

TARTU ÜLIKOOL  
Arvutiteaduse teaduskond  
Informaatika õppekava

Rasmus Saks

# Crumble

Täpne pealkiri

Bakalaureustöö (9 EAP)

Juhendaja: Aivar Annamaa

Tartu 2017



# TODO

Täpne pealkiri . . . . .	1
One or two sentences providing a basic introduction to the field, comprehensible to a scientist in any discipline. . . . .	4
Two to three sentences of more detailed background, comprehensible to scientists in related disciplines. . . . .	4
One sentence clearly stating the general problem being addressed by this particular study. . . . .	4
One sentence summarising the main result. . . . .	4
Two or three sentences explaining what the main result reveals in direct comparison to what was thought to be the case previously, or how the main result adds to previous knowledge. . . . .	4
One or two sentences to put the results into a more general context. . . . .	4
Two or three sentences to provide a broader perspective, readily comprehensible to a scientist in any discipline, may be included in the first paragraph if the editor considers that the accessibility of the paper is significantly enhanced by their inclusion. . . . .	4
List of keywords . . . . .	4
CERCS kood ja nimetus: <a href="https://www.etis.ee/Portal/Classifiers/Details/d3717f7b-bec8-4cd9-8ea4-c89cd56ca46e">https://www.etis.ee/Portal/Classifiers/Details/d3717f7b-bec8-4cd9-8ea4-c89cd56ca46e</a> . . . . .	4
List of keywords . . . . .	5
CERCS code and name: <a href="https://www.etis.ee/Portal/Classifiers/Details/d3717f7b-bec8-4cd9-8ea4-c89cd56ca46e">https://www.etis.ee/Portal/Classifiers/Details/d3717f7b-bec8-4cd9-8ea4-c89cd56ca46e</a> . . . . .	5

## Tüübituletus meetodit neljandat järku loogikavalemitele

### Lühikokkuvõte:

One or two sentences providing a basic introduction to the field, comprehensible to a scientist in any discipline.

Two to three sentences of more detailed background, comprehensible to scientists in related disciplines.

One sentence clearly stating the general problem being addressed by this particular study.

One sentence summarising the main result.

Two or three sentences explaining what the main result reveals in direct comparison to what was thought to be the case previously, or how the main result adds to previous knowledge.

One or two sentences to put the results into a more general context.

Two or three sentences to provide a broader perspective, readily comprehensible to a scientist in any discipline, may be included in the first paragraph if the editor considers that the accessibility of the paper is significantly enhanced by their inclusion.

### Võtmesõnad:

List of keywords

### CERCS:

CERCS kood ja nimetus: <https://www.etis.ee/Portal/Classifiers/Details/d3717f7b-bec8-4cd9-8ea4-c89cd56ca46e>

## Type Inference for a Fourth Order Logic Formulae

**Abstract:** Many interpreting program languages are dynamically typed, such as Visual Basic or Python. As a result, it is easy to write programs that crash due to mismatches of provided and expected data types. One possible solution to this problem is automatic type derivation during compilation. In this work, we consider study how to detect type errors in the WHITESPACE language by using fourth order logic formulae as annotations. The main result of this thesis is a new triple-exponential type inference algorithm for the fourth order logic formulae.

This is a significant advancement as the question whether there exists such an algorithm was an open question. All previous attempts to solve the problem lead lead to logical inconsistencies or required tedious user interaction in terms of interpretative dance. Although the resulting algorithm is slightly inefficient, it can be used to detect obscure programming bugs in the WHITESPACE language. The latter significantly improves productivity. Our practical experiments showed that productivity is comparable to average Java programmer. From a theoretical viewpoint, the result is only a small advancement in rigorous treatment of higher order logic formulae. The results obtained by us do not generalise to formulae with the fifth or higher order.

**Keywords:**

List of keywords

**CERCS:**

CERCS code and name: <https://www.etis.ee/Portal/Classifiers/Details/d3717f7b-bec8-4cd9-8ea4-c89cd56ca46e>

# Sisukord

<b>Sissejuhatus</b>	<b>7</b>
<b>1 Crumble</b>	<b>8</b>
1.1 Redfern Electronics'i toodetud originaalkomponendid . . . . .	8
1.1.1 Kontroller . . . . .	8
1.1.2 Crumble-sõbralike komponentide komplekt . . . . .	9
1.1.3 Ultraheli kaugusandur . . . . .	10
1.1.4 Joonejälitaja . . . . .	10
1.1.5 Sparkle . . . . .	11
1.1.6 Crumbliser . . . . .	11
1.1.7 Mootor . . . . .	12
1.2 4tronix'i toodetud komponendid . . . . .	12
1.2.1 Kiirendusandur . . . . .	13
1.2.2 Lähedusandur . . . . .	13
1.2.3 Puudutusandur . . . . .	14
1.2.4 Numbrinäidik . . . . .	14
1.2.5 Passiivne infrapunasensor . . . . .	15
1.2.6 Servomootor . . . . .	16
1.2.7 PlayGround . . . . .	16
1.3 Arenduskeskkond ja -protsess . . . . .	17
1.3.1 Sisend-väljundplokid . . . . .	18
1.3.2 Sparkle'ite juhtimisplokid . . . . .	19
1.3.3 Juhtplokid . . . . .	20
1.3.4 Muutujaplokid . . . . .	21
1.3.5 Tehteplokid . . . . .	22
1.4 Arhitektuur . . . . .	22
<b>2 Crumblepy</b>	<b>24</b>
2.1 Arhitektuur . . . . .	24
2.2 Kompilaator . . . . .	25
2.3 Keele võimalused . . . . .	27
2.3.1 Funktsioonid . . . . .	27
2.3.2 Tingimuslaused . . . . .	28
2.3.3 Tsüklid . . . . .	29
<b>Viidatud kirjandus</b>	<b>30</b>
<b>Lisad</b>	<b>33</b>
<b>I Crumble kontrolleri masinkoodi käsud</b>	<b>33</b>

# Sissejuhatus

Something

# 1 Crumble

Crumble on Redfern Electronics'i loodud trükkplaat, millega on võimalik juhtida nii spetsiaalselt Crumble'i jaoks ehitatud sisend-väljundkomponente (koondnimega Crumb'id) kui ka tavalisi elektroonikakomponente ning valgusdioode (vt 1.1.5) [1]. Crumb'id erinevad analoogilistest elektroonikakomponentidest selle poolest, et neil on spetsiaalsed Crumble'ile mõeldud pesad. Nende pesade eelised on kirjeldatud peatükis 1.1.1

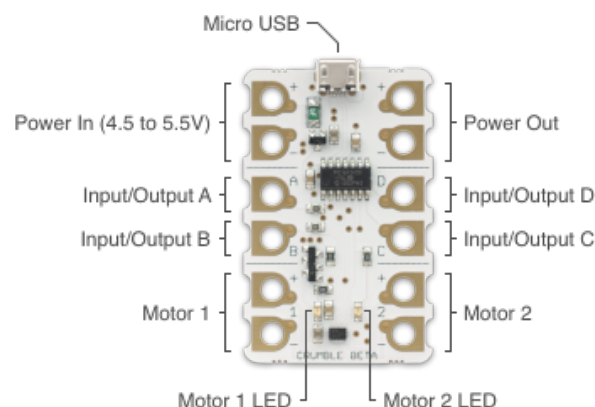
Järgnevad peatükid tutvustavad Crumble'i kontrolleri, komponente, mida sellega on võimalik ühendada, ning tarkvara, milles on võimalik luua programme kontrolleriil jooksumiseks.

## 1.1 Redfern Electronics'i toodetud originaalkomponendid

Crumble'ile loovad komponente põhiliselt kaks firmat: Redfern Electronics, kes on Crumble'i originaalautorid, ning 4tronix [2]. Selle peatüki alampeatükid räägivad olulisematest komponentidest, mida Redfern Electronics toodab ja müüb.

### 1.1.1 Kontroller

Kontroller on Crumble'i keskne komponent ning vajalik kõigi teiste komponentide tööks. Sellel on sisemälu ja protsessor, et salvestada jooksumatavat programmi ning juhtida ühendatud komponentide tööd. Kontrolleril on ühendused kahele mootorile, neljale sisend-väljundkomponendile, ühele energiasisendile (nt patareipakist), ühele energiaväljundile (nt valgusdioidile) ning Micro-USB kaablile [1]. Joonisel 1 on ülevaade Crumble kontrollerist.



Joonis 1: Crumble'i kontrolleri ülevaade [3].

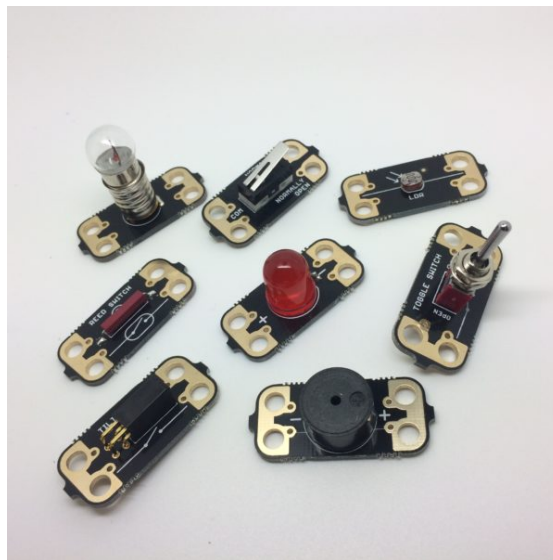


Iga kontrolleri pesa on loodud võimaldamaks mitut erinevat ühendusviisi: suur 4mm auk sobib mugavaks ühendamiseks krokodilljuhtmete, elektrit juhtiva niidi või terminalploki<sup>1</sup> ning suur juhtiv pind sobib juhtmete jootmiseks [1].

Kontrolleri saab ühendada Micro-USB pesa kaudu arvutiga, kust on võimalik sellele saata jooksutamiseks programme. Programmide loomiseks on Redfern Electronics loonud spetsiaalse tarkvara, mis kasutab MIT Scratchil [4] põhinevat kasutajaliidest. Tarkvarast kirjutatakse lähemalt peatükis 1.3.

Crumble controller võib toidet saada nii arvutist läbi USB ühenduse kui ka muust 4.5 - 5.5 V energiaallikast läbi energiasisendühenduse. Väliseks energiaallikaks sobivad muuhulgas standardsed AA suuruses patareid.

### 1.1.2 Crumble-sõbralike komponentide komplekt



Joonis 2: Crumble-sõbralikud komponendid [5].

Redfern Electronics pakub komplekti kaheksa Crumble-sõbraliku komponendiga [6]. See sisaldab endas järgnevaid komponente (joonisel 2 alustades vasakult ülevalt ning liikudes paremale alla): lampi, mikrolüliti<sup>2</sup>, fototakistit, keelreleed<sup>3</sup>, valgusdiodi, tumblerlüliti, kallutusandur-lüliti ja sumistit. Crumble-sõbralikuks teeb need komponendid asjaolu, et neil on Crumble'iga mugavamaks ühendumiseks spetsiaalsed pesad.

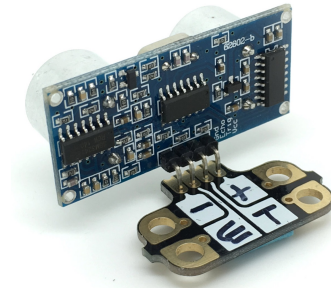
---

<sup>1</sup>vt ptk 1.2.7

<sup>2</sup>kahe väljundi vahel lülitatav lüliti [7]

<sup>3</sup>magnetväljale reageeriv lüliti [8]

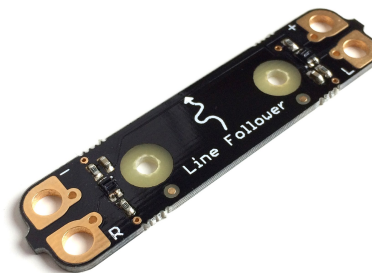
### 1.1.3 Ultraheli kaugusandur



Joonis 3: Ultraheli kaugusanduri tagakülg [9].

Ultraheli kaugusandur [10] võimaldab Crumble programmil mõõta anduri kaugust seinast. Väiksemate objektide kauguse mõõtmiseks ei ole antud kaugusandur sobilik, kuna see vajab ultrahelisignaali tagasipõrkamiseks suurt tasast pinda (nagu sein). Tegemist on HC-SR04 [11] kaugusanduriga, millele on Crumbliser'iga (vt ptk 1.1.6) lisatud Crumble ühendused. Alates tarkvara versioonist 0.25.0 on võimalik seda komponenti juhtida ühe käsuplokiga [10]. Joonisel 3 on näha anduri tagakülg koos sellega ühendatud Crumbliser'iga.

### 1.1.4 Joonejälitaja

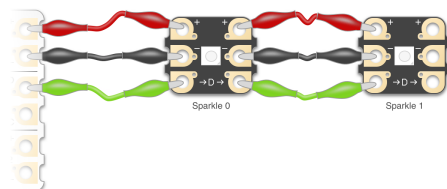


Joonis 4: Joonejälitaja [12].

Joonejälitaja võimaldab Crumble'i põhjal ehitatud robotil sõita mööda maha märgitud joont. Jälitaja väljastab kaht signaali: üks signaal, kui on tarvis vasakule pöörata, ning teine signaal, kui on tarvis paremale pöörata. Joonisel 4 on näidatud

joonejälitaja. +/- ühendused on sisendenergia jaoks ning L ja R väljundid vastavalt vasakule ja paremale pööramiseks.

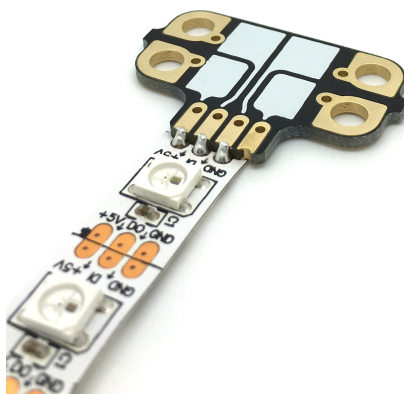
### 1.1.5 Sparkle



Joonis 5: Sparkle'ite ühendamine Crumble kontrolleri [13].

Sparkle'iteks [14] nimetatakse Crumble'iga ühilduvaid täisvärvides valgusdioode. Need on standardiga WS2812B [15] ühilduvad, mis tähendab, et Crumble'iga on võimalik kõiki selle standardi valgusdioode ühendada ning neid individuaalselt juhtida. Erinevalt Sparkle'itele pole selliseid valgusdioode üldjuhul nii lihtne Crumble'iga ühendada, sest neil puuduvad spetsiaalsed pesad juhtmete hoidmiseks. Joonisel 5 on näidatud, kuidas on võimalik mitu Sparkle'it jadamisi ühendada. Crumble tarkvara võimaldab kuni 32 erinevat Sparkle'it individuaalselt juhtida.

### 1.1.6 Crumbliser

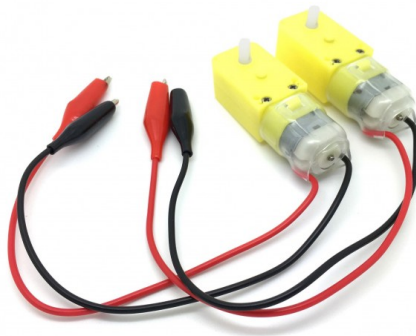


Joonis 6: Crumbliseriga ühendatud WS2812B tüüpi valgusdiodriba [16].

Crumbliser [17] on Crumble komponent, mis võimaldab suvalistele elektroonikakomponentidele külge joota Crumble ühendused. Selleks on Crumbliser plaadil

neli väiksemat jootmiseks mõeldud ühendust, millest igaüks on ühendatud suurema Crumble-tüüpi ühendusega. Iga ühenduse kõrval on ka valge ala, kuhu saab markeriga meeldetuletuseks kirjutada iga ühenduse otstarbe. Joonisel 6 on kujutatud WS2812B tüüpi valgusdiodriba, millele on Crumbliseri abil lisatud Crumble-tüüpi ühendused.

### 1.1.7 Mootor



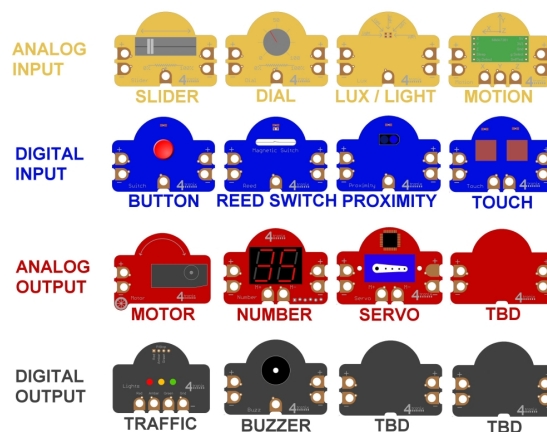
Joonis 7: Kaks mootorit [18].

Redfern Electronics toodab ka Crumble'iga ühilduvaid mootoreid [19]. Mootor tuleb ühendada kontrollril ühte kahest spetsiaalselt mootorite ühendamiseks mõeldud pessa. Joonisel 7 on kujutatud kaks mootorit, millel on krokodilljuhtmed, et Crumble'iga lihtsasti ühenduda.

## 1.2 4tronix'i toodetud komponendid

Lisaks Redfern Electronics'ile toodab Crumble'ile komponente ka Ühendkuningriigist pärit firma 4tronix [20].

Joonisel 8 on kujutatud valik 4tronix'i komponentidest Crumble'ile. Kuigi mõned nendest kattuvad Redfern'i enda poolt toodetud komponentidega, siis nendel on oluline disainierinevus. Peaaegu kõigil firma 4tronix toodetud Crumble'ile mõeldud komponentidel on kaks +/- ühenduspaari ning eraldi ühendus(ed) komponendi väljundi(te) jaoks. See võimaldab nende Crumb'e omavahel jadamisi ühendada ning sellega laiendada kontrolleri energiaväljundpesasid. Samuti on need komponendid värvi järgi kategoriseeritud. Kollased komponendid on analoogsisendkomponendid, sinised digitaalsisendkomponendid, punased analoogväljundkomponendid ning mustad digitaalväljundkomponendid. Järgnevalt on välja toodud olulise-

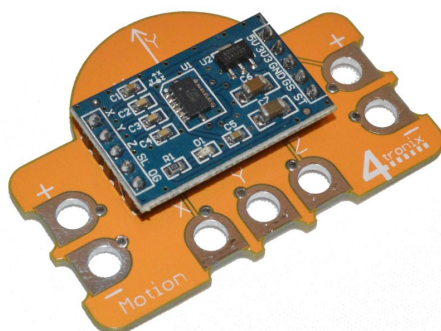


Joonis 8: Firma 4tronix toodetud Crumb'id [21].

mad komponendid, mida 4tronix toodab ning mida Redfern ei tooda.

### 1.2.1 Kiirendusandur

Kiirendusandur on seade, millega on võimalik mõõta kiiruse muutumist (kiirendust) [22]. Selleks on kiirendusanduri Crumb'il kolm väljundit kolmes dimensioonis kiirenduse lugemiseks: X, Y ja Z [23].

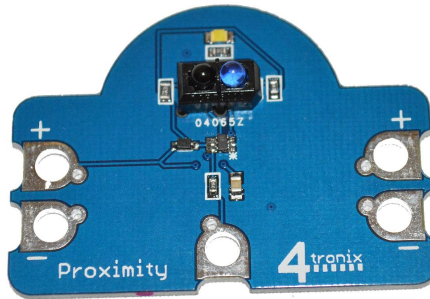


Joonis 9: 4tronix Crumble'ile loodud kiirendusandur [24].

Joonisel 9 on 4tronix'i toodetud kiirendusandur. Selle komponendi plaadi ülalosas on ka toodud joonis näitamaks, mis suunas X, Y ja Z väljundid kiirendust väljastavad.

### 1.2.2 Lähedusandur

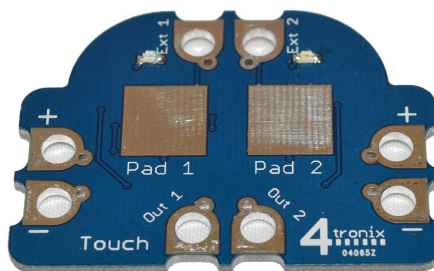
Lähedusandur (joonisel 10) võimaldab tuvastada, kas mingi objekt on anduri lähedal. Komponendil on selle tarbeks infrapunaemitter ja -vastuvõtja, et mõõta



Joonis 10: 4tronix lähedusandur [25].

lähedal asuva objekti pealt peegelduva infrapunakiirguse intensiivsust ning seeläbi hinnata, kas tema ees on mingi objekt [26]. Kui komponent tuvastab, et tema ees asub lähedal objekt, siis süttib valgusdiod komponendi peal ning väljastatakse digitaalne signaal 1. Anduri tuvastamiskaugus on umbes 2-10 cm olenevalt objektist.

### 1.2.3 Puudutusandur



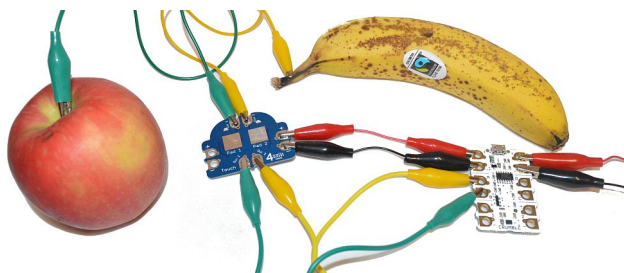
Joonis 11: 4tronix puudutusandur [27].

Puudutusanduril (joonis 11) on kaks ala, mille puudutamisel süttib indikaatortuluke ning väljastatakse vastavast väljundist digitaalne signaal 1. Samuti on plaadil ka kaks lisäühendust (märgitud „Ext 1” ja „Ext 2”), millega on võimalik laiendada vastavaid puudutusalasid teiste puudutusalade või objektidega (nt puuviljad). Joonisel 12 on näidatud, kuidas seda on võimalik kasutada.

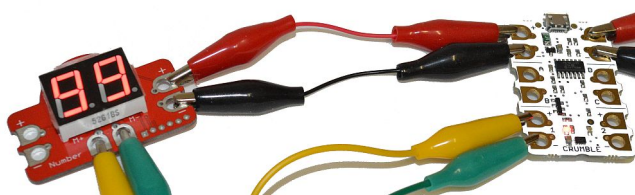
Kuigi sellisel puuviljadega ühendamisel on vähe praktilist kasutust, siis on see siiski huvitav ja ebatavaline viis oma projekti juhtimiseks.

### 1.2.4 Numbrinäidik

Numbrinäidik on analoogväljundseade, mis ühendub kontrolleri mootoripesadesse ning väljastab 7-segmenndilistel näidikutel numbrit -100-st +100-ni vastavalt moo-



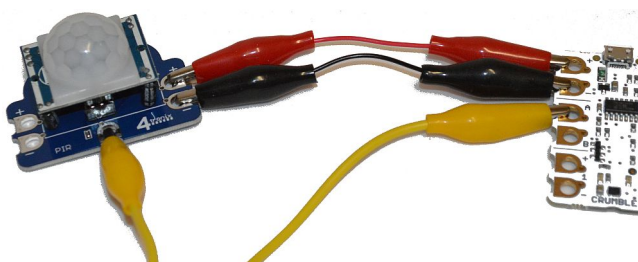
Joonis 12: Puuviljadega ühendatud puudutusandur [28].



Joonis 13: Crumble kontrolloriga ühendatud numbrinäidik [29].

toripesa väljastatud väärtusele [30]. Negatiivsete arvude kuvamisel süttivad lisaks vastava positiivse numbrilise kuvamiseks tarvilikud segmendid ka kuvari allääres olevad kaks täppi. Arvu 100 (ja -100) kuvamiseks on kasutatud omapärast lahendust, sest kasutada on vaid kaks numbrinäidikut. Selleks süttivad vasakpoolse näidiku ülemine horisontaalne segment (moodustades horisontaalse numbrilise 1) ning mõlemal näidikul alumised neli segmenti (moodustades kumbki numbrilise 0). Negatiivse arvu 100 puhul süttivad ka täpid näidiku allääres. Suuremate arvude kui 100 ja väiksemate arvude kui -100 kuvamise reeglid pole üheselt määratud. Joonisel 13 on kujutatud numbrit 99 kuvavat numbrinäidikut.

### 1.2.5 Passiivne infrapunasensor



Joonis 14: Crumble kontrolloriga ühendatud passiivne infrapunasensor [31].

Passiivne infrapunasensor (joonisel 14) mõõdab muutusi ümbritsevas infrapunaikiirguses ning võimaldab sellega tuvastada muuhulgas inimeste liikumist [32].



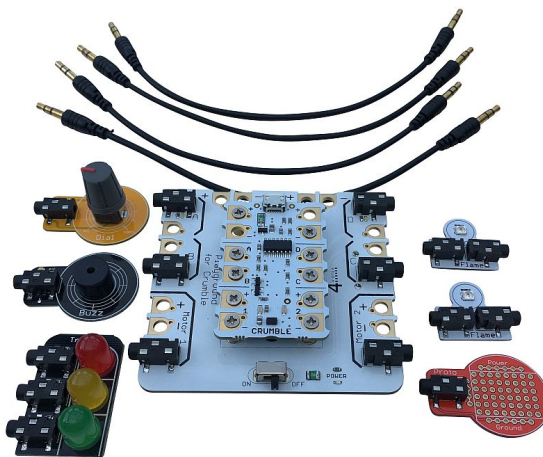
### 1.2.6 Servomotor

Joonis 15: 4tronix servomootor [33].

Servomootor erineb tavalisest mootorist selle poolest, et kui signaali saamisel tavaline mootor pöörleb pidevalt, siis servomootor pöörab end vastavalt sisendsignaali kindlasse asendisse ja üritab seda asendit säilitada [34]. 4tronix servomootor (joonisel 15) võimaldab võtta asendi  $-90$  ja  $90$  kraadi vahel [35].

### 1.2.7 PlayGround

PlayGround (joonis 16) on 4tronix'i loodud terminalplokk selleks, et Crumble (ja Micro:Bit) komplekte mugavamalt kasutada [36]. Crumble kontrolleri ühendub kruvidega PlayGround plaadi külge. Plaadi all on kontrolleri toiteks patereipakk ning külgedel erinevad sisend-väljundpesad.



Joonis 16: PlayGround, Gizmod ja juhtmed [37].



4tronix kirjutab oma blogisissekandes [36], et PlayGroundi teeb eriliseks see, et lisaks tavalistele Crumble-tüüpi ühendustele on nad lisanud ka 3,5-millimeetrised pesad, mis on paremini tuntud ka kui pesad kõrvaklapijuhtmete ühendamiseks. Nendes pesades on ühte kokku toodud kolm Crumble-tüüpi pesa: energia sisend-väljund ning signaal. See võimaldab projekte oluliselt paremini organiseerida, sest tavalise kolme juhtme asemel iga Crumb'i kohta on võimalik sama tulemust saavutada ühe juhtmega ning kõrvaklapijuhtmete ühendamine om palju lihtsam kui krokodilljuhtmete ühendamine.

4tronix on loonud paljudest juba nende toodetud Crumb'idest spetsiaalselt PlayGroundile mõeldud versioonid (Gizmod), millel on Crumble-tüüpi pesade asemel 3,5-millimeetrised pesad PlayGroundiga (või teiste Gizmodega) ühendumiseks. Lisaks pakuvad nad ka prototüüpimise Gizmot (joonisel all paremal), millega on võimalik ise luua PlayGroundiga ühenduv Gizmo [38].

### 1.3 Arenduskeskkond ja -protsess

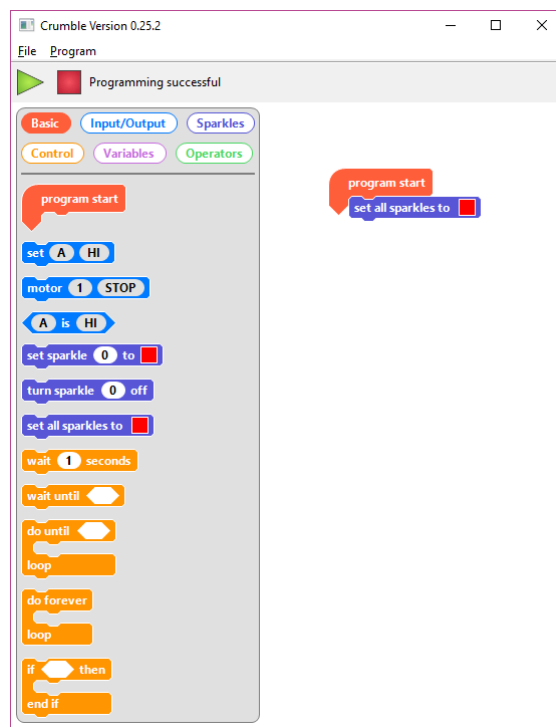
Crumble'ile programmide loomiseks on tarvis mikrokontroller USB kaudu arvutiga ühendada. Samuti on vajalik alla laadida ja arvutisse paigaldada Crumble tarkvara (kättesaadav aadressil <http://redfernelectronics.co.uk/crumble-software/>).

Crumble tarkvara on MIT Scratchist inspireeritud keskkond Crumble'i programmide arendamiseks [1]. Sarnaselt Scratchile luuakse programme erinevate plokkide kokkuvedamisega. Iga plokk on vastavalt oma tüübile kindla kujuga ning plokkidel võivad olla ka kindla kujuga augud, kuhu saab teisi plokkide sisestada. Kõik käsud on pusletükikujulised ning sobituvad üksteise järele, tõeväärtused on kuusnurgad ning arvud ja muutujad ümardatud otstega riskülikud.

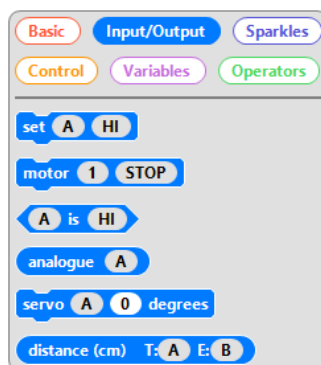
Joonisel 17 on näidatud Crumble tarkvara koos lihtsa programmiga, mis seab kõik Sparkle'id punaseks. Vasakul ääres on valik plokkide erinevates kategooriates: „Basic” (enimkasutatavad), „Input/Output” (sisend-väljund), „Sparkles” (Sparkle'id), „Control” (programmi juhtplokid), „Variables” (muutujad) ja „Operators” (tehted).

Tarkvaral on kaks nuppu: roheline kolmnurk ja punane ruut. Roheline nupp laadib praeguse programmi USB ühenduse kaudu Crumble kontrollerisse ning käivitab selle. Punane nupp peatab hetkel jooksva programmi. Samuti on võimalik rippmenüüst „File” Crumble programme arvutisse salvestada ja sealt uuesti laadida.

Iga programm peab koosnema täpselt ühest „Program start” plokist. See plokk tähistab programmi alguse kohta, seega kogu programmi tegevus algab sealt. Järgnevalt on toodud kategooriate kaupa kõikide plokkide kirjeldused.



Joonis 17: Crumble tarkvara.

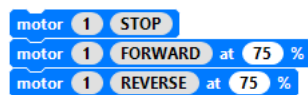


Joonis 18: Sisend-väljundplokkide nimekiri.

### 1.3.1 Sisend-väljundplokid

Sisend-väljundplokid (joonisel 18) võimaldavad digitaalselt ja analoogiliselt lugeda ja digitaalselt kirjutada kontrolleri A, B, C ja D pesadele. Kirjutamiseks on „set” plokk, mis võimaldab valitud pesalt väljastada digitaalse signaali 1 või 0 (HI või LO).

„Motor” plokk juhib mootoripesasid. Võimalik on valida pesa 1 või 2 vahel ning



Joonis 19: „Motor” plokki kolm seadistust

kas mootor peatada, edasi liikuda või tagasi liikuda (vastavalt „STOP”, „FORWARD” ja „REVERSE”, vt joonis 19) ning kui kiiresti protsendina 0-st 100-ni.

„Servo” plokiga on võimalik seada kindel servomootor (vt 1.2.6) mingisse teatud asendisse. Tuleks tähele panna, et servomootor ei ühendu mootoripesadega vaid väljundpesaga A, B, C või D (lisaks energiaväljundile).

„(A/B/C/D) is (HI/LO)” plokk tagastab, kas valitud sisendpesast tulev signaal on sees või mitte. Näiteks „A is HI” plokk tagastaks tõese väärtuse, kui pesaga A ühendatud nuppu all hoitakse.

„Analogue (A/B/C/D)” plokki kasutatakse analoogsignaali saamiseks valitud pesast. See on kasulik, kui Crumb'i tagastatud väärtus on pidev suurus ning mitte kas 0 või 1. Analoogsignaali kajastub koodis arvuna 0-st 255-ni. Seda kasutatakse näiteks kiirendusanduri (vt 1.2.1) puhul.

„Distance” plokk on ultraheli kaugusandurilt (vt 1.1.3) tema vastas oleva objekti kauguse teada saamiseks. Selleks tuleb anduri T ja E ühendused ühendada kontrolleri ja „distance” plokis ära määrata. Plokk tagastab andurilt saadud kauguse sentimeetrites.

### 1.3.2 Sparkle'ite juhtimisplokid

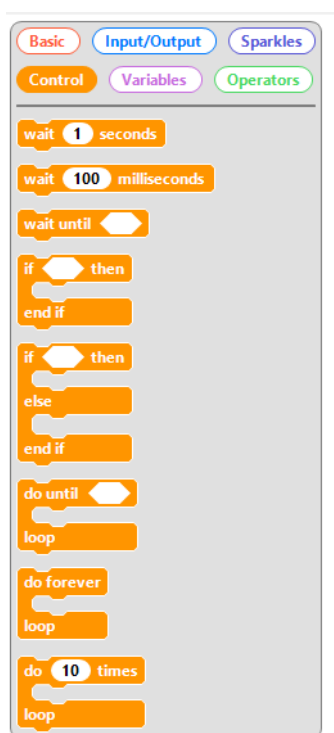


Joonis 20: Sparkle'ite juhtimisplokkide nimekiri.

Kõiki Sparkle'eid on võimalik nii korraga kui ka individuaalselt muuta kind-

laks värviks. Selleks on plokid „set sparkle to” ning „set all sparkles to”. Esimene seab kindla Sparkle’i kindlaks värviks ning teine teeb sama kõikide Sparkle’itega. Nendest plokkidest on Crumble tarkvaras kaks varianti: värvivalimisdialoogiga variant (joonisel 20 esimene ja kolmas plokk), mis võimaldavad kasutajal spetsiaalse akna abil valida sobiv värv, ning RGB väärtustega variant (viies ja kuues plokk joonisel), kus kasutaja saab määrata punase, rohelise ja sinise värvi intensiivsuste (vahemikus 0 kuni 255) kombinatsiooniga Sparkle’i värvi. Plokid „turn sparkle off” ja „turn all sparkles off” lülitavad vastavalt ühe kindla või kõik Sparkle’id välja.

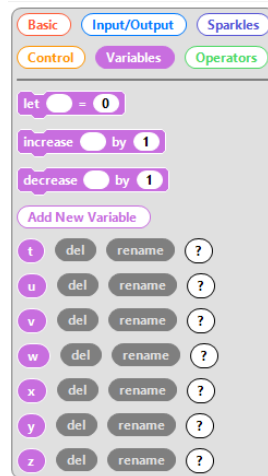
### 1.3.3 Juhtplokid



Joonis 21: Juhtplokkide nimekiri.

Juhtplokid (joonisel 21) võimaldavad programmi tööd juhtida vastavalt teatud tingimustele. „Wait seconds” ja „wait milliseconds” plokid ootavad vastavalt mingi arvu sekundeid või millisekundeid enne järgmise käsu täitmist. „Wait until” plokk peatab programmi töö nii kaua kuni teatud tingimus on täidetud. „If then” ning „If then else” plokid võimaldavad mingi tingimuse kohaselt käivitada või mitte käivitada koodiplokke. „Do until”, „do X times” ja „do forever” plokid võimaldavad koodiplokke korduvalt käivitada vastavalt mingi tingimuse täitumiseni, täpselt X korda või lõpmatu arv kordi.

### 1.3.4 Muutujaplokid



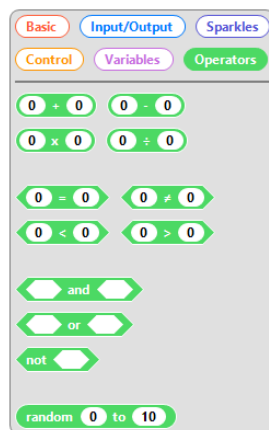
Joonis 22: Muutujaplokkide nimekiri.

Muutujaplokid (joonisel 22) võimaldavad luua muutujaid, seada neile väärtuseid ning nende väärtuseid lugeda. „Let” plokk seab muutujale väärtuse. Muutuja plokk tuleb tõmmata „Add New Variable” nupu all olevatest muutujaplokkidest. Algselt on olemas muutujaplokid nimedega „t”, „u”, „v”, „w”, „x”, „y” ja „z”, kuid neid on võimalik kustutada (nupuga „del”), ümber nimetada (nupuga „rename”) ning juurde lisada (nupuga „Add New Variable”). „Increase by” plokk lisab muutuja väärtusele mingi arvu. „Decrease by” plokk vähendab muutuja väärtust mingi arvu võrra.



Joonis 23: Muutuja „t” väärtus on 45.

Programmi jooksmise ajal on võimalik kõigi muutujate väärtuseid muutujaplokkide nimekirjas näha. Joonisel 23 on näha, et muutuja „t” väärtuseks on 45. Teiste muutujate väärtused on „?”, sest nendele pole programmi töös määratud väärtust.



Joonis 24: Tehteplokkide nimekiri.

### 1.3.5 Tehteplokkid

Tehteplokkid (joonis 24) võimaldavad teha programmi töös esinevate väärtustega aritmeetilisi ja loogilisi operatsioone. Aritmeetikast on võimaldatud liitmine, lahutamine, korrutamine ja jagamine, kusjuures jagamine on täisarvuline jagamine, kus vastuseks on vaid täisosa ning jääk visatakse minema. See on põhjustatud sellest, et Crumble ei võimalda ujukomaarvudega töötamist. Loogilistest operatsioonidest on võimaldatud võrdus, mittevõrdus, „suurem kui”, „väiksem kui”, „ja”, „või” ning „mitte”. Lisaks on tehteplokina toodud ka „random” plokk, mis tagastab suvalise täisarvu etteantud vahemikus (mõlemad otspunktid kaasaarvatud).

## 1.4 Arhitektuur

Crumble kontrolleri kasutab oma protsessoriks PIC16F1455<sup>4</sup> tüüpi mikrokontrol-  
lerit. Sellel on 14 KB mälu programmide salvestamiseks ning 1024 baiti sisemä-  
lu [39]. Komponentide juhtimiseks on Redfern Electronics loonud kontrolleri-  
le oma masinkoodi. Katse-eksitus meetodil leitud masinkoodi käsud ja nende kirjeldused  
on toodud lisas I.

Käsu enda argumentid (näiteks käsu „POP *a*” puhul *a*) kodeeritakse koos käsu  
koodiga otse masinkoodi sisse. Käsu kood on tabelis esitatud kuuteistkümnend-  
süsteemi arvuna grupeeritud baitide kaupa. See on käsu numbriline esitus, mida  
Crumble protsessor lugeda ja millele vastavalt käituda oskab. Käsu argumenti ko-  
deerimiseks lühendatakse see ühe baidi (kümnendüsteemi arv vahemikus 0 kuni  
255) pikkuseks ning liidetakse otse käsu koodile. Näiteks käsu „POP 45” masin-  
koodi esitusviis oleks „03 2D”, sest „POP” masinkoodis on 03 00 (vt lisa I), 45

<sup>4</sup><http://www.microchip.com/wwwproducts/en/PIC16F1455>

kuueteistkümnendsüsteemis on  $2D$  ning  $03\ 00 + 2D = 03\ 2D$ .

Loogikatehete puhul (näiteks „OR”) loetakse tõeseks väärtuseks kõike, mis ei ole 0.

## 2 Crumblepy

Crumblepy <sup>5</sup> on käesoleva töö raames loodud Pythonil põhinev programmeerimiskeel, millega on võimalik juhtida Crumble'i tööd. Järgnevad peatükid kirjeldavad nii Crumblepy ehitust ja kuidas selleni jõuti kui ka tööprotsessi sellega töötamisel.

### 2.1 Arhitektuur

Kuigi Crumble tarkvara on loodud Python 2-s, siis Crumblepy on kirjutatud Python 3-s. See erinevus tuleneb põhiliselt sellest, et Pythoni loojad ise soovivad uute projektide alustamisel kasutada Pythoni kolmandat versiooni, sest see on paljudes aspektides parem kui Python 2 [40]. Lisaks sellele on autor tuttavam Python 3-ga kui Python 2-ga. Kuna Crumblepy põhineb Crumble tarkvara lähtekoodil, siis on tarvis Python 2-s kirjutatud kood ümber teisendada vastavaks Python 3 koodiks.

Failis „crumblepy/usb.py” on kokku pandud Redfern Electronics'i loodud Pythoni kood Crumble'iga suhtlemiseks USB kaudu, mis on ümber teisendatud Python 3-e. Antud juhul oli tarvis teha vähe muudatusi, et algne kood jookseks samamoodi Python 3-l, kui ta jooksis Python 2-l. Põhilised erinevused tulenesid täisarvude jagamisel <sup>6</sup> ning generaatorobjektide vs listide tagastamisel <sup>7</sup>

Crumblepy on loodud olema algajatele võimalikult lihtne viis riistvaraprogrammeerimisega tegelemiseks. Seetõttu valiti Crumblepy keele põhjaks just Python, mida tihti õpetatakse koolides esimese programmeerimiskeelena. Samuti teeb Pythoni standardteek Pythoni parsimise väga lihtsaks, pakkudes selleks `ast` moodulit [42]. Mooduli funktsioon `ast.parse()` võimaldab parsida sisendsõne Pythoni abstraktseks süntaksipuuks nagu on näidatud joonisel ??.

```
import ast
with open("file.crp") as f:
    syntaxtree = ast.parse("\n".join(f.readlines()))
```

Joonis 25: Faili parsimine abstraktseks süntaksipuuks

Tulemuseks on puu, mille tipud on Pythoni süntaksielemendid, mis on täielikult kirjeldatud Pythoni dokumentatsiooni peatükis 32.2.2 <sup>8</sup>. Selle puu rekursiivse

<sup>5</sup>Kättesaadav aadressil <https://github.com/rasmussaks/crumblepy>

<sup>6</sup>Kahe täisarvu jagamine Python 2-s tagastab täisarvu ( $5/2 = 2$ ), Python 3-s aga ujukomaarvu ( $5/2 = 2.5$ ) [41]

<sup>7</sup>Python 2-s tagastasid paljud sisseehitatud funktsioonid (nt `range()` ja `dict().keys()`) list-tüüpi objekte, kuid Python 3-s tagastavad nad generaatorobjekte [41]

<sup>8</sup><https://docs.python.org/3/library/ast.html#abstract-grammar>



lähimisega on võimalik kompileerida Pythonil põhinev sisendkood Crumble kontrollerile mõistetavaks masinkoodiks.

Crumble'i masinkoodi piirangute tõttu ei ole võimalik kõiki Pythoni keele võimalusi kompileerida, mistõttu on paljud nendest välja jäetud ning annavad kompileerimisel veateate. Sinna kuuluvad näiteks ujukomaarvud, andmetüübid `list` ja `dict` ning palju muud. Crumblepy keele võimalustest on kirjutatud peatükis 2.3.

## 2.2 Kompilaator

Crumblepy kompilaator (failis „crumblepy/compiler.py”) kasutab Pythoni `ast` moodulit, et saada sisendfaili abstraktne süntaksipuu ning seejärel muundab selle Crumble kontrollerile arusaadavaks masinkoodiks. Vahelülks masinkoodi ja Crumblepy koodi vahel on assemblerkood, mis on inimloetav masinkood. Joonisel 26 on toodud Crumblepy kood, mis väljastab signaali 1 pesast D, ning joonisel 27 on sama kood esitatud assemblerkoodis, kuhu on lisatud kommentaarid iga rea ülesande kohta.

```
set_output(D, 1)
```

Joonis 26: Python kood väljundpesa D sisselülitamiseks

```
PUSHL 2 ; Pesa number pinusse
PUSHL 1 ; Signaal 1 pinusse
DWR ; Võta pinust kaks arvu ning väljasta antud pesast antud signaal
STOP ; Programmi lõpp
```

Joonis 27: Kommenteeritud assemblerkood väljundpesa D sisselülitamiseks

Erinevalt lähtekoodist, kompileeritakse iga assemblerkoodi käsk üheks (välja arvatud mõnel erandjuhul kaheks) masinkoodi käsuks. Joonisel 26 on üks lähtekoodi käsk `set_output(D, 1)`, mis masinkoodis esitatakse kolme käsuga: kaks käsku argumentide pinusse panemiseks ning üks käsk väljundpesa väljundi seadmiseks vastavalt pinust loetud väärtustele.

Iga Pythoni abstraktse süntaksipuu juurtipuks on `Module`, millest hargnevad alamtipud vastavalt programmi sisule. Joonisel 28 on toodud kood, mis seab pesa A väljundiks pesa C signaali, kui pesa D signaal on 1, või signaali 0, kui pesa D signaal ei ole 1.

Joonisel ?? on kujutatud joonisel 28 toodud Crumblepy koodi abstraktne süntaksipuu, mis on saadud funktsiooni `ast.parse()` kasutamisel antud koodi peal.

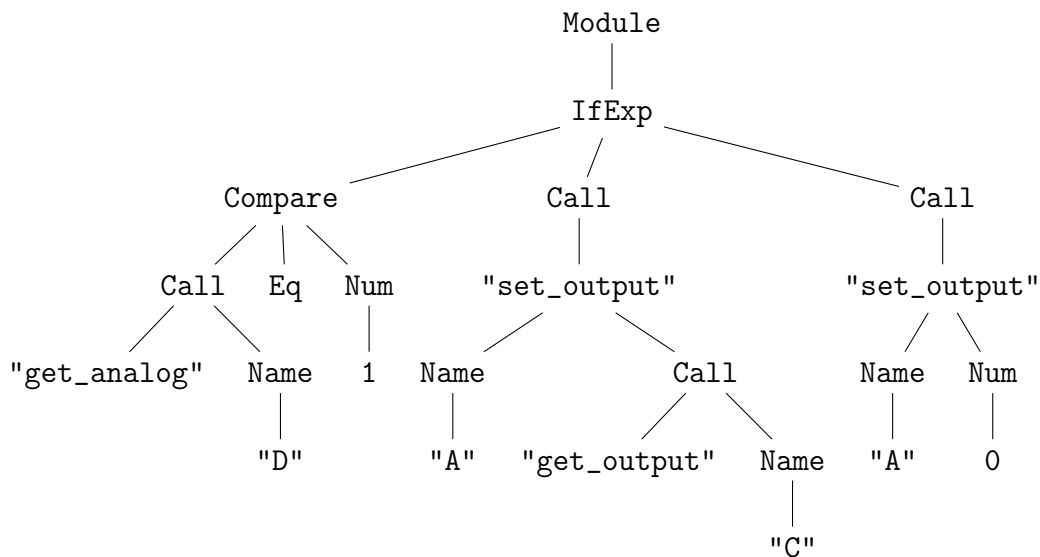
Abstraktne süntaksipuu võimaldab väikese vaevaga kompileerida Crumblepy

```

if get_digital(D) == 1:
    set_output(A, get_digital(C))
else:
    set_output(A, 0)

```

Joonis 28: Crumblepy kood pesa A väljundi seadmiseks vastavalt pesa D signaalile



Joonis 29: Abstraktne süntaksipuu

lähtekood Crumble kontrolleri masinkoodiks. Joonisel 30 on väljavõte Crumblepy kompilaatori tuumast, rekursiivsest abstraktse süntaksipuu läbijast.

Funktsioon `compile_stmt` võtab argumendina sisse abstraktse süntaksipuu juur-tippu (`Module` tipu) ning läbib rekursiivselt iga puu tipu ning väljastab iga tipu kohta vastava(d) masinkoodi käsu(d). Joonisel 31 on toodud Crumblepy funktsiooni `set_output(pesa, signaal)` kompileeriv funktsioon.

Funktsioon `self.compile_expr(node)` kompileerib antud avaldise tipu sellele vastavaks masinkoodiks. Muutuja `self.assembly` on viide `Assembly` klassile, kus on abifunktsioonid lisas I esitatud masinkoodikäskudega töötamiseks. Näidiskoodis joonisel 31 väljastab `self.assembly.dwr()` masinkoodi käsu `DWR`, mis loeb kahe eelneva `self.compile_expr(node)` käsu poolt pinusse pandud argumendid - pesa number ja signaali väärtus - ning väljastab antud pesast määratud signaali.

Erinevalt Crumble tarkvarast puuduvad Crumblepy'l argumentidele ranged piirangud, mis võimaldavad Crumblepy keeles väljendada palju keerukamaid programme kui Crumble tarkvaras. Crumble tarkvara piirab näiteks funktsiooni „set” argumendid olema täpselt „A”, „B”, „C” või „D” ning „HI” või „LO”. Crumblepy

```

class Compiler:
    def compile_stmt(self, node):
        if type(node) == Module: # Juurtipp
            for n in node.body:
                self.compile_stmt(n) # Rekursioon
        elif type(node) == If:
            self.if_stmt(node) # Kompileeri if-lause
        # ...

```

Joonis 30: Rekursiivne süntaksipuu läbimine

```

def set_output(self, output_node, signal_node):
    self.compile_expr(output_node)
    self.compile_expr(signal_node)
    self.assembly.dwr()

```

Joonis 31: Crumblepy funktsiooni `set_output(pesa, signaal)` kompileeriv funktsioon

selliseid piiranguid ei sea, mis tähendab, et joonisel 28 olev kood on Crumblepy's lubatud, kuid Crumble tarkvaras mitte, sest seal kasutatakse ühe pesa väärtust teise pesa sisendina, mida Crumble tarkvaras ei ole võimalik teha.

## 2.3 Keele võimalused

Järgnevates peatükkides on välja toodud kõik Crumblepy keele võimalused. Kuigi keel põhineb Pythonil, ei ole võimalik kõiki Pythoni võimalusi Crumble kontrolleri masinkoodis väljendada, mistõttu on esindatud vaid kindel alamhulk Pythoni võimalustest.

### 2.3.1 Funktsioonid

Crumblepy's on võimalik kasutada erinevaid funktsioone Crumble'i juhtimiseks. Kõik funktsioonid käituvad identselt vastavatele funktsioonidele Crumble tarkvaras ning on esitatud tabelis 1.

Tabel 1: Crumblepy funktsioonid

Funktsioon	Kirjeldus
<code>set_output(pad, signal)</code>	Väljastab pesast <code>pad</code> digitaalse signaali <code>signal</code> .
<code>get_digital(pad)</code>	Loeb ja tagastab digitaalse signaali pesast <code>pad</code> .
<code>get_analog(pad)</code>	Loeb ja tagastab analoogsignaali pesast <code>pad</code> .
<code>wait(msec)</code>	Peatab programmi <code>msec</code> millisekundiks.

Funktsioon	Kirjeldus
<code>random(a, b)</code>	Tagastab suvalise täisarvu a ja b vahel (mõlemad kaasa arvatud).
<code>set_motor_1(pct)</code>	Seab mootori 1 kiiruseks pct%, pct võib olla vahemikus –100 kuni 100.
<code>set_motor_2(pct)</code>	Seab mootori 2 kiiruseks pct%, pct võib olla vahemikus –100 kuni 100.
<code>set_servo(pad, degree)</code>	Seab servomootori, mis on ühendatud pesaga pad nurgaks degree kraadi.
<code>get_distance(e, t)</code>	Tagastab ultraheli kaugusanduri (vt ptk 1.1.3) kauguse, kui anduri pesa „E” on ühendatud Crumble’i pesaga e ning anduri pesa „T” Crumble’i pesaga t

Pesade identifikaatoritena võib kasutada nii numbreid 0, 1, 2, 3 (vastavalt pesad „A”, „B”, „D”, „C”) kui ka sisse ehitatud muutujaid A, B, C, D.

### 2.3.2 Tingimuslauseid

Crumblepy toetab täielikult Pythoni tingimuslauseid (**if**-lauseid). Joonisel 32 on toodud näide **if-else** konstruktsioonist ning joonisel 33 on toodud sama koodi esitus masinkoodis koos selgitavate kommentaaridega.

```

if get_digital(D) and not get_digital(A):
    set_output(C, 1)
else:
    set_output(C, 0)

```

Joonis 32: **if-else** konstruktsioon Crumblepy koodina

```

PUSHL 2          ; Pesa D
DRD              ; Loe pesast D digitaalne signaal
PUSHL 0          ; Pesa A
DRD              ; Loe pesast A digitaalne signaal
NOT_OP           ; Pesa A vastandsignaali
AND_OP           ; Kahe signaali vaheline loogiline 'ja'
BEZ 1_else       ; Kui 'and' ei kehti, siis hüppa märgise label_else juurde
PUSHL 3          ; Pesa C
PUSHL 1          ; Signaal 1
DWR             ; Väljasta pesast C signaal 1
BRA 1_end        ; Hüppa lõpu märgise juurde
LABEL 1_else     ; Märgi else algus
PUSHL 3          ; Pesa C

```

```
PUSHL 0      ; Signaal 0
DWR         ; Väljasta pesast C signaal 1
LABEL l_end  ; Märki kogu if-else lause lõpp
STOP
```

Joonis 33: **if-else** konstruktsioon Crumble'i masinkoodina

Crumblepy's kasutab **if**-lause märgendeid, et vastavalt tingimuse kehtimisele hüppata kas **if**-haru või **else**-haru sisse. Tingimuseks võivad olla kõigi funktsioonide tagastusväärtused. Tõeseks väärtuseks loetakse kõike, mis ei ole 0. Vääraks väärtuseks loetakse 0. Samuti on võimalik kasutada loogilisi konstante **True** ja **False**, mis aga Crumble masinkoodis loogilise tüübi puudumise tõttu kompileeritakse vastavalt arvudeks 1 ja 0.

### 2.3.3 Tsüklid

asd

## Viidatud kirjandus

- [1] *The Crumble Controller* | Redfern Electronics. [http : / / redfernelectronics.co.uk/crumble/](http://redfernelectronics.co.uk/crumble/) (04.03.2017).
- [2] *4tronix*. <http://www.4tronix.co.uk/store/> (04.03.2017).
- [3] *Basic Connections*. <http://redfernelectronics.co.uk/wp-content/uploads/2014/05/Basic-Connections-595x275.png> (04.03.2017).
- [4] *Scratch - Imagine, Program, Share*. [https : / / scratch . mit . edu/](https://scratch.mit.edu/) (04.03.2017).
- [5] *Crumble Friendly Components*. [http://redfernelectronics.co.uk/wp-content/uploads/2017/01/IMG\\_0115-e1485789913691.jpg](http://redfernelectronics.co.uk/wp-content/uploads/2017/01/IMG_0115-e1485789913691.jpg) (04.03.2017).
- [6] *Crumble-Friendly Components (Pack)* | Redfern Electronics. [http : / / redfernelectronics.co.uk/product/crumble-friendly-components-pack/](http://redfernelectronics.co.uk/product/crumble-friendly-components-pack/) (04.03.2017).
- [7] *Snap Action Switches (or Microswitch) Are Rapid Switch Devices for an Electrical Circuit - Future Electronics*. <http://www.futureelectronics.com/en/switches/snap-acting-switches.aspx> (04.03.2017).
- [8] Chris Woodford. *How Reed Switches Work (Magnetically Operated Switches)*. 14. jaanuar 2017. [http : / / www . explainthatstuff . com / howreedswitcheswork.html](http://www.explainthatstuff.com/howreedswitcheswork.html) (04.03.2017).
- [9] *HC-SR04 Back with Crumbliser*. <http://redfernelectronics.co.uk/wp-content/uploads/2016/04/HC-SR04-back-with-Crumbliser.jpg> (04.03.2017).
- [10] *Ultrasonic Distance Measuring Sensor* | Redfern Electronics. [http : / / redfernelectronics . co . uk / product / ultrasonic - distance - measuring-sensor/](http://redfernelectronics.co.uk/product/ultrasonic-distance-measuring-sensor/) (04.03.2017).
- [11] *HC-SR04 User's Manual*. [https : / / docs . google . com / document / d / 1Y - yZnNhMYy7rwhAgyL\\_pfa39RsB - x2qR4vP8saG73rE / edit ? usp = embed \\_ facebook](https://docs.google.com/document/d/1Y-yZnNhMYy7rwhAgyL_pfa39RsB-x2qR4vP8saG73rE/edit?usp=embed_facebook) (04.03.2017).
- [12] *Line Follower Board*. <http://redfernelectronics.co.uk/wp-content/uploads/2015/09/Line-follower-board.jpg> (04.03.2017).
- [13] *Two Sparkles to Crumble*. [http : / / redfernelectronics . co . uk / wp - content / uploads / 2014 / 05 / Two - Sparkles - to - Crumble . png](http://redfernelectronics.co.uk/wp-content/uploads/2014/05/Two-Sparkles-to-Crumble.png) (04.03.2017).
- [14] *Sparkles (Panel of 25)* | Redfern Electronics. <http://redfernelectronics.co.uk/product/sparkles-panel-of-25/> (04.03.2017).

- [15] Worldsemi. *WS2812B*. <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/WS2812B.pdf> (04.03.2017).
- [16] *Crumblizer with WS2812B Strip*. <http://redfernelectronics.co.uk/wp-content/uploads/2015/10/Crumblizer-with-WS2812B-Strip.jpg> (04.03.2017).
- [17] *Crumbliser (Pack of 5) | Redfern Electronics*. <http://redfernelectronics.co.uk/product/crumbliser-pack-of-5/> (04.03.2017).
- [18] *Pair-of-Geared-Motors*. <http://redfernelectronics.co.uk/wp-content/uploads/2015/10/Pair-of-geared-motors-300x300@2x.jpg> (04.03.2017).
- [19] *Pair of Geared Motors | Redfern Electronics*. <http://redfernelectronics.co.uk/product/pair-of-geared-motors/> (04.03.2017).
- [20] *Crumble*. <http://4tronix.co.uk/store/index.php?rt=product/category&path=82> (04.03.2017).
- [21] *4tronix Toodetavad Crumb'id*. <http://4tronix.co.uk/store/resources/image/18/b7/8.jpg> (04.03.2017).
- [22] *Kiirendusandur [Robotic & Microcontroller Educational Knowledgepage - Network of Excellence]*. <http://home.roboticlab.eu/et/examples/sensor/accelerometer> (11.03.2017).
- [23] *Motion Sensor Crumb Accelerometer for Crumble Controller*. [http://4tronix.co.uk/store/index.php?rt=product/product&path=82&product\\_id=480](http://4tronix.co.uk/store/index.php?rt=product/product&path=82&product_id=480) (11.03.2017).
- [24] *Motion Sensor Crumb Accelerometer for Crumble Controller*. <http://4tronix.co.uk/store/resources/image/18/b9/4.jpg> (11.03.2017).
- [25] *Proximity Sensor Crumb Digital Input for Crumble Controller*. <http://4tronix.co.uk/store/resources/image/18/bd/8.jpg> (11.03.2017).
- [26] *Proximity Sensor Crumb Digital Input for Crumble Controller*. [http://4tronix.co.uk/store/index.php?rt=product/product&path=82&product\\_id=494](http://4tronix.co.uk/store/index.php?rt=product/product&path=82&product_id=494) (11.03.2017).
- [27] *Dual Touch Sensor Crumb Digital Input for Crumble Controller*. <http://4tronix.co.uk/store/resources/image/18/bc/b.jpg> (11.03.2017).
- [28] *Dual Touch Sensor Connected to Fruit*. <http://4tronix.co.uk/store/resources/image/18/bc/d.jpg> (11.03.2017).
- [29] *Number Display Crumb for Crumble Controller*. <http://4tronix.co.uk/store/resources/image/18/bc/8.jpg> (11.03.2017).

- [30] *Number Display Crumb for Crumble Controller*. [http://4tronix.co.uk/store/index.php?rt=product/product&path=82&product\\_id=479](http://4tronix.co.uk/store/index.php?rt=product/product&path=82&product_id=479) (11.03.2017).
- [31] *Passiivne Infrapunaseensor*. <http://4tronix.co.uk/store/resources/image/18/be/0.jpg> (11.03.2017).
- [32] *PIR Sensor Crumb Digital Input for Crumble Controller*. [http://4tronix.co.uk/store/index.php?rt=product/product&path=82&product\\_id=495](http://4tronix.co.uk/store/index.php?rt=product/product&path=82&product_id=495) (11.03.2017).
- [33] *Servo Crumb for Crumble Controller*. <http://4tronix.co.uk/store/resources/image/18/ca/8.jpg> (11.03.2017).
- [34] *Servomootor [Robotic & Microcontroller Educational Knowledgepage - Network of Excellence]*. <http://home.roboticlab.eu/et/examples/motor/servo> (11.03.2017).
- [35] *Servo Crumb for Crumble Controller*. [http://4tronix.co.uk/store/index.php?rt=product/product&path=82&product\\_id=503](http://4tronix.co.uk/store/index.php?rt=product/product&path=82&product_id=503) (11.03.2017).
- [36] *Playground for Crumble & BBC Micro:Bit*. <http://4tronix.co.uk/playground/> (11.03.2017).
- [37] *PlayGround, Gizmos and Wires*. [http://4tronix.co.uk/blog/wp-content/uploads/2016/09/PlayCrum\\_03.jpg](http://4tronix.co.uk/blog/wp-content/uploads/2016/09/PlayCrum_03.jpg) (11.03.2017).
- [38] *Prototyping Gizmo for Playground - Make Your Own Gizmo*. [http://4tronix.co.uk/store/index.php?rt=product/product&path=82&product\\_id=576](http://4tronix.co.uk/store/index.php?rt=product/product&path=82&product_id=576) (11.03.2017).
- [39] *PIC16F1455 - Microcontrollers and Processors*. <http://www.microchip.com/wwwproducts/en/PIC16F1455> (04.03.2017).
- [40] *Python2orPython3 - Python Wiki*. <https://wiki.python.org/moin/Python2orPython3> (26.03.2017).
- [41] Sebastian Raschka. *The Key Differences between Python 2.7.x and Python 3.x with Examples*. 1.–juuni 2014. [sebastianraschka.com/Articles/2014\\_python\\_2\\_3\\_key\\_diff.html](http://sebastianraschka.com/Articles/2014_python_2_3_key_diff.html) (26.03.2017).
- [42] 32.2. *Ast — Abstract Syntax Trees — Python 3.6.1 Documentation*. <https://docs.python.org/3/library/ast.html> (26.03.2017).



# Lisad

## I Crumble kontrolleri masinkoodi käsud

Käsk	Kood	Pinu argumendid	Kirjeldus
PUSH $a$	00 00	-	Paneb pinusse muutuja number $a$ väärtuse
PUSHL $a$	01 00	-	Paneb pinusse väärtuse $a$
POP $a$	03 00	$p$	Seab muutuja number $p$ väärtuseks $a$
DUP	06 00	$p$	Paneb pinusse $p$ $p$ (kloonib pinu pealmise väärtuse)
ADD	08 00	$p_1$ $p_2$	Paneb pinusse $p_1 + p_2$
SUB	09 00	$p_1$ $p_2$	Paneb pinusse $p_1 - p_2$
MUL	0A 00	$p_1$ $p_2$	Paneb pinusse $p_1 * p_2$
DIV	0B 00	$p_1$ $p_2$	Paneb pinusse $p_1 / p_2$
GTE	10 00	$p_1$ $p_2$	Paneb pinusse $p_1 \geq p_2$
GT	11 00	$p_1$ $p_2$	Paneb pinusse $p_1 > p_2$
LTE	12 00	$p_1$ $p_2$	Paneb pinusse $p_1 \leq p_2$
LT	13 00	$p_1$ $p_2$	Paneb pinusse $p_1 < p_2$
EQ	14 00	$p_1$ $p_2$	Paneb pinusse $p_1 == p_2$
RND	0C 00	$p_1$ $p_2$	Paneb pinusse suvalise täisarvu $p_1$ ja $p_2$ vahel
BRA $a$	18 00	-	Hüppab masinkoodi reale nr $a$
BEZ $a$	19 00	$p$	Hüppab masinkoodi reale nr $a$ , kui $p \neq 1$
AND	20 00	$p_1$ $p_2$	Paneb pinusse $p_1 \wedge p_2$
NOT	22 00	$p$	Paneb pinusse $\neg p_1$
OR	23 00	$p_1$ $p_2$	Paneb pinusse $p_1 \vee p_2$
DRD	28 00	$p$	Paneb pinusse pesast $p$ loetud digitaalse väärtuse (1 või 0)
DWR	29 00	$p_1$ $p_2$	Väljastab pesast $p_1$ digitaalse signaali $p_2$
ARD	2A 00	$p$	Paneb pinusse pesast $p$ loetud analoogväärtuse
MOT1	30 00	$p$	Paneb mootori 1 liikuma kiirusega $p$
MOT2	31 00	$p$	Paneb mootori 2 liikuma kiirusega $p$
SSPRK	32 00	$p_1$ $p_2$ $p_3$ $p_4$	Seab Sparkle'i number $p_1$ värviks RGB koodiga värvi $p_2, p_3, p_4$
WAIT	34 00	$p$	Peatab programmi üheks millisekundiks
SRV	26 00	$p_1$ $p_2$	Seab pesaga $p_1$ ühendatud servomootori nurgaks $p_2$ kraadi

Käsk	Kood	Pinu argumendid	Kirjeldus
STOP	3F FF	-	Peatab programmi töö