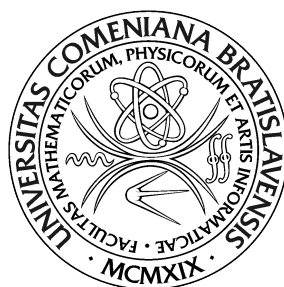


UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE  
FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY



RIADENIE MODELU KRÁČAJÚCEHO HMYZU  
DIPLOMOVÁ PRÁCA

201x  
BC. ADRIÁN PAVČO

UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE  
FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY

RIADENIE MODELU KRÁČAJÚCEHO HMYZU  
DIPLOMOVÁ PRÁCA

Študijný program: Aplikovaná informatika  
Študijný odbor: 2511 Aplikovaná informatika  
Školiace pracovisko: Katedra aplikovanej informatiky  
Školiteľ: RNDr. Andrej Lúčny, PhD.

Bratislava, 201x  
Bc. Adrián Pavčo



Univerzita Komenského v Bratislave  
Fakulta matematiky, fyziky a informatiky

## ZADANIE ZÁVEREČNEJ PRÁCE

**Meno a priezvisko študenta:** Bc. Adrián Pavčo  
**Študijný program:** aplikovaná informatika (Jednoodborové štúdium, magisterský II. st., denná forma)  
**Študijný odbor:** aplikovaná informatika  
**Typ záverečnej práce:** diplomová  
**Jazyk záverečnej práce:** slovenský  
**Sekundárny jazyk:** anglický

**Názov:** Riadenie modelu kráčajúceho hmyzu  
*Controlling Model of Walking Insect*

**Cieľ:** Cieľom práce je rozvíjať sčasti vyvinutý model kráčajúceho hmyzu. Model je vyvinutý v C# pod MRDS, ale je možné zvážiť jeho reimplementáciu v iných prostriedkoch, napr. v C++ a ODE. Každopádne treba ho najprv správne vyvážiť, aby ho príliš ťažký abdomen neprekacoval dozadu a doplniť o nejakú riadiacu architektúru (yarp alebo Agent-Space). A 'vytvoriť' v tom riadiaci systém, ktorý bude s modelom kráčať aspoň po rovine s možnosťou demonštrácie prechodu cez prekážku a krátku priepasť.

**Literatúra:** Cruse, H: Neural Networks as Cybernetic Systems (časti o kráčajúcom hmyze)  
dokumentácia k MRDS prípadne ODE  
články od Cruse-Schultz

**Kľúčové slová:** riadenie, kráčajúci hmyz, 3D modelovanie

**Vedúci:** RNDr. Andrej Lúčny, PhD.  
**Katedra:** FMFI.KAI - Katedra aplikovanej informatiky  
**Vedúci katedry:** prof. Ing. Igor Farkaš, Dr.  
**Dátum zadania:** 30.09.2016

**Dátum schválenia:** 14.10.2016  
prof. RNDr. Roman Ďurikovič, PhD.  
garant študijného programu

.....  
študent

.....  
vedúci práce

## Prehlásenie

Čestne prehlasujem, že som túto diplomovú prácu vypracoval samostatne a všetku použitú literatúru uvádzam v zozname.

V Bratislave, dňa xx.yy.zzzz

Bc. Adrián Pavčo: .....

## Podakovanie

Ďakujem vedúcemu práce RNDr. Andrejovi Lúčnemu, PhD. za odborné vedenie, ochotu a trpezlivosť.

## Abstrakt

Kľúčové slová: riadenie, kráčajúci hmyz, 3D modelovanie

# Abstract

**Keywords:** simulation, walking insect, 3D modeling

# Contents

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>1</b>
1.1	Ciele práce . . . . .	1
1.2	Členenie práce . . . . .	1
<b>2</b>	<b>Predchádzajúce riešenia</b>	<b>2</b>
2.1	Historické riešenia . . . . .	2
2.2	Východiskové riešenie . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Model mravca</b>	<b>6</b>
3.1	Možnosti získania 3D modelu . . . . .	6
3.2	Anatómia mravca . . . . .	8
3.3	Dedenie a úprava modelu . . . . .	11
3.3.1	Formáty modelov . . . . .	11
3.3.2	Konvertovanie modelu . . . . .	12
3.3.3	Skladanie modelu . . . . .	13
<b>4</b>	<b>Simulácia</b>	<b>18</b>
4.1	Výber nástrojov . . . . .	18
	<b>Záver</b>	<b>19</b>



# Chapter 1

## Úvod

### 1.1 Ciele práce

### 1.2 Členenie práce

# Chapter 2

## Predchádzajúce riešenia

Vedci a výskumníci sa dlhodobo snažia pochopiť tajomstvá prírody. Východiskom tejto práce je spektrum pokusov a riešení snažiacich sa o modelovanie živých organizmov, predovšetkým oblasť nášho záujmu - hmyzu. Pôvodne sme mali pokračovať v riešení z roku 2011, model chodiaceho mravca vytvoreného ako diplomová práca. Tiež sme sa opierali o riešenia ilustrujúce a demonštrujúce použitie nami zvolených nástrojov.

### 2.1 Historické riešenia

Existuje množstvo robotov a simulátorov, ktoré úspešne demonštrujú princípy kráčania hmyzu, my si priblížime tie najdôležitejšie z nich. Na internete sa nachádza zoznam popisujúci aj ďalšie kráčajúce roboty [lis].

Jedným z prvých takých robotov bol robot GENGHIS (obr. 2.1), vytvorený v roku 1989 na Massachusetts Institute of Technology. Jeho tvorcom bol Rodney Brooks. GENGHIS mal telo a šesť paličkových nôh, ktorých pohyb bol zabezpečovaný dvanásťmi servomotormi. Robot nemal žiadnu formu komplexného centrálného riadenia, o to sa staralo päťdesiatjeden medzi sebou komunikujúcich konečno-stavových automatov, zaradených do vrstiev riadenia na báze subsumpčnej architektúry. Každá jeho noha obsahovala senzory, ktorých odozva pomáhala meniť aktívne vrstvy riadenia. Takto riadený robot dokázal chodiť, vedel prekonávať prekážky v jeho trase a tiež nasledovať ľudí [Bro89, gen]. GENGHIS bol de facto predkom riešení modelovania kráčajúceho hmyzu, ktoré sa následne postupne začali vytvárať aj v ďalších inštitúciách vo svete.

O dva roky neskôr boli na MIT vytvorení jeho dvaja nasledovníci, Attila a Hannibal, ktorí ho vo viacerých aspektoch vylepšili. Ich nožičky sa skladali z viacerých článkov, mali lepší hardvér a viac senzorických vstupov. Zaujímavosťou je, že táto dvojica robotov sa medzi sebou odlišovala iba farbou [han]. Robot Hannibal bol pozvaný na testovanie do Death Valley, ktorého terén je podobný Marsu (obr. 2.2).



Figure 2.1: Robot GENGHIS, jeho autorom je Rodney Brooks [Bro89].



Figure 2.2: Robot Hannibal sa pohybuje v teréne v Death Valley [han].

MIT vytvorila tiež simulácie kráčajúceho hmyzu Cockroach Simulation [coc] a Hexapod Simulation [hea].

V tejto oblasti sa špecializuje aj Univerzita Bielefeld, kde pracujú Josef Schmitz a Holk Cruse. Primárnym cieľom ich výskumu je riadenie kráčania hmyzu pomocou neurónových sietí, ktoré sú trénované na biologických dátach kráčajúcej pakobyľky. Vytvorili riadiacu neurónovú sieť WalkNet, zloženú z rôznych podsietí. Relevantnú časť pohybu zabezpečujú dve podsiete, jedna zabezpečuje vykonanie fázy swing a druhá fázy stance. Fáza swing je zdvihnutie nohy zo zadnej hraničnej pozície, jej pohyb vo vzduchu k prednej hraničnej pozícii a dotknutie sa zeme. Fáza stance je pohyb z prednej hraničnej pozície dotýkajúc sa zeme k zadnej hraničnej pozícii, vďaka čomu sa hýbe telo simulovaného organizmu [CS05, Sch07]. WalkNet bol použitý na riadenie modelu pakobyľky vo virtuálnom simulátore (obr. 2.3 vľavo) a aj k riadeniu nimi vytvoreného robota Tarry IIB (obr. 2.3 vpravo) [SHSC13].

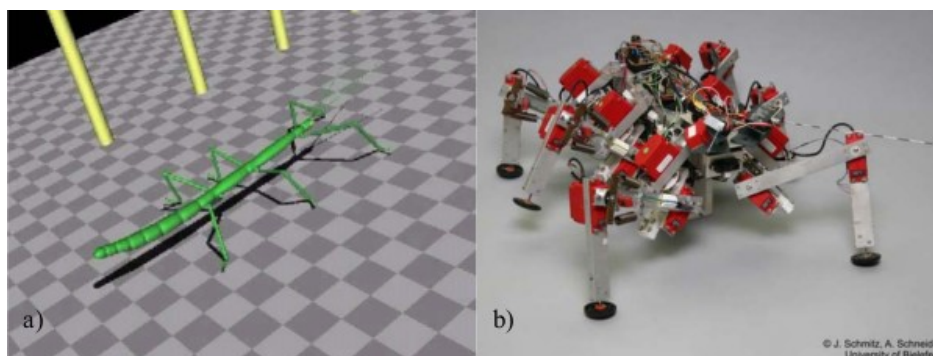


Figure 2.3: Simulátor pakobylky riadenej pomocou neurónovej siete WalkNet(vľavo) [Sch07], robot Tarry IIB, tiež riadený pomocou WalkNet(vpravo) [SHSC13].

Z úsilia tejto univerzity vzišiel v roku 2011 robot HECTOR (Hexapod Cognitive autonomously Operating Robot) (obr. 2.4). Jeho riadenie pracuje podľa princípov distribuovanej inteligencie mozgu hmyzu. Kostra robota je vytvorená z CFRP(carbon fibre reinforced polymer), vďaka čomu je tuhý a zároveň ľahký. Má 18 kĺbov, množstvo senzorov a kamier [SPSS14, hec].

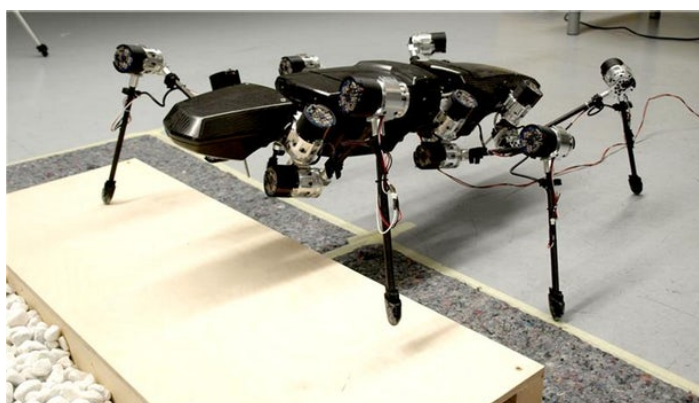


Figure 2.4: Robot HECTOR sa snaží prekonať prekážku [hec].

Skúmaniu pohybu mravcov sa venoval aj Christoph Zollikofer z Univerzity v Zürichu. Ako svoj postup si vybral pozorovanie plochy na chodenie pomocou kamery s vysokým FPS (frame rate per second). Mravce sa pohybovali po plátoch zadymeného skla, čím vytvárali referenčné body skúmaného kráčania. Po každom kompletnom prechode sa pláty vymenili za ďalšie. Mravce neboli v pohybe obmedzované, mohli zastaviť alebo meniť smer. Po testovaní chôdze sa mravce usmrtili, zistila sa ich hmotnosť s presnosťou na desatinu miligramu a pozícia ťažiska ich tela. Výskum bol porovnávacieho charakteru a boli pri ňom použité rôzne druhy mravcov [Zol94].

## 2.2 Východiskové riešenie

V roku 2011 vytvoril Andrej Riška virtuálny simulátor pre modelovanie správania mravca. Jeho simulátor mravca ako jeden z mála spájal model organizmu so skutočnými biologickými dátami organizmu. Jeho model bol získaný pomocou stereoskopie [ste]. Ako nástroj riešenia si vybral MRDS (Microsoft Robotics Developer Studio) [mrd], čo v tom čase bolo jedno z mála podporovaných voľne distribuovaných vývojových prostredí vhodných na prácu s reálnymi a simulovanými robotmi. MRDS používal programy napísané v C# a na zrealizovanie simulácií fyzikálny engine AGEIA PhysX.

Začal úpravami získaného 3D modelu mravca a priradil mu fyzikálny model (obr. 2.5), ktorý bolo potrebné vypočítať podľa jednotlivých anatomických častí. Následne implementoval rozhranie, ktoré dovoľovalo riadenie modelu. Na overenie správnosti do tohto riešenia zakomponoval multiagentový systém a spravil dva experimenty. Prvý dokazoval správnu spoluprácu fyzikálneho enginu s vytvoreným modelom a druhý implementoval riadenie pomocou dvoch agentov komunikujúcich medzi sebou a rozhraním pomocou nepriamej komunikácie s prvkami subsumpcnej architektúry [Ris11].

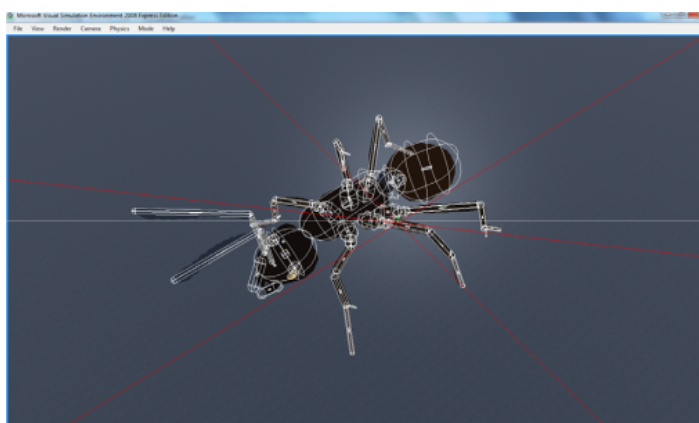


Figure 2.5: Spojenie fyzikálneho modelu s vizuálnym v zdedenom riešení [Ris11].

V tom čase bolo jeho riešenie pripravené na ďalšie rozvíjanie, napríklad ladenie správania alebo pridávanie senzorických vstupov. MRDS však od roku 2012 nebolo aktualizované a v roku 2014 Microsoft pozastavil činnosť jeho robotической skupiny [lay]. Projekt tak stratil podporu a následne aj komunitu. Nahradili ho modernejšie a robustnejšie nástroje. Preto sme si aj my na začiatku našej práce museli vybrať iné prostriedky, než s akými sa predpokladalo. O zvolených nástrojoch píšeme ďalej v texte práce. Riškove riešenie je dobrým priblížením problematiky, teórie a ako náčrt možného postupu. 3D model, s ktorým pracoval sa po rôznych úpravách použil aj v našej práci.

# Chapter 3

## Model mravca

V tejto kapitole si priblížime rôzne spôsoby získavania 3D modelov živých organizmov, opíšeme anatóniu mravca a ukážeme ako sme postupovali v úpravách zdedeného modelu, aby bol pripravený na simuláciu.

### 3.1 Možnosti získania 3D modelu

Existujú dve skupiny prístupov k získaniu 3D modelu živého organizmu, ktorého správanie chceme modelovať:

- deštruktívne metódy
- nedeštruktívne metódy

Pri deštruktívnych metódach sme pri veľkosti skúmaných organizmov obmedzený limitmi použitej techniky. Vo všeobecnosti je maximálne 50x50mm. Ide o veľmi tenké rezy, hrúbka rezu je v desatinách mikrometra a preto je táto metóda vhodná pre malé organizmy. Postupuje sa spravidla v týchto krokoch:

- usmrtenie organizmu
- zaliatie tela do látky
- narezanie na plátky pomocou mikrореzačky
- umiestnenie plátok na podložné sklíčka a skenovanie pomocou mikroskopického skeneru
- transformácia dát zo skenovania na 3D model tela skúmaného organizmu

Po usmrtení jedinca sa telo zafixuje a zaleje priesvitnou látkou, zvyčajne to býva parafín. Látka následne stuhne a spevní telo, vďaka čomu je možné narezať ho. Tiež tým posilníme spoje medzi trupom a končatinami. Na rezanie sa používajú dva druhy mikrореzačiek, odlišujúce sa v použitom rezacom nástroji [mic]:

- Kontaktné mikrореzačky - rezanie pomocou noža. Existuje viac druhov podľa umiestnenia noža a spôsobu rezu. Narezané plátky môžu byť veľmi úzke, od niekoľko desiatín mikrometra. Niekedy však dochádza k nalepeniu plátku na nôž a jeho znehodnoteniu.
- Bezkontaktné mikrореzačky - rezanie pomocou laseru. Lúč je zaostrený do hrúbky od jedného mikrometra a o túto hrúbku sa vždy telo zmenší kvôli odpareniu časti pri reze. Takto sa získavajú plátky od hrúbky sedem mikrometrov.

Narezané plátky sú umiestnené na podkladové mikroskopické sklíčka a naskenované pomocou mikroskopu so skenerom [sca]. Po naskenovaní všetkých častí sa zo získaných obrázkov vytvorí 3D model, používa sa pritom špeciálny softvér, napríklad 3D Slicer [sli].

Takto sa dá získať nielen model vonkajšej stavby skúmaného organizmu, ale aj vnútornej. Výhodou získaných modelov je veľká presnosť, nevýhodou tohto prístupu je náročnosť na techniku a prácu. Podobným spôsobom sa získal 3D model embrya myši a jeho vývoj v čase, vrátane vnútorných orgánov [Đu98].

Nedeštruktívne metódy neusmrcujú a sú vo všeobecnosti menej zložité na techniku a prácu. Je pri nich dôležitá fixácia tela, pri pohybe dostaneme skreslené výsledky. Sú to tieto:

- Computer Tomography (CT) - obrázky sa získavajú za pomoci röntgenových lúčov. Rezy majú hrúbku minimálne jeden milimeter, vytvorí sa z nich 3D model za pomoci softvéru [xra]. Nie je vhodné pre príliš malé organizmy.
- Magnetic Resonance Imaging (MRI) - obrázky sa získavajú za pomoci magnetického poľa. Rezy majú hrúbku minimálne jedna milimetre, vytvorí sa z nich 3D model za pomoci softvéru [mri]. Nie je vhodné pre príliš malé organizmy.
- Rôzne skenovacie lasery s vlastným softvérom [3ds].
- Získanie modelu zo série fotografií z rôznych pohľadov a uhlov s použitím špeciálneho softvéru [dig]. Výsledky sú menej presné ako iné metódy.



## 3.2 Anatómia mravca

V tejto kapitole popíšeme základnú vonkajšiu anatomickú stavbu mravca. Vnútornej stavbe mravca sa nebudeme venovať, k nášmu modelu a simulovaniu ju nepotrebujeme. Je náročné získať anatomické údaje organizmov iných ako človeka, aj vo špecializovanej odbornej literatúre sa často uvádzajú iba názvy a počty končatín a článkov. Nás zaujímajú hlavne tvary končatín, ich kĺbov a rozsah ohybov kĺbov. Na popis mravca budeme používať anglické názvoslovie, keďže väčšina informácií ohľadom skúmanej oblasti je dostupná práve v tomto jazyku.

Nasledovné popisy a názvoslovie boli prebraté zo zdrojov [anaa, anab]. Stredom tela mravca je jeho trup(Thorax). Na ten sú napojené končatiny a dve ďalšie hlavné časti mravca, ktorými sú hlava(Head) a zadná časť mravca(Abdomen) (obr č. 3.1). Končatiny, hlava a zadná časť sa skladajú z viacerých častí.

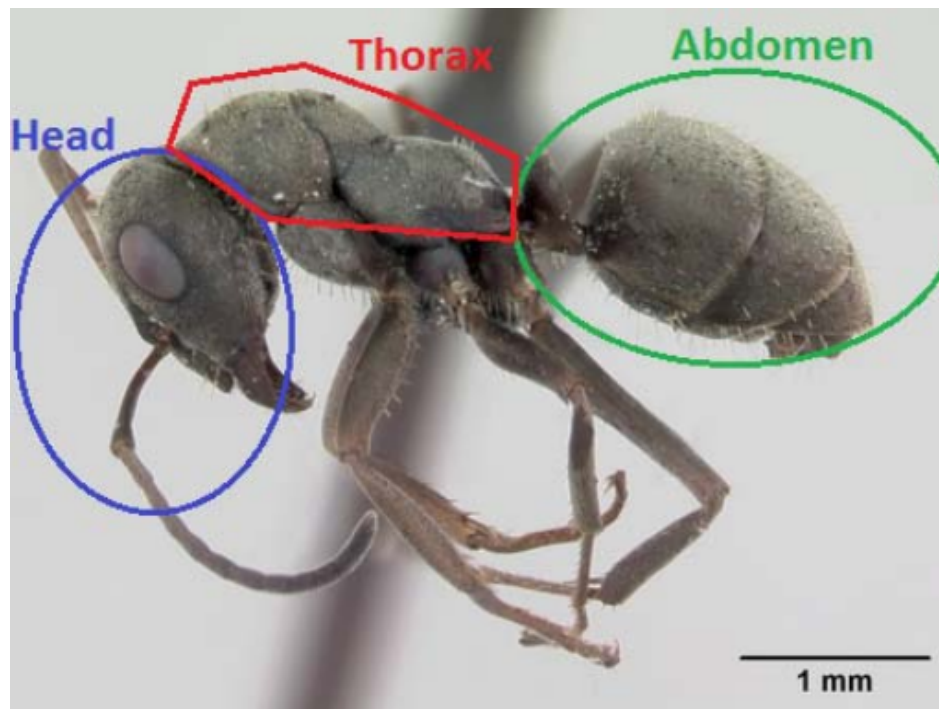


Figure 3.1: Základné časti mravca – hlava(modrá), trup(červená), zadná časť(zelená) [enc].

Zadná časť mravca sa delí na Propodeum a Metasomu. Propodeum spája zadnú časť s trupom. Metasoma sa delí na driekovú časť, ktorá obsahuje Petiole a Node a bruško(Gaster) (obr č. 3.2). Gaster obsahuje orgány ako srdce a žalúdok. Niektoré druhy mravcom ho majú ukončený žihadlom.



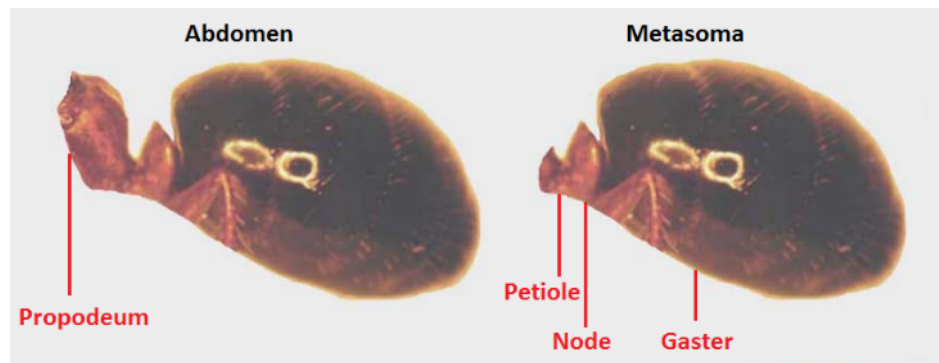


Figure 3.2: Zadná časť mravca. V ľavej časti sa nachádza celý Abdomen - spolu s Propodeum. Vpravo je zadná časť bez časti Propodeum, teda Metasoma, ktorá sa skladá z časti Petiole, Node a Gaster [anaaa].

Hlava mravca sa skladá z niekoľkých častí (obr č. 3.3). Dôležitou výbavou mravca sú hryzadlá(Mandible). Pomocou nich mravec hryzie, drví, reže a bojuje. Na hlave nachádzajú aj zložené oči(Eye). Rôzne druhy mravcov majú rozdielne veľkosti očí, no niektoré druhy sú aj slepé. Vtedy využívajú tri hlavové bodky(Ocellus), ktoré sú citlivé na svetelné vnemy. Súčasťou mravčej hlavy sú dve tykadlá(Antennae), nimi môže mravec hýbať a ochutnávať a tak skúmať svoje okolie. Tykadlá sú umiestnené v jamkách(Scape bed) a skladajú sa zo základu tykadla(Scape) a článku(Flagellum). Flagellum niekedy býva zakončený tretím článkom(Club).

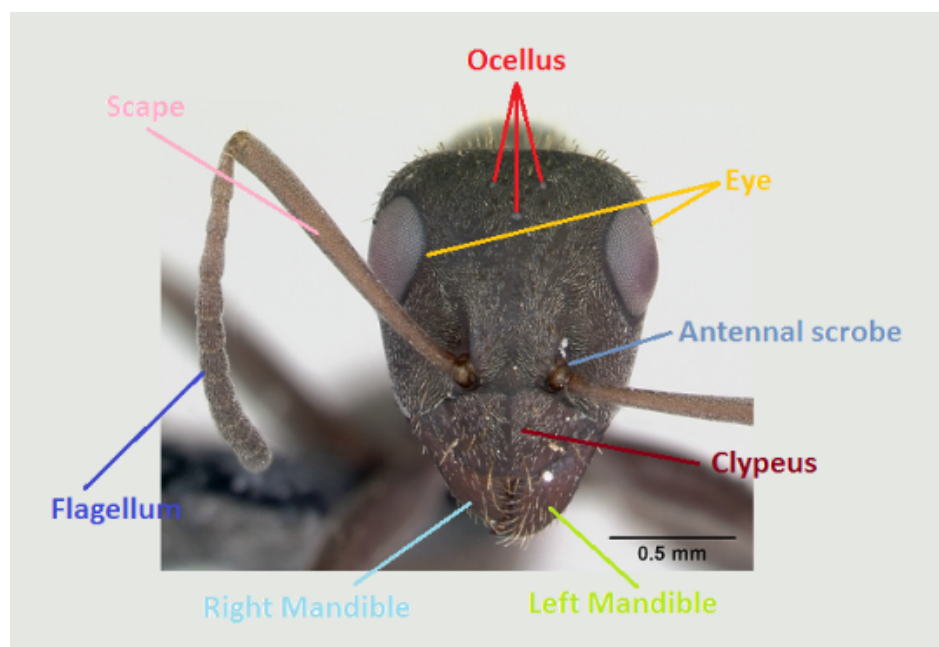


Figure 3.3: Jednotlivé časti hlavy mravca s popisom a umiestnením jednotlivých častí [enc].

Končatiny - nohy mravca nás zaujímajú najviac, keďže sa snažíme o simulovanie chôdze. Je ich šesť, skladajú sa z piatich častí v poradí od trupu k zemi: Cox, Trochanter, Femur, Tibia, Tarsus. Tarsus sa môže rozdeliť na Tarsus a Pre-tarsus (obr č. 3.4). Zadné nohy zvyknú bývať zakončené háčikmi.

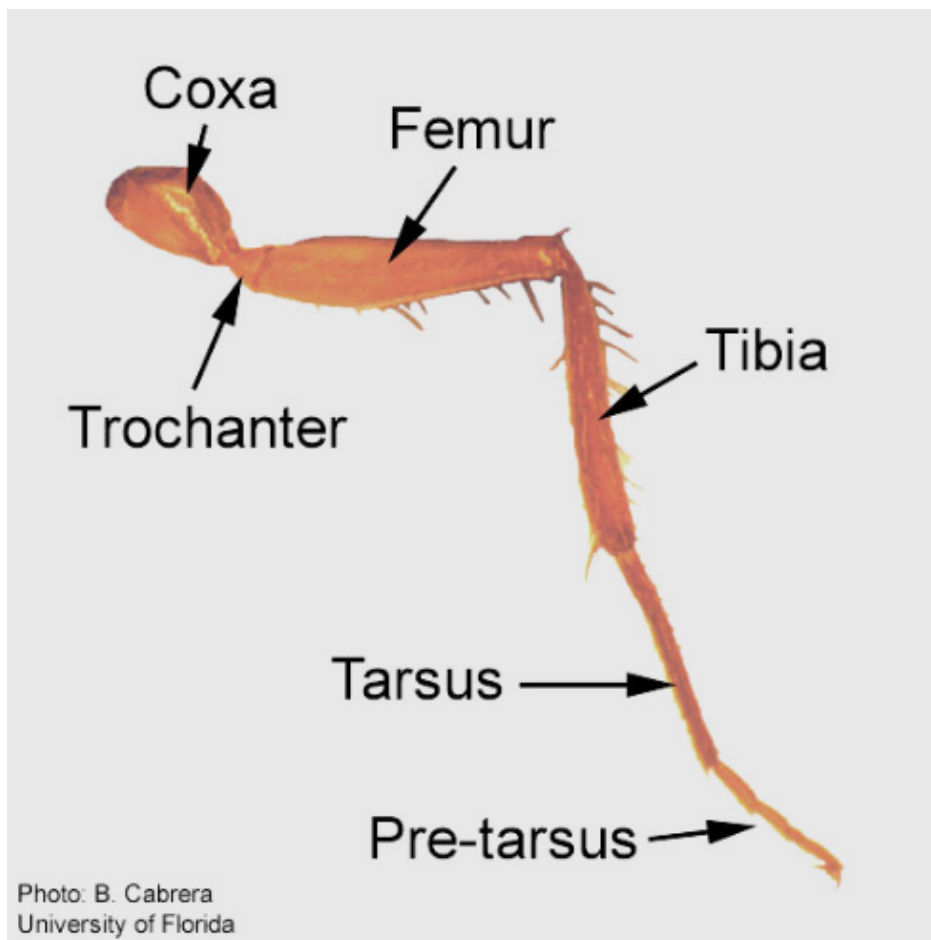


Figure 3.4: Stavba nohy mravca, Coxa sa pripája k trupu a časť Pre-tarsus sa dotýka so zemou [anaa].

Nasledovný obrázok (obr č. 3.5) popisuje možné roviny ohybu kĺbov všeobecne(vľavo) a končatiny pakobylky(vpravo) [Sch07].

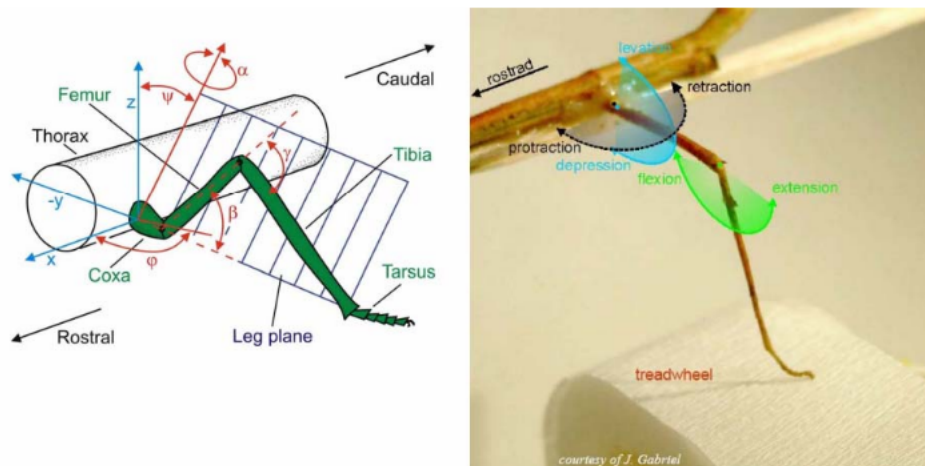


Figure 3.5: Možnosti otáčania jednotlivých kĺbov vo všeobecnom prípade (vľavo) a v prípade končatiny pakobylky(vpravo) [Sch07].

### 3.3 Dedenie a úprava modelu

#### 3.3.1 Formáty modelov

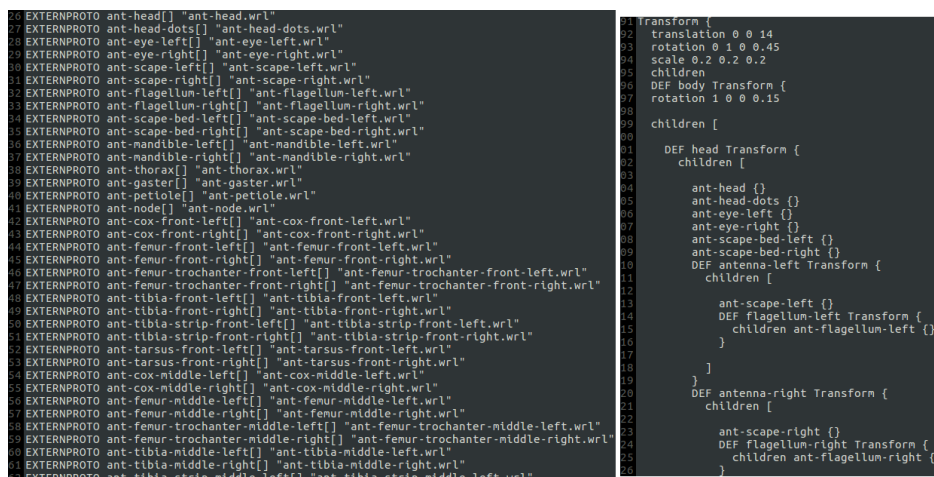
Model mravca sme zdedili v dvoch formátoch, OBJ [obj] a VRML2 [vrml]. Tento model bol získaný metódou stereoskopie. V obidvoch prípadoch šlo spolu o 52 súborov jednotlivých častí mravca. Nato aby sme súbory mohli použiť na simuláciu v gazebo, je potrebné aby sdf [sdf] model dostal súbory v niektorom z týchto formátov:

- OBJ (.obj)
- COLLADA (.dae), COLLABorative Design Activity [dae]
- STL (.stl), skratka stereolithography [stl]

Pri otvorení obj súborov sme ale hneď zistili, že všetky sú vycentrované na začiatok globálnych súradníc a tým pádom z nich nevieme zistiť informáciu o pozícii údov vzhľadom k telu mravca a samotné skladanie modelu by bola nepomerne náročnejšie. Pri modeli vo VRML2 sme sa najskôr presvedčili pomocou nástroja FreeWRL [fre], že zdedený model je korektný. Pri importovaní hlavného súboru ant.wrl sa naozaj zobrazil model mravca. Začali sme sa tak pokúšať skonvertovať nejakým spôsobom model vo formáte VRML2 do nami použiteľného formátu.

### 3.3.2 Konvertovanie modelu

Model mravca vo formáte VRML2 sa skladal z 52 wrl súborov údov a hlavného súboru ant.wrl, ktorý sa na tieto súbory odvolával a spájal ich do hierarchie (obr č. 3.6). Pokúšali sme sa konvertovať tieto súbory cez rôzne online nástroje, meshconv [mes],



```

26 EXTERNPROTO ant-head[] "ant-head.wrl"
27 EXTERNPROTO ant-head-dots[] "ant-head-dots.wrl"
28 EXTERNPROTO ant-eye-left[] "ant-eye-left.wrl"
29 EXTERNPROTO ant-eye-right[] "ant-eye-right.wrl"
30 EXTERNPROTO ant-scape-left[] "ant-scape-left.wrl"
31 EXTERNPROTO ant-scape-right[] "ant-scape-right.wrl"
32 EXTERNPROTO ant-flagellum-left[] "ant-flagellum-left.wrl"
33 EXTERNPROTO ant-flagellum-right[] "ant-flagellum-right.wrl"
34 EXTERNPROTO ant-scape-bed-left[] "ant-scape-bed-left.wrl"
35 EXTERNPROTO ant-scape-bed-right[] "ant-scape-bed-right.wrl"
36 EXTERNPROTO ant-mandible-left[] "ant-mandible-left.wrl"
37 EXTERNPROTO ant-mandible-right[] "ant-mandible-right.wrl"
38 EXTERNPROTO ant-thorax[] "ant-thorax.wrl"
39 EXTERNPROTO ant-gaster[] "ant-gaster.wrl"
40 EXTERNPROTO ant-petiole[] "ant-petiole.wrl"
41 EXTERNPROTO ant-node[] "ant-node.wrl"
42 EXTERNPROTO ant-cox-front-left[] "ant-cox-front-left.wrl"
43 EXTERNPROTO ant-cox-front-right[] "ant-cox-front-right.wrl"
44 EXTERNPROTO ant-femur-front-left[] "ant-femur-front-left.wrl"
45 EXTERNPROTO ant-femur-front-right[] "ant-femur-front-right.wrl"
46 EXTERNPROTO ant-femur-trochanter-front-left[] "ant-femur-trochanter-front-left.wrl"
47 EXTERNPROTO ant-femur-trochanter-front-right[] "ant-femur-trochanter-front-right.wrl"
48 EXTERNPROTO ant-tibia-front-left[] "ant-tibia-front-left.wrl"
49 EXTERNPROTO ant-tibia-front-right[] "ant-tibia-front-right.wrl"
50 EXTERNPROTO ant-tibia-strip-front-left[] "ant-tibia-strip-front-left.wrl"
51 EXTERNPROTO ant-tibia-strip-front-right[] "ant-tibia-strip-front-right.wrl"
52 EXTERNPROTO ant-tarsus-front-left[] "ant-tarsus-front-left.wrl"
53 EXTERNPROTO ant-tarsus-front-right[] "ant-tarsus-front-right.wrl"
54 EXTERNPROTO ant-cox-middle-left[] "ant-cox-middle-left.wrl"
55 EXTERNPROTO ant-cox-middle-right[] "ant-cox-middle-right.wrl"
56 EXTERNPROTO ant-femur-middle-left[] "ant-femur-middle-left.wrl"
57 EXTERNPROTO ant-femur-middle-right[] "ant-femur-middle-right.wrl"
58 EXTERNPROTO ant-femur-trochanter-middle-left[] "ant-femur-trochanter-middle-left.wrl"
59 EXTERNPROTO ant-femur-trochanter-middle-right[] "ant-femur-trochanter-middle-right.wrl"
60 EXTERNPROTO ant-tibia-middle-left[] "ant-tibia-middle-left.wrl"
61 EXTERNPROTO ant-tibia-middle-right[] "ant-tibia-middle-right.wrl"
62 EXTERNPROTO ant-tibia-strip-middle-left[] "ant-tibia-strip-middle-left.wrl"
63 EXTERNPROTO ant-tibia-strip-middle-right[] "ant-tibia-strip-middle-right.wrl"

DEF body Transform {
  translation 0 0 14
  rotation 0 1 0 0.45
  scale 0.2 0.2 0.2
  children
  DEF head Transform {
    rotation 1 0 0 0.15
    children [
      ant-head {
        ant-head-dots {}
        ant-eye-left {}
        ant-eye-right {}
        ant-scape-bed-left {}
        ant-scape-bed-right {}
        DEF antenna-left Transform {
          children [
            ant-scape-left {}
            DEF flagellum-left Transform {
              children ant-flagellum-left {}
            }
          ]
        }
        DEF antenna-right Transform {
          children [
            ant-scape-right {}
            DEF flagellum-right Transform {
              children ant-flagellum-right {}
            }
          ]
        }
      ]
    ]
  }
}

```

Figure 3.6: Odvolávanie sa na wrl súbory údov(vľavo) a hierarchia údov(vpravo) v hlavnom ant.wrl súbore. [Ris11]

simtrans [sim]. Tiež sme sa pokúšali o import do Blenderu [ble], Meshlabu [mes], CAD nástrojov. Nič zo spomenutého nefungovalo podľa našich predstáv. Neskôr sme narazili na nástroj VrmMerge [vrm], za pomoci ktorého bolo možné jednotlivé údy skonvertovať do formátu X3D [x3d]. Tie nebolo problém importovať do Blenderu a následne ich exportovať ako COLLADA alebo STL súbory. Dôležité pri tom bolo, že zostali zachované údaje o ich globálnej pozícii. Údaje o hierarchii údov z hlavného wrl súboru boli ale stratené. Keď sme všetky výsledné súbory importovali do Blenderu, vznikol nám korektný model mravca (obr č. 3.7).

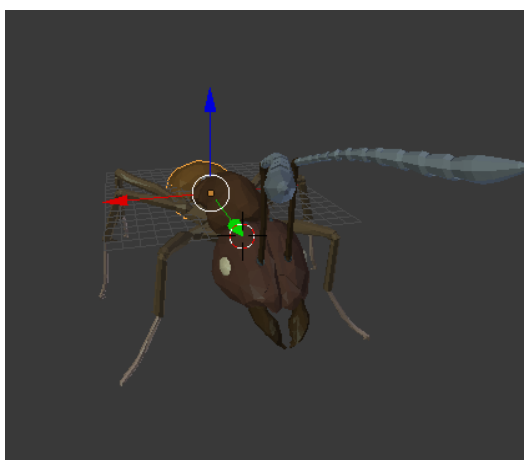


Figure 3.7: Poskladaný ant.blend z COLLADA súborov

### 3.3.3 Skladanie modelu

Gazebo simulátor môže vo svojich simuláciách používať modely v týchto formátoch:

- SDF
- URDF [urd]

SDF formát bol vyvinutý ako súčasť Gazebo, používanie SDF v Gazebo je preto priamočiarejší a odporúčaný postup. Je to stabilný a robustný XML formát popisujúci objekty a prostredie simulácií robotov [sdfc]. Model definovaný v SDF je kolekciou týchto častí [sdfb]:

- linky - fyzické časti modelu, obsahujú hlavne visual, collision a inertial dáta
- jointy - rôzne spoje medzi linkami modelu
- pluginy - knižnice slúžiace na riadenie modelu

Všeobecný postup ako sa postupuje pri tvorbe SDF modelu [sdfb]:

1. pridanie linku
2. pridanie collision elementu danému linku
3. pridanie visual elementu danému linku
4. pridanie inertial vlastností danému linku
5. opakovanie tohto postupu pre všetky linky modelu
6. pridanie jointov, ak existujú
7. pridanie pluginov, ak existujú

Model mravca vytvárame podľa tohto postupu, postupne pridávame linky údov mravca, dávame im referencie na visual a collision COLLADA súbory. Začínáme od trupu mravca (obr č. 3.8), správnosť postupu kontrolujeme importovaním modelu do Gazebo GUI (obr č. 3.9). Aby bol model použiteľný, musí byť v adresári modelu na úrovni SDF súboru modelu aj config súbor, ktorý opisuje model, autora, použitú verziu SDF.

Týmto spôsobom postupne pridáme všetky linky údov mravca. Vznikne niekoľko storiadkový súbor popisujúci všetky údy mravca. Zatiaľ sú to ale žiadnym spôsobom nespojené linky, ktorým sme priradili visual a collision súbory. Taktiež im chýbajú inertial dáta.

```

1 <?xml version="1.0" ?>
2 <sdf version="1.6">
3   <model name="ant">
4     <static>false</static>
5     <pose>0 0 4 0 0 0</pose>
6
7     <link name="ant_thorax">
8       <gravity>0</gravity>
9       <collision name="ant_thorax_collision">
10        <geometry>
11          <mesh>
12            <uri>model://ant/meshes/ant-thorax.dae</uri>
13          </mesh>
14        </geometry>
15      </collision>
16      <visual name="ant_thorax_visual">
17        <geometry>
18          <mesh>
19            <uri>model://ant/meshes/ant-thorax.dae</uri>
20          </mesh>
21        </geometry>
22      </visual>
23    </link>
24
25  </model>
26 </sdf>
27

```

Figure 3.8: Pridanie thorax linku do SDF.

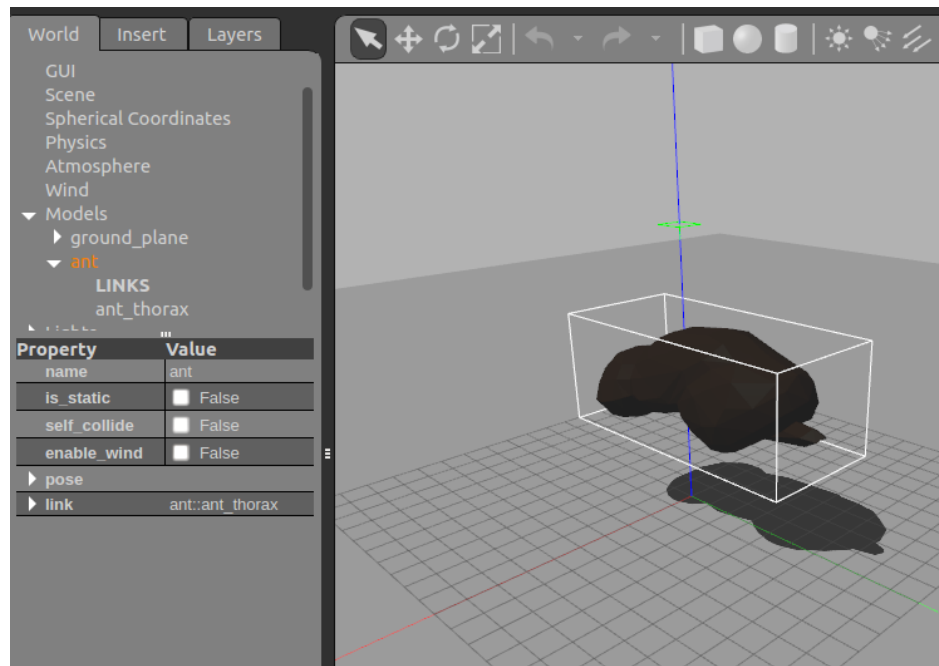


Figure 3.9: Importovanie thorax modelu do Gazebo GUI.

Ďalej je potrebné vytvoriť hierarchiu medzi linkami. SDF spája linky týmito typmi jointov [sdfd]: revolute, gearbox, revolute2, prismatic, ball, screw, universal, fixed. Medzi všetky linky okrem trupu(thorax) a 6 počiatočných častí nôh(cox) použijeme fixed joint. Tak medzi nimi spravíme pevný spoj. Trup a nožičky spojíme revolute jointom (obr č. 3.10).

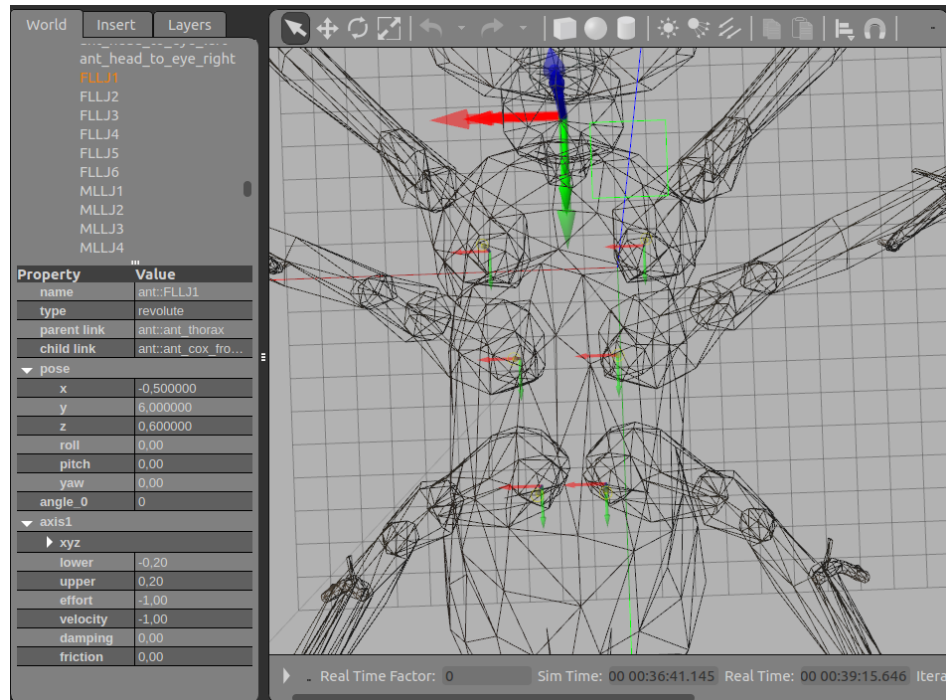


Figure 3.10: V iditeľné revolute jointy spájajúce trup s nohami.

Linky tak máme pospájané, zostáva nám priradiť im inertial dáta. Sú to tieto: hmotnosť, pozícia ťažiska a matica zotrvačnosti [sdfa]. K exaktným dátam o hmotnosti jednotlivých údov sme sa nedostali, spravíme odhad. Pozíciu ťažiska a maticu zotrvačnosti získame cez online nástroj Mesh Cleaner [mesb] (obr č. 3.11), ktorému odovzdáme súbor údu. Toto spravíme pre všetkých 52 súborov.

Mesh Cleaner akceptuje len vodotesné 3D súbory. Náš model obsahoval niekoľko súborov, ktoré také neboli. Museli sme ich preto opraviť za pomoci Blenderu a Meshlabu [mesa]. Takým bol napríklad súbor tykadla (obr č. 3.12). Na zaplátanie diery v 3D súbore sme použili voľne dostupné rozšírenie Blenderu zvané 3D Print Toolbox [3dp], konkrétne jeho funkciu make manifold. Aj tu sa ale vyskytli ďalšie problémy. Niektoré zo súborov obsahovali vnútorné plochy – interior faces. Tieto sme museli manuálne odstrániť v Meshlabe (obr č. 3.13).

Po pridaní inertial dát všetkým linkom je model pripravený na simuláciu (obr č. 3.14).

## Mesh Cleaner

In case everything went well, you should see the volume of the mesh, its center of mass and inertia matrix.

```

<inertial>
  <!-- Volume: 4.9808180000e+01 -->
  <mass> 30.0 </mass>

  <!-- Center of mass: -1.0832000000e-04  1.1374692380e+01  3.4271000000e-03 -->
  <pose> -1.0832000000e-04  1.1374692380e+01  3.4271000000e-03  0 0 0 </pose>

  <!-- Inertia matrix -->
  <inertia>
    <ixx> 6.1372709332e+01 </ixx>
    <ixy> -2.4209532812e-02 </ixy>
    <ixz> -2.7104785800e-04 </ixz>
    <iyy> 6.3649281062e+01 </iyy>
    <iyz> 7.1256139380e+00 </iyz>
    <izz> 8.1137643143e+01 </izz>
  </inertia>
</inertial>
  
```

Mass:  Update

Figure 3.11: Nástroj Mesh Cleaner počíta inertial dáta konkrétneho 3D súboru [mesb].

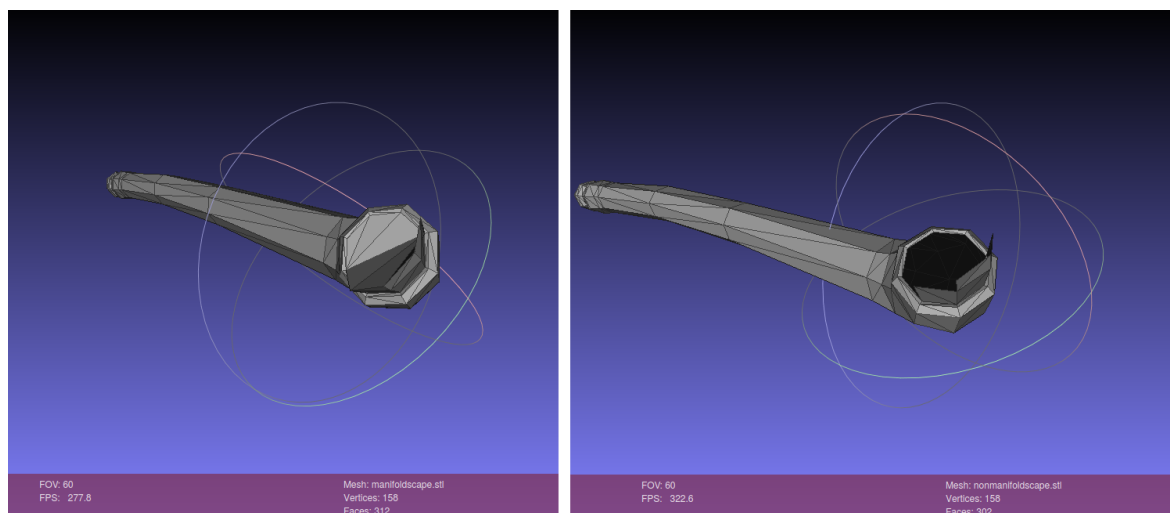


Figure 3.12: Nevodotesné tykadlo pred(vľavo) a po zaplátaní(vpravo) v Meshlab.



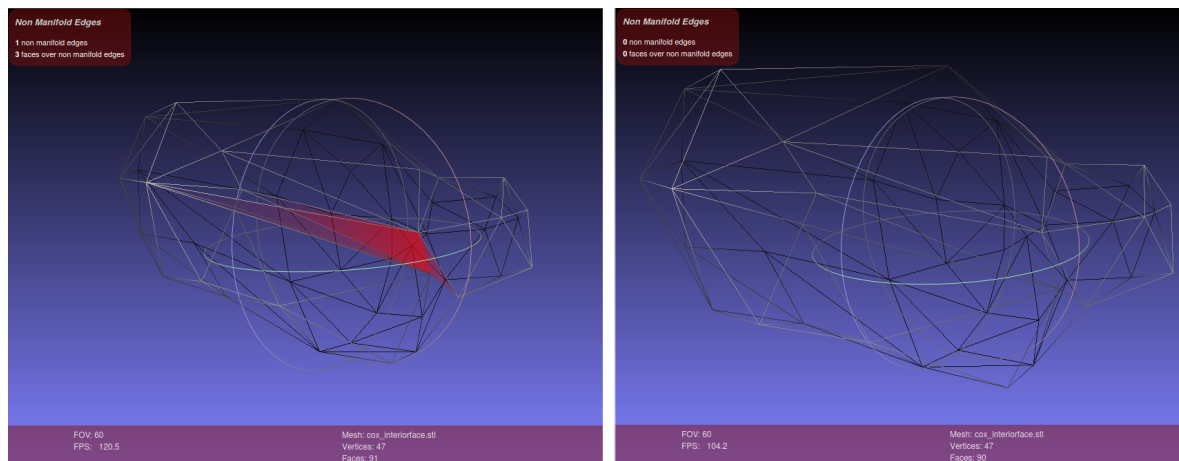


Figure 3.13: Odstránenie vnútornej tváre v 3D súbore v Meshlabe, pred(vľavo) a po(vpravo).

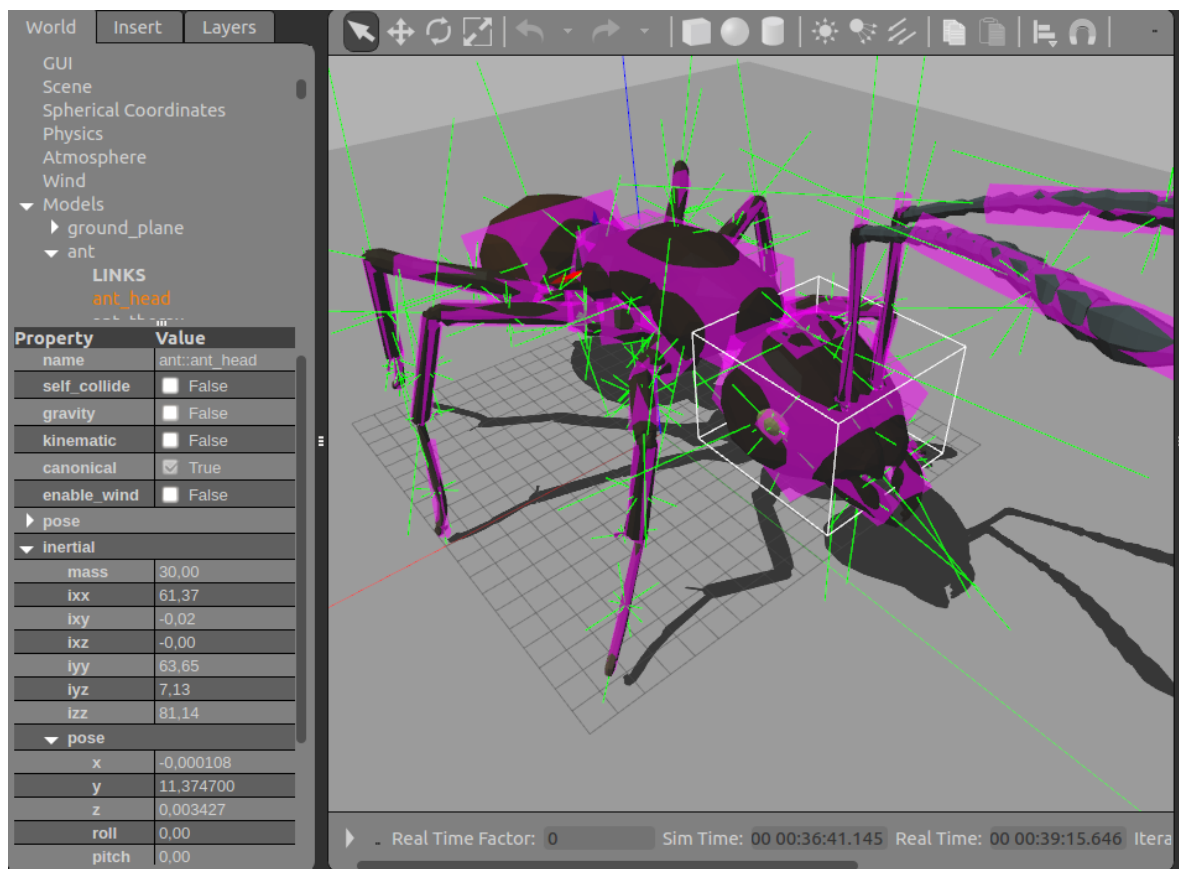


Figure 3.14: Mode s kompletnými dátami zobrazený v Gazebo je pripravený na simuláciu. Sú zobrazené inertial dáta a ťažiská linkov.

## Chapter 4

### Simulácia

#### 4.1 Výber nástrojov

# Záver

# Bibliography

- [3dp] 3D Print Toolbox nástroj. <https://github.com/caretdashcaret/MeshRepairFor3DPrinting>. Navštívené: 17. december 2018.
- [3ds] 3D Scanner, wikipedia. [http://en.wikipedia.org/wiki/3D\\_scanner](http://en.wikipedia.org/wiki/3D_scanner). Navštívené: 17. december 2018.
- [anaa] Ant anatomy. <https://flrec.ifas.ufl.edu/media/flrecifasufledu/pdfs/pestants/AntAnatomy.pdf>. Navštívené: 17. december 2018.
- [anab] Ant anatomy, ask a biologist. <https://askabiologist.asu.edu/explore/ant-anatomy>. Navštívené: 17. december 2018.
- [ble] Blender nástroj. <https://www.blender.org/>. Navštívené: 17. december 2018.
- [Bro89] Rodney Brooks. A robot that walks; emergent behaviors from a carefully evolved network. *Neural Computation*, 1(2):253–262, 1989.
- [coc] Cockroach Simulation, MIT. <http://www.ai.mit.edu/projects/leglab/simulations/cockroach/cockroach.html>. Navštívené: 17. december 2018.
- [CS05] Holk Cruse and Malte Schilling. *First order and second order embodiment – robots with the ability to plan ahead*. Biefeld University, 2005.
- [dae] COLLADA formát. <https://en.wikipedia.org/wiki/COLLADA>. Navštívené: 17. december 2018.
- [dig] DigiCad 3D – photogrammetry, mapping, architectural surveys. <http://en.interstudio.net/products/digicad-3d-photogrammetry-architectural-survey>. Navštívené: 17. december 2018.
- [enc] Formica cinerea Mayr, 1853 - Encyclopedia of Life. <http://www.eol.org/pages/400890>. Navštívené: 17. december 2018.

- [fre] FreeWRL nástroj. <http://freewrl.sourceforge.net/>. Navštívené: 17. december 2018.
- [gen] A finite state machine robot (Brooks' Genghis). <https://www.mtholyoke.edu/courses/pdobosh/cs100/handouts/genghis.pdf>. Navštívené: 17. december 2018.
- [han] Retired robots - Hannibal and Attila. <http://www.ai.mit.edu/projects/hannibal/>. Navštívené: 17. december 2018.
- [hea] Hexapod Simulation, MIT. <http://www.ai.mit.edu/projects/leglab/simulations/hexapod/hexapod.html>. Navštívené: 17. december 2018.
- [hec] HECTOR demonstration video. <https://www.youtube.com/watch?v=9pbqSrXLKGI>. Navštívené: 17. december 2018.
- [lay] Microsoft lays off Robotics team. [https://www.roboticsbusinessreview.com/research/microsoft\\_lays\\_off\\_robotics\\_team/](https://www.roboticsbusinessreview.com/research/microsoft_lays_off_robotics_team/). Navštívené: 17. december 2018.
- [lis] List of walking robots. [http://www.leggedrobots.ceti.pl/another\\_robots.htm](http://www.leggedrobots.ceti.pl/another_robots.htm). Navštívené: 17. december 2018.
- [mesa] Let's talk mesh repair. <https://caretashcaret.com/2014/12/04/lets-talk-mesh-repair/>. Navštívené: 17. december 2018.
- [mesb] Mesh Cleaner nástroj. [https://www.hamzamerzic.info/mesh\\_cleaner/](https://www.hamzamerzic.info/mesh_cleaner/). Navštívené: 17. december 2018.
- [mesc] Meshconv nástroj. <https://www.patrickmin.com/meshconv/>. Navštívené: 17. december 2018.
- [mesd] Meshlab nástroj. <http://www.meshlab.net/>. Navštívené: 17. december 2018.
- [mic] Microtome, wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Microtome>. Navštívené: 17. december 2018.
- [mrd] MRDS. [https://docs.microsoft.com/en-us/previous-versions/microsoft-robotics/bb483024\(v=msdn.10\)](https://docs.microsoft.com/en-us/previous-versions/microsoft-robotics/bb483024(v=msdn.10)). Navštívené: 17. december 2018.
- [mri] Magnetic resonance tip – mri database : Slice thickness. <http://www.mr-tip.com/serv1.php?type=db1&dbs=Slice%20Thickness>. Navštívené: 17. december 2018.

- [obj] Wavefront obj formát. [https://en.wikipedia.org/wiki/Wavefront\\_.obj\\_file](https://en.wikipedia.org/wiki/Wavefront_.obj_file). Navštívené: 17. december 2018.
- [Ris11] Andrej Riska. Modelovanie správania živých systémov, FMFI UK, diplomová práca, 2011.
- [sca] PathScan Enabler 5 Low Power Scanner. [https://www.emsdiasum.com/microscopy/products/digital/histology\\_scanner.aspx](https://www.emsdiasum.com/microscopy/products/digital/histology_scanner.aspx). Navštívené: 17. december 2018.
- [Sch07] Josef Schmitz. *Neurobiological foundations of hexapod locomotion in insects and robots*. Bielefeld University, 2007.
- [sdfa] SDF inertial tutorial. <http://gazebo-sim.org/tutorials?tut=inertia>. Navštívené: 17. december 2018.
- [sdfb] SDF model tutorial. [http://gazebo-sim.org/tutorials?tut=build\\_model](http://gazebo-sim.org/tutorials?tut=build_model). Navštívené: 17. december 2018.
- [sdfc] SDFormat. <http://sdformat.org/>. Navštívené: 17. december 2018.
- [sdfd] SDFormat Joints. <http://sdformat.org/spec?elem=joint>. Navštívené: 17. december 2018.
- [SHSC13] Malte Schilling, Thierry Hoinville, Josef Schmitz, and Holke Cruse. Walknet, a bio-inspired controller for hexapod walking. *Biological Cybernetics*, 107(4):397–419, 2013.
- [sim] Simtrans nástroj. <http://fkanehiro.github.io/simtrans/html/simtrans.html>. Navštívené: 17. december 2018.
- [sli] 3D Slicer. <https://www.slicer.org/>. Navštívené: 17. december 2018.
- [SPSS14] Axel Schneider, Jan Paskarbeits, Malte Schilling, and Josef Schmitz. Hector, a bio-inspired and compliant hexapod robot. In Armin Duff, Nathan F. Lepora, Anna Mura, Tony J. Prescott, and Paul F. M. J. Verschure, editors, *Living Machines*, volume 8608 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 427–429. Springer, 2014.
- [ste] Stereoscopy, wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Stereoscopy>. Navštívené: 17. december 2018.
- [stl] STL formát. [https://en.wikipedia.org/wiki/STL\\_\(file\\_format\)](https://en.wikipedia.org/wiki/STL_(file_format)). Navštívené: 17. december 2018.

- [urd] URDF formát. <http://wiki.ros.org/urdf>. Navštívené: 17. december 2018.
- [vrma] VRML formát. <https://en.wikipedia.org/wiki/VRML>. Navštívené: 17. december 2018.
- [vrmb] VrmMerge nástroj. <http://www.deem7.com/vrmlmerge.php>. Navštívené: 17. december 2018.
- [x3d] X3D formát. <https://en.wikipedia.org/wiki/X3D>. Navštívené: 17. december 2018.
- [xra] X-ray computed tomography, wikipedia. [http://en.wikipedia.org/wiki/X-ray\\_computed\\_tomography](http://en.wikipedia.org/wiki/X-ray_computed_tomography). Navštívené: 17. december 2018.
- [Zol94] Christoph Zollikofer. Stepping patterns in ants. *J Exp Biol*, 192(1):95–106, July 1994.
- [Ďu98] Kaneda R. Yamashita H. Ďurikovič, R. Imaging and modelling from serial microscopic sections for the study of anatomy. *Medical Biological Engineering Computing*, 36(5):276–284, 1998.

# List of Figures

2.1	Robot GENGHIS . . . . .	3
2.2	Robot Hannibal . . . . .	3
2.3	Použitie neurónovej siete WalkNet . . . . .	4
2.4	Robot HECTOR . . . . .	4
2.5	Rižkov model . . . . .	5
3.1	Základné časti mravca . . . . .	8
3.2	Zadná časť mravca . . . . .	9
3.3	Hlava mravca . . . . .	9
3.4	Nohy mravca . . . . .	10
3.5	Kĺby končatín . . . . .	11
3.6	Ant VRML súbor . . . . .	12
3.7	Poskladaný Ant blend . . . . .	12
3.8	Pridanie thorax linku do SDF . . . . .	14
3.9	Import thorax modelu do Gazebo . . . . .	14
3.10	Revolute jointy spájajúce trup s nohami . . . . .	15
3.11	Nástroj Mesh Cleaner počíta inertial dáta . . . . .	16
3.12	Zaplátanie 3D súboru v Meshlabe . . . . .	16
3.13	Odstránenie vnútornej tváre v 3D súbore v Meshlabe . . . . .	17
3.14	Model s kompletnými dátami zobrazený v Gazebo . . . . .	17