# Introducere

Pentru lucrarea de licență mi-am propus să fac o mașină CNC capabilă să deseneze sau să graveze in lemn diferite imagini sau text, prin intermediul unui limbaj de programare folosit de CNC-uri sau imprimante 3D numit GCODE.

Aplicația este realizată pentru platforma hardware Arduino Uno. Aceasta primește comenzi GCODE prin intermediul portului USB si le execută cu ajutorul unor motoare pas cu pas rezultând astfel diferite tipuri de mișcări în spațiul cartezian XYZ.

Exista câteva firmware-uri similare. Am venit cu ceva diferit prin faptul că am ales să scriu aplicația într-o maniera OOP, cu un cod abstractizat foarte mult de partea hardware, ușor de înțeles si configurat.

Pentru că m-am axat mai mult pe partea de software, pentru partea mecanică am folosit o platformă deja existentă pe care am adaptat-o la cerințele mele.

**<IMG: cu CNC>**

In primul capitol voi vorbi despre resursele software, hardware si cele mecanice utilizate pentru realizarea si utilizarea CNC-ului.

In cel de-al doilea capitol voi discuta despre asamblarea componentelor hardware si a componentelor mecanice. Voi discuta despre modul cum funcționează platforma hardware aleasă împreună cu celelalte componente hardware menționate în subcapitolul 1.2.

In al treilea capitol.

Contents

[Introducere 1](#_Toc536554550)

[1 Resurse utilizate 4](#_Toc536554551)

[1.1 Software 4](#_Toc536554552)

[1.1.1 Aplicația CNC Arduino 4](#_Toc536554553)

[1.1.2 Aplicația de comunicație cu Arduino 4](#_Toc536554554)

[1.1.3 *Tool*-uri pentru conversia imaginilor 4](#_Toc536554555)

[1.2 Hardware 4](#_Toc536554556)

[1.2.1 Microcontroler 5](#_Toc536554557)

[*1.2.2* CNC *shield* 6](#_Toc536554558)

[1.2.3 Motoare pas cu pas 7](#_Toc536554559)

[1.2.4 Drivere pentru motoarele pas cu pas 7](#_Toc536554560)

[1.2.5 *Endstop*-uri pentru limitarea axelor 9](#_Toc536554561)

[1.2.6 Sursă de alimentare 9](#_Toc536554562)

[1.3 Mecanice 9](#_Toc536554563)

[1.3.1 Componente printate din plastic 9](#_Toc536554564)

[1.3.2 Tije cromate 9](#_Toc536554565)

[1.3.3 Rulmenți 9](#_Toc536554566)

[1.3.4 Șuruburi trapezoidale 9](#_Toc536554567)

[1.3.5 Cuplaj pentru motor 9](#_Toc536554568)

[1.3.6 Tije filetate, și piulițe 9](#_Toc536554569)

[1.3.7 Unealtă multifuncțională pentru gravat 10](#_Toc536554570)

[2 Asamblare 11](#_Toc536554571)

[3 Limbajul GCODE 12](#_Toc536554572)

[3.1 Sintaxa limbajului GCODE 12](#_Toc536554573)

[3.2 Comenzi GCODE modale 12](#_Toc536554574)

[3.2.1 Grupul comenzilor de mișcare 13](#_Toc536554575)

[3.2.2 Grupul comenzilor pentru selectarea planului 15](#_Toc536554576)

[3.2.3 Grupul comenzilor pentru poziționare 16](#_Toc536554577)

[3.2.4 Grupul comenzilor pentru setarea unității de măsură 16](#_Toc536554578)

[3.2.5 Comenzi personale rezervate 16](#_Toc536554579)

[3.3 Comenzi GCODE non modale 16](#_Toc536554580)

[3.4 Comenzi GCODE auxiliare 17](#_Toc536554581)

[4 Algoritmi 18](#_Toc536554582)

[4.1 Formula pentru calculul distanței fizice de deplasare 18](#_Toc536554583)

[4.2 Simularea vitezei de deplasare 19](#_Toc536554584)

[4.3 Algoritmul pentru mișcare liniară simplă 21](#_Toc536554585)

[4.4 Algoritmul pentru interpolare liniară 21](#_Toc536554586)

[4.5 Algoritmul pentru interpolare circulară 21](#_Toc536554587)

[5 Implementare 22](#_Toc536554588)

[5.1 Arhitectura generală a aplicației 22](#_Toc536554589)

[5.2 24](#_Toc536554590)

[5.3 Implementarea stărilor în care se afla CNC-ul 24](#_Toc536554591)

[5.4 Implementarea comunicației Serial 24](#_Toc536554592)

[5.5 Implementarea interpretorului de comenzi 24](#_Toc536554593)

[5.6 Implementarea procedurii de *homing*, G28 24](#_Toc536554594)

[5.7 Problema preciziei a numerelor fracționare 24](#_Toc536554595)

[6 Utilizare 25](#_Toc536554596)

[7 Concluzii 26](#_Toc536554597)

# Resurse utilizate

In acest capitol voi discuta despre resursele hardware, software si mecanice folosite pentru realizarea proiectului.

## Software

In acest subcapitol sunt menționate atât resursele software folosite pentru aplicația dezvoltata pentru realizarea CNC-ului in Arduino, cât și pentru realizarea a unui program ce comunica prin portul USB cu Arduino.

Pe lângă asta mai sunt menționate si *tool*-uri pentru conversia imaginilor în fișiere GCODE.

### Aplicația CNC în Arduino

Deoarece am ales sa folosesc platforma hardware Arduino, am folosit ca și limbaj de programare, limbajul C++, aceasta fiind singura opțiune disponibilă, însă după părerea mea si una dintre cele mai bune alegeri pentru programare *embedded*. Oferă toate facilitățile *low level* ale limbajului C, cat si posibilitatea de a programa la un nivel cat mai *high level* folosind concepte de programare orientata pe obiect.

Compilatorul folosit pentru a compila limbajul C++ în limbaj mașină pentru *microcontroler-*ulAtmega328p de pe Arduino este avr-g++.

Petru operațiile de input/output pe pini cât si pentru partea de comunicație cu portul serial, am folosit biblioteca oferită de Arduino si biblioteca AVR.

**<REF: arduino reference sau avr datasheet>**

### Aplicația de comunicație cu Arduino

Pentru aplicația de comunicație prin USB cu Arduino am ales sa folosesc limbajul Python 3.7, cu ajutorul pachetului PySerial.

**TODO: add more**

### *Tool*-uri pentru conversia imaginilor

Pentru conversia imaginilor in limbajul GCODE, am folosit aplicația *desktop* inkscape, împreună cu alte tool-uri online de conversie a fișierelor cu extensia SVG în GCODE.

**<REF: inkscape si jscut>**

## Hardware

În această secțiune voi enumera toate resursele hardware împreuna cu specificațiile lor, folosite la realizarea CNC-ului.

### Microcontroler

Așa cum am menționat și în introducere, placa de dezvoltare folosită pentru realizarea CNC-ului este Arduino Uno Rev3. Această placă folosește microcontrolerul Atmega328p.

|  |  |
| --- | --- |
| Figura – Arduino UNO | Specificații tehnice generale:  - frecventa microcontroler: **16Mhz**  - memorie flash: **32KB**  - memorie SRAM: **2KB**  - memorie EEPROM: **1KB**  - pini digitali I/O: **14**  - pini analogici: **6**  - tensiune alimentare placa: **7-20V**  - tensiune operare microcontroler: **5V** |

Am ales această placă deoarece este o platformă foarte populară. Din acest motiv există o comunitate destul de mare, iar documentația este bine pusă la punct.

Unul dintre cele mai importante motive pentru care am ales această placă este faptul că se poate monta peste ea un *CNC shield,* componenta hardware despre care voi vorbi in subcapitolul 1.2.2. Acest *shield*simplifica foarte mult conexiunile fizică dintre stepo-motoare si *driver*-ele pentru motoare, pe care voi le discuta în subcapitolul 1.2.4.

Un alt avantaj este dat de faptul ca interfațarea fizica dintre laptop si Arduino este făcută prin intermediul unui cablu USB de tip A către tip B. Un alt motiv pentru care am ales această platformă este faptul ca *uploadarea* software-ului pe microcontroler se face foarte ușor prin intermediul acestui USB fără a mai fi nevoie de un programator special pentru a face acest lucru.

Un dezavantaj în domeniul programării *embedded* este faptul că se poate face *debug* doar cu hardware specializat, iar in ajutorul acestei probleme, platforma Arduino, vine cu trimiterea mesajelor de *debug* prin intermediului portului USB. Lucru ce rezolva parțial această problemă fără prea multe costuri în plus.

Toate aceste avantaje menționate mai sus legate de simplitatea folosirii plăcii Arduino prin intermediul USB-ului, sunt datorită faptului că această platformă are un *chip* de convertire a semnalului USB către interfața serial a microcontroler-ului.

**IMG: CH340G**

Iar nu in ultimul rând, legat de costuri, aceasta platforma împreuna cu celelalte componente hardware, *shield-ul* CNC si driverele pentru motoare, sunt o soluție relativ ieftina din punct de vedere financiar, iar cerințele hardware pentru implementarea CNC-ului sunt suficiente.

### CNC *shield*

In figura următoare am atașat o imagine cu *shield*-ulpentru CNC folosit în acest proiect. Voi face referire la aceasta imagine în capitolul următor de asamblare la partea de hardware.

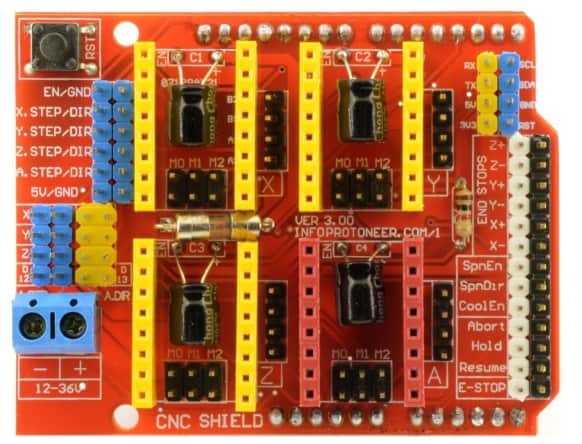


Figura – CNC shield

După cum am menționat și în subcapitolul precedent unul dintre cele mai importante motive pentru care am ales platforma Arduino este faptul că acest *shield* se poate monta peste Arduino.

Pe acest *shield* se pot monta 3 drivere pentru motoare pas cu pas pentru fiecare dintre cele 3 axe X, Y si Z, respectiv 3 motoare pas cu pas. În plus se mai poate monta încă un driver plus încă un motor pentru a ajuta una dintre axe.

Pentru a detecta când axele s-au deplasat la limitele lor fizice, pe *shield* se pot monta 6 *endstop*-uri, câte 2 pe fiecare axă pentru a semnala sfârșitul axei, poziția zero a unei axe sau celălalt capăt.

Tensiunea de alimentare pentru acest *shield* este între 12 si 36 de volți. Acest curent electric de intrare este folosit doar pentru a alimenta motoarele pas cu pas. Placa Arduino este alimentată prin USB, nu prin curentul de alimentare al *shield-*ului. Acest lucru facilitează separarea curentului de intensitate și amperaj mai mare folosit de motoarele pas cu pas de curentul folosit de microcontroler (5V tensiunea maxima și 200mA).

Voi intra în mai multe detalii despre modul cum funcționează acest CNC *shield* împreună cu Arduino și driverele pentru motoarele pas cu pas în capitolul 2 de asamblare.

### Motoare pas cu pas

Motoarele pas cu pas sunt niște motoare electrice în care o rotație completă de 360 de grade se împarte la un număr egal de pași, de obicei 200 de pași.

Astfel, aceste motoare sunt de foarte mare precizie și sunt foarte des utilizate în proiecte precum CNC-uri, imprimante 3D, sau în robotică.

Pentru acest proiect am avut nevoie de 3 motoare, fiecare motor pune în mișcare câte o axa, X, Y, respectiv axa Z. Modelul pe care l-am ales este: **Motor pas cu pas 17HS8401S Nema17**.

|  |  |
| --- | --- |
| Figura – Motor Pas cu Pas Nema17 | Specificații tehnice:  - pas: **1.8grade, adică 200 pași in 360 grade**  - cuplu: **0.59Nm**  - curent: **1.7 A**  - dimensiuni: **specifice standardului Nema17** |

Mișcarea acestor motoare va fi controlată de către *driverele* pentru motoarele pas cu pas despre care voi discuta în subcapitolul următor.

### Drivere pentru motoarele pas cu pas

Driverele pentru motoarele pas cu pas sunt componente special construite pentru a controla rotația precisă a unui motor. Cu ajutorul lor se poate ajusta limita maximă de curent trimisă către motor, direcția in care motorul se deplasează, precum si executarea pașilor.

În plus de asta, aceste drivere vin cu opțiunea de a face *microstepping*. Un motor pas cu pas face într-o rotație completă de 360 grade exact 200 de pași egali. Cu ajutorul *microstepping-ului* controlează fazele curentului către motor astfel încât o rotație completă poate avea mai mult de 200 de pași. Astfel putem activa aceste opțiuni ajungând pana la 6400 de micro pași pe o rotație completă.

Cu alte cuvinte aceste drivere simplifică foarte mult interfațarea dintre motoare și microcontroler. Folosind astfel doar 2 pini de pe microcontroler, putem controla pașii și direcția unui astfel de motor pas cu pas.

Pentru alegerea *drivere*-lor existau mai multe posibilități, însă cele mai accesibile opțiuni au fost următoarele 2 *drivere*.

|  |  |
| --- | --- |
| Figura – Driver A4988 | Figura – Driver DRV8825 |
| Specificații tehnice:  Driver chip: **A4988**  Tensiune motor: **8V - 35V**  Tensiune chip: **3V - 5.5V**  Curent maxim: **2A**  Moduri *microstepping*: **1/2, 1/4, 1/8, 1/16** | Specificații tehnice:  Driver chip: **DRV8825**  Tensiune motor: **8V - 45V**  Tensiune chip: **3V - 5.5V**  Curent maxim: **2.5A**  Moduri *microstepping*: **1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32** |

Pentru proiect am folosit 2 *drivere* DRV8825 pentru motoarele de pe axele X si Y, și un *driver* A4988 pentru motorul de pe axa Z.

Nu este o diferență foarte mare între aceste 2 alegeri, una dintre diferențe ar fi că DRV8825 suportă *microstepping* mai mare. Cu un DRV8825 având opțiunea maxima de *microstepping* **1/32** activată atunci o rotație completă a unui motor pas cu pas ajunge la 6400 de micro pași, pe când la A4988 cu opțiunea maximă de *microstepping* **1/16** activată vom ajunge la 3200 de pași pe o rotație completă.

Din punct de vedere electric, ambele *drivere* suportă fără probleme curentul si voltajul necesar funcționării optime ale motoarelor pas cu pas alese.

### *Endstop*-uri pentru limitarea axelor

### Sursă de alimentare

## Mecanice

În acest ultim subcapitol sunt prezentate toate componentele mecanice folosite la realizarea proiectului, rolul lor, precum si specificațiile unor componente mai importante.

### Componente printate din plastic

Pentru

- cele printate de pe site-ul mentionat in referinta si

- cele componente adaptate la nevoile mele, endstop, z axis, y axis modificat.

- adaptor pentru tool axa Z

### Tije cromate

Rolul acestor tije este de a liniariza mișcarea unei axe împreună cu ajutorul rulmenților despre care voi discuta în subcapitolul următor.

### Rulmenți

Mișcarea unei axe trebuie să se producă liniar, fără erori de deplasare in alte direcții și cu o rezistența cat mai mică la mișcare.

Pentru axa X am folosit 5 rulmenți liniari de 10mm

Pentru axa Y am folosit 4 rulmenți liniari de 10mm.

Pentru axa Z am folosit 4 rulmenți liniari de 8mm.

- precizare figget spinner

### Șuruburi trapezoidale

### Cuplaj pentru motor

### Tije filetate, și piulițe

Tijele filetate si piulițele au avut rolul de prinde a cadrului. Pentru proiect am avut nevoie de următoarele materiale:

* 2 tije de 420mm lungime cu diametru 10mm **REF:IMG** **on right**
* 8 tije de...
* Aprox. 50 piulițe de 8mm
* Cca 20 piulițe de 10mm Pat din plastic

Aceasta a fost printre ultimele componente montate la CNC. Am ales o suprafață dintr-un plastic transparent de dimensiunile: 30 cm lungime si 25 cm lățime. Cu toate acestea doar 20 cm de centimetri sunt disponibili pentru spațiul efectiv de lucru.

### Unealtă multifuncțională pentru gravat

# Asamblare

# Limbajul GCODE

Limbajul GCODE(Geometric CODE) este un limbaj de programare foarte popular folosit de imprimantele 3D si CNC-uri. Instrucțiunile limbajului GCODE indică unde și cum o astfel de mașina trebuie să se deplaseze pentru a desena, decupa, sau grava anumite forme în diferite materiale.

În următoarele subcapitole voi discuta cele mai importante instrucțiuni GCODE pe care am ales sa le implementez în *software*-ul de pe Arduino. astfel încât CNC-ul să fie funcțional și să poată executa fișiere GCODE trimis linie cu linie prin intermediul USB-ului.

## Sintaxa limbajului GCODE

O instrucțiune generică în GCODE are următoarea formă, unde **nn** reprezintăun număr întreg sau fracționar, iar parantezele pătrate sugerează faptul că anumite simboluri pot lipsi:

**[Gnn] [Xnn] [Ynn] [Znn] [Fnn] [Mnn]**

* **G -** simbol folosit pentru a selecta o comandă GCODE de mișcare
* **X -** semnifică o poziție de deplasare pe axa X, în planul orizontal
* **Y -** semnifică o poziție de deplasare pe axa Y, în planul vertical
* **Z -** semnifică o poziție de deplasare pe axa Z, in adâncime
* **F -** setează viteza cu care unealta CNC-ului se deplasează, reprezentată în **mm/min**
* **M -** alte funcții diverse

Exemplu de comandă GCODE: **G01 X50.25 Y20.1** **F1000**

Această comanda executa o mișcare de interpolare liniara (**G01**) de către un nou punct având coordonata **X: 50.25** și coordonata **Y: 20.1**, cu o viteza de **1000** de milimetrii pe minut.

Pe lângă acestea, mai sunt și câteva simboluri specifice pentru comenzile **G02** și **G03** despre care voi vorbi în unul dintre următoarele capitole.

Limbajul GCODE nu este unul standard, pot exista anumite variații. De exemplu pentru abordarea mea am ales să folosesc simbolul **#** pentru a afișa diferite mesaje de diagnosticare, de a modifica anumiți parametrii interni, sau de a executa diferite rutine.

## Comenzi GCODE modale

Un aspect foarte important de menționat este faptul că anumite comenzi GCODE sunt modale, în sensul că unele comenzi le pot dezactiva pe cele precedente. Daca o comanda este dintr-un anumit grup, execuția unei comenzi din același grup dezactivează comanda precedenta.

In acest subcapitol voi menționa cele mai importante dintre aceste grupuri de comenzi modale.

### Grupul comenzilor de mișcare

În acest grup se află următoarele comenzi: G00, G01, G02 si G03.

Acesta este cel mai important grup de comenzi. În acest grup fac parte 4 tipuri de mișcări pe care mașina le poate face. Aceste comenzi sunt primitivele de mișcare ale CNC-ului. Cu ajutorul lor se poate efectua orice tip de desen, oricât ce complex ar fi.

* **G00** reprezintă o mișcare liniară a axelor într-un mod sincron. De exemplu dacă suntem la poziția P0(0, 0) și următoarea comandă urmează să fie executată: **G00 X40 Y20**

Atunci se executa mișcarea ca în figura de mai jos. Mai întâi se execută mișcarea primei axe până când noua poziție, în cazul de față **X: 40**, este atinsă. Apoi se executa mișcarea pe cea de-a doua axă până când poziția **Y: 20** a fost atinsă.



Figura – Comanda G00, mișcare liniară simplă

* **G01** reprezintă o mișcare liniară de interpolare. De exemplu dacă suntem la poziția P0(0, 0) și următoarea comandă urmează să fie executată: **G00 X40 Y20**

Atunci se execută o mișcare liniară pe dreapta formată dintre cele doua puncte, punctul P0 și punctul destinație P1(40, 20). Mișcarea obținută va fi echivalentă cu cea din imaginea următoare.



Figura – Comanda G01, interpolare liniară

* **G02** si **G03** reprezintă mișcări de interpolare circulară. Cu ajutorul acestor comenzi se pot crea cercuri sau arcuri de diferite dimensiuni.

Singura diferența dintre G02 si G03 este că comanda G02 produce cercuri **în sensul acelor de ceasornic**, iar comanda G03 produce cercuri **invers acelor de ceasornic**.

Pentru aceste două tipuri de comenzi exista încă alte 3 simboluri esențiale:

* + **I** - distanța incrementală pe coordonata X relativă la centrul cercului
  + **J** - distanța incrementală pe coordonata Y relativă la centrul cercului
  + **R** - raza cercului

Pentru a desena cercul cerut, CNC-ul are nevoie să-și calculeze centru cercului. Exista doua metode prin care putem desena un cerc. Prima metodă este sa trimitem parametrii **I** si **J**, iar cea de-a doua metoda este sa trimitem doar raza cercului prin parametrul **R**, atunci ceilalți doi parametrii pot sa lipsească.

Pentru a desena un arc trebuie să trimitem prin parametrii **X** si **Y** coordonatele celuilalt capăt al arcului. Atunci CNC-ul va trasa un arc începând de la punctul curent pana la punctul destinație. Punctul destinație trebuie neapărat să se situeze pe cerc. In caz contrar CNC-ul va răspunde cu un mesaj de eroare, sau va executa un arc complet de 360 grade.

Presupunem că avem următoarele două cazuri și ne aflăm în punctul **P0(20, 10)**:

1. Executăm comanda: **G02 X30 Y20 I10 J0**
2. Executăm comanda: **G03 X30 Y20 I10 J0**

Pentru primul caz se va desena arcul verde din următoarea imagine, iar pentru cel de-al doilea caz se va desena cercul marcat cu roșu.

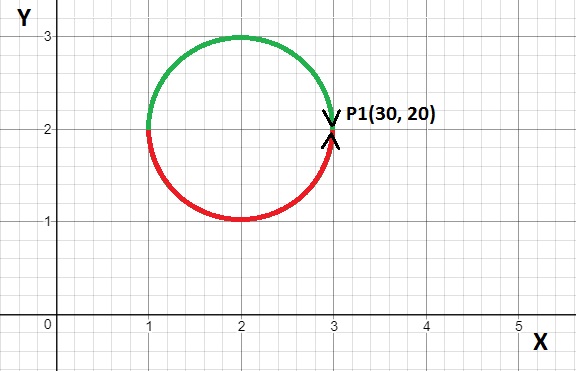


Figura – Interpolare circulară, comenzile G02 și G03

### Grupul comenzilor pentru selectarea planului

Aceste comenzi au impact doar asupra comenzilor de interpolare circulara **G02** si **G03**. Cu ajutorul lor putem alege planul în care dorim să executăm o comandă de interpolare circulară. Exista 3 comenzi pentru selectarea planului:

|  |  |
| --- | --- |
| * G17 – selectează planul **XY**, ales în modul implicit * G18 – selectează planul **XZ** * G19 – selectează planul **YZ** | C:\Users\ciprian\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.Word\G17_G18_G19.jpg  Figura – Selectarea planului |

### Grupul comenzilor pentru poziționare

Acest grup de comenzi conține două comenzi pentru selectarea modului de poziționare, referitor la cei trei parametrii, X, Y si Z.

Comanda **G90** reprezintă poziționarea absolută a parametrilor X, Y si Z relativ la poziția zero a axelor. De exemplu dacă suntem la poziția P0(10, 10, 10) și avem de executat următoarea comanda: **G01 X20 Y5 Z10** atunci CNC-ul se va poziționa la punctul P1(20, 5, 10).

Comanda **G91** reprezintă poziționarea incrementala a parametrilor X, Y si Z relativ la poziția curenta a axelor. De exemplu dacă suntem la poziția P0(10, 10, 10) și avem de executat următoarea comanda: **G01 X20 Y5 Z10** atunci CNC-ul se va poziționa la punctul P1(40, 15, 20).

### Grupul comenzilor pentru setarea unității de măsură

Grupul acesta este unul dintre cele mai simple, pentru a selecta unitatea de măsură în milimetrii, se trimite comanda **G21,** iar pentru a se opta pentru unitatea de măsură în inch se trimite comanda **G20**. Opțiunea implicit aleasă la inițializarea CNC-ului este cea în milimetrii.

### Comenzi personale rezervate

După cum am menționat și în introducere limbajul GCODE nu este unul standard, pot exista anumite variații. Cu scopul de diagnosticare și testare, am ales să rezerv următoarele comenzi: **G250, G251, G252, G253, G254** si **G255**.

Aceste comenzi le-am tratat ca făcând parte din grupul de comenzi de mișcare, așadar le dezactivează pe cele menționate în primul grup din subcapitolul 3.2.1.

De exemplu am ales să folosesc comanda **G255** ca o versiune mai optimizată a comenzii **G01**, ce lucrează intern cu numere întregi în loc de numere fracționare pentru a eficientiza calculele făcute în algoritmul de interpolare liniară.

## Comenzi GCODE non modale

În subcapitolul precedent am vorbit despre comenzile modale, acestea fac parte dintr-un anumit grup, executarea unei comenzi diferite din același grup dezactivează comanda precedenta.

In acest subcapitol voi discuta despre comenzile non modale.

* Comanda **G04** este o instrucțiune de așteptare, echivalentul unei funcții de *delay(ms)* din programare. Această comandă poate veni însoțită de simbolul **P** urmat de un număr ce specifica timpul in milisecunde de așteptare. Opțional, timpul specificat de așteptare poate fi trecut în parametrul **X**, semnificând același lucru.
* Comanda **G28** este o procedură, in care CNC-ul își deplasează toate axele în poziția zero. Această poziție este detectată cu ajutorul *endstop*-urilor menționate în capitolul de resurse hardware 1.2.5.
* Comanda **G92** este o instrucțiune ce setează poziția curentă a axelor ca fiind poziția zero a axelor. Această comandă este utilă în cazul în care dorim să desenăm ceva în mijlocul axelor patului de desenat.

Exemplu pentru desenarea in mijlocul patului:

1. Executam comanda **G28** pentru a deplasa toate axele la poziția zero.
2. Mutam axele undeva în centrul patului cu comanda: **G01 X100 Y100 Z0**
3. Trimitem comanda G92 pentru a seta poziția curenta ca fiind poziția zero a celor trei axe. CNC-ul va desena relativ la aceasta poziție din mijloc, următoarele mișcări.

## Comenzi GCODE auxiliare

Comenzile auxiliare încep cu simbolul **M**. Câteva dintre cele mai importante comenzi pe care am ales sa le implementez ar fi:

* Comanda **M02** înseamnăsfârșitul scriptului GCODE trimis. Pentru această comandă poate implementa diferite proceduri de distanțare a axelor fața de poziția curentă pentru a putea să avem acces mai ușor la patul de desenare.
* Comanda **M17** dezactivează toate cele 3 motoare pentru a le putea deplasa manual daca este cazul. Daca motoarele sunt dezactivate, atunci toate instrucțiunile de mișcare executate de CNC nu vor avea nici un efect asupra motoarelor, ele vor modifica doar poziția logica interna în care se află CNC-ul.
* Comanda **M18** activează toate cele 3 motoare.

# Algoritmi

În secțiunea curentă voi detalia cei mai importanți algoritmi folosiți în implementarea CNC-ului. Voi încerca să aleg notații cât mai sugestibile pentru a avea o trasabilitate cât mai buna între algoritmi și implementare.

Așadar în primul subcapitol voi discuta cum este calculată distanța reală de la un punct la altul, în cel de-al doilea subcapitol voi vorbi despre cum este simulată viteza motoarelor, iar ultimele subcapitole voi descrie algoritmii pentru cele patru tipuri de mișcări posibile reprezentate în limbajul GCODE de G00, G01, G02 si G03 discutate in subcapitolul 3.2.1.

Primii doi algoritmi discutați în următoarele doua subcapitole vor fi folosiți în implementarea algoritmilor de deplasare din ultimele trei subcapitole.

## Formula pentru calculul distanței fizice de deplasare

CNC-ul primește prin intermediul simbolurilor **X**, **Y**, si **Z** numere fracționare ce vor reprezenta mișcări de deplasare ale celor 3 axe, având unitatea de măsură în milimetri. Pentru a executa o mișcare pe o distanță precisă, avem nevoie sa deducem câteva formule.

În primul rând pentru a deduce cum calculam aceste distanțe, avem nevoie să știm câți milimetrii sunt parcurși pe o axă atunci când CNC-ul deplasează axa exact cu un singur pas al motorului.

Din specificațiile șurubului trapezoidal, din subcapitolul 1.3.4, știm că într-o rotație completă de 360 grade, piulița trapezoidală se deplasează 8 milimetrii.

Din specificațiile motoarelor pas cu pas folosite în acest proiect, din subcapitolul 1.2.3, știm că un motor execută exact 200 de pași egali pentru a efectua o rotație completă, iar din specificațiile *drivere*-lor utilizate, din subcapitolul 1.2.4, știm că avem posibilitatea de a activa diferite opțiuni de *microstepping* mărind astfel numărul de pași făcuți de motor într-o rotație de 360 grade.

Luând în considerare cazul în care nu avem nici o opțiune de *microstepping* activată, atunci putem deduce că pe un pas executat al motorului parcurge distanța de **8mm / 200**, adică **0.04mm**.

Vom nota cu **STEP\_REZOLUTION**, distanța în mm parcursă pe o axa într-un pas al motorului, notăm cu **TRAVEL\_DISTANCE\_360** specificația șurubului trapezoidal, in cazul de fața este 8mm, iar cu **NUMBER\_OF\_STEPS\_360** numărul de pași necesari al unui motor într-o rotație de 360 grade. Generalizând obținem următoarea formulă.

**STEP\_REZOLUTION = TRAVEL\_DISTANCE\_360 / NUMBER\_OF\_STEPS\_360**

Pe baza acestei formule am generat tabelul următor luând în calcul și opțiunile de *microstepping*.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Opțiune *microstepping* | NUMBER\_OF\_STEPS\_360 | STEP\_REZOLUTION |
| Fără microstepping | 200 | 0.04 mm |
| 1/2 | 400 | 0.02 mm |
| 1/4 | 800 | 0.01 mm |
| 1/8 | 1600 | 0.005 mm |
| 1/16 | 3200 | 0.0025 mm |
| 1/32 (doar pe DRV8825) | 6400 | 0.00125 mm |

## Simularea vitezei de deplasare

Limbajul GCODE specifică viteza cu care unealta trebuie să se deplaseze atunci când un anumit tip de mișcare este executat. Este important ca unele operațiuni de mișcare ale CNC-ului să se execute la o viteza mai mică. Spre exemplu, dorim să gravăm în metal la o viteza mică deoarece materialul este foarte dur și nu permite prelucrarea lui la viteze mari. În caz contrar dorim să efectuăm și operațiuni de mișcare la viteze mari, spre exemplu atunci când unealta se deplasează fără să atingă materialul, pentru a economisi timp de lucru.

Pentru a putea simula viteza de deplasare avem nevoie să definim mai întâi câteva noțiuni. Viteza de deplasare trimisă ca ***input*** către CNC va fi reprezentă în milimetrii pe minut (mm/min). Vom putea simula viteza motoarelor controlând un timp de așteptare intre pași. Deci ***output***-ul acestui algoritm va fi acest timp de așteptare dintre pași. Cu cât timpul de așteptare este mai mic, viteza de deplasare crește, iar cu cat timpul de așteptare este mai mare viteza de deplasare o să scadă.

Pentru formula vitezei vom avea nevoie și de notațiile definite în subcapitolul precedent, ci anume de **NUMBER\_OF\_STEPS\_360** și de **TRAVEL\_DISTANCE\_360**.

Vom nota cu simbolul **RPM** numărul de rotații ale unui motor pe minut, input-ul problemei îl vom nota cu **SPEED**, iar *output*-ul îl vom nota cu **DELAY**.

Astfel putem calcula, însă avem nevoie sa convertim **RPM** în **RPS**, adică rotații pe secunda:

**RPM = SPEED / TRAVEL\_DISTANCE\_360**

**RPS = RPM / 60**

Avem numărul de rotații pe secunda, acum trebuie să aflăm cu câți pași pe secundă trebuie să ne deplasam astfel încât să atingem viteza dată ca input. Acest rezultat îl obținem în felul următor:

**STEPS\_PER\_SECOND = RPS \* NUMBER\_OF\_STEPS\_360**

Având toate aceste rezultate la dispoziție putem calcula ușor acel timp de așteptare dintre pași pentru a simula viteza dorită. În funcție de unitatea de timp în care dorim să obținem *output*-ul acestui algoritm, aplicăm una dintre formulele de mai jos:

**DELAY\_s = 1 / STEPS\_PER\_SECOND**

**DELAY\_ms = 1.000 / STEPS\_PER\_SECOND**

**DELAY\_us = 1.000.000 / STEPS\_PER\_SECOND**

Așadar în *software*-ul CNC-ului va trebui să implementam o astfel de funcție, care sa calculeze *delay*-ul pentru a simula viteza dorită.

În tabelul următor am trecut câteva valori orientative pentru timpul de așteptare dintre pașii motoarelor pentru a simula viteza dată ca input. Am introdus în tabel valorile pentru pragul inferior al vitezei minime, 8m/min, o viteză medie, cât ș pragul superior al vitezei. In tabel vor fi calculate *delay*-urile pentru toate opțiunile posibile de microstepping ale driverelor.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Viteza (mm/min) | RPM | NUMBER\_OF\_STEPS\_360 | DELAY\_us |
| 8 | 1 | 200 | 300 000us = 0.3s |
| 8 | 1 | 400 | 150 000us = 0.15s |
| 8 | 1 | 800 | 75 000us = 75ms |
| 8 | 1 | 1600 | 37500us |
| 8 | 1 | 3200 | 18750us |
| 8 | 1 | 6400 | 9375us |
| 1000 | 125 | 200 | 2040us |
| 1000 | 125 | 400 | 1020us |
| 1000 | 125 | 800 | 510us |
| 1000 | 125 | 1600 | 255us |
| 1000 | 125 | 3200 | 127us |
| 1000 | 125 | 6400 | 63us |
| 2040 | 255 | 200 | 1176us |
| 2040 | 255 | 400 | 588us |
| 2040 | 255 | 800 | 294us |
| 2040 | 255 | 1600 | 147us |
| 2040 | 255 | 3200 | 73us |
| 2040 | 255 | 6400 | 36us |

La viteza minimă simulata, motorul se învârte cu 1 RPM, iar la viteza maximă motorul ajunge undeva aproximativ la 255 RPM. Am ales aceste limite de minim si maxim pentru a proteja driverele si motoarele de supraîncălzire.

## Algoritmul pentru mișcare liniară simplă

Algoritmul pentru mișcarea liniară simplă este cel mai intuitiv si simplu de înțeles din aceste ultime trei subcapitole. Algoritmul va fi utilizat în implementarea comenzii **G00** discutată în subcapitolul 3.2.1.

**Input**: **p0**(a, b, c) punctul curent de pornire, și **p1**(x, y, z) fiind punctul destinație.

**Output**: O deplasare liniară simplă, mai întâi pe axa X până ce p1.x este atins, după care se execută o deplasare pe axa Y până ce p1.y este atins, apoi se deplasează ultima axă până când se ajunge la p1.z.

Deplasarea se execută pas cu pas având o anumită rezoluție fizică între pași, calculată de formula definită în primul subcapitol. Vom folosi aceiași notație, **STEP\_REZOLUTION**.

De asemenea vom folosi notația **DELAY\_us** pentru a simula viteza de deplasare a motoarelor.

**ALGORITM**

## Algoritmul pentru interpolare liniară

Algoritmul din secțiunea curentă implementează comanda **G01**.

**ALGORITM**

## Algoritmul pentru interpolare circulară

In acest ultim subcapitol vom detalia algoritmul de interpolare circulara pentru desenarea cercurilor.

**ALGORITM**

# Implementare

Având toate aceste noțiuni detaliate în capitolele precedente, putem trece la partea de implementare.

Dorim ca CNC-ul să primească comenzi prin intermediul portului USB. Putem trimite comenzi prin USB folosind diverse aplicații de tip *Serial Terminal* gen PuTTY, însă am ales să implementez un script in Python pentru a face acest lucru. Cu ajutorul acestui script voi avea posibilitatea să trimit și fișiere întregi către CNC.

Comenzile vor fi trimise linie cu linie. Fiecare line va fi validată. Daca este o instrucțiune validă GCODE atunci aceasta va fi analizată și executată.

In primul subcapitol vom discuta despre arhitectura aplicației

## Arhitectura generală a aplicației

Următoarea diagramă reprezintă descompunerea funcțională minimalistă a aplicației.

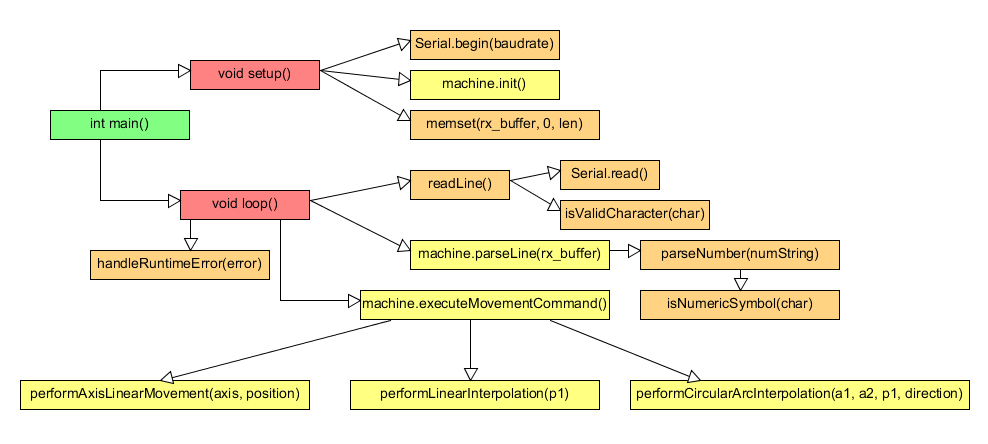


Figura – Diagrama de descompunere funcțională

În punctul de intrare al aplicației, funcția main, se apelează cele doua funcții specifice platformei Arduino, setup și si loop.

În funcția setup se inițializează obiectul Serial folosit pentru comunicația prin USB. În comunicația serial trebuie stabilită viteza cu care se desfășoară comunicația în ambele *endpoint*-uri. Viteza se specifică prin baud rate, adică numărul de biți trimiși pe secundă. Vom avea în vedere ca același baud rate folosit în *software*-ul CNC-ului, să fie folosit și pe scriptul făcut în python.

In funcția de setup se mai inițializează și o instanță a clasei Machine. Vom vorbi despre această clasă în următorul subcapitol.

De asemenea se inițializează și *buffer-*ul de recepție a comunicației, aici vor fi stocate temporar datele primite prin USB.

Funcția loop verifică dacă conexiunea serial este activă. În caz contrar se microcontroler-ul se resetează. Dacă conexiunea este activă se așteaptă primirea unei linii complete în buffer. Primirea unei linii este semnalată printr-un *flag*. Când *flagul* este setat se apelează funcția de validare și analizare, parseLine.

Funcția parseLine extrage instrucțiunile GCODE din linia primită si creează o noua instanță a unei comenzi. Dacă este semnalată o instrucțiune de schimbare a poziției în care se afla unealta CNC-ului, atunci începe o procedură de deplasare conform tipului de mișcare pe care trebuie să-l executăm. După ce procedura de deplasare se termina, CNC-ul va trimite răspuns înapoi dacă acțiunea s-a terminat cu succes sau dacă a intervenit o eroare.

Înainte de a intra în alte detalii voi prezenta în următoarea imagine diagrama de compoziție a claselor:

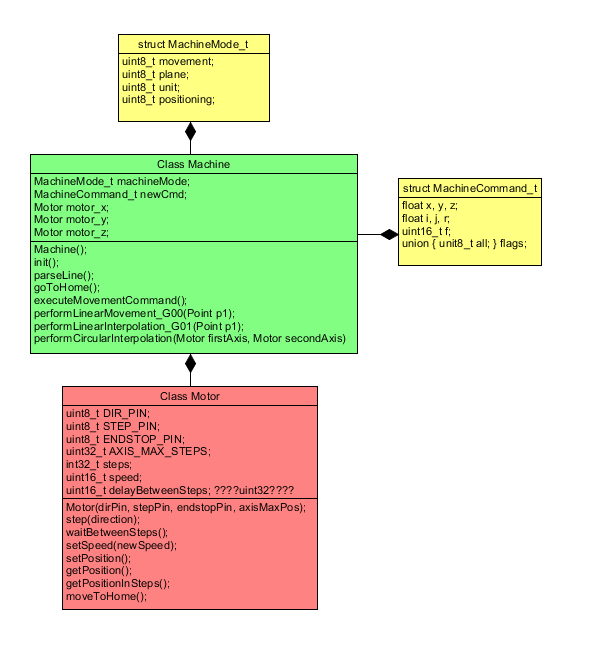


Figura – Diagrama claselor

### Clasa Machine

Clasa **Machine** este clasa nucleu a aplicației. Această clasă va fi de tipul *singleton*, deci se va instația o singură dată la inițializarea aplicației. Aici vor fi ținute stările interne ale mașinii, grupurile de comenzi activate, comanda curentă de procesat, precum și cele trei instanțe pentru fiecare motor.

### Clasa Motor

Clasa **Motor** vafi folosită pentru a reprezenta câte o instanță a unui motor de pe fiecare axă.

## 

## Implementarea stărilor în care se afla CNC-ul

Stările interne: Această instanță a unei comenzi primite conține în câmpurile ei variabile pentru toate simbolurile GCODE, precum si *flaguri* de notificare.

## Implementarea comunicației Serial

## Implementarea interpretorului de comenzi

## Implementarea procedurii de *homing*, G28

## Problema preciziei a numerelor fracționare

Implementând poziționarea uneltei CNC-ului, am ales să reprezint poziția curentă prin tipul de date *float*. Am implementat poziția curentă într-o anumită axă ca fiind distanța față de poziția zero a axei.

Când poziția într-o axă se modifica cu un pas incrementam sau decrementam poziția curentă cu valoarea constantei **STEP\_RESOLUTION** în funcție de direcția în care mergeam.

Luăm doar cazul în care trebuia să mă deplasez la o poziție pozitivă mai mare decât poziția curentă. Deci ca să ajungem la noua poziție trebuia sa incrementez poziția curentă cu valoarea constantei **STEP\_RESOLUTION** pană când ajungem la destinație.

Pentru distanțe relativ mici nu am sesizat nici un fel de probleme. Însă deplasând unealta pe distanțe mai mari am constatat că uneori executa mai mulți sau mai puțini pași decât mă așteptam să execute.

Problema se intensifica atunci când am activat opțiunile de *microstepping*. Activând microstepping rezoluția dintre pași devine mai mică, deci ca sa parcurg o anumită distanță numărul pașilor creste. Făcând mai mulți pași, implicit asta înseamna că trebuia să incrementez de mai multe ori cu constanta **STEP\_RESOLUTION** de fiecare dată când făceam un pas.

Problema apare de la precizia numerelor float. În tabelul următor sunt prezentate care sunt defapt valorile exacte stocate în acest tip de date pentru toate cazurile de microstepping.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| STEPPS | STEP\_RESOLUTION | Reprezentarea exacta în float |
| 200 | 0.04 | 0.039999999106 |
| 400 | 0.02 | 0.019999999553 |
| 800 | 0.01 | 0.009999999776 |
| 1600 | 0.005 | 0.004999999888 |
| 3200 | 0.0025 | 0.002499999944 |
| 6400 | 0.00125 | 0.001249999972 |

După cum observăm, TRB SA TESTEZ Si PE ARDUINO,sa vad ce valori is

# Utilizare

Pentru utilizarea CNC-ului avem nevoie să convertim imaginea dorită în fișier GCODE.

# Concluzii