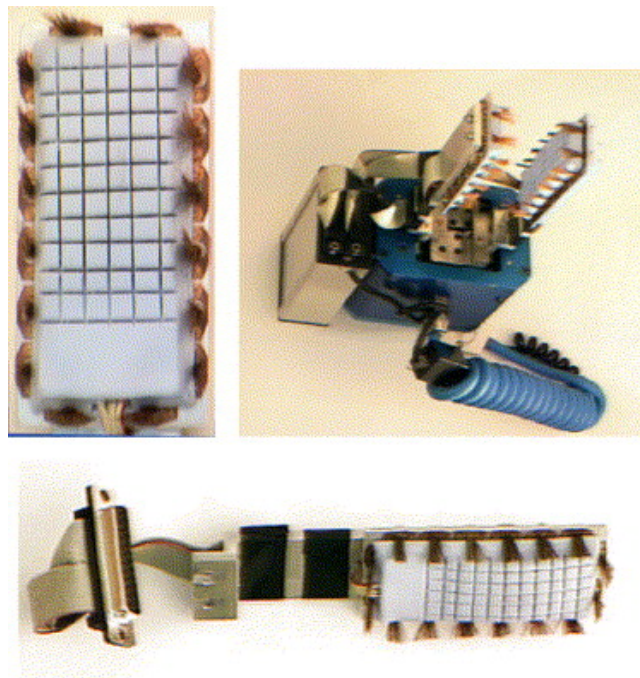
Obrázek 1: Gripper robota s dotykovými senzory na prstech

3 Typy dotykových senzorů

3.1 Kapacitní senzory

Kapacitní senzory se skládají z desek kondenzátoru. Síly působící na tyto senzory většinou mění vzdálenost desek nebo efektivní plochu posunem jejich relativní pozice. Jejich parazitní kapacita je hlavním problémem, protože může dosáhnout řádově stejné velikosti jako kapacita, která má být měřena. Jejich výhodou ovšem je, že mohou být vyrobeny velmi malé, což umožňuje konstrukci hustých sensorových polí, a také umožňují dynamická měření.[5] [1]

Příkladem takového pole se zabývají právě v článku [5], kde prostřednictvím realizace měření probíhá díky malých štětečků. Jejich kombinovaný senzor se skládá ze dvou statických prvků obklopených 16 dynamickými sensorovými prvky. Jeden z nich je namontován na každé čelisti dvoučelistového gripperu. Každý statický prvek poskytuje signál polohy a síly. Celé zařízení je zobrazeno na obrázku 2.



Obrázek 2: Kapacitní senzor [5]



Obrázek 3: FSR senzor výrobce Interlink

3.2 Odporové senzory

Odporové snímače dotyku jsou v robotice hojně využívány. Nejčastěji využívají takzvaného piezoelektrického jevu. Slovo piezoelektrický pochází z řečtiny a znamená „elektrina vytvořená tlakem“ (Piezo v řečtině znamená tlak). Tento jev v roce 1980 objevili bratři Pierre a Jacques Curie. Pozorovali, že na různých částech krystalových povrchů se objevují kladné a záporné náboje při stlačení krystalu v různých směrech. [8]

Tohoto lze velmi dobře využít při konstrukci senzorů. Piezorezistivní dotykové snímače jsou oblíbené zejména mezi mikroelektromechanickými systémy (MEMS) a dotykovými snímači na bázi křemíku (Si). Na piezorezistivní technologii jsou založeny také rezistory pro snímání síly (FSR), které se hojně používají v zařízeních pro snímání polohy jako jsou například joysticky. Komerčně jsou dostupné například od společnosti Interlink (viz. obrázek 3) a byly použity v mnoha systémech pro detekci dotyku. Rezistory FSR jsou atraktivní díky nízké ceně, dobré citlivosti, nízkému šumu a jednoduché elektronice. [1]

Aby byl základní koncept samotného FSR rezistoru posunut o krok dále, T. Someya vyvinul ve svém článku [7] z roku 2003 robotickou kůži, která využívá vzorované organické polovodiče pro lokální zesílení pole piezorezistivních senzorů, tištěné na flexibilním filmu z polyimidu. Později byly vyvinuty piezorezistivní tkaniny, aby řešily problémy s únavou a křehkostí, které se vyskytují u hmatových polí. [6]

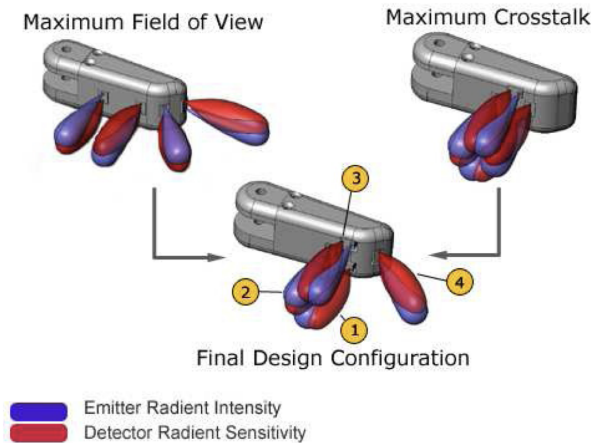
3.3 Magnetické senzory

Pro konstrukci těchto senzorů bývá často využito takzvaných magnetostrikčních materiálů. Tyto materiály vykazují změnu magnetického pole, když jsou vystaveny vnějším mechanickým napětím. Tato unikátní vlastnost umožnila vývoj inovativních hmatových senzorů s vysokou citlivostí, širokým frekvenčním pásmem, jednoduchým návrhem obvodu a širokým teplotním rozsahem. Příkladem může být například slitina Fe-Ga (železo-galium). [9]

3.4 Optické senzory

Tradiční strategie plánování uchopení s využitím optických senzorů se výrazně spoléhají na senzory pro měření na dálku (jako jsou kamery, LIDAR a infračervené dálkoměry) k detekci a modelování objektů a určení konfigurací pro uchopení. Ačkoliv toto vede k řadě úspěšných robotických systémů, chyby a nejistoty sahající od malých odchylek v poloze objektu po zakryté povrchy výrazně omezují spolehlivost těchto strategií pro uchopení. Proto je často dobré doplnit snímání i kontaktními senzory pro korekci síly uchopení. [2] [3]

Existují ovšem i optické senzory s měřením na blízko. Ty se skládají z vysílače, foto-přijímače a obvodů pro zpracování signálu. Světlo z vysílače je odraženo blízkými povrchy a zachytáváno foto-přijímačem. Amplituda a fáze světla se mění v závislosti na vzdálenosti k povrchu, jeho orientaci a dalších vlastnostech materiálu povrchu (odrazivost, textura atd.). Při návrhu senzoru blízkosti s amplitudovou modulací, což je nejčastěji preferovaná metoda, lze tyto variace v amplitudě převést na odhady polohy měřením odezvy z konstelací alespoň tří přijímačů zaměřených na stejný bod na cílovém povrchu. Příklad konstrukce takovýchto senzorů je uveden na obrázku 4. [2]



Obrázek 4: Příklad konstrukce optického senzoru na prstu robota [2]

4 Závěr

Dotykové senzory hrají klíčovou roli ve vývoji moderní průmyslové robotiky. Umožňují robotům interagovat s okolním prostředím s nebývalou přesností a citlivostí. Díky pokroku v technologiích, jako jsou kapacitní, odporové, magnetické a optické senzory, jsou roboti vybaveni hmatovým vnímáním podobným lidskému, což zvyšuje jejich flexibilitu a autonomii. Tato vylepšení vedou ke zvýšení efektivity, bezpečnosti a inovativnosti v různých průmyslových odvětvích, od výroby až po zdravotnictví.

V textu byli rozebrány příklady možných senzorů pro tyto aplikace. Je nutné podotknout, že různých senzorů pro toto využití je velké množství a není v rozsahu tohoto textu je obsáhnout. Vzhledem k rostoucím požadavkům na inteligentní automatizaci a adaptabilitu je jasné, že vývoj a integrace sofistikovanějších dotykových senzorů bude nadále klíčovým prvkem v budoucnosti výzkumu průmyslové robotiky.

Reference

- [1] DAHIYA, R., METTA, G., VALLE, M., AND SANDINI, G. Tactile sensing-from humans to humanoids. *IEEE transactions on robotics* 26, 1 (2010), 1–20.
- [2] HSIAO, K., NANGERONI, P., HUBER, M., SAXENA, A., AND NG, A. Y. Reactive grasping using optical proximity sensors. In *2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation* (2009), pp. 2098–2105.
- [3] KESER, S., AND ŞEKIP ESAT HAYBER. Fiber optic tactile sensor for surface roughness recognition by machine learning algorithms. *Sensors and Actuators A: Physical* 332 (2021), 113071.
- [4] SAGA, S. How tactile sensors should be? In *Sensors: Focus on Tactile Force and Stress Sensors*. IntechOpen, Oxford, 2008, ch. 1.
- [5] SCHMIDT, P. A., MAËL, E., AND WÜRTZ, R. P. A sensor for dynamic tactile information with applications in human–robot interaction and object exploration. *Robotics and autonomous systems* 54, 12 (2006), 1005–1014.
- [6] SICILIANO, B., AND KHATIB, O. *Springer Handbook of Robotics*, 2nd ed. 2017. ed. Springer Handbooks. Springer International Publishing AG, Cham, 2016.
- [7] SOMEYA, T. Integration of organic field-effect transistors and rubbery pressure sensors for artificial skin applications. In *IEEE International Electron Devices Meeting 2003* (2003), IEEE, pp. 8.4.1–8.4.4.
- [8] VIVES, A. A. *Piezoelectric Transducers and Applications*, 2. Aufl. ed. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2008.
- [9] WENG, L., XIE, G., ZHANG, B., HUANG, W., WANG, B., AND DENG, Z. Magnetostrictive tactile sensor array for force and stiffness detection. *Journal of magnetism and magnetic materials* 513 (2020), 167068.
- [10] YUAN, W., DONG, S., AND ADELSON, E. H. Gelsight: High-resolution robot tactile sensors for estimating geometry and force. *Sensors (Basel, Switzerland)* 17, 12 (2017), 2762.