



Vyšší odborná škola
a Střední průmyslová škola
elektrotechnická,
Plzeň, Koterovská 85

ROČNÍKOVÁ PRÁCE S OBHAJOBOU

Téma: Autíčko řízené nakláněním ovladače

Autor práce: Jiří Hellmich

Třída: 3.L

Vedoucí práce: Jiří Švihla

Dne: 30.4.2024

Hodnocení:



**Vyšší odborná škola a
Střední průmyslová škola elektrotechnická Plzeň,
Koterovská 85**

ZADÁNÍ ROČNÍKOVÉ PRÁCE	
Školní rok	2023/ 2024
Studijní obor	78-42-M/01 Technické lyceum
Jméno a příjmení	Jiří Hellmich
Třída	3. L
Předmět	Kybernetika
Hodnoceno v předmětu	Kybernetika
Téma	Autíčko řízené nakláněním ovladače
Obsah práce	<ul style="list-style-type: none">• Návrh podvozku autíčka• Tvorba kastle• Tvorba řídicí elektrotechniky• Implementace gyroskopického ovladače• Tvorba řídicího programu• Implementace komunikace
Zadávací učitel Příjmení, jméno	Jiří Švihla
Podpis zadávajícího učitele	
Termín odevzdání	30. dubna 2024

Anotace

Práce se zabývá tvorbou vozítka, protože doprava je dnes klíčovým odvětvím. Globalizace způsobila, že je nutné mnoho výrobků a materiálu přepravovat přes velké vzdálenosti. Kvůli efektivitě a ochraně životního prostředí se vyvíjí nové dopravní prostředky. K nejznámějším patří automobily na elektrický, nebo vodíkový pohon, drony a mnoho dalších.

Vozítko je řízeno nakláněním ovladače a je tak možné ho snadno řídit. Zároveň se díky řízení na dálku může dostat i na nebezpečná a těžkopřístupná místa.

Projekt se skládá ze dvou výrobků. Oba výrobky budou založeny na mikropočítači Arduino Nano.

Prvním výrobkem je autíčko s pohonem zadních kol. Každé ze zadních kol má samostatný pohon. Přední kola je možné natáčet pomocí servomotoru, aby mohlo autíčko zatáčet. Autíčko dostává dálkově informace o naklonění ovladače. Na jejich základě rozhoduje mikropočítač Arduino Nano o rychlosti a směru pohybu autíčka. Při naklonění ovladače dopředu se pohybuje tímto směrem rychlostí, která bude odpovídat intenzitě naklonění. Celkem se může dopředu pohybovat třemi různými rychlostmi. Při naklonění do stran autíčko zatáčí tímto směrem. Při náklonu ovladače zpět autíčko couvá.

Druhým výrobkem je dálkový ovladač, který obsahuje gyroskopický senzor, mikropočítač Arduino Nano a vysílač, který posílá informace o náklonu autíčku. Na dálkovém ovladači je zároveň několik LED diod, které slouží ke kontrole, jestli ovladač správně přijímá příkazy.

„Prohlašuji, že jsem toto práci vypracoval samostatně a použil literárních pramenů a informací, které cituji a uvádím v seznamu použité literatury a zdrojů informací.“

V Plzni dne:

Podpis:

Annotation

The work deals with the creation of a small car, as transport is an important industry today. Globalization has made it necessary to transport many products and materials over long distances. Globalization has made it necessary to transport many products and materials over long distances. With this in mind and with regard to environmental protection, new means of transport are being created. Among the most famous are electric or hydrogen-powered cars, drones and many others.

The little car is controlled by tilting the controller and is thus easy to control. At the same time, thanks to the remote control, it can also reach dangerous and hard-to-reach places.

The project consists of two products. Both products will be based on the Arduino Nano microcomputer.

The first is a toy car with rear wheel drive. Each of the rear wheels has a separate drive. The front wheels can be turned using a servo motor so that the toy car can turn. The toy car receives remote information about the tilt of the controls. Based on them, the Arduino Nano microcomputer decides on the speed and direction of movement of the toy car. When tilting the controller forward, it moves at the same speed, which will correspond to the intensity of the tilt. In total, it can move at three different speeds. When tilted to the side, the toy car turns in that direction. When the controller is tilted backwards, the toy car reverses.

The second product is a remote control that contains a gyroscopic sensor, an Arduino Nano microcomputer and a transmitter that sends information about the tilt of the toy car. At the same time, there are several LEDs on the remote control, which are used to check whether the remote control is receiving commands correctly.

"I declare that I have prepared this work independently and have used literary sources and information that I cite and list in the list of used literature and sources of information."

In Pilsen on:

Signature:

Obsah

1	Tvorba podvozku	7
1.1	Návrh podvozku	7
1.2	Použitý materiál	7
1.3	Konstrukce podvozku	8
2	Komunikace ovladače s autíčkem	10
3	Elektrotechnika autíčka	11
3.1	Součástky a moduly	11
3.2	Zapojení elektrotechniky autíčka	11
4	Ovladač	13
4.1	Součástky a moduly	13
4.2	Zapojení elektrotechniky	13
5	Kastle autíčka	15
5.1	Využité technologie	15
5.2	Návrh a tvorba kastle	15

Úvod

Téma jsem si vybral, protože doprava je v současné době jednou z nejdůležitějších odvětví průmyslu. Vlivem globalizace se musí přepravovat mnoho produktů často přes několika-tisícikilometrové vzdálenosti. Velice populární je dnes doručení zboží až ke kupujícímu. Velké změny jsou i v oblasti přepravy osob. Nově vytvořené způsoby vozidel mohou přepravu zefektivňovat, být šetrnější k životnímu prostředí a zvětšovat pohodlí. Mezi novinky v dopravě patří doručování drony, auta, která umí sama řídit, nebo automobily na jiné pohovy než běžné spalovací motory.

Cílem ročníkové práce je vyrobení vozíčka, dále označovaného i autíčko, které se pohybuje dle naklání dálkového ovladače a již zmíněného dálkového ovladače. Autíčkem se bude nazývat vozítko pohybující se podle informací přijatých z ovladače. Ovladačem budeme nazývat výrobek, který uživatel naklání a tím řídí autíčko. Výsledné produkty slouží jako hračka, která ovšem umožní dostat se na těžko přístupná místa a může být užitečná k nejrůznějším pracím. Výhodou je pohon na elektřinu. Ovládáním pomocí naklání ovladače se dá autíčko v některých situacích lépe řídit než ostatní vozítka.

Autíčko bude poháněno motory, kterými bude možné regulovat rychlost. Budou napájeny ze zdroje zabudovaného na podvozku. Dále bude vytvořený mechanismus, který bude umožňovat zatáčení. Pokyny bude motorům a zatáčejícímu mechanismu předávat řídící mikropočítač. Mikropočítač bude získávat informace o náklonu ovladače od přijímače. Bude také vytvořena kastle na autíčko, aby se zabránilo poškození elektroniky na podvozku a výrobek lépe vypadal.

Dálkový ovladač bude sestaven z mikropočítače, senzoru, který určuje náklon ovladače, a vysílače, který bude posílat informace autíčku. Tyto komponenty budou uloženy v pevném obalu, aby se zabránilo jejich poškození při používání.

1 Tvorba podvozku

1.1 Návrh podvozku

Na podvozek je zapotřebí deska, na kterou se budou připevňovat další díly. Tato deska může být z nejrůznějších materiálů. Je ale zapotřebí, aby deska byla dostatečně pevná a nepraskla, dále musí být dostatečně velká, aby se na ni všechny komponenty vešly, a musí být možné do ní vyvrtat díry pro připevnění komponentů.

K desce se připevní dva motory pomocí speciálních držáků. Tyto motory pohánějí zadní kola. Přední kola budou sloužit k zatáčení. Bude sestaven mechanismus, který převede otáčivý pohyb ze servomotoru na posuvný a tím kola zatočí. Dalšími možnými způsoby zatáčení je například, že by kola byla poháněna různými rychlostmi a autíčko by zatáčelo na stranu, kde by bylo pomalejší kolo. Problémem tohoto řešení je, že by pomalejší kolo při větších rychlostech prokluzovalo. Další možností je i využití všesměrových kol. Jejich nevýhodou je především vyšší pořizovací cena.

1.2 Použitý materiál

Pro podvozek autíčka jsem zvolil desku z tvrdého plastu o rozměrech 218 x 127 x 4 mm, dále bude označována deska. Do desky se dají lehce vyvrtat díry pro přichycení komponentů šrouby.

Kola autíčka mají průměr 66 mm. Jsou vhodná i do nerovného terénu a jsou voděodolná. Dále jsou zapotřebí čtyři ocelové trubky dlouhé 20 mm, jejich průměr je 6 mm a tloušťka jejich stěny je 1 mm.

Pro pohon kol jsem zvolil krokový motor s převodovkou 25GA-370 6V DC 620 RPM válcového tvaru s hřídelí o průměru 4 mm. Průměr samotného motoru je 25 mm a délka 60 mm. Motor je napájen 6 V stejnosměrným napětím. Maximální rychlost otáčení je $n = 620$ otáček za minutu. Z průměru kola můžeme dopočítat, že maximální rychlost autíčka je $2,1 \frac{m}{s}$. Tato rychlost ale nebude dosažena, protože budou na autíčko působit nejrůznější odporové síly, například valivý odpor, odpor vzduchu.

Na zatáčecí mechanismus jsou zapotřebí dva hranoly o rozměrech 9 x 9 x 40 mm, dvě destičky s dírami na šrouby a zahnutý držák z plechu pro spojení těchto destiček. Všechny tyto součástky jsou ocelové. Také jsem použil dva zahnuté držáky pro uchycení servomotoru. K zajištění šroubů jsem použil samojistící matice.

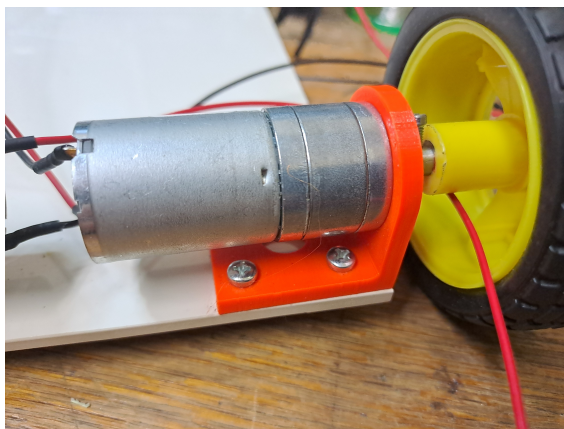
Nutnou součástí pro zatáčení předních kol je servomotor. Já jsem zvolil Micro servo SG92R, který vyžaduje napájení 4,8 až 6 V. Micro servo SG92R dále nazývám servomotor,

nebo jen servo. Jeho rozměry jsou 23 x 12,2 x 27 mm. Servomotor pracuje na základě řídicího signálu, který mu říká, do jakého úhlu se má otáčet jeho osa. Pomocí několika převodů se velká rychlost otáček motoru serva sníží na pomalejší rychlost otáčení osy s větším točivým momentem.

1.3 Konstrukce podvozku

Dvě kola jsem provrtal v jejich středu, aby bylo možné jimi protáhnout trubky. Do kol jsem nasadil trubky, do kterých jsem navrtal ze strany díru.

V zadní části desky jsem vyvrtal na obou stranách 4 díry, kterými jsem pomocí šroubů připevnil plastové držáky na uchycení motorů. Hřídel motorů je z jedné strany seříznutá. Trubku jsem nasadil na hřídel motorů tak, aby v díře na trubce byla seříznutá plocha hřídele motoru. Do této díry jsem našrouboval napevno šroub, aby zabránil prokluzování motorů. Připevnění motorů je na Obrázku 1.

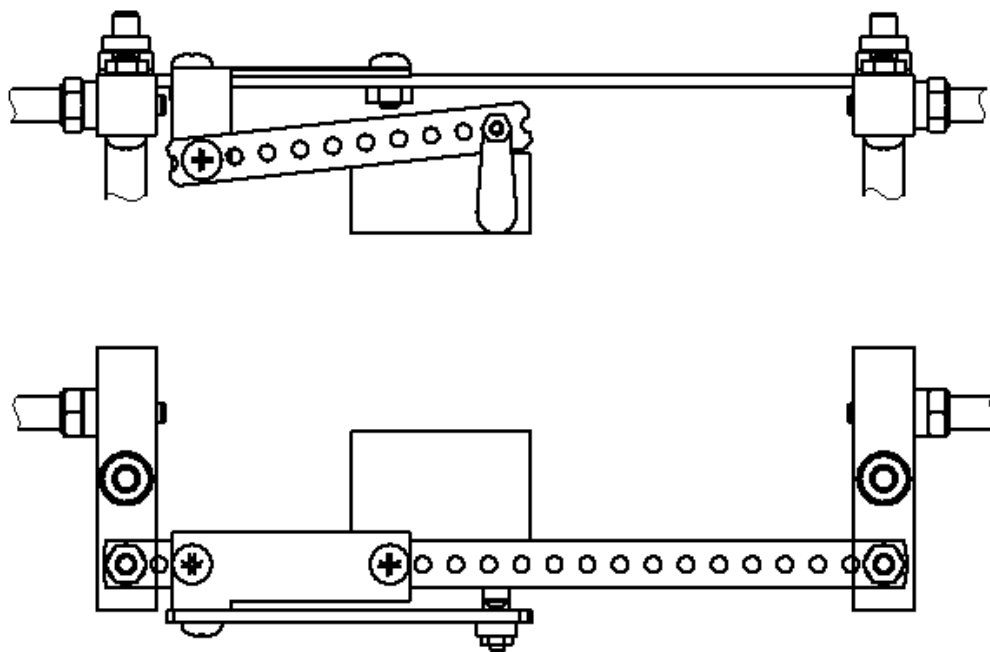


Obrázek 1: Motor připevněný k podvozku [zdroj: vlastní]

Dále jsem vyrobil mechanismus na natáčení předních kol. Do přední části desky jsem vyvrtal čtyři díry. Dvě ve střední části desky pro uchycení servomotoru a dvě na krajích pro uchycení zatáčecího mechanismu. Do prostředních děr jsem pomocí šroubů připevnil zahnuté ocelové držáky a k nim jsem přišrouboval servomotor. K ose servomotoru jsem připevnil kratší destičku s dírami na šrouby do jedné z krajních děr, ale neutáhl ji, aby se mohla otáčet kolem osy šroubu. Do děr v rozích desky jsem našrouboval dva delší šrouby připevněné matkou. Do hranolů o rozměrech 40 x 9 x 9 mm jsem vyvrtal tři otvory tak, aby dva byli rovnoběžně v přední a střední části hranolu a jeden kolmo k nim na libovolném místě tak, aby nezasahoval do zbylých otvorů. Do tohoto otvoru

jsem pomocí matky připevnil přední kola. Pomocí otvoru ve střední části hranolu jsem připevnil hranoly na šrouby v rozích rovnoběžně s deskou, aby od ní byla vzdálena 30 mm. Vzdálenost od desky může být i jiná ale musí se pod hranoly vejít servomotor. Pomocí zbylých otvorů jsem mezi hranoly připevnil delší ocelovou destičku s dírami na šrouby. Tato destička zajistí, že hranoly a kola budou vždy rovnoběžně. Kratší a delší destičku s dírami na šrouby jsem spojil zahnutým držákem. Na Obrázku 2 je schéma tohoto mechanismu.

Když se otočí osa servomotoru, tak se pohne i kratší destička s dírami a tím i delší. Otáčivý pohyb servomotoru se díky popsanému mechanismu přeneseme na posuvný pohyb delší destičky s dírami, to způsobí, že se hranoly na dlouhých šroubech pootočí a přední kola se natočí, aby mohlo autíčko zatočit.



Obrázek 2: Mechanismus, který umožňuje natáčení předních kol [zdroj: vlastní]

2 Komunikace ovladače s autíčkem

Vybíral jsem ze tří typů vysílače a přijímače. Jednotlivé typy se lišili množstvím informací, které dodáží přeposlat, cenou a dalšími parametry.

První typ umožňoval vysílat pouze kombinace tří signálů. Celkově šlo posílat jen 8 možných informací. Při použití tohoto typu vysílače by musel data z gyroskopického senzoru o náklonu zpracovávat mikropočítač v ovladači a poslat autíčku jen jednu z možností pohybu. Například, aby jelo rovně dopředu střední rychlostí, nebo zatáčelo doprava při jízdě vpřed. Vysílače tohoto typu mají obvykle nejnižší cenu.

Další typ je vysílač, který dokáže posílat přímo hodnoty z gyroskopického senzoru o náklonu a zpracovává je až mikropočítač v autíčku.

Třetí možností jsou dva moduly, které jsou oba vysílač a přijímač v jednom. Při použití těchto modulů je možné i posílání dat z autíčka ovladači. To ale v této práci nemá využití. Nevýhodou je velká pořizovací cena.

Já jsem zvolil druhou možnost, konkrátně vysílač STX822 a přijímač SRX887. Přístroje komunikují signálem o frekvenci 433 MHz. Vysílač vyžaduje napětí 1,2 V až 6 V a odebírá proud do 34 mA. Přijímač pracuje při napětí 3,3 V až 5,5 V a odebírá proud nejvýše 4 mA. Oba moduly jsou vybaveny anténou z mědi o délce 32 cm. Antény jsou přitřeseny pro frekvence od 438 MHz do 448 MHz. Impedance antén samozřejmě vyhovuje vysílači. Anténu jsem k vysílači připájel cínem.

Hodnoty o náklonu ovladače vysílač posílá vždy, když je změřil, a počká před dalším měřením krátkou dobu než se hodnoty pošlou. Mikropočítač v autíčku přijaté hodnoty vždy znovu vyhodnotí. Vypínání přijímače SRX887 je možné pomocí pinu CS.

Tento set vysílače a přijímače nabízí ke stažení knihovnu pro posílání dat, které jsem využil. Maximální velikost zprávy je 32 bitů.

Vysílání dat jako čtyři zprávy (dvě určují, kterou osu vysílá, a dvě posílají hodnoty) zabere příliš dlouhou dobu a to přes 1 s. Autíčko by reagovalo na změny náklonu ovladače velmi pomalu a některé krátkodobé změny by nezaznamenalo vůbec. Rozhodl jsem se posílat jen jednu zprávu. Hodnoty o náklonu ovladač zaokrouhlí na 8 bitů a vloží do jedné zprávy spolu s kontrolními hodnotami, které jsou 255 - hodnota náklonu. Řídící mikropočítač v autíčku přečte hodnoty o náklonu a pomocí kontrolních hodnot určí zda při přenosu nedošlo k chybě.

Zapojení přijímače a vysílače je na přiložených schématech.

3 Elektrotechnika autíčka

3.1 Součástky a moduly

Jako řídicí centrum autíčka jsem zvolil micropočítač Arduino Nano dále jen mikropočítač nebo Arduino. Micropočítač Arduino Nano je výhodný svými malými rozměry, a proto nezabírá příliš místa. Oproti menší variantě Arduino Mini, ale obsahuje USB port, proto je snadnější jej naprogramovat a nepotřebujeme k němu přidávat další programovací komponenty. Od ostatních desek Arduino se svým výkonem příliš neliší. Další nespornou výhodou je, že se dá snadno programovat pomocí Arduino Ide, který je přímo navržen pro desky Arduino.

K řízení motorů jsem musel použít motor driver, protože výstupní piny na Arduino Nano vygenerují maximální proud okolo 200 mA. Motory k největší možné rychlosti potřebují proud 500 mA. Pomocí motor driveru je možné využít plný výkon motorů.

Já jsem použil Motor driver L293D, dále jen driver. Tento driver dokáže vyprodukovat pro motory napětí 4,5 V až 25 V a dlouhodobí proud až 0,6 A (v krátkodobých špičkách i dvojnásobek).

Řídicí počítač dostává od přijímače signálu data o změně náklonu v osách x, y, z a dále je zpracovává. Program nahráný v řídicím mikropočítači dále posílá informace servomotoru a motorům, jak se má autíčko dále pohybovat.

Napájení jsem zajistil z dvou Li-ion baterií, které jsem umístil do bateriového boxu s připojenými vodiči. Každá baterie je schopná dodávat 3,7 V. Z bateriového boxu tak lze získat napětí 7,4 V.

3.2 Zapojení elektrotechniky autíčka

K propojování jednotlivých modulů a motorů jsem používal nejčastěji vodiče s bužírkou na povrchu, aby nedošlo ke zkratu. Vodiče jsem nepřipojoval přímo k modulům, ale použil jsem pinheadery, které umožní, že lze jednotlivé moduly snadno vypojit a zároveň je možné v případě poškození některého modulu jej snadno vyměnit.

Do desky podvozku jsem vyvrtal dvě díry, kterými jsem vedl vodiče od motorů k modulům uloženým v kastli.

K motorům jsem vodiče připájel pomocí cínu. Některé spoje mezi moduly jsem udělal na pájivém poli pomocí smaltovaného drátu. Tento drát má na povrchu vrstvu izolantu, a proto při doteku dvou drátů nedojde ke zkratu. Při připojování k pinheaderu jsem nejprve

pájkou opálil izolant na konci drátu a pak jsem ho na tomto místě připevnil napájeným cínem.

Dalšími možnostmi propojení je přímo vytvořit cestu napájeným cínem na pájivé pole nebo použít drát bez smaltu a následně jej rozpájet páskou. U druhého způsobu je obvykle nutné ještě nějaký cín přidat. Nevýhodou spojování tímto způsobem je, že se cesty vytvořené na pájivém poli nesmějí křížit a ne vždy lze vytvořit všechny potřebné spoje.

Nejprve jsem propojit navzájem piny země GND všech modulů, aby na nich byl stejný potenciál. Z baterií se napájí Arduino a motor driver. Ještě jsem přidal spínač, aby bylo možné autíčko vypnout. Přijímač signálu a servo jsou napájeny 5 V z Arduina přes pin VCC na vysílači a pin + na servomotoru.

Arduino, driver a přijímač jsem dal na pájivé pole, které jsem připevnil distančními sloupky nad desku podvozku.

Přijímač přijaté hodnota pošle přes pin DATA do Arduina. Arduino po zpracování dat pošle příkazy přes pin D5 servomotoru na pinu PWM.

Rychlost motorů je ovlivněna napětím na jejich svorkách. Motory jsou řízeny přes digitální piny D3, D9, D10, D11. Tyto piny vracejí hodnoty logická nula (napětí 0 až 0,3 V) a logická 1 (2,1 až 5 V), při které ale obvykle vracejí nejvyšší hodnotu. Škálovatelnost napájení je možná tak, že pin střídavě vysílá 0 a 1 o nějaké délce v krátkých periodách a tím lze vytvořit různé hodnoty napětí od 0 do 5 V.

Jak velké napětí má jít na driver a z kterých pinů, určuje mikropočítač na základě přijatých hodnot, které zpracovává program v něm. Driver zvětší proud, který přichází z Arduina přes piny INT 1 až 4, na výstupní piny A+, A-, B+, B-, které napájejí motory.

Schéma zapojení elektroniky autíčka je na příloze RP - HELLMICH - SCHÉMA AUTÍČKO.

4 Ovladač

4.1 Součástky a moduly

Pro ovladač jsem jako řídicí mikropočítač zvolil také Arduino Nano. Napájení zajišťuje baterie 9 V. Data posílá z ovladače vysílač, který je více popsán v kapitole 2 Komunikace ovladače s autíčkem. Pro výrobu ovladače je zapotřebí pájivé pole pro uchycení komponentů a krabíčka, v které bude elektrotechnika uložena. Zabrání se tak poškození modulů. Zapotřebí jsou také 4 diody, 4 rezistory.

Další nezbytnou součástí je gyroskopický senzor MPU-6050. Tento modul je kompatibilní s mikropočítači Arduino a Raspberry Pi. Modul je integrovaný obvod, který slouží zároveň jako tříosý akcelerometr a tříosý gyroskop. Gyroskop dokáže vnímat změny v natočení až do rychlosti otáčení 2000° za sekundu. Akcelerometr vnímá zrychlení od -16 do 16 g. Senzor musí být napájen 3 až 5 V stejnosměrného proudu.

Gyroskopické senzory jsou v poslední době hojně využívány. Jsou v každém chytrém mobilním telefonu, kde slouží k určení, jestli je mobil na výšku nebo na šířku, toho se dále využívá třeba pro přizpůsobení zobrazení displeje nebo při pořizování fotografií. Gyroskopický senzor se užívá i pro mnoho her, které se řídí nakloněním ovladače nebo mobilu.

4.2 Zapojení elektrotechniky

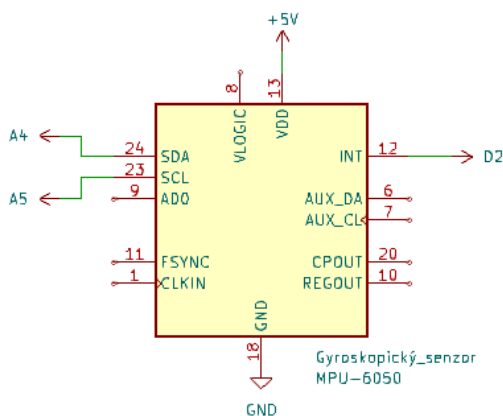
Stejně jako u ovladače bylo nejprve potřeba propojit piny GND všech modulů. Gyroskopický senzor a vysílač jsem napájel přes piny VCC, nebo VDD. Gyroskop posílá pomocí pinu SCL informace o čase a pomocí pinu SDA data o náklonu. Zprávu k vysílání posílá pin D10 na pin DATA vysílače. Zapojení gyroskopického senzoru je na Obrázku 3

Komponenty jsem připojil k pájivému poli pomocí pin headeru. K propojení Arduina s baterií jsem zvolil postříbřený drát, který jsem zapájel cínem. Připojení jsem doplnil o spínač, aby bylo možné ovladač vypnout. Ostatní propojení jsem udělal pomocí smaltovaného drátu nebo vodičů s bužírkou jako u autíčka.

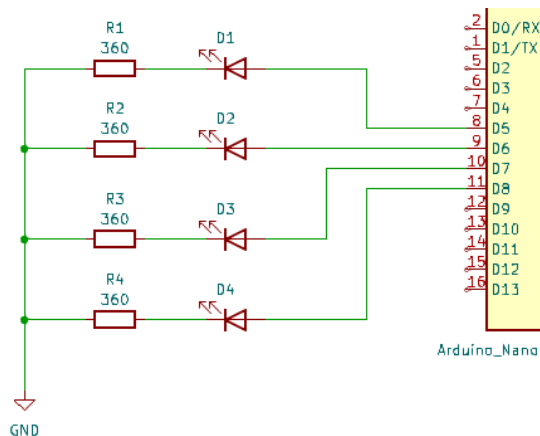
Pro snazší používání jsem pro uživatele doplnil ovladač o 4 diody, které svým rozsvícením značí, kterým směrem by mělo autíčko jet. Každou diodu jsem zapojil do série s rezistorem, aby nedošlo k jejímu poškození. Všechna zapojení diody a rezistoru jsem následně propojil na jednom konci k sobě, aby měla stejný potenciál. Diody jsou připojeny k digitálním pinům D5, D6, D7 a D8. Program nahraný na mikropočítači v ovladači pustí proud do příslušných pinů a rozsvítí diody. Zároveň bude možné kontrolovat, jestli se

hodnoty při přenosu do autíčka nezmění kvůli různému rušení signálu. Diody jsou zapojeny v rozích ovladače. Dvě vpředu značí jízdu vpřed, obráceně zadní diody, při zatáčení svítí jedna dioda v příslušném rohu. Schéma zapojení diod je k vidění na Obrázku 4

Schéma zapojení elektroniky ovladače je na příloze RP - HELLMICH - SCHÉMA OVLADAČ.



Obrázek 3: Schéma zapojení gyroskopického senzoru [zdroj: vlastní]



Obrázek 4: Schéma zapojení diod na ovladači [zdroj: vlastní]

5 Kastle autíčka

5.1 Využité technologie

Pro ochranu elektrotechniky na autíčku a pro zlepšení vzhledu autíčka jsem vytvořil kastli. Pro návrh jsem využil programu Inventor.

Inventor je jeden z programů Autodesk. Program umožňuje snadný návrh součástí a tvorbu sestav. Zároveň je pomocí něj snadné vytváření výkresů vymodelovaných výtvorů. Program je zároveň schopen provádět mnoho výpočtů. Například počítat namáhání, které dané součástky vydrží.

Navrhnutou kastli jsem vytvořil pomocí 3D tisku. Nanášením vrstev materiálu na sebe je možné vytvořit trojrozměrné produkty. Toho se dnes využívá v mnoha odvětvích. Na velkých 3D tiskárnách vznikají i celé domy, což pomáhá v řešení bytové krize. Také se tisknou mnohé díly do automobilů (některé automobily jsou celé vyrobeny pomocí 3D tisku). Podle toho, co se tiskne, je zapotřebí zvolit materiál. Materiál pro 3D tisk je z části tvořen rostlinným škrobem. Díky tomu můžeme tento materiál považovat za šetrný k životnímu prostředí. Pomocí nejrůznějších příměsí a jejich různému poměru lze vytvořit velké množství druhů materiálů s odlišnými vlastnostmi.

5.2 Návrh a tvorba kastle

Kastli jsem navrhl tak, aby zároveň chránila elektroniku a zároveň byla estetická. Kastli jsem tvořil po jednotlivých deskách. Tloušťku kastle jsem zvolil 3 mm, aby byla dostatečně pevná a zbytečně jsem neplýtvat materiálem.

Vytvořil jsem také několik držáků pro sešroubování desek kastle k sobě. Tyto držáky si můžete prohlédnout na Obrázku 5. Držáky jsou vyrobeny z bronzového plechu tloušťky 1 mm naohýbáním a vyvrtáním děr o průměru 4 mm na šrouby .

Některé desky museli mít na hranách, kde sousedili s jinou deskou, rozměry o 3 mm menší, aby se desky na hraně nepřekrývali. U oken autíčka bylo nutné dávat pozor, aby zbylo místo pro uchycovací držáky. Do desek jsem navrhl díry o průměru 4 mm na sešroubování kastle. Návrh průčelí boční stěny je na Obrázku 6

Desky a držáky jsem k sobě spojoval šrouby zajištěnými maticemi a podložkami. Kastli jsem navrhl, aby seděla na desku podvozku. Zároveň jsem ji pomocí vrutů uchytil k podvozku. Vruty jdou snadno vyšroubovat a je tak umožněn přístup k elektronice.

Výkresy jednotlivých desek a držáku jsou na výkresech RP - HELLMICH - 1 až 7 dodaných v příloze.

