

VILNIAUS UNIVERSITETAS
MATEMATIKOS IR INFORMATIKOS FAKULTETAS
MATEMATINĖS INFORMATIKOS KATEDRA

Nesudėtingų robotų konstravimas ir programavimas

Tiriamąojo seminaro darbas

Atliko:	3 kurso studentai	
	Anastasija Kiseliova	(parašas)
	Karolis Šimaitis	(parašas)
Darbo vadovas:	lekt. Irus Grinis	(parašas)

Vilnius – 2017

TURINYS

ĮVADAS	2
1. AERODINAMIKA	3
1.1. Ornitopterio plasnojimo dinamikos schema	3
1.2. Sparnų aerodinamikos skaičiavimai	3
1.3. Teoriniai ornitopterio aerodinaminiai duomenys	3
2. ORNITOPTERIO GRANDINĖS SCHEMA	7
3. DAR ŠIEK TIEK TEORIJS	8
3.1. Darbas su bandomąja lenta	8
3.2. Komponentų fizinių duomenų matavimas naudojantis multimetru	9
4. NAUDOTOS DETALĖS	11
4.1. Mikrokontrolieris	11
4.2. Motoras	11
5. PROGRAMOS KODAS	12
REZULTATAI IR IŠVADOS	13

Įvadas

Žmonės visais laikais siekė peržengti savo fizinių galimybių ribas. Puikus to pavyzdys - legenda apie Ikarą bei Dedalą. Galbūt anuomet tokia idėja ir skambėjo kaip fikcija, tačiau šiais laikais esame pasiekę daugiau, nei bet kada anksčiau. Robotika - mokslas, apjungiantis savyje mechanikos inžineriją, elektros inžineriją, kompiuterių mokslą bei daug kitų disciplinų, leidžia kurti tai, apie ką mūsų protėviai galėjo tik pasvajoti. Tai, kas leidžia pasiekti padanges.

Ornitopteris - (ornito- + gr. pteron - sparnas) - aparatas, kuris skraidymui pasitelkia plasnojančius sparnus. Šio tipo prietaiso dizainų yra įvairių. Geriausiai žinomas, tikriausiai, yra Leonardo Da Vinčio paliktas modelis. Jo mašina turėjo būti sukurta skraidyti žmogui, ir, nors tokių įtaisų šiais laikais taip pat esama, pristatysime daug mažesnio dydžio analogą. MAV (Micro Aerial Vehicles) tyrinėjimas yra pakankamai nauja sritis. Elektronikos komponentų, pavyzdžiui, elektrinių motorų mažėjimas ir mikroelektronikos tobulėjimas lėmė per paskutinius keis metus išaugusį susidomėjimą ja. Dabar kiekvienas gali namie gana pigiai pasidaryti miniatiūrinį lėktuvą ar sraigtasparnį. Kam? Nedideli ornitopteriai gali būti panaudojami patalpų viduje, pavyzdžiui, daiktų paieškai, arba saugumui užtikrinti. Išorėje jie panaudojami ornitologų. Kadangi savo išvaizda ir dydžiu primena paukščius, įsilieję į pulką ornitopteriai geba stebėti jų elgesį, migraciją. Pagrindinė šių robotų savybė ir yra aplinkos stebėjimas iš paukščio skrydžio. Ornitopteriai taip pat kuriami siekiant ištirti plasnojančių sparnų aerodinamiką.

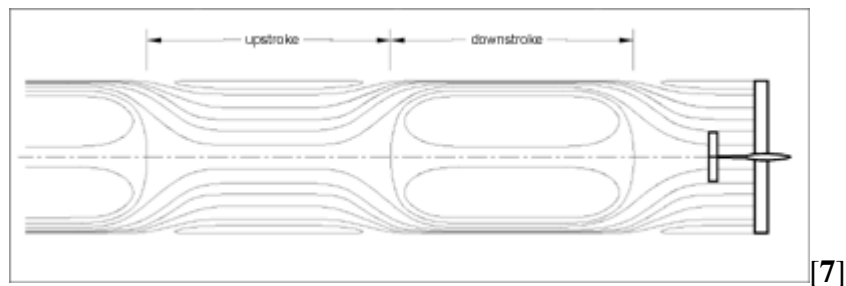
Taigi, tiriamojo seminaro darbo tikslas - susipažinti su robotų konstravimu bei programavimu; pagaminti roboto - ornitopterio, prototipą.

1. Aerodinamika

Kaip ornitopteris sukuria keliamąją ir varomąsias jėgas, nors jis plasnoja į abi puses? Šį klausimą aprašo ir bando pateikti atsakymą Horst Rübiger savo knygoje [2], kuria dalinai remsimės savo ornitopteriui tobulinti. Knygoje pateiktos išvados remiasi įvairiais žinomais tyrimais. Be plasnojimo aerodinamikos, taip pat turime įvertinti ir plasnojančio sparno dinamiką.

1.1. Ornitopterio plasnojimo dinamikos schema

1 pav. Plasnojimo žemyn ir aukštyn sukuriamų oro srautų dinamika. Viršuje pažymėti intervalai atitinka mostą aukštyn (upstroke) ir mostą žemyn (downstroke).



1.2. Sparnų aerodinamikos skaičiavimai

Visų pirma, sparnas yra menamai padalinamas į labai siauras juosteles. Tada kiekvienai iš šių juostelių apskaičiuojamas aerodinaminės jėgos pastoviomis oro tekės sąlygomis. Jų suma yra viso sparno pločio integralas. Šitaip gauname kilimo ir varomąsias jėgas plasnojančiam sparnui kuriuo nors fiksuotu laiko momentu plasnojimo cikle. Šis procesas yra kartojamas lygiais laiko tarpais sparnų mosavimo judesiui, todėl tokie dalykai kaip cirkuliacijos pokyčiai ir ateinančio oro srauto pokyčiai tampa pagrindo dalimi. Tuo pat metu yra laikoma, kad oro tekė skaičiavimų metu nesikeičia. Viso mosto jėgą galime gauti integruodami jėgos funkciją laiko atžvilgiu. Todėl plasnojimas žemyn ir plasnojimas aukštyn apskaičiuojami atskirai ir tai sudaro viso plasnojimo ciklo sukuriamą jėgą. [3]

1.3. Teoriniai ornitopterio aerodinaminiai duomenys

Aerodinamikos duomenys gauti naudojantis ornitopterių aerodinamikai apskaičiuoti skirtu įrankiu Orni1 [4]

2 pav. Ornitopterio duomenys sklendimo metu įvairiems sparnų suskirstymams

arithmetic	reduced frequency (must value < 0.2)	μ		0.02											Wing station values																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
	number of wing stations along halfspan	j		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														</

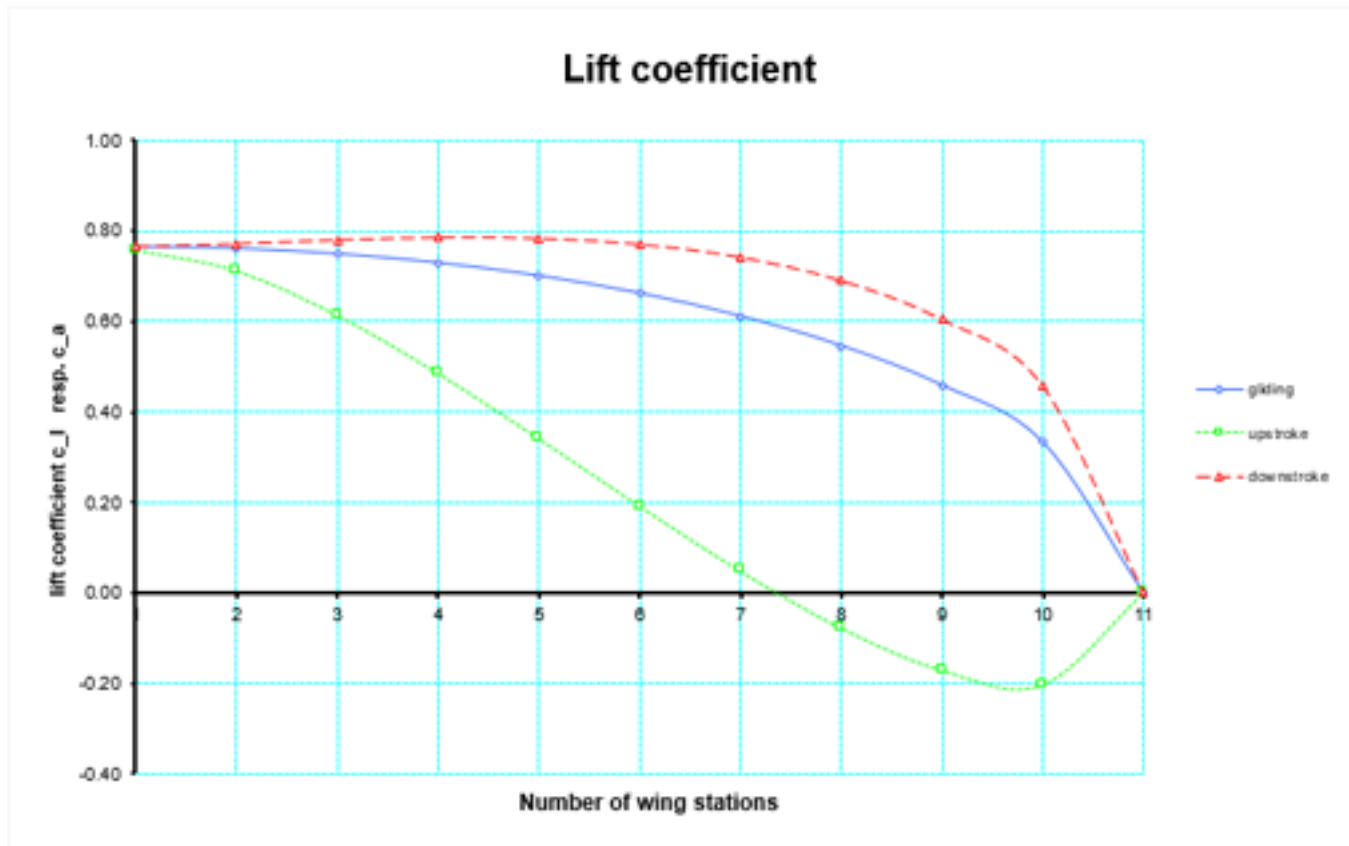
3 pav. Ornitopterio duomenys mosto aukštyn metu įvairiems sparnų suskirstymams

power flight general	flight speed	v_K	m/s	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5
	maximum of angular velocity	u_max	rad/s	4.70	4.70	4.70	4.70	4.70	4.70	4.70	4.70	4.70	4.70	4.70
upstroke general	aerodyn. center distance to the wing root in rel. to	y_Γ1		0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080
	circulation factor	k_Γ1		0.386	0.386	0.386	0.386	0.386	0.386	0.386	0.386	0.386	0.386	0.386
	average circulation	Γ_{m1}	m ² /s	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
on stations	circulation	$\Gamma_{1(y)}$	m ² /s	0.22	0.21	0.18	0.14	0.10	0.06	0.01	-0.02	-0.05	-0.06	0.00
	vertical speed	v_u1(y)	m/s	0.0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.7
	freestream velocity (effective velocity)	v_e1(y)	m/s	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5
	lift coefficient	c_a1(y)		0.73	0.69	0.59	0.47	0.33	0.19	0.05	-0.07	-0.16	-0.20	0.00
	transverse force	F_Q1[y]	N	3.7	3.5	3.0	2.4	1.7	0.9	0.2	-0.4	-0.8	-1.0	0.0
	angle of attack	$\alpha_{1(y)}$	deg	71.4	67.0	57.4	45.0	31.1	16.7	2.8	-9.4	-18.4	-21.6	-2.0
	induced down wind	v_i1(y)	m/s	1.10	0.87	0.65	0.43	0.20	-0.02	-0.25	-0.47	-0.70	-0.92	-1.14
	induced down wind angle	$\alpha_{i1(y)}$	deg	4.7	3.7	2.8	1.8	0.9	-0.1	-1.0	-2.0	-2.9	-3.9	-4.8
	feathered angle	$\delta_{1(y)}$	deg	0.0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.4	1.7	2.0	2.3	2.6	2.9
	angle of incidence	$\alpha_{E1(y)}$	deg	74.1	69.0	58.8	45.7	31.1	16.0	1.5	-11.4	-21.1	-24.9	-6.0
	wing twisting characteristic	V_Δα1	deg/m						-659.6					

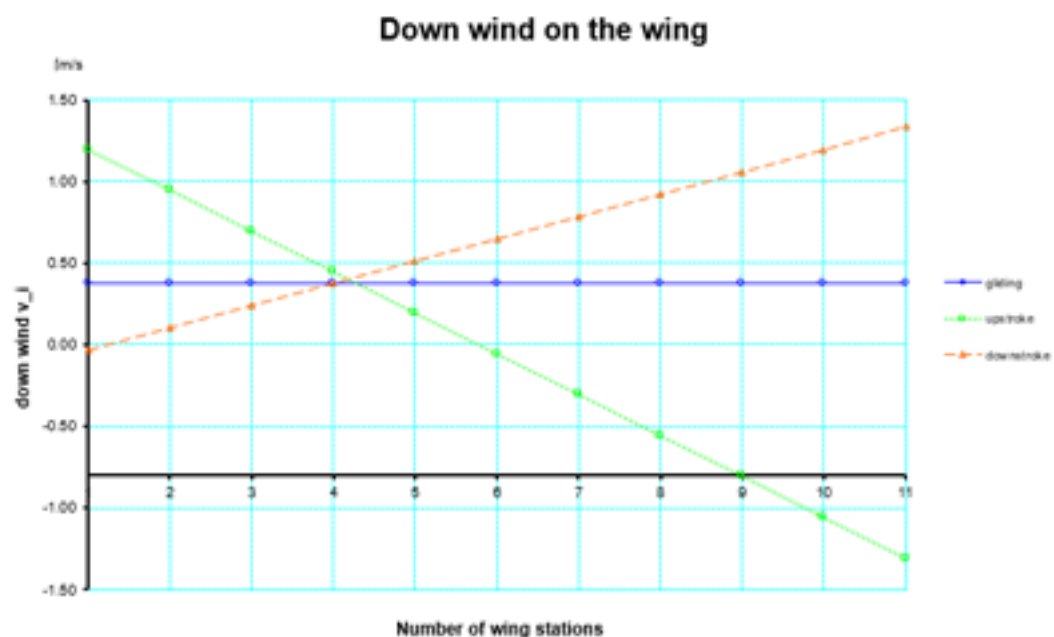
4 pav. Ornitopterio duomenys mosto žemyn metu įvairiems sparnų suskirstymams

downstroke general	aerodyn. center distance to the wing root in rel. to	y_Γ2		0.451	0.451	0.451	0.451	0.451	0.451	0.451	0.451	0.451	0.451	0.451
	circulation factor	k_Γ2		1.217	1.217	1.217	1.217	1.217	1.217	1.217	1.217	1.217	1.217	1.217
	average circulation	Γ_{m2}	m ² /s	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
on stations	circulation	$\Gamma_{2(y)}$	m ² /s	0.23	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.23	0.21	0.19	0.0
	vertical speed	v_u2(y)	m/s	0.0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.4	-0.5	-0.5	-0.4
	freestream velocity (effective velocity)	v_e2(y)	m/s	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5
	lift coefficient	c_a2(y)		0.77	0.78	0.79	0.79	0.79	0.78	0.75	0.70	0.61	0.4	0.0
	transverse force	F_Q2[y]	N	3.9	3.9	3.9	4.0	4.0	3.9	3.8	3.5	3.1	2.6	2.0
	angle of attack	$\alpha_{2(y)}$	deg	75.1	75.7	76.6	77.1	76.9	75.6	72.7	67.5	58.9	44.4	27.0
	induced down wind	v_i2(y)	m/s	0.23	0.29	0.34	0.39	0.45	0.50	0.56	0.61	0.67	0.71	0.74
	induced down wind angle	$\alpha_{i2(y)}$	deg	1.0	1.2	1.4	1.7	1.9	2.1	2.4	2.6	2.8	3.0	3.1
	feathered angle	$\delta_{2(y)}$	deg	0.0	-0.3	-0.6	-0.9	-1.2	-1.4	-1.7	-2.0	-2.3	-2.6	-2.9
	angle of incidence	$\alpha_{E2(y)}$	deg	74.1	74.6	75.4	75.9	75.7	74.3	71.4	66.1	57.4	42.8	27.0
	wing twisting characteristic	V_Δα2	deg/m						144.4					
total	wing twisting characteristic total	V_ΔαK	deg/m						-834.0					

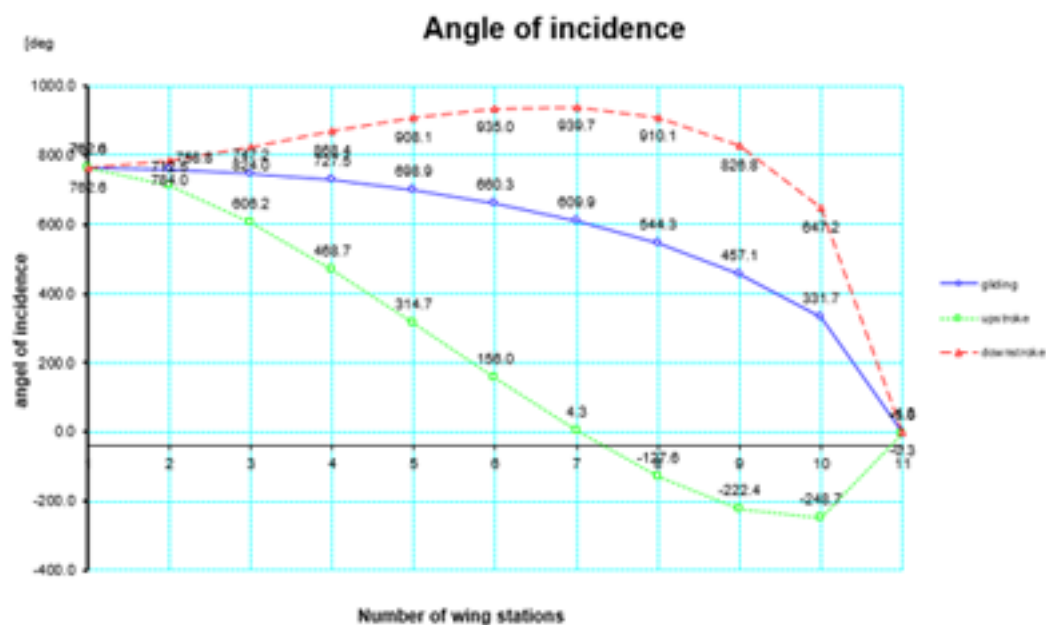
5 pav. Čia vaizduojama ornitopterio kilimo aukštn koeficientas duotiems duomenims. Raudona linija vaizduoja kilimo koeficientą mosto žemyn metu, mėlyna - sklendimo, o žalia - mosto aukštyn metu. Atvaizduoja kilimo koeficientą c_l duotam sparnų suskirstymui. Iš grafiko matyti, kad ornitopteris sekmingai kilti aukštyn negali, tačiau gali išsilaikyti ore kurį laiką. Tikri lėktuvai dažniausiai siekia nuo 1,2 iki 1,7 kilimo koeficiento skrydžio metu



6 pav. Ornitopterio sparnus veikiantis vėjo tą pačią kryptimi greitis. Raudona linija vaizduoja vėjo stiprumą mosto žemyn metu, mėlyna - sklendimo, o žalia - mosto aukštyn metu. Atvaizduoja vėjo greitį v_i duotam sparnų suskirstymui, matuojama m/s. Jeigu sparnai suskirstyti į 4 dalis, viso plasnojimo metu veikiančio greičio dydis išlieka pastovus (t.y apie 0,4 m/s)

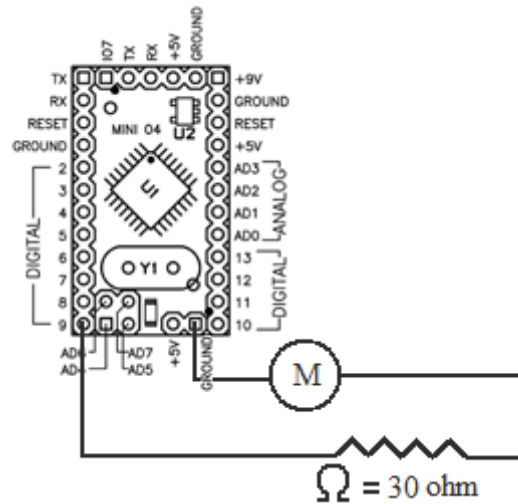


7 pav. Sparno incidentumo kampas. Raudona linija vaizduoja incidentumo kampą mosto žemyn metu, mėlyna - sklendimo, o žalia - mosto aukštyn metu. Sparno incidentumo kampas nusako kampą tarp sparno stygos(sparno skirsnio) ir į jį ateinančio oro srauto. Duomenys vaizduoja kampo priklausomybę įvairiems sparnų suskirstymams. Kadangi mūsų sparnas yra plokščias, šie duomenys labai iškraipyti



2. Ornitopterio grandinės schema

8 pav. Schemoje atvaizduojama: arduino mikrokontroleris, iš 9 kaištuko einantis laidas į 30 omų rezistorių, iš rezistoriaus einantis laidas į motorą ir iš motoro einantis laidas į GND kaištuką (įžeminimą)

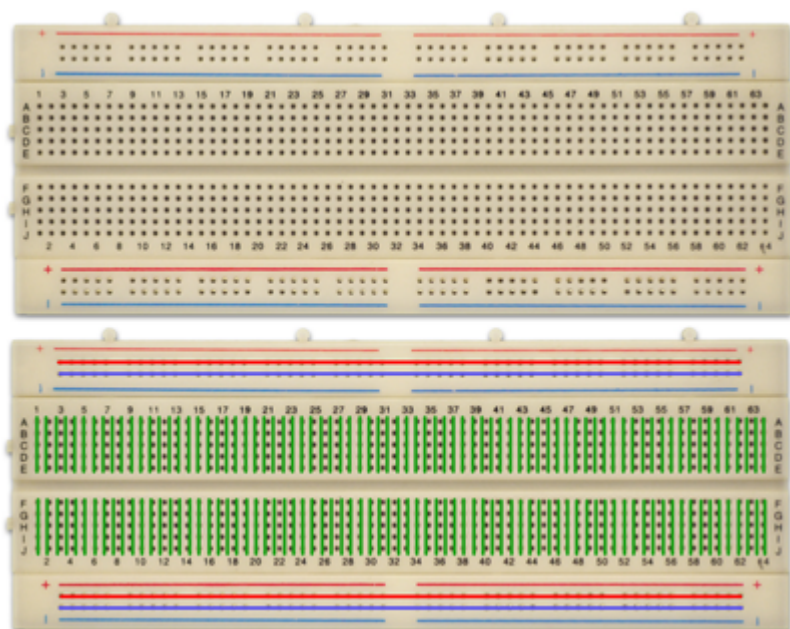


3. Dar šiek tiek teorijos

3.1. Darbas su bandomąja lenta

Testuojant grandinę ir į ją ieinančius elementus, labai praverčia bandomoji lenta: prietaisas, leidžiantis sujungti komponentes į grandinę be papildomo litavimo. Breadbord'as yra stačiakampė plastikinė plokštė, kurioje lygiais intervalais išsidėsčiusios skylutės. Šią plokšę dažnai skiria trys grioveliai: du viršuje ir apačioje, ir vienas per vidurį. Išorinės eilės jungiasi viena su kita horizontaliai. Viena eilutė skirta teigiamai, kita neigiamai išiečiai/įiečiai. Per vidurį esančios eilės skylių yra skirtos komponentėms jungti. Visos skylutės, esančios viename stulpelyje, yra sujungtos. Per vidurį einantis griovelis atskiria šias dvi eiles skylių. Naudodami bandomąją lentą galime labai paprastai viską sujungti tiek nuosekliai, tiek lygiagrečiai.

9 pav. Bandomoji lenta (breadboard) ir kaip joje tarpusavyje sujungtos skylutės.



[8]

Elementų sujungimą tarpusavy palengvina laidai su antgaliais, vadinamais „jumper’iais“. Jie būna trijų jungimo tipų: vyras/vyras, vyras/moteris, moteris/moteris. Antgalis-vyras turi metalinį strypelį, kuris įkišamas į bandomosios lentos skylutes arba antgalius-moteris. Antgalis-moteris yra naudojamas kaip ir jungtis ant bandomosios lentos. Su šiuo antgaliu galime prijungti kitas elektronines detales tiesiogiai.

10 pav. Laidai su antgaliais (jumper wires)



[9]

3.2. Komponentų fizinių duomenų matavimas naudojantis multimetru

Multimetras - įrankis, skirtas įvairiems dydžiams matuoti. Elektronikoje naudojamas multimetras dažniausiai turi šiuos matavimo režimus: Amperų matavimas, Voltų matavimas, Omų (varžos) matavimas ir grandinės uždaro matavimas. Šiuolaikiniai multimetrai turi ir kitokių matavimo režimų, tačiau pagrindiniai išlieka paminėtieji. Matavimai atliekami taip: pirma, nustatoma multimetras padėtis į vieną iš režimų. Kiekvienas režimas skirstomas į reikšmes, iki kurių multimetras gali matuoti. Jeigu norimo matuoti dydžio reikšmė visiškai nežinoma, pradedama nuo didžiausios reikšmės ir mažinama tol, kol skaičiai priartėja prie vienos iš reikšmių arčiausiai. Antra, matavimo laidai yra pridedami prie testuojamo prietaiso/komponento galų taip, kad susidarytu grandinė. Trečia, priklausomai nuo testavimo režimo, galimai reikia prijungti viską prie elektros šaltinio. Jeigu multimetras ekrane rodomas klaidos pranešimas arba "1" (skirtingi gamintojai skirtingai žymi), reiškia, kad matuojama reikšmė yra didesnė, negu pasirinkta reikšmė ant multimetras. Jeigu reikšmė - nulis arba labai maža, grįžtame į pirmą žingsnį ir sumažime režimo reikšmę. Taip darome tol, kol pasiekime mažiausią reikšmę, arba kai pirmą kartą pasiekime klaidą. Pirmuoju atveju tiksliau pamatuoti su šiuo multimetru neišeis, o kitu atveju grįžtame į aukštesnį multimetras matavimo režimo tikslumą ir pamatuojame reikšmę. Tada mes esame užtikrinti, kad multimetras rodys tiksliausius rodmenis. Grandinės uždaro režimas nereikalauja elektros šaltinio. Šio režimo metu yra siunčiama srovė iš multimetras ir laukiama jos grįžtant atgal į multimetras. Jeigu srovė grįžta, multimetras skleidžia cypimo garsą, o jeigu ne, tai jokio garso nėra. Šio režimo pagalba taip pat galime nustatyti komponentų ypatingas savybes (pvz.: ar tranzistorius yra PNP, ar NPN tipo). Šių savybių nustatymo metu garsas nėra skleidžiamas, ir rodomi skaičiai ekrane. Šių skaičių reikšmė kiekvienam elementui yra skirtinga.

11 pav. Multimetras



[10]

4. Naudotos detalės

Roboto karkasui panaudota detalė iš „Nine Eagles“ motoro rinkinio sudaro pagrindinę ašį. Kitos karkaso detalės daugiausia pasirinktos tik dėl nedideli svorio tam, kad ornitopterio sparnai nebūtų per daug apkrauti (šiaudeliai, pagaliukai). Taip pat, užtikrinti saugumui, naudojamas 30Ω rezistorius. Pilnas ornitopterio ilgis - 14cm, plotis su sparnais - 29cm. Roboto valdymui naudojamas Arduino mikrokontrolieris.

4.1. Mikrokontrolieris

Arduino Pro Mini yra „ATmega328“ (vieno lusto mikrokontrolieris) besinaudojanti mikrokontrolierio plokštė. Ji turi 14 skaitmeninių įvesties / išvesties kaiščių (iš kurių 6 gali būti naudojami kaip PWM išėjimai), 6 analoginius įėjimus, joje įrengtą rezonatorių, perkrovimo mygtuką ir angas tvirtinimui prie kaiščių. Šeši kaiščiai gali būti prijungiami prie FTDI kabelio arba USB adapterio teikti maitinimą plokštei.[6]

4.2. Motoras

„Nine Eagles“ 10g sveriantis mini motoras, priimantis 3,7V ir 110mAh. „Nine Eagles“ specializuojasi dronų kūrime ir gamina itin lengvus ir sąlyginai galingus motorus.

5. Programos kodas

Programavimo dalis prototipe įgyvendinama minimaliai. Norint kontroliuoti motoro galią bei greitį, reikėtų prie bendros schemos pridėti tokias komponentes, kaip potenciometras. Žinoma, pilname ornitopterio modelyje turėtų būti pasiekama absoliuti kontrolė, tai yra, skrydžio režimai įgyvendinami ne keičiant laiką tarp impulsų.

```
void loop()
```

```
    ascend(3000);
```

```
    floating(1000);
```

```
    glide(500);
```

```
    descend(1500);
```

```
void ascend(int time)
```

```
digitalWrite(motorPin, HIGH);
```

```
delay(time);
```

```
void floating(int time)
```

```
for(int i = 0; i < 100; i++)
```

```
digitalWrite(motorPin, HIGH);
```

```
delay(time*0.9/100);
```

```
digitalWrite(motorPin, LOW);
```

```
delay(time/1000);
```

```
void glide(int time)
```

```
delay(time);
```

```
//Make wings parallel with the ground
```

```
//Motor is completely off
```

```
void descend(int time)
```

```
for(int i = 0; i < 100; i++)
```

```
digitalWrite(motorPin, HIGH);
```

```
delay(time*0.7/100);
```

```
digitalWrite(motorPin, LOW);
```

```
delay(time*0.3/100);
```

Rezultatai ir išvados

Atliekant darbą, sunkiausia dalis buvo optimaliai pasirinkti detales kuriant kūno mechaninį judėjimą. Kadangi ornitopterių konstravimas nėra plačiai paplitęs, parduotuvėje jau pagamintos dalys nėra parduodamos. Teko pasitelkti vaizduotę.

Prototipas buvo sukurtas po daugelio bandymų. Dizainas, prie kurio buvo pasilikta, yra optimalus turimoms priemonėms. Tęsiant projektą, reikėtų naudoti galingesnę motora, tvirtesnę karkasą bei sparnus, prijungti uodegą skridimo krypties reguliavimui, atitinkamai pakeisti kodą.



12 pav. Prototipas

<https://www.youtube.com/watch?v=qNnkbSPvHCc>

Šaltiniai

- [1] John Nussey. *Arduino For Dummies*. 1993.
- [2] Horst Rübiger. *Wie Ornithopter fliegen. Aerodynamik und Dynamik großer Schlagflügelmodelle*. (German) [*How Ornithopters fly. Aerodynamics and Dynamics of big-wing models*]. *Annalen der Physik*, 322(10):891–921, 1905.
- [3] Horst Rübiger. *How Ornithopters fly. Official website*
<http://www.ornithopter.de/english/handbook.htm>
- [4] Horst Rübiger. Orni1 Tool
http://www.ornithopter.de/english/data/orni1_en.xlsx
- [5] „RF Spectrum Analyzer - Made in Germany“, vartotojo vadovas.
<https://www.manualslib.com/manual/1009966/Pro-Skit-Mt-1232.html?page=3>
- [6] Arduino dokumentacija.
<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardProMini>
- [7] Horst Rübiger. *Skrydžio aerodinamikos schema*
http://www.ornithopter.de/english/images/handbook/vortex_k.gif
- [8] Breadboard (bandomoji lenta)
<http://robotechshop.com/wp-content/uploads/2016/01/bread-board.jpg>
- [9] Jumper wires.
http://media.rs-online.com/t_large/F7916454-01.jpg
- [10] Multimetras.
<https://www.walmart.com/ip/Innova-3300-Equus-3300-Hands-free-Digital-Multimeter/>