

Utvärdering av semiautomatisk Pick-and-Place-maskin

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Elektroingenjör

Johan Eriksson
Pontus Lian

Förord

Denna rapport handlar om det examensarbete på Institutionen för Signaler och System vid Chalmers tekniska högskola som vi har ägnat vårterminen 2017 åt att utföra. Examensarbetet utfördes på Pluspole AB, som även tillhandahöll grundkonceptet för projektet. Vi skulle vilja tacka Iman Habib på Pluspole för att ha givit oss möjlighet att utföra detta arbete och för det stöd han givit oss på vägen. Vi skulle också vilja tacka Peter Skårfors på Propoint AB för ett mycket givande studiebesök. Till sist vill vi tacka vår handledare och examinator Bertil Thomas för den feedback han tillhandahållit under skapandet av denna rapport.

Sammanfattning

Rapporten beskriver den process som genomfördes för att utvärdera nyttan av en semiautomatisk Pick-and-Place-maskin (PnP), samt de resultat som uppnåts. I dagsläget finns helautomatiska maskiner för kretskortsmontering samt att det alternativt är möjligt att montera för hand. Det har dock observerats att det verkar finnas ett spann vid montering av mindre serier där ingen av dessa metoder uppnår önskad effektivitet då den ena har en lång uppsättningstid och den andra är långsam överlag. För att lösa denna situation har ett koncept för en semiautomatisk lösmatad PnP lagts fram men ej tidigare utvärderats, målet med rapporten är därmed att presentera den teoretiska effektiviteten hos en sådan maskin. Inga prototyper konstruerades eller testades, även om försök till detta gjordes. Med avsikt att besvara frågan om effektivitet konstruerades en teoretisk modell för monteringseffektivitet med hjälp av vilken de olika metoderna jämfördes. Det utfördes även kostnadsjämförelser gentemot alternativet att lägga ut konstruktionen på entreprenad. Slutligen kunde det konstateras att konceptet fungerar tillfredsställande åtminstone i teorin, även om det med största sannolikhet finns utrymme för eller till och med kan komma att krävas förfiningar för att möjliggöra en kommersiell produkt av konceptet.

Abstract

The report describes the process which was performed in order to evaluate the use of a semiautomatic Pick and Place machine (PnP), as well as the results that were achieved. At the moment there are fully automated machines for circuit board assembly; there is also the method of assembling them by hand. It has been observed though that there is a gap between the maximum number of boards that can be assembled efficiently by hand and the minimum for automated machines, this since automated machines have a rather time consuming setup process and manual assembly is slow overall. As a solution to this problem a concept for a semiautomatic loose-fed PnP has been proposed, but has not previously been evaluated, the goal of the report is therefore to present the theoretical efficiency of such a machine. The project produced no prototypes and none were tested, though attempts at this were done. A theoretical model for assembly efficiency was created to compare the different methods, with the intention of answering the question the machine's efficiency. A comparison of costs was also performed against the option of third party assembly. The end result was that the concept is viable at least in theory, even if there is likely room for and might even demand improvements in order to make a commercial product possible.

Innehåll

1	Inledning.	1
1.1	Bakgrund.	1
1.2	Syfte.	1
1.3	Avgränsningar.	1
1.4	Precisering av Frågeställningen.	1
2	Teoretisk bakgrund.	2
2.1	Open-PnP.	2
2.2	Hur fungerar en Pick-and-place-maskin (PnP)?	3
2.3	Stegmotor.	3
2.4	G-kod.	3
2.5	Grbl.	3
2.6	Makeblock Orion.	4
2.7	STEVAL-3DP001V1.	5
3	Metod.	6
3.1	Förstå hur PnP-maskiner och Open-PnP fungerar.	6
3.2	Undersökning av CHMT560P4 PnP-maskin.	6
3.3	Beräkning av teoretisk effektivitet hos monteringsmetoder.	6
3.4	Bygga PnP-maskin.	7
3.5	Ta reda på hastigheten för prototypmaskinen.	7
4	Undersökningar.	8
5	Genomförande.	9
5.1	Analys av CHMT560P4.	9
5.2	Prototypmaskinens hastighet.	10
5.3	Teoretisk effektivitet hos maskinen.	10
5.4	Bygga en PnP.	11
6	Resultat.	12
7	Slutsats och diskussion.	13
	Referenser.	14

1 Inledning.

Det finns ett behov av ett mellanting mellan manuell och helautomatisk montering av kretskort, till detta ändamål har ett koncept av ett semiautomatiskt alternativ framtagits men ännu inte utvärderats. Detta projekt genomfördes därför för att utvärdera detta koncept och i mån av tid och positivt resultat delvis påbörja utveckling av en sådan maskin.

1.1 Bakgrund.

Om en serie av kretskort skall monteras kan detta utföras manuellt eller med en maskin. De maskiner som finns på marknaden använder sig av ett feedersystem där komponenterna har en förprogrammerad position, något som kräver en viss uppsättningstid vilket gör metoden opraktisk för små serier. Manuell montering av komponenter är tidskrävande och oergonomisk (samt enligt källor: aningen tråkigt) men fungerar i små serier. Det existerar ett spann från det att serien är stor nog att manuell montering blir opraktiskt, tills dess att automatisk montering blir lönsam. Det finns därmed ett behov av en alternativ metod som kostnadseffektivt förenklar montering inom detta spann.

1.2 Syfte.

Projektet går ut på att undersöka om en semi-automatisk lösmatad Pick-and-Place-Maskin (PnP) skulle vara ekonomiskt hållbar och inom vilka ramar som så skulle vara fallet; och om så är fallet, påbörja utveckling/konstruktion av en sådan maskin.

1.3 Avgränsningar.

Projektet kommer begränsas till att ta reda på den teoretiska applicerbarheten hos en semi-automatisk PnP-maskin, samt att bygga en simpel prototyp för testning av Open-PnP i sammanhanget.

1.4 Precisering av Frågeställningen.

- Hur lång tid tar det att utföra montering av kretskort manuellt? (Kostnad?)
- Hur ofta sker det felmonteringar vid manuell montering och hur lång tid tar det generellt sett att åtgärda dessa?
- Vilken prisbild tittar man på när det kommer till automatisk montering?
- Inom vilket spann är en semi-automatisk PnP-maskin ekonomiskt hållbar?

2 Teoretisk bakgrund.

För att förstå vad detta projekt gått ut på så behövs en del bakgrundskunskaper. Till exempel; vad är Open-PnP? Hur fungerar en PnP-maskin?

2.1 Open-PnP.

Open-PnP är ett open-source-program för att styra PnP-maskiner. Att detta är fallet är också den huvudsakliga anledningen till att det valdes till det parallellgående projektet för att konstruera den maskin vars användbarhet arbetet gick ut på att avgöra.

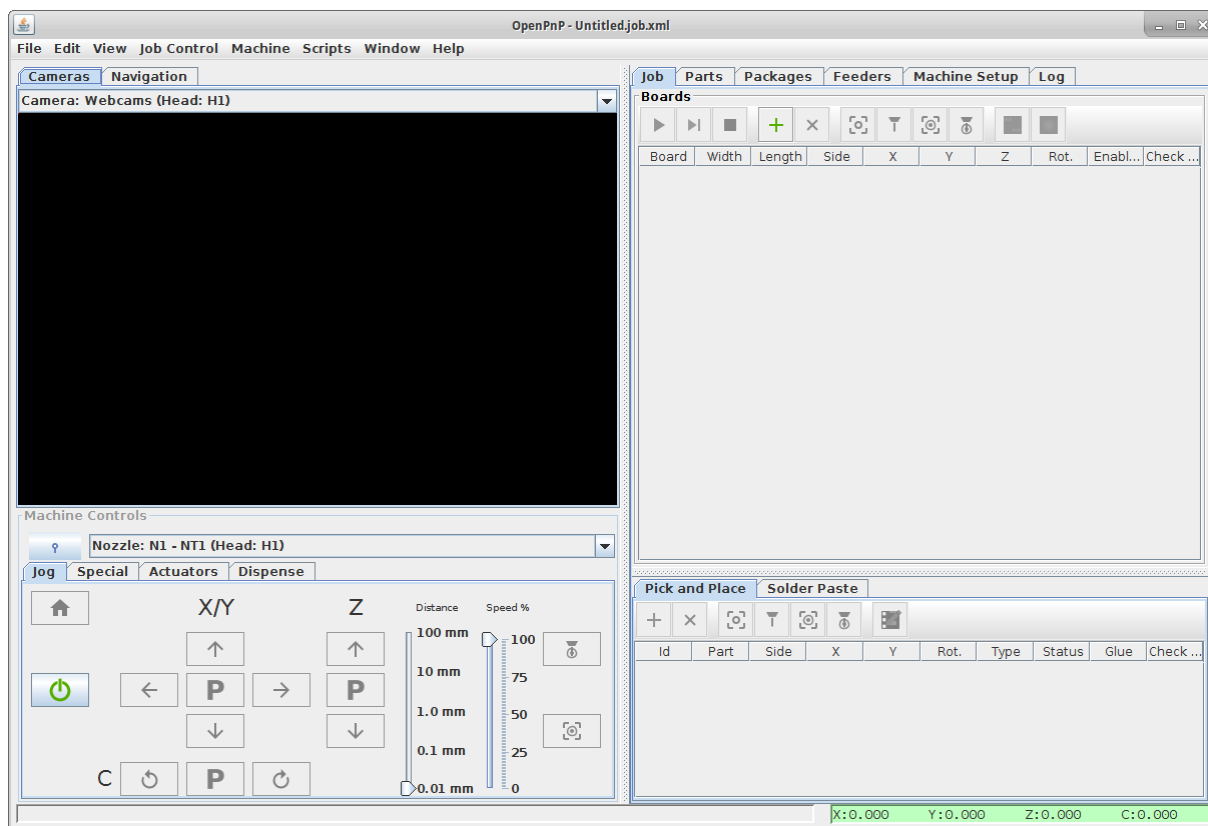


Fig 2.1.1: Startsidan i Open-PnPs standardutförande.

Programmet har funktionalitet både för helautomatisk montering, samt för manuell styrning av systemet. Den automatiska funktionen utförs via så kallade "jobs", listor där de komponenter som ska monteras anges tillsammans med sina positioner och dimensioner. Open-PnP arbetar sig igenom listan uppifrån och ner. Programmet stödjer montering på löst liggande kort; korten behöver alltså inte placeras på någon specifik plats, utan programmet letar istället upp korten och deras orientering via så kallade "fiducials", markeringar med förbestämd utformning och placering på korten. Vidare har Open-PnP funktionalitet för simulering utav PnP-maskiner, något som utförs genom att en statisk bild anges som kamera feed och programmet på så vis lurar att tro att dess instruktioner utförs i en fysisk miljö.

2.2 Hur fungerar en Pick-and-place-maskin (PnP)?

SMT (surface mount technology) component placement systems, vanligen kallat pick-and-place (PnP), är ett system för att automatiskt placera ytmonterade komponenter på ett mönsterkort. Vanligtvis är dessa helautomatiska, men de skulle även gå att göra dem halvautomatiska, alltså att maskinen sätter ut en komponenttyp åt gången som användaren tillhandahåller efter hand. De består typiskt av en XY-bord som används för att förflytta monteringshuvudet och ett antal feedrar för att tillhandahålla komponenter. Dessa feedrar är den huvudsakliga anledningen till dessa maskiner inte är ett konkurrenskraftigt alternativ i fallet små batcher, då de tar en avsevärd tid att sätta upp. Förflyttning av monteringshuvudet sker via två axlar (x och y), där den ena, generellt x-axeln, är monterad på den andra och bägge drivs av en eller två stegmotorer.

2.3 Stegmotor.

En stegmotor är en typ av elmotor som har högt vridmoment vid låga hastigheter och väldigt hög precision. Detta tack vare att den till skillnad från en vanlig elmotor som har magnetfält som får rotorn att rotera, så har den många olika som sätter den i en specifik position. Detta utnyttjas i XY-bord för att kunna förflytta och placera huvudet på specifika positioner med hög pålitlighet.

Detta tack vare att den till skillnad från en vanlig elmotor som använder sig av magnetfält för att få rotorn i rotation använder sig av flertalet mindre fält som tillåter rotorn att förflytta sig ett steg i valfri riktning eller stå kvar på sin nuvarande position.

2.4 G-kod.

G-kod (RS-274) är en standard för computer numerical control (CNC) för att skicka instruktioner till ett styrsystem. Instruktionerna är av typen ”vart”, ”hur fort” och ”vilken väg”.

2.5 Grbl.

Grbl är en öppen programvara för CNC, gjort för att köras på en Arduino, som tolkar G-kodsinstruktioner som skickas till enheten, så att Arduinon sedan i sin tur kan utföra de givna instruktionerna. Det har dock vissa begränsningar, så som att eftersom det är gjort med 3D-skrivare i åtanke så har det endast stöd för tre motoraxlar, en PnP behöver dock generellt fyra; detta kan leda till vissa begränsningar vid konstruktion av prototyper och liknande.

2.6 Makeblock Orion.

Makeblock Orion är ett kort baserat på Arduino projektets öppna hårdvara men med egna periferienheter. Anslutning till dessa periferienheter utförs via RJ25 portar, något som är standard för Makeblock serien men inte för standard Arduino, detta gör anslutning av icke Makeblock periferienheter relativt svår.[1]

Makeblock Orion

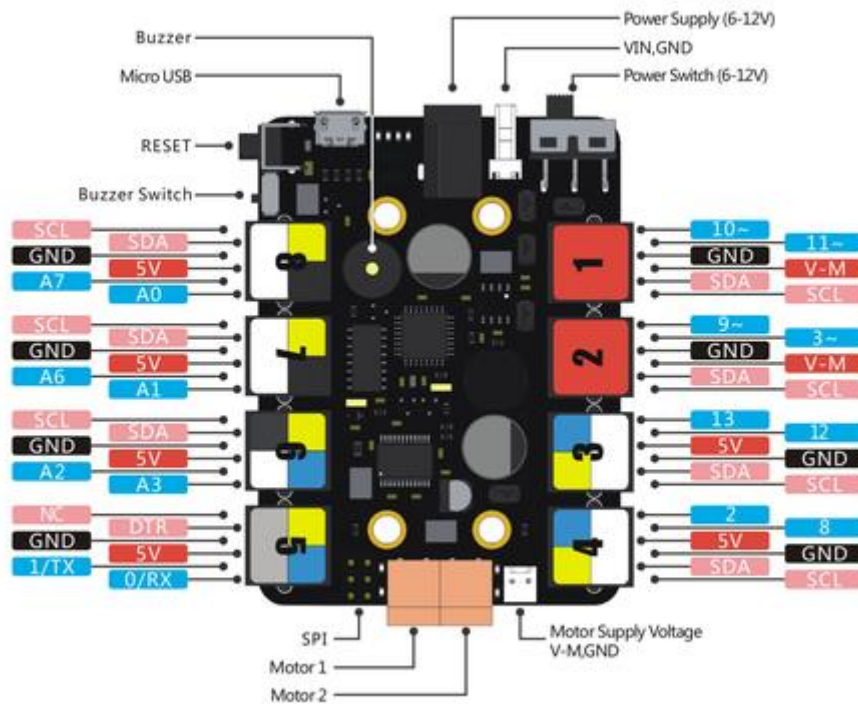


Fig 2.6.1: Makeblock Orion

2.7 STEVAL-3DP001V1.

STEVAL-3DP001V1 är ett ARM 32 baserat styrkort för 3D-skrivare, det har stöd för styrning av upp till 6 motorer. Det tillhandahåller anslutningsmöjligheter via Wi-Fi samt USB via Virtual COM port, mini USB OTG och Dongle USB A.[2] Även om kortet är avsett för styrning av 3D-skrivare, eller på grund av att det är det, så kan det även användas för styrning av de allra flesta typer utav CNC-maskiner, vilket är den egenskap som utnyttjats här.

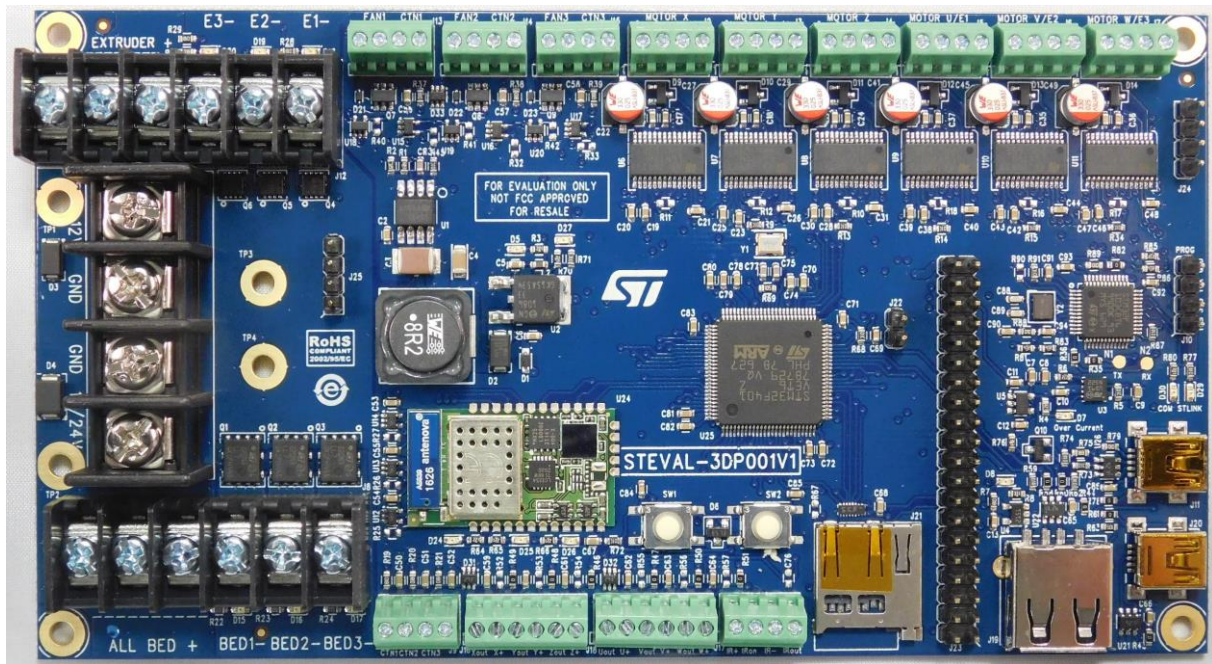


Fig 2.7.1: STEVAL-3DP001V1

3 Metod.

För att nå det mål som satts för arbetet, att ta reda på om en semiautomatisk PnP-maskin kan visa sig effektivare (och därmed lönsammare) än manuell montering, fanns det ett antal processteg som behövde tas. De steg som togs kan sammanfattas på följande vis:

- Förstå hur PnP-maskiner och Open-PnP fungerar
- Hacka en PnP-maskin
- Beräkna den teoretiska effektiviteten hos maskinen
- Bygga en egen PnP-maskin

3.1 Förstå hur PnP-maskiner och Open-PnP fungerar.

För att kunna ta sig framåt genom projektet och sedermera avgöra om hypotesen håller krävs en del kunskaper om ämnet i fråga, PnP-maskiner och de program som styr dem. Därför var det första steget i processen att införskaffa sig grundläggande kunskaper på området, i första hand genom demonstrationsvideor på Open-PnPs officiella Youtube kanal [3], samt att testa de mest grundläggande funktionerna i Open-PnP, såsom manuell styrning och att köra job; det senare utfört med hjälp av Open-PnPs simuleringsfunktion.

3.2 Undersökning av CHMT560P4 PnP-maskin.

Pluspole hade köpt in en PnP-Maskin av modellen CHMT560P4, för vilken tanken var att testa möjligheten att använda det medföljande styrkortet samt hårdvaran, genom att koppla bort operativsystemet och ersätta det med ett externt system, så att det skulle kunna styras via Open-PnP. Styrsystemet i maskinen består i huvudsak av två kort, ett för systemets operativsystem för logik, och ett styrkort dit hårdvara så som motorer och pumpar är anslutna.

Genom att avlyssna kommunikationen mellan operativsystemet och styrkortet så kan information om hur data och vilken typ av sådan som skickas mellan de två korten utläsas. Detta gjordes genom att koppla in USB-kablar på de respektive kortens sändare och sedan läsa av de inkommande meddelandena med hjälp av nätverkskonsolprogrammet Putty. Putty presenterar dock all mottagen kommunikation i sin ASCII-representation, något som ej är fördelaktigt då informationen med allra största sannolikhet inte är text som sådan, utan snarare strängar av binära värden. För att få ut dessa värden i en mer meningsfull form användes en HEX-editor, ett program som tillåter redigering utav filer i binär form, presenterat i hexadecimal form.

3.3 Beräkning av teoretisk effektivitet hos monteringsmetoder.

För att få en uppfattning av den teoretiska användbarheten som en semiautomatisk maskin skulle kunna fylla, t.ex. hur många ark med kort man kan tillverka till en satt kostnad eller hur snabbt man kan producera ett specifikt antal kort, sattes en generell matematisk formel för montering av kretskort, med möjlighet att implementeras på godtycklig monteringsmetod, upp. Formeln består av de huvudsakliga faktorerna till den totala monterings tiden.

$$t_{montering} = U_{Förb} + s (k(U_{Kort} + c \cdot t) + d \cdot U_{Komp})$$

Faktorerna i ovanstående formel är uppsättningstid för maskinen ($U_{Förb}$), antal serier (s), alltså hur många omgångar med kort som ingår i monteringen, antal kort per serie (k), uppsättningstiden för dessa kort (U_{Kort}), antal komponenter per kort (c), placeringstid per komponent (t), antal komponenttyper (d) samt uppsättningstiden för komponenter (U_{Komp}). Av de tre monteringsmetoderna är det bara automatisk som ger upphov till användning av variabeln $U_{Förb}$, detta eftersom de övriga metoderna inte har något behov av förprogrammering, utan kan påbörja montering omedelbart. Formeln ger som resultat den ungefärliga totala tiden för konstruktion av en uppsättning kort av valfri storlek ($t_{montering}$), vilken kan användas vid jämförelser gentemot alternativa monteringsmetoder.

3.4 Bygga PnP-maskin.

Efter upprepade försök att få en rätsida på kommunikationen från CHMT560P4 beslutades det att överge idén och istället konstruera en egen maskin med de mest grundläggande funktionerna, såsom förflyttning och navigering. Detta eftersom en fullt fungerande maskin inte var nödvändig för att uppnå målen och detta tillvägagångssätt gav möjlighet till mer stegvis framgång.

På Pluspole fanns det sedan tidigare ett XY-bord med tillhörande Arduino-baserat styrsystem av typen Makeblock Orion och stegmotorer. Styrning av kortet, och där igenom XY-bordet, skulle uppnås med hjälp av G-kod via Grbl.

3.5 Ta reda på hastigheten för prototypmaskinen.

För att kunna utföra de beräkningar som förklaras i avsnitt 3.3 var det av intresse att ta reda på vilka hastigheter som kunde förväntas utav den prototyp svars konstruktion påbörjades. För att åstadkomma detta kördes maskinen längs en sträcka av känd längd (10cm), varpå tidsåtgången för denna förflyttning mättes.

4 Undersökningar.

Ett studiebesök till Propoint, ett företag som tillhandahåller monterings tjänster för kretskort, utfördes för att ta reda på svaren på en del av frågeställningen: vilket minsta pris man tittar på för tjänsten i sig. Svaret på frågan är 10-15 tusen kronor enligt Peter Skårfors. Han gav även svar på den för beräkningar viktiga frågan om hur lång tid det generellt tar att få de kort man beställer; ca 2 veckor. Studiebesöket ledde även till att det kunde konstateras att denna typ av företag generellt inte monterar någonting för hand, men att när det görs så är kvaliteten nästan likvärdig med den hos maskinmonterade kort.

5 Genomförande.

Detta kapitel beskriver hur projektet genomfördes, med en del resultat av enskilda moment samt de fram- och motgångar som uppstått på vägen.

5.1 Analys av CHMT560P4.



Fig 5.1.1: Till vänster sitter kortet med operativsystemet och dess anslutning (1) och till höger styrkortet och dess anslutning (2).

Kommunikationen mellan de två korten är en seriell överföring med en baud rate på 115200, 8 bitars data, 1 stop bit och utan paritet.

Genom att avlyssna kommunikationen mellan operativsystemet (1 i fig 5.1.1) och styrkortet (2 i fig 5.1.1) under uppstart av maskinen, samt i det tillstånd den befinner sig i när ingen montering utförs, kan information om hur och vilken typ av data som skickas mellan de två korten. Denna information avsågs sedan användas för att kunna styra maskinen med externa medel.

Tabell 5.1.1: Exempel på två meddelanden som skickas från styrkortet till operativsystemet i HEX-format.

0A 02 0A 02 B6 FF D1 80 B2 F1 BB AC 7D 8F 9F CB 57 4D 02 00 7D 8D 00 B8 B5 C5 92 24 A4 24 00

0A 02 0A 02 B6 FF 1D B1 AF A9 15 EC 4C 06 E7 84 24 F1 DE EE 4C 67 28 7A A9 84 BD 82 23 22 23 02

Tabell 5.1.2: Exempel på två meddelanden som skickas från operativsystemet till styrkortet i HEX-format.

0A 02 0A 02 B6 FF DD C3 0E 4C 2A ED C1 B1 D1 08 2A 51 06 A5 2D A9 6D 53 CF E3 03 69 12 1A 12

0A 02 0A 02 B6 FF E7 BD DE C5 5C 52 AC E6 4A 28 49 A4 92 BD DA 05 55 F5 76 A8 DF 40 23 22 23 02 55 74 75 D5 01

Meddelandet som skickas från styrkortet till operativsystemet kan delas upp i tre delar. I följande exempel används data från tabell 5.1.1:

Del 1: [0A 02 0A 02]

(Nytt meddelande)

Skickas innan varje meddelande och består utav ASCII värdena för "New Line" och "Start of Text" upprepade två gånger.

Del 2: [B6 FF]

(Header)

En header bestående av två bytes som skickas i början av varje meddelande, men dess innehåll varierar mellan olika avläsningstillfällen. Exakt vilken funktion denna del av meddelandet fyller är vid skrivandets stund okänt. Under en och samma körning har segmentet påvisat förändring, något som skulle kunna påvisa att segmentet används som en indikator för typ av meddelande.

Del 3: [D1 80 B2 F1 BB AC 7D 8F 9F CB 57 4D 02 00 7D 8D 00 B8 B5 C5 92 24 A4 24 00]

(Meddelande)

Meddelandet som skickas är av varierande längd och är till synes slumpmässig även när maskinens status förblir oförändrad, vilket skulle kunna bero på protokoll eller någon typ av kryptering.

Då meddelandena inte var i klartext så som önskat så genomfördes en kortare analys av signalerna för att se efter möjligheten att hitta ett enkelt mönster som skulle kunna konvertera till och från G-kod. Dessvärre kunde ett sådant mönster inte upptäckas då liknande kommandon och status gav helt olika meddelanden, även under samma körning. Genom att utföra en mer genomgående statistisk analys på signalerna så skulle ett eventuellt mönster kunna hittas men det beslutades att inte gå vidare på den vägen i detta projekt.

5.2 Prototypmaskinens hastighet.

Vid mätning av maskinens topphastighet blev resultatet 18.46 cm/s. Dock, då detta var synligt långsammare än de kommersiella maskiner som undersökts så användes inte denna hastighet vid senare estimeringar. I stället användes en grov uppskattning av hastigheten hos CMHT560P4.

5.3 Teoretisk effektivitet hos maskinen.

Med hjälp av tidigare nämnda formel, samt de pris- och tidsuppgifter som införskaffades från Propoint och ett antagande om hur mycket en operatör för maskinen skulle kosta i timmen, ca 400 kr, kunde ett spann inom vilket spann maskinen skulle vara lönsam att använda bestämmas. Mer specifikt sträcker sig detta spann upp till ca 60 kort. Antagandet om operatörskostnad kommer sig av en förenklad beräkning av vad en anställd kostar ett företag, ca två gånger timlön, och med förutsättningen att en ingenjör med 200 kr/h utför arbetet. Vidare antaganden som gjordes återfinns i nedanstående tabell, där "antal serier" i detta basfall är likställt med antal kort och därmed är den variabel som ändrats under sökandets gång.

Tabell 5.3.1: Antaganden vid estimering av tid för montering av komponenter med Semiautomatisk PnP-maskin

Uppsättningstid (s)	0	Tid för att maskinerna ska vara redo att arbeta (endast applicerbar på automatisk)
Antal Serier	60	
Uppsättningstid per serie (s)	0	Tid för att förbereda en ny serie
Antal ark per serie	1	
Uppsättningstid per kort (s)	30	Tid för att byta kort
Antal olika komponenter	20	Olika typer av komponenter
Uppsättningstid per komponent typ (s)	20	Tid att placera nya komponenter i maskinen
Antal komponenter per ark	150	Antal komponenter som totalt ska placeras per ark
– Längst av följande två för semi-auto –		
Tid att leta upp nästa komponenttyp (s)	20	Tid när maskinen står still som det tar att leta fram nästa komponenttyp
Placeringstid per komponent (s)	5	

5.4 Bygga en PnP.

Försök att konstruera en egen prototypmaskin påbörjades med det i metodkapitlet nämnda XY-bordet samt det medföljande Makeblock Orion-styrkortet, någon vidare framgång uteblev dock, då kortet visade sig i stort sett inte vara responsivt till de styrmetoder som nyttjades. Försöken upprepades senare med ett kort av typen STEVAL-3DP001V1, dock med samma resultat.

Kommunikation med Grbl ska ske via en seriell kommunikation med en baudrate på 115200. Då Grbl är designad för att köra på en Arduino, vars portar är numrerade och placerade annorlunda jämfört med Makeblock, så behövdes dessa konfigureras om. Ett antal konfigurationer testades utan resultat.

6 Resultat.

Vid projektets start var tanken att en semiautomatisk maskin skulle kunna jämföras med manuell sådan i fråga om tidsåtgång, detta visade sig senare vara mindre uppnåeligt då manuell montering utförs i en generellt för liten skala för denna typ av undersökningar samt att denna tid påverkas väldigt mycket av individuella faktorer som är svåra att ta hänsyn till i beräkningar. Det kunde dock konstateras att felmonteringar är en hyfsat obefintlig felkälla i sammanhanget och därmed inte lär behöva räknas med vid en tidsmässig jämförelse.

Något som dock kunde konstateras var att maskinen, åtminstone i teorin, kan komma till användning på mindre företag där man inte har egen automatisk montering. Detta eftersom sådan montering externt kommer med en avsevärd startkostnad, ca 10-15 tusen kronor, pengar som räcker till montering av ca 60 kretskortsark vid in-house-produktion. Den praktiska effektiviteten och därmed lönsamheten maskinen kan uppvisa återstår dock att bevisas. Detta då även en första prototyp återstår att skapas.

7 Slutsats och diskussion.

Från början var tanken att utföra en jämförelse mellan manuell montering och en semi-automatisk prototyp, men på grund av att en prototyp inte blev klar så färdigställdes inte heller denna undersökning. I samtal med anställda på Pluspole om hur manuell montering går till, så är det oklart om vi hade fått fram ett bra resultat även med ett test, då det finns väldigt många parametrar som varierar från person till person. Generellt finns det dock ett antal likheter och skillnader i monteringsprocessen för manuell och semi-automatisk montering som vi kan påvisa, bland annat att förberedelsetiden skulle vara jämförbar i och med att komponenter behövs plockas fram och sorteras och att man, i den nuvarande förgreningen av Open-PnP som tagits fram på Pluspole, fortfarande måste leta upp nästa komponent i en lista; dock med fördelen att det går att leta upp samtliga komponenter av samma typ för montering av flera komponenter i sträck (med semi-automat). De två större fördelarna med den semi-automatiska monteringen skulle vara att medan maskinen placerar ut föregående komponent så kan nästa tas fram och förberedas samt att den fysiska påfrestningen av att sitta och placera komponenter, som kan leda till en förlängd monteringsprocess, försvinner.

Det är däremot svårt att säga hur bra en maskin av denna typ skulle vara på att korrekt lokalisera och placera ut asymmetriska komponenter. Detta skulle eventuellt kunna undgås genom att antingen i programvaran beskriva rotationen på varje enskild komponent när det ges till maskinen eller genom att komponenterna behöver matas till maskinen med en felmarginal på upp till 30-45 grader relativt till maskinens egna noll-vektor, en åtgärd som med hög sannolikhet skulle sänka maskinens effektivitet, då den inte tillåter att komponenter helt enkelt hålls ut på feederbrickan.

Då de långsammaste momenten vid semi-automatisk montering sannolikt kommer att vara vid byte av komponenter så skulle det varit praktiskt om det togs fram någon typ av mekanism, till exempel två skålar där maskinen kan plocka komponenter från den ena, medan den andra förbereds med nästa komponent för att minimera tiden då maskinen står still. Utöver detta så skulle en lösning där flera kort skulle kunna monteras samtidigt för att minska mängden komponentbyten genom att öka antal komponenter per omgång vara bra.

Allt som allt kan det konstateras att det finns potential i konceptet, både då en sådan här maskin med största sannolikhet skulle vara avsevärt effektivare än manuell montering, men också eftersom startkostnaden för att lägga ut montering på entreprenad är relativt hög. Det återstår dock som tidigare nämnt att konstruera en prototyp och påvisa denna potential även i praktiken.

Referenser.

- [1] Makeblock Me Orion. [Online]. Tillgänglig på:
<https://makeblockshop.eu/products/makeblock-me-orion-based-on-arduino-uno>.
[Hämtad: 24-Maj-2017]
- [2] STEVAL-3DP001V1. [Online]. Tillgänglig på:
<http://www.st.com/en/evaluation-tools/steval-3dp001v1.html>.
[Hämtad: 24-Maj-2017]
- [3] OpenPnP. [Online]. Tillgänglig på:
<https://www.youtube.com/channel/UCUmr1poBFmR-TTOXL692kkg>.
[Hämtad: Februari-2017]