

Implementatie van Veiligheidstechnologieën in een Aangepaste CNC-freesmachine

Lasse Houtenbos
InHolland University of Applied Sciences
Alkmaar, Netherlands
Email: 697293@student.inholland.nl

Abstract—Dit document beschrijft de veiligheidsmaatregelen voor een zelf gebouwde CNC-freesmachine uit een Ender 3 V2 [1]. Om ongelukken met mensen te voorkomen is de machine uitgerust met een Human Presence radar om de aanwezigheid van mensen in de buurt van te detecteren en zo de veilige werking te verzekeren. Deze introductie biedt een overzicht van de gebruikte technologie.

1. Introductie

Veiligheid is een belangrijk onderdeel bij het gebruik van een CNC-freesmachine, door de draaiende en scherpe onderdelen is het een gevaarlijke machine. Veel machines hebben om deze reden ook meerdere veiligheids maatregelen ingebouwd. Verschillende soorten beveiliging kunnen worden gebruikt om ongelukken te voorkomen. Zo de machine zo veilig mogelijk te maken worden in veel machines meerdere veiligheids maatregelen genomen. In dit artikel worden alleen de veiligheidsmaatregelen besproken die de veiligheid van mensen kunnen waarborgen

2. Onderzoeksvragen

In dit onderzoek richten we ons op de verbetering van veiligheidsmaatregelen voor CNC-freesmachines. De volgende onderzoeksvragen zijn geformuleerd om de richting van dit onderzoek te bepalen:

- 1) Welke risico's vormen de grootste bedreiging voor de veiligheid van operators bij het gebruik van CNC-freesmachines?
- 2) Hoe effectief zijn bestaande fysieke en softwarematige beveiligingsmechanismen in het voorkomen van ongevallen bij CNC-freesmachines?
- 3) Kan de integratie van Human Presence Radar-technologie de veiligheid van CNC-freesmachines significant verbeteren en hoe?

3. Bestaande oplossingen

3.1. Noodstopknoppen

Noodstopknoppen zijn fysieke knoppen die rondom de machine zijn geplaatst. Deze knoppen kunnen handmatig

worden ingedrukt om de machine onmiddellijk te stoppen in geval van een noodsituatie. Dit biedt een snelle manier om de machine uit te schakelen en verdere schade te voorkomen. Binnen de noodstoppen zijn er verschillende varianten. Zoals de E-Stop, deze stop zal alle bewegende delen van de machine softwarematig uitschakelen. Een andere variant is de hard-stop, deze knop sluit de machine af van alle spanning. Het probleem met een hard-stop is dat de machine in uitgeschakelde toestand alle bewegende delen alsnog zo abrupt mogelijk stil moet zetten.

3.2. Fysieke Afschermingen

Fysieke afschermingen, zoals veiligheidsdeuren en omheiningen, beperken de toegang tot gevaarlijke delen van de machine tijdens de werking. Deze afschermingen zorgen ervoor dat operators en omstanders niet per ongeluk in contact komen met bewegende delen of snijgereedschappen. Vaak zijn deze afschermingen digitaal gekoppeld aan de machine, door deze extra vorm van beveiliging weigert de machine te werken bij kapotte of falende afschermingen. In het geval van deze CNC-freesmachine zijn fysieke afschermingen niet mogelijk door het gebruik van een bestaande 3D printer.

3.3. Softwarematige Veiligheidscontroles, Sensoren

Softwarematige veiligheidscontroles omvatten verschillende functies binnen de besturingssoftware van de machine. Dit kan het controleren van bewegingslimieten, snelheden en andere onderdelen omvatten om te voorkomen dat de machine in een gevaarlijke toestand opereert. Foutdetectie en automatische uitschakeling bij abnormale omstandigheden zijn ook onderdeel van deze beveiligingsmaatregelen.

3.4. Human Presence Radar (HPR)

De Human Presence radar is een sensor die elektromagnetische golven gebruikt om de aanwezigheid en locatie van mensen te detecteren [2]. Deze sensor is hierdoor uitermate geschikt als beveiligingsmaatregelen. Een voordeel aan een HPR is dat de afstand en locatie van de omstander of operator ook meetbaar is. Met deze functie kan geanticipeerd worden op bewegingen van mensen.

Wanneer menselijke aanwezigheid wordt gedetecteerd, kan de machine automatisch worden uitgeschakeld of in een veilige modus worden gezet. Dit biedt uitkomst in grote machines waar fysieke afschermingen of hekken de werking en onderhoud van de machine belemmeren.

4. Methode

4.1. Hardware

4.1.1. Printplaten. Om alle onderdelen goed en op een nette manier met elkaar te verbinden wordt gebruik gemaakt van een custom designed PCB. Een voordeel van een PCB is dat de juiste spanningen ook op het bord worden gegenereerd. Op deze PCB zitten meerdere aansluitingen voor alle onderdelen. Op deze printplaat zitten ook de aansluitingen voor de sensoren en knoppen voor het beveiligingsmechanisme. De controllers voor de motoren worden ook op deze printplaat bevestigd.

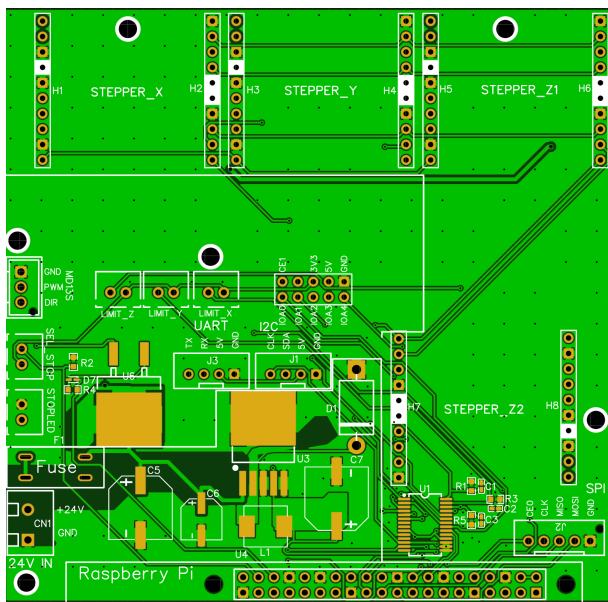


Figure 1. Main PCB

4.1.2. Main Controller. Als brein van de CNC machine is een Raspberry Pi Zero W 2 [3], deze chip beschikt over een sneller processor en meerdere cores. De keuze is uitgegaan naar deze chip door zijn kleine vorm maar alsnog goede performance. Ook heeft de Pi Zero meerdere verbindingsmogelijkheden, zowel draadloos als bedraad. Hierdoor is de Pi Zero perfect voor onze machine

4.1.3. HPR. De gebruikte HPR is de LD2450 van HiLink [4]. Deze sensor is gekozen door de detectie snelheid en prijs van de sensor maar ook door de opties van de sensor op het communicatie vlak.

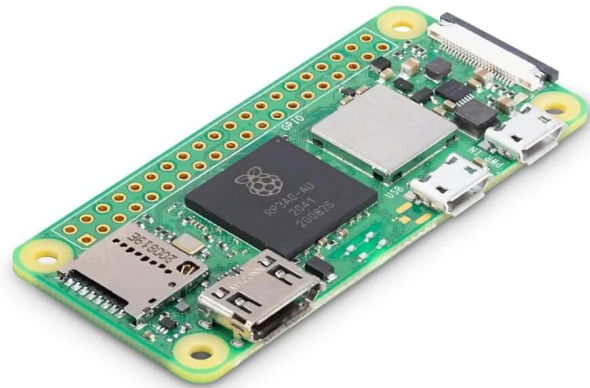


Figure 2. Raspberry Pi Zero W 2

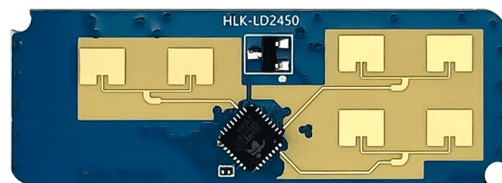


Figure 3. Hilink LD2450

4.2. Noodstop

De CNC machine is ook uitgerust met een E-Stop en een Noodstop. Deze twee knoppen zijn verwerkt in een kleine behuizing die bevestigd is aan een lange kabel. De E-Stop heeft een verbinding met de Raspberry pi, en kan de motoren en bewegingen van de machine snel uitschakelen. Het grote verschil tussen de E-Stop en de Noodstop is eerder benoemd, daarom schakelt de Noodstop de spanning van de machine af.

Het verschil in gebruik is erg belangrijk. Bij gebruik van de E-stop zal de machine nagenoeg gelijk stil staan, maar bij gebruik van de noodstop heeft de machine tijd nodig om compleet stil te staan.

4.2.1. Spindel driver. Een CNC-machine maakt gebruik van een frees om zo delen van het materiaal weg te halen. Om deze functie uit te voeren heeft de frees een hoog aantal toeren nodig. Hiervoor wordt een DC-motor gebruikt deze is snel op toeren, hoog toerental en vooral krachtig, maar deze motor vereist veel stroom om te goed te functioneren. Dit geeft een belemmering voor de besturing van de motor. Om dit te versimpelen is er gebruik gemaakt van een H-Brug [4]. Deze H-Brug is los van de primaire PCB en maar wordt aangestuurd via de primaire PCB. Dit is op deze manier gedaan om zo min mogelijk stroom door de primaire PCB te laten lopen. Deze H-Brug kan de directie en de snelheid van de motor bepalen. Met deze H-Brug kan de motor dus tot een gecontroleerde stop gebracht worden zonder grote piekstromen of andere problemen te

veroorzaken. In noodsituaties is de gecontroleerde stop te langzaam, daarvoor is de noodstop. Met deze stop verandert de H-Brug voor een hele korte periode de directie van de motor, waarna deze in een klap stilstaat. Dit is erg negatief voor de levensduur van de motor. Daarom wordt deze rem alleen gebruikt in noodsituaties. [MD13s] [5]

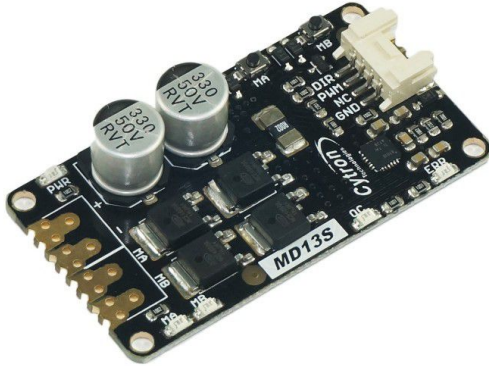


Figure 4. Cytron MD13S

4.3. Software

4.3.1. Sensor. De LD2450 communiceert met de Raspberry pi, de HPR geeft alleen de afstand van de dichtsbijzijnde persoon door aan de Pi. Dit om onnodige data van de lijn af te houden. Hierna berekent de pi de locatie van de persoon. Met deze data bepaald de Pi of de machine lager in toeren moet gaan draaien om zo de stop sneller en soepeler te laten verlopen, of de machine te stoppen. Deze virtuele "hekken" kunnen ingesteld worden via meerdere variabelen in de code om zo een soepele werking van de machine te garanderen. De LD2450 kan op verschillende manieren communiceren, via Bluetooth en UART[4.3.1]. In deze machine is UART gebruikt, dit omdat de LD2450 de veiligheid van de machine waarborgt en dit niet veilig is via een soms instabiele draadloze verbinding. [6], [7]

UART. Het Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (UART) protocol [8] is een seriële communicatieprotocol dat wordt gebruikt voor het verzenden en ontvangen van data tussen apparaten. UART wordt vaak toegepast in embedded systemen, microcontrollers, en communicatie tussen randapparatuur en computers.

UART werkt op basis van twee signaallijnen:

- **Tx (Transmit):** Deze lijn wordt gebruikt om gegevens van de verzendende naar de ontvangende

kant te sturen. De verzendende kant converteert parallelle gegevens naar seriële vorm en stuurt deze via Tx.

- **Rx (Receive):** Deze lijn wordt gebruikt om gegevens van de ontvangende naar de verzendende kant te ontvangen. De ontvangende kant converteert de ontvangen seriële gegevens terug naar parallelle gegevens.

UART maakt gebruik van een baudrate om de snelheid van gegevensoverdracht te specificeren, zoals 9600 bps (bits per seconde) of 115200 bps. De communicatie is asynchroon, wat betekent dat er geen apart kloksignaal wordt gebruikt om de timing van de gegevensoverdracht te synchroniseren. In plaats daarvan worden start- en stopbits toegevoegd aan elk gegevensframe om de grenzen van de overdracht aan te geven.

De werking van UART omvat het verzenden van gegevensframes die bestaan uit een startbit (laag niveau), gevolgd door de data bits (meestal 7 of 8 bits), en tot slot een of meer stopbits (hoog niveau) om het einde van het frame aan te geven. Dit eenvoudige maar duidelijke protocol maakt UART geschikt voor betrouwbare seriële communicatie.

De LD2450 heeft een specifieke manier om data te versturen. Deze wordt ontcijferd door de software.

```
1 private void ProcessBuffer()
2 {
3     int i = 0;
4     while (i <= bufferIndex - DataLength)
5     {
6         // Check for the header and end of frame
6         bytes
7         if (buffer[i] == 0xAA && buffer[i + 1] ==
7         0xFF && buffer[i + 2] == 0x03 && buffer[i + 3]
7         == 0x00 &&
8         buffer[i + DataLength - 2] == 0x55 &&
8         buffer[i + DataLength - 1] == 0xCC)
9         {
10            // Extract the valid frame
10            byte[] frame = new byte[DataLength];
11            Array.Copy(buffer, i, frame, 0,
12            DataLength);
13
14            // Process the frame
14            ProcessFrame(frame);
15
16            // Move past this frame in the buffer
16            i += DataLength;
17        }
18        else
19        {
20            i++;
21        }
22    }
23 }
24 }
25 }
```

4.3.2. Noodstoppen.

E-stop. De E-stop beschikt over een ingebouwde LED die de status van de machine kan laten zien. Wanneer de knop ingedrukt wordt pauzeert de machine de code die op dat moment uitgevoerd wordt, hierna worden alle bewegende delen afgeschakeld en geremd. De freesmotor remt hier met de noodstop waardoor deze in één keer stil staat. De E-stop wordt ook digitaal ingedrukt bij het

overschrijden van het virtuele hek van de machine.

Noodstop. De noodstop is een grote rode knop die ingedrukt wordt in geval van een mechanische of softwarematige fout. Denk hierbij aan gecrashte code waardoor de freeskop op volle toeren draait, of brand in de machine. Met deze knop wordt de complete machine afgeschakeld van de spanning en stoppen alle delen met werken.

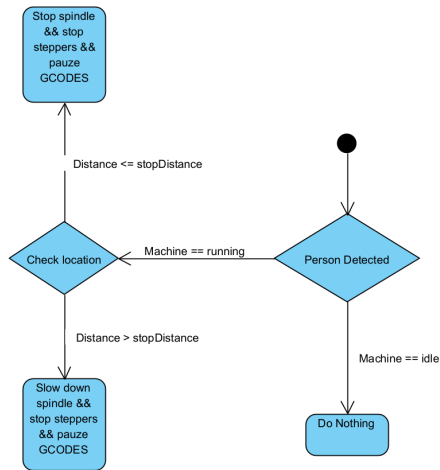


Figure 5. Klasse diagram

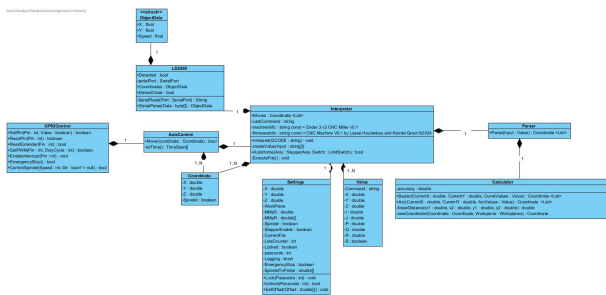


Figure 6. UML Diagram

4.3.3. Diagrammen.

5. Conclusie

Dit document heeft de veiligheidsmaatregelen besproken die zijn geïmplementeerd in een zelfgebouwde CNC-freesmachine, met een focus op het waarborgen van de veiligheid van gebruikers. De machine maakt gebruik van verschillende technologische oplossingen, waaronder noodstopknoppen, softwarematige veiligheidscontroles en een Human Presence Radar (HPR).

De noodstopknoppen, inclusief de E-Stop en Noodstop, bieden een snelle manier om de machine in noodsituaties te stoppen. Echter, het is belangrijk op te merken dat de huidige implementatie van de noodstop niet altijd de ideale reactie biedt. De noodstop zou de machine volledig en direct moeten uitschakelen zonder nadelige gevolgen voor de apparatuur, wat momenteel niet volledig wordt bereikt.

De HPR, zoals de LD2450 van HiLink, toont veelbelovende resultaten in het detecteren van menselijke aanwezigheid rond de machine. Deze radar biedt niet alleen de mogelijkheid om de machine automatisch uit te schakelen bij detectie van personen, maar kan ook de machineaanpassingen stroomlijnen om soepelere en veiligere operaties te waarborgen. De kosten-effectiviteit van de LD2450 maakt het een aantrekkelijke keuze voor integratie in machines zoals deze CNC-freesmachine. De eniglimitatie van deze sensor is de reactie snelheid en precisie van de sensor. In het getoonde prototype zijn deze limitaties geen probleem, maar in een uiteindelijk CNC-machine is deze sensor uiterst ongeschikt.

6. Aanbeveling

Om de veiligheid te verbeteren, is het cruciaal om de werking van de noodstop te verbeteren, zodat deze betrouwbaar en consistent reageert in noodsituaties zonder dat dit negatieve gevolgen heeft voor de apparatuur. Dit vereist mogelijk aanpassingen aan de elektrische schakelingen en software-algoritmen die verantwoordelijk zijn voor de noodstopfunctionaliteit.

Verder onderzoek naar geavanceerde sensorsystemen en automatiseringstechnologieën, zoals machine learning-algoritmen voor bewegingsdetectie en real-time besluitvorming, zou kunnen bijdragen aan nog veiligere en efficiëntere CNC-machines.

References

- [1] Creality, "Ender-3 v2," 2023. Accessed 20-05-2024, <https://www.creality.com/products/ender-3-v2-3d-printer-csco>.
- [2] Y. Benezeth, H. Laurent, B. Emile, and C. Rosenberger, "Towards a sensor for detecting human presence and characterizing activity," *Energy and Buildings*, vol. 43, no. 2-3, pp. 305–314, 2011.
- [3] Raspberry Pi Co., "Raspberry pi zero 2 w," 2021. Accessed 06-06-2024, <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-zero-2-w/>.
- [4] Hi-Link Electronic Co., Ltd., "24ghz human presence detection module," 2024. Accessed: 2024-06-17.
- [5] Cytron Technologies, "13amp 6v-30v dc motor driver," 2016. Accessed: 2024-06-17.
- [6] "Github cnc machine code." https://github.com/KameelDeVliegtuig/CNC_Machine.
- [7] L. Shenzhen Hi-Link Electronic Co., *HLK-LD2450Motion target detection and tracking module Instruction manual*, 2023. <https://drive.google.com/drive/folders/1kTt0Z3hjKKrIF3OCIDGdwQ4KotDJ8SGA>.
- [8] E. Peña and M. G. Legaspi, "Uart: A hardware communication protocol understanding universal asynchronous receiver/transmitter," *Visit Analog*, vol. 54, no. 4, pp. 1–5, 2020.