

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTRONIKY A INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Přehled haptických senzorů a jejich použití

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Vojtěch PROCHÁZKA**
Osobní číslo: **E18B0028P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektronika a telekomunikace**
Téma práce: **Přehled haptických senzorů a jejich použití**
Zadávací katedra: **Katedra elektroniky a informačních technologií**

Zásady pro vypracování

1. Vysvětlíte význam haptických senzorů a provedte kategorizaci.
2. Provedte rešerši jednotlivých typů haptických senzorů na trhu a uveďte příklad aplikace.
3. Diskutujte parametry nejmodernějších haptických a taktilních senzorů a aktuátorů.
4. Provedte výběr vhodných haptických senzorů z pohledu přenosu informace hmatem pro osoby zrakově a sluchově postižené (hluchoslepé).
5. Diskutujte nejmodernější trendy v oblasti haptických senzorů a směr vývoje.

Abstrakt

Cílem práce je zaměřit se na kategorii haptických senzorů a aktuátorů, popsat jejich význam, typy, konstrukce, vlastnosti a využití a provést jejich vhodný výběr z pohledu přenosu informace pro hluchoslepé osoby. Dále je diskutován směr vývoje a nejnovější trendy v oblasti haptických senzorů a aktuátorů a komunikačních systémů pro hluchoslepé. Lidé trpící hluchoslepotou jsou v krajních případech odkázáni na komunikaci pouze prostřednictvím hmatu, což vyžaduje speciální komunikační techniky, které nejsou běžně využívány. Výběr vhodných senzorů a aktuátorů a jejich aplikace ve vhodném zařízení by hluchoslepým usnadnila dorozumívání. Pro zjištění rozšířenosti komunikačních metod byla kontaktována organizace LORM, a na základě zjištěných informací byly vybrány senzory a aktuátory pro zařízení, která by s těmito metodami pracovala, a pokryla tak potřeby co nejvíce hluchoslepých lidí. Práce dále nastiňuje možnosti realizace konkrétních komunikačních zařízení, která mohou být na základě těchto poznatků vyvinuta a následně v praxi využívána hluchoslepými ke komunikaci.

Klíčová slova

Haptické senzory, taktilní senzory, aktuátory, hluchoslepoty, komunikace hluchoslepých

Abstract

The aim of this bachelor thesis is to focus on the category of haptic sensors and actuators, to describe their meaning, types, constructions, properties and uses, and to make their selection from the point of view information transmission for deafblind. Furthermore, the direction of development and the latest trends in the field of haptic sensors and actuators and communication systems for deafblind are discussed. In extreme cases of deafblindness, people rely on communication only through the sense of touch, which requires special communication techniques that are not commonly used. The selection of suitable sensors and actuators and their application in a suitable device would facilitate communication for the deafblind. To determine the prevalence of communication methods, the LORM organization was contacted, and based on the information obtained, sensors and actuators for devices that would work with these methods, and thus cover the needs of as many deafblind as possible, were selected. Further, the bachelor thesis outlines the possibilities of implementation of specific communication devices, which can be developed based on this knowledge and practically used by deafblind to communicate.

Key words

Haptic sensors, tactile sensors, actuators, deafblindness, communication of the deafblind

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software použitý při řešení této bakalářské práce je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 20.5.2021

Vojtěch Procházka

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Vladimíru Pavlíčkovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále bych chtěl poděkovat Zdeně Jelínkové z organizace LORM za poskytnutí cenných informací k problematice komunikace hluchoslepých.

Obsah

OBSAH	7
SEZNAM OBRÁZKŮ	9
SEZNAM TABULEK	10
ÚVOD	11
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	13
1 HAPTICKÉ A TAKTILNÍ SENZORY A AKTUÁTORY OBECNĚ	15
1.1 VÝZNAM HAPTICKÝCH SENZORŮ A AKTUÁTORŮ.....	15
1.2 KATEGORIZACE.....	16
2 PARAMETRY HAPTICKÝCH SENZORŮ A AKTUÁTORŮ	18
2.1 PŘEVODNÍ CHARAKTERISTIKA.....	18
2.2 PŘESNOST.....	18
2.3 ROZLIŠENÍ.....	19
2.4 CITLIVOST.....	19
2.5 PRACOVNÍ ROZSAH.....	20
2.6 ÚČINNOST.....	20
2.7 HYSTEREZE.....	20
2.8 REPRODUKOVATELNOST.....	21
2.9 RYCHLOST.....	21
2.10 PŘECHODOVÁ CHARAKTERISTIKA.....	21
3 TYPY HAPTICKÝCH SENZORŮ A AKTUÁTORŮ	21
3.1 1D TAKTILNÍ SENZORY PRO INDIKACI SÍLY A TLAKU.....	21
3.1.1 Kontaktní taktilní senzory.....	22
3.1.2 Taktilní senzory s piezoelektrickými vrstvami.....	22
3.1.3 Taktilní piezorezistivní senzory.....	24
3.1.4 Taktilní senzory s odporovou tenkou vrstvou.....	25
3.1.5 Taktilní senzory s kapacitním principem.....	26
3.1.6 Optické vláknové snímače tlaku.....	27
3.2 2D TAKTILNÍ SENZORY – DOTYKOVÉ DISPLEJE.....	28
3.2.1 Dotykové displeje s odporovým principem.....	29
3.2.2 Dotykové displeje s ultrazvukovým principem.....	30
3.2.3 Dotykové displeje s kapacitním principem.....	31
3.2.4 Dotykové displeje s infračerveným principem.....	32
3.3 PIEZOELEKTRICKÉ AKTUÁTORY.....	33
3.4 ELEKTROMECHANICKÉ LINEÁRNÍ AKTUÁTORY.....	35
3.4.1 Aktuátory s feromagnetickým jádrem.....	35
3.4.2 Aktuátory s permanentními magnety.....	36
3.5 KROKOVÉ MOTORY.....	37
3.6 VIBRAČNÍ MOTORY.....	38
3.6.1 Vibrační motor s excentrickou rotující hmotou (ERM).....	38
3.6.2 Lineární rezonanční aktuátor (LRA).....	39
3.7 AKTUÁTORY S TEPELNÝM VÝSTUPEM.....	40
3.7.1 Laser.....	40
3.7.2 Topné odpory.....	41
4 VÝBĚR HAPTICKÝCH SENZORŮ A AKTUÁTORŮ PRO ÚČELY KOMUNIKACE HLUCHOSLEPÝCH	41
4.1 HLUCHOSLEPOTA.....	42

4.2	KOMUNIKACE HLUCHOSLEPÝCH.....	42
4.2.1	<i>Lormova abeceda</i>	43
4.2.2	<i>Braillovo písmo</i>	45
4.2.3	<i>Tiskací písmena do dlaně (daktylografika)</i>	46
4.3	KOMUNIKAČNÍ SYSTÉM PRO OSOBY VYUŽÍVAJÍCÍ DAKTYLOGRAFIKU	47
4.3.1	<i>Podoba vhodného komunikačního zařízení</i>	47
4.3.2	<i>Výběr vhodných senzorů</i>	48
4.3.3	<i>Výběr vhodných aktuátorů</i>	49
4.4	KOMUNIKAČNÍ SYSTÉM PRO OSOBY VYUŽÍVAJÍCÍ BRAILLOVO PÍSMO	49
4.4.1	<i>Podoba vhodného komunikačního zařízení</i>	50
4.4.2	<i>Výběr vhodných senzorů</i>	52
4.4.3	<i>Výběr vhodných aktuátorů</i>	52
4.5	KOMUNIKAČNÍ SYSTÉM PRO OSOBY VYUŽÍVAJÍCÍ LORMOVU ABECEDU.....	53
4.5.1	<i>Podoba vhodného komunikačního zařízení</i>	53
4.5.2	<i>Výběr vhodných senzorů</i>	54
4.5.3	<i>Výběr vhodných aktuátorů</i>	54
4.6	ALTERNATIVNÍ KOMUNIKAČNÍ SYSTÉM S VYUŽITÍM MORSEOVY ABECEDY	55
4.6.1	<i>Podoba vhodného komunikačního zařízení</i>	55
4.6.2	<i>Výběr vhodných senzorů</i>	56
4.6.3	<i>Výběr vhodných aktuátorů</i>	56
4.7	PŘEHLED VYBRANÝCH SENZORŮ A AKTUÁTORŮ PRO JEDNOTLIVÉ KATEGORIE HLUCHOSLEPÝCH	56
5	NEJMODERNĚJŠÍ TRENDY A SMĚR VÝVOJE V OBLASTI HAPTICKÝCH SYSTÉMŮ	57
6	ZÁVĚR.....	60
	SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ.....	61

Seznam obrázků

OBR. 3.1 KONTAKTOVÝ TAKTILNÍ SENZOR [2]	22
OBR. 3.2 PIEZOELEKTRICKÝ ELEMENT V PODOBĚ VÝBRUSU [2]	23
OBR. 3.3 AKTIVNÍ TAKTILNÍ SENZOR S PIEZOELEKTRICKÝMI VRSTVAMI [2]	24
OBR. 3.4 TAKTILNÍ SENZOR S ODPOROVOU TLUSTOU VRSTVOU- STRUKTURA SENZORU (VLEVO) A PŘEVODNÍ CHARAKTERISTIKA (VPRAVO) [2]	25
OBR. 3.5 TAKTILNÍ SENZOR S ODPOROVOU TENKOU VRSTVOU [2]	25
OBR. 3.6 PRINCIP KAPACITNÍHO SENZORU SE ZMĚNOU VZDÁLENOSTI ELEKTROD (A), PŘEVODNÍ CHARAKTERISTIKA (B)	26
OBR. 3.7 PRINCIP KAPACITNÍHO SENZORU SE ZMĚNOU PLOCHÝ ELEKTROD	27
OBR. 3.8 KONSTRUKCE OPTICKÉHO VLÁKNOVÉHO SNÍMAČE TLAKU	27
OBR. 3.9 PRINCIP VYHODNOCOVÁNÍ INFORMACE O DOTYKU U DOTYKOVÉHO DISPLEJE ZALOŽENÉHO NA SÍLE [2]	28
OBR. 3.10 ODPOROVÝ TAKTILNÍ SENZOR DOTYKOVÉHO DISPLEJE A) PRINCIP B) NÁHRADNÍ ELEKTRICKÝ OBVOD [2]	29
OBR. 3.11 PROVEDENÍ SENZORU SAW [5]	30
OBR. 3.12 ULTRAZVUKOVÝ DOTYKOVÝ DISPLEJ - PRINCIP (A), USPOŘÁDÁNÍ (B) [2]	31
OBR. 3.13 PRINCIP KAPACITNÍHO DOTYKOVÉHO DISPLEJE [2]	32
OBR. 3.14 DOTYKOVÝ DISPLEJ NA PRINCIPU INFRAČERVENÉHO ZÁŘENÍ [2]	32
OBR. 3.15 PIEZOELEKTRICKÝ AKTUÁTOR	33
OBR. 3.16 MULTIVRSTVOVÁ STRUKTURA PIEZOELEKTRICKÉHO AKTUÁTORU	34
OBR. 3.17 KONSTRUKCE SOLENOIDU [12]	36
OBR. 3.18 LINEÁRNÍ ELEKTROMECHANICKÝ AKTUÁTOR S PERMANENTNÍMI MAGNETY [12]	36
OBR. 3.19 KONSTRUKCE KROKOVÉHO MOTORU S PERMANENTNÍMI MAGNETY [13]	38
OBR. 3.20 KONSTRUKCE VIBRAČNÍHO MOTORU S EXCENTRICKOU HMOTOU (ERM)	39
OBR. 3.21 KONSTRUKCE LINEÁRNÍHO REZONANČNÍHO AKTUÁTORU (LRA)	39
OBR. 3.22 PRINCIP GENEROVÁNÍ LASEROVÉHO PAPRSKU [17]	41
OBR. 4.1 ZNÁZORNĚNÍ LORMOVY ABECEDY [9]	45
OBR. 4.2 UKÁZKA BRAILLOVA PÍSMO – PÍSMENA [11]	46
OBR. 4.3 UKÁZKA BRAILLOVA PÍSMO – ČÍSLICE [11]	46
OBR. 4.4 BLOKOVÉ SCHÉMA ZAŘÍZENÍ PRO KOMUNIKACI DAKTYLOTIKOU	48
OBR. 4.5 MATICE KAPACITNÍCH SENZORŮ (A), POHLED Z BOKU (B)	48
OBR. 4.6 BLOKOVÉ SCHÉMA ZAŘÍZENÍ PRO KOMUNIKACI BRAILLOVÝM PÍSMEM	50
OBR. 4.7 KOMUNIKAČNÍ ZAŘÍZENÍ PERKINS [24]	51
OBR. 4.8 ZNÁZORNĚNÍ FUNKCE BRAILLSKÉHO DISPLEJE S PIEZOELEKTRICKÝMI AKTUÁTORY	52
OBR. 4.9 ZNÁZORNĚNÍ KOMUNIKACE POMOCÍ MORSEOVY ABECEDY	56

Seznam tabulek

TAB. 4.1 <i>PRAVIDLA VYZNAČOVÁNÍ ZNAKŮ NEBO SDĚLENÍ PODLE LORMOVY ABECEDY [9]</i>	44
TAB. 4.2 <i>PŘEHLED KATEGORIÍ HLUCHOSLEPÝCH A VYBRANÝCH SENZORŮ A AKTUÁTORŮ</i>	57

Úvod

Hlavním cílem této práce je provést výběr vhodných senzorů a aktuátorů, které by mohly být použity v komunikačních zařízeních pro hluchoslepé. Hluchoslepota je kombinované postižení sluchových a zrakových orgánů, které velmi omezuje, někdy až úplně znemožňuje, běžnou komunikaci. Existují speciální komunikační metody pro hluchoslepé, které využívají jeden ze zbývajících smyslů – hmat. Vhodné komunikační zařízení, které by s těmito metodami pracovalo, by hluchoslepým mohlo dorozumívání významně usnadnit. Pomocí něj by se hluchoslepý stal více nezávislým na svém okolí, mohl by komunikovat s lidmi na dálku, a to i s těmi, kteří neovládají žádnou speciální komunikační metodu, nebo si mohl například číst bez jakékoli asistence. To vše pomocí svého hmatu a přístroje, který by sloužil jako jakýsi překladač z hmatového jazyka do běžného a naopak.

V první kapitole je obecně vysvětlen význam haptických senzorů a aktuátorů, ať už v každodenním životě či v některých průmyslových aplikacích. Je zde také provedena základní kategorizace haptických senzorů a aktuátorů. Sensory jsou kategorizovány na základě snímaných veličin či podle specifických snímaných údajů, haptické aktuátory pak podle druhu energie na jejich výstupu.

Dále je proveden přehled současně využívaných haptických senzorů a aktuátorů, jsou uvedeny jejich principy, parametry, vlastnosti a také konkrétní příklady použití. Kategorie haptických senzorů a aktuátorů je poměrně široká a tyto komponenty často hrají zásadní roli v běžně používaných zařízeních ve všech možných oblastech.

Kapitola čtvrtá je již věnována konkrétnímu výběru vhodných haptických senzorů a aktuátorů pro možná komunikační zařízení pro hluchoslepé, který je proveden na základě jejich principů a výhodných vlastností. Myšlenka podoby a funkce každého takového zařízení je zde taktéž nastíněna. Jsou zde také uvedena a popsána již existující zařízení, která se pro komunikaci hluchoslepých používají.

V poslední části práce jsou uvedeny nejmodernější trendy a směry vývoje v oblasti haptických zařízení, která budou mít v budoucnu vzhledem k potřebám a požadavkům naší

společnosti stále větší význam. Tato kapitola již není zaměřena jen na hluchoslepé, ale prochází skrze více oblastí, kde mají haptické systémy své využití.

Seznam symbolů a zkratk

ε_a	Přesnost senzoru nebo aktuátoru [%]
x_m	Měřená hodnota vstupní veličiny senzoru
x_t	Skutečná hodnota vstupní veličiny senzoru
y_m	Měřená výstupní akční hodnota
y_t	Skutečná hodnota výstupní veličiny
R_{\max}	Měřená hodnota vstupní veličiny senzoru [%]
Δx_{\min}	Nejmenší přírůstek vstupní veličiny u senzoru
Δy_{\min}	Nejmenší možný přírůstek výstupní akční veličiny aktuátoru
$x_{\max} - x_{\min}$	Rozsah vstupní veličiny u senzoru
$y_{\max} - y_{\min}$	Rozsah výstupní veličiny aktuátoru
S	Citlivost senzoru nebo aktuátoru
Δx	Změna vstupní veličiny senzoru nebo aktuátoru
Δy	Změna výstupní veličiny senzoru nebo aktuátoru
η	Účinnost senzoru nebo aktuátoru [%]
P_{OUT}	Výstupní výkon senzoru nebo aktuátoru [W]
P_{IN}	Vstupní příkon senzoru nebo aktuátoru [W]
P_W	Ztrátový výkon uvnitř senzoru nebo aktuátoru [W]
P_S	Výkon napájecího zdroje [W]
F_x, F_y	Síly působící na piezoelektrický element ve směru osy x a y [N]
Q_x	Náboj na elektrodách piezoelektrického elementu [C]
U_x	Napětí na elektrodách piezoelektrického elementu [V]
C	Kapacita piezoelektrického elementu [F]
l	Délka piezoelektrického elementu [m]
d	Tloušťka piezoelektrického elementu [m]
k_p	Piezoelektrická konstanta
k_u	Napěťová citlivost piezoelektrického senzoru

S_x, S_y	Plocha piezoelektrického elementu [m^2]
C	Kapacita deskového kondenzátoru [F]
ε_0	Permitivita vakua [$F \cdot m^{-1}$]
ε_r	Relativní permitivita [-]
S	Plocha elektrod deskového kondenzátoru [m^2]
d	Vzdálenost elektrod deskového kondenzátoru [m]
A	Útlum optického vlákna [dB]
P_1	Výkon vstupního optického signálu [W]
P_2	Výkon výstupního optického signálu [W]
x, y	Souřadnice dotyku
F_1, F_2, F_3, F_4	Síly působící v rozích dotykového displeje [N]
U_{cc}	Napájecí napětí [V]
U_{out}	Výstupní napětí z potenciometrického zapojení [V]

1 Haptické a taktilní senzory a aktuátory obecně

Pojem „haptika“ není na rozdíl od pojmů „optika“ nebo „akustika“ mezi lidmi tak dobře známý. Termíny „haptika“ a „haptický“ odkazují na všechno, co je nějakým způsobem spojeno s hmatovým vjemem. Hmat je smysl, který lidem a ostatním živočichům umožňuje vnímat sebe sama a své okolí pomocí dotyků, vibrací, tepla, chladu, ale i bolesti. Senzory, které tato působení snímají, se nazývají haptickými. Senzory, které snímají působící sílu nebo tlak nazýváme též „taktilní“, což bychom v češtině mohli nazvat také jako „dotykové“. Haptické akční členy (aktuátory) naopak toto silové, tlakové, vibrační či tepelné působení vytvářejí. Senzory a aktuátory pak spolu vytvářejí „haptický systém“. Haptické systémy můžeme rozdělit do dvou základních kategorií [1].

První kategorií jsou tzv. časově invariantní systémy, které generují haptické efekty nezávisle na čase. Jako příklad takového systému můžeme uvést tlačítka na klávesnici počítače nebo různé povrchy, které nám dotykem předávají nějakou informaci. Takové povrchy nazýváme také „haptické textury“. Z popisu takových systémů je patrné, že v nich senzory ani aktuátory nemusejí mít žádný význam [1].

Druhou kategorií jsou pak aktivní systémy, jejichž chování závisí na jejich nastavení a na tom, jaké podněty do nich přicházejí. V závislosti na tom poté vytvářejí dané zpětné vazby. Zde je již zřejmé, že u takových systémů se bez senzorů, aktuátorů a bez jejich vhodného řízení nelze obejít [1].

1.1 Význam haptických senzorů a aktuátorů

Haptické senzory mají svůj význam téměř ve všech představitelných oblastech našeho života. Každodenně se setkáváme například s dotykovými displeji pro ovládání mobilních telefonů, infotainmentů v automobilech či jiných multimediálních systémů. Dalším příkladem mohou být snímače otisků prstů, které v poslední době zažily masové nasazení v mobilních telefonech či v zámcích dveří automobilů nebo jiných přístupových systémech. Každý z nás denně stiskne množství ovládacích tlačítek rozličných elektronických zařízení. I obyčejná počítačová myš má kromě tlačítek dva haptické senzory v podobě laserového senzoru a rolovacího kolečka, které mají za úkol sledovat pohyb a dotyk naší ruky.

V oblasti průmyslu mají haptické senzory velký význam při manipulacích s roboty, zejména pak pro měření síly jejich úchopu, při zjišťování působící síly a zatížení mechanických částí nebo také jako bezpečnostní senzory, které zajišťují vypnutí strojů, pokud by měly při dotyku svojí působící silou někoho zranit či způsobit hmotné škody. Optické senzory, které lze do kategorie haptických senzorů také zařadit, mají celou řadu využití v průmyslových i neprůmyslových aplikacích, kde je pomocí nich zapotřebí získávat informace o poloze či natočení. Příkladem může být již zmiňovaná optická počítačová myš, která pomocí optických senzorů snímá pohyby lidské ruky. Dále tepelné senzory mají celou řadu využití v zařízeních, kde potřebujeme získávat informace o teplotě a v případě potřeby pak například provést určitý akční zásah.

Využití mají také v biomedicínských aplikacích, stomatologii a obecně v lékařství [2]. Do této oblasti se dá zařadit i využití pro přenos informace hmatem pro osoby sluchově a zrakově postižené. Tomuto tématu se bude tato práce dále blíže věnovat.

Z uvedených příkladů je zřejmé, že haptické senzory mají význam ve všech zařízeních, která ovládáme svými dotyky. Jsou tedy jakýmsi spojovacím článkem mezi našimi dotyky a pohyby a vnitřním elektrickým systémem. Aktuátory pak mají za úkol na základě hodnot naměřených senzory zpětně provádět akční zásahy. Může se jednat o silové nebo tlakové působení, polohování, vytváření vibrací či tepelné působení.

1.2 Kategorizace

Haptické senzory kategorizujeme na základě snímaných veličin či podle jejich konkrétního určení. Z toho dále vyplývají možné způsoby jejich využití. Haptické senzory můžeme rozřadit do těchto kategorií:

- **1D taktilní senzory pro indikaci síly a tlaku** – využívají se pro snímání dotykové síly nebo tlaku. Mohou měřit jak trvalé zatížení, tak mohou plnit i funkci tlačítka, které je stisknuto pro vyvolání nějaké akce systému.
- **2D taktilní senzory** – do této kategorie patří především dotykové displeje, které jsou v dnešní době téměř všudypřítomné. Spíše než měření síly a tlaku dotyku je v jejich případě důležité přesné určování polohy, kde k dotyku došlo.

- **Senzory otisků prstů** – jedná se o typ haptických senzorů, který se v posledních letech rychle rozšířil i do zařízení běžné denní potřeby, zejména pak mobilních telefonů, kde slouží k zabezpečení přístupu před neoprávněnými uživateli.
- **Senzory polohy, posuvu, rychlosti a zrychlení** – mohou pracovat na různých principech. Pro měření posuvu nebo polohy se nejčastěji využívají optické senzory v podobě kódových pravítek nebo disků. Senzory s magnetickým principem využívají magnetorezistorů nebo Hallových sond pro měření vzdálenosti objektu z magnetického materiálu. Induktivní senzory polohy snímají polohu kovových předmětů. Ultrazvukové senzory mohou měřit jak vzdálenost předmětu, tak i rychlost pohybujícího se tělesa s využitím Dopplerova jevu. Pro měření zrychlení se využívají tzv. akcelerometry. Pomocí akcelometrů je pak možné měřit i vibrace, mechanické rázy nebo naklonění vůči povrchu Země.
- **Tepelné senzory** – Jak již bylo zmíněno, pojem „haptika“ v sobě zahrnuje i vnímání okolí prostřednictvím tepelných výměn. Proto i senzory, které reagují na tepelné záření, můžeme považovat za haptické. Nejčastějšími typy těchto senzorů jsou termistory, termočlánky či bezkontaktní pyrometry. Používají se pro široké rozmezí měřených teplot s různou přesností.

Kategorizaci haptických aktuátorů provedeme podle druhu energie na jejich výstupu. Jejich společnou vlastností je, že jsou užívány za účelem nějakým způsobem stimulovat hmatové smysly. Za haptické můžeme považovat aktuátory s:

- **Mechanickým výstupem** – převádějí vstupní (nejčastěji elektrický, ale i jiný) signál na mechanickou energii na výstupu. Mechanická energie je využívána k silovému, tlakovému či vibračnímu působení na lidské mechanoreceptory a tímto způsobem je předávána požadovaná informace nebo podněty.
- **Elektrickým výstupem** – s jejich využitím se na lidské tělo nechá působit elektrické napětí a proud, který má za úkol opět způsobovat stimulaci dotčených částí. Tento způsob se využívá například ve fyzioterapii pro stimulaci ochablých svalů za účelem jejich posílení nebo ke snížení akutních bolestí.

- **Tepelným výstupem** – tepelná energie na jejich výstupu působí na lidské termoreceptory, jejichž prostřednictvím je člověk schopen vnímat teplo či chlad. Předávání informací jejich prostřednictvím je velmi omezené, v oblasti haptických zařízení jsou využívány například pro vyhřívání dotýkaných povrchů, aby byl dotyk pro člověka co nejkomfortnější. Zvláštní kategorií těchto aktuátorů mohou být lasery, které mají sice výstup světelný, ale mohou pomocí něj ohřívat plochu, na kterou toto světlo dopadá. Tímto způsobem mohou vyvolávat hmatové vjemy a jsou tak vhodné i pro přenos informace hmatem.

2 Parametry haptických senzorů a aktuátorů

2.1 Převodní charakteristika

- **Senzor:** převodní charakteristika definuje převodní vztah mezi vstupní a výstupní veličinou. Vztah musí být jednoznačně určen. Ideální senzor má lineární převodní charakteristiku.
- **Aktuátor:** převodní charakteristika definuje převodní vztah mezi vstupní budicí veličinou a výstupní akční veličinou. Ideální aktuátor má lineární převodní charakteristiku [2].

2.2 Přesnost

- **Senzor:** přesnost ε_a udává relativní průměrnou chybu senzoru. Její hodnotu lze vyjádřit vztahem:

$$\varepsilon_a = 100 \frac{x_m - x_t}{x_t}, \quad (1)$$

kde x_m je měřená hodnota vstupní veličiny senzoru a x_t vyjadřuje skutečnou hodnotu vstupní veličiny.

- **Aktuátor:** přesnost ε_a udává relativní průměrnou chybu aktuátoru, kterou lze vyjádřit jako:

$$\varepsilon_a = 100 \frac{y_m - y_t}{y_t}, \quad (2)$$

kde y_m je měřená výstupní akční hodnota a y_t je skutečná hodnota výstupní veličiny [2].

2.3 Rozlišení

- **Senzor:** rozlišení R označuje nejmenší možný přírůstek vstupní veličiny, která způsobí zaznamenanou měřenou hodnotu u senzoru. Maximální rozlišení R_{max} lze vyjádřit jako:

$$R_{max} = 100 \frac{\Delta x_{min}}{x_{max} - x_{min}}, \quad (3)$$

kde Δx_{min} je nejmenší přírůstek vstupní veličiny a $x_{max} - x_{min}$ značí rozsah vstupní veličiny.

- **Aktuátor:** rozlišení označuje nejmenší přírůstek výstupní veličiny, který je způsoben vybuditelným přírůstkem vstupní veličiny. Maximální rozlišení R_{max} lze vyjádřit jako:

$$R_{max} = 100 \frac{\Delta y_{min}}{y_{max} - y_{min}}, \quad (4)$$

kde Δy_{min} udává nejmenší možný přírůstek výstupní akční veličiny a $y_{max} - y_{min}$ je rozsah výstupní veličiny aktuátoru [2].

2.4 Citlivost

Citlivost S je u senzorů i aktuátorů dána jako poměr změny výstupní veličiny ke změně vstupní veličiny v daném pracovním bodě převodní charakteristiky. Citlivost je tedy obecně závislá na rozsahu měřené nebo akční veličiny. Citlivost v daném pracovním bodě lze definovat jako:

$$S = \frac{\Delta y}{\Delta x}, \quad (5)$$

kde Δy je změna výstupní veličiny a Δx je změna vstupní veličiny. Zesílení senzoru nebo aktuátoru pak může být dáno jako poměr absolutní hodnoty výstupního signálu

k absolutní hodnotě signálu vstupního. Pro ideální senzor nebo aktuátor je jeho zesílení shodné s jeho citlivostí v celém pracovním rozsahu [2].

2.5 Pracovní rozsah

- **Senzor:** pracovní rozsah je definován jako rozsah vstupní proměnné ($x_{max} - x_{min}$), který vytváří jednoznačně měřitelný výstupní signál senzoru. Ideální senzor může principiálně měřit v rozsahu vstupních veličin $x = 0$ až $x \rightarrow \infty$. Ve skutečnosti je pracovní rozsah omezený na určitý interval vstupních veličin, a vně tohoto intervalu prudce klesá citlivost senzoru.
- **Aktuátor:** pracovní rozsah je definován jako rozsah výstupní proměnné akční veličiny ($y_{max} - y_{min}$), která je jednoznačně určena vstupní budicí veličinou. Skutečný aktuátor má pracovní rozsah omezený na určitý interval, a vně tohoto intervalu prudce klesá citlivost aktuátoru [2].

2.6 Účinnost

Senzory a aktuátory jsou ve své podstatě měniče, které mění jeden druh energie na jiný. Vyskytují se zde čtyři druhy energií – vstupní (měřená nebo budicí) energie reprezentovaná vstupním příkonem P_{IN} , výstupní energie reprezentovaná výstupním výkonem P_{OUT} , napájecí energie reprezentovaná výkonem napájecího zdroje P_S a ztrátová energie reprezentovaná ztrátovým výkonem uvnitř senzoru nebo aktuátoru P_W . Pro účinnost lze psát vztah: [2]

$$\eta = 100 \frac{P_{OUT}}{P_{IN} + P_W + P_S}. \quad (6)$$

2.7 Hystereze

Hystereze je jistým druhem nelinearity. Pro senzory i aktuátory je definována jako rozdíl hodnot výstupního signálu y při zvyšování a snižování vstupní veličiny x [2].

2.8 Reprodukovatelnost

Udává opakovatelné chování senzoru nebo aktuátoru neboli shodu pracovních charakteristik při více cyklech činnosti [2].

2.9 Rychlost

Rychlost senzoru nebo aktuátoru je definována jako rychlost změny výstupní veličiny y při změně vstupní veličiny [2].

2.10 Přechodová charakteristika

Přechodová charakteristika senzoru nebo aktuátoru je jedním z jejich základních dynamických parametrů. Žádný reálný senzor ani aktuátor nemůže vykazovat nekonečně rychlou odezvu na skokovou změnu vstupní měřené nebo budicí veličiny, proto je přechodová charakteristika definována. Rozlišujeme tři základní druhy přechodových charakteristik – tlumenou, na mezi stability a kmitavou [2]. Která charakteristika je pro užití v praxi nejlepší nelze jednoznačně určit a vždy záleží na konkrétní aplikaci.

3 Typy haptických senzorů a aktuátorů

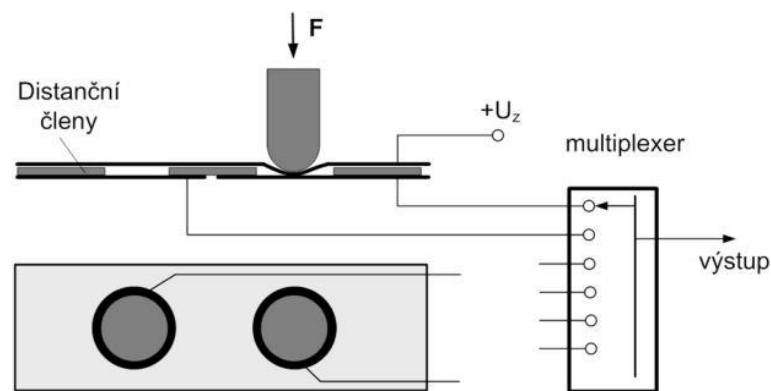
Z kategorizace uvedené v první kapitole je zřejmé, že haptických senzorů a aktuátorů existuje velké množství. Proto již dále budou popsány konstrukce, principy a vlastnosti jen těch senzorů a aktuátorů, které mají reálné praktické využití při komunikaci hluchoslepých, a které tedy mají potenciál být součástí vhodného komunikačního zařízení pro hluchoslepé, jež by pracovalo s některou ze speciálních komunikačních metod pro hluchoslepé.

3.1 1D taktilní senzory pro indikaci síly a tlaku

Tyto senzory se využívají pro zjišťování přítomnosti dotyku. Mohou taktéž měřit i jeho sílu nebo tlak [2].

3.1.1 Kontaktné taktilní senzory

Jedná se o velmi jednoduché taktilní senzory. Jsou tvořeny dvěma pružnými vrstvami, které jsou prostorově odděleny distančními členy. Pokud na tuto pružnou vrstvu působíme silou, tedy ji například stiskneme prstem, dojde k propojení horní a dolní vodivé vrstvy. Z takto jednoduše popsané funkce je zřejmé, že výstupní signál bude mít tvar logické 1, pokud dojde k dotyku, a logické 0, pokud k dotyku nedochází. Princip funkce a uspořádání takového senzoru je znázorněn na *Obr. 3.1*. Nabízí se použití v nejrůznějších ovládacích panelech, kde není důležitá síla stisku, ale pouze to, zda bylo tlačítko stisknuto [2].



Obr. 3.1 Kontaktný taktilní senzor [2]

3.1.2 Taktilní senzory s piezoelektrickými vrstvami

Jedná se o senzory založené na piezoelektrickém jevu. Piezoelektrický jev spočívá v mechanické deformaci krystalu vhodného dielektrického materiálu, která způsobí dipólový elektrický moment objemového elementu. Elektrické momenty všech objemových elementů způsobí elektrickou polarizaci krystalu. Přestane-li mechanické napětí působit, dielektrikum se vrátí do původního stavu. V závislosti na směru, ve kterém je piezoelektrický element namáhán, vzniká podélný nebo příčný piezoelektrický jev. Podélný piezoelektrický jev vzniká působením síly ve směru elektrické osy. Na každé stěně kolmé k elektrické ose vznikne elektrický náboj, pro který lze psát:

$$Q_x = k_p F_x, \quad (7)$$

kde k_p je piezoelektrická konstanta a F_x je síla působící ve směru osy x , tj. ve směru osy napětí. Pro napětí na elektrodách pak lze psát:

$$U_x = \frac{Q_x}{C} = \frac{k_p}{C} F_x = k_u F_x, \quad (8)$$

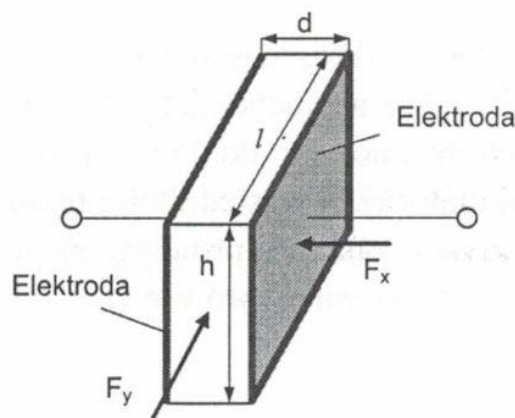
kde k_u je napěťová citlivost piezoelektrického elementu. Ze vzorce vyplývá, že velikost náboje na elektrodách není závislá na mechanických rozměrech piezoelektrického elementu. Příčný piezoelektrický jev vzniká působením síly F_y ve směru mechanické osy y . Pro náboj na elektrodách platí:

$$Q_x = -k_p \frac{F_y S_x}{S_y} = -k_p \frac{l}{d} F_y, \quad (9)$$

a pro napětí na elektrodách lze psát:

$$U_x = \frac{Q_x}{C} = -\frac{k_p}{C} \frac{l}{d} F_y = -k_u \frac{l}{d} F_y. \quad (10)$$

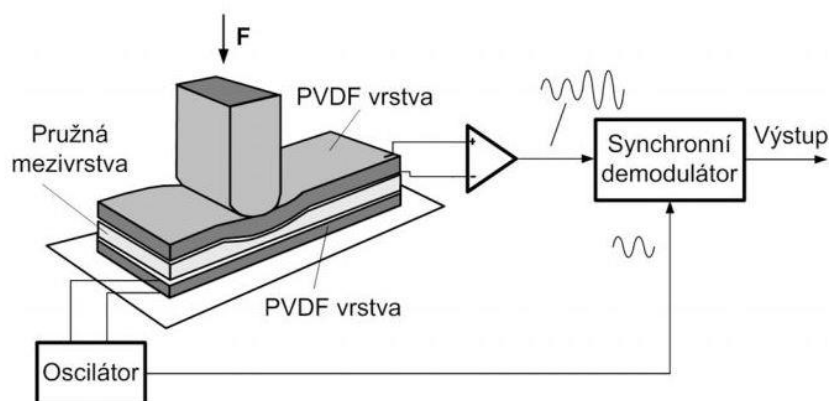
Je zřejmé, že zde již mechanické rozměry piezoelektrického elementu mají vliv na velikost náboje na elektrodách [2]. Existuje i opačný efekt, kdy se vlivem přivedeného polarizačního napětí mechanicky deformuje piezoelektrický element. Takovému jevu říkáme nepřímý piezoelektrický jev. Obr. 3.2 ukazuje piezoelektrický element v podobě výbrusu.



Obr. 3.2 Piezoelektrický element v podobě výbrusu [2]

Typickými materiály vykazujícími piezoelektrické vlastnosti mohou být přírodní materiály, jako například křemen SiO_2 , dále keramické materiály jakým je třeba titanát barnatý BaTiO_3 a v neposlední řadě také piezopolymery, ze kterých můžeme zmínit polyvinilfluorid PVDF [2].

Jako příklad řešení aktivního dotykového senzoru s piezoelektrickými vrstvami uvedeme senzor realizovaný z polyvinilfluoridu PVDF (Obr. 3.3). Princip funkce spočívá v modulaci vlastností kmitání, které prochází mezivrstvou od spodní vrstvy k horní. Kmitání ve spodní vrstvě je buzeno střídavým napětím z oscilátoru. Vybuzené mechanické kmity ve spodní vrstvě způsobí kmitání pružné mezivrstvy, která zajišťuje akustickou vazbu mezi spodní a horní vrstvou. Kmitání se přenáší na horní vrstvu, která působí jako přijímač. Zde se vybudí elektrické napětí, které je vedeno do synchronního demodulátoru, kde je porovnáváno s napětím vybuzeným oscilátorem. Na základě rozdílu těchto napětí je vytvořen výstupní signál celého systému. Pokud na senzor budeme působit silou, tedy se ho například dotkneme, změní se mechanické vlastnosti mezivrstvy, což má za následek i změnu amplitudy a fáze přenášeného kmitání. Tyto změny se projeví na výstupním signálu. Můžeme tak zjišťovat nejen přítomnost dotyku, ale především jeho sílu. Tloušťka takového senzoru je přibližně $200\ \mu\text{m}$. Přesnost měření je lepší než $\pm 2\ \mu\text{m}$ [2].

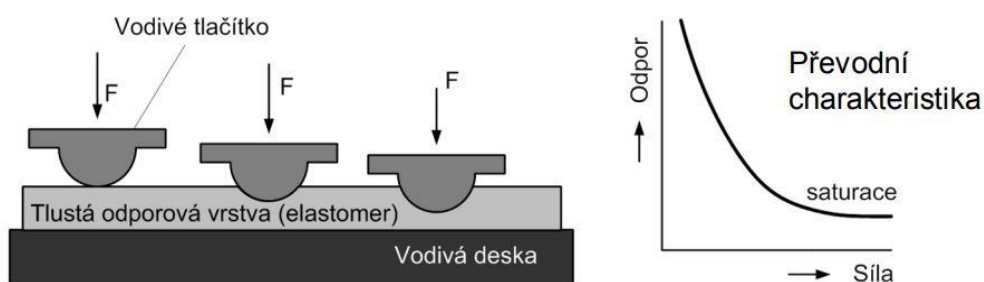


Obr. 3.3 Aktivní taktilní senzor s piezoelektrickými vrstvami [2]

3.1.3 Taktilní piezorezistivní senzory

Pro realizaci odporové tlusté vrstvy (elastomeru) se používají materiály, které mění svůj ohmický odpor v závislosti na mechanické deformaci, tedy vlivem působení síly. Tuto vlastnost nazýváme piezoodporový jev. Vodivé elastomery bývají vyráběny z křemíkové

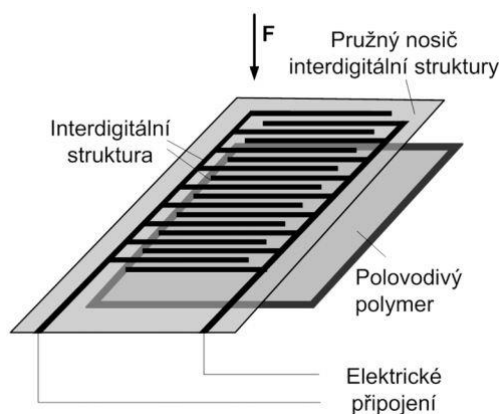
pryže či polyuretanu. Tlakovou citlivost a měřicí rozsah udává převodní charakteristika. Z ní vyplývá, že maximální tlak, který lze při měření použít, je takový tlak, kdy se převodní charakteristika začne dostávat do oblasti saturace. V oblasti saturace se pak citlivost senzoru blíží nule a měření ztrácí význam. Závislost změny odporu na působící síle je mnohonásobně vyšší, než by byla například u běžných kovových fóliových tenzometrů. Citlivost těchto senzorů je tedy obecně vysoká. Nevýhodou této konstrukce senzoru je poměrně velká tloušťka, která bývá přibližně 1 mm [2], [4].



Obr. 3.4 Taktilní senzor s odporovou tlustou vrstvou- struktura senzoru (vlevo) a převodní charakteristika (vpravo) [2]

3.1.4 Taktilní senzory s odporovou tenkou vrstvou

Pro výrobu tenkovrstvých taktilních senzorů se používají polovodivé polymery, které mění svůj ohmický odpor v závislosti na působící síle nebo tlaku. Senzor používá prstovou (interdigitální) strukturu jako jednu vrstvu. Jako druhá vrstva je pak použit polovodivý polymer. Takový senzor má velký dynamický rozsah, ale velmi malou přesnost, která dosahuje $\pm 10\%$. Typická tloušťka senzoru je 250 μm . Výhodou je nízká cena [2].



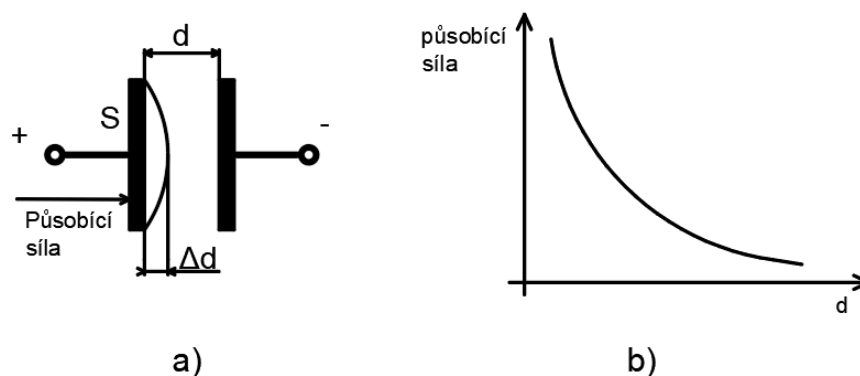
Obr. 3.5 Taktilní senzor s odporovou tenkou vrstvou [2]

3.1.5 Taktilní senzory s kapacitním principem

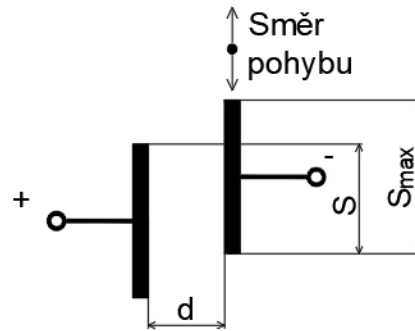
Pro měření působící síly nebo tlaku se využívá principu měření posunutí, které je založeno na změně vzdálenosti mezi elektrodami kapacitního senzoru, případně na změně plochy překrytí těchto elektrod [1]. Pro výpočet kapacity C jednoduchého deskového kondenzátoru platí vztah:

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{S}{d}, \quad (11)$$

kde ε_0 je permitivita vakua, ε_r je relativní permitivita, S je plocha elektrod, resp. plocha překrytí elektrod a d je vzdálenost elektrod. Působíme-li na jednu z elektrod silou nebo tlakem, dojde k jejímu prohnutí a vzdálenost mezi oběma elektrodami se sníží. Dle uvedeného vztahu (11) se tak nutně musí zvýšit kapacita měřicího kondenzátoru, jelikož ostatní členy rovnice zůstávají konstantní. Převodní charakteristika takového senzoru je značně nelineární, konkrétně se jedná o hyperbolickou závislost, což má za následek špatnou citlivost senzoru při větších vzájemných vzdálenostech elektrod. Linearizace je možná uspořádáním tří elektrod jako diferenciálního kondenzátoru. V pracovní oblasti kolem základní polohy prostřední pohyblivé elektrody lze pak převodní charakteristiku aproximovat jako lineární. S využitím změny plochy elektrod se opět mění kapacita snímače. V tomto případě je převodní charakteristika lineární, tedy kapacita se mění přímo úměrně změně plochy elektrod. Pro vyhodnocení změny kapacity se u těchto senzorů nejčastěji využívají střídavé kapacitní můstky [1]. Tyto senzory mají využití pro realizaci tlakoměrů, snímačů dotyku, posuvu, či snímačů naplnění nádob.



Obr. 3.6 Princip kapacitního senzoru se změnou vzdálenosti elektrod (a), převodní charakteristika (b)



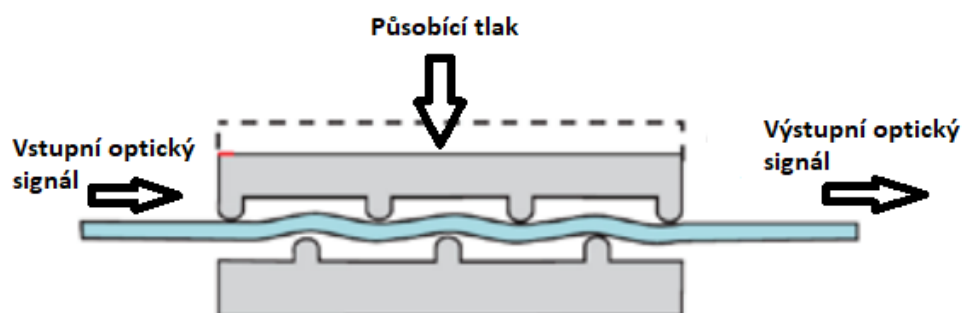
Obr. 3.7 Princip kapacitního senzoru se změnou plochy elektrod

3.1.6 Optické vláknové snímače tlaku

Nosičem informace jsou v tomto případě fotony. Právě díky tomu disponují tyto senzory výbornou citlivostí, vysokou linearitou převodní charakteristiky a odolností proti rušení. Nevýhodou je pak zvýšená náročnost konstrukce a vyšší cena. Optický vláknový senzor využívá mikroohyby v optickém vlákně, které vznikají mezi hroty působením snímaného tlaku na plochu senzoru. Mikroohyby mají za následek zvýšení útlumu optického vlákna, tj. zvýšení poměru výkonu vstupního optického signálu ku signálu výstupnímu [4]. Celkový útlum optického vlákna v decibelech (dB) se vypočítá jako:

$$A = 10 \log \frac{P_1}{P_2}, \quad (12)$$

kde P_1 je výkon vstupního optického signálu a P_2 je výkon výstupního optického signálu. Na základě změn útlumu lze vyhodnotit velikost působícího tlaku.



Obr. 3.8 Konstrukce optického vláknového snímače tlaku

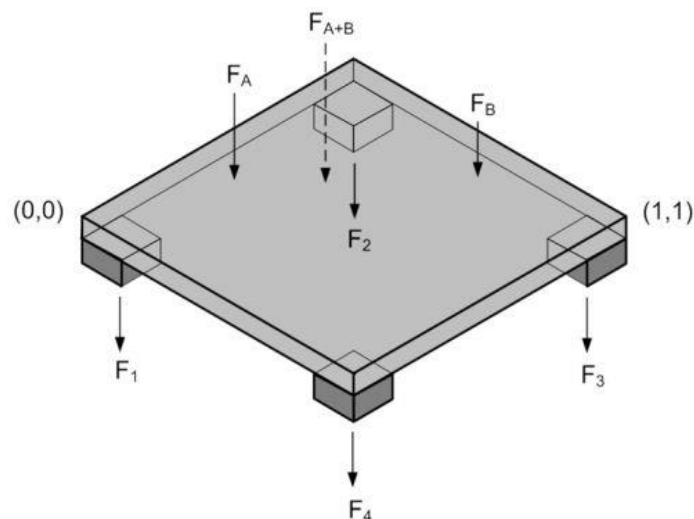
3.2 2D taktilní senzory – dotykové displeje

Vhodným uspořádáním taktilních senzorů na ploše vznikne tzv. 2D taktilní senzor, který je schopen kromě působící síly nebo tlaku měřit i geometrické místo, v jakém tato síla nebo tlak působí. Princip vyhodnocování místa dotyku v souřadnicích x a y u dotykového displeje založeného na síle je znázorněn na *Obr. 3.9*. Na plochu destičky působí dotyková síla F a senzory umístěné v rozích měří velikosti sil F_1 , F_2 , F_3 a F_4 , které v těchto rozích působí. Pokud působí pouze jednoduchá dotyková síla F_A , lze souřadnice dotyku snadno určit podle vztahu (13).

$$x = \frac{F_3 + F_4}{F_1 + F_2 + F_3 + F_4} \quad (13)$$

$$y = \frac{F_2 + F_3}{F_1 + F_2 + F_3 + F_4}$$

Pokud je působících sil více, lze z hodnot sil F_1 až F_4 vypočítat těžiště celkové působící síly $F_A + F_B$ [2].



Obr. 3.9 Princip vyhodnocování informace o dotyku u dotykového displeje založeného na síle [2]

Dotykové displeje jsou již řadu let velmi rozšířenými ovládacími prvky mnohých elektronických zařízení. Využití mají v displejích mobilních telefonů, v obslužných

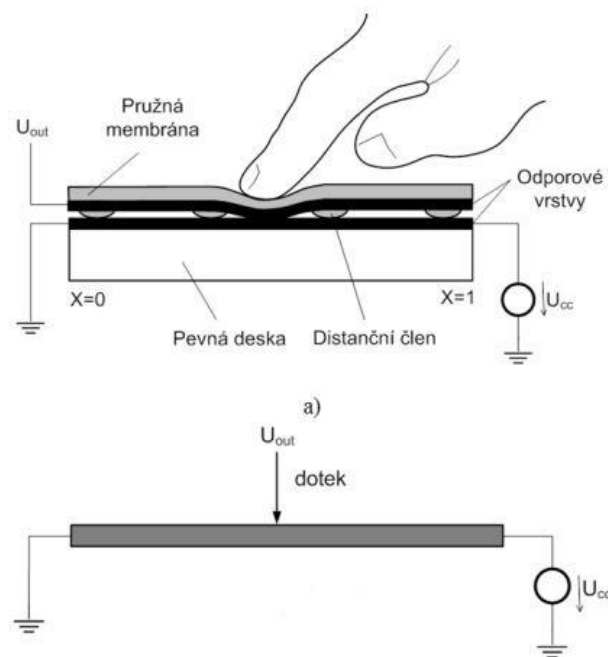
panelech pro ovládání průmyslových zařízení, či v ovládání různých terminálů a infotainmentů.

3.2.1 Dotykové displeje s odporovým principem

Základní princip senzoru je založen na pružné membráně s odporovou vrstvou. V místě dotyku se membrána prohne a kontakt s další odporovou vrstvou vytvoří potenciometrické zapojení. Princip je znázorněn na *Obr. 3.10*. Pevná odporová vrstva je napájena napětím U_{cc} a výstupní signál ze vzniklého potenciometru označíme U_{out} . Souřadnice místa dotyku se pak získá podle vztahu (14).

$$x = \frac{U_{out}}{U_{cc}}. \quad (14)$$

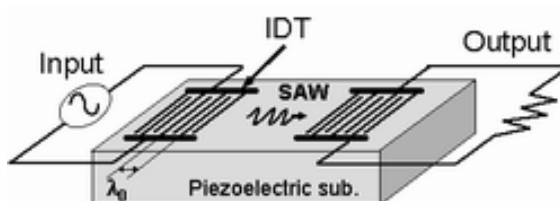
Pro realizaci se používá pružná membrána z polyetylentereftalátu (PET), odporová vrstva bývá z tenké vrstvy oxidu india. Pevná základová deska je tvořena sklem nebo polymerem pokrytým indiem. Distanční články jsou tvořeny průhledným izolačním materiálem, mají tloušťku menší než 25 μm a jsou umístěny v mřížce s roztečí několika milimetrů. Vzhledem k tomu, že zde záleží pouze na tom, aby byl displej při dotyku stlačen, lze jej ovládat prakticky jakýmkoli vodivým i nevodivým předmětem [2].



Obr. 3.10 Odporový taktilní senzor dotykového displeje a) princip b) náhradní elektrický obvod [2]

3.2.2 Dotykové displeje s ultrazvukovým principem

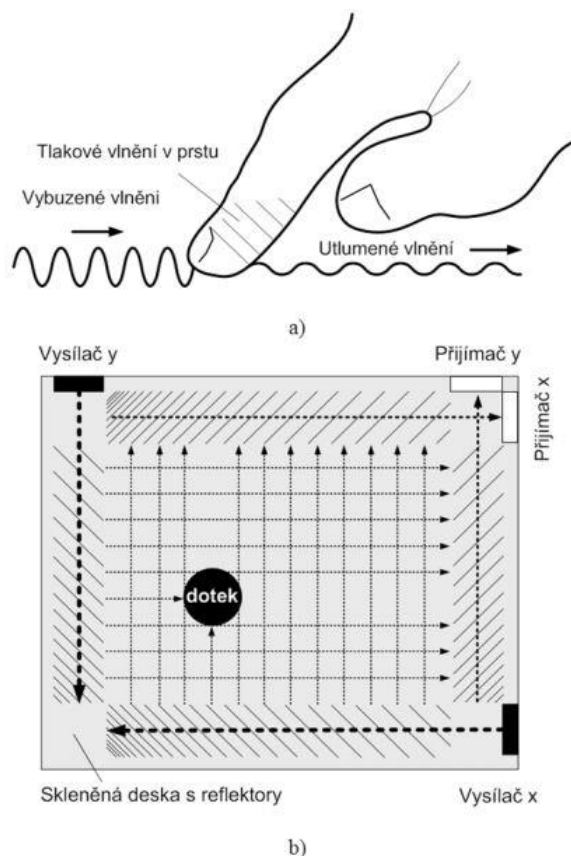
Tento princip umožňuje získávat informace z většího množství dotyků současně. Sensory využívají principu šíření Rayleighovy vlny [2]. Takovým sensorům říkáme SAW senzory. SAW (Surface Acoustic Wave) je akustická vlna pohybující se podél povrchu materiálu s určitou pružností a její amplituda se tlumí exponenciálně s hloubkou substrátu. SAW senzory pak využívají měničů IDT pro převod elektrického signálu na akustickou vlnu a opačně. Využívá se tedy piezoelektrického jevu, čemuž musí odpovídat i materiál senzoru. Provedení senzoru SAW je na *Obr. 3.11* [5].



Obr. 3.11 Provedení senzoru SAW [5]

K šíření vlny se u těchto displejů používá sklo. Jeho použití je výhodné zejména kvůli jeho průhlednosti, ceně, pevnosti a poměrně malému útlumu šířící se vlny.

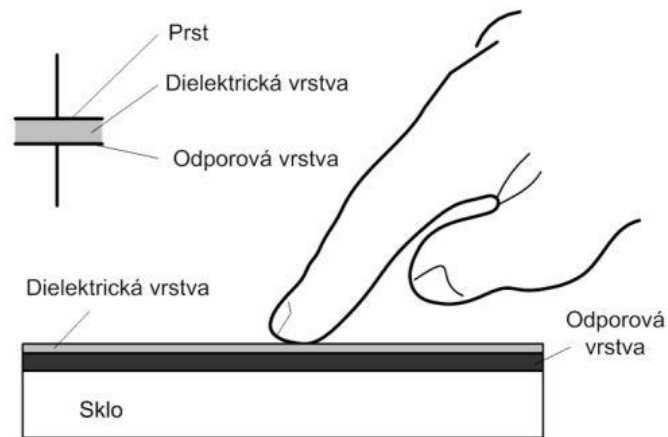
Princip fungování je zobrazen na *Obr. 3.12 a)*. Po dotyku prstem se část energie šířícího se vlnění absorbuje, čímž dojde k utlumení vlnění. Výhodou tohoto principu oproti principu odporového dotykového displeje je jednoduché uspořádání a možnost realizace na zakřiveném povrchu. Princip určování souřadnic dotyku je znázorněn na *Obr. 3.12 b)*. Ultrazvukový vysílač vyšle povrchovou akustickou vlnu. Ta prochází soustavou odražečů pootočených o úhel 45°, které vlnu nasměrují do plochy displeje. Po průchodu plochou displeje vlna naráží na další soustavu odražečů, které ji opět pootočí o úhel 45°. Odtud již vlna směřuje na ultrazvukový přijímač. Dotyk způsobí zpoždění dané vlny vůči ostatním. Výpočtem tohoto zpoždění získáme informace o souřadnicích dotyku [2].



Obr. 3.12 Ultrazvukový dotykový displej - princip (a), uspořádání (b) [2]

3.2.3 Dotykové displeje s kapacitním principem

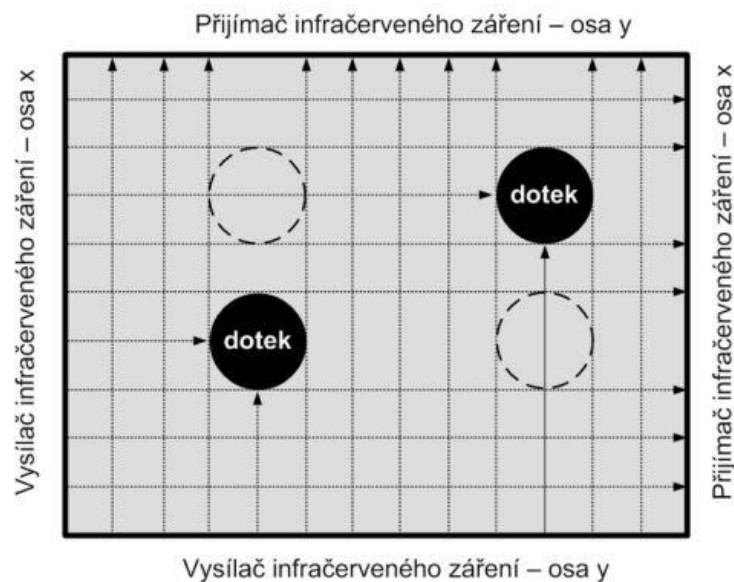
Tento typ dotykového displeje je hojně využíván v displejích moderních chytrých mobilních telefonů. Vzhledem k principu činnosti, který je zobrazen na Obr. 3.13, lze takový displej ovládat pouze pomocí elektricky vodivých předmětů, tedy například našeho prstu. Na skleněné základové desce se nachází odporová vrstva, která tvoří první elektrodu kondenzátoru. Druhou elektrodu vytvoří při dotyku kůže našeho prstu. Kapacita je detekována svodovým proudem na zem při napájení frekvencí řádově kHz. Svodový proud prstem je složen ze čtyř proudů tekoucích přírody v rozích displeje. Informace o souřadnicích dotyku se získá z velikosti jednotlivých proudů [2].



Obr. 3.13 Princip kapacitního dotykového displeje [2]

3.2.4 Dotykové displeje s infračerveným principem

Princip určování polohy dotyku je založen na vytvoření mřížky paprsků infračerveného záření. Jako vysílače paprsků slouží infračervené LED diody, jako přijímače se pak využívají fototranzistory. V místě dotyku se světelné paprsky přeruší, určité fototranzistory tedy nepřijmou žádné záření, a dle toho se vyhodnotí souřadnice dotyku. Je možné detekovat více dotyků najednou [2].

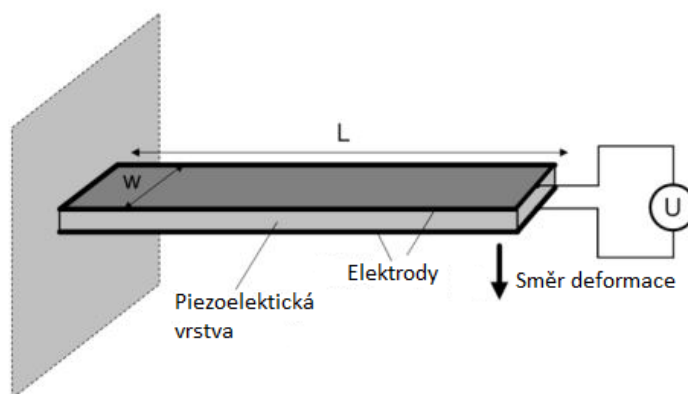


Obr. 3.14 Dotykový displej na principu infračerveného záření [2]

3.3 Piezoelektrické aktuátory

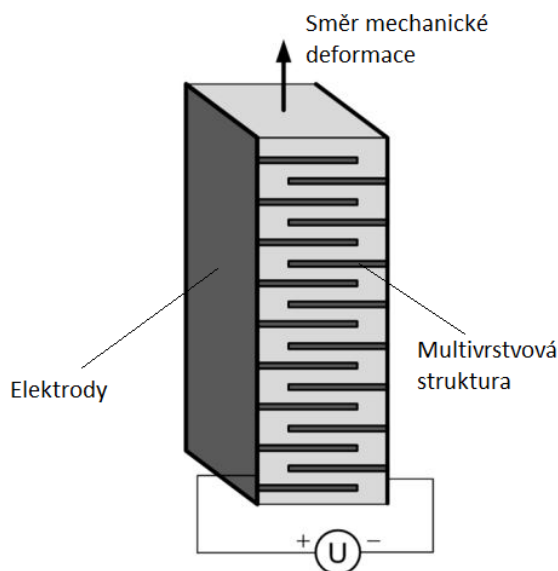
Pracují na principu obráceného piezoelektrického jevu, kdy se po přivedení napětí na elektrody piezoelektrického elementu začne tento element deformovat. Míra deformace je úměrná přivedenému napětí. Mezi významné piezoelektrické materiály patří piezokeramické materiály, jejichž významnými zástupci jsou olovo-zirkon-titanát (PZT), titaničitan barnatý (BaTiO_3) a oxid zinečnatý (ZnO). Polyvinylfluorid je pak nejdůležitějším zástupcem piezoelektrických polymerů [2].

Piezoelektrické aktuátory umožňují vytváření přesných pohybů v nanometrovém rozsahu s rychlostí reakce řádově v mikrosekundách. Lze je vyrábět v široké škále velikostí a tvarů, vždy podle potřeb konkrétní aplikace. Řízeny mohou být napětím v rozsahu 1 mV až 1 kV. Pracují s poměrně velkou účinností, kdy se v mechanickou energii přeměňuje zhruba 50% z elektrické energie, kterou je aktuátor napájen. Mohou vyvinout značné síly. Výhodou piezoelektrických aktuátorů, potažmo piezoelektrických materiálů, je jejich velká mechanická životnost a necitlivost na znečištění. Jistou nevýhodou je pak malá relativní změna rozměrů působením elektrického napětí. Tato změna činí řádově $\text{nm} \cdot \text{V}^{-1}$. Při použití piezoelektrického aktuátoru pro ohyb (aktuátor typu nosník) je však výchylka mnohonásobně větší. V tomto případě musí být jeden konec piezoelektrického elementu pevně uchycen, zatímco druhý konec se působením napětí zdvihá. Výchylka takového nosníku může být až 1 mm, ovšem při poměrně vysokém přiloženém napětí, které může dosahovat až stovek V [2].



Obr. 3.15 Piezoelektrický aktuátor

Zvýšení změny mechanických rozměrů při stejném přiloženém napětí lze dosáhnout zařazením několika piezoelektrických členů za sebe do série. V takovém případě se jejich deformační účinky sčítají. Pro takovou konstrukci se používají tenké piezoelektrické destičky spojené kovovými elektrodami. Tloušťka aktuátorů je 20 μm až 200 μm [2].



Obr. 3.16 Multivrstvová struktura piezoelektrického aktuátoru

Další možná struktura piezoelektrických aktuátorů je tzv. bimorfnní struktura. Ta vzniká složením dvou piezoelektrických vrstev a nosné desky. Piezoelektrické desky jsou umístěny po stranách desky nosné a po obou stranách jsou pokryty elektricky vodivou vrstvou. Princip činnosti je založen na rozpínání nebo naopak stahování piezoelektrických vrstev. Tato činnost vyžaduje přivedení střídavého napětí na elektrody piezoelektrických desek. Přiložené elektrické pole působí ve směru nebo v protisměru polarizace piezoelektrických vrstev a tím se vrstva rozpíná nebo naopak smršťuje. Rychlost kmitání závisí na frekvenci přivedeného napětí [2].

Piezoelektrické aktuátory nalézají široké uplatnění pro realizace mikropump a mikroventilů. V moderních spalovacích motorech se například používají pro ovládání vstřikovacích ventilů. V medicíně bývají využívány například jako zdroje rázových vln v generátorech pro rozbíjení ledvinových kamenů. V CCD kamerách mohou sloužit pro přesné nastavení zrcadel [2]. V mobilních telefonech se pomocí nich realizují reproduktory. Co se týče zařízení pro hluchoslepé, nalézají piezoelektrické aktuátory

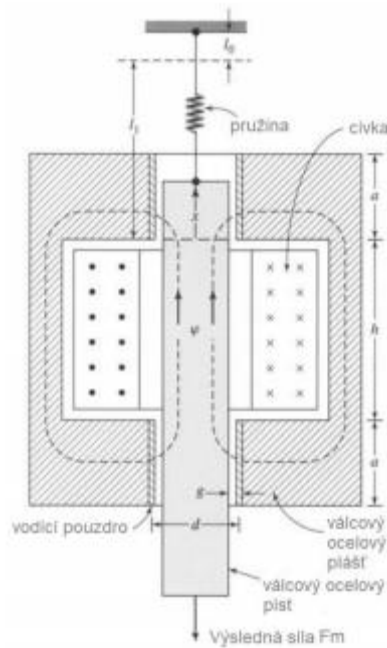
uplatnění v Braillových klávesnicích, kde slouží ke zdvihání hmatových kolíků, ze kterých je následně sestaven požadovaný znak Braillovy abecedy.

3.4 Elektromechanické lineární aktuátory

Elektromechanické aktuátory převádějí vstupní elektrickou energii na energii mechanickou. Zde se zaměříme na elektromechanické aktuátory s lineárním posuvným pohybem, jelikož jsou z pohledu využití v zařízeních pro hluchoslepé nejvhodnější. Lze je vyrobit v dostatečně malých rozměrech, takže mohou působit například citlivé doteky na lidskou ruku. Jejich pohyb lze poměrně přesně regulovat, což je samozřejmě žádoucí. Nevýhodou může být fakt, že k udržení aktuátoru ve stálé poloze je nutné, aby budicí cívkou stále protékal proud, což znamená vyšší energetickou náročnost. Využití nacházejí opět například v Braillových klávesnicích, kde zdvihají hmatové kolíky. Dvě základní konstrukce těchto aktuátorů jsou konstrukce s feromagnetickým jádrem a s permanentními magnety.

3.4.1 Aktuátory s feromagnetickým jádrem

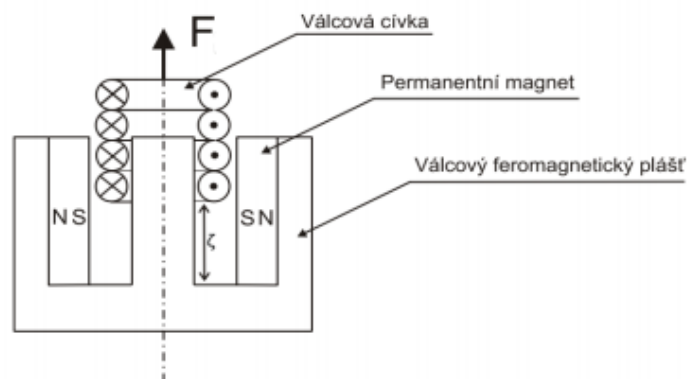
Princip funkce spočívá v protékání proudu budicí cívkou, okolo které se tak vytváří magnetické pole. Toto magnetické pole působí silou na jádro (kotvu) z feromagnetického materiálu, díky čemuž jádro vykonává posuvný pohyb. Jádro bývá připevněno k pružině, která působí proti silovým účinkům magnetického pole a má tak tendenci vracet jádro do výchozí polohy. Na *Obr. 3.17* je zobrazena konstrukce solenoidu, který na tomto principu pracuje [12].



Obr. 3.17 Konstrukce solenoidu [12]

3.4.2 Aktuátory s permanentními magnety

V případě předchozí konstrukce byla cívka statickým prvkem a nevykonávala žádný pohyb. U aktuátorů s permanentními magnety je cívka naopak pohyblivým prvkem a statickým prvkem jsou permanentní magnety, které vytvářejí magnetický tok. Pokud jsou závitové cívky protékány proudem, působí na cívku síla F . Směr působení této síly závisí na směru proudu procházejícího cívkou. Cívka se tedy může pohybovat v obou směrech [12].



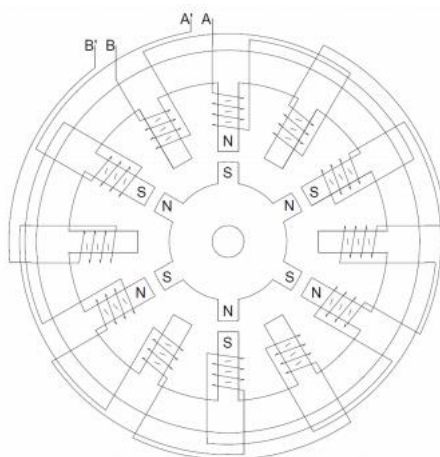
Obr. 3.18 Lineární elektromechanický aktuátor s permanentními magnety [12]

3.5 Krokové motory

Krokové motory jsou druhem synchronních elektrických točivých strojů. Jejich otáčky probíhají v přesně daných krocích, tedy každý krok znamená natočení o přesně daný úhel. Řízení probíhá pomocí elektrických impulsů přiváděných na statorová vinutí motoru. Krok je tedy mechanickou odezvou na tyto impulzy. Uplatnění nacházejí především v menších zařízeních, kde je požadováno přesné polohování bez složitého použití koncových spínačů, enkodérů nebo brzd a spojek, kterých by bylo třeba použít v případě klasických stejnosměrných nebo střídavých motorů. Takovými zařízeními jsou typicky 3D tiskárny, malé CNC frézky, CNC vrtačky nebo plotry, kde je třeba přesně řídit posuvy ve všech třech osách [13], [14].

Mezi výhodné vlastnosti krokových motorů patří, že úhel natočení hřídele je přímo úměrný počtu vstupních impulsů, rychlost otáčení je úměrná frekvenci vstupních impulsů a také rychlá a přesná reakce na změnu rychlosti nebo směru otáčení. Krokové motory mohou být řízeny v otevřené smyčce bez nutnosti zavedení polohové zpětné vazby právě díky skutečnosti, že jeden impuls znamená jeden krok motoru. Za další výhody považujeme aretaci hřídele v zastaveném stavu (při stálém napájení statorového vinutí), velký točivý moment při malých rychlostech, možnost přetížení a úplného zastavení bez hrozby poškození a také vyšší životnost díky absenci kartáčů a komutátoru. Nevýhodnými vlastnostmi krokových motorů jsou naopak ztráta točivého momentu při vysokých rychlostech otáčení, odběr proudu v klidové poloze a celková vyšší hlučnost provozu díky vibracím. Při přetížení může dojít k vynechání kroku, což může způsobovat chyby při řízení motoru vzhledem k tomu, že není zavedena polohová zpětná vazba. Rozlišujeme 3 typy krokových motorů – krokové motory s proměnnou reluktancí, s permanentními magnety a hybridní krokové motory [13], [14].

Ačkoliv samotné krokové motory nemůžeme považovat přímo za haptické aktuátory, mohly by nalézt uplatnění při konstrukci zařízení pro polohování taktilních kolíků či umělých prstů, které by sloužily pro vpisování znaků do dlaně hluchoslepeho člověka dle použité komunikační metody. Z tohoto důvodu jsou zde zmíněny. Myšlenka využití krokových motorů v zařízení pro hluchoslepé bude podrobněji popsána v dalších částech práce.



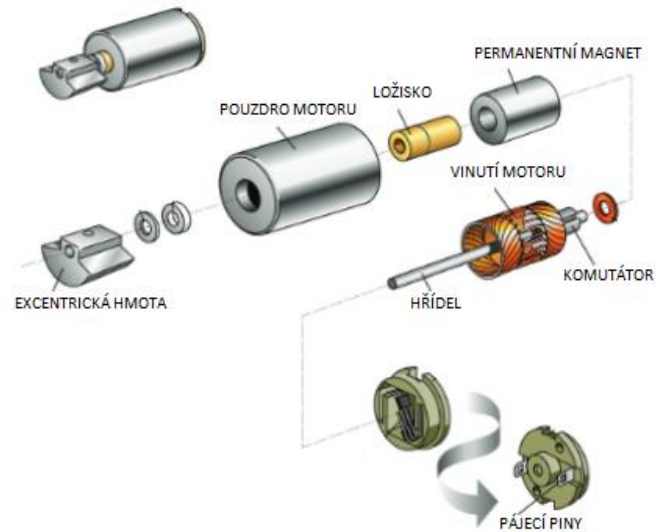
Obr. 3.19 Konstrukce krokového motoru s permanentními magnety [13]

3.6 Vibrační motory

Vibrační motory se využívají pro zprostředkování haptické zpětné vazby v mnoha různých odvětvích a zařízeních. Vibrační signály slouží k předávání informací uživateli prostřednictvím hmatu - například k upozornění na vypnutí/zapnutí zařízení, upozornění na nějakou náhlou událost či nebezpečí nebo jako vhodný doplněk k dotykovým displejům, které jsou samy o sobě hladké a nedisponují žádnou zpětnou vazbou. Díky vibracím se nám k dotykům na displeji přidá další hmatový vjem, díky kterému je ovládání pohodlnější. Běžným se stává využití vibrační zpětné vazby v automobilech, kde mají vibrace za úkol upozornit řidiče na určitou událost nebo nebezpečí způsobem stejně efektivním, ale příjemnějším, než by byl rušivý zvukový signál. Také v herních ovladačích se s touto vibrační zpětnou vazbou běžně setkáváme [15]. Komunikovat lze pomocí vibrací například v Morseově abecedě a konkrétně hluchoslepým osobám mohou být prostřednictvím vibračních motorů na ruku vyznačovány například znaky Lormovy abecedy.

3.6.1 Vibrační motor s excentrickou rotující hmotou (ERM)

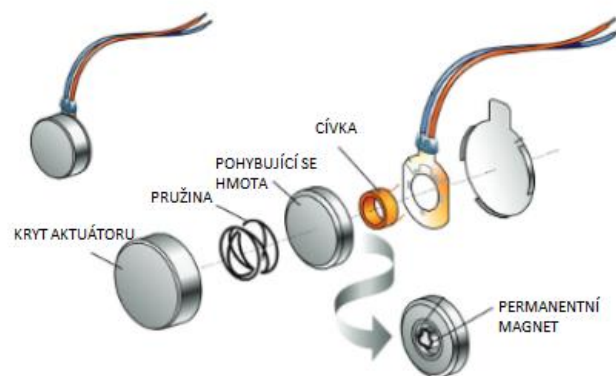
Tyto motory otáčejí nevyváženou neboli excentrickou hmotou, čímž se vytvářejí vibrace. Mohou mít válcový či plochý tvar. Mají velkou setrvačnost, a proto mají pomalé reakce při spuštění a při vypínání. Nejsou příliš vhodné pro vytváření precizních vibračních signálů. Konstrukce takového motoru je na Obr. 3.20 [16].



Obr. 3.20 Konstrukce vibračního motoru s excentrickou hmotou (ERM)

3.6.2 Lineární rezonanční aktuátor (LRA)

Tyto aktuátory jsou tvořeny magnetickou cívkou, která působí na pohyblivou hmotu s permanentním magnetem a střídavě s ní pohybuje v jedné ose, čímž vytváří vibrace. Tento lineární pohyb umožňuje vytvořit čistší a preciznější vibrační signály. Výhodou je také nízké napájecí napětí (obvykle 2V), což je vhodné pro bateriový provoz. Konstrukce je znázorněna na Obr. 3.21 [16].



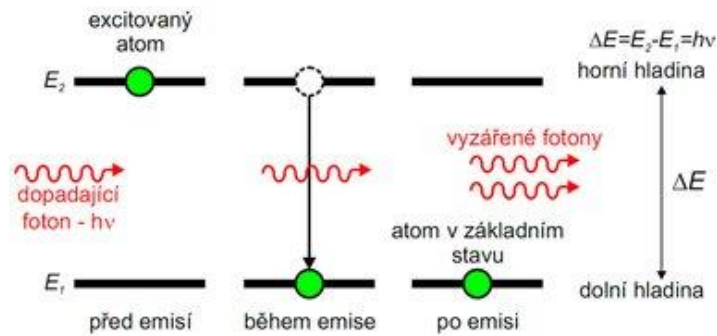
Obr. 3.21 Konstrukce lineárního rezonančního aktuátoru (LRA)

3.7 Aktuátory s tepelným výstupem

Úkolem aktuátorů s tepelným výstupem je stimulovat lidské termoreceptory za účelem vytvoření požadovaného podnětu. Z hlediska přenosu informace hmatem je jejich použití omezené, snad jen laserová technologie by byla schopna napodobit mechanické působení na lidskou kůži a předávání informace, a to především díky možnosti přesného směrování paprsku a velmi rychlému zvýšení teploty objektu, na který paprsek působí. Ostatní aktuátory s tepelným výstupem najdou využití spíše pro ohřev dotýkané plochy, aby byl lidský dotyk co nejkomfortnější.

3.7.1 Laser

Laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) je optický zesilovač, který generuje světelný tok pomocí stimulované emise fotonů. Základem laseru je aktivní prostředí, které je třeba vybudit. Elektronky, které se v aktivním prostředí nacházejí, po vybudění přeskakují (jsou excitovány) z nižší energetické hladiny na vyšší, kde se dále udržují právě díky buzení. Proud fotonů, jež má laser generovat, je dále vytvořen procesem stimulované emise. Jedná se o lavinový efekt, kdy foton dopadající na excitovaný elektron způsobí jeho návrat na nižší energetickou hladinu, přičemž dojde k emisi dalšího fotonu. Tyto fotony procházejí systémem zrcadel a lavinovým efektem s sebou strhávají další fotony. Tím je vytvořen výsledný proud fotonů, jehož hlavními vlastnostmi jsou vysoká koherence a monochromaticnost. Světlo vydávané laserem může být jak ve viditelném pásmu, tak i v pásmu infračerveném či ultrafialovém. Lasery se hojně využívají v medicíně při řezání tkání či očních operacích. V průmyslu jsou lasery využívány k přesnému řezání materiálů nebo například ke svařování. Při působení laserového paprsku o nízké energii na lidskou kůži je způsoben pouze její ohřev, nikoli poškození a vyvolání bolesti. Tímto způsobem je možno vyvolávat přesně cílené hmatové vjemy, navíc bezkontaktním způsobem [17], [25].



Obr. 3.22 Princip generování laserového paprsku [17]

3.7.2 Topné odpory

Bývají konstruovány ve formě topných spirál či drátů. Vyrábějí se z vodivých materiálů s vysokým elektrickým odporem. Při průchodu elektrického proudu tímto odporovým vodičem se jeho značná část přeměňuje na teplo vlivem Jouleových ztrát. Tento jednoduchý způsob se běžně využívá v domácích elektrických tepelných spotřebičích nebo pro vyhřívání povrchů.

4 Výběr haptických senzorů a aktuátorů pro účely komunikace hluchoslepých

V této části práce se budu věnovat výběru vhodných haptických senzorů a aktuátorů pro osoby trpící zrakovým a sluchovým postižením, tedy hluchoslepotou. Přenos informace je u osob s těžší formou tohoto postižení realizován převážně hmatem. Výběrem vhodných senzorů a jejich aplikací ve vhodném zařízení, které by sdělovanou informací zpracovalo a umožnilo její přenos v textové či hlasové podobě, by bylo hluchoslepým usnadněno sdělování informací svému okolí. Naopak vhodné aktuátory by dokázaly hluchoslepému člověku předat zpracovanou textovou (případně hlasovou) informaci hmatovou formou, které bude rozumět. Vytvořilo by se tedy jakési komunikační rozhraní, díky kterému by mohli hluchoslepi komunikovat i s lidmi, kteří neovládají žádnou ze speciálních komunikačních metod. Před dalším postupem zavedme dva pojmy, které budou dále používány:

- **Komunikace směrem ven** – případ, kdy hluchoslepaná osoba informaci sděluje
- **Komunikace směrem dovnitř** – případ, kdy hluchoslepaná osoba informaci přijímá

4.1 Hluchoslepota

Hluchoslepota je kombinované postižení sluchových a zrakových orgánů. Často se projeví v průběhu stárnutí nebo může být následkem úrazu. Hluchoslepota taktéž může být i vadou vrozenou, případně vrozené může být postižení jednoho ze smyslů a postižení druhého se objeví postupem času. Ztráta obou smyslů může být úplná nebo částečná, s tím, že jeden ze smyslů je poškozen více či méně než druhý. Toto postižení způsobuje problémy především při komunikaci, prostorové orientaci, samostatném pohybu, při zajišťování svých vlastních potřeb a také v přístupu k informacím. Zabraňuje plnohodnotnému zapojení do společnosti a běžného způsobu života. Dále pak vyžaduje zajištění odborných služeb, kompenzačních pomůcek a často i úpravy prostředí [6]. Hluchoslepota se objevuje u všech věkových skupin, a to včetně dětí, které se s tímto postižením mohou již narodit. Zhruba polovina případů hluchoslepoty však připadá na seniory, tedy osoby ve věku 60 let a starší [7]. Na úplnou ztrátu sluchu bývá v mnoha případech navázána i němota, která je způsobena ztrátou zpětné vazby od vlastního hlasu.

4.2 Komunikace hluchoslepých

Způsob komunikace s hluchoslepotou osobou závisí především na rozsahu jejího postižení. Pokud jsou oba či alespoň jeden ze smyslů zachovány v takové míře, že je lze pro komunikaci použít nebo je lze zlepšit pomocí kompenzačních pomůcek, může komunikace za určitých podmínek probíhat i mluvenou řečí či psanou formou. Dalším důležitým faktorem je doba vzniku postižení. Pokud se hluchoslepota objevila až v pozdějším věku, je komunikace s takovým člověkem snazší díky předchozím získaným znalostem a dovednostem. Dalšími faktory ovlivňujícími způsob komunikace jsou věk postižené osoby, její vývojová úroveň, psychický a fyzický stav, případně nějaké další postižení. Mezi nejčastěji používané komunikační systémy hluchoslepých patří:

- *Mluvená řeč*
- *Psaná forma*
- *Znakový jazyk*
- *Taktilní znakový jazyk*
- *Lormova abeceda*
- *Braillovo písmo*
- *Braillovo písmo s taktilní formou*

- *Tiskací písmena do dlaně (daktylografika)*
- *Prstová abeceda*
- *Daktylotika do dlaně*
- *Tadoma*
- *Odezírání*

Výběr vhodného komunikačního systému je velmi individuální záležitost [8]. Zejména při výuce některé z komunikačních metod je nutné dbát na to, aby nebyl mozek hluchoslepeho příliš zatěžován a komunikace se tak stávala nepříjemnou. To by mohlo vést ke ztrátě ochoty učit se novým způsobům komunikace a navazovat kontakt. Podle informací získaných z organizace LORM, která sdružuje lidi postižené hluchoslepotou a poskytuje jim potřebné služby, může v České republice v současné době žít až 4000 lidí s hluchoslepotou. Převážná většina z nich je stále schopna komunikovat, ač s omezeními nebo za použití kompenzačních pomůcek, pomocí zraku, sluchu a řeči. Samotná organizace LORM ke konci roku 2019 evidovala 235 lidí. Pravidelné služby na smluvním principu byly poskytovány 132 osobám. Obecně se dá říct, že LORM poskytuje služby těm lidem, u nichž má hluchoslepota těžší formu. Právě tyto lidé vyžadují největší pozornost a je zapotřebí snažit se jim komunikaci co nejvíce usnadnit. Pro další úvahy a výběr vhodných senzorů a aktuátorů budeme vycházet ze způsobů komunikace pomocí Lormovy abecedy, Braillova písma a tiskacích písmen do dlaně, tzv. daktylografiky. Jedná se o čistě hmatové způsoby dorozumívání, které jsou zároveň nejvhodnější pro senzorické snímání sdělované informace pro komunikaci směrem ven, tak pro komunikaci směrem dovnitř pomocí aktuátorů. Zároveň se těmito způsoby dorozumívají osoby s nejtěžšími formami hluchoslepoty, pro něž je hmatový vjem jediným možným komunikačním prostředkem. Je také nutné vědět, že jen velmi málo osob používá ke komunikaci výhradně jednu metodu. Ve většině případů se jedná o kombinaci více metod a jejich použití závisí na možnostech a aktuální situaci.

4.2.1 Lormova abeceda

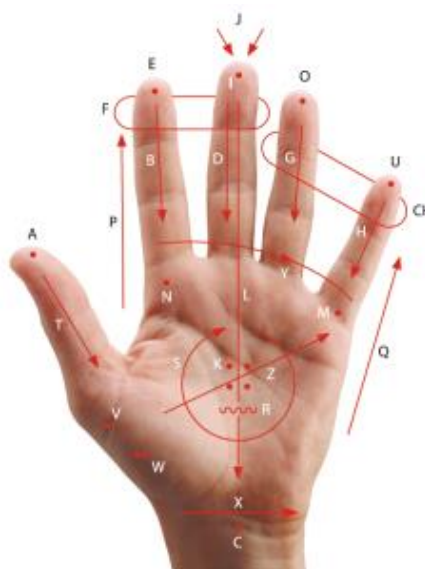
Tato metoda spočívá ve vyjadřování jednotlivých písmen běžné abecedy pomocí dotyků nebo pohybů na ruce příjemce informace. Ke komunikaci se využívá především dlaňová strana ruky. Prsty jsou vztyčené a mírně roztažené. Zda se při komunikaci bude používat ruka pravá nebo levá, je lhostejné a závisí to pouze na domluvě mezi

komunikujícími. Osoba sdělující informaci vyznačuje jednotlivá písmena nejčastěji ukazováčkem dle pravidel Lormovy abecedy. Metoda byla vymyšlena v 19. století Hieronymem Lormem, který byl sám hluchoslepý a tuto abecedu následně sám používal [9].

Tab. 4.1 Pravidla vyznačování znaků nebo sdělení podle Lormovy abecedy [9]

Znak nebo sdělení	Způsob vyznačení
A	bod na špičce palce
B	čára po ukazováčku od špičky prstu k dlani
C	bod na zápěstí
D	čára po prostředníčku od špičky prstu k dlani
E	bod na špičce ukazováčku
F	současné stisknutí špiček ukazováčku a prostředníčku ze strany
G	čára po prsteníčku od špičky prstu k dlani
H	čára po malíčku od špičky prstu k dlani
CH	současné stisknutí špiček prsteníčku a malíčku ze strany
I	bod na špičce prostředníčku
J	stisk špičky prostředníčku ze strany
K	bod čtyř špiček prstů do dlaně
L	čára po prostředníčku od špičky prstu přes dlaň k zápěstí
M	bod pod malíčkem
N	bod pod ukazováčkem
O	bod na špičce prsteníčku
P	čára po vnější straně ukazováčku od dlaně ke špičce ukazováčku
Q	čára po vnější straně malíčku od dlaně ke špičce malíčku
R	postupné pokládání ukazováčku, prostředníčku a prsteníčku do dlaně
S	ukazováčkem kruh na dlani
T	čára po palci od špičky prstu k dlani
U	bod na špičce malíčku
V	bod pod palcem
W	dvakrát bod pod palcem
X	čára podél zápěstí zleva doprava
Y	čára pod prsty směrem od ukazováčku k malíčku
Ý	čára pod prsty směrem od ukazováčku k malíčku a pokračovat po vnější straně malíčku směrem ke špičce malíčku
Z	šikmá čára přes dlaň od palce k malíčku
Dlouhé samohlásky	krátká čárka na špičce prstu pro příslušnou samohlásku směrem nahoru
Háček nad písmeny	bod mezi palcem a ukazováčkem před příslušnou hláskou
Čísla	obrys arabské číslice do dlaně nebo použít značení jako v Braillově písmu (v tomto případě se před číslicí použije čára obráceného písmena „L“

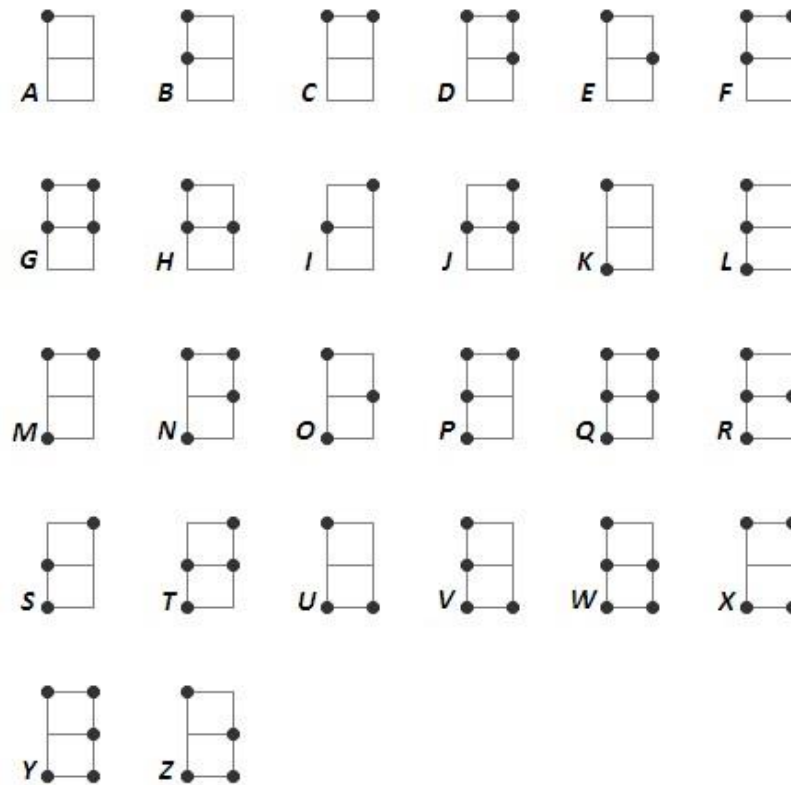
„Nerozumím“	zavřít dlaň
Omyl	lehké klepnutí do dlaně
Mezera mezi slovy	plochou ruky přejet jedenkrát po dlaní
Otazník	ukazováčkem vypsát do dlaně obrys otazníku
Konec věty	plochou ruky přejet dvakrát po dlaní



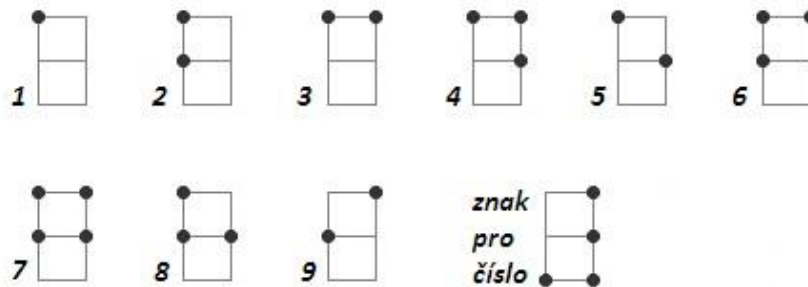
Obr. 4.1 Znárodnění Lormovy abecedy [9]

4.2.2 Braillovo písmo

Základem Braillova písma je šestice bodů ve dvou tříbodových sloupcích. U elektronických zařízení pro psaní a čtení Braillova písma se setkáváme s osmi body ve dvou sloupcích a čtyřech řádcích. Význam takového uspořádání bude dále vysvětlen. Konkrétní znaky jsou tvořeny příslušnou kombinací těchto bodů. Při použití Braillova písma s taktilní technikou se jednotlivá písmena abecedy zapisují pomocí dotyků na dvou prstech jedné ruky podle kódového systému Braillova písma. Naučit se Braillovo písmo je obtížnější pro osoby, které ztratily zrak a začaly se učit toto písmo až v pozdějším věku [10]. Vzhledem k tomu, že taktilní podoba Braillova písma využívá pouze kombinace dotyků na šesti, resp. osmi možných místech, je zřejmé, že takto podaná informace by byla velmi dobře sensoricky zaznamenanatelná, softwarově zpracovatelná a zpětně jednoduše sdělitelná pomocí aktuátorů.



Obr. 4.2 Ukázka Braillova písma – písmena [11]



Obr. 4.3 Ukázka Braillova písma – číslice [11]

4.2.3 Tiskací písmena do dlaně (daktylografika)

Způsob této komunikace spočívá v obyčejném vpisování tiskacích (obvykle velkých) písmen do dlaně příjemce informace. Ten pak stejným způsobem může odpovědět. Tento systém používají především osoby, které hluchoslepota postihla až ve vyšším věku a dobře tak znají podobu písmen běžné abecedy [10].

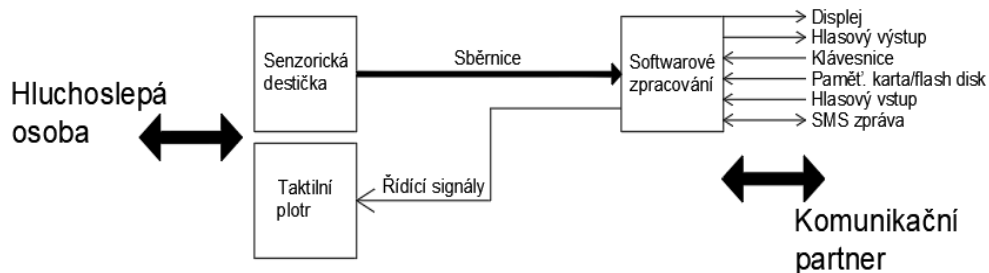
4.3 Komunikační systém pro osoby využívající daktylografiku

Jak již bylo popsáno, jedná se o komunikační metodu, kdy si komunikující osoby navzájem do dlaně vpisují velká tiskací písmena. Výhodou je využívání klasické abecedy, přičemž tedy není nutné znát a učit se jiné speciální abecedy. Klasickou abecedu zpravidla neovládají hlavně ti hluchoslepí, kteří tímto postižením trpí od narození nebo od nízkého věku a hned začali využívat nějakou z alternativ. Naopak lidé, které hluchoslepota postihla až ve vyšším věku, se měli možnost klasickou abecedu naučit a umí ji použít.

4.3.1 Podoba vhodného komunikačního zařízení

Myšlenka zařízení pro komunikaci daktylografikou je taková, že hluchoslepý po znacích napíše sdělované slovo na senzorigovou destičku. Pokud by zvlášť upřednostňoval psaní do dlaně, mohla by být zhotovena například rukavice, která by měla senzory zašité a nakontaktované v oblasti dlaně a hluchoslepý by tak psal znaky na svoji vlastní ruku s rukavicí. Psané znaky budou zpracovány vhodným algoritmem a výstup bude textový nebo hlasový. Zařízení by také mohlo být schopno odesílat zpracované zprávy prostřednictvím SMS. Tím by byla překonána dosavadní nutnost přímého kontaktu obou komunikujících osob. Pro komunikaci směrem k hluchoslepému by zařízení využívalo vstup z klávesnice, data z paměťové karty nebo flash disku, díky čemuž by nemusel nutně komunikovat s druhou osobou, ale mohl by si tímto způsobem číst libovolný text, nebo by se opět využilo přijaté SMS zprávy. Možností by byl i hlasový vstup, který by ale zkomplikoval převodní algoritmus. K hluchoslepému by se informace dostala prostřednictvím jakéhosi plotru, na který by položil ruku, a znaky by mu byly vhodným aktuátorem vpisovány do ruky. Blokované schéma takového zařízení je na *Obr. 4.4*.

Další možností je zachování taktilního plotru, vstupem by byl ale tentokrát dotykový displej s textem. Na displeji by byly umístěny vodící linky, aby hluchoslepý věděl, kde jsou jednotlivé řádky. Při přejíždění prstem po displeji by se mu do druhé ruky položené na plotru vypisovaly ty znaky, kterých se zrovna v tu chvíli dotýká na displeji. V případě nepochopení by si mohl daný znak opětovným dotykem nechat vypsat znovu. Takové zařízení by sloužilo spíše jako jakási osobní čtečka.



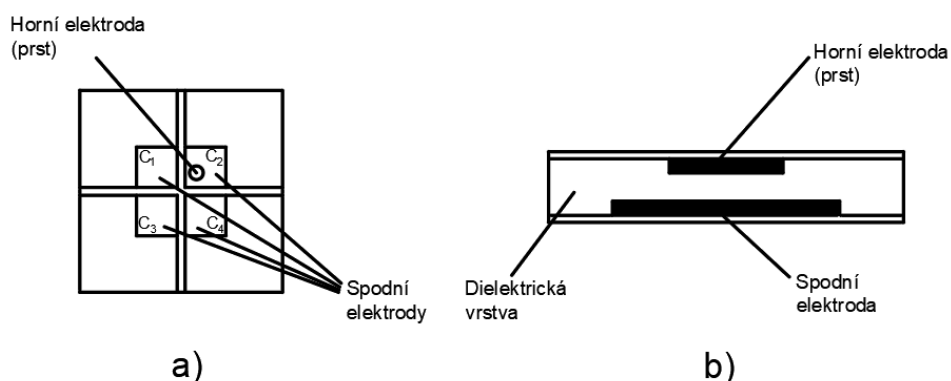
Obr. 4.4 Blokové schéma zařízení pro komunikaci daktylotikou

4.3.2 Výběr vhodných senzorů

Nejprve je třeba si uvědomit, že identifikace vypisovaných znaků probíhá pouze na základě nasnímané trajektorie prstu, není zde nutně důležitá informace o velikosti tlaku, kterým prst na senzorickou destičku působí. Vhodnými snímači tedy mohou být:

Dotykové displeje kteréhokoli typu. Problémem by nebyl ani takový displej, který nepodporuje funkci multidotyku, jelikož všechny znaky jsou vypisovány pouze jedním prstem jeden po druhém.

Kapacitní senzory vhodně sestavené do matice. Takové senzory by sestávaly z jedné elektrody a dielektrické vrstvy. Druhá elektroda by byla tvořena samotným prstem. Při pohybu prstem by se tak měnila vzájemná plocha překrytí obou elektrod a tím i kapacita senzoru. Dle sekvence spínání senzorů by software vyhodnotil podobu napsaného znaku.



Obr. 4.5 Matice kapacitních senzorů (a), pohled z boku (b)

Optické senzory vhodně sestavené do matice. Opět by se při pohybu prstem po snímací ploše zaznamenávala sekvence stisknutých senzorů, ze které by byl vyhodnocen

vypsany znak. Ovšem vzhledem k možnosti použití některé z konvenčnějších a levnějších variant senzorů, jejichž vlastnosti budou pro tyto účely naprosto dostačující, pozbývá použití dražších a složitějších optických snímačů významu.

Piezorezistivní senzory a z nich vytvořená matice by byla vhodná pro použití v sensorické rukavici, přičemž by musela být nastavena vhodná hranice působící síly, při které bude stav senzoru vyhodnocen jako sepnutý, aby ke stisku docházelo skutečně pouze při dotyku prstu a ne například při drobných pohybech ruky.

4.3.3 Výběr vhodných aktuátorů

Při komunikaci směrem dovnitř by hluchoslepý položil svoji ruku na předem definované místo na zařízení, které by mu do ní vpisovalo znaky. V tomto zařízení by bylo potřeba použít tyto aktuátory:

Elektromechanický lineární aktuátor v podobě solenoidu, který by v závislosti na vybuzení cívek vysouval v ose z taktilní kolík, který by hluchoslepému svým tlakem vpisoval znaky do dlaně. Jelikož dlaň není dokonale rovná, musel by být ve špičce prstu zabudován piezorezistivní tlakový senzor, který by detekoval přítlačnou sílu a poskytoval tak zpětnou vazbu řídicímu systému, který by přítlačnou sílu taktilního kolíku pomocí změn vybuzení cívky aktuátoru reguloval na požadovanou hodnotu.

Topný odpor, kterým by byla vyhřívána špička taktilního kolíku přibližně na hodnotu běžné tělesné teploty. To by uživateli poskytovalo tepelný komfort při dotyku taktilního kolíku s dlaní jeho ruky.

Krokové motory pro zajištění pohybu tohoto celku v osách x a y . Krokové motory disponují přesnou polohovatelností, díky čemuž by byla zajištěna dobrá hmatová čitelnost vypisovaných znaků.

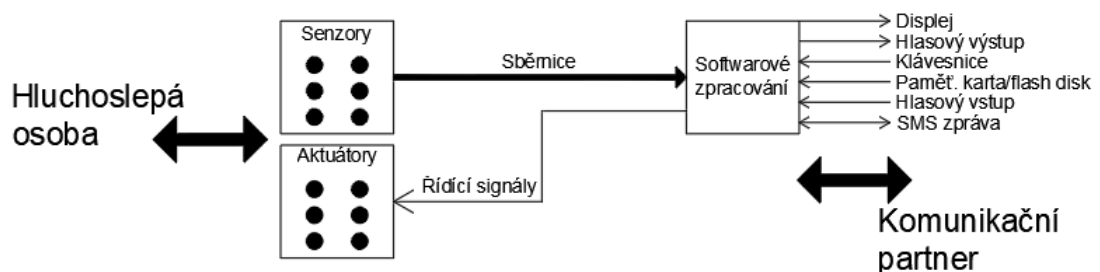
4.4 Komunikační systém pro osoby využívající Braillovo písmo

Hlavní výhoda použití Braillova písma spočívá v jeho jednoduchosti. Pokud člověk ztratil zrak a sluch až v pozdějším věku, může být problém se jej naučit. Pokud ale člověk toto písmo ovládá, jeho použití je poměrně jednoduché. Vzhledem k tomu, že celý systém

Braillovy abecedy se skládá pouze z kombinací šesti resp. osmi dotkových bodů uspořádaných do dvou sloupců a tří řádků, resp. do dvou sloupců a čtyř řádků, je tento způsob komunikace snadno zaznamatelný pomocí senzorů a především snadno zpracovatelný poměrně jednoduchým algoritmem. Stejně tak vypisování znaků pomocí aktuátorů není složité. Pomocí Braillova písma se může k hluchoslepému dostat poměrně velké množství informací v krátkém čase. Systému osmi dotkových bodů využívají typicky elektronické braillovské displeje, kde se díky bodům 7 a 8 mohou vynechat prefixy pro velká písmena a čísla a taktéž se tyto body využívají k označení vybrané položky či polohy kurzoru [18].

4.4.1 Podoba vhodného komunikačního zařízení

Myšlenka komunikačního zařízení je prakticky shodná se zařízením popsáním v odstavci 4.3.1. Odlišnosti pochopitelně nastávají v části senzorů a aktuátorů. Výsledná podoba zařízení záleží především na tom, zda hluchoslepý umí Braillovým písmem i psát, nebo zda jej umí pouze číst. Pokud jím psát neumí, probíhala by komunikace pouze směrem dovnitř, popřípadě by pro komunikaci směrem ven musela být použita jiná komunikační metoda.



Obr. 4.6 Blokové schéma zařízení pro komunikaci Braillovým písmem

Je nutné zmínit, že zařízení pro komunikaci pomocí Braillova písma existují a jsou běžně dostupná. Podle informací získaných od organizace LORM jsou dokonce hojně využívána. Příkladem může být zařízení Orbit Reader 20 [19]. Jedná se o braillovský displej a klávesnici zároveň, takže s jeho pomocí může hluchoslepá osoba jak číst, tak i psát. Zařízení umožňuje připojení paměťové karty, na které jsou uloženy textové soubory. Hluchoslepý si pak může číst i rozsáhlejší texty, případně i celé knihy. Orbit Reader 20 může být také připojen k počítači, případně přes bluetooth k chytrému telefonu nebo tabletu, kde se pak komunikuje v prostředí speciální aplikace. To umožní hluchoslepému

komunikaci s lidmi, kteří Braillovo písmo neovládají. Hluchoslepý píše zprávy pomocí braillovské klávesnice a na připojeném smartphonu se zprávy zobrazují v běžné textové podobě. Naopak zpráva odeslaná ze smartphonu se pomocí taktilních kolíků zobrazí na braillovém displeji a hluchoslepý si ji může přečíst. Vylepšení takového zařízení by mohlo spočívat ve schopnosti komunikovat prostřednictvím SMS nebo možnosti připojení zařízení k internetu a využívat například běžné internetové chatovací aplikace.

V organizaci LORM jsou využívána komunikační zařízení Perkins [24]. Jedná se o zařízení s šesticí tlačítek uspořádaných do dvou sloupců a tří řádků, tedy dle systému Braillova písma. Hluchoslepý pomocí nich napíše zprávu kódovanou v Braillově písmu. Algoritmus zařízení provede převod na běžnou řeč a zpráva je sdělena komunikačnímu partnerovi skrz hlasový výstup. Pro komunikaci směrem dovnitř zařízení umožňuje hlasový vstup, kdy je hlasová zpráva zpětně převedena do Braillova písma a hluchoslepý si ji může přečíst. Čtení však tentokrát neprobíhá odhmatáváním taktilních kolíků, ale zaznamenáváním vibrací stejných tlačítek, která slouží i pro psaní. Vibrace tedy vytváří hmatový vjem, dle kterého je možné identifikovat znak Braillovy abecedy. Díky tomuto systému je zařízení vhodné například i pro lidi, kteří mají sníženou citlivost prstů a nebyli by schopni správně odhmatat znak složený pomocí taktilních kolíků. Zařízení je napájeno 400 mAh baterií, provozní doba je udávána v rozmezí 6 – 8 hodin. Rychlost vnímání řeči je až 46 slov za minutu, naopak rychlost psaní může dosahovat až 35 slov za minutu.



Obr. 4.7 Komunikační zařízení Perkins [24]

Bylo by také možné zapisovat znaky pomocí soustavy tlačítek uspořádaných do dvou čtyřbodových sloupců. Pro zpětné získání informace by pak mohl hluchoslepý například položit své dva prsty jedné ruky na vyznačené místo a nechat si do nich vytlačovat přijímané znaky.

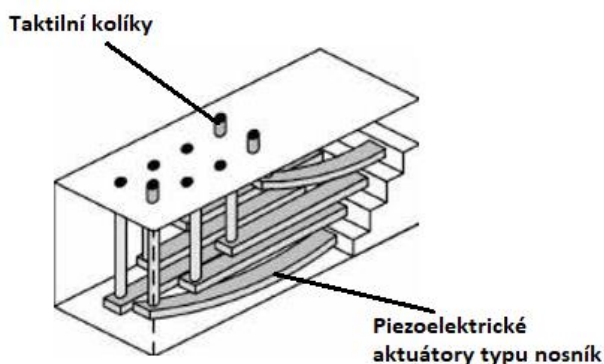
4.4.2 Výběr vhodných senzorů

Braillovské klávesnice běžně používají obyčejná mechanická tlačítka. Jejich výhodou je, že se dají snadno rozeznat hmatem, což je v tomto případě pro stisknutí správných tlačítek nutností. Dalšími senzory, které by mohly přicházet v úvahu, jsou kontaktní taktilní senzory, senzory s piezoelektrickými vrstvami nebo senzory piezodoporové. Bylo by vhodné, kdyby byly dotykové plochy senzorů stlačovány prostřednictvím taktilních kolíků, které by mohl hluchoslepý snadněji nahmatat a měl tak jistotu, že neudělá při stisku chybu. V těchto aplikacích však lze považovat obyčejná mechanická tlačítka za zcela dostatečná. V případě braillovských displejů neslouží tlačítka jen pro psaní zpráv, ale také pro posun čteného textu či ovládání samotného zařízení.

4.4.3 Výběr vhodných aktuátorů

Jednotlivé znaky jsou na braillovském displeji zobrazeny pomocí taktilních kolíků, které si čtenář ohmatává. Tyto kolíky jsou vytlačovány vhodnými aktuátory:

Piezoelektrické aktuátory typu nosník jsou v Braillovských displejích nejčastěji používaným typem aktuátorů. Přiložením elektrického napětí na jejich elektrody dojde k jejich ohybu, čímž se vytlačí taktilní kolík. Výhodou použití piezoelektrických aktuátorů je tichý chod, malá energetická náročnost a dosažení kompaktnějších rozměrů.



Obr. 4.8 Znárodnění funkce Braillovského displeje s piezoelektrickými aktuátory

Elektromechanické lineární aktuátory v podobě solenoidů jsou dalším používaným typem aktuátorů v Braillových displejích. V závislosti na orientaci proudu procházejícího cívkami se vysouvá nebo zasouvá feromagnetické jádro, které vysouvá a zasouvá taktilní kolík. Tento typ aktuátorů využívá například již zmíněný Orbit Reader 20. V tomto případě je jako nevýhoda uváděna hlučnost při přestavování taktilních kolíků a změna textu probíhající pouze po jednotlivých znacích, nikoli najednou. To je vhodné spíše pro sekvenční čtení delších textů. Také energetická náročnost je oproti piezoelektrickým aktuátorům vyšší [18]. Elektromechanické lineární aktuátory s feromagnetickým jádrem by byly vhodné i pro variantu, kdy budou dva prsty jedné ruky položené na vyznačeném místě a pomocí aktuátorů do nich budou vytlačovány jednotlivé znaky, a to bez nutnosti rukou hýbat.

Lasery by mohly do budoucna představovat zajímavou alternativu k běžnému kontaktnímu přenosu hmatové informace. Lasery jsou díky přesně směřovanému světelnému paprsku schopny krátkodobě ohřát povrch lidské pokožky, působit tak na termoreceptory, a vyvolat tím hmatový vjem s velmi podobnými účinky, jako je právě dotyk taktilního kolíku. Při použití laseru s dostatečně malým výkonem, by lidské kůži nehrozilo žádné nebezpečí, ani nepříjemný bolestivý vjem [25]. Díky absenci mechanických částí by se zařízení stalo spolehlivějším, naprosto bezhlučným a odpadla by nutná čekací doba na přestavění taktilních kolíků.

Vibrační motory typu LRA by byly vhodné pro použití v zařízeních využívajících stejného principu komunikace směrem dovnitř jako komunikátor Perkins.

4.5 Komunikační systém pro osoby využívající Lormovu abecedu

4.5.1 Podoba vhodného komunikačního zařízení

Nejvhodnějšími vyvinutými a používanými zařízeními pro tuto komunikační metodu jsou Lormova rukavice a Lormova ruka [20], [21]. Haptická rukavice slouží pro komunikaci hluchoslepeho s ostatními lidmi prostřednictvím chytrého telefonu, ke kterému je připojena pomocí technologie Bluetooth. Hluchoslepý napíše do rukavice zprávu v Lormově abecedě. Dotyky, ze kterých se tato zpráva skládá, jsou zaznamenány tlakovými senzory, pomocí algoritmu převedeny do běžné textové podoby, a přes Bluetooth odeslány na mobilní telefon uživatele. Zpráva v klasické podobě se poté

z telefonu uživatele odešle na mobilní telefon příjemce. Naopak pokud má zpráva směřovat k hluchoslepému, je přijata jeho mobilním telefonem, předána do rukavice, převedena do Lormovy abecedy a hluchoslepému je interpretována v podobě vibrací, které jsou generovány vibračními motory na hřbetu rukavice. Rukavice tedy umožňuje komunikovat najednou s několika dalšími lidmi, kteří Lormovu abecedu vůbec nemusejí ovládat. Haptická ruka je pak jakýsi model skutečné lidské ruky osazený tlakovými senzory, do kterého hluchoslepý může psát zprávy opět pomocí Lormovy abecedy. Haptická ruka je pouze jednosměrným komunikačním zařízením a hluchoslepým slouží například pro psaní příspěvků na sociální sítě nebo jako pomůcka pro výuku Lormovy abecedy. Nelze pomocí ní přijmout zprávu zpět.

4.5.2 Výběr vhodných senzorů

Pokud se podíváme na pravidla kódování písmen do Lormovy abecedy, je zřejmé, že senzory budou muset být na rukavici nebo na modelu ruky umístěny v příslušných místech tak, aby jejich uspořádání pokrylo každý jeden znak abecedy. Vyhodnocení napsaného znaku je pak již věcí převodního algoritmu. Naše požadavky na pohodlné užívání a přesné snímání mohou splňovat senzory **kapacitní**, **piezoelektrické** či **piezorezistivní**. Typ senzorů, které se v rukavici reálně využívají, není v žádném zdroji blíže specifikován.

Plánována je také implementace **mikrofonu**, tedy hlasového vstupu. Rukavice by tedy místo přijaté zprávy z mobilního telefonu zaznamenávala přímo řeč a okamžitě ji převáděla do Lormovy abecedy [20].

Další přínosnou modifikací rukavice by mohlo být její osazení **snímací kamerou** s rozpoznáváním textu. Hluchoslepý by rukavici nasměroval na text, který chce číst, kamera by jej sejmula, a po převodu do Lormovy abecedy by mohl číst text v podobě hmatových signálů.

4.5.3 Výběr vhodných aktuátorů

Lormova rukavice využívá pro komunikaci směrem dovnitř blíže nespecifikované **vibrační motory** umístěné na jejím hřbetu. Toto umístění aktuátorů není podle organizace LORM problematické, jelikož jsou hluchoslepí běžně trénováni na používání Lormovy abecedy na dlaních i hřbetech obou rukou. Nejvhodnější z běžně dostupných aktuátorů by

pro tento účel byly vibrační motory typu **LRA**, které dokáží pomocí svých vibrací věrně napodobit dotyk, který díky malým rozměrům motorů působí jen na velmi malé ploše. Pokud umístíme několik motorů za sebou a zvolíme vhodnou sekvenci vibrací, můžeme tím dosáhnout napodobení tahů, které Lormova abeceda ve svém kódování využívá. Vibrační motory typu LRA jsou díky své malé energetické náročnosti vhodné i pro bateriový provoz, a tedy pro mobilní zařízení, kterým rukavice je.

Reproduktor by mohl najít uplatnění při implementaci hlasového výstupu z rukavice.

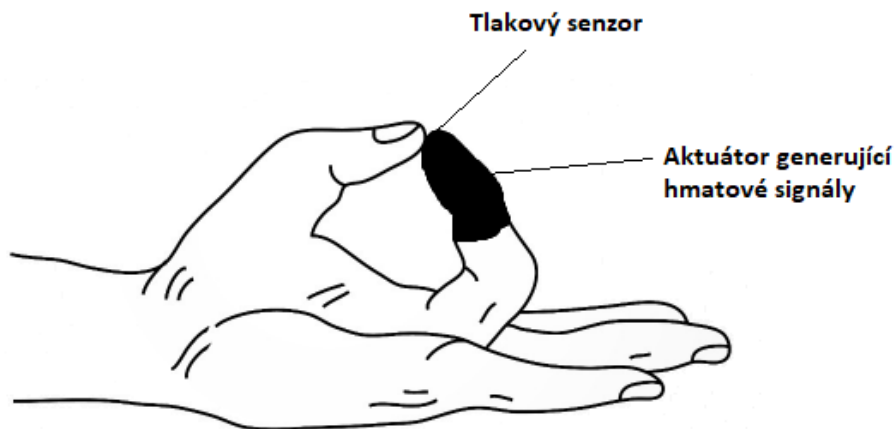
4.6 Alternativní komunikační systém s využitím Morseovy abecedy

Morseova abeceda je poměrně jednoduchým a dobře známým komunikačním systémem. Kóduje znaky latinské abecedy, číslice a další speciální znaky kombinacemi krátkých a dlouhých signálů. Snímání, převod a generování těchto signálů v zařízení pro hluchoslepé by bylo velmi jednoduché. Tuto komunikační metodu by volili lidé, kteří si Morseovu abecedu pamatují například ze svých mladších let a nechtějí se učit žádnou ze zavedených komunikačních metod pro hluchoslepé. Problémem by zde byla komunikační rychlost, jelikož zakódování jednoho písmene zabere podstatně více času než v případě výše zmíněných metod. Navíc je Morseova abeceda optimalizována pro anglický jazyk a v češtině je tedy ještě o něco méně efektivní. Na pobytech pro hluchoslepé pořádaných organizací LORM byla Morseova abeceda vyučována spíše pro zábavu, ne pro plnohodnotnou komunikaci.

4.6.1 Podoba vhodného komunikačního zařízení

Jako vhodné komunikační zařízení by v tomto případě posloužil jakýsi náprstek, který by si hluchoslepý nasadil na svůj ukazovák libovolné ruky. Náprstek by byl opatřený tlakovým senzorem umístěným ve své špičce a vhodným aktuátorem. Při komunikaci směrem ven by hluchoslepý krátkou či delší dobu spojoval svůj ukazovák a palec, čímž by generoval kódovaný signál v Morseově abecedě. Tyto dotyky by byly zaznamenávány senzorem ve špičce náprstku. Při komunikaci směrem dovnitř by hluchoslepý pouze přijímal hmatové signály vytvářené aktuátorem. Algoritmus pro převod Morseovy abecedy by byl velmi jednoduchý. Takové zařízení by bylo velmi kompaktní, mobilní a při běžném nošení téměř neviditelné. Bylo by možné jej propojit s mobilním telefonem stejným způsobem, který je použit u Lormovy rukavice, čímž by byla opět umožněna vzdálená

komunikace i s více lidmi najednou. Vstup i výstup by mohl být samozřejmě opět i textový či hlasový. Znázornění komunikace pomocí takového zařízení je na *Obr. 4.9*



Obr. 4.9 Znázornění komunikace pomocí Morseovy abecedy

4.6.2 Výběr vhodných senzorů

V tomto případě je naprosto zbytečné uvažovat o nasazení některého ze sofistikovanějších druhů senzorů, jelikož se zde jedná skutečně pouze o dotyk v jednom konkrétním neměnném místě a je třeba rozlišit pouze délku jeho trvání. Vhodným a naprosto dostačujícím senzorem je proto **kontaktní taktilní senzor**, popřípadě **kapacitní senzor**. Oba zmíněné senzory by fungovaly pouze jako tlačítko a jejich výstupem by byla pouze logická 1 při dotyku a logická 0, pokud by dotyk neprobíhal.

4.6.3 Výběr vhodných aktuátorů

Vibrační motor typu LRA se zde jeví jako nejvhodnější aktuátor. Snadno se u něj dá řídit délka vibrace, má rychlou reakci na spuštění a malou setrvačnost po vypnutí. Jeho malé rozměry a možnost bateriového provozu z něj dělá výborný aktuátor pro toto zařízení.

4.7 Přehled vybraných senzorů a aktuátorů pro jednotlivé kategorie hluchoslepých

Na závěr této kapitoly uvedu tabulku, která obsahuje čtyři kategorie vytvořené na základě toho, jakým způsobem hluchoslepi lidé komunikují s okolím. Ke každé kategorii a komunikační metodě jsou přiřazeny vhodné senzory a aktuátory, jejichž výběr byl

proveden a zdůvodněn, a které by mohly být nebo již jsou součástí komunikačních zařízení popsaných výše:

Tab. 4.2 Přehled kategorií hluchoslepých a vybraných senzorů a aktuátorů

Kategorie	Komunikační metoda	Vhodné senzory	Vhodné aktuátory
I.	Daktylografika	Dotykové displeje, kapacitní, piezorezistivní, optické	Elektromechanický lineární aktuátor, topný odpor, krokové motory
II.	Braillovo písmo	Tlačítka, kontaktní taktilní senzory	Piezoelektrické, elektromechanický lineární aktuátor, lasery
III.	Lormova abeceda	Kapacitní, piezoelektrické, piezorezistivní, mikrofon, kamera	Vibrační motory LRA, reproduktor
IV.	Alternativní způsob (Morseova abeceda)	Kontaktní taktilní senzor, kapacitní senzor	Vibrační motor LRA

5 Nejmodernější trendy a směr vývoje v oblasti haptických systémů

Všichni lidé se neustále spoléhají na haptické vjemy, a to často zcela intuitivně. Zároveň však stále častěji využíváme technologická zařízení k nejrůznějším úkonům a poněkud tak ztrácíme tolik potřebný haptický kontakt s okolním světem. Dále bude popsáno několik oblastí, kde má vývoj haptických technologií zásadní význam. Všechny vyvíjené haptické technologie spojuje snaha učinit naše doteky skrze různá zařízení co nejvěrohodnější, a co nejvíce tak napodobit skutečné předměty a objekty reálného světa. Vnímání určitých podnětů skrze hmat je nám navíc přirozenější než je vnímat vizuálně či sluchově.

Není úplnou novinkou využívání haptických a taktilních senzorů v oblasti průmyslu, především pak robotiky. Na robotická chapadla se taktilní senzory instalují z důvodu kontroly síly jejich stisku, aby se předešlo případným škodám způsobeným příliš hrubou manipulací. Zrovna tak je v oblasti robotiky důležitá haptická zpětná vazba pro operátora, který může s robotem manipulovat například dálkově. Pomocí nejmodernějších haptických

aktuátorů a propracovaných haptických iluzí lze například skrze ovládací zařízení vyvolávat pocit zvedání těžkých břemen, posouvání objektů či dojem setrvačnosti hmoty objektů při manipulaci. To vše je velmi důležité pro vytvoření dojmu reálného dotyku a tím větší přesnosti manipulace s robotem.

Stejně jako již nyní, i v blízké budoucnosti budou mít haptické senzory a aktuátory velký význam při vývoji a zdokonalování humanoidních robotů, kde je kladen obrovský důraz na co nejvěrnější napodobení lidského hmatového vnímání a napodobení lidských pohybů. To platí zvláště v případě, kdy se humanoidní robot vyvíjí přímo pro účely kontaktu s lidmi. V budoucnu by mohli být takoví roboti využiti například pro péči o postižené osoby nebo by mohli plnohodnotně zastupovat některé lidské činnosti. K tomu všemu je třeba vytvořit perfektní sensorické hmatové vnímání.

V oblasti medicíny se můžeme setkat například s chirurgickými roboty. Lékař pomocí nich může provádět například operace na dálku nebo manipulovat s malými nástroji v těsných prostorech, kde by to rozměry lidské ruky znemožňovaly. Existují například i operační simulátory, které slouží pro praktické zdokonalování lékařů. U všech těchto zařízení je extrémně důležitý vliv haptické zpětné vazby, díky které se navozují pocity skutečných chirurgických zákroků jako je řezání nebo šití, zvyšuje se přesnost a preciznost pohybů, a celkově se zlepšuje představa o tom, co robot pod vaším vedením dělá. Dá se očekávat, že i v této oblasti bude pokračovat snaha o stálé zdokonalování a vytváření realističtějších zpětných vazeb. Nejpokročilejší aplikací haptických senzorů v medicíně by bylo kompletní umělé nahrazení lidského hmatu. Zde však vyvstává řada problémů, z nichž největší je samotné připojení senzorů na nervový systém.

V automobilových technologiích se dá očekávat nahrazování běžných tlačítek haptickými strukturami, které mohou vypadat elegantněji, působit uživatelsky příjemněji, a přitom budou schopny při dotyku plnohodnotně vytvářet pocit skutečných tlačítek. Dále bude snaha dostávat k řidiči co nejvíce informací o jízdě či hrozcích nebezpečích prostřednictvím hmatových vjemů, které mohou být přirozenější a méně rušivé než vizuální či zvukové signály.

Značně zdokonalený zážitek může haptická zpětná vazba působit při hraní počítačových her nebo při užívání virtuální reality. Například díky nositelným smart

textiliím či haptickým rukavicím může uživatel získávat pocit doteku reálných objektů, cítit poryvy větru či vnímat nárazy. To vše díky aktuátorům vytvářejícím vibrace, rázy, tření nebo změny teploty.

Dalšími zařízeními, která v budoucnu mohou najít široké uplatnění, jsou dotyková haptická pera, která při pohybu po dotykovém displeji umožňují uživateli cítit texturu předmětu, který je na displeji zobrazen. Haptický vjem je způsoben vibracemi, které se mění v závislosti na rychlosti pohybu pera po displeji nebo na tom, jaký tlak uživatel vyvíjí. Cílem tedy je co nejvěrněji simulovat drsnost, tvrdost či kluzkost povrchů. Tato aplikace by se mohla uplatnit například při online nakupování, kdy by zákazník dostal možnost osahat si předmět ještě před jeho koupí [22], [23].

V oblasti haptických zařízení pro hluchoslepé bude nadále pokračovat vývoj stávajících zařízení. Bude snaha umožnit hluchoslepým například pohodlné čtení knih a jiných textů a pomocí neustále se zlepšujících technologických řešení je stále více zapojovat do běžného života a zvyšovat jejich nezávislost. Jedním z konkrétních kroků je již zmiňované implementování hlasového vstupu a výstupu do Lormovy rukavice. Přínosné by jistě bylo i osazení Lormovy rukavice nebo jiného přenosného zařízení kamerou pro snímání textu a jeho převod do Lormovy nebo jiné speciální abecedy.

Z výše uvedených příkladů je zřejmé, že moderní technologie, které chceme nebo musíme využívat, nás svým způsobem odtrhují od hmatového vnímání reálného světa. Je proto všeobecnou snahou, a do jisté míry i nutností, dokázat zprostředkovávat hmatové vjemy co nejvěrněji a nejpresněji. Napodobení hmatových vjemů člověka je nutností při konstrukci zařízení, která mají napodobovat lidské činnosti s jistým stupněm autonomie. Do budoucna bude probíhat snaha o stálé zdokonalování haptických zpětných vazeb. V haptických zařízeních pro hluchoslepé bude nadále kladen důraz na to, aby bylo zařízení co nejosobnější, rozměrově vyhovující a ideálně i mobilní, a tedy vhodné například pro bateriový provoz. Dále musí umožnit vzdálenou komunikaci s libovolným člověkem přes mobilní telefon.

6 Závěr

Výsledkem této práce je provedený výběr senzorů a aktuátorů, které mohou být použity v komunikačních zařízeních, jejichž podoba je taktéž nastíněna. Pro komunikaci pomocí Lormovy abecedy a Braillova písma jsou již komunikační zařízení vyvinuta, jsou používána a budou se nadále zdokonalovat. Jejich možné modifikace by byly spíše plněním některých osobních požadavků hluchoslepých osob. Určitý nedostatek vnímám v tom, že neexistuje zařízení, které by pracovalo s daktylografií – tiskacími písmeny psanými do dlaně. Přitom právě tato metoda nevyžaduje znalost žádné speciální abecedy a z toho důvodu je využívána hluchoslepy, kteří se žádnou ze speciálních komunikačních metod nemohou nebo nechtějí učit. Možná podoba takového zařízení, včetně výběru vhodných senzorů a aktuátorů, je v této práci uvedena. Komunikační zařízení využívající Morseovu abecedu je pak jakýmsi alternativním návrhem, který by zřejmě nepokryl potřeby většího počtu hluchoslepých. Za problém považuji také množství používaných metod. Z pohledu pokrytí potřeb co nejvíce hluchoslepých osob by bylo jistě vhodnější, kdyby existovala pouze jediná komunikační metoda nebo alespoň jedna z nich výrazně převažovala, a komunikační zařízení by bylo vyvinuto právě pro ni.

Haptické systémy obecně mají do budoucna velký potenciál a mnoho možností svého uplatnění. Ať už se jedná o oblast medicíny, průmyslu, zábavních a herních systémů či zařízení používaných v každodenním životě, všude bude snaha o zlepšování haptických zpětných vazeb a co nejvěrnější a nejpřesnější zprostředkování hmatových vjemů. Bez implementace co nejdokonalějších haptických systémů se neobejdou dálkově ovládané chirurgické a průmyslové roboty, humanoidní roboti nebo herní systémy, které mají herní prostředí co nejvíce přiblížit realitě. Pokud se zaměříme konkrétně na haptická zařízení pro hluchoslepy, zde bude nadále kladen důraz především na to, aby dané komunikační zařízení bylo co nejosobnější, přenosné, jednoduché na ovládání, propojitelné s mobilním telefonem a v neposlední řadě aby jeho užívání bylo co nejvhodnější a nejefektivnější. Soubor těchto vlastností značně pomůže hluchoslepým překonávat komunikační bariéry, které jim toto postižení způsobuje.

Na tuto práci je možné v budoucnu navázat praktickou realizací některého z uvedených komunikačních zařízení.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] KERN, Thorsten A., ed. *Engineering Haptic Devices*. Berlin: Springer, 2009. 472 s. ISBN 978-3-540-88247-3.
- [2] HUSÁK, Miroslav. *Mikrosenzory a mikroaktuátory*. 1. vyd. Praha: Academia, 2008. Gerstner. 540 s. ISBN 978-80-200-1478-8.
- [3] LUPTÁK, Roman. Piezoelektrické materiály. *MatNet Slovensko* [online]. ©2006. [cit. 8.2.2021]. Dostupné z: <http://www.matnet.sav.sk/index.php?ID=347>
- [4] BEJČEK, Ludvík, VACULÍK, Jan. Snímače tlaku. *AUTOMA – časopis pro automatizační techniku* [online]. ©2016. [cit. 31.3.2021]. Dostupné z: https://automa.cz/cz/casopis-clanky/snimace-tlaku-2011_01_42719_4920/
- [5] VOJÁČEK, Antonín. Co je to SAW a k čemu slouží ? | Automatizace.HW.cz. *Automatizace.HW.cz | Elektronika v automatizaci* [online]. 14.2.2007. [cit. 9.2.2021]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/clanek/2007021401>
- [6] O hluchoslepotě. *LORM – Společnost pro hluchoslepe* [online]. ©2015. [cit. 18.2.2021]. Dostupné z: <https://www.lorm.cz/pro-verejnost/o-hluchoslepot/>
- [7] Hluchoslepi. *Ruce.cz* [online]. ©2004. [cit. 18.2.2021]. Dostupné z: <http://ruce.cz/neslysici/hluchoslepi>
- [8] Komunikace hluchoslepých. *LORM – Společnost pro hluchoslepe* [online]. ©2015. [cit. 18.2.2021]. Dostupné z: <https://www.lorm.cz/pro-hluchoslepe/komunikace-hluchoslepych/>
- [9] Lormova abeceda. *LORM – Společnost pro hluchoslepe* [online]. ©2015. [cit. 21.2.2021]. Dostupné z: <https://www.lorm.cz/pro-hluchoslepe/komunikace-hluchoslepych/lormova-abeceda/>
- [10] Komunikace. *LORM – Společnost pro hluchoslepe* [online]. [cit. 21.2.2021]. Dostupné z: <https://www.lorm.cz/legacy/HMN2/obsahCD/neveslo/komunikace.html>
- [11] Braillovo písmo. *SvetAbeced.cz - web o abecedách, písmu a znacích* [online]. ©2015 [cit. 21.2.2021]. Dostupné z: <http://www.svetabeced.cz/ostatni/braillovo-pismo/>
- [12] RACHŮNEK, Radek. *Zařízení pro mechanické zatěžování vzorků* [online]. Brno, 2019 [cit. 3.3.2021]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117335>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Rostislav Huzlík.
- [13] Macek, Daniel. *Modelování a řízení krokového motoru v prostředí MATLAB/SIMULINK* [online]. Brno, 2017. [cit. 4.3.2021]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=150293. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav automatizace a měřicí techniky. Vedoucí práce Ing. Matuš Kozovský
- [14] Krokové motory 1 – typy motorů. *RoboDoupě - web nejen o robotice* [online]. ©2021 [cit. 4.3.2021]. Dostupné z: <http://robodoupe.cz/2013/krokove-motory-1-typy-motoru/>
- [15] Vibration Motors. *Precision Microdrives* [online]. ©2021 [cit. 4.3.2021]. Dostupné z: <https://www.precisionmicrodrives.com/vibration-motors/>

- [16] Haptic Actuators: Comparing Piezo to ERM and LRA. *PIEZO.COM* [online]. [cit. 4.3.2021]. Dostupné z: <https://blog.piezo.com/haptic-actuators-comparing-piezo-erm-lra>
- [17] KOŘÁN, Pavel. Seriál na téma lasery – základní princip laseru a jejich dělení. *LAO – lasery a optika* [online]. 19.2.2013. [cit. 9.3.2021]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---zakladni-princip-laseru-a-jejich-deleni-127>
- [18] Brailské displeje: 05 Hmatový výstup a signalizace. *Pélion | Vzdělávací portál pro zrakově postižené* [online]. ©2021 Masarykova univerzita [cit. 16.3.2021]. Dostupné z: <https://www.portal-pelion.cz/brailske-displeje-05-hmatovy-vystup-a-signalizace/>
- [19] Orbit Chat – An app for face-to-face communication with people who are deafblind. *Orbit Research* [online]. ©2016. [cit. 16.3.2021]. Dostupné z: <https://www.orbitresearch.com/product/orbit-chat/>
- [20] Lorm Glove. *Design Research Lab* [online]. ©2021. [cit. 5.3.2021]. Dostupné z: <https://www.drlab.org/project/lorm-glove/>
- [21] Lorm Hand. *Design Research Lab* [online]. ©2021. [cit. 15.3.2021]. Dostupné z: <https://www.drlab.org/project/lorm-hand/>
- [22] HUTSON, Matthew. Here's What the Future of Haptic Technology Looks (Or Rather, Feels) Like. *Smithsonian Magazine* [online]. 28.12.2018. [cit. 15.3.2021]. Dostupné z: <https://www.smithsonianmag.com/innovation/heres-what-future-haptic-technology-looks-or-rather-feels-180971097/>
- [23] BIRNBAUM, David. Haptics in 2020s: Three Trends to Watch. *Immersion* [online]. 19.2.2020. [cit. 15.3.2021]. Dostupné z: <https://www.immersion.com/haptics-in-2020s-three-trends-to-watch/>
- [24] Perkins. *4Blind* [online]. ©2020. [cit. 8.4.2021]. Dostupné z: <https://4blind.com/solutions-en/perkins-en>
- [25] Jun, JH., Park, JR., Kim, SP. et al. Laser-induced thermoelastic effects can evoke tactile sensations. *Scientific Reports* [online]. 2015, 5 [cit. 8.4.2021]. ISSN 2045-2322. Dostupné z: <https://www.nature.com/articles/srep11016>