

Vnorený riadiaci systém študentského projektu vesmírneho rovera

Oliver Hollý, Vladimír Kutíš

Ústav vedy a výskumu, FEI STU v Bratislave
Ústav automobilovej mechatroniky

xhollyo@stuba.sk

Práca sa zaoberá návrhom a riešením komplexného riadiaceho systému, ktorý nízkoúrovňovou interakciou mechaniky, elektroniky a riadiaceho softvéru zabezpečuje funkčnosť a robustnosť študentského vedeckého zariadenia, ktorým je mobilný rover s platformou schopnou 3D tlače. Výsledkom práce je riadiaci systém pozostávajúci z riadiacej jednotky, ktorá na základe pokynov z nadradeného systému riadi všetky akčné členy so zohľadnením ich dynamických vlastností, pričom spracovaním dát zo snímačov zabezpečuje stabilitu a optimalizáciu riadenia.

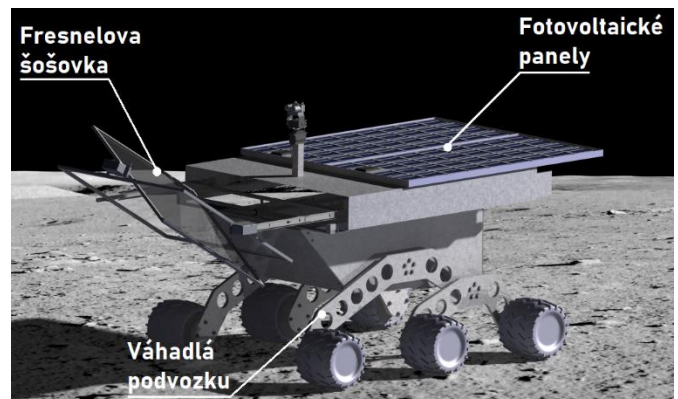
1 Úvod

Motivácia vývoja tohto riadiaceho systému vznikla ako príspevok angažovania sa a spolupráce na školskom projekte. Cieľom tohto projektu je výskum a experimentálne overenie možností technológie 3D tlače pevných štruktúr z lokálne dostupných materiálov a energetických zdrojov na vesmírnych telesách.

Motivácia samotného projektu vzišla zo spolupráce pedagógov Slovenskej technickej univerzity a Európskej vesmírnej agentúry (ESA). Výsledkom tejto spolupráce bol dlhodobý odborný kurz o fyzike uplatňujúcej sa pri vesmírnych aplikáciách a o kozmických technológiách. Popri absolvovaní tohto dobrovoľného kurzu sme sa spolu s ďalšími študentami zapojili do spoločného riešenia kozmickej problematiky, ktorej iniciátorom boli práve pedagógovia, ktorí viedli odborný kurz. Po čase sa idea a cieľ projektu sformuloval do konečnej podoby a réžiu nad organizovaním stretnutí a zadávaním úloh sme prebrali my, študenti.

Projekt je teda zameraný na experimentálnu 3D tlač resp. spekanie vrstiev lokálne dostupných jemných hornín a piesku na povrchu vesmírnych telies do celistvých štruktúr. Tepelná energia na roztavenie materiálov je zo slnečného žiarenia, ktoré pomocou fresnelovej šošovky sústredíme na požadovaný bod v rovine tlače.

Zmyslom takéhoto zariadenia je premieňať lokálny geologický materiál na stavebné komponenty, z ktorých sa dá postaviť obydlie alebo úkryt pre ľudskú posádku alebo aj pre samotnú kozmickú techniku, nakoľko náklady na prevoz materiálu zo Zeme sú astronomické. Takýto úkryt ochráni pred nepriaznivými podmienkami na planétach, ktoré sú vystavené silnej radiácii či piesočným búrkam.



Obr. 1. Ilustračný obrázok rovera na Mesiaci.

Svetový výskum 3D tlače vo vesmíre sa iba formuje a je v štádiu skúmania. V období formovania smeru nášho projektu v roku 2017, sme nemali žiadne informácie o vývoji ani o podobných pokusoch. Teraz o rok a pol neskôr sa veci posunuli a vieme o ďalších výskumníkoch a organizáciách venujúcich sa vývoju technológií 3D tlače z mesačného regolitu alebo z vesmírneho odpadu pre vybudovanie budúcich výskumných staníc na planétach.

1.1 Technický návrh riešenia

Náš fyzikálny princíp spájania materiálov je založený na sústredení slnečnej energie do čo najmenšieho ohniska, kde by bola teplota postačujúca na chemický proces roztavenia určitého materiálu. Z toho dôvodu sme museli pomerne veľkej fresnelovej šošovke zabezpečiť všetky potrebné stupne voľnosti. Tiež sme chceli zariadeniu pridať na flexibilitu a unikátnosti, a tak sme celý mechanizmus 3D tlače umiestnili na mobilný podvozok rocker-bogie so šiestimi hnacími kolesami ako je znázornené na Obr. 1.

Ako bude vidieť ďalej v tejto práci, vždy sme sa snažili v rámci možností implementovať profesionálne a robustné riešenia, ktoré sú pre kozmickú techniku vlastné. Avšak v konečnom dôsledku, najmä kvôli finančným a vedomostným obmedzeniam, je reálnym výsledkom projektu len model zariadenia, ktoré by eventuálne opustilo Zem.

1.2 Potreba a požiadavky na riadiaci systém

Konečný návrh takéhoto unikátneho komplexného zariadenia si vyžadoval vývoj centralizovaného riadiaceho systému, ktorý na základe užívateľských pokynom bude ovládať mechanizmus 3D tlače, zabezpečovať automatické operácie tlačenia, ovládať pohon celého zariadenia a tiež sprostredkovať či spätivazobne spracovať informácie zo snímačov.

Prvou požiadavkou na riadiaci systém je zabezpečiť stabilné ovládanie a riadenie optimálne navrhnutých akčných členov.

Ďalšou podmienkou pri vývoji je naprogramovať riadiacu jednotku tak, aby bola možnosť zmeny interpretácie nadradeného systému pre budúce autonómne aplikácie. Nadradený systém môže byť operátor, ktorý zadáva riadiace pokyny v užívateľskom rozhraní alebo ovládačom. Nadradený systém, ktorý dáva príkazy nízkoúrovňovému vnorenému systému môže byť tiež autonómna platforma, obvykle s väčším výpočtovým výkonom a komplexnejšími snímačmi ako sú napríklad kamery a lasery.

Dôležitou podmienkou a funkcionalitou tohto nízkoúrovňového systému musí byť možnosť detekcie kolíznych situácií a ich vyhodnotenie. Či už pôjde napríklad o chybu spôsobenú ľudským faktorom alebo autonómnym systémom.

Nízkoúrovňový prístup znamená aj pokrytie spracovania dát zo snímačov potrebných na spätivazobne riadenie, či hrubú lokalizáciu. Takisto kontrolovať interný stav zariadenia ako je napríklad teplota elektroniky, prúdové odbery pohonného systému, natočenie v gravitačnom poli atď.

Vývoj a realizácia serióznej vesmírnej techniky je ovplyvnená finančnými prostriedkami, čo sa týka hlavne hardvérových komponentov. Avšak je tu možnosť pokúsiť sa o profesionálny prístup implementácie na softvérovej úrovni. Z toho dôvodu som ako platformu pre riadiacu jednotku zvolil mikropočítač využívajúci sa v profesionálnej sfére, ku ktorému som nepoužil žiadne funkcionálne knižnice tretej strany a pri programovaní som sa snažil dodržiavať štandardy, ktorými sa riadia vesmírne agentúry pri vývoji.

2 Riadiaci systém

Riadiaci systém predstavuje integráciu separovaných mechatronických a elektronických častí do funkčného celku, ktorého logické výpočty a rozdeľovanie úloh v podobe dát a elektrických signálov realizuje riadiaca jednotka. V blokovej schéme na Obr. 2 je znázornený zjednodušený pohľad na riadiaci systém nášho rovera.

Ako bolo spomenuté, tento nízkoúrovňový riadiaci systém očakáva nastavbu nadradeného systému, pričom tieto budú medzi sebou navzájom komunikovať. Medzi dôvody rozdeliť problém realizácie riadenia tohto zariadenia na vnorený riadiaci systém a na nadradený systém je, že riešiteľ nadradeného systému:

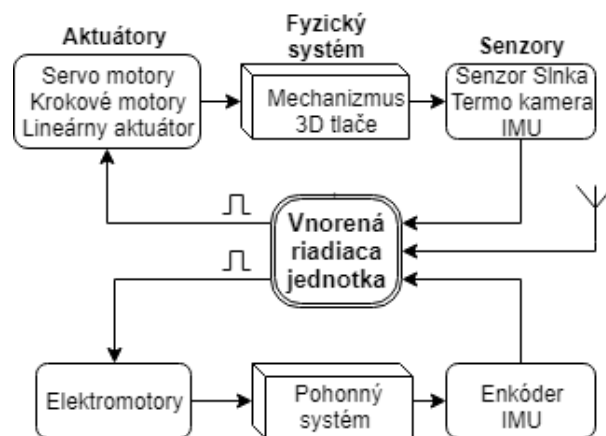
- nemusí poznať elektronické obvody, zapojenia a funkčnosti akčných členov
- nemusí poznať exaktné dynamické a kinematické vlastnosti vozidla

- jeho chyby pri návrhu odhalí v prevádzke vnorený systém, pričom vyhodnotí kolíznu situáciu

Ďalej fakt, že výpočtová kapacita potrebná na pokrytie požiadaviek riadenia externých zariadení pri efektívnom spracovaní je oveľa menšia ako pri strojovom videní či navigačných algoritmoch SLAM, ktoré bude riešiť nadradený systém. Ďalším faktorom ovplyvňujúci výber optimálnej riadiacej platformy je energetická efektívnosť, ktorá je taktiež úmerná výpočtovému výkonu.

Navyše pri takomto komplexnom zariadení, kedy treba riadiť množstvo akčných členov a spracovať dáta z množstva snímačov je potrebné mať dostatok vstupno-výstupných pinov (GPIO), integrovaných hardvérových funkcionalít ako časovače, analógovo-digitálne prevodníky, externé prerušenia, zbernice USART, SPI, I2C.

Z toho logicky vyplýva použitie dvoch separovaných výpočtových jednotiek, resp. procesorov pre vnorený riadiaci systém a zvlášť pre nadradený systém zabezpečujúci autonómnosť.



Obr. 2. Blokovaná schéma riadiaceho systému

Jadrom samotného vnoreného riadiaceho systému je jednočipový mikropočítač STM32F4. Tieto konkrétne mikropočítače sa síce nepoužívajú vo vesmírnej technike nakoľko nie sú radiačne odolné a teda z technologického pohľadu nie sú určené pre kozmické aplikácie. Avšak sú často používané v bežných komerčných aplikáciách vnorených systémov, je to teda záruka profesionálneho a efektívneho programového prístupu.

3 Hardvérový návrh a implementácia riadenia systému 3D tlače

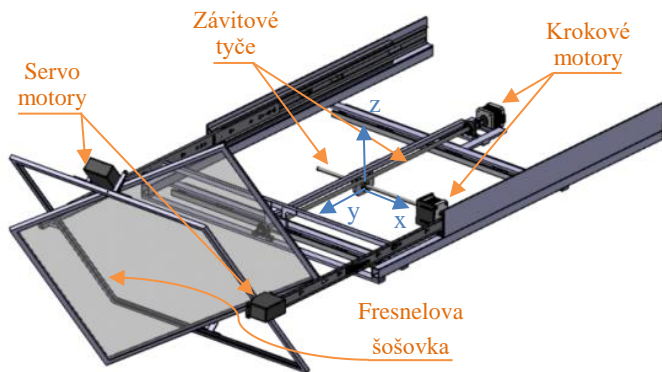
Vývoj systému manipulácie fresnelovej šošovky pre dosiahnutie požadovaných stupňov voľnosti začal mechanickou konštrukciou a určením fyzikálnych obmedzení.

Z principiálnych dôvodov bolo nutné zabezpečiť možný pohyb platformy vo vodorovnej rovine (x, y) pre postupné tlačenie jednej vrstvy a korekciu zmeny uhla pozície Slnka voči Zemi, ďalej možnosť zdvihu šošovky voči terénu pre dosiahnutie ohniskovej vzdialenosti a nakoniec rotačné pohyby okolo osí vodorovnej roviny pre kolmé natočenie šošovky voči

Slnku pre dosiahnutie ostrého ohniska, na lepšiu predstavu pomôžu obrázky v nasledujúcich kapitolách.

Požiadavkou na riadenie bolo dosiahnutie čo najväčšej presnosti pohybu, s tým súvisela nutnosť použiť jednoduchú kinematiku kvôli softvérovej implementácii a kumulatívnej chybe a taktiež výber vhodných akčných členov.

Ďalšími faktormi pri návrhu bola efektívna spotreba elektrickej energie, ktorá sa dala dosiahnuť tiež optimálnym mechanizmom, ktorý nepotrebuje podporu akčných členov v stabilizovanej polohe, teda je staticky stabilný v prípade odstavenia od zdroja elektrickej energie.



Obr. 3. Model mechanizmu 3D tlače

Na Obr. 3 je vidieť náš prototyp mechanizmu 3D tlač, ktorý svojimi stupňami voľnosti dokáže manipulovať šošovku dostatočnej veľkosti v dostatočnom rozsahu, ktorý je potrebný na tlač, pričom šošovka sa dokáže zasunúť popod fotovoltaické panely (pozri Obr. 1), ktoré ju ochránia pred nepriaznivými poveternostnými podmienkami.

3.1 Návrh a implementácia ovládania pohybu mechanizmu v jednej rovine

Translačný pohyb šošovky v jednej rovine dáva systému dva stupne voľnosti a dovoľuje sústredenej slnečnej energii v ohnisku, aby postupne kopírovala vodorovnú rovinu, resp. terén pod roverom. Mechanické riešenie je založené na páre závitových tyčí, ktoré svojou rotáciou v závitovom spoji udeľujú mechanizmu translačný pohyb v rovine (x, y) , podľa referencií na Obr. 3.

Na zabezpečenie požadovanej presnej rotácie týchto závitových tyčí sme použili krokové motory, ktoré sú na tento účel optimálne. Týmto typom synchronného elektromotoru vieme riadiť rotáciu po presne definovaných úsekoch, ktoré sú vďaka možnému mikro krokovaniu veľmi malé, vďaka čomu dokážeme ovládať translačný pohyb s presnosťou na desiatiny milimetra. Ďalšou výhodou použitia takéhoto mechanizmu je, že v situácií, kedy nechceme upravovať polohu resp. pohyb, môže byť krokový motor nenapájaný a systém ostane staticky stabilný a to vďaka treniu medzi závitovou tyčou a ukotvenou maticou. Z toho vyplýva, že návrh mechanizmu je energeticky výhodný.

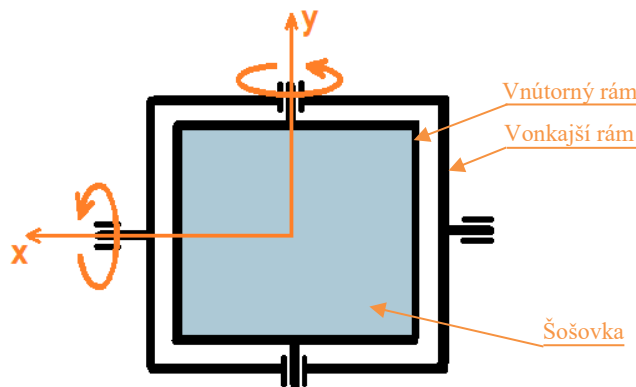
Riadiaca jednotka neovláda priamo prúd prechádzajúci cez cievky motora, toto zabezpečuje ovládač krokového

motora. Riadiaca jednotka takto len posielá diskretný signál ovládaču, takzvané stepy, ktorých počet určuje pootočenie.

3.2 Návrh a implementácia ovládania rotácie mechanizmu okolo dvoch osí

Na zaostrenie ohniska, resp. na kolmé natočenie šošovky voči Slnku, je nutné zabezpečiť ďalšie dva stupne voľnosti. Mechanický princíp je znázornený na Obr. 4, ktorý môže pripomínať dvojosí mechanický gyroskop. Mechanizmus sa skladá z vnútorného rámu, v ktorom je upevnená šošovka, čapmi ukotvený vo vonkajšom ráme. Vonkajší rám je podobne ukotvený čapmi, ktoré umožňujú rotačný pohyb.

Požiadavky na implementáciu elektronického ovládania rotácií boli takisto ako u translácie presnosť, stabilita no navyše aj nízka hmotnosť akčných členov kvôli dĺžke ramena, na ktorom je celý mechanizmus umiestnený. Optimizačným predpokladom bolo možné uvažovanie rotácií v rozsahu 0 až 180 stupňov. Preto optimálnym riešením bolo použitie servomotorov, ktoré spĺňajú všetky požiadavky implementácie. Servomotori dokážeme nastaviť presný absolútny uhol natočenia hriadeľa, vďaka malému elektromotoru majú podstatne nižšiu hmotnosť a vďaka prevodovému mechanizmu dosahujú optimálne otáčky a moment.



Obr. 4. Princíp mechanizmu rotácie šošovky.

Servomotor na vstupe očakáva pulzno-šírkovo modulovaný signál, z ktorého časový pomer medzi logickou jednotkou a nulou prevádza na absolútny uhol natočenia hriadeľa. Funkcia pulzno-šírkovej modulácie vychádza z princípu časovačov, ktoré sú integrované v procesore riadiacej jednotky. Správnym nastavením porovnávacích registrov prebieha prepínanie pinu na hardvérovej úrovni.

3.3 Návrh a implementácia ovládania náklonu platformy rovera voči vodorovnej rovine

Posledným potrebným stupňom voľnosti mechanizmu 3D tlač bol translačný pohyb v smere kolmom na vodorovnú rovinu pre dosiahnutie ohniskovej vzdialenosti. Tento pohyb sme zabezpečili náklonom celej platformy, čiže tela rovera, na ktorom je pripevnený tlačiaci mechanizmus voči terénu, resp. voči vahadlám podvozku (pozri Obr. 1). Pre dôkladné pochopenie tohto mechanizmu by sme potrebovali detailne vysvetlenie, na ktoré nemáme v tejto práci priestor.

Zjednodušené povedané, premieňame translačný pohyb lineárneho aktuátora na rotačný pohyb platformy rovera. Lineárny aktuátor zasa paradoxne z principiálneho hľadiska robí inverznú konverziu medzi rotačným a translačným pohybom, preto ovládanie lineárneho aktuátora predstavuje v podstate ovládanie jednosmerného elektromotora.

Jedinou nevýhodou takéhoto riešenia translačného pohybu je, že výsledný pohyb koncového bodu, resp. šošovky nie je jednoduchý priamočiary pohyb ale pohyb po kružnici, ktorej stred je v osi otáčania platformy voči podvozku. Tento fakt treba zohľadniť pri kinematických prepočtoch korekcií polohy Slnka voči Zemi.

3.4 Návrh a implementácia spätnej väzby systému a senzorov

Cieľom nášho systému 3D tlačie je smerovanie sústredenej slnečnej energie na určené miesto v trojrozmernom priestore. Ako je zjavné z doterajšieho opisu hardvérového návrhu, tak ovládanie závisí od viacerých výstupov, podobne riadenie systému je podmienené dostatkom informácií z procesu v podobe viacerých vstupov. Súčasne aplikované snímače ako aj snímače navrhované do budúcnosti sú zoradené v Tab. 1.

Tab. 1. Zoznam aplikovaných senzorov systému 3D tlačie

Súčasne	Budúce
Senzor Slnka z fotorezistorov	Kamerový senzor Slnka
Akcelerometre (IMU)	Termokamera
Lidar	
Koncové snímače	

Základným parametrom pre funkciu bude určite informácia o pozícii Slnka. Na tento účel sme vyvinuli senzor Slnka na princípe tienia slnečného žiarenia a spracovania intenzity dopadajúcej slnečnej energie na fotorezistoroch. Pri zmene intenzity slnečného žiarenia sa zmena odporu prejavila zmenou napätia, ktorá sa dá spracovať AD prevodníkom riadiacej jednotky. Týmto senzorom sme teda schopní zistiť polohu Slnka a následne natočiť šošovku tak, aby bola kolmá na dopadajúce žiarenie, čo je potrebné na zhromaždenie čo najväčšej energie a samozrejme na zaostrenie ohniska.

Ďalšou dôležitou informáciou je poznať aktuálne natočenie šošovky a samotnej platformy rovera voči gravitačnému poľu. Tak získame stabilnú vzťažnú sústavu nezávislú na okolitom teréne voči ktorej budeme riadiť proces tlačie. Informácie o náklone v gravitačnom poli získame z iniciálnej meracej jednotky (IMU), konkrétne z akcelerometra, ktorý nám poskytne vektor gravitačných zrýchlení v troch osiach. Jeden akcelerometer musí byť umiestnený na platforme rovera a druhý priamo na šošovke.

Pre dosiahnutie ohniskovej vzdialenosti medzi šošovkou a rovinou tlačie musíme merať aj túto veličinu, na to použijeme svetelný merač vzdialenosti – lidar.

Koncové snímače vzdialenosti musíme použiť pre počiatočnú kalibráciu systému ako aj pre definovanie pohybového rozsahu, čo je potrebné najmä pre pohyb v rovine

krokovými motormi a náklone aktuátorom. V budúcnosti chceme systém vylepšiť implementáciou senzorovej fúzie nášho senzora Slnka s kamerou, pomocou ktorej dosiahneme oveľa presnejšiu informáciu o polohe Slnka. Taktiež bude potrebné pre dosiahnutie úplnej automatizácie pridať termokameru, vďaka ktorej budeme schopní kalibrovať presnosť 3D tlačie a tiež získame informácie o aktuálnom tepelnom výkone systému.

3.5 Návrh a implementácia riadenia systému

Po zabezpečení ovládania a spracovania dát zo senzorov, pristúpime k návrhu systematického riadenia mechanizmu pre možné tvorenie komponentov 3D tlačou. Tlač bude v prvom rade predstavovať sústredenie slnečnej energie postupne na štvorcovú vrstvu, pričom po určitom počte vrstiev vznikne kváder alebo kocka.

Pre postupnú aproximáciu takéhoto deterministického telesa akým je kváder budeme pohyby vyhodnocovať numericky, teda algoritmom. Avšak pre tlač telies, ktorých tvar nebude dopredu známy, využijeme posielanie príkazov v G kóde.

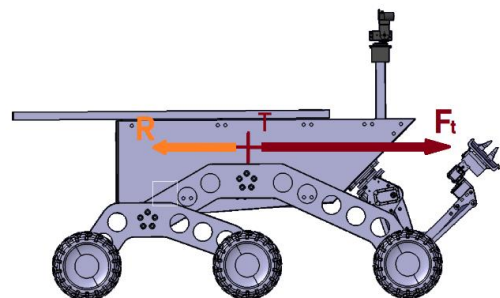
4 Hardvérový návrh a implementácia riadenia pohonu rovera

Pohonný systém rovera pozostáva zo šiestich hnacích kolies, každé poháňané jednosmerným elektromotorom s planétovou prevodovkou. Požiadavkami pri návrhu bola možnosť plynulej regulácie rýchlosti a dostatočná trakčná sila, pričom treba pri riadení zohľadniť dynamické a adhézne vlastnosti, a to kvôli nechcenému preklzu kolies voči vozovke.

Na riadenie rýchlosti sa často používajú proporcionálno-integračné regulačné obvody, zatiaľ čo na riadenia polohy sa používajú proporcionálno-derivačné regulátory. Pre správnu činnosť oboch regulátorov potrebujeme poznať správanie sa systému pri reakciách na zmeny vstupných hodnôt, teda musíme poznať prenosovú funkciu systému.

4.1 Dynamický model pohonného systému

Jednou z funkcionalít, s ktorou musí pohyblivý autonómny systém počítať, je jeho fyzikálna interpretácia pohybu, resp. dynamika. Dynamické vlastnosti komplexného zariadenia, akým je náš rover, závisia od interných premenlivých parametrov ale aj od vonkajších podmienok, preto nám modelovanie pomôže určiť tieto závislosti a následne nastaviť riadiace parametre.



Obr. 5. Dynamický model a pôsobenie síl na vozidlo

Pre zistenie približných dynamických vlastností budeme modelovať odozvu systému na skokovú zmenu trakcie pri dodržaní rovnováhy síl pôsobiacich na tuhé teleso. Proti trakčnej sile pôsobia sily jazdných odporov (pozri Obr. 5), ktoré spôsobia časové oneskorenie reakcie na skokovú zmenu trakcie.

Rovnica (1) uvádza R ako sumu síl jazdných odporov.

$$R = F_f + F_s + F_i \quad (1)$$

Kde F_f je valivý odpor spôsobený deformáciou pneumatiky a vozovky, F_s je odpor do stúpania spôsobený zložkou gravitačnej tiaže proti pohybu, F_i je zotrvačný odpor ako reakcia na zmenu rýchlosti.

$$R = mg(f \cos(\alpha) + \sin(\alpha)) + m \frac{dv(t)}{dt} \gamma \quad (2)$$

Kde m je hmotnosť rovera, g je gravitačné zrýchlenie, α je sklon jazdnej roviny, f predstavuje súčiniteľ valenia pre daný jazdný povrch, γ je súčiniteľ vplyvu rotujúcich hmotností.

Trakčná sila F_t sa prejavuje prenesením krútiaceho momentu sumy všetkých elektromotorov vzhľadom na rameno pôsobenia sily, čo je v našom prípade polomer kolesa r_d .

$$F_t = p \frac{M_1}{r_d} \quad (3)$$

V rovnici (3) predstavuje M_1 moment jedného elektromotora a preto parameter p je počet hnacích kolies.

Pre vyjadrenie závislosti meniaceho sa krútiaceho momentu elektromotora v závislosti na otáčkach sa dalo podľa katalógového listu aproximovať túto závislosť lineárnou priamkou. Po dosadení do rovnice (3) dostávame:

$$F_t = p \frac{M_{max} - C \omega(t)}{r_d} \quad (4)$$

Kde M_{max} vyjadruje moment elektromotora pri rozbehu, kedy je moment elektromotora najväčší, C je smernica závislosti, ω je uhlová rýchlosť motora.

Je dôležité zohľadniť adhézne obmedzenie veľkosti trakčnej sily, ktorá udáva najväčšiu možnú tangenciálnu silu, ktorú dokáže preniesť pneumatika na vozovku

$$F_{ad} = G_{ad} \varphi \quad (5)$$

pričom G_{ad} je adhézna tiaž, čo vyjadruje rozloženie hmotnosti na hnacie kolesá, φ je súčiniteľ adhézie pre daný povrch.

Z rovnováhy síl pôsobiacich na vozidlo je zřejmé, že:

$$F_t = R \quad (6)$$

po dosadení do (6) dostaneme zápis diferenciálnej rovnice prvého rádu

$$p \frac{M_{max} - C \omega(t)}{r_d m} = g(f \cos(\alpha) + \sin(\alpha)) + \frac{dv(t)}{dt} \gamma \quad (7)$$

Vyriešením tejto rovnice získame časový priebeh translačnej rýchlosti rovera, ako odozvu na skokovú zmenu vstupných veličín elektromotora. V prípade uvažovania adhézneho obmedzenia, riešime rovnicu s počiatkovými

podmienkami v rýchlosti, kedy trakčná sila je menšia ako adhézna. Do tohto času uvažujeme konštantné zrýchlenie rovné adhéznemu. Z prechodovej charakteristiky už ľahko určíme alebo aproximujeme prenosovú funkciu systému, na ktorý navrhujeme riadenie. Tento model nám poskytol dôležitú informáciu a síce, minimálny potrebný čas zrýchľovania, resp. maximálne zrýchlenie, aby kolesá pri odozve na skokovú zmenu neprekľzávali. Tento údaj vieme zohľadniť pri riadení, napríklad rozbehom po rampe alebo obmedzením akčného zásahu PI, PD regulátora.

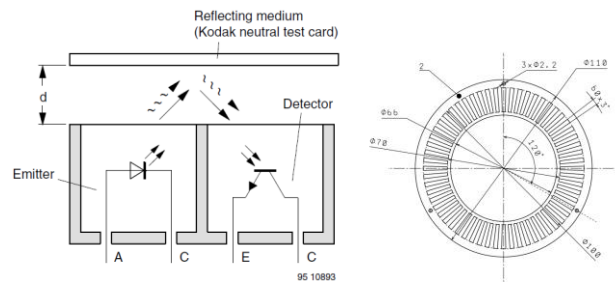
Vďaka takto riadenému systému dokážeme eliminovať chybu odometrie (hrubé stanovenie relatívnej polohy voči počiatkovému bodu) spôsobenú preklzávaním kolies pri rozbehu či brzdení, čo je v mobilnej robotike častý problém.

5 Hrubé stanovenie polohy

Odometria alebo hrubé stanovenie polohy, je metóda lokalizácie robota alebo relatívnej zmeny polohy vzhľadom na počiatkovú polohu, ktorá je založená na počítaní prejdenej vzdialenosti jednotlivých kolies. Pre možnú detekciu prejdenej dráhy musia byť implementované snímače rýchlosti v kolese, takzvané rotačné enkodéry.

Rotačný enkodér reaguje na pootočenie kolesa zmenou diskretnej hodnoty, meraním času medzi jednotlivými hranami vieme na základe známej geometrie a rozlíšenia snímača určiť rýchlosť vozidla. Nakoľko sme koleso pre náš rover vyvíjali od základov, museli sme vyvinúť aj vlastný enkodér.

Kvôli nemožnosti prístupu k osi rotácie motora vo vnútri kolesa, sme použili fotosenzitívny snímač pred ktorým spolu s kolesom rotuje mriežka s otvormi, pozri obrázok Obr. 6.



Obr. 6. Rotačný enkodér integrovaný v kolese

Fotosenzitívny snímač obsahuje infračervenú diódu a fototranzistor, pričom výstupné hodnoty závisia na množstve absorbovaného žiarenia z diódy. Výstupná hodnota nadobúda analógový charakter, ktorý musíme previesť na diskretne hodnoty detekcie hrany mriežky. Na tento účel použijeme integrovaný schmittov obvod, ktorý analógové hodnoty nad určitú hranicu reprezentuje logickou jednotkou a podobne nízke hodnoty ako logickú nulu.

Takéto diskretne signály môžeme priamo priviesť na vstupný pin riadiacej jednotky, ktorý nakonfigurujeme ako externé prerušenie, tým zabezpečíme veľmi efektívne spracovanie informácií.

6 Softwarová implementácia

Program riadiacej jednotky bol písaný v jazyku C a C++, tieto jazyky majú stále veľmi blízko k hardvéru, to znamená, že napriek značnej abstrakcii ktorá tieto jazyky dostáva do pozície vyššej úrovne, majú zachované prvky, vďaka ktorým môže programátor pracovať s integrovanými hardvérovými funkcionalitami. Napríklad môže priamo pristupovať k registrom procesora a ak rozumie architektúra a bitovým operáciám, dokáže vytvoriť výpočtovo a pamäťovo efektívny program. Preto sa tieto jazyky implementujú pri vývoji vnorených systémov v priemysle aj v kozmických aplikáciách.

Pri písaní kódu riadiacej jednotky som sa riadil odporúčaniami a pokynmi na programovanie a úpravu zdrojových kódov, ktorými sa riadia programátori vo vesmírnych agentúrach ako ESA a NASA [1]. Vychádzal som napríklad z MISRA C štandardu, ktorý vznikol ako súbor pravidiel písania zdrojových kódov v jazyku C pre kritické systémy v automobilovom priemysle. Z tohto štandardu vytvorili vesmírne agentúry svoje vlastné súbory pravidiel. Tieto pravidlá v prvom rade zakazujú, alebo neodporúčajú používanie programovacích metód a funkcionalít, ktoré sú náchylné na zlyhania nesprávnou implementáciou.

V kritických systémoch, kde nie je priestor ani čas na zlyhania, musia byť implantované prídavné ochranné hardvérové ale aj softvérové prvky. Základnou kontrolou behu programu je watchdog, ktorý v prípade zistenia odklonenia toku programu mimo hlavnú slučku, reštartuje CPU.

7 Zhodnotenie výsledkov a záver

Táto práca uviedla do problematiky návrhu a implementácie vnoreného riadiaceho systému unikátneho študentského vedeckého zariadenia. Týmto zariadením skúmame možnosti 3D tlače v kozme z lokálne dostupných materiálov a energetických zdrojov.

Výstupom mojej činnosti je návrh a následná implementácia optimálneho hardvéru a softvéru pre riadené ovládanie mechanizmov a pohonného systému, s rešpektovaním dynamických vlastností. Súčasťou hardvérového návrhu bolo vybrať optimálne a energeticky výhodne akčné členy, senzory, mikropočítač a iné súčiastky zabezpečujúce elektronickú funkčnosť. Softvérovým návrhom som sa zoznámil s programovaním kritických systémov, pri ktorých vývoji sa kladie dôraz na robustnosť a efektívnosť. Okrem spomínaných činností som sa zaoberal aj o energetickú sústavu, stabilizáciu napájania, oživením zariadenia, ochrannými prvkami, vzdialeným ručným ovládaním, výrobou dosiek plošných spojov pre senzor Slnka a enkodér. Reálnym výsledkom môjho úsilia je plne funkčný riadiaci systém, ktorý zabezpečuje elektronické ovládanie a riadenie systému schopného experimentálnych činností. V rámci možností implementované metódy a postupy kozmického inžinierstva však nie sú postačujúce na reálne využitie v nehostinných mimozemských podmienkach.

Do budúca sa budeme zaoberať vývojom autonómnosti pohybu a 3D tlače, pričom rozšírimo palubný počítač o nadradený systém, ktorý vďaka vnorenej riadiacej jednotke vyriešenej v tejto práci nebude musieť riešiť exaktné ovládanie a riadenie mechanizmov, či metódy spracovania dát zo snímačov.

PodĎakovanie

Rád by som využil príležitosť poďakovať sa vedúcemu mojej práce prof. Ing. Vladimírovi Kutíšovi, PhD. za cenné rady pri riešení problematiky ktorou sa práca zaoberala. Taktiež by som rád poďakoval Ing. Lukášovi Hrečkovi za ochotu a odborné rady pri návrhu. V neposlednom rade ďakujem doc. RNDr. Pavlovi Valkovi, PhD. a všetkým pedagógom ktorí sa podieľali na prednášaní odborného kurzu „Vesmír pre vzdelanie, vzdelanie pre vesmír“ za šírenie vedomostí o problematike kozmického inžinierstva.

Samostatné poďakovanie patrí Nadácii Tatrabanky za finančnú podporu, vďaka ktorej sa mohol tento projekt realizovať.



Obr. 7. Prezentovanie projektu a univerzity na medzinárodnom strojárskom veľtrhu

Literatúra

- [1] VALKO, P., KUTIŠ, V. et al. 2018. *Kozmické technológie*. Bratislava : SPEKTRUM STU, 2018. 437 s. ISBN 978-80-227-4833-9
- [2] JPL Laboratory: JPL Institutional Coding Standarts for the C Programming Language, v1.0, JPL DOC-ID D-60411, 2009
- [3] FERENČEY, V., VALA, M., BUGÁR, M. *Mechatronicke systémy riadenia dynamiky pohybu automobilov*. Bratislava : Nakladateľstvo STU, 2013. 244 s. ISBN 978-80-227-4048-7