

Univerzita Hradec Králové
Fakulta informatiky a managementu
Katedra informačních technologií

Senzorické systémy pro robotiku

Bakalářská práce

Autor: Bohumil Bárta
Studijní obor: Aplikovaná informatika (ai3-p)

Vedoucí práce: Ing. Karel Mls, Ph.D.

Hradec Králové

duben 2023

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a s použitím uvedené literatury.

V Hradci Králové dne 25.4.2023

Bohumil Bárta

Poděkování:

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Karel Mls, Ph.D. za metodické vedení práce a přínosné odborné rady, kterými podpořil vypracování a realizaci této práce.

Anotace

Předmětem bakalářské práce je uvedení do kontextu a problematiky senzorických systémů, seznámení s konkrétními příklady, porozuměním a následném rozdělení do logických skupin. První část práce se zabývá teorií a samotným rozdělením, taktéž i příklady, kde je možné senzory aplikovat. V druhé části se přibližuje na konkrétním příkladě využití senzorů při vnitřním sledování veličin při pohybu robotické paže. Zde jsou sepsány výsledky pozorování, snímání teplot a proudové zátěže pohonné jednotky, sloužící k pohybu paže. Dále jsou data zobrazena v grafech pro zpřehlednění. Současně je uveden využitý hardware a software pro realizaci vybraného řešení. Závěrem je shrnuta důležitost vnitřního monitorování robotických systémů, vyvozen závěr z naměřených dat a doporučení.

Annotation

Sensor systems for robotics

The subject of the bachelor's thesis is the introduction into context and issues of sensory systems, introduction to specific examples, understanding and subsequent division sensors into logical groups. The first part of the paper deals with theory and the division itself, as well as examples where sensors can be applied. In the second part, it approaches a specific example of utilization with internal monitoring of quantities in the movement of the robotic arm. Here are the results of observations, temperature sensing and current load scans of the power unit, used to move the arm. Next, the data are displayed in charts for clarity. At the same time, the hardware and software used to implement the selected solution are listed. In the conclusion, the importance of internal monitoring of robotic systems is summed up, drawing conclusions from measured data and recommendations.

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíl práce a metodika.....	2
3	Historie.....	3
4	Rozdělení senzorů podle umístění.....	7
4.1	Interní (vnitřní) senzory.....	7
4.2	Externí (vnější) senzory.....	8
4.3	Senzory prostředí.....	9
5	Rozdělení senzorů dle typu.....	9
5.1	Mechanické senzory.....	9
5.2	Elektrické senzory.....	10
5.3	Optické senzory.....	10
5.4	Chemické senzory.....	11
5.5	Elektromechanické senzory.....	12
5.6	Akustické senzory.....	12
5.7	Smyslové senzory.....	13
6	Rozdělení senzorů podle výstupních signálů.....	14
6.1	Analogový signál.....	14
6.2	Digitální signál.....	15
6.3	Sériová linka.....	15
6.4	Paralelní linka.....	16
7	Rozdělení senzorů na základě aktivity.....	17
7.1	Aktivní senzory.....	18
7.2	Pasivní senzory.....	18
8	Oblasti využití senzorů.....	18
9	Legislativa.....	20

10	Interní senzorický systém	20
10.1	Platforma Arduino	20
10.1.1	Arduino IDE	21
10.1.2	Parametry desek Arduino	22
10.1.3	Breadboard – nepájivé pole	24
10.1.4	Vodiče	24
10.2	Použité součásti	25
10.2.1	HS-805bb+ servo	25
10.2.2	Infračervený teploměr MLX90614	27
10.2.3	Proudový senzor ACS712	28
10.3	Program	28
10.4	Robotická paže	36
10.5	Zapojení	38
10.6	Měření	39
11	Závěry a doporučení	42
12	Seznam použité literatury	44
13	Přílohy	50

Seznam obrázků

Obrázek 1 Arduino IDE. Převzato z [52]	22
Obrázek 2 Nepájivé pole -vnitřní uspořádání. Zdroj: vlastní zpracování	24
Obrázek 3 Nepájivé pole. Zdroj: vlastní zpracování.....	24
Obrázek 4 Servo HS-805bb+. Zdroj: vlastní zpracování.....	26
Obrázek 5 Infračervený teploměrMLX90614. Zdroj vlastní zpracování.....	27
Obrázek 6 Proudový senzor ACS712. Zdroj: vlastní zpracování.....	28
Obrázek 7 Deklarativní část kódu. Zdroj: vlastní zpracování v SW Arduino IDE	30
Obrázek 8 Setup část kódu. Zdroj: vlastní zpracování v SW Arduino IDE	31
Obrázek 9 Hlavní smyčka kódu. Zdroj: vlastní zpracování v SW Arduino IDE	33
Obrázek 10 Podpůrné metody programu. Zdroj: vlastní zpracování v SW Arduino IDE	35
Obrázek 11 Rameno avatara. Zdroj: vlastní zpracování.....	36
Obrázek 12 Detail šroubu a převodovky. Zdroj: vlastní zpracování.....	37
Obrázek 15 Referenční potenciometr v ose otáčení. Zdroj: vlastní zpracování.....	38
Obrázek 13 detail instalace teplotního čidla. Zdroj: vlastní zpracování	38
Obrázek 14 detail instalace teplotního čidla. Zdroj: vlastní zpracování	38
Obrázek 16 Diagram zapojení obvodu. Zdroj: vlastní zpracování s grafickými prvky z Fritzing[55]	39
Obrázek 17 graf proudového odběru v čase. Zdroj: vlastní zpracování v SW MS Excel	41
Obrázek 18 Graf s měřenými teplotami. Zdroj: vlastní zpracování v SW MS Excel	42

1 Úvod

Senzorické systémy pro robotiku, nerozdělitelný termín... robotika bez senzorů by totiž nebyla robotikou. Již pominuly časy, kdy toto téma bylo pouze doménou průmyslovou, či vojenství. Setkáváme se s ní již ve všech společenských odvětvích, je tedy potřebné klást důraz na správnou funkcionalitu a splnění požadovaných kritérií. Aktuálně se tato tematika pojí s pojmem Industry 4.0 (4. průmyslová revoluce), nebo IoT (Internet of Things) jejichž cílem je obecná propojenost prvků, jejich zchytření, automatizování rutinních procesů, zvyšování efektivity a celkové bezkontaktní dostupnosti. Například po internetové síti. Bavíme-li se o efektivitě, zajímá nás i prediktivní proces, kde sledujeme opotřebení, stav a aktivnost kritických komponent, na kterých závisí systém.

Industry 4.0 si pokládá hlavní otázku: „člověk, nebo stroj?“. Bez senzorických systémů by stroj nebyl schopný vykonávat věci, které se od něj očekávají, či schopný adekvátně reagovat na dynamiku prostředí. Pro sestavení zařízení, které bude umět přijímat vstupy, reagovat nebo být modulární, jsou senzory nezbytné. Z definice se jedná o součást, která je pro zařízení potřebným zdrojem informací, napomáhající rozhodování. Tato skutečnost není pouhou výsadou autonomních zařízení, avšak i běžná, uživatelem ovládaná zařízení potřebují jistou formu sledování stavu. Je důležité pomyslet, co vše je potřeba monitorovat, s čím počítat. Zároveň nesmíme opomenout náklady na zvolené monitorování, snadno může nastat překombinování, které způsobí vysoké náklady na přísun energie, výpočetní výkon, či prostorové problémy s monitorovacím systémem.

Co se týče IoT, jedná se o sdružování inteligentních zařízení s dostupným připojením k internetové síti. Nejčastěji se jedná o malé sběrače dat s omezeným výpočetním výkonem. Například chytrá lednička, sledující svoji kapacitu, srdeční implantát měřící funkci srdce, nebo chytrý zámek na dveře. Tím, že se tyto fenomény vyvinuly (vyvíjejí) relativně velmi rychle, vznikají nedostatky formou vzniku mnoha různých formátů, či proprietárních řešení, která nemusí být vždy vzájemně kompatibilní. Proto při modelování nového řešení je potřeba přihlídnout i k této skutečnosti. Důležitým faktorem je též i zabezpečení a ovlivnění kvality měření.

2 Cíl práce a metodika

Cílem práce je provést rešerši tématu, navrhnout klasifikaci a prakticky realizovat vybraný senzorický systém.

V této bakalářské práci se provádí rešerše odborných a doplňkových zdrojů se zaměřením na senzory, jejich klasifikace, jednotlivé charakteristiky s rysy a použití. Dále bude poukázáno na jejich přesnost, spolehlivost a zapojení jednotlivých vybraných typů sensorů. Druhá, praktická část práce se zabývá návrhem, realizováním a ověřením vybraného robotického systému. Konkrétně z problematiky vnitřní sensoriky na robotickém avatarovi a jeho paži.

3 Historie

Senzorické systémy – stručně řečeno se jedná o automatické prvky, které měří požadované veličiny a objekty z reálného světa. Historicky se může zajít až do starověkého Egyptu. Impozantní pyramidy, které přetrvávají do dnešních dob, jsou příkladem precizního výpočtu a měření. V té době se měřilo na jednotky „Loket“ (cca 45 cm). Dále existoval královský loket, který činil klasický loket plus šířka faraonovy dlaně.[1] Již tehdy byla snaha dbát na standardizaci, tedy do žulového bloku byl vytesán rozměr, který byl za vládnoucí období neměnný. Vznikaly například dřevěné kopie, které se každý úplněk kontrolovaly.[2]

Nejen stavby, také obchod velmi napomohl rozvíjení měrných způsobů a zpřesnění. Většina historických jednotek byla odvozeninou částí těla, například palec¹. S postupem času společnost směřovala k jasné standardizaci. Imperiální systém byl Britský tradiční standard posvěcený vladařem. Jeho jednotky vychází z již existujících vybraných jednotek. (libra, stopa, míle...²) počítání v těchto jednotkách nebylo vždy výhodné, ale tradičně se stále používá v mnoha zemích.

Kvalitním oponentem mu je mezinárodní soustava jednotek (SI).[3] Původ tohoto systému se připisuje Francii. Je to velmi diskutabilní, jelikož přijetí provázelo mnohé nepokoje a nespokojenost. V roce 1795 byl oficiálně přijat metrický systém ve Francii. V polovině 70. let minulého století na něj přešla většina zemí. Spojené státy jsou v tomto případě výjimkou.

Aby dávaly senzory smysl, musí vědět, v jakých jednotkách měří. V dnešní době, kdy existuje celková propojenost by vznikaly komplikace s převody, pokud by každý stát měl svoji obdobu měrového systému.

Za první vynalezený senzor by se daly považovat sluneční hodiny. Nejstarší nalezené jsou datovány až do roku 3500 př. n.l. Jejich princip byl založen na tyči, vrhající stín na desku, kde byly zapsány časové údaje. Posunem Slunce po obloze docházelo k posunu vrženého stínu. [4]

¹ Palec, anglosaská jednotka pro měření délky. 25,4mm

² Libra 0,45Kg, Stopa 30,5cm, Míle 1,6Km

Dalším důležitým senzorem se stal teploměr. Jeho vynález se mylně připisuje Galileo Galileovi. Mylně proto, že jeho zařízení pouze reagovalo na teplotní rozdíly. Jak je výše popsáno, měrné jednotky jsou nepostradatelnou doménou měrných systémů, proto se jeho zařízení nedá nazvat senzorem. První reálný teploměr se stupnicí sestrojil tým vědců, pod vedením Itala Santario Santaria. [5]

Možnost měřit teplotu a počítat čas přineslo velký posun, avšak stále se jedná o neslučitelné přístupy, které vyvolávaly reakce pouze u lidí. Každá z průmyslových revolucí tento problém zmenšila. [6]

První průmyslová revoluce se nese v duchu parního stroje. Princip fungování je založen na parní expanzi, kde je voda ohřívána do teplot, kdy se mění na páru. V kotli je mohutný tlak, který je použit pro pohon pístu. Píst rozpohybuje kliku, jenž je součástí kola vytvářející rotační pohyb. Vnitřní teploty a tlaky jsou vysoké a člověku nebezpečné. V této etapě to stále byly pouze mechanické senzory. Doprovázené kovovým manometrem, vynalezeným Eugèna Bourdonem, fungujícím na deformaci eliptické kovové trubky. Zvyšující se tlak ji nepatrně narovnává, což má za následek posun šipky, ukazující na stupnici.[7] Dále se u parního stroje řešilo nebezpečí přehřátí a dostatek vody. Smutným příkladem je nehoda v Německém Bitterfeldu. V místním vlakovém nástupišti došlo k utržení kabiny řidiče a vystřelení kotle. Příčina nehody se připisuje kvapu a nepozornosti posádky, která nenechala doplnit vodu při zastávce. Předcházet této nehodě měla tavná svíčka³, která by se při stanovené teplotě roztavila a uvolnila kritický tlak. Náhlá unikající pára by uhasila kotel, za následek by to mělo zastavení lokomotivy a předejití výbuchu.[8] I tato jednoduchá pojistka je předchůdcem sensorických a řídicích systémů.

Druhá průmyslová revoluce změnila pouze mechanický přístup na elektromechanický. Jedná se o první počátky spalovacích motorů, což umožnilo velký průmyslový rozkvět, avšak v této rané době to byly jednoduché stroje, bez elektronických součástí. Za zmínku stojí inovativní Edisonova žárovka, která byla napájena elektřinou. Dále rozmach elektrických telegrafů. První z funkčních a masově používaných se stal telegraf Charlese Wheatstona, který fungoval na

³ Tavná svíčka, ochranné zařízení, které se při kritické teplotě roztaví a uvolní nebezpečný tlak.

principu magnetických střelek, vychylujících se do stran, ukazujícíce na písmena v mřížce.[9]

Počet vědců, věnujících se problémům a vynálezům v oblasti elektřiny je velmi mnoho, jejich práce umožnila existenci elektroniky. Od Michaela Faradaye, který dokázal, že pomocí elektrické energie lze vytvořit hybnou sílu v magnetickém poli. Do té doby se pro pohon strojů využívaly pouze chemické reakce. V dnešní době by to bylo neúnosné a pravděpodobně by byla elektřina zavržena. Vybavíme-li si jakoukoliv elektrickou fyzikální veličinu a její jednotky, vybavíme si vědce, kteří se v tomto oboru zasadili. Všechna elektrická zařízení, senzory, elektrické obvody se řídí zákony z této doby. Příkladem mohou být Ohmův zákon a Kirchhoffovy zákony. Třetí a nejdůležitější průmyslová revoluce k tomuto tématu začala v 50. letech 20. století.[10] Její období končí okolo roku 2000, kdy je na vzestupu čtvrtá průmyslová revoluce. Hlavním pojmem této revoluce je „PLC“ a „Digitalizace“. PLC, neboli programovatelná logická jednotka vznikla jako náhrada mechanických relé, která neměla dlouhodobou spolehlivost a výdrž. Uskutečnit výměnu relé bylo nákladné a složité, naproti tomu PLC mohlo být decentralizováno od linky. Výstupy, akce nejsou podmíněny pouze vstupními událostmi, ať už analogovými, nebo binárními. Inovací byla možnost programovat mikroprocesor a sestavovat vlastní formy výstupního chování. Objevují se zde první zpětnovazební smyčky, kdy výstup a samotný průběh může ovlivnit následný cyklus.[11] [12]

Druhým hlavním termínem je zmíněná digitalizace. Toto není pouze doména současné doby, již v počátku tohoto vývoje se začalo usilovat o digitalizaci. Tehdy to ale souviselo s digitálními zařízeními a jejich signály. S nástupem mikroprocesorů a prvních počítačů, které začaly fungovat s digitálním zpracováním dat se začalo postupně přecházet i na digitální sensoriku.

Migrace analogových sensorů do digitálního světa byla v plném proudu díky rostoucí dostupnosti levných elektronických součástek, které dokážou zpracovat analogové signály a převést je do digitální formy. Začalo se integrovat mnoho prvků, jako A/D převodník, paměti a správa napájení. Velkou výhodou je možnost režimu spánku, kdy se sensor vypne, pokud není potřeba pro systémové funkce. Paměť umožnila zahrnout stálé informace, jako jsou sériová čísla, kalibrační faktory, úroveň revize a další. V průběhu této doby se vyvíjí internet. Další milník, který

umožnil decentralizaci zařízení a zvýšil informovanost a možnosti při sledování a sbírání dat.[13]

Čtvrtá průmyslová revoluce nás provází právě nyní. Právě v této době se hojně objevují řešení, nápady a aplikace využití senzorických systémů. Cílem se stává chytrá výroba/system s efektivním a samo regulativním rozhodováním. Je snahou monitorovat vše, co má sebemenší možnost ovlivnit celek. Tedy posílit automatizaci započatou předchozí průmyslovou revolucí. Dále vytvořit systém monitorování assetů a jejich správu. Budování bezdrátových řešení, adaptabilních továren, kde již stačí měnit pouze zařízení z distribuční vrstvy.

V neposlední řadě je velkým pokrokem prediktivní údržba. Možnost sledovat různé parametry (spotřeba, zátěž, teplota, vibrace v ložiskách), ukládat je a vést dlouhodobé statistiky dává příležitost včas zareagovat a vyměnit, případně opravit zařízení a vyhnout se tím selhání, které by mohlo negativně ovlivnit celý proces.[14] [15] Mluví-li se o chytré továrně, musí se brát též v potaz zálohy a redundanci klíčových zařízení. Příkladem může být UPS⁴. Zařízení poskytující regulovatelné výstupní napětí, sloužící při výpadku hlavního zdroje jako záložní. V současnosti díky síťové kartě s možností monitorování vzdáleně odkudkoliv. Tyto systémy jsou i v současnosti převážně proprietární s vlastními webservery a vizualizátory, avšak pomocí různých protokolů (SNMP, MQTT⁵...) se dají informace shromažďovat na jednom přehledném místě.[16]

⁴ UPS – nepřerušitelný zdroj napájení. Jedná se o zařízení, které spojuje více vstupů a v případě výpadku jednoho, okamžitě přejde na další.

⁵ SNMP, MQTT – síťové protokoly vhodné pro správu, výčet a řízení síťových zařízení.

4 Rozdělení senzorů podle umístění

Pomýšlí-li se nad nasazením vybraného senzorického systému, musí se nejdříve brát v úvahu jeho umístění. S tím je spjatá přesnost a schopnost měření, samotná údržba systému, energetická náročnost celého zařízení, bezpečnost, či zabezpečení. Také se musí identifikovat přidružené, okolní systémy, které by mohly negativně ovlivňovat funkci nebo životnost senzorického systému. V neposlední řadě také záleží na kompaktnosti a hmotnosti. Tyto faktory se projeví při rozhodnutí, zdali se senzor umístí uvnitř, přímo na samotné zařízení, nebo do okolního prostředí zcela samostatně.

4.1 Interní (vnitřní) senzory

Interní senzory jsou umístěny uvnitř zařízení. Slouží především k monitorování vnitřních stavů a fyzikálních veličin. Z těchto údajů má zařízení povědomí o sobě a svém fungování. Převážně se jedná o podpůrné senzory, nenáročné na velikost a zdroje. Jednoduchým příkladem je kontrola vnitřních teplot, které mohou negativně ovlivňovat funkce celého zařízení. Ať již přehříváním, s hrozbou vzplanutí, tak též i podchlazením, nebo zmrznutím.[17] [18] V případě hydraulických řešení je nutné měřit dostatečné množství použitých kapalin, jejich možný únik či například zatížení komponent.

Vnitřní senzory nemusí vždy jen monitorovat vnitřní události, mohou být podporou externím. Například tlakové senzory umístěné v konstrukci, které mají funkci detekce doteku. Výhodou je jejich samotné umístění. Při řešení bezpečnosti a zásahu z třetích stran stačí omezit přístupnost dovnitř konstrukce.[19]

Dalším příkladem jsou proudová čidla/sondy. Proudový senzor slouží k měření elektrického proudu, který protéká vodičem. Je základním prvkem pro analýzu zatížení v obvodu. Tyto senzory jsou prvky preventivní údržby. Monitorují odebíraný výkon a díky nim se dokáží odhadnout budoucí závady dříve, než k nim dojde. Senzor je umístěn kolem vodiče a na základě magnetického pole, které vytváří průchod elektrického proudu vodičem, lze určit velikost tohoto proudu. Tento jev se nazývá Hallův jev. Výhodou je možnost využití jak ve střídavých, tak i stejnosměrných obvodech.[20]

Dalšími důležitými parametry, které je potřeba znát, je vlastní natočení, poloha, či směr pohybu monitorovaného dílu. K tomuto je určen gyroskopický modul. Je to elektromechanický senzor, měřící úhlovou rychlost rotace. Dokáže stanovit aktuální natočení v jednotlivých osách. Tyto moduly obvykle obsahují 3 gyroskopy, pro každou osu zvlášť (X, Y, Z). Tedy existuje možnost zjistit přesné natočení v prostoru. Krom toho jsou moduly obohacovány o akcelerometry, senzory měřící zrychlení. Při zrychlení (změny polohy tělesa) se snaží těleso setrvat v klidu a vytváří tak silový vektor, který je úměrný velikosti a směru zrychlení. Tento vektor je detekován a převáděn na elektrický signál. [21]

4.2 Externí (vnější) senzory

Vnější senzory jsou stále součástí zařízení, avšak již nejsou umístěny uvnitř. Zde se již musí řešit otázka zapouzdření a bezpečí proti cizím vlivům. Ke správnému fungování potřebují interakce a stimuly z prostředí. Na rozdíl od vnitřních senzorů se v kontextu s okolím bez vnějších nelze obejít. Příkladem jsou kamery, laserové nebo ultrazvukové systémy. Jejich použitím se získá detailní pojem o okolním prostoru a nacházejících se překážkách.

Konkrétněji zajímavým je LIDAR (Light detection and ranging) systém. Tento systém se využívá pro měření vzdáleností, mapování terénu, kosmické sledování země. Existuje mnoho metod využití a měření. Nejjednodušší metodou je metoda doby doletu (TOF). Princip spočívá v tom, že laserový paprsek je vyslán k překážce a následně se vrací zpět. Tento čas se měří na snímači. Naměřený čas je dělen dvěma (cesta tam i zpět je stejná) a dále se přenásobí rychlostí světla v příslušném prostředí. Metoda TOF umožňuje měření vzdálenosti na velké vzdálenosti v reálném čase, díky čemuž je vhodná pro mnoho aplikací, jako jsou systémy měření vzdálenosti pro řízení autonomních vozidel nebo sledování objektů v průmyslovém prostředí. Je to zároveň nejběžnější využívaná metoda, která je omezoována pouze rozptylem laseru a kvalitou snímače.[22]

Další názornou ukázkou jsou senzory pro měření kvality podnebí (teplota, tlak, vlhkost, kvalita vzduchu, UV záření, nebo rychlost a směr větru) pomocí

meteostanice. Meteostanice se vyznačují jako jeden celek, ale v principu je to pouze centrální jednotka, spojující a zpracovávající různé výstupy ze senzorů.

4.3 Senzory prostředí

Senzory prostředí jsou na rozdíl od předchozích dvou příkladů zcela mimo robotický systém. Interakce mohou být různé, výhradně ale probíhají bezdrátově. Tyto senzory poskytují doplňující informace o prostředí, které nemusí být monitorováno externími senzory a rozšiřují kontext pro systém. Příkladem jsou satelity, které poskytují globální snímkování planety. GPS (Global Positioning system) nebo Galileo, kosmické systémy pro určování polohy a navigace na Zemi. [23]

5 Rozdělení senzorů dle typu

Senzory lze dělit do několika kategorií podle svého typu. Mezi hlavní, nejvíce rozšířené patří mechanické senzory, které reagují na fyzikální podněty, jako jsou tlaky, dotyky nebo pohyby. Dále elektrické senzory reagující na elektrické signály, jako je napětí, nebo proud. Optické senzory využívají světelné vlny k detekci objektů a jejich pozic. Také mohou figurovat jako náhrada elektrických a snímat světelné signály. Chemické jsou zaměřené na detekci chemických látek. Tyto a další příklady se v následujících podkapitolách rozvedou více podrobně.

Každý jednotlivý zmíněný typ senzorů se odlišuje jak svými principy práce, tak i svými schopnostmi a využitím. Je tedy na místě správně rozmyslet a navrhnout, který typ se použije v řešení aby se dosáhlo maximální efektivity, spolehlivosti, také i počítalo s jednotlivými omezeními.

5.1 Mechanické senzory

Mechanické senzory jsou skupinou, která pracuje na principu fyzikálních změn v prostoru. Dělí se na dvě podskupiny: kontaktní a nekontaktní. Kontaktní potřebují přímý kontakt s měřeným objektem. Tyto senzory mohou například měřit tlak, tloušťku nebo polohu. Nekontaktní naopak nepotřebují přímý kontakt s měřeným objektem. Mohou například měřit teplotu, rychlost taktéž i polohu. Důležitým faktem je pouhé zaznamenávání veličin. Oproti například elektromechanickým

senzorům, které fyzikální veličiny transformují na elektrický signál. Z řad kontaktních je jednoduché tlačítko. Stisk doprovází propojení obvodu, tedy události, která započne budoucí jednání systému. Je jím i potenciometr. Ten svojí polohou určuje úroveň odporu (délka odporové dráhy). [24] [25]

5.2 Elektrické senzory

Elektrické senzory se využívají pro měření elektrických veličin jako jsou proudy, napětí, odpor, kapacitu, elektrické signály, nebo dokonce teplotu. Teplota se měří za pomoci takzvaného Seebeckova jevu, kde se teplota může spočítat pomocí generovaného napětí z dvou k sobě spojených vodičů. Pokud by se zahříval jeden konec, tedy každý z konců by měl různé teploty, tak lze měřit vzniklé napětí.

Jak bylo výše zmíněno, měří se elektrické veličiny, tedy každý voltmetr, ampérmetr ohmmetr, kapacitometr a osciloskop spadá do této kategorie. Například přiblíženo na ampérmetru, jakožto na měřiči jedné ze základních jednotek SI (Ampéru). Nejdůležitějším poznatkem je jeho zapojení. Je třeba, aby byl v obvodu zapojen – na rozdíl od voltmetru – v sérii. Pokud by byl paralelně, proudy by tak tekly přes něj a došlo by ke zkratu. Ideální ampérmetr by totiž byl s nulovým odporem. To je nedosažitelné. Uvnitř je paralelně připojený galvanometr, který se nechá protékajícím proudem vychylovat a ukazuje na stupnici reálný proud. Důležitou poučkou k užití je tedy správné zapojení a pokud nelze jednoznačně říct, jak silné proudy protékají obvodem, musí se nastavit měřicí rozsah na maximum a podle potřeby snižovat.[26]

5.3 Optické senzory

Optické senzory sledují světelné signály. Využití nacházejí nejen pouze jako foto snímače nebo dekodéry světelných paprsků, ale i například v optických sítích. Pomocí znalostí fyziky existuje možnost sledovat teplotu, intenzitu světla, vzdálenost, tlaky či fyzické napětí, a to zároveň bezkontaktně.

Pro úvodní zmínku uveďme polovodičový fotorezistor, což je základní elektrotechnická součástka, která při změně světelné intenzity mění svůj odpor (odpor při osvětlení klesá). Dále fotodiody, které působením dopadajícího záření mění velikost protékajících proudů, nebo fototranzistory, které se dají popsat jako

fotodiody se zesilovačem. Tohoto principu se aktivně využívá například v automatickém pouličním osvětlení, kde se světla lamp sama zapínají při dosažení stanovené intenzity osvětlení. Také v chytrých telefonech se díky tomu reguluje jas displeje.

Obrovskou výhodou nesou optické senzory ve svém principu fungování, informace se šíří pomocí světla. Tedy může se odmyslet elektrický šum, zkreslení, nepřesnost, ale i otázka bezpečnosti. Taktéž vzdálenost přenosu je mnohonásobně větší a spolehlivější. Naproti tomu náklady na výrobu jsou mnohem vyšší, oproti běžným sensorům. Avšak pokud se hledá dlouhodobé řešení, cenový nepoměr téměř mizí.[27] [28]

5.4 Chemické senzory

Chemické senzory slouží k detekci a určování množství chemických látek, ať už v kapalném nebo plynném skupenství. Využití nacházejí nejen v průmyslu, ale také v potravinářství nebo lékařství.

V posledních letech je na vzestupu ochrana životního prostředí. Ta se opírá o chemické senzory, které pomáhají analyzovat znečištěnost a stav sledovaných regionů.[29]

Měřit se může například koncentrace organických sloučenin, koncentrace kovů v roztocích, relativní vlhkost v různých prostředích, nebo též úroveň pH, ať už kyselost nebo zásaditost. Lze také změřit zastoupení iontů a minerálů ve sloučeninách.

Chemické senzory se minimálně skládají ze dvou základních komponent. První komponentou je receptorová část. Ta je v kontaktu se sledovaným analytem. Receptor může interagovat s analytem jako s celkem, nebo pouze s určitými molekulami. Rozlišuje se tedy selektivita, citlivost a limit detekce u receptorů. Receptor samotný dále informace mění na formu energie, která je měřitelná převodníkem. Převodníky generují elektrický signál, který je možný zpracovávat a sledovat. Dle nasazení převodník může fungovat na bázi elektromechanické, optické, kalorimetrické.

Každodenním příkladem může být alkohol tester. Tento senzor je navržen, aby měřil obsah alkoholu v dechu. Testovaná osoba začne vydechovat do trubice, která ústí do senzoru. Vydechnutý dech je konfrontován s látkami (kyselinou sírovou,

dichlormanem draselným, dusičnanem stříbrným a vodou), které spustí chemickou reakci. Měří se rozdíl mezi dvěma komorami – jedna komora je ovlivněna reakcí, druhá nikoliv. Z tohoto rozdílu je generován elektrický signál, jehož velikost je úměrná množství alkoholu v dechu. Tento signál je převeden na výsledné promile a zobrazován na displej.[30] [31]

5.5 Elektromechanické senzory

Elektromechanické senzory jsou skupinou mechanických sensorů, které již díky prvkům navíc generují elektrický signál, který nese měřenou informaci. Mechanická vlastnost, jako je například tlak, síla může být převeden na elektrický signál, který je dále zpracováván. Konkrétně se jedná o piezoelektrický jev. Tento jev probíhá v krystalických materiálech (např. křemen, kadmiový sulfid, lithium titanový krystal) a je zapříčiněn vstupním mechanickým namáháním/tlakem. Následkem deformace se uvnitř krystalů mění energie mechanická na energii elektrickou. Tento fenomén byl objeven již v roce 1880 bratry Jacquesem a Pierrem Curieovými.[32] Dalším jevem, který objevili je pyroelektrický jev, který je obměnou piezometrického s rozdílem, že se jedná o reakce na teploty.

Piezoelektrický jev má nespočet aplikací. Nejen snímání tlaku a síly na povrchu, ale i akustická zařízení využívají tento jev. Příkladem jsou reproduktory, mikrofony, vibrátory ale i ultrazvukové systémy (sonar).

Dále se jedná o indukční senzory, sloužící ke kontaktovému a bezkontaktnímu detekování elektricky vodivých předmětů na malé vzdálenosti. Tyto senzory mají jednoduchou binární výstupní logiku. Vhodné jsou do složitých průmyslových řešení, kde je třeba kontrolovat, zda je vše přesně na svém místě. Své uplatnění nacházejí také například v objektovém zabezpečení. Pro monitorování, zda jsou vstupní body (dveře, okna) otevřeny či zavřeny je vhodné využít tento typ sensorů.

5.6 Akustické senzory

Akustické senzory převádějí zvukové signály na elektrické. Realizují detekci a analýzu zvukové vlny. Jejich funkce může stát na piezoelektrickém jevu, ale jsou i další řešení, jako například využití kondenzátorů nebo systému s rezonátorem. Kondenzátorová zařízení (mikrofony) sledují změny kapacity mezi dvěma

elektrodami, kde je jedna pevně usazena a druhá usazená na pohyblivém prstenci se hýbe podle zvukových vln, šířících se do zařízení. Elektrický signál vzniká změnou kapacity. Tento signál je potřebné zesílit a převést do elektrického signálu, se kterým umí další zařízení pracovat.[33] Pro co nejvíce kvalitní zvukové záznamy je lepší zvolit kondenzátorové mikrofony. Jedinou nevýhodou je fakt, že se jedná o aktivní zařízení, tedy je potřeba externí zdroj napájení. Oproti tomu akustické senzory s rezonátorem fungují tak, že obsahují mechanický rezonátor, který kmitá na dané rezonanční frekvenci. Kmitání je dále ovlivňováno vlastnostmi okolí, tlakem, teplotou a zvukovými vlnami. Tyto změny ovlivní kmitání a podle toho se mění i elektrický signál. Výhodou je zde také vysoká citlivost, malé rozměry, ale také nízké náklady na energii.

5.7 Smyslové senzory

Zajímavostí jsou smyslové senzory. Tento koncept není aktuálně nový nebo neznámý. Uskutečnění a reálné nasazení je otázkou posledních desítek let, ale touha po syntetickém neživém zařízení, které bude mít stejné vlastnosti a schopnosti jako člověk, pochází už z dávných řeckých dob. Doložené je to řeckým mýtem o Talosovi. Onen bronzový výtvar, vypadající jako muž, měl za úkol hlídat ostrov Kréta před nájezdníky. Jediná slabina tohoto automatu byla žíla života v kotníku. Z tohoto příkladu bychom si měli vzít ponaučení - dělat a tvořit stroje s pojistkou. Nejen dokonalé a funkční, ale za každé situace ovládnutelné. [34]

Smyslové senzory jsou specializací již předchozích zmíněných typů sensorů. Zrakový senzor může být kamerou, snímající okolí objektu, vhodným algoritmem lze podmínit detekci objektů v obraze. Jiným příkladem může být sonar, mnohdy není potřeba tolik detailů a stačí pouze znát volný prostor a překážky. Hmatové senzory, umístěné v umělých kůžích, citlivé na teplotu, tlak nebo vibrace mohou být příkladem piezo a pyroelektrických sensorů, které dále posílají signály do centrální jednotky. Sluchové senzory jsou též konkrétní případ akustických, nebo elektromechanických sensorů. Čichový senzor samotný není tak složité sestavit. Znalost plyných sensorů, které dokážou detekovat chemické sloučeniny ve vzduchu k tomu stačí. Problém zde vzniká při klasifikaci pachů. Velký vliv mají

okolní vlastnosti. Teplota, vlhkost, kvalita vzduchu, ale i samotná hustota zápachu. Velkou roli hraje i subjektivní vnímání a posuzování pachů.[35]

Chuťové senzory slouží k rozpoznání chuti. Existují různé přístupy, jak detekovat chuť. Chuť se může vyhodnotit podle koncentrace základních chutí. Jsou to sladkost, slanost, kyselost a hořkost.[36] Elektrochemické senzory měří chuť pomocí změn napětí při reakci se senzorem a látkou. Biologické senzory používají biologické složky, jako jsou enzymy. Možností je i pomocí optických sensorů. Ty sledují změny v absorpci světla v látkách.[37] Konkrétně se může jednat o fluorescenci v namíchaném roztoku a reakci s látkou. V budoucnu tyto senzory budou schopny nahrazovat restaurační zařízení. Aktuálním příkladem jsou domácí chytré pekárny. Programovatelné a autonomní, jediná potřebná interakce je přidávání ingrediencí, ale i tento proces je nahraditelný. Pekárna sama vyzve k přidání a v procesu přípravy sleduje koncentrace a vlastnosti těsta.

6 Rozdělení sensorů podle výstupních signálů

Každý sensor má nějaký způsob, jak detekovat a interpretovat změny ve sledovaném prostředí. Tyto změny pak jsou dále převedeny na elektrické signály vysílané senzorem. Senzory mohou produkovat různé typy výstupních signálů. Podle aplikace a nároků, jako je přesnost, rozlišení, rychlost vzorkování, nebo také obtížnost šifrování, se volí sensor s výstupní charakteristikou. Je také důležité zvolit vhodné zpracování signálu, aby bylo možné výstupní data optimálně využít pro konkrétní aplikaci. Pokud se narazí na nekompatibilitu, není to hned překážka. Existují a aktivně se využívají signálové převodníky.[38]

6.1 Analogový signál

Analogový signál je spojitý nekonečný signál, který může nabývat libovolných hodnot v daném rozsahu. Nepřetržitě se mění v čase. Je zde možnost v jakýkoliv okamžik zjistit jeho funkční hodnotu. Analogové signály se běžně používají v měřicí technice, kde umožňují přesná a nepřetržitá měření. Analogový signál vzniká v analogovém obvodu, který se sestává z kondenzátorů, odporů, diod a dalších prvků. Zpracování analogového signálu je složitější. Často zahrnuje filtrování, zesilování, vzorkování a kvantování. Tyto kroky jsou nezbytné pro zajištění správného měření

a přenosu dat, zejména pokud je signál vystaven šumu a rušení. Nej kvalitnější je původní signál. Jakákoliv další kopie, nebo přenos signál degradují (šumy, rušení, kvalita záznamového materiálu).[39]

6.2 Digitální signál

Digitální signál se oproti analogovému pohybuje v diskrétní sféře. Digitální signály lze přenášet na větší vzdálenosti než analogové signály bez ztráty kvality signálu. Je to proto, že digitální signál má pouze dvě diskrétní hodnoty, takže je méně náchylný ke ztrátě informace během přenosu. Tyto signály pomalu dominují a upozadují analogové. Vyskytují se v mnoha oblastech, jako jsou počítačové sítě, digitální televize, mobilní telefony. Ve zpracování obrazu a zvuku však stále kvalitou dominují analogové. V každé oblasti se používají různé typy digitálních signálů, které jsou optimalizovány pro danou aplikaci.[38]

Dále je vhodné zmínit a rozlišovat rozdíly v kódování signálu. Mohou být unipolární, polární anebo bipolární. Unipolární kódování, zde je použita pouze jedna úroveň napětí pro reprezentaci logické 1. Logická 0 je reprezentována žádným napětím, nic není přenášeno. Polární kódování na rozdíl od toho odlišuje úrovně napětí. Prvním typem je NRZ (Non-Return to Zero). V klasické formě jedna úroveň znamená 1 a druhá 0. Toto schéma disponuje dvěma dalšími variantami. NRZ-L a NRZ-I. NRZ-L změni úroveň napětí, když se následující bit změni. NRZ-I napětí změni, pokud je následující bit 1, v případě 0 udržuje stejnou hodnotu. Posledním příkladem polárního kódování je RZ (return to zero).

Předchozí příklady disponují nevýhodou jednoznačného určení začátku a konce jednotlivých bitů. RZ nedostatek kompenzuje třetí napěťovou úrovní, která slouží pro přechod mezi stavy. Bipolární kódování také využívá 3 úrovně napětí. Logická 0 představuje nulové napětí, ale 1 pro změnu vyjadřuje změnu kladného a záporného napětí.[40]

6.3 Sériová linka

Sériová linka je přenosové médium, které umožňuje sériový přenos dat bit po bitu. V základu se dělí na synchronní a asynchronní. Rozdílem je podpora hodinového

signálu u synchronní linky, tedy všechna zařízení, která spolu komunikují, musí být synchronizovaná.

Asynchronní linka nám šetří další vodič, ale musí to být kompenzováno mechanikami pro bezchybný přenos. Například synchronní bity, paritní bity a přenosová rychlost. Tímto se zabývají sériové protokoly. Je důležité zajistit, aby zařízení na koncích sériové linky použila stejný protokol.

Prvním parametrem je přenosová rychlost. Ta určuje, jak rychle budou data odesílána. Vyjadřuje se v bps (bity za sekundu). Přenosové rychlosti mohou nabývat různých hodnot, důležitá je však opět totožná rychlost na obou stranách linky. Běžná hodnota pro přenosy je 9600 bps. Čím vyšší číslo, tím rychleji se bude přenos uskutečňovat. Kvůli vnitřním hodinám mikrokontrolerů existuje omezení na rychlosti do 115200 bps. Vzorkování uvnitř kontrolérů totiž nestíhá zpracovat přenášená data a začínají se projevovat nespolehlivostí s chybami.

Při odesílání dat musí být jasně dáno, jak veliký objem posíláme. O to se stará datový blok (chunk), kterým může být využit v rozsahu 5-9 bitů. Vymezení, kde začíná a končí každý blok udávají synchronizační bity. Poslední částí rámce jsou volitelné paritní bity. Jde o snadnou kontrolu, kde se sleduje součet datového bloku a dle lichosti se nastaví tento bit na 1, či 0. Zajistí to jistou formu ověření správnosti, ale celkový přenos to zpomalí.

RX a TX (Receiver a Transmitter). Při zapojení je důležité neopomenout fakt, že se propojení musejí křížit, tak aby vysílač vysílal do přijímače. U těchto komunikací se rozlišují duplexní komunikace, poloviční (halfduplex) nebo úplná (fullduplex). Poloviční komunikace znamená, že v jednu chvíli může vysílat pouze jedno zařízení, zatímco při úplné komunikaci mohou souběžně vysílat i přijímat obě zařízení. Mezi nejznámější protokoly pro sériovou komunikaci patří Ethernet, USB, CAN, SPI, I2C, UART a RS-232.[41]

6.4 Paralelní linka

Paralelní linka je další typ přenosového média pro digitální signály. Na rozdíl od sériové linky se zde přenáší vyšší počet bitů najednou, běžně 8, 16 nebo násobky. Každý bit má svůj vlastní vodič, z toho vyplývá vyšší hardwarová náročnost. Hlavní výhodou a důvodem existence paralelní linky je možnost přenášet souběžně více

bitů. S tím se pojí vyšší přenosová rychlost, ale také při větších vzdálenostech náchylnost k rušení (přeslechům) a ztrátám signálu. Z fyzického světa je známa nevýhoda vícenásobných vodičů a konektorů, které jsou náchylné na poškození. Vyžadují mnohem více pozornosti a opatrnosti. Větší počet kovových vodičů zvyšuje s vyšší vzdáleností rušení (cross-talk).

Výhodou je snadná instalace oproti sériovým linkám. Zpravidla většina sériových linek je potřeba propojit převodníkem do paralelní podoby, aby bylo možné komunikovat s datovou sběrnicí.[42] Tento koncept se může zdát jako efektivní a lepší oproti sériovému. Platilo to tak v 90. letech. Časté omezení a technické komplikace nezaručují takovou rychlost jako sériové. I přes několikanásobně rychlejší přenos dat je potřeba zajistit správné sestavení pořadí po přijetí rámců. Proces synchronizace je obtížný a kontroly časově náročné. Proto se snadněji představí zástupce sériové komunikace, namísto paralelní. Příkladem, který upadá v zapomnění je VGA, nahrazován HDMI a DISPLAYPORT. Mezi protokoly paralelní linky patří Centronics, SCSI, ISA/EISA, PCI, VGA, DVI.[43]

7 Rozdělení senzorů na základě aktivity

Jak bylo již zmíněno, senzory slouží ke sběru informací ze sledovaného prostředí. Senzor může být aktivní, což znamená, že vysílá signál (interaguje s prostředím) a měří, jak na to reaguje okolí. Pasivní senzor znamená, že mění své vlastnosti v reakci na změnu sledovaného prostředí. Podle použití, nároků na systém a též okolí ve kterém se měří se rozhoduje, který typ senzoru použít. Hodnocení, zda se jedná o prvky aktivní nebo pasivní určuje externí napájecí zdroj. Některé analogové snímače mohou mít aktivní součásti, jako jsou operační zesilovače, a jsou proto považovány za aktivní. Na druhou stranu některé senzory mohou být zcela pasivní, jako jsou termistory nebo fotorezistory, které nemají žádné aktivní součásti a jejichž odpor se mění v závislosti na měřené veličině. Obecně platí, že klasifikace senzoru jako aktivního nebo pasivního závisí na konkrétním senzoru a jeho implementaci a v některých případech může být kontroverzní.[44] [45]

7.1 Aktivní senzory

Vysoká citlivost je jednou z hlavních výhod aktivních senzorů. Mají vlastní napájení, což znamená, že mají vysokou citlivost a dokáží detekovat i velmi slabé signály. Díky tomu, že mají vlastní zdroj energie, mohou redukovat hladinu šumu, což vede k vyšší přesnosti. Vlastní napájení umožňuje také zesílit signál a dosahovat větších vzdáleností. Naopak nevýhodou je vyšší spotřeba energie. Dále to je složitější návrh. Konstrukční řešení je složitější oproti pasivním senzorům, tedy i nákladnější na výrobu a prostor v obvodu. Větší rozměry mohou působit potíže v situacích, kde potřebujeme minimalistické řešení.

7.2 Pasivní senzory

Důležitým benefitem pasivních senzorů jsou nižší náklady a menší složitost konstrukce, mají jednodušší design a nemají vlastní zdroj energie, což znamená, že jsou obvykle levnější než aktivní senzory. Tento fakt úzce souvisí s rozměry, pasivní senzory jsou obvykle menší, a tedy i vhodnější pro aplikace, kde je potřeba malé velikosti. Jelikož jsou bez vlastního zdroje, celý obvod má nižší energetické nároky a požadavky na napájení.

Za nevýhody lze považovat opaky výhod u aktivních senzorů. Absence dodatečného zdroje snižuje schopnost snímat slabé signály. Co se týče šumu a vnějších faktorů jako jsou náhlé změny teplot, nebo vlhkosti, jsou pasivní senzory náchylnější k rušení. Omezení mají též v rozsahu detekce, což může být problém při měření na větší škále.

8 Oblasti využití senzorů

V dnešní době nacházejí senzory využití v každém lidském odvětví. Se senzory se lze setkat i nepřímo, mnohdy nevědomky. Mnohé obory jsou striktnější k požadavkům a normám, které musí zařízení splňovat. Nároky, které přístroje musí plnit jsou nejen přesnost a výdrž, ale také konfigurovatelnost, nebo dlouhodobá podpora. Je důležité zhodnotit situaci před realizací a zvolit řešení, které může být servisováno, snadno opraveno, nebo vyměněno. Níže zmíněné příklady oblastí využití počítají s několikaletým nasazením, aby se projevila návratnost. Důležité je zohlednit též technologický vývoj a vyvarovat se řešením, která mohou brzy zastarat.

Nejcitlivější oblastí je medicínská oblast. Péče o lidské zdraví a životy v nemocničních centrech je velmi citlivá záležitost. V důsledku přímého dopadu na životy je vyvíjen tlak na precizní přesnost, spolehlivost a bezpečnost. Jak u invazivních zařízení, jako jsou například sondy, tak i měřiče tělesných parametrů. Vzhledem k tomu, že se průměrná délka lidského života prodlužuje, objevují se nové koncepty, jak předvídat a inovovat monitorování. Příkladem jsou chytrá nemocniční lůžka, která mají různé senzory, detekující a korigující polohu pro zlepšení komfortu pacienta. Senzory monitorují polohu a výšku lůžka a upravují tlak v různých oblastech matrace, aby stimulovaly průtok krve a zkrátily dobu zotavení pacienta. Rehabilitace a následná domácí péče po zákroku je též důležitá. Je minulostí spoléhat pouze na slovo pacienta. Například lidé, kteří prodělali amputační zákrok se musí sžít s protézou a nepodvádět s používáním v domácích podmínkách. Monitorovat se v protéze dá nejen aktivnost a použití, ale také zátěž, nebo koordinovanost, například při chůzi. Vyhodnocením těchto dat pak následně může být upravena protéza. [46] [47]

Další důležitou oblastí je průmyslová sféra. Zde jsou mnohdy stejné nároky na měření jako u medicínské oblasti. Moderní průmyslové systémy zpracování a výroby jsou vysoce automatizované a zajišťují efektivní spotřebu surovin a energie. Existuje mnoho parametrů, které je třeba monitorovat a řídit. Tato oblast používá také stejné typy senzorů, dostupné i pro běžné použití. V jádru jde o stejnou technologii. Rozdílem je způsobení mechanického provedení. V průmyslu se musí nasadit vždy odolné zařízení, které je schopné odolávat neustálému prachu, vibracím a různým pracovním teplotám. Tyto nároky se nazývají stupně krytí. [48]

Do popředí se také dostává domácí a kutilské odvětví. Na trhu se sice vyskytuje rozmanitý inventář hotových řešení, ale ne každé dokáže za přijatelnou cenu uspokojit zákaznickou potřebu. V dnešní době existuje mnoho portálů, které nabízejí nejen jednotlivé součástky, ale také související návody, dokumentaci a ukázky. Nejen tedy lidé vzdělaní v elektronice, nebo elektro amatéři, ale i běžný člověk si může na míru navrhnout, zapojit a naprogramovat vlastní řešení, které je cenově

přijatelné. Tento trend posiluje rozvoj chytrých domácností. Domácí automatizace se senzory zvyšují pohodlí, informovanost, energetickou úsporu a bezpečnost. Jednoduchými příklady mikro projektů jsou: chytrá regulace osvětlení, chytrý zámek, detekce otevřených dveří, kvalita ovzdušní v místnosti, nebo regulace topení. Všechny zapojené technologie mohou být nejen řízeny automaticky, ale také přes mobilní zařízení, vzdáleně bez nutnosti fyzické interakce.

9 Legislativa

Legislativa sensorových systémů je důležitá z několika důvodů. Za prvé, lze je použít v různých průmyslových a komerčních aplikacích, které významně ovlivňují lidské zdraví a životní prostředí. Je proto důležité mít jasné normy a specifikace, které zajistí, že sensorové systémy budou splňovat specifické požadavky na bezpečnost a kvalitu. Za druhé, sensorové systémy lze použít v oblastech, kde je důležité soukromí a ochrana před škodlivým zářením, jako jsou bezpečnostní kamerové systémy nebo lékařské sensorové systémy. Proto jsou zapotřebí jasné právní normy, které zajistí, že sensorové systémy budou používány právně a eticky v souladu. Obecně lze říci, že je důležité řešit legislativu v sensorových systémech pro zajištění bezpečnosti, kvality, soukromí a dodržování právních a etických předpisů. Příkladem jsou: Zákon o ochraně osobních údajů, kde jsou kladeny požadavky na nakládání s osobními údaji, jejich skladování a zabezpečení. Neposledním příkladem je zákon o ochraně ovzduší Č.201/2012 Sb.[49] [50]

10 Interní sensorický systém

10.1 Platforma Arduino

Arduino je otevřená hardwarová a softwarová platforma pro vývoj elektronických projektů. Řídící jednotka je založena na jednočipových mikrokontrolerech, které jsou kompaktní a cenově dostupné a zároveň výkonné pro vykonávání daných úkonů. Hlavní výhodou je kompatibilita takřka se vším, modulárnost a přizpůsobivost. Z důvodů otevřenosti se tato platforma široce rozšířila. Oblíbenost a otevřenost umožnila vznik klonů a různých alternativ. Existuje proto několik verzí hardwaru Arduino, ale všechny mají společné to, že jsou navrženy tak, aby umožnily

snadnou integraci s různými senzory a aktuátory, jako jsou například LED diody, motory, displeje a další periferie. To umožňuje vývojářům rychle vyvíjet a testovat své nápady.

Další předností jsou rozrostlé komunity, vyvíjející taktéž softwarová řešení, jako jsou knihovny pro ovládání těchto periférií. Tento trend zasáhl též do osnov technických škol. Z důvodů snadného zapojení a bez potřeby pájení, pouze propojení pomocí spojitelných vodičů a nepájivé desky. Díky tomu je dosažena opakovatelná použitelnost, tedy více různorodých názorných ukázek. [51]

10.1.1 Arduino IDE

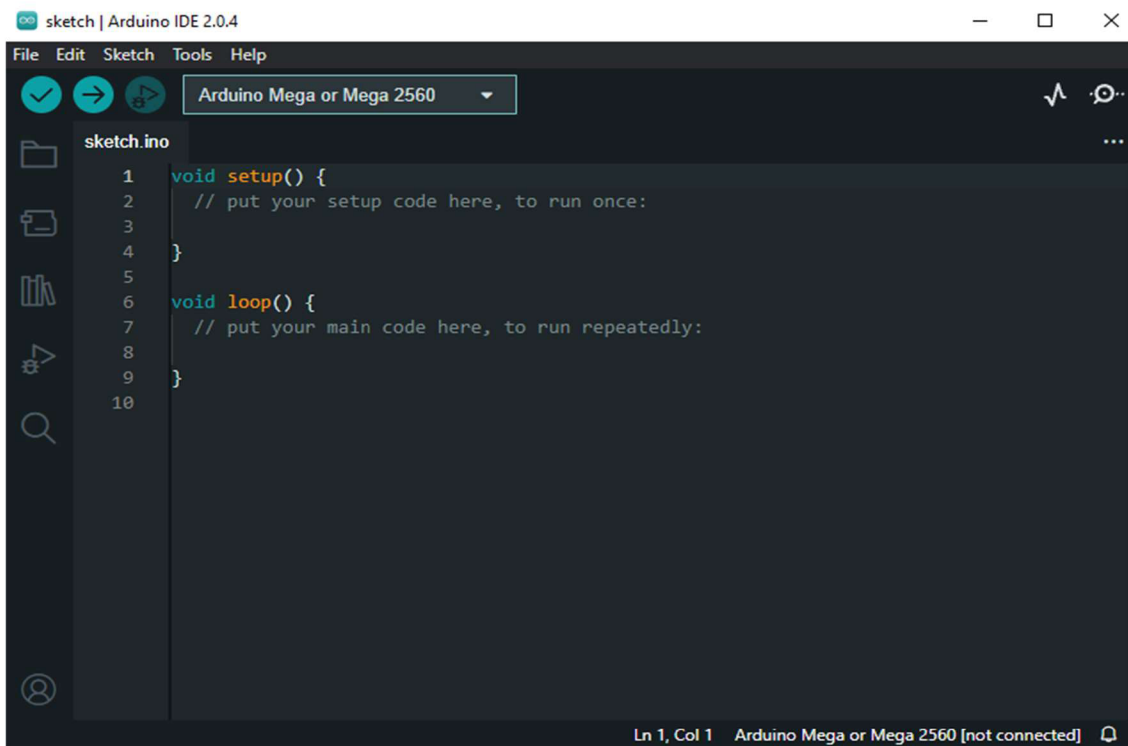
Aby se nemusely tyto desky programovat nízko úrovně, vzniklo Arduino IDE, software používaný k programování a nahrávání kódu na desku Arduino. Jedná se o open source aplikaci, kterou si mohou zdarma stáhnout a používat všichni uživatelé. Arduino IDE je k dispozici pro různé operační systémy, jako jsou Windows, Mac OS X a Linux. Hlavním účelem Arduino IDE je zjednodušit vývojový proces pro začátečníky, kteří se snaží vytvářet vlastní projekty s Arduinem. Software poskytuje uživatelské rozhraní, které umožňuje uživateli psát kód C/C++, upravovat kód a nahrávat jej na desku Arduino.

Arduino IDE obsahuje mnoho užitečných funkcí, jako je zvýraznění syntaxe, dokončování kódu, integrovaný sériový monitor a další. Jednou z nejzajímavějších funkcí Arduino IDE je, že podporuje všechny desky Arduino, taktéž i s klony a je kompatibilní s mnoha různými knihovnami a rozšířeními, které lze přidat do softwaru. Tyto knihovny a rozšíření umožňují uživatelům přidávat do svých projektů další funkce a periferie, jako jsou senzory, displeje, motory atd. Při používání Arduino IDE je důležité mít ty správné knihovny a periferie pro vypracovávaný projekt.

Jednou z prvních věcí, které se musejí zkontrolovat v Arduino IDE je výběr správné desky v nabídce Tools> Board. Důvody jsou následující. Každá deska má specifické funkce a možnosti, může na ní být jiný mikrokontroler, který má jiný počet analogových a digitálních pinů a jinou základní sadu příkazů. Dále se může lišit rychlost procesoru a velikost paměti. Každá deska vyžaduje jinou konfiguraci v Arduino IDE, například nastavení sériového portu nebo výstupního napětí. Špatná

volba může vést k nemožnosti komunikace s deskou nebo k nežádoucímu chování programu.

Dalším důležitým výběrem je správný port, přes který se s deskou komunikuje (Tools> Serial Port). Po těchto základních krocích se může přejít k samotné skice což je základní šablona, ve které se píše program. Skica má dva povinné úseky, setup() a loop(). Program nutně nemusí využít oba tyto úseky, ale je doporučované je nemazat, kvůli možným komplikacím. Funkce setup() je volána pouze jednou, je to první provedená funkce v programu, kde se zpravidla nastavují piny, inicializují sériové porty a deklarují proměnné. Funkce loop() je nekonečná smyčka, které se provádí stále dokola. Je zodpovědná za hlavní funkcionalitu programu.[52]



Obrázek 1 Arduino IDE. Převzato z [52]

10.1.2 Parametry desek Arduino

Velikost je jedním z primárních parametrů, které rozhodují, který model si pořídit. Menší desky, jako jsou Arduino Nano nebo mikro, jsou vhodné pro projekty vyžadující malou velikost a hmotnost, jako jsou kupříkladu mobilní roboty nebo nositelná elektronika. Tyto desky disponují menším počtem pinů a výkonem. Toto není na škodu, protože se očekává, že nebude třeba obsluhovat větší počet periférií. Opakem jsou větší desky, Arduino Mega nebo Arduino Duo, které jsou vhodné pro

větší projekty, s více periferiemi a funkcemi. Tyto desky jsou větší a těžší, ale nabízí vyšší flexibilitu a funkčnost.

Piny jsou důležitou součástí Arduino desek, protože realizují komunikaci s periferiemi připojenými k desce. Mohou to být senzory, akční prvky, displeje nebo i další deska Arduino. Je důležité vhodně odhadnout potřebný počet a druh pinů, které budou v projektu využity.

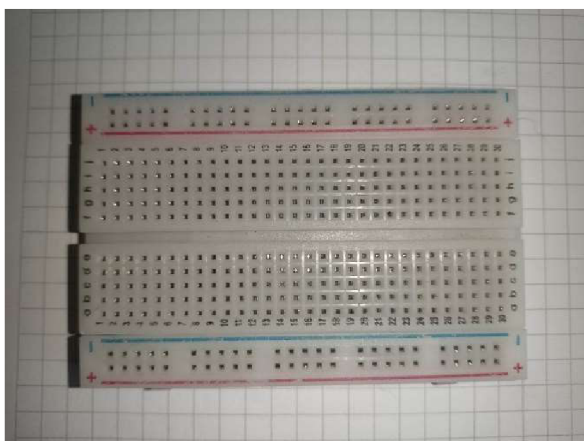
Piny na desce jsou digitální, analogové a sériové. Digitální piny jsou binárními piny, které se nastavují vstupně či výstupně a slouží k připojení digitálních zařízení. Analogové piny jsou schopny převádět analogové vstupy na digitální signál (obsahují A/D převodník), který je v mikrokontroléru dále zpracován a opačně. Sériové piny umožňují komunikovat s jinými zařízeními pomocí sériového protokolu, například s počítačem (UART nebo USART). Vhodný počet pinů je důležité zvolit v závislosti na potřebách projektu. Projekt vyžadující nižší počet senzorů a aktuátorů může být řešen na menší desce, s malým počtem pinů a opačně. Opačně, pokud je nutné připojit například displeje, rozhodně je vhodné zvolit větší desku z důvodu vyššího počtu pinů potřebných přímo jen pro displej. Alternativou jsou rozšiřující možnosti pro desky. Shield jakožto rozšiřující modul nejen přidá další piny, ale také umožňuje usnadnění vlastních návrhů obvodů. Například rozšiřující modul s Bluetooth, wifi, nebo ethernet otevře další možnosti komunikace s deskou.[53]

Napájení Arduino desky.

Arduino desky pracují v rozmezí napájecího napětí 5-12V. Záleží však na konkrétní desce a specifickém odběru desky, což je spojené s konkrétním projektem. Zdroj musí být dostatečně výkonný, aby poskytl potřebný proud pro všechny připojené součásti. Též se musí počítat s nárazovými odběry, například při startu servomotoru. Napájet se různými způsoby, od obvyčejného připojení pomocí USB (5V) nebo pomocí adaptéru, který je konkrétně specifický pro Arduino, případně správně zapojenou. Hlavní otázka v tomto ohledu je spolehlivost a stabilita zdroje.

10.1.3 Breadboard – nepájivé pole

Breadboard, česky nepájivé pole je vývojová propojovací deska pro návrhy a vývoj elektronických obvodů. Tato deska umožňuje organizovaně zapojit a testovat obvody bez nutnosti pájení a odpájení. Vodiče nebo součástky stačí pouze zapojit dle potřeby do desky. Samotné zapojení se sestává z vložení pinu do díry na desce. Uvnitř děr se nacházejí svorkové kontakty, které chytanou pin a drží pevně na místě. Standartní deska se skládá z plastového těla s vnitřní strukturou vodičů. Tyto vodiče jsou spojené kolejničkou a ústí z vnitřní strany do děr svorkou. Tato deska je velmi modulární a umožňuje kombinovat různé velikosti či druhy desek dohromady pomocí bočních přípojných bodů. Nejběžnější deska se skládá ze tří modulů. Dva moduly značené pro zdroj a jeden pro připojování součástek s vodiči. Zdrojový modul tvoří dva sloupce děr, každý graficky značen barevným pruhem a znakem, signalizující polaritu (plus/mínus). Druhý typ modulu se skládá z vyššího počtu sloupců, standartně z 10 a víc. Tyto sloupce jsou abecedně označeny a každý jeden řádek číselně. V tomto modulu oproti předchozímu netvoří každý jeden sloupec jednu část, ale řádek je částí (Obr. 2,3). Připojíme-li cokoliv do jedné z děr z některé části, ostatní díry jsou sdíleny.



Obrázek 3 Nepájivé pole. Zdroj: vlastní zpracování



Obrázek 2 Nepájivé pole -vnitřní uspořádání. Zdroj: vlastní zpracování

10.1.4 Vodiče

Aby bylo možné používat Arduino, přidružené periferie a nepájivé pole, je potřeba propojovacích vodičů. Vodič je izolovaný měděný drát nebo lanko. Důležité je

vhodně zvolit průměr drátu, kvůli schopnosti přenášet signály a napájecí napětí. Dalším důležitým parametrem je vhodné zakončení vodiče. Každá periferie může být zakončena jinak, je tedy důležité uvažovat o vhodném zakončení vodiče. Běžný vodič může být zakončen svorkami male nebo female (samec/samice). Tento typ zapojování nejen eliminuje nutnost pájet, ale také napomáhá existenci více vodičů v bezprostřední blízkosti, bez rizika zkratu. Vodiče bývají dodávány/vyráběny v různých délkách a také barvách. Barva izolace neovlivňuje funkci, je nezávislá. Její funkce slouží k zvýšení přehlednosti a orientování se v obvodu. Existují nepsaná pravidla, která barva by se měla kde použít, například červený vodič by měl vést kladné napájecí napětí, černý by měl vést uzemnění. Mimo obyčejné jedno kabelové vodiče existují kombinace více vodičů, zakončených specifickým konektorem, pro standardizaci a zvýšení přehlednosti. Příkladem je DUPont kabel, který je kombinací černého, červeného a žlutého kabelu. Smysl červeného a černého byl vysvětlen a platí zde stejně. Žlutý kabel je zamýšlen jako datový kabel pro přenos signálů.[54]

10.2 Použité součásti

10.2.1 HS-805bb+ servo

Vzhledem k náročnosti a velkým momentům při pohybu robotické paže bylo zvoleno servo HS-805BB+. Toto servo se běžně využívá v modelářství, zvláště vhodné je pro větší modely aut a letadel v měřítku až 1:5. Jedná se o analogové servo s napájením od 4,8 – 6 V. Rozměry sss délkou 66 mm, šířkou 30 mm a výškou 58 mm se jedná o velmi robustní a prostorově skladné servo. Tělo je tvořeno plastem. Převody jsou plastové, plněné skelnými vlákny pro vyšší výdrž. Celková váha činí 150 g. Tah při nejnižším napájení je dle výrobce až 19,8 Kg/cm, při 6 V dosahuje až 24,7 Kg/cm. Ve specifikaci tohoto serva je udáván odběr 520 mA bez zatížení. Maximální proud při zablokování serva činí 6000 mA. Tento údaj signalizuje, při jak vysokém dlouhodobém zatížení je servo poškozováno. Dále obsahuje ve svém těle taktéž referenční potenciometr, který toto servo omezuje pouze na rozsah 0-180 stupňů.

V řešené konstrukci robotické paže by bylo takové servo nepoužitelné. Pro eliminaci přetížení a rozložení síly jsou v paži pro jednotlivé pohyby převodovky a rotační

šrouby. Je tedy potřeba toto servo uzpůsobit a udělat z něj servo celo-točivé. Tato úprava obnáší v prvním kroku povolení šesti šroubů, které drží jednotlivé části serva pohromadě. Tímto se odhalí na spodní části obvodová deska. Taktéž lze následně odejmout horní část, který slouží jako kryt pro převody. Dalším krokem je rozebrání převodovky, poznamenat si v jakém usazení se nacházela ozubená kola. Následným a zároveň delikátním krokem je odpájení desky od motoru, tak aby byla možnost odejmout i desku. Po úspěšném odpojení desky zbývá v desce pouze motor a referenční potenciometr. Potenciometr je utažen malým křížovým šroubem. Po uvolnění potenciometru ho je třeba vyvést mimo tělo serva, souběžně s původními napájecími a datovým vodiči pro samotné servo. Je vhodné potenciometr odpájet a propojovací vodiče prodloužit podle očekávaného umístění v montáži robota, původní jsou krátké. Posledním krokem je odstranění bezpečnostní západky na posledním převodovém kole. Tato západka brání přetočení a poškození potenciometru v servu. Nyní, když je potenciometr mimo konstrukci, musí se odstranit i západka, aby se mohlo servo volně otáčet v celém rozsahu. Pro odstranění byl použit lámací nůž. K tomuto úkonu je doporučeno přistupovat opatrně, protože hrozí poškození převodu. Po tomto kroku lze servo sestavit zpět do původního stavu. Referenční potenciometr bude zapojen a zataven do konstrukce robotického torza, přímo do osy pohybu paže, tedy bude poskytovat servu informaci o skutečném náklonu paže v danou chvíli.

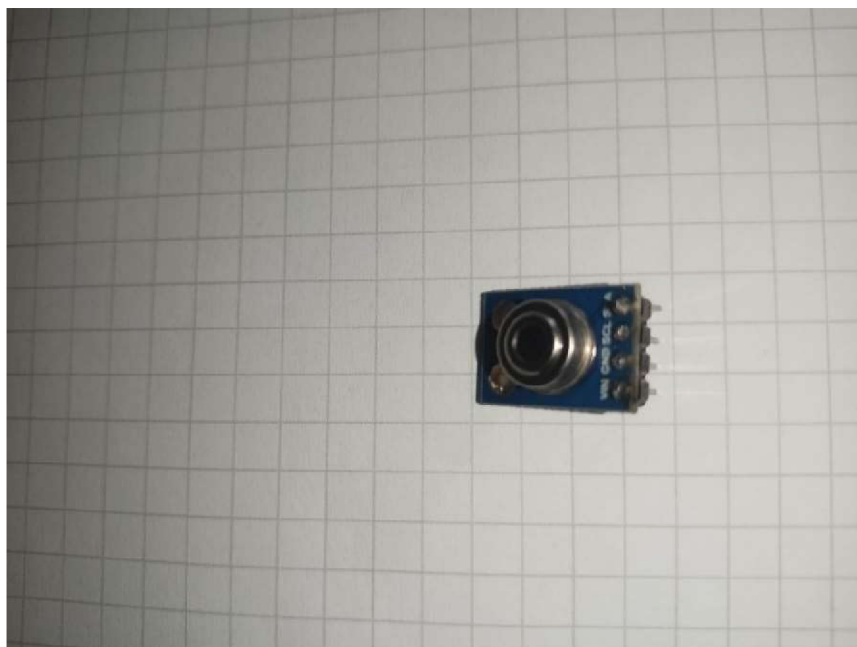


Obrázek 4 Servo HS-805bb+. Zdroj: vlastní zpracování

10.2.2 Infračervený teploměr MLX90614

MLX90614 je digitální infračervený teploměr vyráběný společností Melexis. Díky své vysoké přesnosti a rozlišení byl vybrán tento senzor. Dalšími kandidáty by byly senzory KY-028 a KY-013. Napájení MLX90614 je v rozsahu 3,5 – 5 V při stejnosměrném proudu. Tento senzor dokáže měřit dvě různé teploty. Okolní teplota v rozsahu -40 °C až po + 125 °C a teplota objektu na který se míří – 70 °C až 380 °C. Senzor vykazuje vysokou přesnost 0,5 °C a rozlišení 0,02 °C. Důležitý fakt a výhoda do spousty řešení je možnost bezkontaktního měření. Není nutné být v kontaktu s měřeným objektem, pouze na něj stačí mířit. Bezkontaktně lze měřit i do několika metrů, důležité je brát ale v potaz snímaný úhel. Ten je poměrně široký, tedy s větší vzdáleností se do okolí počítá více objektů.

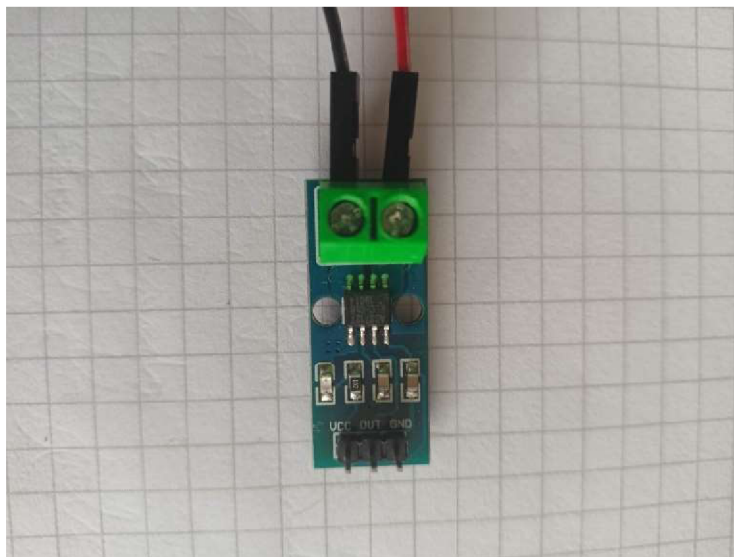
Senzor obsahuje 4 piny. Dva slouží pro napájení a uzemnění. Zbylé dva pro propojení pomocí I2C (Inter-Integrated Circuit) sběrnice. V mikrokontrolerech, zde konkrétně u Arduina k tomu jsou určeny piny SDA (Serial Data Line) a SCL (Serial Clock Line). Důležitým faktem je dosah na krátkou vzdálenost. SDA se používá pro přenos dat mezi zařízeními a SCL se používá pro synchronizaci hodin mezi zařízeními na sběrnici.



**Obrázek 5 Infračervený teploměr MLX90614.
Zdroj vlastní zpracování**

10.2.3 Proudový senzor ACS712

ACS712 je integrovaný obvod, který měří proud v elektrických obvodech. Tento senzor využívá Hallova jevu, při kterém se vlivem magnetického pole generuje napětí na polovodiči, když přes svorky prochází proud. Změřené napětí se z modulu proudového čidla odesílá přes analogový pin a za pomoci konstanty udané výrobcem se vypočítá velikost procházejícího proudu. Vybraný senzor je ve variantě pro rozsah do 5 A. Napájen je společnými 5 V z obvodu. Tento modul je invazivní, tedy pro jeho zapojení je nutné rozpojit obvod a vložit ho do série. Modul obsahuje 3 piny pro napájení, zem a analogový výstup a dvě výkonové svorky pro vstup a výstup vodiče měřeného obvodu. Tímto senzorem se v praktické části realizuje měření proudového odběru při použití servomotoru při různých zatíženích.



Obrázek 6 Proudový senzor ACS712. Zdroj: vlastní zpracování

10.3 Program

Obslužný kód, kterým se řídí deska Arduino, je psán v již zmíněném Arduino IDE. Jedná se o jednoduchý program, tedy je toto IDE postačující. Při řešení komplexních problémů a programů pro mikrokontrolery je vhodnější využít například Atmel studio.

První část kódu je část deklarační. Nachází se na úplném začátku programu a slouží k deklaraci i inicializaci globálních proměnných. Tyto proměnné v sobě ukládají

hodnoty nebo objekty, se kterými se následně dá v kódu pracovat. Je důležité uvažovat o správném datovém typu, ať už z důvodu ukládaných hodnot v tuto proměnnou, tak také datovou náročností, která se musí v paměti vyčlenit, při deklaraci. Globální proměnné jsou měnitelné, ne vždy je to však vhodné. Pokud se předem ví, že se taková proměnná jednou založí a je konstantní, je to vhodné uvést při deklaraci.

Existují dva způsoby, jak definovat konstantu. Upřednostňovaným způsobem je před datový typ proměnné napsat textový řetězec "const". Alternativou je uvést v hlavičce dokumentu `{#define nazevKonstanty hodnota}`. Nevýhodou druhé možnosti je nepředvídatelnost v rozsahu datového typu, protože v deklaraci není definován. Kvůli tomuto mohou vzniknout v programu nečekané problémy. Výhodou je ale nulová paměťová náročnost na čipu. Kompilátor nahradí odkazy na tyto konstanty definovanou hodnotou v době kompilace. Nachází se v této části také výčet používaných knihoven, které jsou využity v programu.

Vždy když se chce využít knihovna, prvně je nutné požadovanou knihovnu stáhnout (Tools->Manage libraries). Stažená knihovna se přidává do projektu ve formátu `"#include <nazevKnihovny>"`. Díky tomuto přidání je dále možné deklarovat a používat objekty z těchto knihoven a volat funkce.

```

1  #include <Adafruit_MLX90614.h>
2  #include <Servo.h>
3  Servo myservo1;
4  Adafruit_MLX90614 mlx = Adafruit_MLX90614();
5  int pocetCyklu = 0;
6  const int d9 =9;
7  // číslo pinu připojeného analogového vstupu
8  const int analogIn = A0;
9  // konstanta pro přepočtení naměřeného napětí na proud
10 const int konstanta = 185;
11 // proměnná pro nastavení offsetu, polovina Vcc
12 const int offset = 2500;
13 int pos;
14
15
16 double tempAmbient = 0;
17 double tempObject = 0;
18 double current = 0;
19

```

Obrázek 7 Deklarativní část kódu. Zdroj: vlastní zpracování v SW Arduino IDE

Úvodní dva řádky slouží pro přidání dvou využitých knihoven. První pro obsluhu infračerveného teplotního senzoru, druhá pro servomotor. Řádek číslo tři je založení proměnné pro servo, na kterou se dále ve funkcích odkazuje. Stejně i následující řádek je deklarací, zde proměnné pro infračervený senzor. Na první pohled si lze povšimnout rozdílných deklarací. Před použitím knihovny je doporučené řádně projít její dokumentaci. Na řádce pět je deklarována proměnná, ve které se uchovává číselné označení aktuálního cyklu upažení ruky. Z důvodů přehlednosti a lepší čitelnosti kódu se deklarují číselné konstanty, které jsou použity dále v programu pro nastavení použitých pinů. Stejného výsledku by se dosáhlo přímým zapsáním, ale tato část kódu je pro tyto deklarace určena. Kód může být rozsáhlý a komplexní, proto se dodržují jisté konvence, kam co zapisovat. Jmenovitě se jedná o proměnné “d9” a “analogIn”. Následující dvě konstanty jsou potřebné pro výpočet měřeného proudu. Číselná proměnná “pos” je využita pro udržení informace o současné poloze serva. V poslední řadě se zde deklarují proměnné pro udržení informace o proudu, okolní teplotě a teplotě měřeného objektu. Jelikož se jedná o reálná čísla s desetinou čárkou, je použit datový typ “double”.

Druhou částí kódu je povinná funkce `setup()`. V této funkci se dále inicializují neinicializované proměnné, konfigurují hardwarové periferie, nastavují vstupně výstupní piny, spouští sériová komunikace, celkově se jedná o přípravu pro správný následný chod zařízení. Tato funkce je vykonána pouze jednou. Doporučené je v této části také ověřit konektivity a dostupnost dílčích prvků. Každá funkce má přesnou formu syntaxe. První část funkce je návratová hodnota. Jedná se o hodnotu, která je vrácena po provedení funkce. V tomto případě je návratová hodnota "void", což znamená, že funkce nevrací žádnou hodnotu. Pokud by měla něco vracet, například celé číslo "int", zapsalo by se "int" a na konci uvedlo pomocí textového řetězce "return" navracené celé číslo. Druhou částí funkce je název. Pokud je potřeba funkci zavolat, píše se název funkce. Za jménem funkce jsou bezprostředně kulaté závorky pro parametry vstupující do funkce. Parametry nejsou povinné. Poslední částí je tělo funkce, které je ohraničeno složenými závorkami.

Následný obrázek ilustruje blok `setup`.

```
20 void setup() {
21     pinMode(analogIn, INPUT);
22     myservo1.attach(d9);
23     Serial.begin(9600);
24     while (!Serial);
25
26     if (!mlx.begin()) {
27         Serial.println("Error connecting to MLX sensor. Check wiring.");
28         while (1);
29     };
30
31     delay(5000); //zpoždění aby se hned nespustil program
32 }
```

Obrázek 8 Setup část kódu. Zdroj: vlastní zpracování v SW Arduino IDE

První věc, která se vykoná v této funkci je nastavení analogového pinu na vstup. Využita je funkce `pinMode()`, která přijímá dva parametry, prvním je číslo pinu a druhý je mód. Na tomto pinu se sledují data z proudového senzoru. Následuje definice, na kterém pinu je zapojeno servo. Na dříve vytvořené proměnné `myservo1` je pomocí tečkové notace zavolána funkce `attach`, která přijímá číslo pinu jako parametr. Pro snadnou vizualizaci byl vybrán zabudovaný sériový monitor v Arduino IDE. Při loggování a ukládání dat byl využit program `putty`, který též

umožňuje sériovou komunikaci. V této fázi je nutné zahájit sériovou komunikaci. Toho se docílí pomocí funkce `Serial.begin()`. Zde s jedním parametrem, který je rychlost přenosu dat v bitech za sekundu (baud). Je nutné mít na obou koncích, tedy i v sériovém monitoru, nastavenou stejnou rychlost. Následuje cyklus `while` s podmínkou, který se nekonečně zacyklí, pokud nedošlo k zapnutí sériové komunikace.

Sériová komunikace se v tomto projektu využívá pro získání dat z Arduina. V jiných řešeních, kde spolu například potřebují komunikovat další zařízení a předávat si data, je stejně možné vyčítat pomocí funkcí `read()`, `readBytesUntil()` ... Řádek 26 je také kontrolním bodem, kde se kontroluje, zda se podařilo zahájit komunikaci s teplotním senzorem. Tento krok se vykoná až po kontrole sériové linky, proto je možné již vypsat chybovou hlášku pomocí funkce `Serial.println()`. Jelikož pokračovat dál je nesmyslné, kód je následován nekonečnou smyčkou. Poslední částí je zpoždění, udáváno v milisekundách, zde pouze pro uživatelské účely, tak aby se při zapojení Arduina do napájení hned program nespustil.

Druhou povinnou částí kódu je smyčka. Jedná se také o funkci bez návratové hodnoty, stejně jako `setup`. Jak již bylo zmíněno, tato funkce se opakuje v nekonečné smyčce, to koresponduje s jejím názvem. Hlavní řídicí kód se nachází přímo v této funkci. Z důvodu, že se funkce opakuje stále dokola, je důležité sledovat paměťovou a výkonovou zátěž. V neblahých situacích může dojít ke zpomalení výpočtů a blokování jiných důležitých operací jako jsou komunikace s dalšími zařízeními. V takovém případě lze uvažovat o asynchronní komunikaci, nebo umělém zpoždění pomocí funkce `delay()`. Do této funkce vstupuje pouze jeden parametr, počet milisekund.

```

72 void loop() {
73     Serial.println("počet cyklu: ");
74     Serial.print(pocetCyklu);
75     Serial.println("Zvednutí nahoru");
76
77     for (pos = 10; pos <= 110; pos += 1) {
78         myservo1.write(pos);
79         merProud();
80         merTemp();
81         vypis();
82         delay(50);
83     }
84
85     Serial.println("Zvednutí dolu");
86
87     for (pos = 110; pos >= 10; pos -= 1) {
88         myservo1.write(pos);
89         merProud();
90         merTemp();
91         vypis();
92         delay(50);
93     }
94
95     pocetCyklu++;
96
97     Serial.println();
98
99     if (pocetCyklu == 11) {
100         while (true) {
101             pocetCyklu++;
102         }
103     }
104 }

```

Obrázek 9 Hlavní smyčka kódu. Zdroj: vlastní zpracování v SW Arduino IDE

První tři řádky ve funkci slouží pro informační výstup, pro přehledné budoucí zpracování. Vypíše se aktuální index cyklu a směr pohybu paže. Vzápětí po výpisu se provede iterativní cyklus for, který slouží pro postupné navyšování proměnné "pos", začínající na hodnotě 10. Důvodem je mírná nepřesnost při instalaci potenciometru. Iterování probíhá do hodnoty 111, tedy proběhne 101krát. V ideálním případě by tyto hodnoty byly od 0 do 90, v pravý úhel.

Bylo nutné přizpůsobit software reálnému světu, který je plný drobných nepřesností. Reálná funkcionalita byla splněna a s těmito hodnotami paže upažovala v rozmezí 0-90 stupňů. Pro každý jeden krok v cyklu se nejprve vykoná zapsání nové pozice serva skrze funkci `write()`. Doprovázeno je to funkcí `merProud()`, `mertep()` a `vypis()`. Finálně se vykoná umělé zpoždění, aby servo mělo čas doběhnout do pozice. Dle dokumentace od výrobce je operační rychlost serva 0,14sekund/60 stupňů, přepočteno na milisekundy/stupeň je 2,3ms/stupeň pro nezatížené servo. Zdůvodnění zvoleného zpoždění a celkové vyčíslení bude vysvětleno později.

Po ukončení prvního cyklu dojde k vypsání další informační zprávy, která předchází zpětnému chodu. V následném iteračním cyklu dojde ke stejným událostem, pouze v opačném pořadí. Tímto se splní jeden celý cyklus, to znamená, že je potřeba inkrementovat proměnnou `pocetcyklu` o jedna. To obsluhují dvě plus za číselnou proměnnou. Na řádce 97 dojde pouze k odřádkování v sériovém monitoru, pro zvýšení přehlednosti. Poslední částí je sledování podmínky, která zařídí ukončení nastavování serva a měření. Sleduje se zde počet cyklů vůči zvolené požadované hodnotě. V takovém případě se započne nekonečný cyklus, který by mohl být prázdným.

Mimo povinné funkce je možno deklarovat vlastní funkce. V tomto řešení se pro úsporu a přehlednost deklarovaly tři následující funkce, které jsou volány v každém z obou iteračních cyklů. Tyto funkce mají společné to, že jsou bez návratové hodnoty. Slouží pro výpočty a výpisy.

```

33 void merProud() {
34     int analog = 0;
35     double napeti = 0;
36     double proud = 0;
37     double soucet = 0;
38     // provedení stovky měření pro ustálení výsledku
39     for (int i = 0; i < 100; i++) {
40         // načtení hodnoty analogového vstupu
41         analog = analogRead(analogIn);
42         // přepočítání napětí na proud dle informací od výrobce
43         napeti = (analog * 5000.0) / 1023.0;
44         proud = (napeti - offset) / konstanta;
45         // uložení výsledku pro následné zprůměrování
46         soucet += proud;
47         delay(0.7);
48     }
49     // výpočet průměru ze stovky měření
50     proud = (soucet / 100);
51     // výpis výsledku na 3 desetinná místa
52     current = proud;
53 }
54 void merTemp() {
55     tempAmbient = mlx.readAmbientTempC();
56     tempObject = mlx.readObjectTempC();
57 }
58 void vypis() {
59     /*Serial.print("Proud: ");
60     Serial.print(current,3);
61     Serial.print(" A ");
62     Serial.print("Ambient = "); Serial.print(tempAmbient);
63     Serial.print(" ;*C\tObject = "); Serial.print(tempObject); Serial.println(" *C;");*/
64     Serial.print(current, 3);
65     Serial.print(";");
66     Serial.print(tempAmbient);
67     Serial.print(";");
68     Serial.print(tempObject);
69     Serial.println();
70 }

```

Obrázek 10 Podpůrné metody programu. Zdroj: vlastní zpracování v SW Arduino IDE

První funkce “merProud()” obstarává přepočítání napětí z analogového vstupu na proud. Prvně jsou založeny lokální proměnné potřebné pro výpočet. Samotné měření spočívá ve stu po sobě jdoucích snímaních, přepočítání a následném zprůměrování. Mezi každým jedním měřením je umělé zpoždění nastaveno na 0,7 milisekundy. Plus výše zmíněné zpoždění před každým pohybem. Z čehož vyplývá, že pro nové dosažení pozice servomotoru je nastaveno zpoždění 120 ms. Je důležité znát hodnotu vstupního napětí, aby byl vzorec platný.

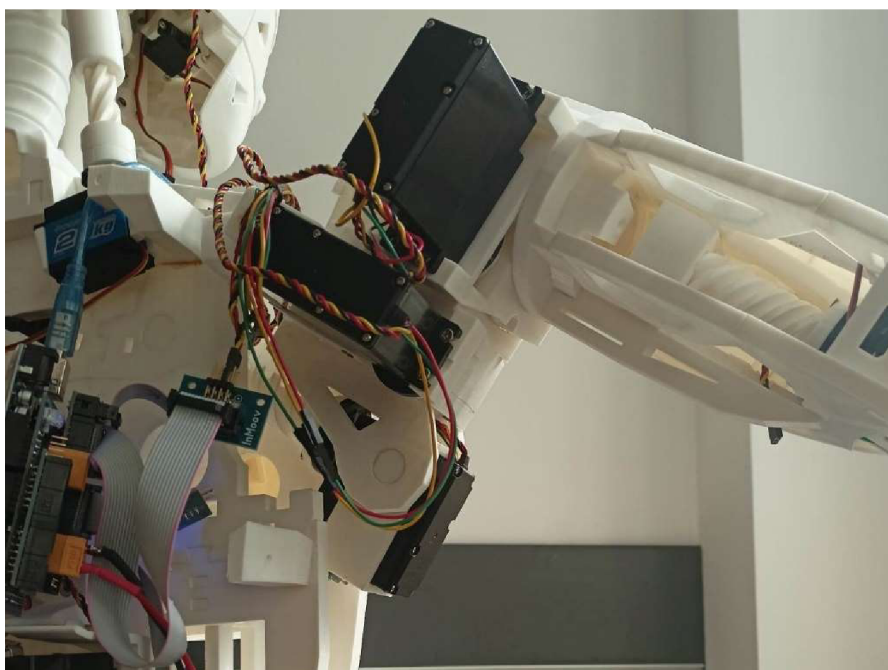
V posledním kroku dojde k vypočtení průměru a následně uložení do globální proměnné “current”. Druhou funkcí je “merTemp()”, která slouží k výpočtu okolní a

objektové teploty. Tento kód je velmi krátký a přehledný, protože bylo využito funkcí knihoven. Výpočet řeší interní funkce knihovny, zde se pouze ukládají do globálních proměnných. Poslední funkce je výpisová funkce "vypis()". Tato funkce slouží pro výpis do sériového monitoru. První zakomentovaná část je pro vzhledný uživatelský výstup s popisy a veličinami. Nezakomentovaná část funkce je kompaktnější, připravena pro další zpracování. Každé jedno měření je zapsáno na jeden řádek, odděleno středníkem.

10.4 Robotická paže

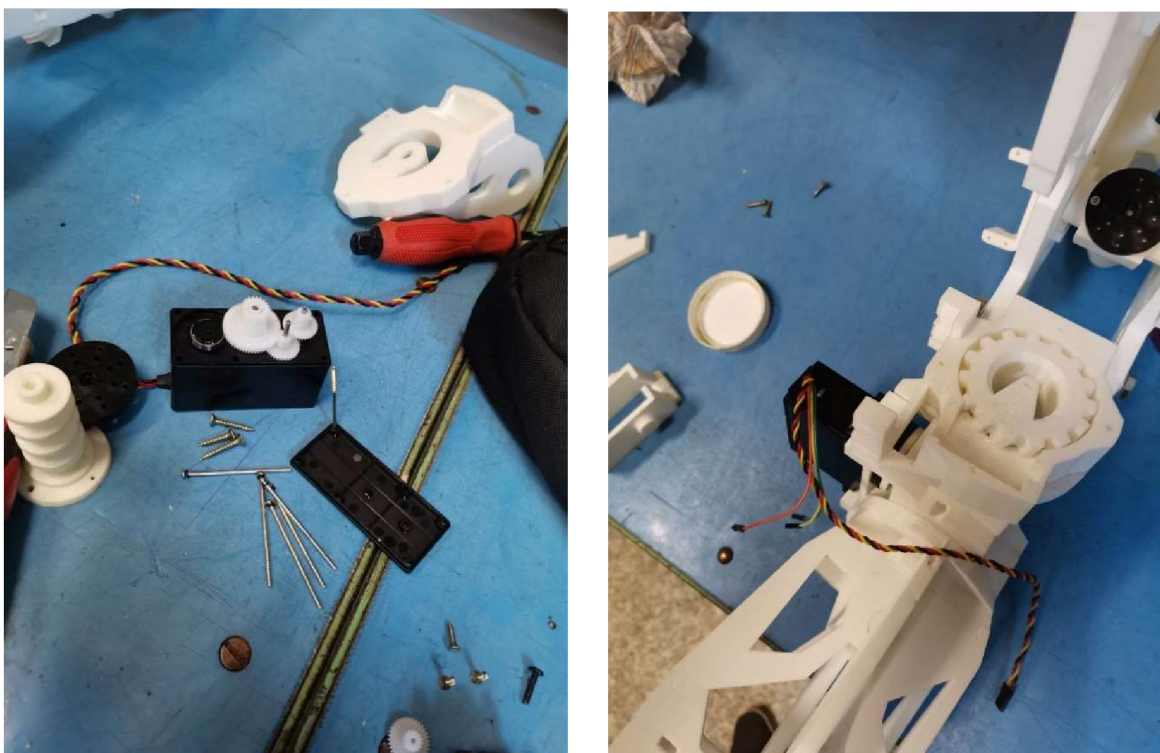
Celý projekt se odehrává na robotickém avatarovi, vytištěném na 3D tiskárně. Konkrétně se řeší problematika pohybu paží. Realizováno je to pomocí tří servomotorů v rameni a koncové části paže. Každý jeden řeší jednu osu pohybu a v celku uskutečňují úplný pohyb paže. Upažení je řešeno pomocí šroubu, který se vyšroubovává a tím zvedá celou paži (obrázek 11). Předpažování je docíleno pomocí malého šroubu a kuličkové převodovky (obrázek 12-13). Poslední pohyb, a to otáčení ve středové ose paže je řešeno stejně s převodem, pro neseřaditelný a rozložený pohyb.

Schopnost pohybu je samo o sobě nedostačující, pokud by nebyl znám možný rozsah. Kvůli nasazeným externím převodům nelze přímo snadno říci, kolik otáček

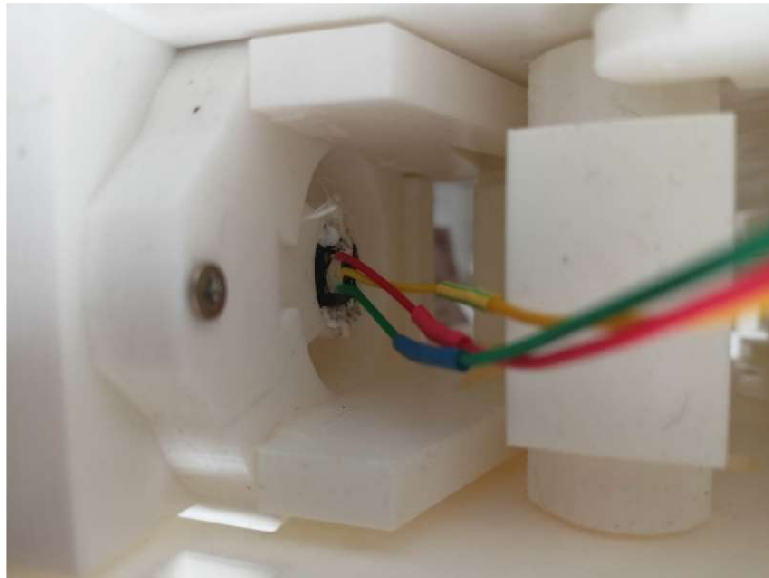


Obrázek 11 Rameno avatara. Zdroj: vlastní zpracování

servo musí vykonat pro požadovaný pohyb paže. Pro přesnou informaci jsou instalovány referenční potenciometry, které jsou zasazeny přímo do os otáčení (obrázek 14). Potenciometr fyzicky omezuje rozsah otočky na plných 180 stupňů, což je dostatečný pro každý pohyb a zároveň zabraňující nebezpečnému přetočení, nebo vykloubení. Pro přímé měření bylo nutné odstranit zadní kryt servomotoru a tím ho odhalit. Teplotní čidlo je instalováno v bezprostřední blízkosti pomocí jedné stahovací pásky (Obrázek 15-16).



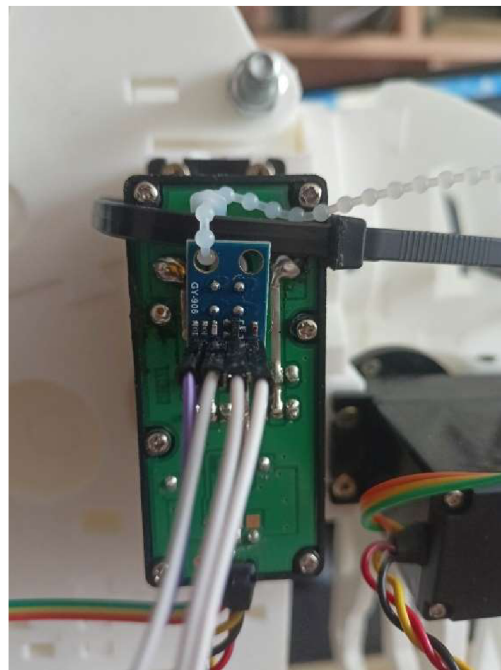
Obrázek 12 Detail šroubu a převodovky. Zdroj: vlastní zpracování



Obrázek 13 Referenční potenciometr v ose otáčení. Zdroj: vlastní zpracování



Obrázek 15 detail instalace teplotního čidla. Zdroj: vlastní zpracování

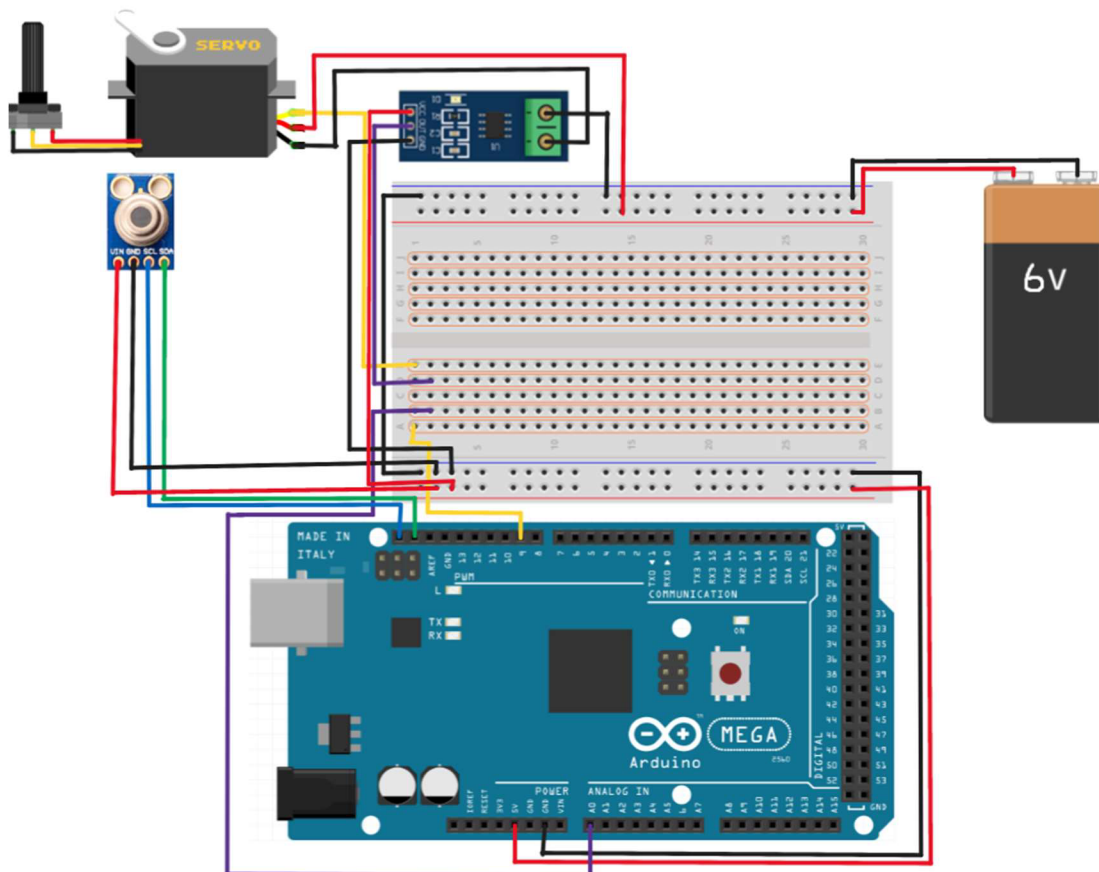


Obrázek 14 detail instalace teplotního čidla. Zdroj: vlastní zpracování

10.5 Zapojení

Pro ilustraci zapojení obvodu byly použity komponenty z návrhového prostředí Fritzing. Toto prostředí se využívá pro virtuální návrh elektronických obvodů. Lze využívat již hotové komponenty, šablony již hotových řešení anebo tvořit vlastní

návrh. Následný diagram ukazuje způsob zapojení obvodu projektu. Tento obvod byl navržen podle vlastní inspirace, na základě znalostí jednotlivých součástí a jejich přesných požadavků.



Obrázek 16 Diagram zapojení obvodu. Zdroj: vlastní zpracování s grafickými prvky z Fritzing[55]

10.6 Měření

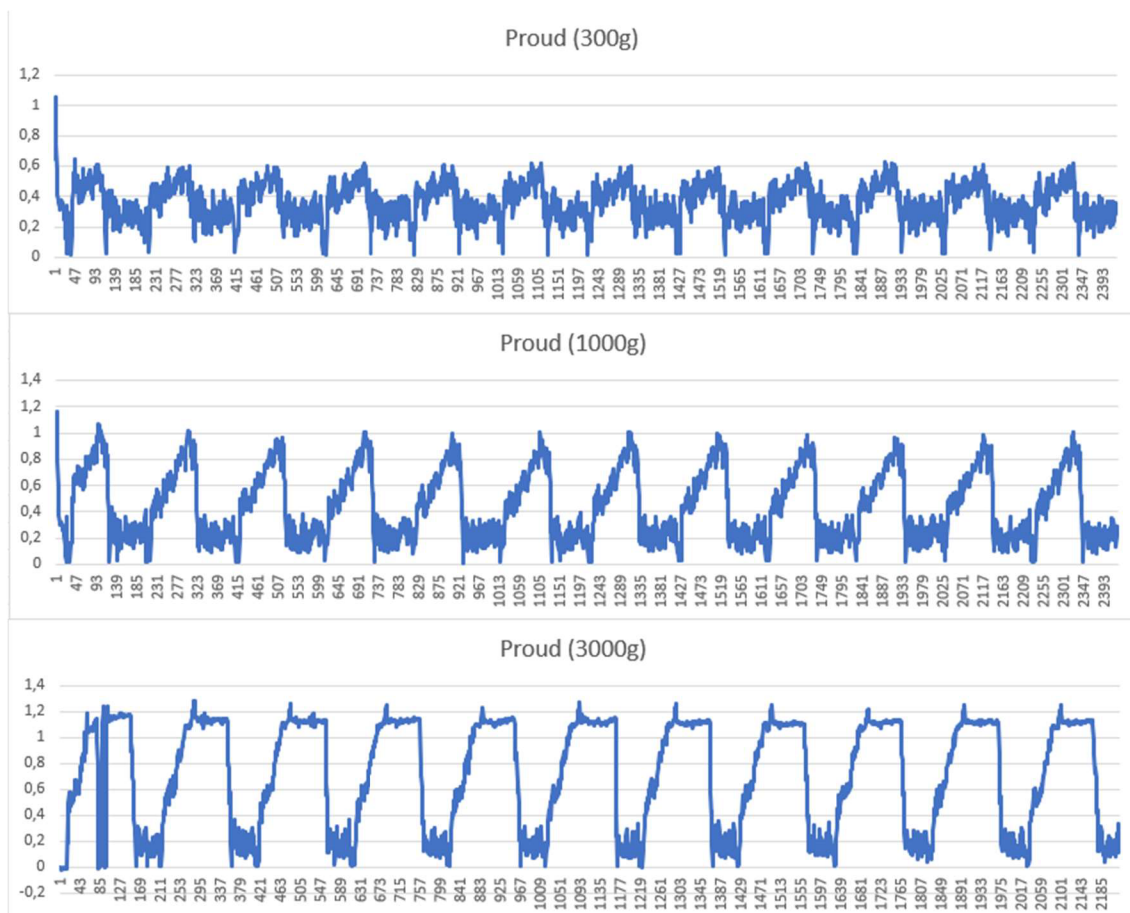
Měření se vykonávalo na předpažovaném pohybu ruky, v rozsahu od svislého držení paže po pravý úhel vůči tělu (0-90 stupňů). Pro potřeby sledovaných veličin v této práci bylo zvoleno 100 opakování cyklů, tedy stokrát jedno zvednutí nahoru a dolů. Toto bylo realizováno pomocí pravé paže na již zmíněném avatarovi. Pro získání výsledků pro celý možný rozsah zatížení ruky byly provedeny 4 experimenty s různou zátěží ruky. Všechny experimenty mají společný základ v zátěži vahou samotné paže. První experiment sledoval pohyb samotné ruky bez dodatečné zátěže. Druhý experiment sledoval stejný pohyb při dodatkové zátěži 300 g. Třetí experiment pracoval se zátěží 1Kg. Při posledním experimentu bylo použito

maximální možné závaží o hmotnosti 3Kg. Všechny dodatečné zátěže byly instalovány na konec paže, k šroubu, který sloužil jako pevný záchytný bod.

Před samotným začátkem měření bylo potřeba navrhnout řešení pro získání dat ze sériového rozhraní, kam jsou zapisována. Nástroj Arduino IDE umožňuje výpis sériové komunikace, ale z hlediska historie neumožní shrnout všechna naměřená data z delšího průběhu měření. Jelikož pro každý jeden úhlový stupeň byl vykonán výpočet a výpis, vzniklo tak více než 20 tisíc řádků záznamu, pro každé jedno měření. Po důkladném průzkumu možností se za nejvhodnější řešení ukázalo spustit komunikaci pomocí sériové linky skrze nástroj Putty. Tento velmi oblíbený nástroj umožňuje logovat data do souborů, tedy od skutečného spuštění každý jeden řádek připsal do logovacího souboru. Z tohoto souboru se dále dalo tato data exportovat a vytvořit tabulku zpracovatelných sloupců s hodnotami. Data byla zpracovávána v nástroji MS Excel, kde díky jednoduchým příkazům bylo možné data zpracovat a vytvořit odpovídající grafy.

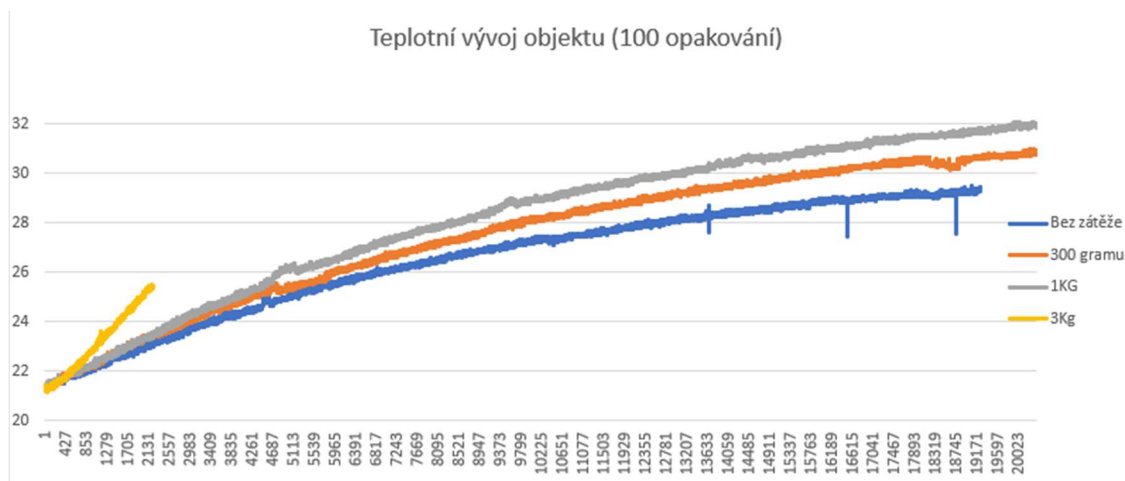
Sledovány a vizualizovány byly 3 veličiny - odběr proudu pro servomotor v každém okamžiku, snímání okolní teploty servomotoru a snímání konkrétní teploty na motoru. To vše bylo taktéž stopováno stopkami, které měřily dobu pro jeden cyklus. Po doměření jednotlivých experimentů vždy následovalo odinstalování závaží, instalace nového závaží a primárně vyčkání na vychladnutí servomotoru pro korektní následné měření. Každé měření trvalo 25 minut plus 1 hodina odstávka. Součástí přílohy jsou detailní grafy o jednotlivých průbězích měřených veličin.

Proudové charakteristiky servomotoru bez zátěže byly statisticky nezajímavé, protože odebíraný proud kolísal kolem 0,5 A. Při postupném zatěžování se více jasněji dostávalo do popředí, jaký vliv má zátěž při zvedání ruky na odběr proudu. Obrázek 17 zobrazuje graficky průběh odběrů, které se dají nazvat periodickými. Pro přehlednost je zde vyneseno pouze 10 opakování. V příloze se nacházejí grafy s celkovým měřením, na kterých lze též pozorovat periodičnost.



Obrázek 17 graf proudového odběru v čase. Zdroj: vlastní zpracování v SW MS Excel

Oproti tomu teplota servomotoru se s uběhlým časem měnila. Teplota na následném grafu je vynesena v plném rozsahu měření, tedy pro 100 opakování. Hned na první pohled lze konstatovat, že větší zátěž způsobí rychlejší zahřátí servomotoru. Měření se zátěží do jednoho kilogramu má průběh logaritmický. Z důvodu selhávání při 3 kilogramovém závaží a strachu o poškození servomotoru při působení vysokého momentu bylo naměřeno pouze 11 cyklů. V grafu značeno žlutou barvou. Tato váha byla již kritická. Ze snímané teploty to lze taktéž vidět. Prudký, skoro až exponenciální nárůst je důkazem. Lze si povšimnout nepravidelných odskoků v grafech. Tyto nepřesnosti byly způsobeny okolními rušivými vlivy a měřením v nelaboratorním prostředí.



Obrázek 18 Graf s měřeními teplotami. Zdroj: vlastní zpracování v SW MS Excel

11 Závěry a doporučení

Cílem této práce bylo seznámení se sensorikou, vysvětlení a návrh její klasifikace pro následné rozdělení. Bylo poukázáno, jaké typy senzorů existují, jejich jednotlivé rysy a možnosti použití, stejně jako podmínky, ve kterých operují. Taktéž byla zmíněna rozmanitost použití ve všech současných společenských sférách.

Praktické měření přineslo několik zjištění. Byť zvolený servomotor byl vybrán dostatečně silný, testy ukázaly, že vznikající momentové a pákové síly předčí vstupní výkon. Již při pouhých 3Kg nebyl servomotor schopen i s přídatnými převody zvednout paži. Návrhem by mohlo být vyšší dimenzování převodů. Do kritického zatížení servomotor fungoval spolehlivě, bez jakýkoliv problémů nebo přerušení. Doprovodné měření teploty motorku servomotoru prokázalo, že zvyšující se teplota a teplotní zatížení nemá za sledovaných podmínek vliv na tento typ servomotoru jak výkonově, tak co se týče času potřebného pro jednotlivé cykly. Dalším zjištěným faktem se stává prvotní nárazový odběr při startu servomotoru. Každý start servomotoru byl doprovázen nárazovým odběrem. Bez zátěže to činilo až 0,5 A rozdíl mezi maximálním odebíraným proudem. Se zátěží se tento náraz stával zanedbatelným, ale stále pozorovatelným.

Zmíněné měření bylo prováděno pouze na jednom servomotoru. Závěr, který z toho plyne, je, že by se mělo počítat s výkonem baterie, který je schopna dodávat. V situaci, kde by mělo startovat naráz více servomotorů, například pro obě paže a

ruce je to 9 servomotorů, je třeba počítat s tím, aby to baterie zvládla, ale též i vodiče. Návrhem může být silná baterie s vodiči, nebo rozložení startů jednotlivých pohyblivých částí. Využitá vnitřní sensorika by měla též sloužit k prevencím. Například pokud by docházelo k nadměrnému přehřívání, mělo by nastat opatření v řídicí jednotce (Arduino), které zabrání nenávratnému poškození servomotorů, kabeláže nebo baterie.

Co se týče překážek nebo selhání například převodů, které zapříčiní nemožnost vykonání pohybu, proudová sonda dokáže detekovat nestandardní úroveň odebíraného proudu, což může být dále přes centrální jednotku vyhodnoceno jako vlastní nebezpečí pro konstrukci robota. V takovém případě by se pohyb ukončil. Bez těchto opatření a znalostí vlastního stavu by běžně docházelo k selhání a poškození.

12 Seznam použité literatury

- [1] PAULSON, Joel F. Surveying in Ancient Egypt. *Ancient Egypt*. 2005, **2005**, From Pharaohs to Geoinformatics.
- [2] BRUER, Vilhelm. *The Birth Of Calibration - Egyptian Cubit* | Brüel & Kjær [online]. 13. leden 2021. Dostupné z: <https://www.bksv.com/en/knowledge/blog/perspectives/egyptian-cubit>
- [3] YOUNG, Eric. History Of The Metric System. *Metric Metal* [online]. 1. leden 2021. Dostupné z: <https://www.metricmetal.com/history-of-the-metric-system/>
- [4] MATTHIAS, Meg. *Sundial | Definition, History, Types, & Facts* | Britannica [online]. 22. březen 2023. Dostupné z: <https://www.britannica.com/technology/sundial>
- [5] PHIL, Jake. The Strange History of the Invention of the Thermometer. *Time* [online]. 1. červen 2021. Dostupné z: <https://time.com/6053214/thermometer-history/>
- [6] INFO@SABRE.CZ, Sabre, www.sabre.cz, e-mail: Od 1. průmyslové revoluce ke 4. | Technický týdeník [online]. 2015. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/ekonomika-byznys/od-1-prumyslove-revoluce-ke-4_31001.html
- [7] FERGUSON, Eugene. *Bourdon, Eugène* | *Encyclopedia.com* [online]. 1. leden 2019. Dostupné z: <https://www.encyclopedia.com/science/dictionaries-thesauruses-pictures-and-press-releases/bourdon-eugene>
- [8] S, Max. Ending with a Bang: The 1977 Bitterfeld (Germany) Boiler Explosion. *Medium* [online]. 4. říjen 2021. Dostupné z: <https://mx-schroeder.medium.com/ending-with-a-bang-the-1977-bitterfeld-germany-boiler-explosion-3bb83e85d72e>
- [9] MAYER, Daniel. Uplynulo 200 let od narození Charlese Wheatstonea - Časopis Elektro - Odborné časopisy. *Odbornecasopisy.cz* [online]. 2002. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/uplynulo-200-let-od-narozeni-charlese-wheatstonea--14987>
- [10] MOHAJAN, Haradhan. *Third Industrial Revolution Brings Global Development* [online]. 10. září 2021. Dostupné z: <https://mpira.ub.uni-muenchen.de/110972/>
- [11] HUGHES, Brian. What Is a PLC (Programmable Logic Controller)? *MRO Electric Blog* [online]. 20. březen 2020 [vid. 2023-04-13]. Dostupné z: <https://www.mroelectric.com/blog/what-is-a-plc/>

- [12] BISSELL, Christopher. A History of Automatic Control. In: Shimon Y. NOF, ed. *Springer Handbook of Automation* [online]. Berlin, Heidelberg: Springer, 2009, Springer Handbooks, s. 53–69. ISBN 978-3-540-78831-7. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-540-78831-7_4
- [13] Digital Sensors, the Path Forward. *Arrow.com* [online]. [vid.2023-04-13]. Dostupné z: <https://www.arrow.com/en/research-and-events/articles/te-digital-sensors-the-path-forward>
- [14] JAVAID, Mohd, Abid HALEEM, Ravi Pratap SINGH, Shanay RAB a Rajiv SUMAN. Significance of sensors for industry 4.0: Roles, capabilities, and applications. *Sensors International* [online]. 2021, **2**, 100110. ISSN 2666-3511. Dostupné z: doi:10.1016/j.sintl.2021.100110
- [15] ALEXAKOS, Christos, Christos ANAGNOSTOPOULOS, Apostolos FOURNARIS, Christos KOULAMAS a Athanasios KALOGERAS. IoT Integration for Adaptive Manufacturing. In: *2018 IEEE 21st International Symposium on Real-Time Distributed Computing (ISORC): 2018 IEEE 21st International Symposium on Real-Time Distributed Computing (ISORC)* [online]. 2018, s. 146–151. ISSN 2375-5261. Dostupné z: doi:10.1109/ISORC.2018.00030
- [16] AAMIR, Muhammad, Kafeel AHMED KALWAR a Saad MEKHILEF. Review: Uninterruptible Power Supply (UPS) system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2016, **58**, 1395–1410. ISSN 1364-0321. Dostupné z: doi:10.1016/j.rser.2015.12.335
- [17] RAVIOLA, Andrea, Roberto GUIDA, Andrea DE MARTIN, Stefano PASTORELLI, Stefano MAURO a Massimo SORLI. Effects of Temperature and Mounting Configuration on the Dynamic Parameters Identification of Industrial Robots. *Robotics* [online]. 2021, **10**(3), 83. ISSN 2218-6581. Dostupné z: doi:10.3390/robotics10030083
- [18] R.O, Bc Robin Kurka DiS, GHV Trading spol s. *Ideální teplotní podmínky v elektrických průmyslových skříních - ElektroPrůmysl.cz* [online]. 20. března 2023. Dostupné z: <https://www.elektroprumysl.cz/elektroinstalace/idealni-teplotni-podminky-v-elektricky-prumyslovych-skrinich>
- [19] GARAN, Martin, Vladimír CHMELKO, Miroslav ŠULKO a Miloš MUSIL. Fatigue Failure of a Pressing Machine. *Applied Sciences* [online]. 2021, **11**(1), 398. ISSN 2076-3417. Dostupné z: doi:10.3390/app11010398
- [20] S.R.O, HARTING. *Proudové senzory využívající Hallův jev - ElektroPrůmysl.cz* [online]. 20. března 2023. Dostupné z: <https://www.elektroprumysl.cz/merici-technika/proudove-senzory-vyuzivajici-halluv-jev>

- [21] OMEGA. How to Measure Acceleration? <https://www.omega.com/en-us/> [online]. 2023. Dostupné z: <https://www.omega.com/en-us/resources/accelerometers>
- [22] SHARMA, Maneesh, Ginger B. PAIGE a Scott N. MILLER. DEM Development from Ground-Based LiDAR Data: A Method to Remove Non-Surface Objects. *Remote Sensing* [online]. 2010, **2**(11), 2629–2642. ISSN 2072-4292. Dostupné z: doi:10.3390/rs2112629
- [23] VERONEZ, Mauricio Roberto, Sérgio FLORÊNCIO DE SOUZA, Marcelo Tomio MATSUOKA, Alessandro REINHARDT a Reginaldo MACEDÔNIO DA SILVA. Regional Mapping of the Geoid Using GNSS (GPS) Measurements and an Artificial Neural Network. *Remote Sensing* [online]. 2011, **3**(4), 668–683. ISSN 2072-4292. Dostupné z: doi:10.3390/rs3040668
- [24] BEEBY, Stephen. *MEMS Mechanical Sensors*. B.m.: Artech House, 2004. ISBN 978-1-58053-536-6.
- [25] PASQUALE, M. Mechanical sensors and actuators. *Sensors and Actuators A: Physical* [online]. 2003, **106**(1), Proceedings of the 4th European Magnetic Sensors and Actuators Conference, 142–148. ISSN 0924-4247. Dostupné z: doi:10.1016/S0924-4247(03)00153-5
- [26] HUSSIAN, Ather. How Does an Ammeter Work? *Sciencing* [online]. Dostupné z: <https://sciencing.com/an-ammeter-work-4963680.html>
- [27] GHOLAMZADEH, Bahareh a Hooman NABOVATI. *Fiber Optic Sensors*. 2008, **2**(6).
- [28] HBM. An Analysis of Cost-Effectiveness of Optical Technology. *HBM* [online]. 16. března 2022 [vid. 2023-04-13]. Dostupné z: https://www.hbm.com/en/9280/cost-effectiveness-of-optical-technology/?product_type_no=An%20Analysis%20of%20Cost-Effectiveness%20of%20Optical%20Technology
- [29] AKBAR, Sheikh a Chong-ook PARK. *Guest editorial: Chemical sensors for pollution monitoring and control - ProQuest* [online]. 7. červenec 2003. Dostupné z: <https://www.proquest.com/openview/260b8e4098ffd8d16214d26db7589455/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2043599>
- [30] JONES, A. W. Alcohol: Breath Analysis. In: Jason PAYNE-JAMES a Roger W. BYARD, ed. *Encyclopedia of Forensic and Legal Medicine (Second Edition)* [online]. Oxford: Elsevier, 2016 [vid. 2023-04-13], s. 119–137. ISBN 978-0-12-800055-7. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-800034-2.00011-2
- [31] JOST, Danny. What is a chemical sensor? *Fierce Electronics* [online]. 24. září 2019. Dostupné z: <https://www.fierceelectronics.com/electronics/what-a-chemical-sensor>

- [32] PARR, EA. 12 - Industrial Instrumentation. In: M. A. LAUGHTON a D. J. WARNE, ed. *Electrical Engineer's Reference Book (Sixteenth Edition)* [online]. Oxford: Newnes, 2003, s. 12–1. ISBN 978-0-7506-4637-6. Dostupné z: doi:10.1016/B978-075064637-6/50012-5
- [33] TODOROVIĆ, Dejan, Aleksandar MATKOVIĆ, Marijana MILIĆEVIĆ, Djordje JOVANOVIĆ, Radoš GAJIĆ, Iva SALOM a Marko SPASENOVIĆ. Multilayer graphene condenser microphone. *2D Materials* [online]. 2015, 2(4), 045013. ISSN 2053-1583. Dostupné z: doi:10.1088/2053-1583/2/4/045013
- [34] UNIVERSITY, Stanford. Ancient myths reveal early fantasies about artificial life. *Stanford News* [online]. 28. únor 2019. Dostupné z: <https://news.stanford.edu/2019/02/28/ancient-myths-reveal-early-fantasies-artificial-life/>
- [35] ARAKI, H. a S. OMATU. 6 - Artificial olfactory sense and recognition system. In: Trung Dung NGO, ed. *Biomimetic Technologies* [online]. B.m.: Woodhead Publishing, 2015, Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials, s. 121–139. ISBN 978-0-08-100249-0. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-08-100249-0.00006-9
- [36] TOKO, Kiyoshi. A taste sensor. *Measurement Science and Technology* [online]. 1998, 9(12), 1919. ISSN 0957-0233. Dostupné z: doi:10.1088/0957-0233/9/12/001
- [37] MORISAWA, Masayuki, Yoshitaka YONEZAKI, Kazunori MAEKAWA, Gargi VISHNOI a Shinzo MUTO. Optical sensing of taste substances using rhodamine-dye-doped LB film. In: *Chemical, Biochemical and Environmental Fiber Sensors IX: Chemical, Biochemical and Environmental Fiber Sensors IX* [online]. B.m.: SPIE, 1997, s. 353–360. Dostupné z: doi:10.1117/12.276171
- [38] *Analog vs. Digital Signals: Uses, Advantages and Disadvantages | Article | MPS* [online]. 7. srpen 2021 [vid. 2023-04-13]. Dostupné z: <https://www.monolithicpower.com/en/analog-vs-digital-signal>
- [39] JENKINS, W. K. Signal Processing, Analog. In: Robert A. MEYERS, ed. *Encyclopedia of Physical Science and Technology (Third Edition)* [online]. New York: Academic Press, 2003 [vid. 2023-04-13], s. 711–735. ISBN 978-0-12-227410-7. Dostupné z: doi:10.1016/B0-12-227410-5/00686-4
- [40] *Digital Transmission in Computer Network* [online]. Dostupné z: https://www.tutorialspoint.com/data_communication_computer_network/digital_transmission.htm
- [41] JIMBLOM. *Serial Communication - SparkFun Learn* [online]. Dostupné z: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/serial-communication/all>
- [42] RATNA. Parallel Communication - Evolution, Works, Characteristics, When to Use. *electricalfundablog.com* [online]. 29. leden 2019 [vid. 2023-04-13].

- Dostupné z: <https://electricalfundablog.com/parallel-communication-characteristics/>
- [43] HERRES, David. *Whatever happened to parallel interfaces?* [online]. Dostupné z: <https://www.testandmeasurementtips.com/whatever-happened-to-parallel-interfaces-faq/>
- [44] ERDLE, Klaus, Bodo MISTELE a Urs SCHMIDHALTER. Comparison of active and passive spectral sensors in discriminating biomass parameters and nitrogen status in wheat cultivars. *Field Crops Research* [online]. 2011, **124**(1), 74–84. ISSN 0378-4290. Dostupné z: doi:10.1016/j.fcr.2011.06.007
- [45] HEATH, Janet. Passive Sensors and Active Sensors: What are they? *Analog IC Tips* [online]. 25. duben 2017. Dostupné z: <https://www.analogictips.com/active-passive-sensors/>
- [46] ILIE, Anna. Complete guide to medical sensors | Honeywell. *sps.honeywell.com* [online]. Dostupné z: <https://sps.honeywell.com/us/en/support/blog/siot/complete-guide-to-medical-sensors-benefits-and-applications>
- [47] EDGE, Sherri. *Why Do Some People Choose Not to Wear a Prosthesis?* [online]. Dostupné z: <https://www.armdynamics.com/upper-limb-library/why-do-some-people-choose-not-to-wear-a-prosthesis>
- [48] WWW.IELEKTRA.CZ. Stupně krytí IP, třídy izolace a odolnost IK - přehledně. *IElektra* [online]. [vid. 2023-04-13]. Dostupné z: <https://www.ielektra.cz/stupne-kryti-ip-tridy-izolace-a-odolnost-ik-prehledne>
- [49] MCGRATH, Michael J. a Cliodhna Ní SCANAILL. Regulations and Standards: Considerations for Sensor Technologies. In: Michael J. MCGRATH a Cliodhna Ní SCANAILL, ed. *Sensor Technologies: Healthcare, Wellness, and Environmental Applications* [online]. Berkeley, CA: Apress, 2013, s. 115–135. ISBN 978-1-4302-6014-1. Dostupné z: doi:10.1007/978-1-4302-6014-1_6
- [50] INFO@AION.CZ, AION CS-. 201/2012 Sb. Zákon o ochraně ovzduší. *Zákony pro lidi* [online]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-201>
- [51] *About Arduino* [online]. 15. září 2021 [vid. 2023-04-13]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/about>
- [52] *Arduino Integrated Development Environment (IDE) v1 | Arduino Documentation* [online]. 15. září 2021. Dostupné z: <https://docs.arduino.cc/software/ide-v1/tutorials/arduino-ide-v1-basics>
- [53] *Serial - Arduino Reference* [online]. 15. září 2021. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/communication/serial/>

[54] R.O, CzechProject spol s. 3 pin DuPont kabel F-F 20 cm | dratek.cz. *dratek.cz* [online]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/7815-3-pin-dupont-kabel-f-f-20-cm.html>

[55] *Welcome to Fritzing* [online]. Dostupné z: <https://fritzing.org/>

13 Přílohy

- 1) Arduino obslužný kód
- 2) Elektronická příloha měřené hodnoty s grafy

```
#include <Adafruit_MLX90614.h>
#include <Servo.h>
Servo myservo1;
Adafruit_MLX90614 mlx = Adafruit_MLX90614();
int pocetCyklu = 0;
const int d9 = 9;
// číslo pinu připojeného analogového vstupu
const int analogIn = A0;
// konstanta pro přepočítání naměřeného napětí na proud
const int konstanta = 185;
// proměnná pro nastavení offsetu, polovina Vcc
const int offset = 2500;
int pos;

double tempAmbient = 0;
double tempObject = 0;
double current = 0;

void setup() {
  pinMode(analogIn, INPUT);
  myservo1.attach(d9);
  Serial.begin(9600);
  while (!Serial);

  if (!mlx.begin()) {
    Serial.println("Error connecting to MLX sensor. Check wiring.");
    while (1);
  };

  delay(5000); // zpoždění aby se hned nespustil program
}

void merProud() {
  int analog = 0;
  double napeti = 0;
  double proud = 0;
  double soucet = 0;
  // provedení stovky měření pro ustálení výsledku
  for (int i = 0; i < 100; i++) {
    // načtení hodnoty analogového vstupu
    analog = analogRead(analogIn);
    // přepočítání napětí na proud dle informací od výrobce
    napeti = (analog * 5000.0) / 1023.0;
    proud = (napeti - offset) / konstanta;
    // uložení výsledku pro následné zprůměrování
    soucet += proud;
    delay(0.7);
  }
}
```

```

}
// výpočet průměru ze stovky měření
proud = (soucet / 100);
// výpis výsledku na 3 desetinná místa
current = proud;
}
void merTemp() {
  tempAmbient = mlx.readAmbientTempC();
  tempObject = mlx.readObjectTempC();
}
void vypis() {
  /*Serial.print("Proud: ");
  Serial.print(current,3);
  Serial.print(" A  ");
  Serial.print("Ambient = "); Serial.print(tempAmbient);
  Serial.print("   ;*C\tObject = "); Serial.print(tempObject);
  Serial.println("*C;");*/
  Serial.print(current, 3);
  Serial.print(";");
  Serial.print(tempAmbient);
  Serial.print(";");
  Serial.print(tempObject);
  Serial.println();
}

void loop() {
  Serial.println("počet cyklu: ");
  Serial.print(pocetCyklu);
  Serial.println("Zvednutí nahoru");

  for (pos = 10; pos <= 110; pos += 1) {
    myservo1.write(pos);
    merProud();
    merTemp();
    vypis();
    delay(50);
  }

  Serial.println("Zvednutí dolu");

  for (pos = 110; pos >= 10; pos -= 1) {
    myservo1.write(pos);
    merProud();
    merTemp();
    vypis();
    delay(50);
  }
}

```



```
pocetCyklu++;  
  
Serial.println();  
  
if (pocetCyklu == 11) {  
  while (true) {  
    pocetCyklu++;  
  }  
}  
}
```

Podklad pro zadání BAKALÁŘSKÉ práce studenta

Jméno a příjmení: **Bohumil Bárta**
Osobní číslo: **I2000330**
Adresa: **Horská 136, Trutnov – Horní Staré Město, 54102 Trutnov 4, Česká republika**
Téma práce: **Senzorické systémy pro robotiku**
Téma práce anglicky: **Sensor systems for robotics**
Jazyk práce: **Čeština**
Vedoucí práce: **Ing. Karel Mls, Ph.D.**
Katedra informačních technologií

Zásady pro vypracování:

Cíl: Provést systematickou rešerši tématu, navrhnout klasifikaci a prakticky realizovat vybraný senzorický systém.

Osnova:

Úvod, rešerše tématu

Typy a účely senzorů v robotice

Návrh a ověření robotického senzorického systému

Závěr a zhodnocení

Seznam doporučené literatury:

FIORILLO, A. S.; CRITELLO, C. D.; PULLANO, S. A. Theory, technology and applications of piezoresistive sensors: A review. *Sensors and Actuators A: Physical*, 2018, 281: 156-175.

ILAMI, Mahdi, et al. Materials, actuators, and sensors for soft bioinspired robots. *Advanced Materials*, 2021, 33.19: 2003139.

TAWK, Charbel; ALJICI, Gursel. A Review of 3D Printable Soft Pneumatic Actuators and Sensors: Research Challenges and Opportunities. *Advanced Intelligent Systems*, 2021, 3.6: 2000223.

Podpis studenta:

Bárta Bohumil

Datum:

25.04.2023

Podpis vedoucího práce:

Datum: