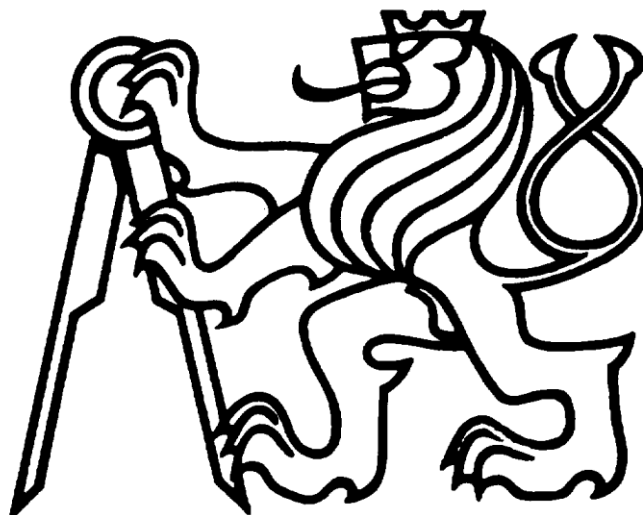


České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

Bakalářská práce



Jakub Suchý

Digitální ovladač elektronického zobrazovače letových dat EFIS

Katedra kybernetiky

Vedoucí práce: Ing. Pavel Pačes, Ph.D.

Praha 2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: Jakub Suchý
Studijní program: Kybernetika a robotika (bakalářský)
Obor: Robotika
Název tématu: Digitální ovladač elektronického zobrazovače letových dat EFIS

Pokyny pro vypracování:

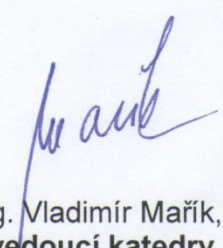
1. Navrhněte a realizujte rozhraní mezi modulem univerzálního digitálního ovladače (např. BMW iDrive controller) a systémem elektronického zobrazovače letových dat EFIS. Jedná se o elektronický modul, který bude umožňovat příjem dat z rozhraní ovladače a převádět ovládací povely na signály sběrnice CANaerospace.
2. Dále navrhněte metodu integrace dat generovaných ovladačem pro ovládání systému EFIS (např. zadávání barometrické reference), kterou implementujte do existujícího SW EFISu a navrhněte způsob ovládání několika elektronických zobrazovači EFIS jedním kontrolérem typu iDrive.

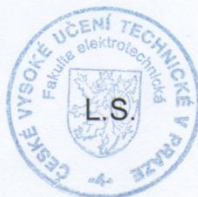
Seznam odborné literatury:

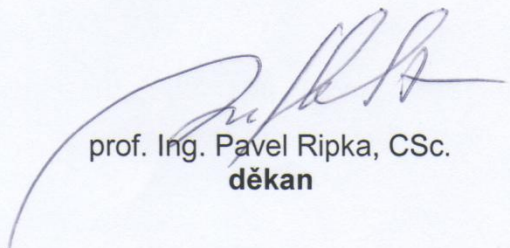
- [1] Barry C. Breen, Enhanced Situation Awareness, CRC Press LLC., 2001, The Avionics Handbook
- [2] Textron Company, Cessna 172S Information Manual, Cessna Aircraft Company, 3. revize, 2005, dokument: 172SIMAUS
- [3] Antonio A. Trani, Fundamental of aircraft performance, dokument, Virginia Polytechnic Institute and State University, 2006

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

Platnost zadání: do konce letního semestru 2013/2014


prof. Ing. Vladimír Mařík, DrSc.
vedoucí katedry




prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 27. 6. 2013



Prohlášení autora práce

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 3. 1. 2014

Kučka
.....
Podpis autora práce



Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu práce Ing. Pavlu Pačesovi, Ph.D. za vedení práce a poskytování cenných rad. Dále Ing. Martinu Baldovi z firmy TL-elektronic za zapůjčení vozidla BMW X1 pro potřeby dekódování datové komunikace ovladače iDrive.



Anotace

Tato práce se v první části zabývá dekódováním interního komunikačního protokolu používaného elektronickým ovladačem iDrive, použitým ve vozech značky BMW. Dále návrhem zařízení, které převede signály z dekódovaného protokolu na standardní signály sběrnice CANaerospace. Díky tomu bude možné připojit ovladač iDrive na sběrnici letadla a ovládat tak přístroje z produkce firmy TL-elektronic. Na závěr první části jsou obrázky z mezinárodní výstavy CIGAC v Číně a Aero-expo v Německu, kde bylo toto řešení představeno odborné veřejnosti.

V druhé části práce se popisuje implementace ovladače iDrive do stávajícího systému elektronického zobrazovače letových dat EFIS. Dále bylo přidáno menu a možnost nastavovat barometrickou referenci systému EFIS. Také bude popsán návrh a realizace protokolu pro ovládání několika systémů EFIS jedním ovladačem iDrive. Na závěr bude ukázáno použití na pohyblivém leteckém simulátoru.

Abstract

The first part this essay deals with the decoding internal communication protocol used by iDrive controller, used in vehicles BMW. Then is described the equipment design which transfers signals from decoded communication protocol to standard signals CANaerospace bus. With this is possible connect iDrive controller to aircraft bus and control the devices manufactured by TL-elektronic. At the end of first part are the pictures from international exposition CIGAC in China and Aero-expo in Germany where were this solution introduced to professional public.

The second part describes implementation of iDrive controller to existing electronic flight instrument system (EFIS). Following to that it is added the menu and ability to control barometric reference of the flight instrument system. Also will be described the design and the realization protocol for the controlling of many flight instrument systems by one iDrive controller. At the end of this essay will be shown the examples of usage of the system on the moving flight simulator.



Obsah

1. Úvod.....	7
2. Digitální ovladač BMW iDrive.....	8
2.1. Sběrnice CAN.....	9
2.1.1. Fyzická vrstva „lowspeed“ CAN	9
2.1.2. Budič TJA1055	10
2.1.3. Převodník CAN (iDrive) – USB	11
2.1.4. Dekódování komunikačního protokolu	12
2.2. Převodník pro firmu TL-elektronic	13
2.2.1. CANaerospace.....	14
2.2.2. ADUC842.....	15
2.2.3. Rozhraní SPI	15
2.2.4. Řadič MCP2515	16
2.2.5. Budič MCP2551	16
2.2.6. Realizace převodníku CAN (iDrive) - CANaerospace	17
2.3. Praktické využití	19
3. Návrh a realizace ovládání systému EFIS.....	21
3.1. EFIS	21
3.2. FlightGear	22
3.3. User Datagram Protocol (UDP).....	22
3.4. Obslužná aplikace.....	22
3.5. Úprava systému EFIS	23
3.5.1. Nastavování barometrické reference	24
3.5.2. Menu zobrazovače EFIS	25
3.5.3. Buggy	25
3.6. Ovládání několika systémů EFIS jedním iDrive	26
3.6.1. Popis ovládacích prvků na ovladači iDrive.....	26



3.6.2.	FG Connector	27
3.6.3.	Datový protokol.....	29
3.7.	Praktické použití systému EFIS.....	31
4.	Závěr	33
5.	Seznam obrázků	34
6.	Reference	35
7.	Seznam příloh	37
7.1.	Obsah CD	37



1. Úvod

V první části se práce zabývá dekódováním komunikačního protokolu použitého u ovladače iDrive (Obrázek 1 vpravo), který je používán ve vozidlech značky BMW. Znalost protokolu bude použita pro výrobu převodníku, který převede ovládací povely na signály sběrnice CANaerospace. Díky tomu bude možné připojit ovladač iDrive na palubní sběrnici používanou v ultra lehkých letadlech. Konkrétně se jedná o připojení k přístrojům (avionice) z produkce firmy TL-elektronic, například: Integra TL-6524 EFIS - multifunkční systém, který obsahuje všechny primární letové přístroje (výškoměr, variometr, rychloměr, kompas a další). Dále přístroj Integra TL-6724 EMS, zde se jedná o přístroj zobrazující všechny primární informace o motoru (otáčky, teplotu, tlak paliva, množství paliva, napětí baterie a další) a kombinaci obou výše popsaných přístrojů – Integra TL-6624 EFIS & EMS, zobrazeno na obrázku 1 vlevo (1).



Obrázek 1 - Integra TL-6624 EFIS & EMS, BMW iDrive (1) (2)

Ovládání pomocí ovladače iDrive je komfortnější, rychlejší a bezpečnější než ovládání pomocí tlačítek na přístroji Integra. Ovladač bude totiž v letadle umístěn na pohodlném místě. Bude tedy dobře dostupný i po zapnutí pásů. Veliký přínos bude zejména při turbulencích, kdy může být obtížné nahmatat správné tlačítko na palubní desce.

Druhá část práce se zabývá propojením iDrive ovladače a elektronického zobrazovače letových dat EFIS, vyvíjeného na ČVUT v Praze, FEL, Katedrou měření. Bude popsána aplikace, která odesílá zprávy s informací, jaká řídicí událost nastala v ovladači iDrive. Bude popsána aplikace FG connector zajišťující vzájemnou komunikaci všech použitých prvků. A bude popsán návrh a implementace komunikačního protokolu, který zajistí možnost spuštění více systémů EFIS a jejich ovládání pomocí jediného ovladače iDrive. Na závěr bude ukázáno praktické použití na pohyblivém leteckém simulátoru.



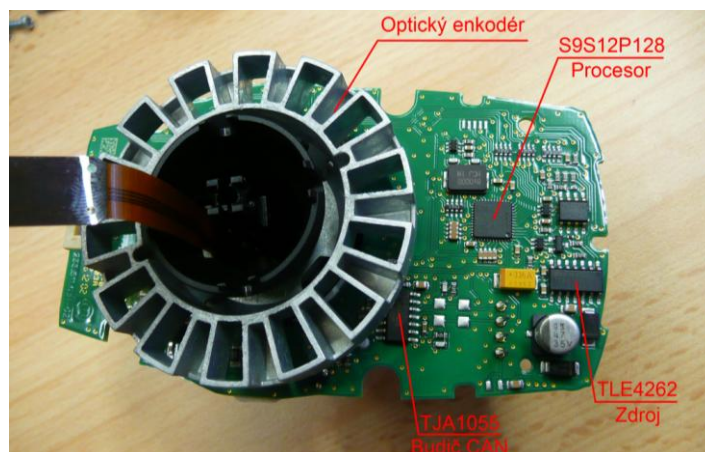
2. Digitální ovladač BMW iDrive

iDrive je ovladač sloužící ke komfortní obsluze palubního počítače v osobních vozech značky BMW. Ve voze s ním lze nastavovat např. parametry autorádia, navigace, telefonu. Byl vytvořen s důrazem na ergonomii a za účelem zvýšení bezpečnosti při ovládání složitých zařízení. Toto bude přeneseno do ovládání letadel.



Obrázek 2 – iDrive ovladač (3)

Tato práce popisuje ovladač iDrive zobrazený na obrázku 2, který byl poprvé v praxi použitý v roce 2008. Na ovladači nalezneme sedm tlačítek a joystick. Joystick lze naklánět do čtyř stran, stisknout a otáčet. Všechny prvky jsou červeně podsvíceny. Intenzitu podsvícení můžeme regulovat. Ovladač komunikuje s nadřazeným systémem pomocí tzv. „low-speed“ CAN sběrnice. Budič sběrnice je použit TJA1055. Přenosová rychlost je 100 kbps. Hlavní komponenta je 16 bitový procesor Freescale S9S12P128 taktován na frekvenci 32 MHz. Napájecí napětí má jmenovitou hodnotu 12 V, uvnitř je použit spínaný modul zdroje TLE4262. Tento modul má rozsah napájecího napětí 6 až 45 V. Výše popsané komponenty jsou na obrázku 3. Spotřeba celého ovladače iDrive se pohybuje podle intenzity podsvícení mezi 100-300 mA. Snímání rotačního ovladače je provedeno optickým enkodérem.



Obrázek 3 - Vnitřek ovladače iDrive

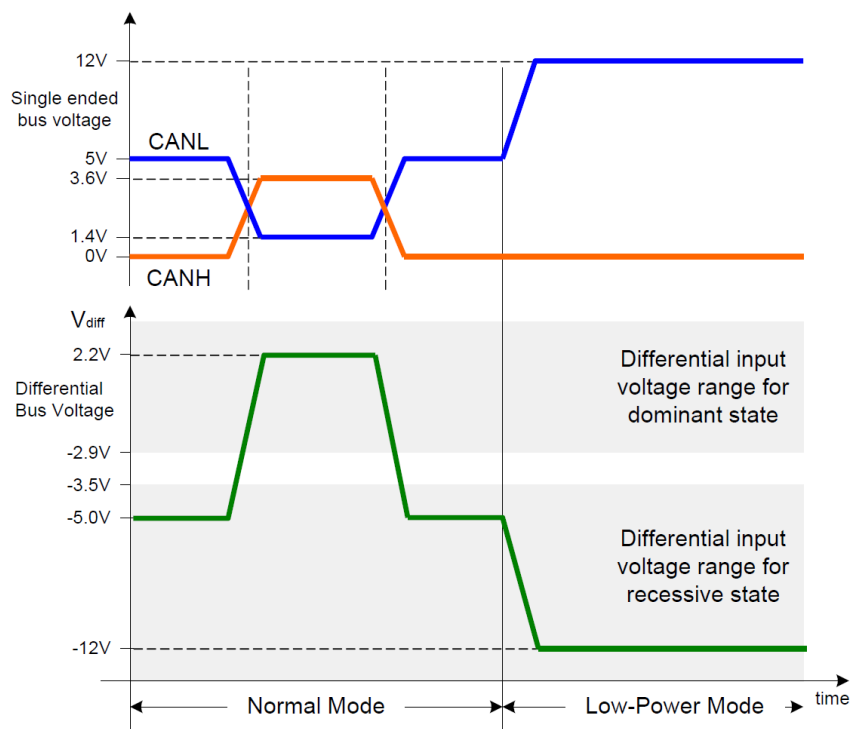


2.1. Sběrnice CAN

Tuto sběrnici používá výše popsany ovladač iDrive, proto bude zde popsána. Controller Area Network, zkráceně CAN je dvou vodičová (CANL, CANH) sběrnice vyvinutá pro použití v automobilech firmou Bosch. Rozlišují se dva základní stavy: „dominantní“ (log. 0) a „recesivní“ (log. 1). Recesivní stav je aktivní přes odpory, tedy pokud všechna zařízení vysílají recesivní stav a jedno dominantní, je výsledný signál na sběrnici dominantní. Toho se využívá například na potvrzování zprávy. Zařízení odešle zprávu a pak přejde do recesivního stavu a sleduje stav na sběrnici. Pokud zprávu někdo zachytí, vyšle dominantní stav. Podle toho odesílatel pozná, že někdo (minimálně jedno zařízení) zprávu přijal v pořádku. CAN zpráva se skládá z osmi datových bytů, 11bitového identifikátoru, 15bitového CRC (cyclic redundancy check, kontrola chyb) a dalších řídicích bitů, například start rámce nebo výše popsany systém potvrzování. Identifikátory s nižším číslem (ID) mají prioritu přenosu. Toho je dosaženo přímo fyzickou vrstvou, nižší číslo má na začátku více logických nul. Například, když začnou vysílat dvě zařízení: obě vyšlou první bit svého ID, zkontrolují, zda je na sběrnici opravdu odeslaný stav. Pokud ano pokračují ve vysílání, pokud ne, zařízení s vyšším ID okamžitě přestává vysílat a počká, až bude sběrnice volná (4).

2.1.1. Fyzická vrstva „low-speed“ CAN

Fyzická vrstva budiče TJA1055 používá pro recesivní stav 5 V na CANL a 0 V na CANH. Dominantní stav je indikován 3,6 V na CANH a 1,4 V na CANL. To platí pro normální režim. Zařízení má možnost přejít do režimu spánku (Low-Power Mode). To provede přivedením napájecího (12 V) napětí na CANL, napětí je přivedeno přes odpor. Tedy platí podobný princip jako u samotného přenosu, pokud všechna zařízení přejdou do režimu spánku, je v tomto stavu i celá sběrnice. Tento stav může monitorovat nějaké zařízení, které například odpojí napájecí napětí. Na obrázku 4 jsou graficky znázorněny napěťové úrovně sběrnice „low-speed“ CAN.



Obrázek 4 - Ukázka signálu CAN sběrnice (5)

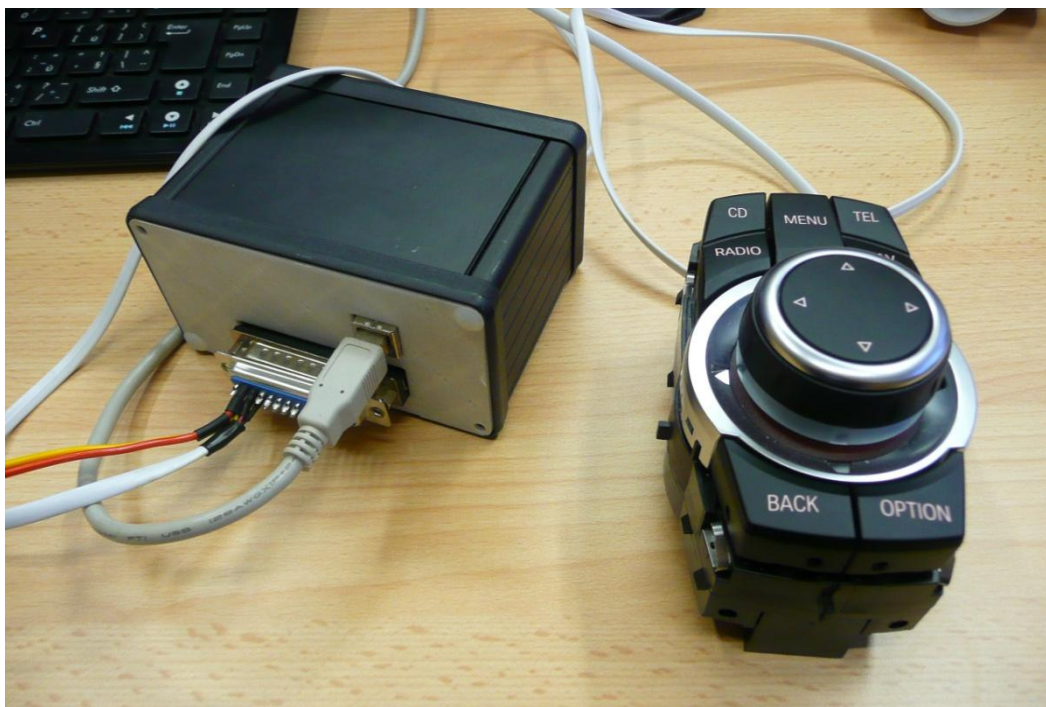
2.1.2. Budič TJA1055

Budič TJA1055 nebo kompatibilní typ TJA1054 je integrovaný obvod o 14 pinech v pouzdru SO14 od firmy NXP Semiconductors. Vstupem budiče jsou piny RX a TX. Jedná se o piny s TTL logikou, je tedy možno je přímo připojit do řadiče. Výstupem jsou piny CAN-L a CAN-H, přímo připojitelné na sběrnici „low-speed“ CAN, tedy přímo do ovladače iDrive. Obvod umožňuje připojení až 32 jiných zařízení. Podporuje rychlost až 125 kbps. Budič sám řeší některé problémy na sběrnici. Například pokud nebude připojen jeden z datových vodičů, bude vysílat po druhém datovém vodiči. Obdobně, pokud bude jeden připojen na zem nebo napájení. Pokud budou oba datové vodiče zkratovány, bude vysílat oběma souhlasně (6).



2.1.3. Převodník CAN (iDrive) – USB

Použitý budič v ovladači iDrive je tzv. „lowspeed“, tedy používá jinou fyzickou vrstvu než běžně dostupné high-speed převodníky. Bylo tedy nutné sestavit převodník s budičem TJA1055 nebo TJA1054.



Obrázek 5 - Převodník CAN – USB s připojeným iDrive

Převodník na obrázku 5 transformuje signály sběrnice CAN na USB linku. Jako budič CAN sběrnice je použit TJA1054. Základem převodníku je vývojová deska s procesorem Freescale HC12. Tento procesor má integrovaný radič sběrnice CAN, tedy po doplnění budiče je jedna strana převodníku kompletní. Na druhé straně procesoru je sériová linka, která je pomocí USB modulu převedena na USB sběrnici. V procesoru je program, který přeposílá data z USB na CAN a obráceně (7).

Pro spolupráci s převodníkem jsem využil Matlab a knihovnu napsanou pro tento převodník (8). V prostředí Matlab jsem napsal skript, který zachytává zprávy sběrnice a ukládá je do textového souboru. U každé zprávy skript uloží ID odesílatele, osm datových bytů a časovou značku. Dále je převodník využíván pro připojení iDrive ke SW EFISu. Toto je popsáno v druhé části této práce.



2.1.4. Dekódování komunikačního protokolu

Po rozebrání ovladače iDrive a prozkoumání desky plošných spojů (viz obrázek 3) jsem identifikoval na konektoru jednotlivé vodiče – napájení 12 V, zem, CAN L, CAN H. Dále jsem našel budič CAN sběrnice, je použit TJA1055. Z datasheetu lze vyčíst, že se jedná o tzv. „lowspeed“ budič.

Po připojení iDrive na napájení se červeně rozsvítí podsvícení, které po cca 3 sec zhasne a celý ovladač se vypne. Zařízení na CAN sběrnici nic nevyšle. Je tedy nutno poslat dotaz, na který ovladač odpoví několika zprávami o jeho stavu. Bohužel po odpovědi se iDrive opět vypne. Je tedy nutno periodicky posílat zprávu s žádostí o data.

Pro komplexní porozumění zprávám bylo nutno použít metodu reverzního inženýrství a komunikaci odposlechnout přímo v originálním zapojení, tedy ve vozidle BMW, konkrétně BMW X1. Za zapůjčení vozu děkuji firmě TL-elektronik. Po odmontování části palubní desky byl originální iDrive odpojen, za použití rozbočovače sběrnice CAN a zařízení pro sběr dat byla komunikace na sběrnici odposlechnuta. Jako zařízení pro sběr dat posloužil převodník CAN-USB připojený do přenosného počítače. Získali jsme takto asi 100 000 zpráv, bohužel jenom minimum z těchto zpráv se týká iDrive. Ve vozidlech je na sběrnici CAN připojeno mnoho zařízení, proto zachycené zprávy jsou z různých zařízení. Zprávy jsem zaznamenával skriptem napsaným v Matlabu.

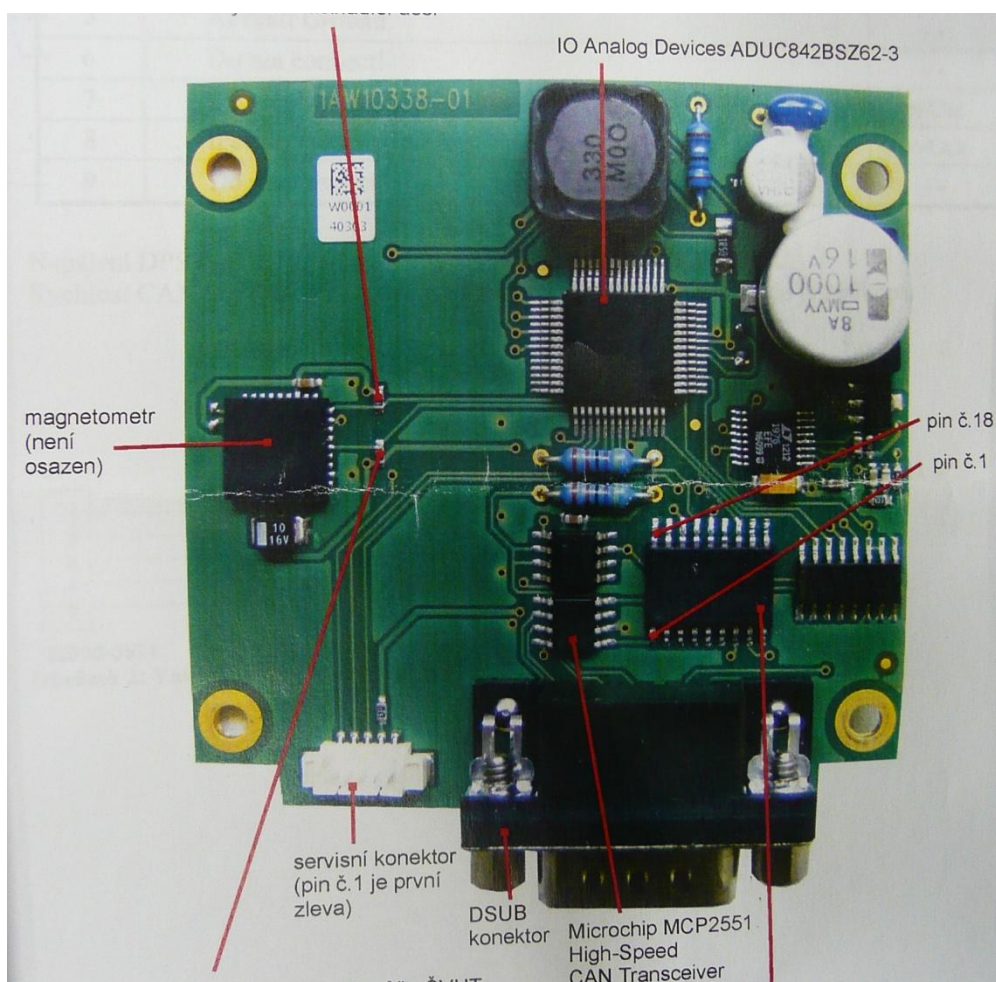
Získané zprávy jsem postupně po částech odesílal do iDrive a sledoval jeho chování. Na některé zprávy reagoval. Zjistil jsem takto, jakou zprávu musím poslat, aby se iDrive nevypínal, jak inicializovat rotační ovladač a jakou zprávou se ovládá intenzita podsvícení. Dále jsem našel systém kódování událostí (stisk tlačítka, otočení ovladače) do zpráv. Ovladač rozlišuje, jestli klávesa byla stisknuta, uvolněna nebo držena stisknutá. Rotační ovladač je napojen na 16 bitový čítač, jehož hodnota se odesílá. K přetečení nebo podtečení čítače nedojde, zůstane v maximální nebo minimální hodnotě. Kompletní popis datové komunikace je v privátní části práce.



2.2. Převodník pro firmu TL-elektronik

Převodník implementuje komunikaci s ovladačem iDrive a převádí ovládací povely na signály sběrnice CANaerospace. Jedním z požadavků bylo, použít pro převodník HW, který lidé z firmy TL-elektronik znají, zejména z důvodu znalosti elektromagnetického rušení (EMI). Nejjednodušší cesta tedy je použít hotovou desku plošných spojů a tu upravit.

Pro prototypovou realizaci byla použita základní deska z magnetometru z produkce firmy TL-elektronik zobrazená na obrázku 6. Na této desce byl osazen procesor ADUC842, jeden řadič MCP2515, budič MCP2551 a spínaný napájecí zdroj 3,3 V se vstupním napětím 10-32 V. Doplnil jsem do zapojení druhý řadič MCP2515, budič sběrnice CAN pro iDrive TJA1055 a napájecí zdroj 5 V pro TJA1055.

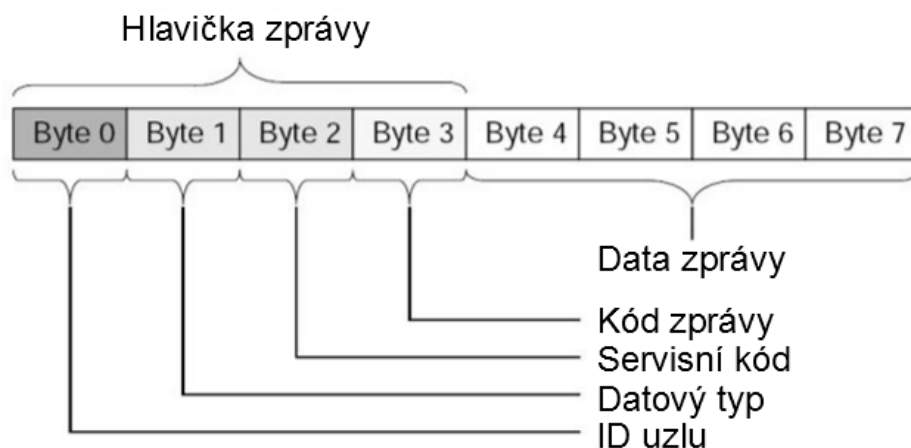


Obrázek 6 - Deska plošných spojů, magnetometr TL-elektronik (9)



2.2.1. CANaerospace

CANaerospace je sběrnice založená na fyzické vrstvě CAN. Jedná se o komunikační protokol používaný, jak už název napovídá, v letectví. Zpráva na sběrnici CANaerospace obsahuje ID odesílatele. V našem případě budeme odesílat zprávy s ID 1810, jako „Low Priority User-Defined Data Channel“, tedy málo důležitá uživatelská data. Dále se odesílá kód zprávy, servisní kód, datový typ, ID uzlu a 4 byty uživatelských dat, viz obrázek 7 (10).



Obrázek 7 - Struktura CANaerospace rámce (10)

Navrhnul jsem strukturu dat, která využívá právě tyto čtyři byty uživatelských dat. První byte jsem použil pro rozlišení události, tedy kóduje, jaká klávesa byla stisknuta, na kterou stranu byl vychýlen joystick, nebo jestli se otočil rotační ovladač.

Druhý byte jsem použil na identifikaci typu události – stisknutí, uvolnění nebo držení klávesy.

Zbylé dva byty jsem použil na odeslání stavu rotačního ovladače. Rotační ovladač je spojen s dvou-bytovým čítačem. Na otočení ve směru hodinových ručiček přičítá, obráceně odečítá. Přetečení/podtečení čítače musí hlídat nadřazený systém, tedy náš převodník. Pokud přetečení/podtečení nastane, nastaví převodník čítač na střed rozsahu. Kompletní dokumentace komunikace je v privátní části práce.

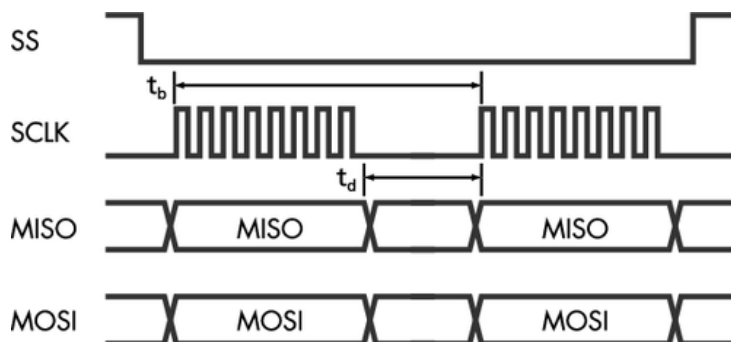


2.2.2. ADUC842

Jedná se o osmi bitový procesor od firmy Analog Devices v pouzdře PQFP s 52 vývody. Výpočetní jádro je použito 8052 s rychlostí 20 MIPS. Taktovací frekvence je 20 MHz, která se získává integrovanou násobičkou z externího krystalu 32 kHz. Procesor obsahuje osm A/D převodníků, dva D/A převodníky, rozhraní UART, I²C a SPI. Právě komunikace SPI je v navrhovaném převodníku velmi používaná (11).

2.2.3. Rozhraní SPI

Serial Peripheral Interface (SPI) je použita pro komunikaci procesoru ADUC842 a dvojice řadičů MCP2515. Jedná se o obousměrnou sběrnici typu Master-Slave (nadřízený-podřízený) s dvojicí datových vodičů, pro každý směr jeden (MOSI, MISO), jedním vodičem s hodinovým signálem (SCLK) a s vodičem pro výběr příjemce dat (SS). Tedy celkem čtyři vodiče. Průběh signálů na sběrnici SPI je vidět na obrázku 8.



Obrázek 8 - SPI (12)

Master generuje hodinový signál (SCLK), výběr zařízení (SS) a odesílaná data (MOSI). Podřízený generuje pouze signál MISO a to pouze v případě, že se ho master dotáže na data.



2.2.4. Řadič MCP2515

Je obvod, který implementuje fyzickou vrstvu CAN. S obvodem se komunikuje pomocí rozhraní SPI. Data lze odesílat rychlostí až 1 Mb/s. Před prvním odesláním zprávy je nutno obvod nastavit. Nastavit registry obsahující informaci o přenosové rychlosti, typu přenosu a další. Odeslání zprávy probíhá následujícím způsobem – zapíšeme osm datových bytů do registrů v řadiči, zapíšeme ID odesílatele a nastavíme bit, který odstartuje vysílání. Počkáme, až skončí přenos zprávy a přečteme z registrů, zda se vyskytla nějaká chyba, nebo zda proběhl přenos úspěšně (13).

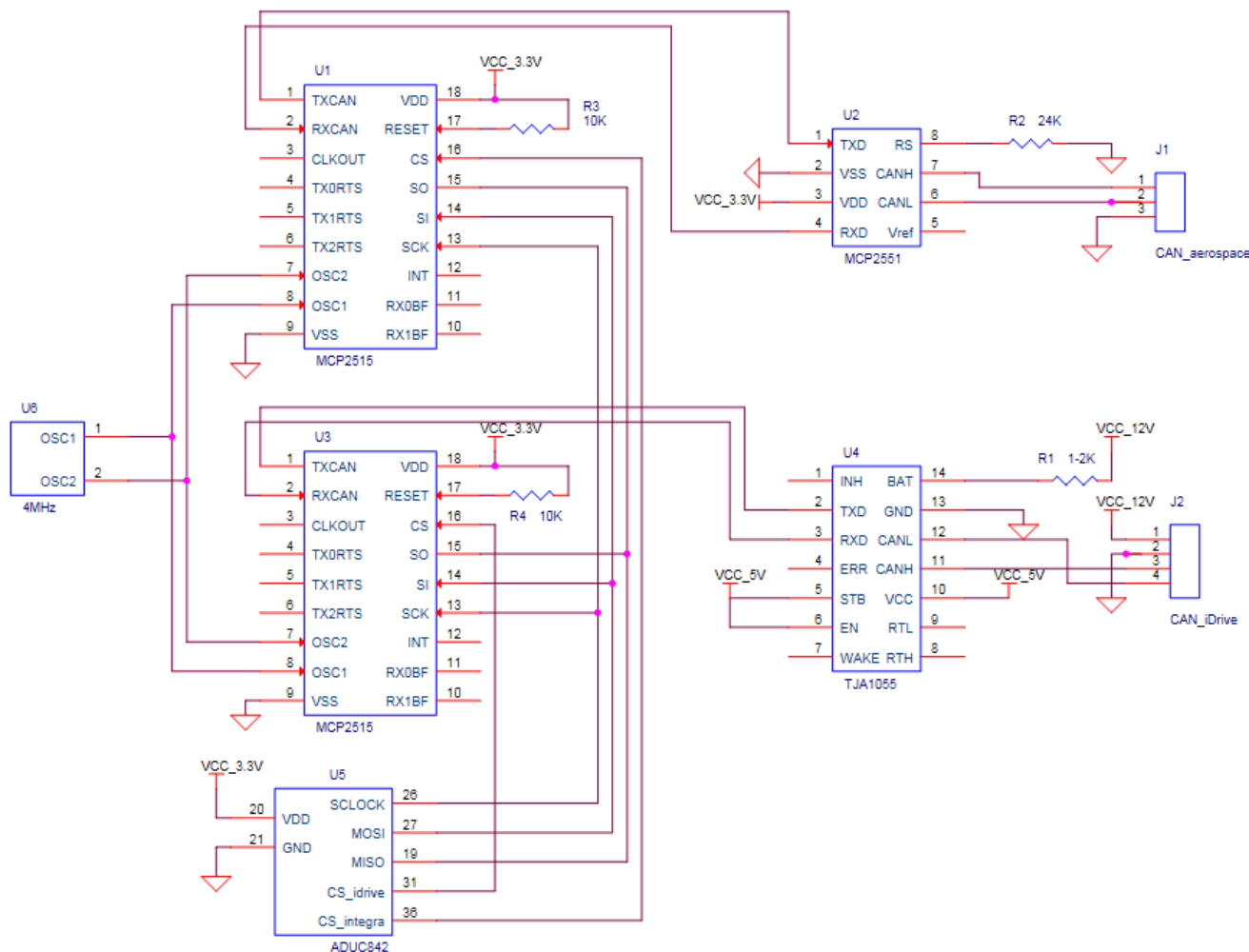
2.2.5. Budič MCP2551

Tento obvod, z produkce firmy Microchip, převádí signály z řadiče MCP2515 na signály sběrnice CAN (CANaerospace) podle normy ISO-11898, tedy tzv. „High-Speed“. Vstupem jsou piny RX a TX s TTL logikou, výstupem je CAN-L a CAN-H tedy přímo CAN sběrnice, v tomto případě CANaerospace. Obvod podporuje přenosovou rychlost až 1 Mb/s, umožňuje připojení až 112 zařízení na sběrnici (14). V převodníku CAN – CANaerospace je tento obvod použit pro stranu CANaerospace. Pro druhou stranu („low-speed“ CAN) je použit budič TJA1055.



2.2.6. Realizace převodníku CAN (iDrive) - CANaerospace

Základem převodníku je procesor ADUC842 s jádrem 8052. K němu jsou pomocí rozhraní SPI připojeny dva řadiče CAN sběrnice MCP2515. Dále je k prvnímu řadiči připojen budič TJA1055 pro sběrnici s iDrive a k druhému řadiči je připojen budič MCP2551 pro CANaerospace. Součástí převodníku je také napájecí zdroj 5 V pro TJA1055 a 3.3 V pro ADUC842 a MCP2515. Vstupem je stabilizovaných 12 V, ze kterých je napájen přímo iDrive a přes zdroj i převodník. Schéma zapojení je níže na obrázku 9.



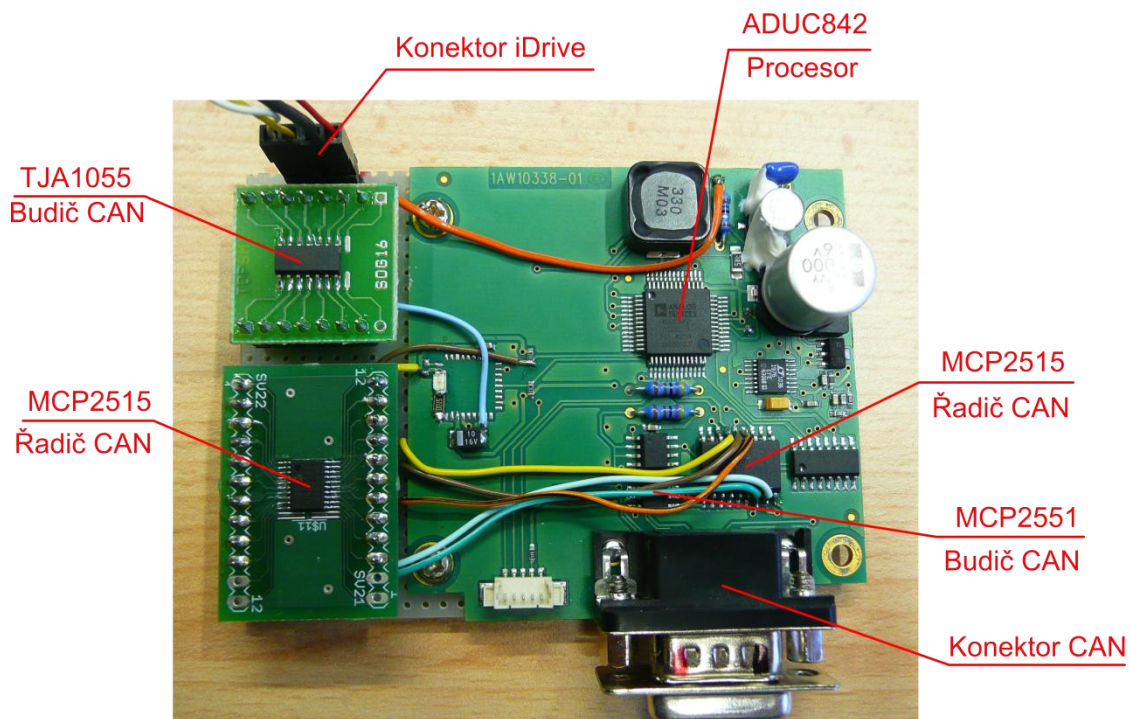
Obrázek 9 – Schéma převodníku iDrive – CANaerospace

Jelikož jsem převodník vyrobil úpravou desky magnetometru, která má již hotový napájecí zdroj a další podpurné obvody, není ve schématu zakreslen napájecí zdroj a procesor ADUC842 má zakresleny pouze důležité vývody.

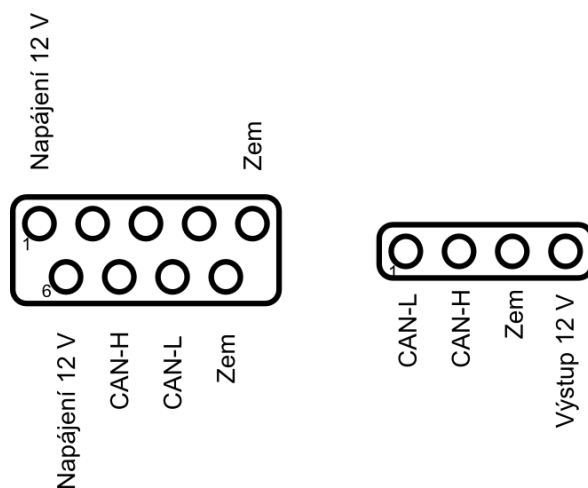
V programu procesoru je implementována komunikace s ovladačem iDrive, tedy inicializace, čtení dat, periodické dotazování na aktuální stav, ovládání podsvícení a detekce chyb. Pokud uživatel na iDrive stiskne tlačítko nebo otočí joystickem, převodník



na to reaguje odesláním zprávy na rozhraní CANaerospace. Dále je v převodníku implementováno periodické odesílání zprávy o stavu připojeného iDrive, frekvence opakování je 1 Hz. Data jsou odesílána rychlostí 250 kbps. Hotový převodník je vyobrazen na obrázku 10 a na obrázku 11 je popis zapojení použitých konektorů.



Obrázek 10 – Převodník CAN (iDrive) – CANaerospace



Obrázek 11 - Zapojení CANaerospace konektoru D-SUB9, zapojení konektoru iDrive



2.3. Praktické využití

V první části tato práce seznámila čtenáře s postupem dekódování komunikačního protokolu ovladače iDrive a s návrhem převodníku z protokolu ovladače na sběrnici CANaerospace. Pro potřeby této části práce vzniknul převodník CAN (iDrive) – USB a převodník CAN (iDrive) – CANaerospace. Převodník byl vyvinut pro firmu TL-elektronic, pro propojení ovladače iDrive a zobrazovače Integra.



Obrázek 12 - iDrive, Integra TL-6624 na výstavě CIGAC 2013 (Foto: Martin Balda, TL-elektronic)

Ovládání Integry pomocí iDrive bylo představeno na výstavě Aero-expo 2013 v Německu ve Friedrichshafenu a dále na výstavě 2013 CIGAC – „China International General Aviation Convention“, fotografie na obrázku 12 (15).



V současné době je již ovladač namontován v letadle Atec 321 Faeta, viz obrázek 13. Montáž do dalších letadel se připravuje.



Obrázek 13 - ATEC 321 Faeta s namontovaným ovladačem BMW iDrive (Foto: Martin Balda, TL-elektronik)

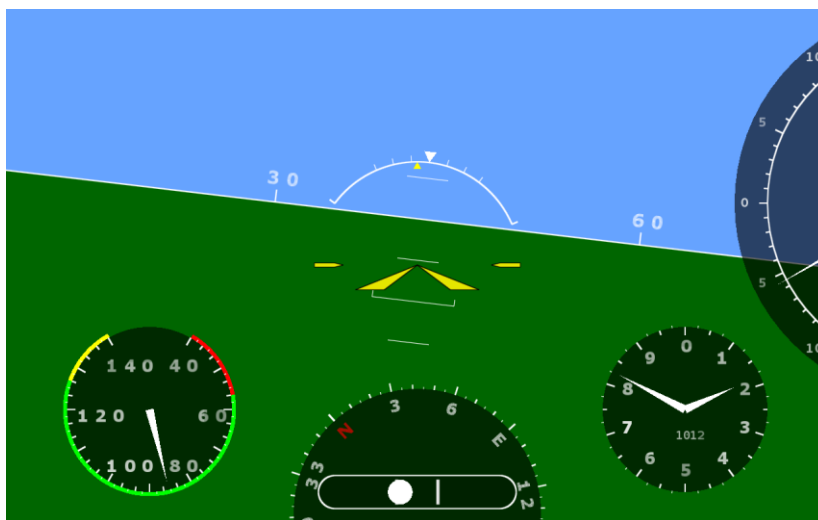


3. Návrh a realizace ovládání systému EFIS

Ve druhé části práce je popsáno připojení ovladače iDrive do stávajícího EFISu. Dále je popsána implementace komunikačního protokolu, takového, aby bylo možno spustit více systémů EFIS a komunikovat s nimi pomocí jednoho ovladače iDrive. Pro tento účel slouží převodník CAN - USB popsaný v první části. Převodník obsluhuje aplikace, která získaná data z ovladače iDrive odesílá pomocí UDP paketů do aplikace FG Connector, která pakety dále přeposílá do SW EFISu.

3.1. EFIS

EFIS je zkratka pro „Electronic Flight Instrument System“, tedy elektronický zobrazovač letových dat. Jedná se o aplikaci vyvíjenou na ČVUT v Praze, FEL, Katedrou měření. Aplikace je napsána v jazyce C a používá grafické rozhraní OpenGL. Grafická stránka aplikace je vidět na obrázku 14.



Obrázek 14 – EFIS

V aplikaci na obrázku 14 jsou zobrazeny palubní přístroje: rychloměr, kompas, příčný sklonoměr, výškoměr a variometr. Aplikace získává data z letového simulátoru „FlightGear“. Se simulátorem aplikace komunikuje přes aplikaci „FlightGear Connector“, pomocí UDP paketů.



3.2. FlightGear

FlightGear je volně šiřitelný program, simulující let letadlem (16). Pro účely této práce byl použit jako zdroj dat pro EFIS. Můžeme tedy otestovat aplikaci a její ovládání během simulace letu. Tento simulátor umožňuje komunikaci pomocí spojení Telnet (TCP/IP), UDP paketů a dalších. Telnet je použit, jako vstupní spojení do FlightGearu pro nastavování barometrické reference. Výhodou je možnost asynchronního odesílání, tedy hodnotu mohou odeslat kdykoliv. V případě UDP paketů je nutno odesílat zprávu periodicky s předem nastavenou frekvencí. Pokud zpráva nepřijde v řádném čase, simulace se zastaví a program čeká na data, což je pro tento případ prakticky nepoužitelné (17).

3.3. User Datagram Protocol (UDP)

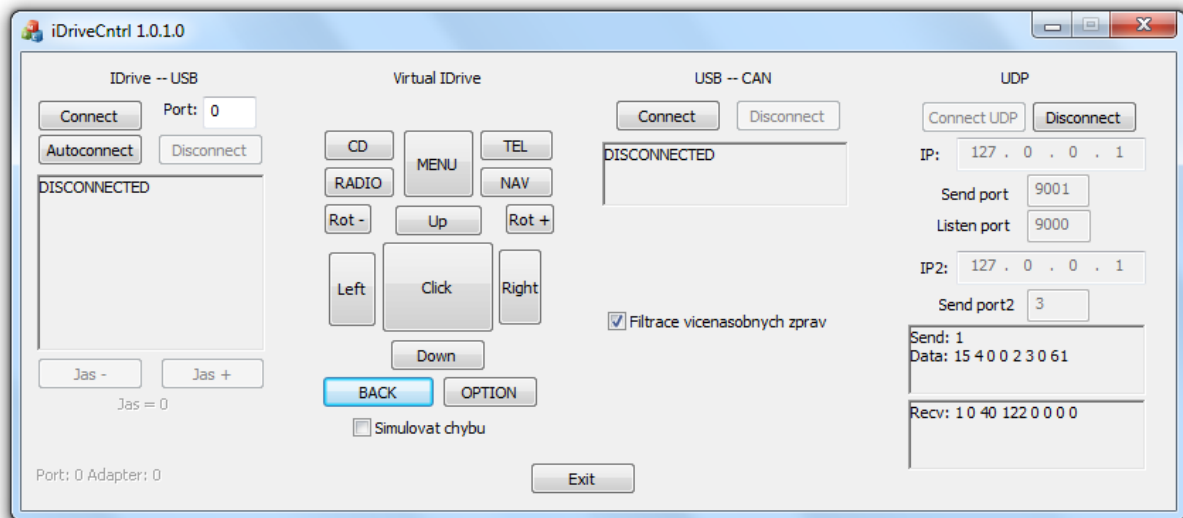
User Datagram Protocol je protokol transportní vrstvy, přes který můžou jednotlivé počítače komunikovat po síti. Je také vhodný pro komunikaci jednotlivých aplikací v rámci jednoho počítače. Pro to se použije IP adresa 127.0.0.1, takzvaný loop-back, tedy odeslaný paket přijde zpátky odesílateli, resp. na počítač odesílatele. Tuto adresu použijeme v případě, že obslužná aplikace běží na stejném počítači jako EFIS (18).

3.4. Obslužná aplikace

Aplikace zobrazená na obrázku 15, komunikuje s ovladačem iDrive, zpracovává přijaté zprávy a dále odesílá zprávy. Tyto zprávy odesílá na převodník USB2CAN od firmy „canlab“ (19) ve formátu CANaerospace. A dále odesílá přes UDP pakety na dvě zadané IP adresy (porty). Právě komunikace pomocí UDP je využívána k připojení k SW EFISu. Struktura UDP a CANaerospace zprávy je stejná, pouze u UDP neodesíláme ID. Aplikace má dále virtuální iDrive, vhodný k otestování funkce, pokud zrovna nemáme k dispozici skutečný iDrive. Pokud je připojen pouze iDrive, jsou události o stisku tlačítek pouze zobrazovány. Pokud je k aplikaci připojen iDrive, USB2CAN i je připojen UDP přenos, jsou události odesílány na všechny dostupné periferie a také jsou zobrazovány. Dále jsou v aplikaci tlačítka na ovládání intenzity podsvícení ovladače iDrive. Pro snížení vytížení přenosové cesty (CANaerospace nebo UDP) je implementována filtrace vícenásobných zpráv. Ovladač iDrive totiž po dobu stisku klávesy neustále generuje zprávu informující o této události. Filtraci je možno vypnout. Je tu také možnost simulovat chybu, v tom případě



obsahuje periodicky odesílaná stavová zpráva informací o chybě. Chyba je detekována například v případě odpojení iDrive od převodníku. Aplikace také zobrazuje přijatá data UDP přenosem. Toho je možné využít pro testování spojení se systémem EFIS.



Obrázek 15 - Obslužná aplikace

Aplikaci jsem napsal v jazyce C, v prostředí Visual Studio 2010 (20). Pro grafickou stránku aplikace jsem použil knihovnu MFC, což je knihovna obsahující ucelený balíček objektů, například: tlačítka, textová pole, zatrhávací políčka a mnohé další.

Při spuštění aplikace přečte soubor obsahující informaci o akci, kterou má provést po spuštění. Například připojení UDP přenosu s konkrétní IP adresou nebo připojení k iDrive. Tímto způsobem můžeme aplikaci používat, aniž bychom o tom museli vědět. Jednoduše ji přidáme do sekce „po spuštění“ na počítači, nastavíme konfigurační soubor a při zapnutí počítače se všechno připojí „samo“. Pokud konfigurační soubor neexistuje, aplikace se spustí s výchozím nastavením a soubor vytvoří, pak ho můžeme jednoduše upravit.

3.5. Úprava systému EFIS

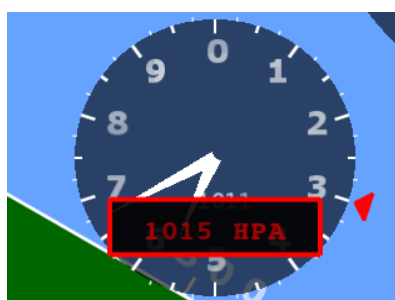
Systém elektronického zobrazovače letových dat EFIS jsem upravil tak, aby přijímal zprávy odesílané z ovladače iDrive. Otevřel jsem tedy další UDP spojení. První je použito pro příjem hodnot zobrazovaných veličin, druhé pro ovládání. Dále jsem implementoval komunikační protokol, který zajišťuje komunikaci mezi jednotlivými systémy EFIS a přidal jsem menu pro nastavování indikátorů (bugů).



3.5.1. Nastavování barometrické reference

Jedním z cílů této práce je nastavovat pomocí iDrive barometrickou referenci v simulátoru FlightGear, dále jen FG. V první verzi EFISu byla použita přímá komunikace s FG pomocí protokolu Telnet. Spojení UDP podporuje FG pouze s předem danou frekvencí, tedy očekává data periodicky. Takový přenos je vhodný například pro ovládání simulace, ale ne pro občasné nastavování jedné hodnoty. Pokud bychom použili UDP přenos a například díky pomalému počítači by EFIS nestíhal odesílat data, simulace ve FG by na data čekala, přišli bychom tedy o plynulost simulace. Z toho důvodu se ukázala komunikace s FG pomocí Telnetu jako jediná možná. V první verzi byla použita přímá komunikace systému EFIS s FG pomocí spojení Telnet. To se ukázalo jako nevhodné, protože pokud systém EFIS komunikuje pouze s aplikací FG Connector, lze pouhou změnou FG Connectoru systém EFIS použít i jinak, například s jiným simulátorem, nebo na palubě letadla. Došlo tedy k přepracování FG Connectoru tak, že když detekuje zprávu určitého formátu, odešle zprávu do FG pomocí Telnetu. Komunikace s FG pomocí Telnetu zůstala, pouze se přesunula do FG Connectoru.

Nastavování barometrické reference je v průběhu letu často nastavovanou veličinou, proto je její nastavování zjednodušeno na maximální možnou úroveň díky komfortu otočného ovladače iDrive. Pokud nemáme v EFISu vybráno žádné menu, je rotační ovladač použit právě pro referenci, tedy otáčením ovladače doprava zvyšujeme nastavenou hodnotu reference a obráceně. Nastavovaná hodnota je zobrazena červeně v oblasti výškoměru, tak jak je ukázáno na obrázku 16.



Obrázek 16 - Nastavení barometrické reference



3.5.2. Menu zobrazovače EFIS

Další z úprav EFISu bylo přidání menu, které se ovládá pomocí iDrive. Stiskem klávesy „Menu“ se otevře menu, klávesou „Back“ nebo volbou „Exit“ menu opustíme. Nakláněním joysticku nahoru a dolů vybíráme příslušné položky, stisknutím vybíráme položku a otáčením kolečka nastavujeme konkrétní hodnotu. Menu je vidět v levé části obrázku 17. K dispozici je nastavování indikátorů (bugů) pro rychloměr (speed), výškoměr (alt), kompas (compass) a nastavování ukazatele podélného úhlu natočení letadla (bore sight). Indikátory lze vypnout volbou „disp bug“.



Obrázek 17 - EFIS Menu

3.5.3. Buggy

„Bug“ je název pro indikátor v podobě malého trojúhelníku. Ukazuje na konkrétní hodnotu na analogovém zobrazovači. Na obrázku 18 je příklad bugu, konkrétně se jedná o bug na kompasu, znázorňuje tedy nastavený kurs.



Obrázek 18 - Bug



Indikátory jsou u kompasu, rychloměru a výškoměru. Pilot si nastaví hodnotu, kterou chce udržovat a dále se snaží držet ukazatel na nastavené hodnotě. Na první pohled je tak vidět, jestli pilot letí tak, jak letět má. Pro ještě snazší orientaci je střed ukazatele zelený, pokud je aktuální a nastavená hodnota shodná, je zde úzké pásmo tolerance. V další verzi EFISu mohou být indikátory použity pro nastavování autopilota.

3.6. Ovládání několika systémů EFIS jedním iDrive

Pokud je moderní letoun vybaven systémem EFIS, může obsahovat více kusů tohoto systému. Například jeden pro pilota, druhý pro druhého pilota a třetí společný. Na společném jsou zpravidla umístěny motorové veličiny a další ukazatele o stavu letounu. Na samostatných je zpravidla zobrazen systém EFIS, tak jak je vyobrazen na obrázku 17.

Pro zvýšení komfortu ovládání je vhodné mít jediný ovladač iDrive a tím ovládat všechny systémy EFIS. Navrhnul jsem proto datovou komunikaci, která bude předávat ovládací povely mezi jednotlivými systémy EFIS.

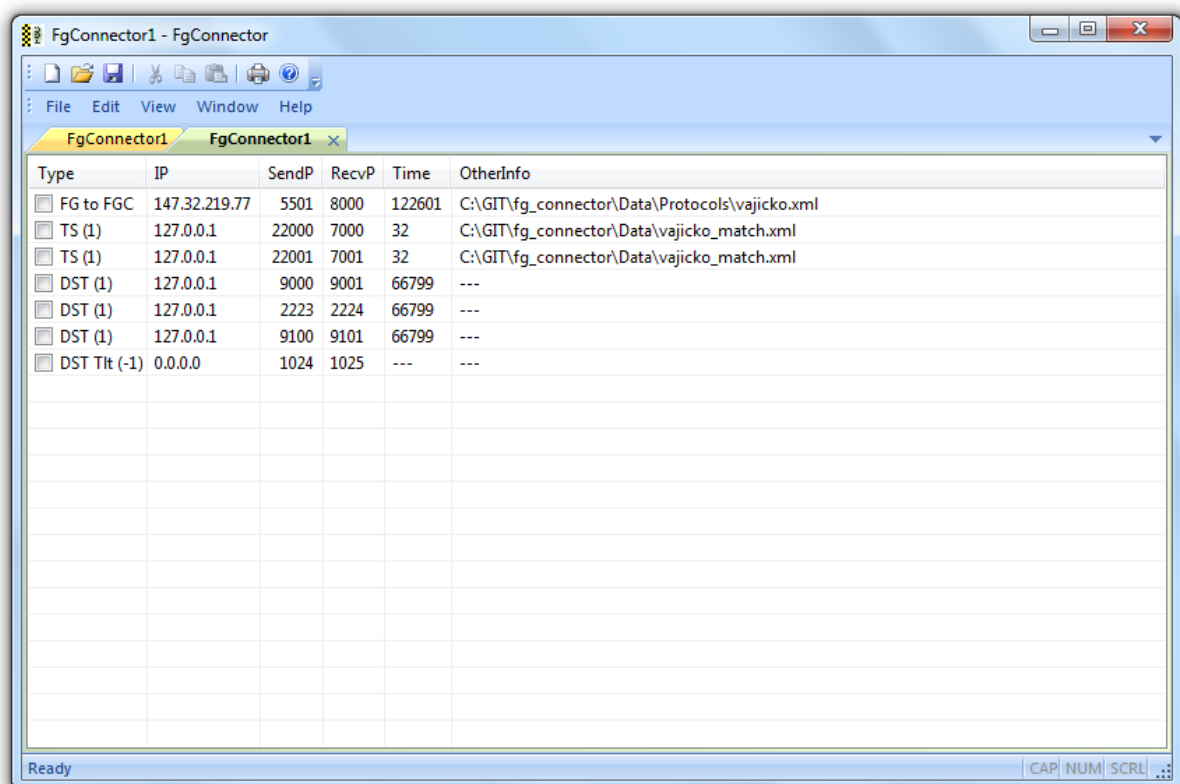
3.6.1. Popis ovládacích prvků na ovladači iDrive

Stiskem klávesy „Menu“ se otevře menu, viz obrázek 17. Nakláněním joysticku se vybírá konkrétní položka menu a stisknutím se položka vybere. Otáčením kolečka je nastavována konkrétní hodnota. Vybráním položky „Exit“ nebo stiskem klávesy „Back“ lze menu zavřít. Stiskem klávesy „CD“ nebo „Radio“ vybíráme, který z připojených systémů EFIS budeme ovládat. Klávesou „CD“ vybíráme EFIS s vyšším ID, klávesou „Radio“ naopak s nižším ID. Více o ID v kapitole 3.6.3. Tato koncepce ovládání předpokládá přepsání popisků na jednotlivých klávesách, tedy místo „CD“ bude například šipka doprava. Tento způsob ovládání ještě není konečný, čeká se, až systém otestují piloti letadel na leteckém simulátoru (viz kapitola 3.7). Podle jejich námitek bude ovládání upraveno.



3.6.2. FG Connector

FlightGear Connector, zkráceně FGC, je program zajišťující propojení všech potřebných prvků pomocí UDP paketů. V aktuálním stavu je připojen k simulátoru FlightGear, z kterého získává data. Ta potom rozesílá na IP adresy (TS), na kterých je spuštěn EFIS. Jedná se o data o rychlosti, výšce, úhlech natočení letadla a mnohá další. Dále odesílá data do navigačního modulu (navigator). Ten poskytuje navádění na nouzové přistání při výpadku motoru (21). Spojení systému EFIS a modulu navigátor je opět pomocí UDP paketů, ale přímo, tedy bez aplikace FGC. Následkem toho jsou navigační data dostupná pouze na jednom ze systémů EFIS. V budoucnu dojde k přepracování FGC, tak aby data z modulu navigátor byla přeposílána do všech systémů EFIS.



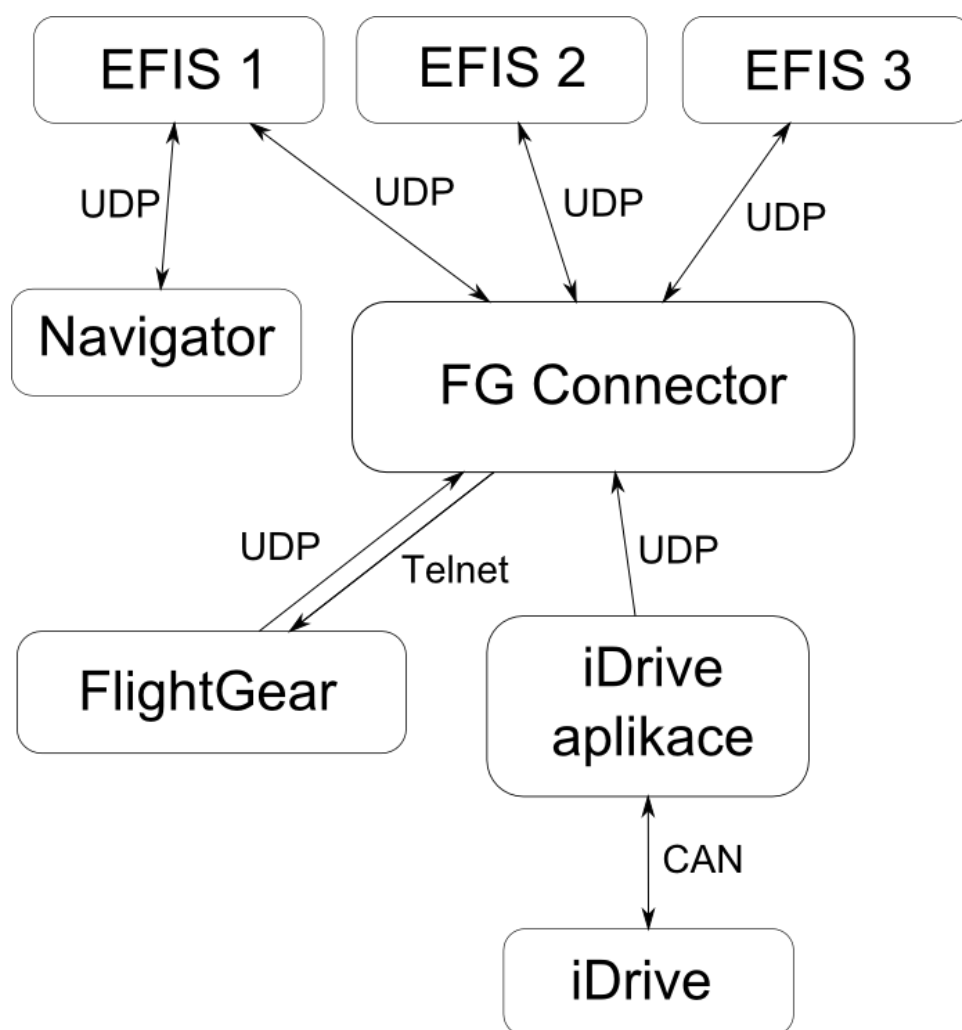
Obrázek 19 - FG connector

Na obrázku 18 je zobrazena aplikace FGC. Aplikace má dvě okna, v prvním je seznam přenášených veličin s aktuální hodnotou. V druhém, zachyceném na obrázku 19, je zobrazen seznam otevřených spojení včetně IP adresy a čísel portů.

Datový protokol pro komunikaci mezi jednotlivými systémy EFIS používá také UDP komunikaci. UDP komunikace je komunikací mezi dvěma body. Pro naše použití potřebujeme, aby komunikovalo větší množství systémů EFIS mezi sebou. Ideální by byla sběrnice CANaerospace, tu ale standardní počítač nemá. Musíme si tedy UDP komunikaci



upravit tak, aby se chovala jako sběrnice. K tomu nám poslouží již používaný FGC. Funkce se jmenuje „distributors“ a má jediný úkol, přijatá data odeslat na všechny nastavené IP adresy (mimo té, z které data přišla). Pokud tedy spojíme všechny systémy EFIS touto funkcí a jeden odešle systém UDP zprávu, přijde všem ostatním systémům EFIS. Dále byla definována zpráva, která když přijde do FGC od jednoho z „distributors“ zařízení, znamená, že se mají data nejenom přeposlat ostatním „distributors“, ale také se mají odeslat pomocí Telnet přenosu do FlightGear. Propojení jednotlivých systémů EFIS, FlightGear a ovladače iDrive pomocí FGC je znázorněno na obrázku 20.



Obrázek 20 - Propojení EFIS, iDrive, FlightGear, Navigator

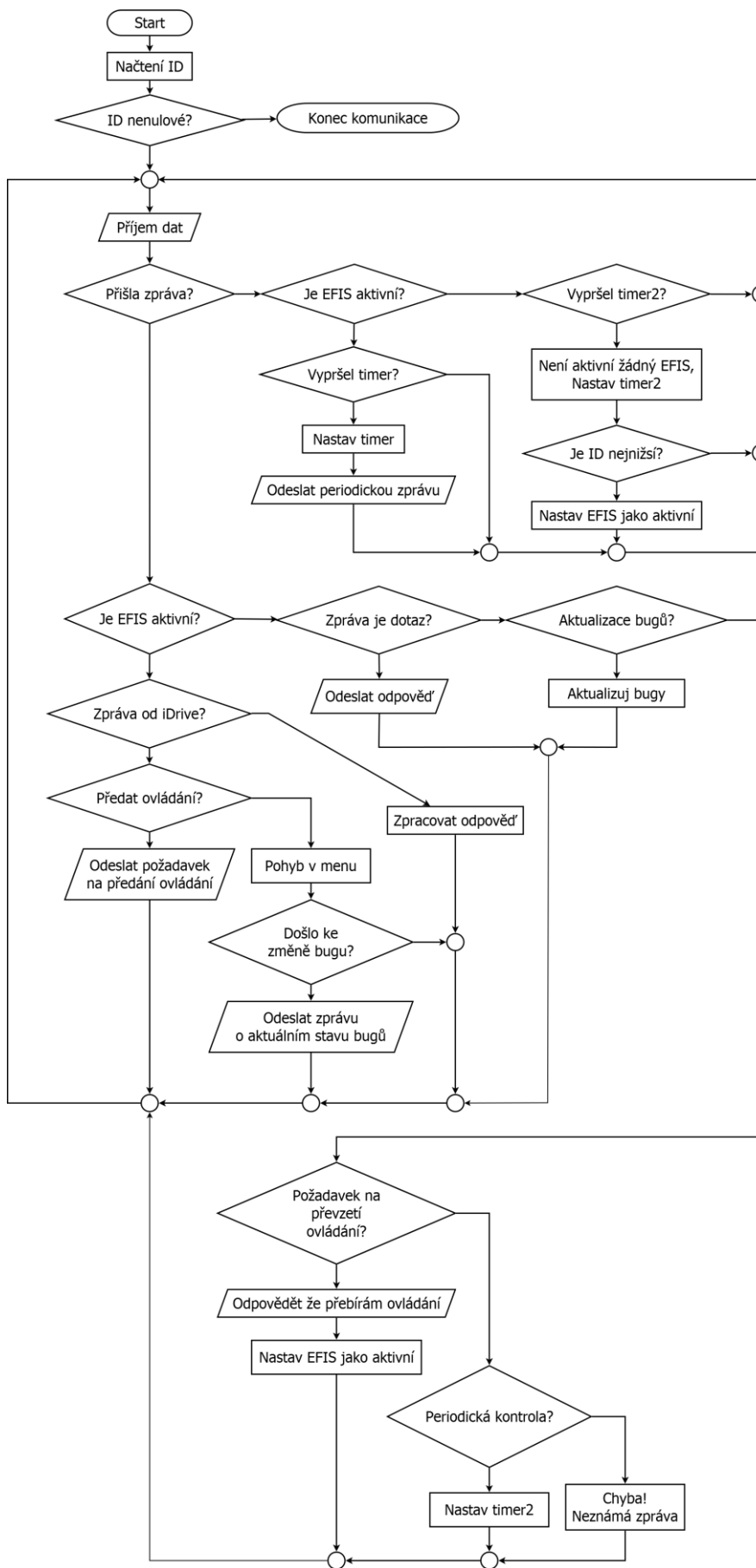


3.6.3. Datový protokol

Tento protokol musí umožňovat robustní komunikaci mezi několika stejnými systémy EFIS. Je tedy potřeba zavést různé ovládací zprávy. Zprávy mají podobný tvar jako zprávy CAN. Díky tomu bude možno použít stejný protokol i na reálných zařízeních propojených sběrnici typu CAN. Každá zpráva začíná ID odesílatele. Dále následuje instrukce, co mají ostatní zařízení udělat. Zbylých 6 bytů je určeno pro data. ID odesílatele se nastaví před spuštěním v konfiguračním souboru.

Dále musíme zavést zprávu, která předá ovládání jinému systému EFIS. Tato zpráva začíná jako všechny zprávy ID odesílatele, pak následuje příkaz o předání ovládání, nakonec ID EFISu, kterému se má předat ovládání. Ten na tuto zprávu odpoví a stane se z něj aktivní EFIS. Aktivní EFIS periodicky posílá zjišťovací zprávu. Na tuto zprávu ostatní systémy EFIS musí odpovědět, tímto způsobem si aktivní EFIS vytvoří seznam dostupných systémů EFIS. Pokud přijde z iDrive požadavek na předání ovládání, aktivní EFIS nalezne nejbližší aktivní ID (vyšší nebo nižší, podle toho jestli se ovládání předává doprava nebo doleva). Seznam dostupných systémů EFIS je vytvářen dynamicky, díky tomu zůstane celý systém funkční i po výpadku některého ze systémů EFIS.

Další ze zpráv zajišťuje aktualizaci bugů. Pokud na aktivním systému EFIS nastavím bugy na nějakou hodnotu, vygeneruje se zpráva obsahující toto nastavení. Ostatní systémy EFIS ji přijmou a aktualizují svoje nastavení. EFIS, který není aktivní, sleduje, zda přicházejí periodické zprávy. Pokud ano, je vše v pořádku, je dostupný aktivní EFIS. Pokud ne (výpadek některého EFIS), je třeba rozhodnout, který z dostupných systémů EFIS bude aktivní. Aktivním se stane ten s nejnižším ID. Celý protokol je znázorněn diagramem na obrázku 21.



Obrázek 21 - Diagram datového protokolu



3.7. Praktické použití systému EFIS

V současné době je výše popsáný systém EFIS nainstalován na leteckém simulátoru. Simulátor je vyobrazen na obrázku 22. Jedná se o mechanickou plošinu typu „hexapod“, která umožňuje náklony do všech tří os a posuny do všech tří stran, tedy šest stupňů volnosti. Na pohyblivé části jsou umístěny dvě sedačky, dvojice řízení (joystick, pedály, plynová páka) a šest monitorů. Na čtyřech monitorech je zobrazován simulátor FlightGear, tyto monitory tedy představují čelní okno letadla. Zbylé dva monitory jsou pro EFIS. S pomocí tohoto leteckého simulátoru lze otestovat přínos systému EFIS na pilotech reálných letadel. Díky pohyblivosti plošiny je dojem ze simulovaného letu velice realistický a pilot si tak vyzkouší výhody ovládání pomocí iDrive v podmínkách, které se co nejvíce přibližují reálnému letu.



Obrázek 22 - Letecký simulátor (22)



Obrázek 23 - Letecký simulátor, pohled z místa pilota

Na obrázku výše je ukázka instalace tří systémů EFIS na letecký simulátor. Dva spodní monitory se spuštěným systémem EFIS jsou instalovány trvale, přenosný počítač vpravo na palubní desce je pouze pro testování ovládání na více systémech EFIS. Uprostřed palubní desky je ovladač iDrive, prozatím není namontován na pevném místě. V této instalaci úspěšně proběhlo vyzkoušení ovládání třech systémů EFIS pomocí jediného ovladače iDrive.



4. Závěr

V této práci jsem dekódoval komunikační protokol používaný ovladačem BMW iDrive. Se znalostí tohoto protokolu jsem navrhnul převodník mezi ovladačem iDrive a sběrnici CANaerospace. Díky tomuto převodníku se otevřela cesta pro montáž ovladače iDrive na palubu ultra lehkých letadel. V současné době je převodník namontován v letadle Faeta 321, kde komunikuje s přístrojem EFIS&EMS Integra TL-6624.

V druhé části práce je popsáno, jak jsem integroval ovladač iDrive do stávajícího systému EFIS. Systém jsem upravil pro příjem zpráv z ovladače a implementoval menu pro nastavení parametrů. Dále jsem navrhnul a implementoval protokol, který zajistí komunikaci několika stejných systémů EFIS mezi sebou, je tak možné pomocí jediného ovladače iDrive ovládat více systémů EFIS. Na závěr bylo ukázáno použití třech systémů EFIS na pohyblivém leteckém simulátoru.



5. Seznam obrázků

Obrázek 1 - Integra TL-6624 EFIS & EMS, BMW iDrive (1) (2)	7
Obrázek 2 – iDrive ovladač (3)	8
Obrázek 3 - Vnitřek ovladače iDrive	8
Obrázek 4 - Ukázka signálu CAN sběrnice (5).....	10
Obrázek 5 - Převodník CAN – USB s připojeným iDrive	11
Obrázek 6 - Deska plošných spojů, magnetometr TL-elektronik (9).....	13
Obrázek 7 - Struktura CANaerospace rámce (10).....	14
Obrázek 8 - SPI (12).....	15
Obrázek 9 – Schéma převodníku iDrive – CANaerospace	17
Obrázek 10 – Převodník CAN (iDrive) – CANaerospace	18
Obrázek 11 - Zapojení CANaerospace konektoru D-SUB9, zapojení konektoru iDrive	18
Obrázek 12 - iDrive, Integra TL-6624 na výstavě CIGAC 2013 (Foto: Martin Balda, TL-elektronik).....	19
Obrázek 13 - ATEC 321 Faeta s namontovaným ovladačem BMW iDrive (Foto: Martin Balda, TL-elektronik).....	20
Obrázek 14 – EFIS	21
Obrázek 15 - Obslužná aplikace.....	23
Obrázek 16 - Nastavení barometrické reference	24
Obrázek 17 - EFIS Menu	25
Obrázek 18 - Bug	25
Obrázek 19 - FG connector	27
Obrázek 20 - Propojení EFIS, iDrive, FlightGear, Navigator.....	28
Obrázek 21 - Diagram datového protokolu.....	30
Obrázek 22 - Letecký simulátor (22)	31
Obrázek 23 - Letecký simulátor, pohled z místa pilota.....	32



6. Reference

1. **TL elektronik.** TL-elektronic. [Online] 2013. http://www2.tl-elektronic.cz/index.php?page=lsa&p_id=20.
2. **Preh, Inc.** Preh Supplies iDrive Controller. *Preh*. [Online] 2011. <http://www.prlog.org/11283630-prehbmw-idrive-controller.jpg>.
3. **BMW Česká republika.** Koncept ovládání iDrive v BMW řady 3 Sedan. *BMW Česká republika*. [Online] 2008. <http://www.bmw.cz/cz/cs/newvehicles/3series/sedan/2008/allfacts/ergonomics/idrive.html>.
4. **Wikipedia.** CAN bus. *Wikipedia*. [Online] 2013. http://en.wikipedia.org/wiki/CAN_bus.
5. **Schade, Frank.** Application Hints TJA1055T. *NXP Semiconductors*. [Online] 8. 7 2011. http://www.nxp.com/documents/application_note/AH0801.pdf.
6. **NXP B.V. 2009.** Enhanced fault-tolerant CAN transceiver. *NXP Semiconductors*. [Online] 17. 2 2009. http://www.nxp.com/documents/data_sheet/TJA1055.pdf.
7. **Pačes, Pavel.** Freescale HC12 demo board - schéma zapojení. [Online] 2009. www.pacespavel.net/Download/index.php?soubor=Paces_schUniversalModule.
8. —. Matlab-To-Can Toolbox - program v1.x. [Online] 2009. www.pacespavel.net/Download/index.php?soubor=PacesCanTbxSW.
9. **TL-elektronic .** Vytisknutý dokument, dodaný s deskou plošných spojů. 2013.
10. **Wikipedia.** CANaerospace. *Wikipedia*. [Online] 2013. <http://en.wikipedia.org/wiki/CANaerospace>.
11. **Analog Devices.** ADuC841/ADuC842/ADuC843. *Analog Devices*. [Online] 2003. http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADUC841_842_843.pdf.
12. **Total Phase.** *Total Phase*. [Online] 2013. http://www.totalphase.com/image/docs/aardvark_man/spi-04.png.
13. **Microchip Technology Inc.** MCP2515. *Microchip Technology Inc.* [Online] 2005. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/21801d.pdf>.



14. **Microchip Technology Inc.**, MCP2551. *Microchip Technology Inc.* [Online] 2010.
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21667f.pdf>.
15. **Fridrich, Jan.** Výstava 2013 CIGAC. *Letecká amatérská asociace ČR.* [Online] 2013.
<http://www.laacr.cz/Stranky/Aktuality/default.aspx?UID=145>.
16. **Olson, Curtis L.** *FlightGear Flight Simulator.* [Online] 2013. <http://www.flightgear.org/>.
17. **FlightGear wiki.** Telnet usage. *FlightGear wiki.* [Online] 2013.
http://wiki.flightgear.org/Telnet_usage.
18. **Wikipedia.** User Datagram Protocol. *Wikipedia.* [Online] 2013.
http://cs.wikipedia.org/wiki/User_Datagram_Protocol.
19. **Canlab.** USB2CAN. *Canlab.* [Online] 2008. http://rs.canlab.cz/?q=cs/usb2can_interface.
20. **Microsoft.** Visual Studio. [Online] 2013. <http://www.visualstudio.com/>.
21. **Pačes, Pavel.** FlightGear Connector. [Online] 12. 01 2013. [Citace: 1. 11 2013.]
www.pacespavel.net/Download/index.php?soubor=PacesFGConnSW.
22. **České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, Katedra měření.** Center for Advanced Simulation and Technology. *Katedra měření.* [Online] 2013.
<http://measure.feld.cvut.cz/cast>.
23. **Microsoft.** *Microsoft Development Network.* [Online] Microsoft, 2013.
<http://msdn.microsoft.com/cs-cz/default.aspx>.
24. iDrive CON in a foreign system. *Bimmerforums.* [Online] 2013.
<http://forums.bimmerforums.com/forum/showthread.php?1948138-iDrive-CON-in-a-foreign-system>.



7. Seznam příloh

Privátní část práce

CD

7.1. Obsah CD

BP_Suchy.pdf – tato práce ve formátu pdf

BP_privatni_cast_Suchy.pdf – privátní část této práce

Složky se zdrojovými kódy a aplikací:

- EFIS (kapitola 3.1)
- iDrive_Matlab (kapitola 2.1.4)
- iDriveCntrl (kapitola 3.4)
- prevodnik_ADUC (kapitola 2.2.6)

Obrazky – složka s obrázky