VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

POUŽITÍ ETHERCAT BUS COUPLERS VE VÝVOJOVÉM PROSTŘEDÍ NI LABVIEW

USING THE ETHERCAT BUS COUPLERS IN THE DEVELOPMENT ENVIRONMENT NI LABVIEW

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE FILIP SVOBODA
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. PAVEL HOUŠKA, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automatizace a informatiky
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Filip Svoboda

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Aplikovaná informatika a řízení (3902R001)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Použití EtherCAT bus couplers ve vývojovém prostředí NI LabVIEW

v anglickém jazyce:

Using the EtherCAT bus couplers in the development environment NI LabVIEW

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Účelem práce je seznámení se s možnostmi komunikace s bus couplers s rozhraním EtherCAT v prostředí NI LabVIEW. Pro řešení bude použit modul NI-Industrial Communications for EtherCAT, který obsahuje podporu pro použití EtherCAT v prostředí NI LabVIEW.

Cíle bakalářské práce:

1. Seznamte se vlastnostmi a použitím průmyslovou sběrnicí EtherCAT.
2. Seznamte se s podporou rozhraní EtherCAT pro NI LabVIEW.
3. Navrhněte aplikaci v NI LabVIEW pro řízení modelového zařízení s využitím poskytnutého bus coupler a digitální I/O modulů.
4. Navrženou aplikaci zhodnoťte.

Seznam odborné literatury:

[1] Bogdan M.J.: Industrial communication systems. 2nd ed. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2011, xxxvii, 609 s. ISBN 1439802815
[2] SHELL, Richard L a Ernest L HALL. Handbook of industrial automation. New York: M. Dekker, c2000, xii, 900 p. ISBN 0-8247-0373-1.
[3] MARSHALL, Perry S a John S RINALDI. Industrial ethernet. 2nd ed. Research Triangle Park, NC: ISA, 2005, xi, 129 p. ISBN 15-561-7892-1.
[4] BITTER, Rick, Taqi MOHIUDDIN a Matt NAWROCKI. LabView advanced programming techniques. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, c2007, 499 s. ISBN 08-493-3325-3.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Houška, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 25.11.2014

L.S.

Ing. Jan Roupec, Ph.D. Ředitel ústavu	doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D. Děkan fakulty

ABSTRAKT
Tato práce se věnuje sběrnici EtherCAT a jejímu použití pomocí prostředí NI LabVIEW. V první části je rozebrána teoretická část síťových prvků určených pro automatizaci. Následuje popis sběrnice EtherCAT a jejích výhod. Dále je zde uvedeno, jakým způsobem přistupuje NI LabVIEW k této sběrnici. Následně je zpracována reálná aplikace na zadaném manipulátoru, řízená pomocí daného bus coupleru. V poslední kapitole jsou rozebrány výsledky experimentu.

KLÍČOVÁ SLOVA
EtherCAT, bus coupler, NI LabVIEW

ABSTRACT
This thesis focuses on EtherCAT fieldbus and its application by using NI LabVIEW. There are described the theoretical part of network elements designed for automation use in first part. Next part includes description of the EtherCAT and its advantages. There is described how NI LabVIEW accesses to this fieldbus in the next part. The real application developing process on the specific manipulator is treated then. It is controlled by the bus coupler. The results of the experiment are discussed in the last chapter.

KEYWORDS
EtherCAT, bus coupler, NI LabVIEW

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně dle pokynů vedoucího a s použitím uvedené odborné literatury.

V Brně dne 29. 5. 2015 ……

Podpis autora

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SVOBODA, F. *Použití EtherCAT bus couplers ve vývojovém prostředí NI LabVIEW*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 37 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Pavel Houška, Ph.D.

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu své bakalářské práce panu Ing. Pavlu Houškovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky k práci. Dále bych chtěl poděkovat své rodině, za vytvoření podmínek dovolujících vznik této práce a za trpělivost projevenou po dobu mého studia.

OBSAH

1 ÚVOD 13
2 Síťové prvky pro automatizaci 15
2.1 Bus couplery 15
2.2 Terminály 15
2.3 Terminálové kontroléry 16
3 Sběrnice EtherCAT 17
3.1 Popis 17
3.2 Fyzická vrstva 17
3.3 Protokol 18
3.4 Adresování 18
3.4.1 Inkrementální adresování 18
3.4.2 Pevné adresování 19
3.4.3 Logické adresování 19
3.5 Synchronizace 20
4 NI LabVIEW 21
4.1 Podpora sběrnice EtherCAT 22
4.2 Zpracování obrazu 23
4.2.1 NI Vision Assistant 23
5 Použité řešení 25
5.1 Rozbor zadání 25
5.2 Festo CPX FB38 26
5.3 CPX-L-8DE-8DA 26
5.4 VMPAL-EPL-CPX 27
5.5 Pneumatické pohony 28
5.6 Programová část řešení 29
5.7 Stavový automat 30
5.8 Zpracování obrazu v reálném čase 30
5.9 Uživatelské rozhraní 31
6 Experiment 33
7 Závěr 35

1 ÚVOD

V současné době je automatizace a řízení výrobních procesů jedním z nejdůležitějších průmyslových odvětví. Během vývoje vzniklo velké množství sběrnic a komunikačních protokolů. Potřeba přepínání sběrnic v průběhu řízení a snaha propojit různé systémy řízení postavené na určité sběrnici, se sběrnicově exkluzivními prvky vyústila ve vývoj bus coupleru. Bus couplery se používají pro přechod mezi sběrnicemi vysoké úrovně jako je Ethernet a sběrnicemi nižší úrovně. Průmyslové verze postavené na základu Ethernetu jsou například PROFINET nebo EtherCAT.

V posledních letech se do popředí vedle zavedených sběrnic dostává EtherCAT. Tuto sběrnici vyvinula firma Beckhoff a její předností mimo jiné je, že není zatížená žádnými poplatky. Má velmi dobře zpracované časování a další výhody.

Bus coupler, kterému se věnuje tato práce, je od firmy Festo. Jedná se o model řady CPX. Je osazen jedním modulem digitálních vstupů a výstupů, dále obsahuje ventilové pole, na kterém jsou tři ventily, každý jiného druhu.

Pomocí těchto ventilů je řízená zadaná úloha manipulátoru přesouvajícího ložisko. Jde o manipulátor osazený dvěma pneumatickými pohony. Jde o jednoduchou modelovou úlohu určenou zejména pro otestování řízení pomocí daného coupleru.

Ovládání bus coupleru je řešeno přes vývojové prostředí LabVIEW. Tento grafický programovací jazyk je také použitý pro vyobrazení stavu ventilů a pohybu manipulátoru. Dále také pro pracování obrazu z kamery, která je použitá na měření ložiska. Využívá řadu rozšíření potřebných pro podporu EtherCAT, CompactRIO a zpracování obrazu.

2 SÍŤOVÉ PRVKY PRO AUTOMATIZACI

Síťové prvky tohoto druhu se používají zejména v síťovém propojení na výrobních linkách a jiných podobných celcích výrobního procesu.

2.1 Bus couplery

Couplery jsou síťové prvky, které propojují sběrnice. Používají se často pro přechod mezi sběrnicemi vyššími (EtherCAT, ProfiBUS apod.) a samotnými akčními členy takzvanými terminály. V dnešní době se používají k propojování různých sítí na různých základech do rozsáhlých bloků. Jejich modularita je předurčila jako náhradu malých koncových Programmable Logic Controllerů (dále pouze PLC). Podporují veškeré topologie a lze je nalézt v širokém spektru automatizačních aplikací. Často se označují jako inteligentní slave. Na obrázku (Obr. 1) je zobrazena typická ukázka bus coupleru od firmy Kollmorgen pro sběrnici EtherCAT.

Obr. 1) Příklad EtherCAT bus coupleru Kollmorgen. [1]

2.2 Terminály

Jednoduché kompaktní a snadno modulární zařízení, které je většinou použito jako koncová součást automatizačního procesu. Toto malé zařízení je uzpůsobeno pro instalaci ve více kusech do bloku. Má různé funkce od digitálních vstupů, až po ventilová pole a řízení motorů. Terminály v různé kombinaci se sestavují do bloků pomocí vestavěných konektorů a integrované sběrnice. Tento blok se poté připojuje na vyšší prvek, jako je bus coupler nebo terminálový kontrolér. Jedná se o velmi výhodné řešení, neboť na jednom místě je možné řídit pneumatiku, elektroniku a zároveň měřit teplotu či jiné veličiny. Terminály na svém těle také většinou umožňují manuální ovládání určené pro testy a jiné okrajové případy.

2.3 Terminálové kontroléry

Kontroléry jsou zvláštní skupina kombinující couplery s programovatelnými automaty. Jsou rozšířitelné modulárními terminály. Díky konstrukci se zabudovaným PLC je možné je použít jako samostatné zařízení pro řízení terminálů. Ve svém šasi mohou obsahovat vstupy a výstupy různého druhu stejně jako standardně používaná průmyslová PLC. Oproti standardním terminálům jsou kontroléry často vybaveny dodatečnými informačními prvky, jako například navigační klávesy, případně zobrazovací displej. Při užití méně vybavených kontrolérů může být displej nahrazen pouze stavovou LED diodou (Obr. 2). Samotné kontroléry se vyvinuly z bus couplerů, kvůli požadavkům na autonomní řízení slave zařízení a přes vyšší sběrnice dochází pouze ke kontrole případně sběr naměřených dat.

Obr. 2) Kontrolér od firmy NI se signalizačními LED diodami. [2]

3 SBĚRNICE ETHERCAT

Tato sběrnice je jednou z mnoha přítomných na dnešním trhu. Tradiční komunikační sběrnice a přímé signálové propojení je postupně a v některých případech i velice rychle nahrazováno komunikací pomocí sběrnic, založených zejména na Ethernetu. [3]

3.1 Popis

EtherCAT uvedla firma Beckhoff Automation v roce 2003. Sběrnice je postavená na základech Ethernetu, proto je její celý název Ethernet for Controlling Automation Technology. Oproti Ethernetu má ovšem vylepšené časování a implementováno několik dalších změn. Je zaměřena na aplikace z automatizace, které vyžadují nízké časové odezvy. EtherCAT je vhodný na použití při řízení pohybů. Protokol EtherCATu byl integrován a specifikován ve standardech komunikačních sběrnic IEC 61158 a IEC 61784. [3], [4]

3.2 Fyzická vrstva

Master zařízení používá standartní hardware a speciální software. Ten může být jak uzavřený (TwinCAT od firmy Beckhoff), tak otevřený a založený na různých linuxových distribucích. Oproti tomu slave zařízení jsou většinou speciálně navrhovaná hardwarová zařízení. S vysokými konstrukčními požadavky na velice nízký čas průchodu paketu skrz zařízení.

Uzel master zařízení kompletně řídí komunikaci na síti tím, že začíná veškeré vysílání. Každý slave, když obdrží rámec, ho hardwarově zpracuje a poté předá dál v síťové struktuře. Pro další zlepšení efektivity komunikace je na každém zařízení přítomen fieldbus memory management unit (FMMU), který se stará o zápis a čtení části dat, která jsou předávána dalšímu zařízení. EtherCAT podporuje dva odlišné typy fyzické vrstvy. Jmenovitě jsou to Ethernet a EBUS. První je používaný pro připojení do externích sítí. Z pohledu těchto sítí je možné EtherCATovou síť vidět jako velké Ethernetové zařízení, které ale v sobě obsahuje velké množství podřadných zařízení. Oproti tomu je EBUS využíván jako vnitřní sběrnice pro komunikaci mezi couplerem a terminály. EBUS je fyzická vrstva navrhnutá pro redukci zpoždění vyvolané průchodem uvnitř uzlů. Typicky je rámec zpožděn pouze o 60 až 500 ns, při použití EBUS oproti Ethernetu, kde zpoždění bývá okolo 1µs. Používá Manchestrovo kódování a zapouzdření rámce mezi identifikátory SOF (Start Of Frame) a EOF (End Of Frame). EBUS jednoduše zapouzdřuje Ethernetové rámce, tudíž EBUS dokáže přenášet jakékoliv Ethernetové rámce. Celkové množství možných adres je 2^{16} pro každý segment, a pokud uvažujeme vzdálenost mezi uzly, která může být v případě EBUS 10m a v případě Ethernetu 100m, dostaneme téměř neomezenou fyzickou velikost sítě.

Topologie komunikačního systému je jedním z rozhodujících faktorů při úspěšném prosazování v automatizačním prostředí. Topologie má dopad na náročnost diagnostiky, nastavení redundance nároků na kabely a podobně. Díky tomu, že topologie hvězdy používaná u Ethernetu vedla k zvýšení nákladů na kabely a zařízení infrastruktury, preferuje se nyní topologie stromu, linie nebo kruhu. Typicky se používá kruhová topologie slave zařízení uzavřená pomocí master uzlu. [4]

3.3 Protokol

Komunikační protokol se zaměřuje na vysokou efektivnost a maximalizaci využití širokopásmového základu Ethernetu. Komunikační rámce posílané přes síť jsou standartní rámce Ethernetu, to znamená, že EtherCAT má své rámce zapouzdřené uvnitř. Tento vnitřní rámec je uveden hlavičkou a následován jedním nebo více EtherCAT datagramy, jinak nazvané protokolové datové jednotky (PDU). EtherCATové PDU jsou navázány na sebe bez interních mezer. Rámec je zakončen s posledním PDU, v případě, že takto sestavený rámec je menší než 64 bytů, je do této velikosti doplněn. PDU (odpovídá jednomu oddělenému příkazu) obsahuje hlavičku, data a poté oblast pro pracovní čítač (Working counter – WC). Tento čítač je využívaný pro kontrolu vykonání příkazu. Slave zařízení ho při úspěšném čtení/zápisu zvýší o danou hodnotu. Každé slave zařízení zapisuje do dané zprávy data při průchodu. Tato technologie se nazývá „data on the fly“. Jak z názvu vyplývá, data jsou zapisována do rámce při průchodu slave zařízením. Jediný prodlený čas je způsoben hardwarovým zpožděním při průchodu. Koncový prvek, který nedetekuje další připojené zařízení na svém portu, posílá rámec zpět na master zařízení.

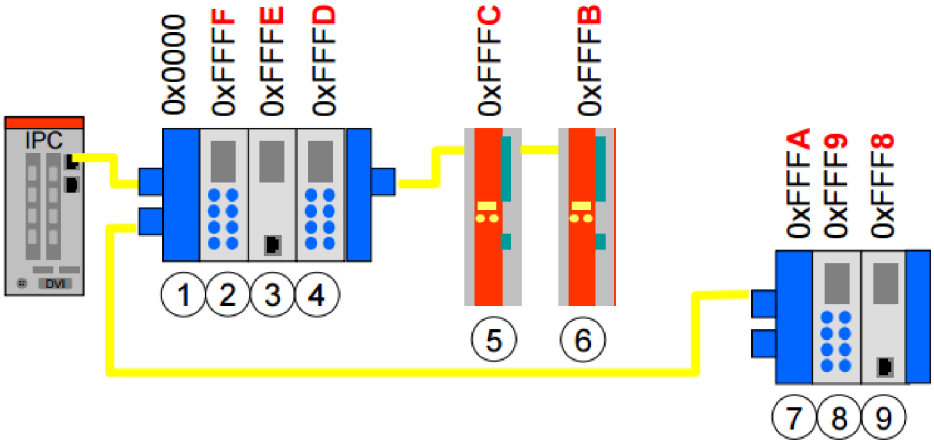
V poli EtherType lze Ethernetový a EtherCATový rámec odlišit pomocí EtherCATového identifikátoru 0x88A4. Takto může EtherCAT fungovat společně s ostatními protokoly. Každý Ethernetový rámec může obsahovat několik datagramů, přičemž každý může být adresován pro jiné slave zařízení.

3.4 Adresování

V rámci protokolu lze použít více druhů adresování. Společnou mají pouze danou délku v rámci datagramu a to 32. Těchto 32 bitů je v případě inkrementální a pevné adresy rozděleno na poloviny. A to 16 bitů pro vlastní adresu a 16 bitů pro offset, vyjadřující velikost lokální paměti slave zařízení. Při logickém adresování je využita celá délka.

3.4.1 Inkrementální adresování

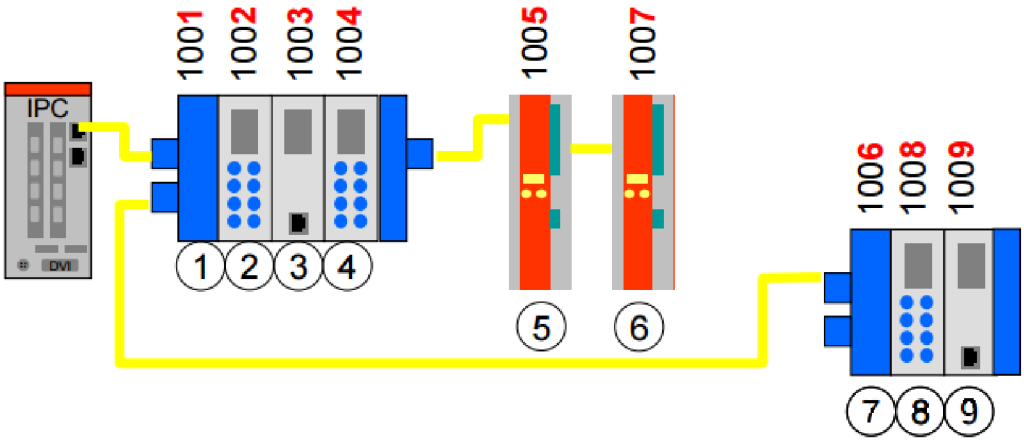
Inkrementální adresování využívá pozice slave zařízení. Master během mapování odešle nulovou adresu. Slave ji při příjmu nastaví, inkrementuje a odešle dál, dokud nemají všechna zařízení svou adresu. Inkrementální adresování je ukázáno na (Obr. 3), je to jeho inverzní forma, neboli že se daná adresa dekrementuje. [5]



Obr. 3) Způsob přidělování inkrementálních adres. [5]

3.4.2 Pevné adresování

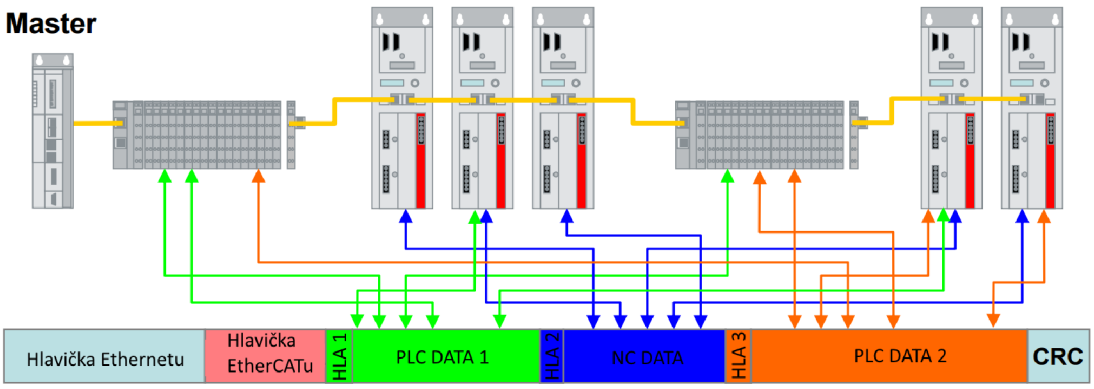
Při pevném adresování nezáleží na pozici jednotlivých síťových prvků. Master sám určí jejich adresy. Tato adresa je ztracena při výpadku napájení a musí se při startu zařízení nastavit znovu. Ignorování pořadí a pevná adresace (se záměnou členu 6 a 7) je zobrazena na (Obr. 4).



Obr. 4) Ukázka pevné adresace. [5]

3.4.3 Logické adresování

Toto adresování je použito pro opakovanou výměnu procesních dat. Jednotlivá slave zařízení nejsou adresovány vlastní adresou, ale určitou sekcí ze 4 GB (2^{32}) velkého adresního prostoru. Více slave zařízení podobného typu má často přiřazenou stejnou sekci, tak je možné adresovat více podobných zařízení najednou. Přiřazení fyzické adresy k logické je uskutečněno uvnitř master zařízení a přeneseno do paměti slave během inicializace sítě. Při průchodu datagramu zařízením porovnává slave svou přiřazenou adresu s daným rámcem a pokud je přiřazen pod konkrétní logickou adresu čte či zapisuje do určené oblasti dat. Na následujícím obrázku (Obr. 5) je znázorněna skladba datagramu s logickým adresováním, kde logické adresy jsou v hlavičkách (HLA 1,HLA 2 apod.). [5]



Obr. 5) Skladba rámce. [5]

3.5 Synchronizace

Důležitým mechanismem je distribuce a synchronizace času. Díky tomu je možné mít stejný čas na master zařízení a slave zařízení synchronizovaný na 1 µs. Hlavní výhody tohoto mechanismu jsou:

- Generování synchronizovaného výstupního signálu
- Přesné časové označení vstupních událostí
- Synchronní obnovování digitálních výstupů
- Synchronní vzorkování digitálních vstupů

Typicky je referenční čas brán z prvního slave zařízení se schopností distribuovat čas, které následuje po master zařízení. Tento systémový čas je používán k synchronizaci jak ostatních slave zařízení, tak času master zařízení. Synchronizace probíhá během třech kroků.

Nejprve se měří zpoždění. Master odešle synchronizační datagram a každé slave zařízení zde uloží čas průchodu a čas návratu. Z těchto dat se vyhodnocuje hodnota zpoždění. Pro tyto výpočty se používá lokální čas každého zřízení. Nelze tedy počítat s časem obecně, ale jen s jeho rozdíly.

Dalším krokem je dosažení stejných časů na všech zařízeních. Proto se musí vyrovnat jejich posuny. Tyto posuny jsou vypočteny pomocí master zařízení a následně přeneseny do lokální paměti na slave.

Posledním krokem je udržovat stejný čas oproti přirozenému posunu časovacích zařízení. O tento proces se stará kontrolní časová smyčka. Tento mechanismus nastavuje lokální čas a příležitostně měří posun. [4]

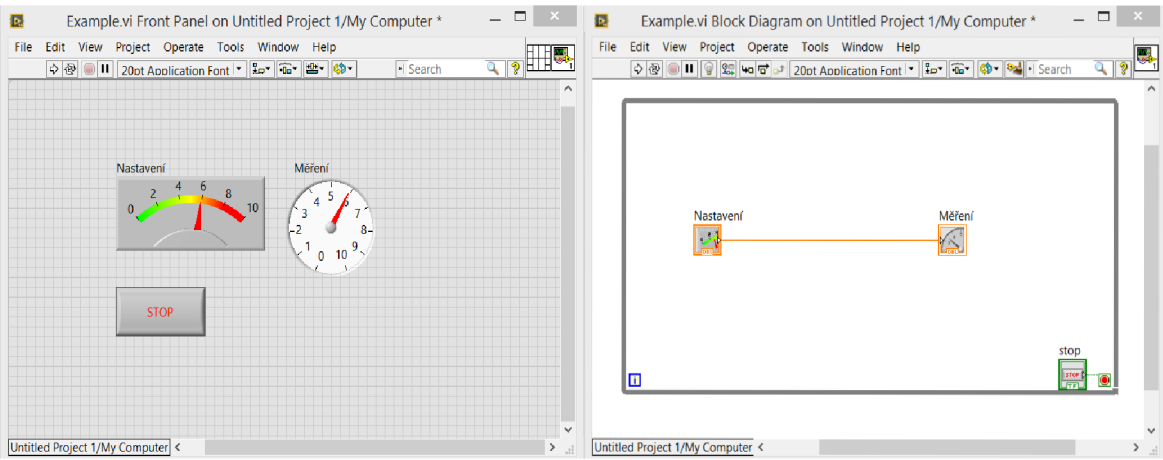
4 NI LABVIEW

NI LabVIEW je grafické vývojové prostředí, které používá grafický programovací jazyk G. LabVIEW vyvíjí firma National Instruments (NI), název LabVIEW je zkratka pro Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench.

Zdrojový soubor LabVIEW obsahuje uživatelské rozhraní (Front panel), programový kód (Block diagram) a konektoru, který definuje vstupní a výstupní proměnné (Obr. 6).

Grafický návrh softwaru je založen na používání funkčních bloků a jejich spojování drátů. Tyto dráty naznačují takzvanou „data-flow“, neboli tok dat. Funkční bloky jsou velmi často podprogramy „subvi“ nebo základní prvky z oblasti logiky, matematiky a dalších. Tato struktura bloků a drátů se nazývá jazyk G. Díky tomu, že jednotlivé bloky mohou obsahovat ve svém náhledu grafický náznak funkce, je toto programování intuitivnější než klasické textové jazyky. Jazyk G funguje na základě stejného principu jako ostatní jazyky ve smyslu cyklů, rekurze i objektově orientovaného programování. Jazyk G umožňuje snadné ladění programu díky tomu, že prostředí umožňuje zobrazit data jdoucí po drátech a tím rychleji lokalizovat chybu.

Jednotlivé programy jsou sdruženy do projektu. Ten slouží k seskupení podprogramů, knihoven stejně jako ostatních přidružených souborů. V LabVIEW je samozřejmě možné programovat s použitím tříd i objektů. V projektu se také může přidat další hardware a poté ho využívat. Hardware takto použitý mohou být měřící karty stejně jako real-timové kontroléry.

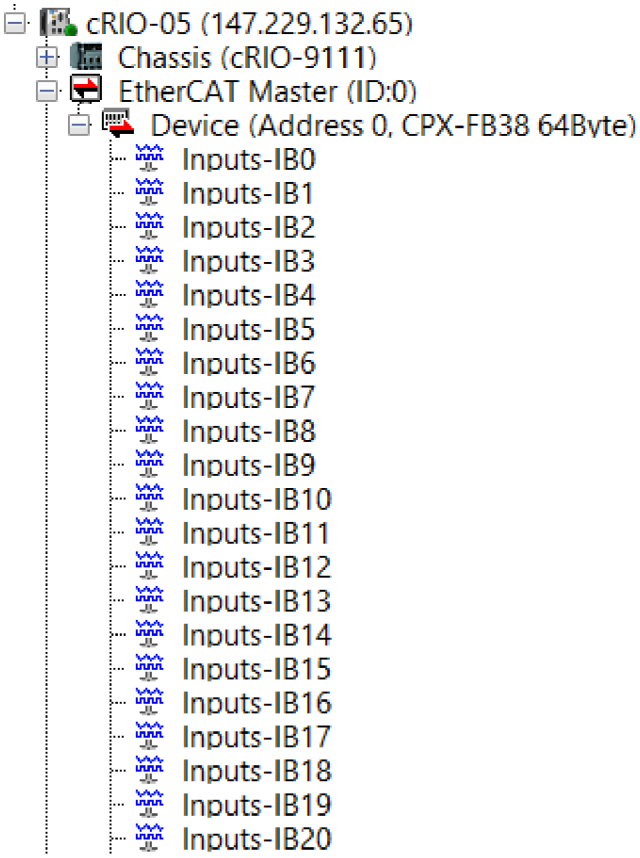


Obr. 6) Ukázka front panelu (vlevo) a block diagramu (vpravo).

4.1 Podpora sběrnice EtherCAT

V LabVIEW je podpora protokolu EtherCAT realizována prostřednictvím ovladače „NI-Industrial Communications for EtherCAT®“ na sekundární síťové kartě real-time kontrolérů. V této práci byl použit kontrolér NI CompactRIO 9022.

Před prvním připojením EtherCAT zařízení je do LabVIEW nutné importovat soubor s konfigurací zařízení „EtherCAT XML Device Description“. Import se provede v projektu v kontextovém menu EtherCAT master, položka Utilities > Import Device Profiles. V konfiguračním souboru jsou definovány podporované objekty a konfigurace PDO objektů zařízení, které se při přidání zařízení namapují do ScanEngine, který zajištuje jejich přenos mezi master a slave. Tyto soubory jsou většinou dostupné ke stažení na stránkách podpory výrobce daných zařízení a mají pevně danou strukturu. Namapované proměnné jsou přístupné přes projekt (Obr. 7). Tyto proměnné jsou přístupné pod daným zařízením a jsou obvykle rozřazeny dle toho, jestli jsou vstupní nebo výstupní. Pokud se do projektu přidává více zařízení, jako například coupler a k němu připojený speciální terminál nebo kontrolér, je třeba načíst konfigurační soubor nejprve prvku nadřazeného a poté teprve prvku podřadného.



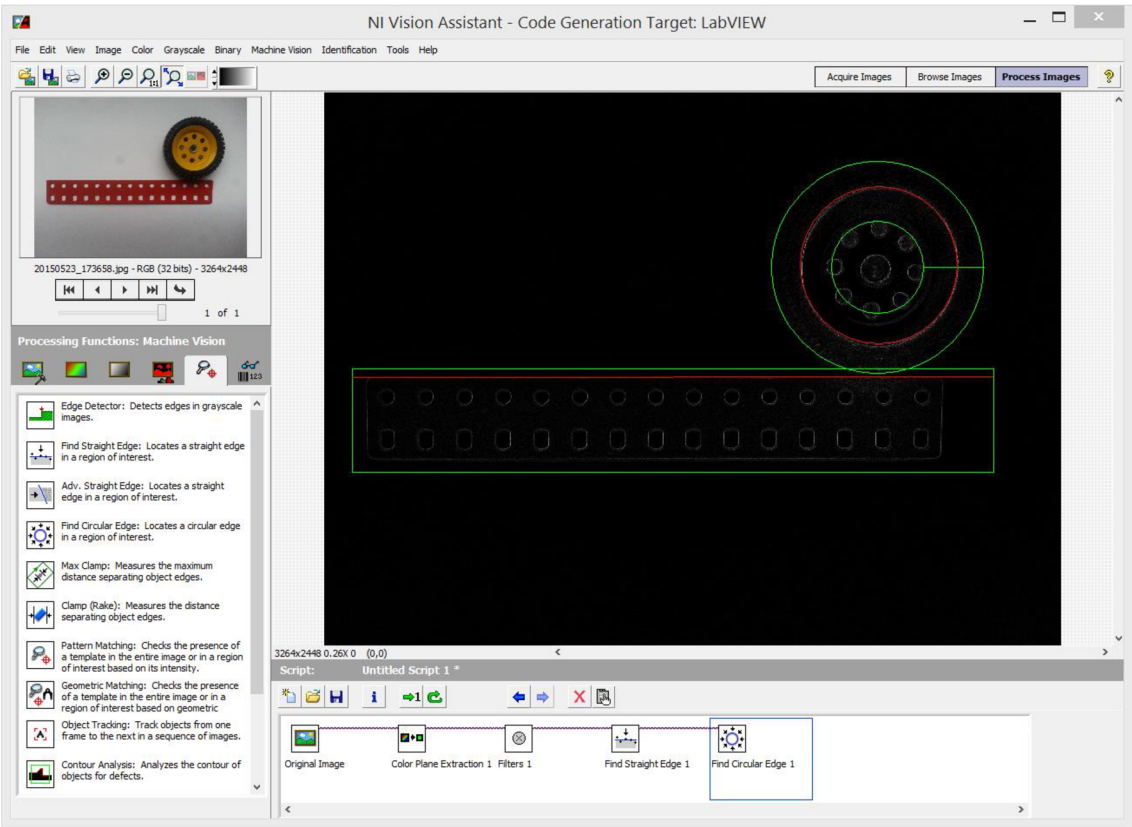
Obr. 7) Vstupy po načtení konfiguračního souboru.

4.2 Zpracování obrazu

Díky rozšiřitelnosti prostředí LabVIEW o různé moduly jej lze plně přizpůsobit potřebám kladených danou úlohou. Pro zpracování obrazu vyvinula firma NI modul Vision a ovladače IMAQmx. Jde nejen o nástavbu LabVIEW, ale také obsahuje velmi intuitivní aplikaci pro vytváření programů použitelných nadále v projektu. Tato aplikace se jmenuje N Vision Assistant.

4.2.1 NI Vision Assistant

Prostředí se liší od standartního vývojového prostředí LabVIEW. Je zde pouze jedno okno a samotné bloky se skládají do oblasti k tomu určené. Návrh začíná získáním obrazu pro zpracování. K tomu slouží nejčastěji kamery. Ale lze samozřejmě zpracovávat již dříve pořízené obrázky a fotky. Obraz se nadále zpracovává pomocí kroků přidaných ve spodní, takzvané skriptovací části. Vision Assistant obsahuje velké množství použitelných bloků od jednoduchých filtrů, až po hledání hran geometrií a podobně. Tyto jednotlivé bloky obsahují vlastní nastavení Na (Obr. 8) lze vidět obraz zpracovaný pomocí filtru na zvýraznění hran a poté vyhledávání hran v oblastech ohraničených zelenými čárami. Nalezené hrany jsou zobrazeny červeně a v generovaném kódu se interpretují jako sdružená proměnná (cluster) jejich vlastností.

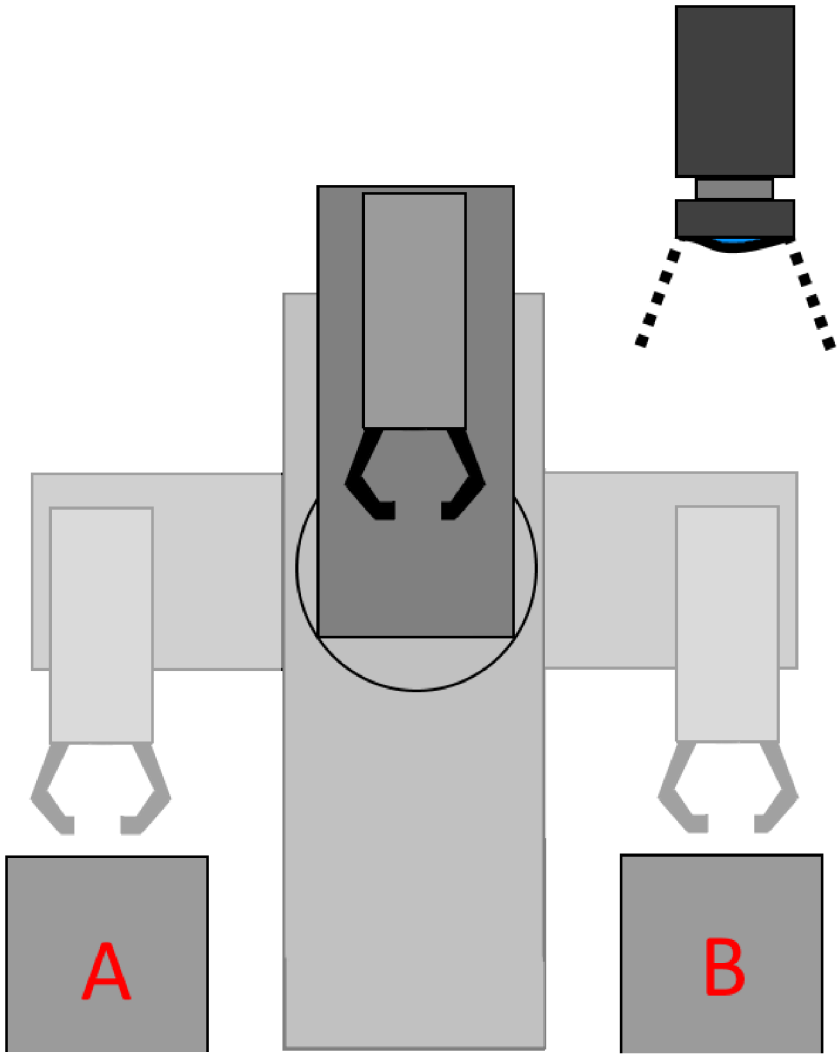


Obr. 8) Zpracovaný obraz i s ukázkou původního obrazu.

5 POUŽITÉ ŘEŠENÍ

5.1 Rozbor zadání

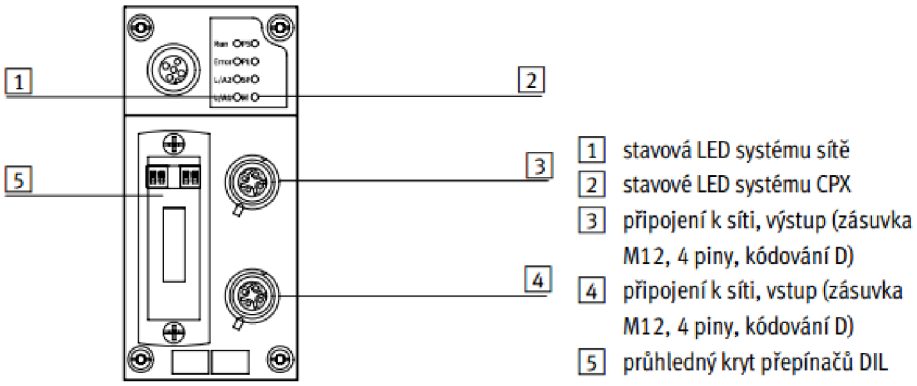
Úkolem bylo zjistit reprezentaci a zmapovat chování daného bus coupleru. Následně těchto poznatků využít k řešení zadané úlohy. Tato úloha se sestává z jednoduché manipulace s ložiskem a jeho měření. Poskytnutý manipulátor přesune ložisko z platformy A na platformu B, proběhne měření, zdali je ložisko správné. Následně ložisko je vráceno na výchozí pozici. Schematicky je tento proces naznačen na (Obr. 9). Jako master real-time řídící prvek je použito Compact Rio 9022, na kterém je řídicí systém LabView. Samotný projekt je ovládán z počítače, který obstarává také zpracování obrazu. Webkamera, ze které se získávají data pro zpracování obrazu, je také připojena k počítači.



Obr. 9) Schematické zobrazení řešené úlohy.

5.2 Festo CPX FB38

Bus coupler od firmy Festo je použit k řízení zadané úlohy. Má možnost připojit až 64 modulů elektrických vstupů/výstupů, síťových rozhraní a rozhraní pro pneumatiku. Jedná se o mnohostranně konfigurovatelný modulární systém. Při jeho použití je možné rychleji vyhledávat chyby díky LED signalizaci na uzlech sítě, jak je možno vidět na (Obr. 10). Je napájen pomocí 24 V, ale má možnost napájet připojené bloky jiným napětím zvlášť. Připojení do sítě je možné pomocí dvou portů 100BaseTX-Ethernet s rychlostí až 100Mbit/s. Díky této rychlosti je možno řídit pohony nebo robotické řídicí systémy v reálném čase. Tento konkrétní bus coupler je osazen jedním terminálem digitálních vstupů/výstupů CPX-L-8DE-8DA a pneumatickým rozhraním VMPAL-EPL-CPX. [6]



Obr. 10) Buscoupler a jeho rozhraní. [7]

5.3 CPX-L-8DE-8DA

Tento modul digitálních vstupů a výstupů obsahuje 8 vstupů a 8 výstupů. Pro každý výstup je přítomná oddělená vysoká i nízká úroveň napětí, aby bylo možné zapojit snímače, které vyžadují trvalé napájení. Každý jednotlivý vstup nebo výstup se tedy skládá ze tří otvorů a to již zmiňované vysoké i nízké úrovně napětí a středového spínaného nebo čteného konektoru. U každého vstupu/výstupu je přítomna také signalizační LED dioda viz (Obr. 11). Vstupy jsou označeny „X1“ až „X8“ a výstupy „X9“ až „X16“.

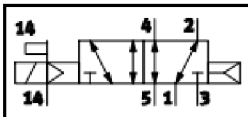
Obr. 11) Modul digitálních vstupů a výstupů. [7]

5.4 VMPAL-EPL-CPX

Blok pneumatických ventilů z řady MPA-L se vyznačuje vysokými možnými průtoky a také velmi kompaktními rozměry jednotlivých ventilů. Díky široké škále dodávaných ventilů je tento blok vhodný pro řízení jakýchkoliv pneumatických zařízení. Zdroje vzduchu mohou být odlišné pro jednotlivé sekce, pokud se mezi ně vloží vzduchový vstup. Na začátku bloku je umístěno levé ukončení, které obsahuje vstup pro tlakový vzduch, dále následují tři ventily (533342 - M, 533343 - J, 533347 - K) [8]

Ventil 533342 – M

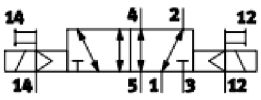
Konfigurace tohoto ventilu je uvedena na (Obr. 12). Tento ventil je vhodný pro ovládání úchopných kleští pro přesun ložiska. Jeho výchozí poloha je zvolena sepnutá. Pneumatický válec ovládající úchopné kleště je při přivedeném tlaku uzavřený. Ventil má pouze jeden solenoid proto je ovládán pouze jedním signálem.

	Pozice 1-32, funkce M	- Jednoduchý solenoid - Pneumatická vratná pružina - Vratný - Pracovní tlak 0,9 ... +10 bar

Obr. 12) Konfigurace ventilu typu M. [8]

Ventil 533343 – J

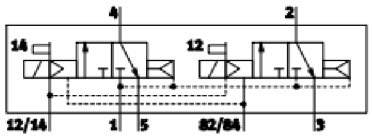
Tento ventil je svou konfigurací nevhodný pro použití v řízení zadané úlohy. Jeho jednoduchá konstrukce, viz (Obr. 13), není vhodná pro řízení otočného pohonu, neboť by pak pohon byl aktivován vždy pro jednu nebo druhou stranu. Reálné využití je například umístění kamery na další pneumatický pohon a ten poté řídit tímto ventilem.

	Pozice 1-32, funkce J	- Dvojtý solenoid - Vratný ovládáním - Pracovní tlak 0,9 ... +10 bar

Obr. 13) Konfigurace ventilu typu J. [8]

Ventil 533347 – K

Tento ventil je použitý pro pohyb hlavního otočného kloubu a je vyobrazen na (Obr. 14). Jeho předností je, že obsahuje střední vypnutou polohu a tak lze pouze jedním ventilem řídit oba pohyby otočného pohonu. Jeho výchozí poloha má uzavřený přívod a otevřené výstupy.

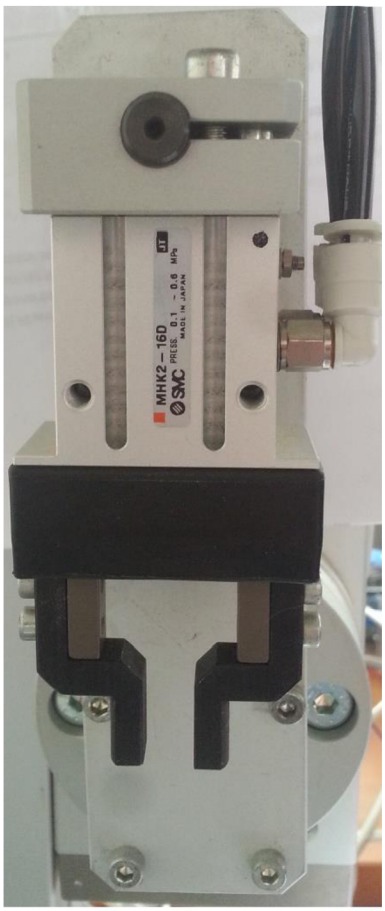
	Pozice 1-32, funkce K	- Jednoduchý solenoid - Dvojtý ventil - Výchozí poloha uzavřená - Pracovní tlak 0,9 ... +10 bar

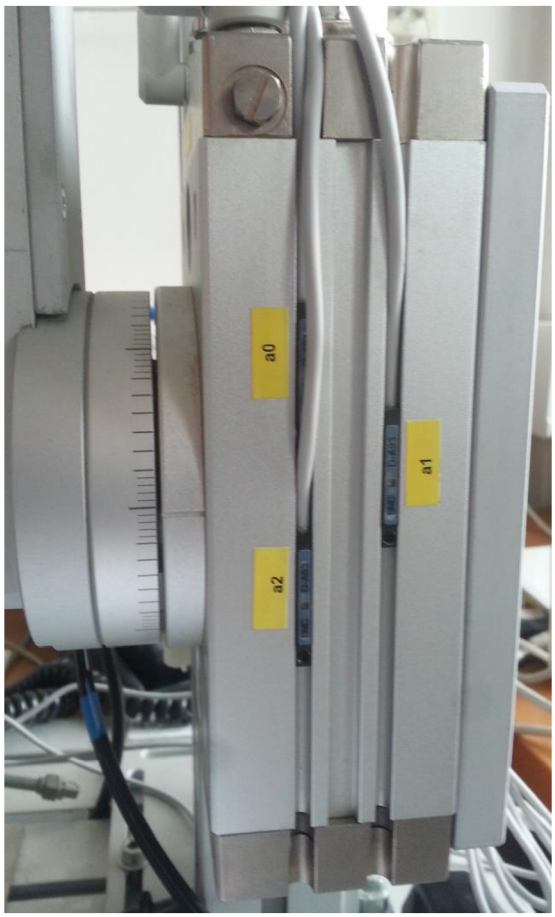
Obr. 14) Konfigurace ventilu typu K. [8]

5.5 Pneumatické pohony

Pro pohyb řešeného manipulátoru jsou zapotřebí dva pohony. Oba tyto pohony již byly na manipulátoru přítomny. Jeden pohon je dvojčinná úchopná hlavice se dvěma čelistmi a paralelním pohybem. Jedná se o typ SMC MHK2 16D a je vybaven prodlouženými čelistmi pro úchop ložiska z vnitřní strany. Tyto čelisti jsou vidět na obrázku (Obr. 15 A). Při vypnutém ventilu jsou čelisti tlakem rozevřeny a při zapnutém ventilu jsou tlakem uzavřeny. Ve výchozí poloze je ventil aktivován, proto jsou čelisti připraveny pro úchop ložiska.

Druhým použitým pneumatickým pohonem je otočný pohon. Jedná se o SMC MSQ s pastorkem a 2 hřebeny. Je vybaven třemi snímači a to pro polohu A (a2), B (a0) a výchozí polohu (a1) viz (Obr. 15 B). Do výchozí polohy lze ale najet pouze ze strany od polohy B, protože použitý ventil nemá zablokování cest při vypnutém ovládání. Pohon proto, pokud není ustaven přesně ve výchozí poloze, nemusí být stabilní. Snímač výchozí polohy je nastaven přesně ze strany od krajní polohy B, a proto je nutné dodržovat najíždění výchozí polohy z této strany.

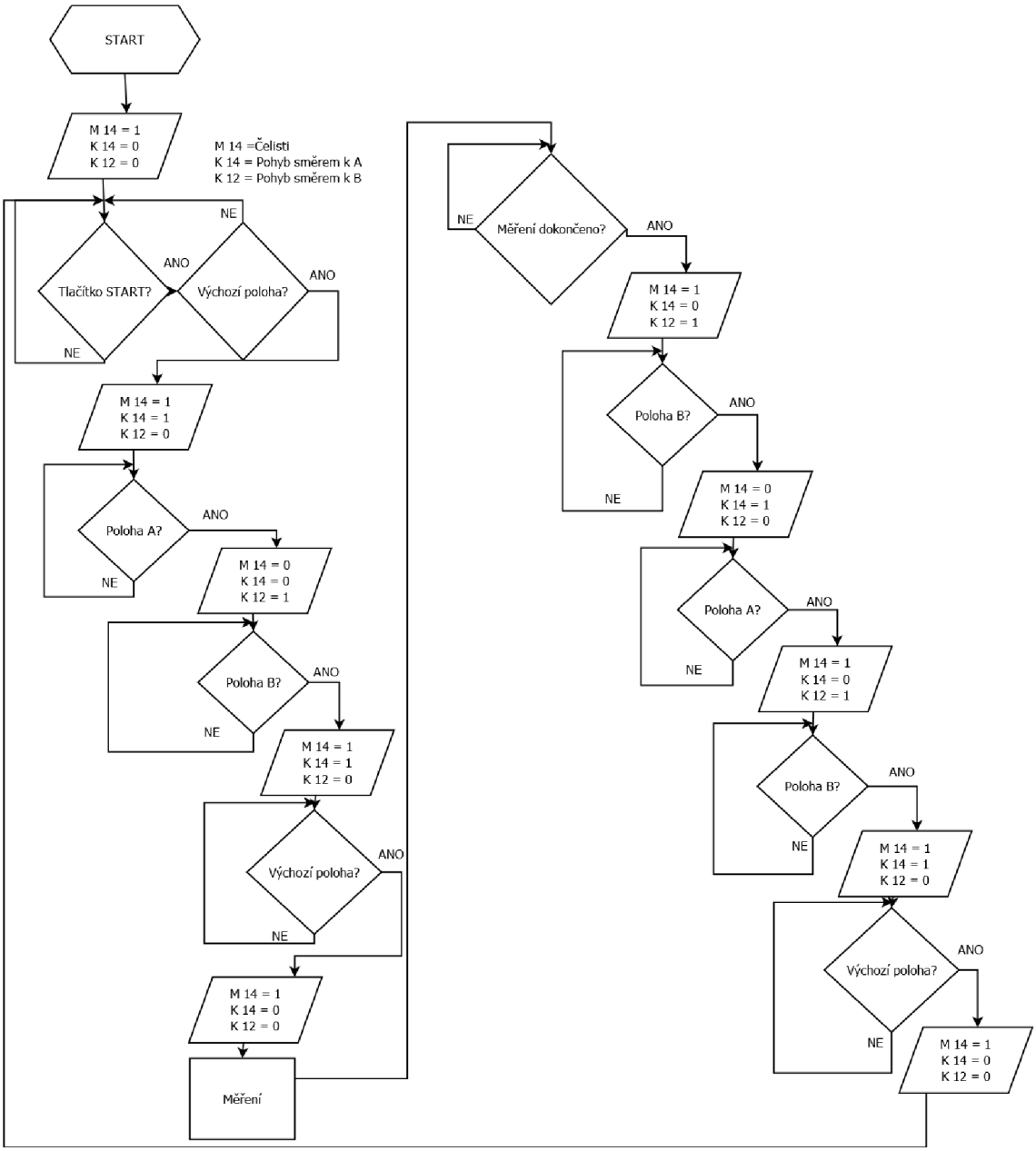




Obr. 15) A-Pneumatický pohon pro uchopení ložiska (vlevo).
B-Pneumatický pohon pro otáčení manipulátoru (vpravo).

5.6 Programová část řešení

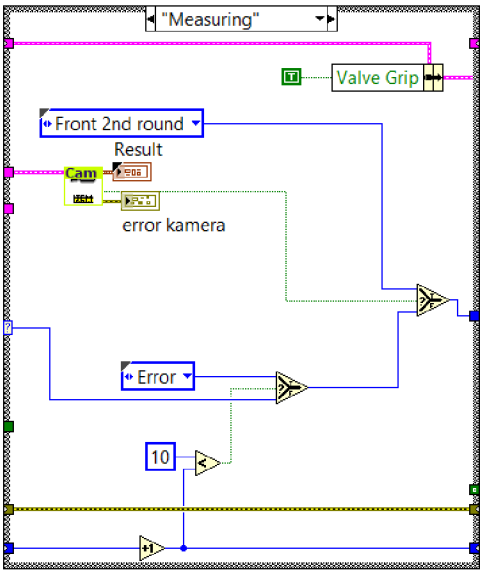
Konfigurace zadané úlohy je svými vlastnostmi vhodná pro použití stavového automatu. Návrh automatu je za pomoci vývojového diagramu zobrazen na (Obr. 16). Zjednodušeně řečeno jde o tři kroky hlavní rozšířené o kroky vedlejší. Za hlavní kroky lze považovat přesun ložiska pro měření, samotné měření a poté přesun ložiska zpět. Vedlejší kroky jsou pak například vracení manipulátoru do výchozí polohy a podobně.



Obr. 16) Stavový automat řízení vyobrazený za pomoci vývojového diagramu.

5.7 Stavový automat

V tomto případě stavový automat obstarává spínání ventilů spolu se začínáním procesu měření. Jedná se o velmi jednoduchý automat většinou závislý pouze na jednom vstupu. Pouze spouštění celého procesu vyžaduje vstup ze snímače výchozí polohy a také zmáčknutí tlačítka start. Pro realizaci v LabVIEW je tento automat reprezentován smyčkou „case structure“, která na základě připojeného seznamu možností vnitřně přepíná dle připojené rozhodovací proměnné. Na (Obr. 17) je zobrazena rozhodovací smyčka závislá na dvou parametrech a to středové poloze a tlačítka start. Oproti vývojovému diagramu je tato smyčka rozšířena o stav „Error“. Tento stav je zaveden pro případ, že měření obrazu nenalezne žádané požadované hrany. A proto se celý program sám zastaví, aby mohl být znovu spuštěn, případně odstraněn předmět, který nelze změřit.



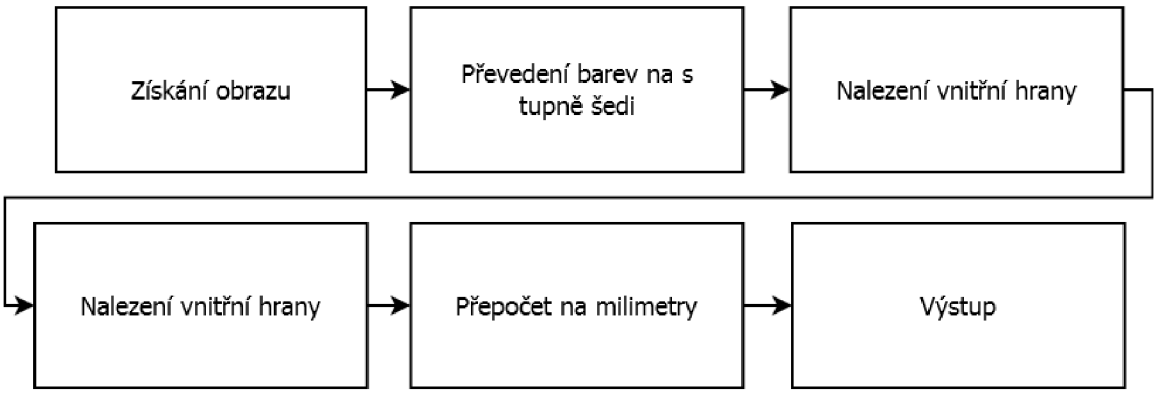
Obr. 17) Ukázka rozhodovací smyčky.

5.8 Zpracování obrazu v reálném čase

Obraz je pořízen kamerou od firmy Microsoft, jedná se o typ LifeCam Studio. Umožňuje snímat obraz v rozlišení 1920x1080 px. Kamera je vyfocena na (Obr. 18).

Obr. 18) Kamera použitá pro snímání obrazu.

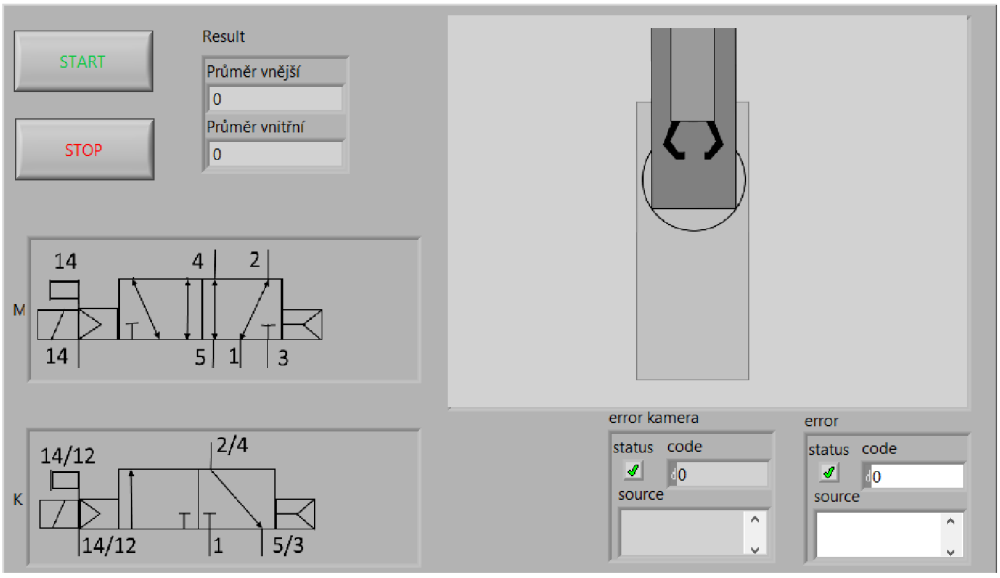
Pro potřeby bakalářské práce je zvoleno snímání v rozlišení 640x480 px. Toto rozlišení je dostatečné a navíc kamera snižuje s menším rozlišením i snímaný úhel. Pro nejlepší získaný obraz je zvoleno již zmiňované rozlišení a manuálně nastavené přiblížení na hodnotu 120. Touto kombinací je docílena dostatečná velikost snímaného objektu. Nastavení kamery je softwarově řešené v LabVIEW. Kromě rozlišení, přiblížení a zahození prvního snímku z důvodu chyb při snímání, je manuálně nastaveno i ostření. Pro zvolení používané kamery je v programovém okně „Image processing“ možnost zvolit z nabízených kamer, které jsou zmapovány při spuštění tohoto VI. Proces snímání a zpracování obrazu je vyobrazen na diagramu (Obr. 19). V programu je mimo jiné přítomný přepočet z naměřených pixelů na milimetry.



Obr. 19) Diagram procesu zpracování obrazu.

5.9 Uživatelské rozhraní

Hlavní uživatelský panel je umístěn v programu „Main PC.vi“. Slouží k ovládání a ke komunikaci s uživatelem. Obsahuje zobrazení aktuální pozice manipulátoru a také stav obou ovládaných ventilů. Naměřené hodnoty jsou prezentovány v oblasti k tomu určené. Nechybí také výstup chybových hlášení. Rozložení panelu je zobrazeno na (Obr. 20).

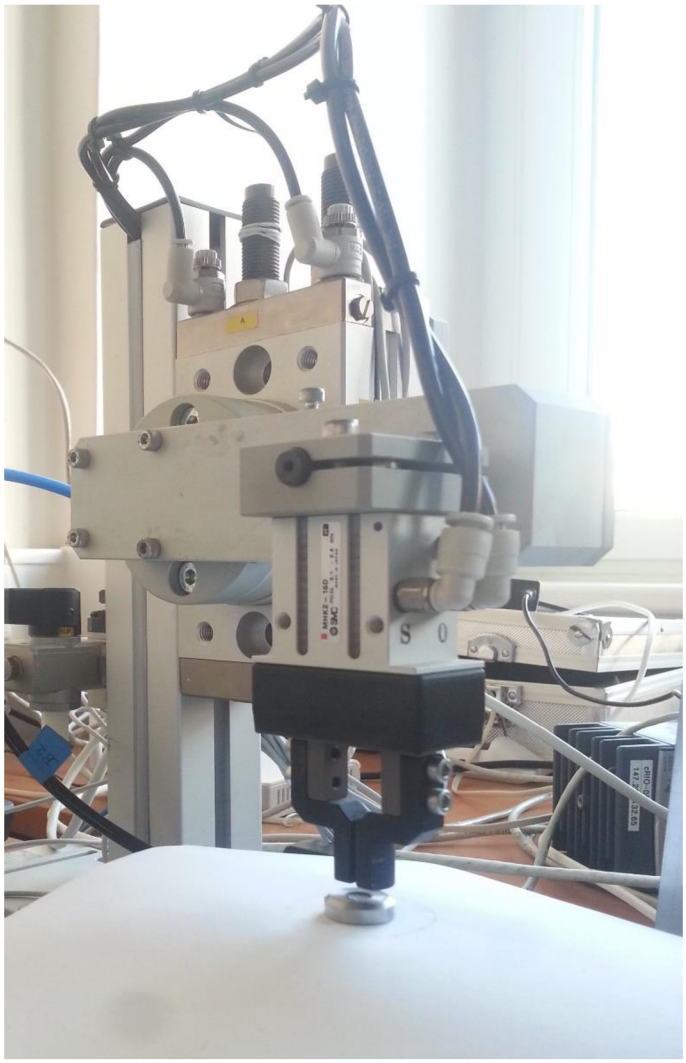


Obr. 20) Hlavní ovládací panel.

6 EXPERIMENT

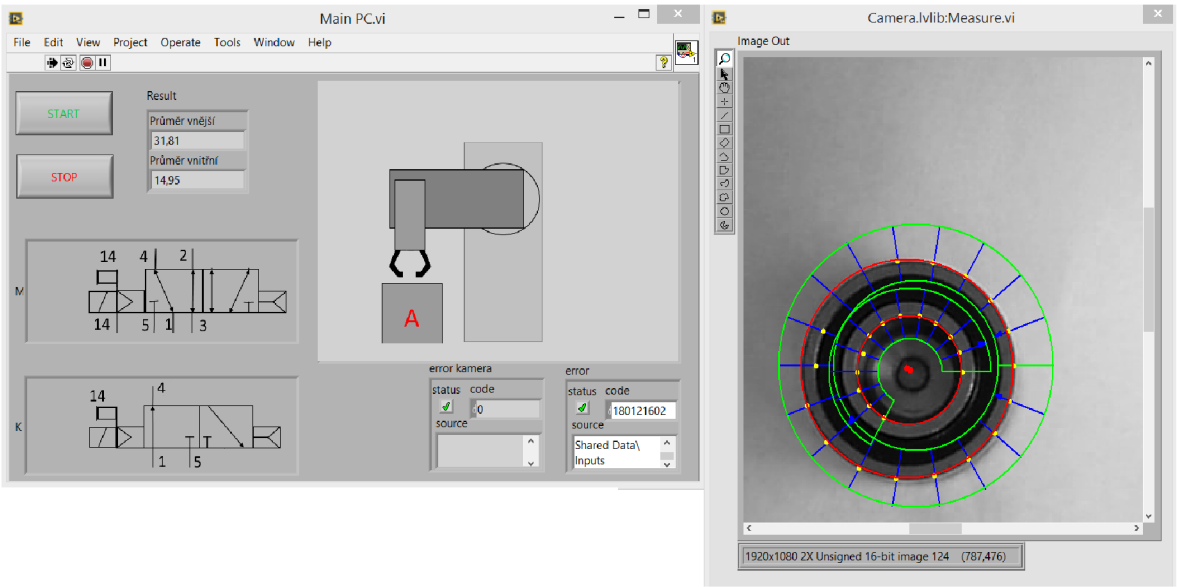
Experiment probíhal s ložiskem od firmy ZKL, byl použit typ 3002 2RS INA o rozměrech vnějšího kroužku 32 mm a vnitřního kroužku 15 mm. Nejprve bylo potřeba najít koeficient pro přepočet pixelů na milimetry a následně provést několik měření pro ověření funkčnosti.

Stavový automat byl funkční. Byl upraven tlak na otočném pohonu pro snížení rychlosti manipulace za pomocí nastavení škrtících ventilů přítomných na pneumatickém pohonu. Po těchto zásazích fungoval stavový automat bezchybně. Ukázka manipulátoru v provozu, kdy se po umístění ložiska zpět na platformu A vrací do výchozí polohy, je na (Obr. 21).



Obr. 21) Záznam experimentu.

Zpracování obrazu projevilo chyby ve snímání. Bylo nutné upravit rozlišení snímání na 1920x1080 px, protože v nižším rozlišení kamera odesílala chybný zašuměný obraz naprosto nevhodný pro hledání hran. Jde zřejmě o interní chybu převzorkování kamery. Na obrázku (Obr. 22) je zobrazen zpracovaný obraz s nalezenými hranami a výstup hodnot. Dále je zde ukázána poloha manipulátoru, který v danou chvíli umisťoval ložisko na platformu A. V průběhu experimentu byl zjištěn drobný problém s uchycením kamery. Při pohybu manipulátoru se kamera mírně skláněla v otočném kloubu. Tento problém by bylo nutné reálném nasazení do výrobního procesu vyřešit tím, že by bylo zvoleno uchycení odpovídajících kvalit.



Obr. 22) Experiment se zobrazením zpracovávaného obrazu.

7 ZÁVĚR

Práce se zabývá použitím možnostmi použití automatizačních prvků se sběrnicí EtherCAT v prostředí NI LabVIEW. Pro řešení byla zvolena modelová úloha pneumatického manipulátoru, dostupného v laboratoři ÚAI, jako automatizační prvek byl použit bus coupler FESTO CPX FB38 s elektrickými I/O a ventilovými bloky. Úloha byla dále doplněna kamerou pro měření rozměrů manipulované součásti. V úvodní části je popsána sběrnice EtherCAT, použitý bus coupler a jeho vstupní a výstupní bloky. V další části práce je řešena problematika řízení jednotlivých pohonů danými ventily.

Následně je uveden návrh stavového automatu pro řízení manipulátoru. V průběhu práce byl vytvořen hlavní program pro PC, který rozhoduje o stavech a také spouští program na zpracování obrazu. Dále také program, který je spuštěný na real-time a obsluhuje zápis a čtení dat z coupleru. Také byl za pomoci Vision Assistant vypracován skript pro zpracování obrazu, který byl následně vygenerován na kód pro LabVIEW, který byl upraven pro potřeby zadání. Výsledné programy byly otestovány na manipulátoru.

Navrhovaná aplikace využívající dodaný hardware splňuje svou funkčnost. Řízený manipulátor pracuje dle stavového automatu a plní tak zadané úkoly. Po vyladění nastavení kamery pracoval software spolehlivě.

Do budoucna lze vylepšit především snímání obrazu a to hlavně lepší uchycení kamery kolmo nad snímaným objektem. Dále upravit snímaný obraz, aby došlo k redukci geometrického zkreslení objektů, nebo použít kvalitnější kameru. Poté také vyřešit osvětlení snímaného objektu. Program lze snadno rozšířit o další řízené moduly a proto lze jeho základy využít v budoucnu na řízení složitějších úloh.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] *EtherCAT Bus Coupler* [online]. n. d. [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: http://www.kollmorgen.com/en-gb/products/machine-controls/i-o/kollmorgen-automation-suite/bus-couplers-and-specialty-modules/ethercat-bus-coupler/

[2] NATIONAL INSTRUMENTS. NI 9144 [online]. 2009 [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/cs/nid/206735

[3] PRYTZ, G. A performance analysis of EtherCAT and PROFINET IRT. In: Emerging Technologies and Factory Automation, 2008. ETFA 2008. IEEE International Conference on [online]. IEEE, 0809, s. 408-415 [cit. 2015-05-12]. DOI: 10.1109/ETFA.2008.4638425. ISBN 9781424415052. Dostupné také z: http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.lib.vutbr.cz/xpls/icp.jsp?arnumber=4638425

[4] WILAMOWSKI, Bodgan M. (ed.) a J. David IRWIN (ed.). Industrial Communication Systems. 2nd ed. United Kingdom: CRC Press Inc, 2011. ISBN 1439802815.

[5] EtherCAT Communication [online]. 2013 [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: ftp://ftp.mefi.cz/Skoleni%20EtherCAT%202013/EtherCAT_Communication.pdf

[6] ESTO. CPX terminal: Bus node CPX-FB38 [online]. Esslingen, 2013, 156 s. [cit. 2015-05-23]. Dostupné také z: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/324096/562525g1.pdf

[7] Modulární elektrické terminály CPX. FESTO,. CPX_CZ [online]. 2013 [cit. 2015-04-13]. Dostupné z: http://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_CS/PDF/CZ/CPX_CZ.PDF

[8] FESTO. Valve terminals MPA-L [online]. 2015 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: http://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_ENGB/PDF/EN/TYP34-G_EN.PDF

PŘÍLOHY

[1] CD obsahující elektronickou verzi práce a vypracované programy.