Slovenská technická univerzita v Bratislave

Fakulta informatiky a informačných technológií

Inžinierske dielo

Automatické testovanie v prostredí Internetu vecí

Vedúci projektu:	doc. Ing. Tibor Krajčovič, PhD.
Product owner:	Ing. Lukáš Ondriga
Členovia tímu:	Bc. Tomáš Bujna
	Bc. Marián Ján Franko
	Bc. Rastislav Kováč
	Bc. Igor Labát
	Bc. Miroslav Sabo
	Bc. Filip Starý
	Bc. Stanislav Širka
Akademický rok:	2018/2019

Obsah

1. Úvod

Nasledovný dokument predstavuje sprievodný dokument k výslednému systému, ktorý je produktom semestrálnej práce nášho tímu, pričom podrobné informácie o tíme ako aj o členoch tímu sú uvedené v paralelnom sprievodnom dokumente s názvom *Riadenie*. Vo všeobecnosti môžeme dokument definovať ako technickú dokumentáciu výsledného produktu.

Obsahom dokumentu, sú hlavné časti produktu spolu s návodmi, ktoré vznikli pri práci na projekte a sú nevyhnutné pre ďalšie pokračovanie na tomto projekte. V dokumente sú definované globálne ciele, ktoré vyplývali prevažne z požiadaviek Product Ownera. Ďalej je v dokumente uvedený celkový pohľad na systém, v ktorom je uvedená architektúra systému v spojení s využívanými modulmi. Následne sú v dokumente uvedené kapitoly ako analýza, v ktorej sa nachádza podrobná analýza všetkých dôležitých častí systému, ktoré bolo pre správne riešenie potrebné analyzovať. Taktiež implementácia a návrh jednotlivých častí systému, ktoré vyplývajú z celkového pohľadu na systém. Na konci dokumentu, je uvedené testovanie jednotlivých funkčných častí produktu, ako aj výsledné testovanie integrácie všetkých častí. Toto testovanie predstavuje pre systém neoddeliteľnú súčasť, nakoľko z pohľadu Product Ownera predstavuje toto testovanie aj formu akceptačných testov.

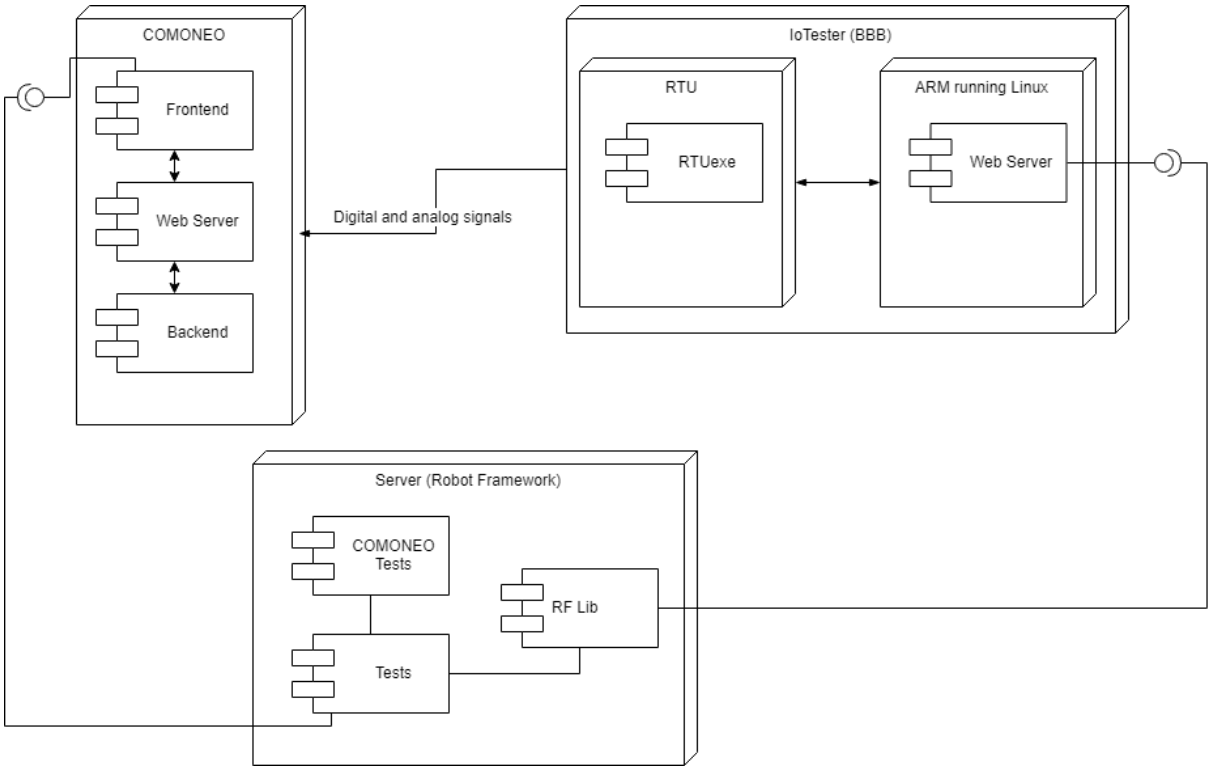
Našim cieľom je navrhnúť a implementovať zariadenie na automatické testovanie meracích zariadení. Zariadenie bude simulovať správanie sa fyzikálnych veličín generovaním napätia v rozsahu <-10V, +10V>. Simuláciu bude možné spustiť pomocou digitálnych vstupov. V rámci projektu bude navrhnuté rozhranie REST API, ktoré umožní programovanie rôznych simulácií. Následne bude zariadenie integrované do existujúceho frameworku pre automatické testovanie (Robot framework). V rámci projektu budú vytvorené nástroje, ktoré umožnia simuláciu správania sa rôznych fyzikálnych veličín.

Projekt má trvanie dvoch semestrov a preto je obmedzené množstvo práce času, ktoré mu je venované. Ohraničenia tohto projektu sa vzťahujú na vytvorenie funkčného prototypu zariadenia na automatizované testovanie meracích zariadení. Tento prototyp bude možné rozšíriť aj mimo tohto projektu. Taktiež bude možné vytvárať nové testy pomocou existujúceho frameworku (Robot Framework) s využitím vytvoreného zariadenia. Výsledný produkt bude majetkom firmy Kistler spolu so všetkými jeho súčasťami ako aj zdrojovými súbormi.

2. Globálne ciele pre zimný semester

Cieľom zimného semestra je testovanie digitálneho signálu odosielaného z BeagleBonu Black na zariadenie COMONEO od spoločnosti Kistler. Cez COMONEO sa vytvorí test, ktorý odosiela konfiguráciu signálov na BeagleBone Black. Na základe konfigurácii BeagleBone Black vygeneruje signály. Tento test taktiež nastaví COMONEO tak, aby očakával konfigurované signály na vstupe a v prípade ak na vstupe sú očakávané signály, test sa považuje za úspešný.

3. Celkový pohľad na systém



Obrázok 1: Architektúra systému

Architektúra systému pozostáva z trocha dôležitých častí:

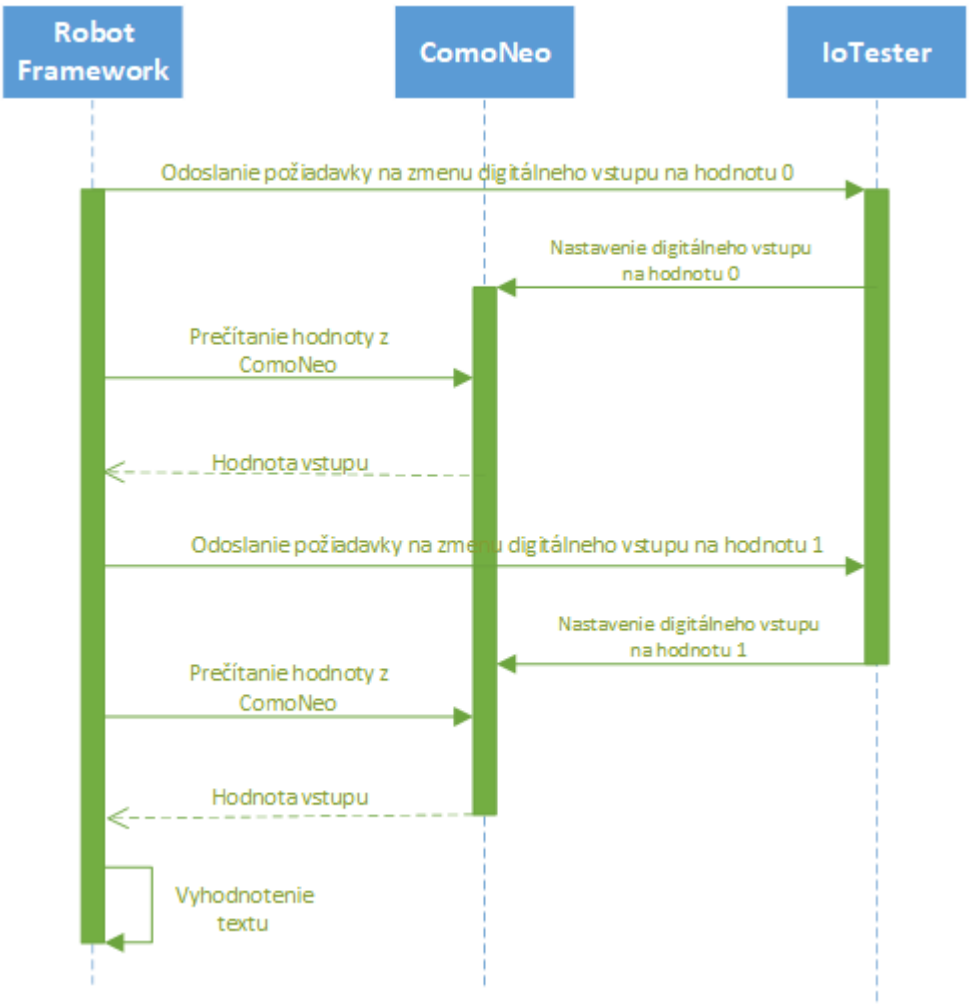
1. COMONEO
2. Server (Robot Framework)
3. IoTester (BBB)

COMONEO je zariadenie od spoločnosti Kistler, ktoré umožňuje viacero funkcionalít. Z pohľadu nášho systému, toto zariadenie očakáva digitálne alebo analógové signáli na svojom vstupe od zariadenia IoTester (BBB - Beaglebone Black).

Grafické rozhranie na COMONEO zobrazuje merané vstupné dáta, ako čo sú analógové a digitálne signáli. Toto grafické rozhranie je možné ovládať automatický za pomoci Robot Frameworku.

Na základe testov zadefinovaných v Robot Frameworku sa nastavuje grafické rozhranie, z ktorého sa vyčítajú, aké vstupné dáta má COMONEO. Zároveň sa odosielajú požadované signály na IoTester, ktoré má vygenerovať. V prípade ak sa vygeneroval požadovaný signál z IoTestera a bol aj zobrazený v grafickom rozhraní na COMONEO, tak sa považuje test za úspešný, inak sa považuje za neúspešný.

Na IoTester procesorovom čipe ARM je operačný systém Linux, kde je spustení Web Server, ktorý získava konfigurácie sígnálov na vygenerovanie z Robot Frameworku. Tieto konfigurácie sa prieposielajú na program, ktorý je spustení na mikrokontroléry RTU (“Real Time Unit”) alebo známi aj pod názvom PRU (“Programmable Real time Unit”). Tento mikrokontrolér vygeneruje požadované signály v reálnom čase na I/O pinoch Beaglebone Black zariadenia. Vzľadom na hardvérové obmedzenia PRU, všetky dáta je nutné predpripraviť za pomoci procesorového čipu ARM. Komunikácia medzi ARM a PRU je dôležitá, aby sa oboznámilo PRU že dáta sú pripravené a môže vygenerovať požadované signály.



Obrázok 2: Sekvenčný diagram testovania digitálneho vstupu

3.1. Zoznam priložených e-dokumentov

Na priloženom elektronickom médiu sa nachádyajú všetky zdrojové súbory pre implementované funkcionality. Nachádzajú sa tu aj všetkz dokumentácie vytvorené počas zimného semestra ako napríklad metodiky, inžinierske dielo alebo dokumentácia riadenia projektu.

Obsah elektronického média:

- Docs – obsahuje všetky dokumenty
- RobotFramework – súbory testovacieho frameworku
- RTU – súbory jednotky reálneho času

4. Moduly systému

4.1. Analýza

Pri riešení projektu bolo potrebné naštudovať si viaceré technológie s ktorými sa stretneme počas návrhu a implementácie zadania. Táto kapitola je venovaná práve týmto technológiám. Vysvetľuje, ktoré technológie sme použili, aké predpoklady museli byť splnené, aby sme s týmito technológiami mohli pracovať a taktiež vysvetľuje ako samotné technológie fungujú a načo sa používajú. V nasledujúcich kapitolách sú podrobne analyzované webové servery, vývojová doska BeagleBone Black, Real Time Unit ako aj samotný prototyp zariadenia, ktoré nám bolo poskytnuté.

4.1.1. Analýza dosky

Ako vstup projektu bola nášmu tímu poskytnutá vývojová doska, pomocou ktorej je možné testovanie zariadenia ComoNeo. Jednou z hlavných úloh nášho tímu je návrh nového kompaknejšieho dizajnu tejto dosky, kedže doska, je momentálne iba prototyp. Prvým krokom pri návrhu novej dosky však bola analýza pôvodnej dosky a to konkrétne z dôvodu analýzi jednotlivých komponentov ich zapojenia a možnosti redukovania niektorých vybraných komponentov. Hlavným cieľom bolo rozloženie evaluačnej dosky prevodníkov digitálnych signálov na analógové.

Prvým krokom pri analýze dosky bolo preloženie a prečítanie si bakalárskej práce, ktorej výsledkom bola práve táto doska analyzovaná doska. Pri analýze dosky sme sa zamerali hlavne na zistenie prepojenia vývojovej dosky Beaglebone Black s ostatnými komponentami dosky akými sú evaluačná doska prevodníka digitálnych na analógové signály ako aj na zistenie, ktoré porty na doske Beaglebone zabezpečujú komunikáciu s touto evaluačnou doskou ako aj digitálnymi konektormi.

4.1.1.1. Zapojenie dosky Beaglebone Black

Doska Beaglebone Black pozostáva z dvoch hlavných sád portov s názvami P9 a P8. Napájanie dosky zabezpečujú v našom návrhu porty 5 a 6 s názvami 5V RAW na sade portov P9, do ktorých je privedené napätie 5V+, ktoré je vstavaným regulátorom automaticky

prevedené na pracovné napätie dosky 3V. Porty 1, 2, 43, ,44, 45, 46 taktiež na sade P9 a 1, 2 na sade P8 zabezpečujú naopak uzemnenie dosky a sú napojené na zem.

Sada portov P9 v našom návrhu zabezpečuje pomocou portov 24, 26, 28, 31 , 30 komunikáciu s evaluačnou doskou prevodníka digitálnych na analógové signály(DAC8734EVM) a to konkrétne pomocou SPI zbernice SPI0. Konkrétne zapojenie portov je zobrazené v **tabuľke číslo 1**. Pomocou týchto evaluačných dosiek, z ktorých každá obsahuje 4 analógové výstupy sú ovládané konektory X24.

Tabuľka číslo 1.

Beaglebone Black	**DAC8734EVM**	**Názov signálu**
GPIO0_12 (24)	7	RST
GPIO0_13 (26)	6	LDAC
GPIO0_17 (28)	2	CS
GPIO0_16 (30)	4	SDI
GPIO0_14 (31)	3	SCLK

Sada portov P8 v našom návrhu zabezpečuje naopak komunikáciu s digitálnymi konektormi. Keďže pracovné napätie dosky Beaglebone Black je 3V a zariadenia ComoNeo je 24V je potrebné zapojiť medzi tieto dva komponenty prevodníky napätia, ktorými sú v našom prípade komponenty IC102 a IC103. Zapojenie týchto komponentov je zobrazené v **tabuľke číslo 2**.

Tabuľka číslo 2.

Beaglebone Black	IC102	IC103
GPIO1_0 (25)	18	
GPIO1_1 (24)	17	
GPIO1_2 (5)	16	
GPIO1_3 (6)	15	
GPIO1_4 (23)	14	
GPIO1_5 (22)	13	
GPIO1_6 (3)	12	
GPIO1_7 (4)	11	
GPIO1_14 (37)		11
GPIO2_15 (38)		12
GPIO2_16 (36)		13
GPIO2_17 (34)		14

Porty zapojené do prevodníka IC102 obsluhujú konektory X14, X11 a porty zapojené do prevodníka IC103 zase konektory X12, X15.

4.1.1.2. Zapojenie evaluačnej dosky DAC8734EVM

Druhou a obšírnejšou časťou analýzy bola analýza samotnej evaluačnej dosky DAC8734EVM. Keďže výstupom projektu má byť taktiež upravená doska hlavným cieľom je odstrániť z návrhu evaluačné dosky a nahradiť ich iba potrebnými komponentami.

Hlavným komponentom dosky je prevodník DAC8734E. Pri analýze tejto dosky sme zistili nasledovné zapojenie portov (**tabuľka číslo 3**).

Tabuľka číslo 3.

DAC Port	**Názov portu**	**Potrebné zapojenie**
1,36,37,25,24,19,12,42	NC	NIE
2	CS	ÁNO
3	SCLK	ÁNO
4	SDI	ÁNO
5	SDO	NIE
6	LDAC	ÁNO
7	RST	ÁNO
8	GPIO-0	NIE
9	GPIO-1	NIE
10,48	UNI/Bip A/B	NIE

11,27	DGND/AGND	ÁNO
31,32	REF A, REF B	ÁNO
13	IOVDD	NIE
26,35	AVDD	ÁNO
28,33	AVSS	ÁNO
14	DVDD	ÁNO
29,32	REFGND-A/B	ÁNO
15,23,46,36	Vout-0/1/2/3	ÁNO
18,20,43,41	SGND-0/1/2/3	ÁNO
17,16,21,22,44,45,40,39	RFB	NIE

Na evaluačnej doske sa nachádza niekoľko „jumprov“ a prepínačov, ktorými je túto dosku možné nastaviť. Pri analýze sme pre každý komponent zisťovali aký má účel a na akú hodnotu je nastavený. Podrobné informácie o prepínačoch sú dostupné v oficiálnom datasheete dosky. Podrobné zapojenie a analýza DAC dosky je priložená na elektronickom médiu.

4.1.2. Analýza webového servera

Cieľom bolo vybratie webového servera, ktorý by umožňoval komunikáciu medzi ARM a RTU a tiež ARM a Robot Framework-om.

Lighttpd

Výhody:

- Extrémne rýchly pre statický obsah web. serveru
- Schopný zvládnuť tisíce požiadaviek za sekundu
- Minimálna záťaž pamäte/CPU pri behu programu
- Neblokuje I/O operácie lebo beží ako single proces
- Pridávanie funkcionalít cez moduly

Nevýhody:

- Problémy so stabilitou
- Nekompatibilný s niektorými Apache modulmi
- Slabá podpora
- PHP
- Nemá zabudovanú podporu pre WSGI

Nginx

Výhody:

- Dokumentácia a podpora na vysokej úrovni
- Minimálna záťaž pamäte/CPU pri behu programu
- Schopný zvládnuť milióny požiadaviek za sekundu
- Pridávanie funkcionalít cez moduly
- Neblokuje I/O operácie lebo beží ako single proces

Nevýhody:

- Nevhodný pre malé projekty a scenáre s malým počtom požiadaviek
- Oproti Apache menej dostupných modulov pre rozšírenie funkcionalít

Flask

Výhody:

- Dokumentácia a podpora na vysokej úrovni
- Vhodný pre malé projekty a začiatočníkov
- Minimalistický Python framework
- Jednoduchá konfigurácia
- Flexibilný
- Veľa dostupných knižníc
- Nezávisí od ORM, preto je ľahká integrácia s databázami

Nevýhody:

- Ťažšie async. programovanie
- Limitovanie v niektorých funkciách
- Väčšie projekty si vyžadujú dôkladné preštudovanie frameworku

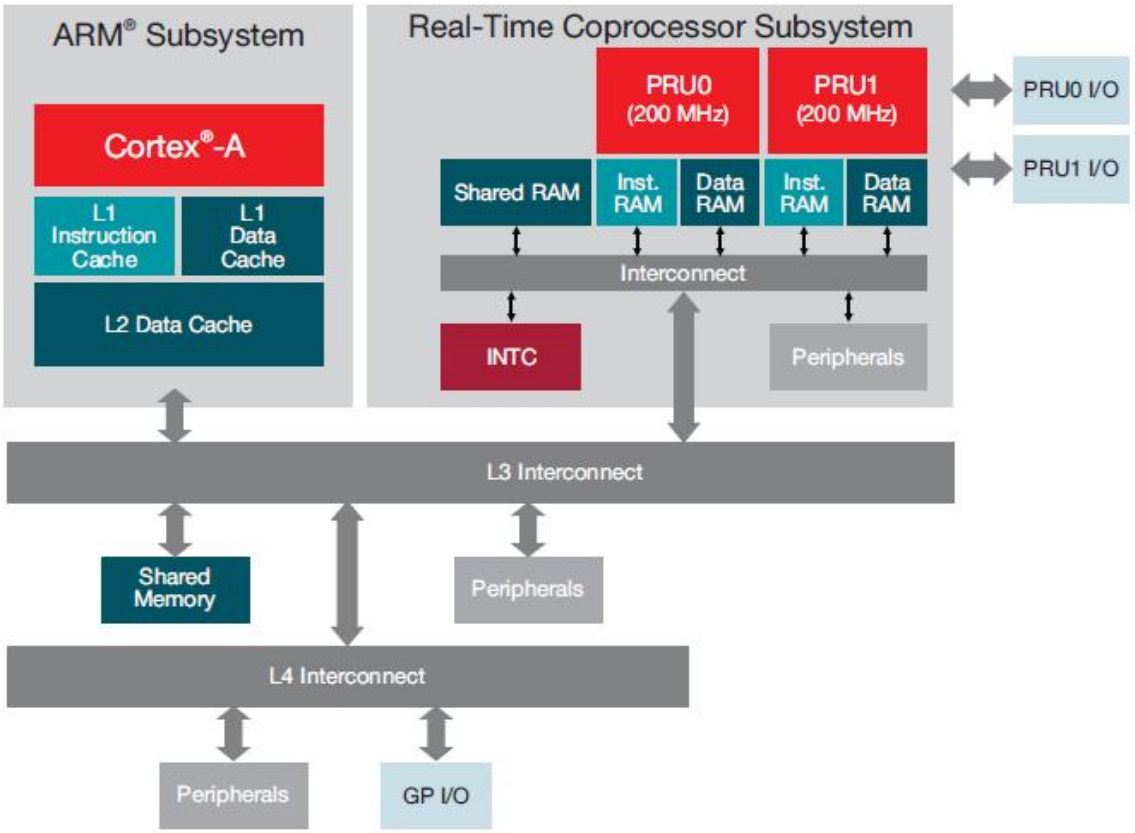
Vybrali sme si web server Flask najmä kvôli flexibilite a vhodnosti pre malé projekty. Taktiež pri vyberaní zavážila aj skutočnosť, že product owner už na začiatku prvého stretnutia nám odporučil Flask.

4.1.3. Analýza BeagleBone Black

BeagleBone Black je lacný počítač s veľkosťou kreditnej karty, ktorý má dva vstavané mikrokontroléry nazývané PRU. PRU poskytuje schopnosť spracovania v reálnom čase, ktoré chýbajú v systéme Linux.

BeagleBone používa Sitara AM3358, je to procesorový čip ARM bežiaci na frekvencii 1 GHz. Na vykonávanie operácií v reálnom čase, procesor ARM BeagleBone nebude fungovať

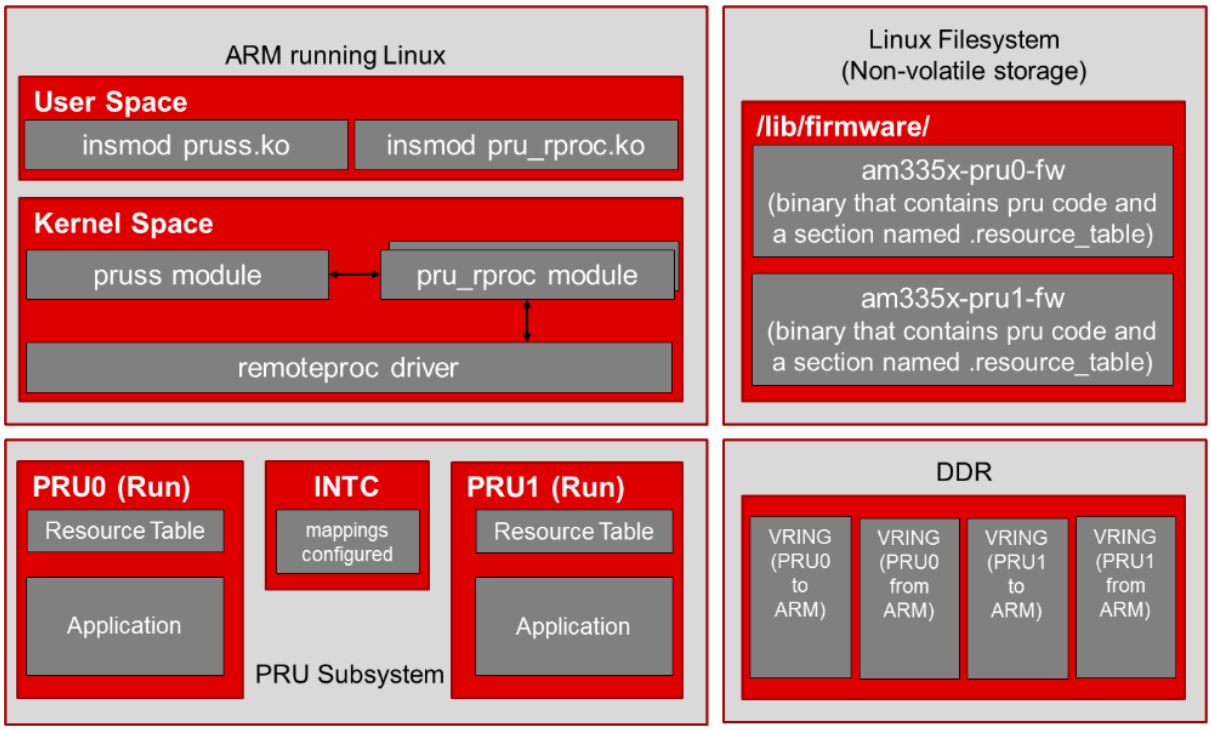
správne, pretože Linux nie je operačný systém v reálnom čase. Čip Sitara však obsahuje dva 32-bitové mikrokontroléry PRU (programmable real time unit). Použitím PRU je možné dosiahnuť rýchle, deterministické riadenie I / O pinov a zariadení v reálnom čase.



Obrázok 3: Architektúra ARM/PRU

Na používanie PRU je potrebné nainštalovať špeciálny linux. Tento linux musí byť schopný poskytnúť nasledovné služby:

1. Vložiť firmvér do PRU jadra
2. Riadiť vykonávanie programu na PRU (štart, stop, atď.)
3. Správu prostriedkov (pamäť, mapovanie prerušení atď.)
4. Umožniť odosielanie/prijímanie správ



Obrázok 4: Časti ARM/PRU

Na obrázku vyššie sú znázornené štyri bloky:

1. ARM na ktorom beží Linux
2. Linux súborový systém
3. PRU podsystém
4. DDR pamäť

Všetky tieto služby sú poskytované prostredníctvom pru_rproc a rpmsg_pru ovládačov.

V jadre sa nachádza Remoteproc ovládač. Remoteproc je framework, ktorý umožňuje ARM procesoru načítanie firmvéru do jadier PRU, spúšťanie jadier PRU, zastavenie jadier PRU a konfigurovanie prostriedkov (resources), ktoré môžu PRU počas behu potrebovať.

Sysfs rozhranie sa nachádza v používateľskom priestore, pomocou neho vieme spustiť alebo zastaviť PRU jadrá a načítať firmvér.

Binárne firmvér súbory sa nachádzajú v /linux/filesystem/ adresáry.

Postup načítavania firmvéru a spustenia programu:

- Pru_rproc modul musí predtým, ako čo načíta firmvér do PRU zistiť, či sa firmvérové binárne súbory nachádzajú v /lib/firmware/ .Modul pru_rproc tiež analyzuje binárne súbory firmvéru a hľadá sekciu s názvom .resource_table. Sekcia .resource_table firmvéru špecifikuje systémové prostriedky, ktoré PRU budú potrebovať počas vykonávania programu.
- Modul pru_rproc konfiguruje všetky zdroje, ktoré firmvér potrebuje.V tomto prípade to zahŕňa vytvorenie vrstiev v pamäti DDR na komunikáciu, ako aj nastavenie mapovania prerušenia v module INTC PRU subsystému.
- Modul pru_rproc potom načíta binárne súbory do inštrukčnej pamäti PRU a taktiež skopíruje resource table do dátovej pamäti PRU.
- Keď je všetko nakonfigurované a program sa nachádza v pamäti, modul pru_rproc spustí vykonanie programu na PRU.

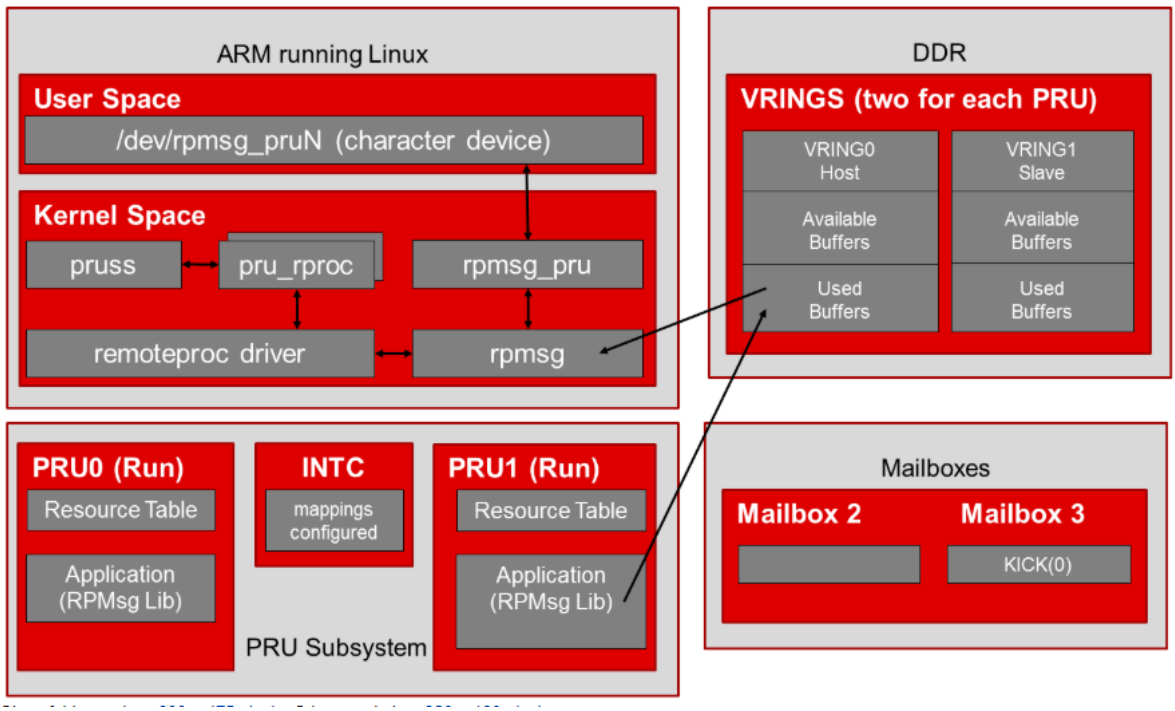
Príklad načítania firmvéru do PRU a spustenia programu:

- echo 'am335x-pru0-fw' > /sys/class/remoteproc/remoteproc1/firmware
- echo 'start' > /sys/class/remoteproc/remoteproc1/state

RPMsg je mechanizmus posielania správ, ktorý požaduje prostriedky prostredníctvom remoteproc a beží nad virtio frameworkom. Zdieľané vyrovnávacie pamäte (buffer) sú požadované prostredníctvom resource_table a poskytované remoteproc modulom počas načítania firmvéru do PRU. Zdieľané vyrovnávacie pamäte sa nachádzajú vnútri vring dátovej štruktúry v pamäti DDR. Každé PRU jadro má k dispozícií dve vring, jedna sa používa pre správy prenesené na ARM a druhá sa používa pre správy prijaté z ARM. Systémové mailboxy sa používajú na oznamovanie jadrom (ARM alebo PRU), keď nové správy čakajú v zdieľaných vyrovnávacích pamätiach.

K dispozícii sú dve softvérové implementácie RPMsg. Na strane ARM Linuxu je komunikácia RPMsg prijatá v priestore jadra. Je poskytnutý modul rozhrania (rpmsg_pru), v používateľskom priestore, takže používatelia môžu zapisovať / čítať do / zo znakového zariadenia na odosielanie / prijímanie správ do / z PRU. Na strane PRU je k dispozícii knižnica RPMsg v PRU softvérovom balíku podpory (Software support package), ktorej cieľom je

umožniť prepojenie, kde používateľský kód môže jednoducho volať funkcie pru_rpmsg_receive a pru_rpmsg_send, aby komunikoval s jadrom ARM.



Obrázok 4: Časti ARM/PRU správy

ARM - PRU správy

Na obrázku nižšie je znázornený proces posielania správ z ARM na PRU.

ARM:

1a. Alokuj vyrovnávaciu pamäť

alebo

1b. Získaj použitú vyrovnávaciu pamäť zo slave Vring

2. Skopíruj dáta do vyrovnávacej pamäte

3. Pridaj naplnenú vyrovnávaciu pamäť do zoznamu dostupných v slave Vring

4. Naštartuj slave Vring zapísaním jeho indexu (1) a odoslaním správy do Mailbox 2

PRU:

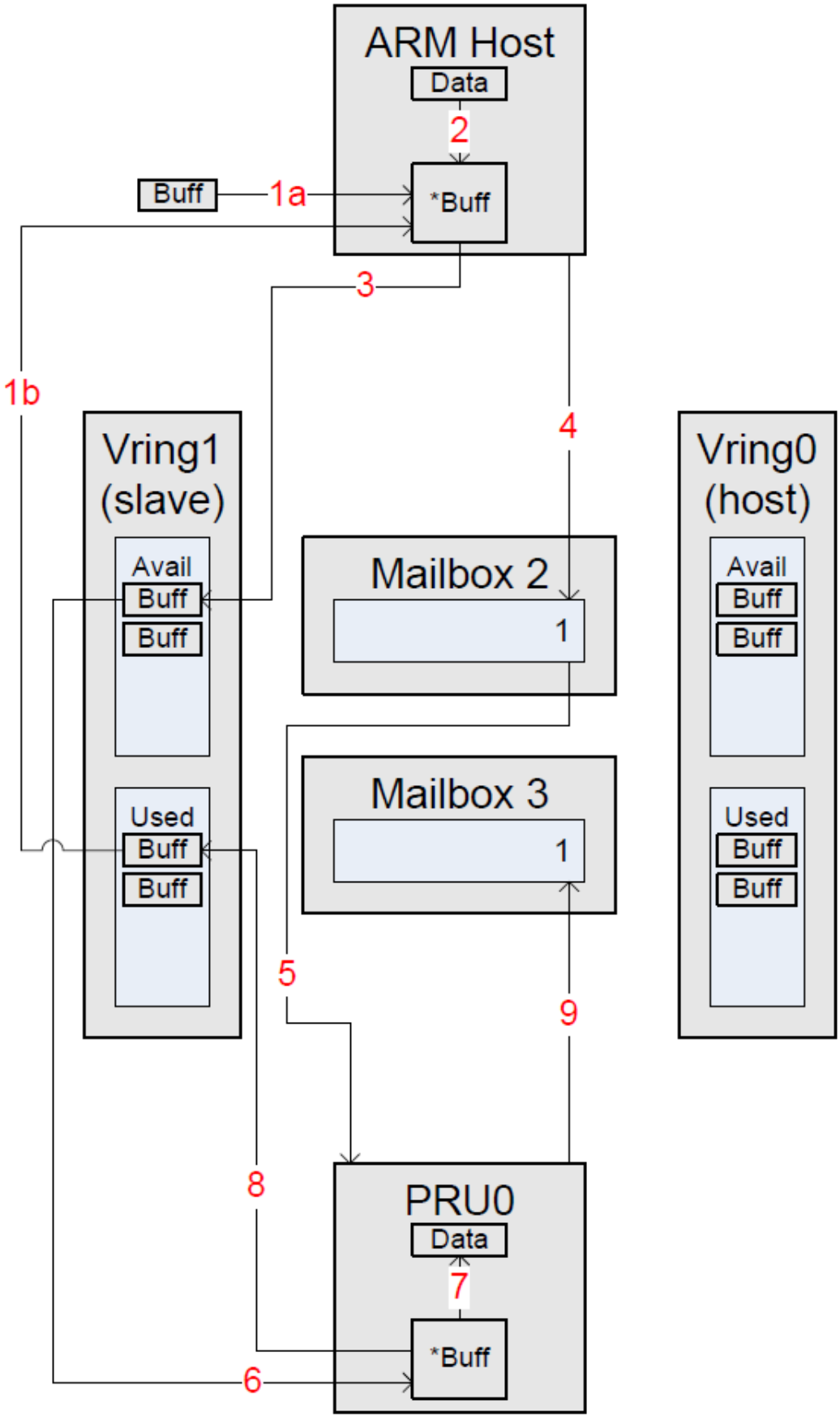
5. V Mailbox 2 sa nájde správa s indexom Vring-u (1), čo znamená že dáta sú pripravené na príjem.

6. Získaj vyrovnávaciu pamäť z slave Vring

7. Skopiruj dáta z vyrovnávacej pamäte z kroku 2.

8. Pridaj vyrovnávaciu pamäť do zoznamu použitých v slave Vring.

9. Naštartuj slave Vring zapísaním jeho indexu (1) do správy v Mailbox 3.



Obrázok 4: ARM -> PRU komunikácia

PRU - ARM správy

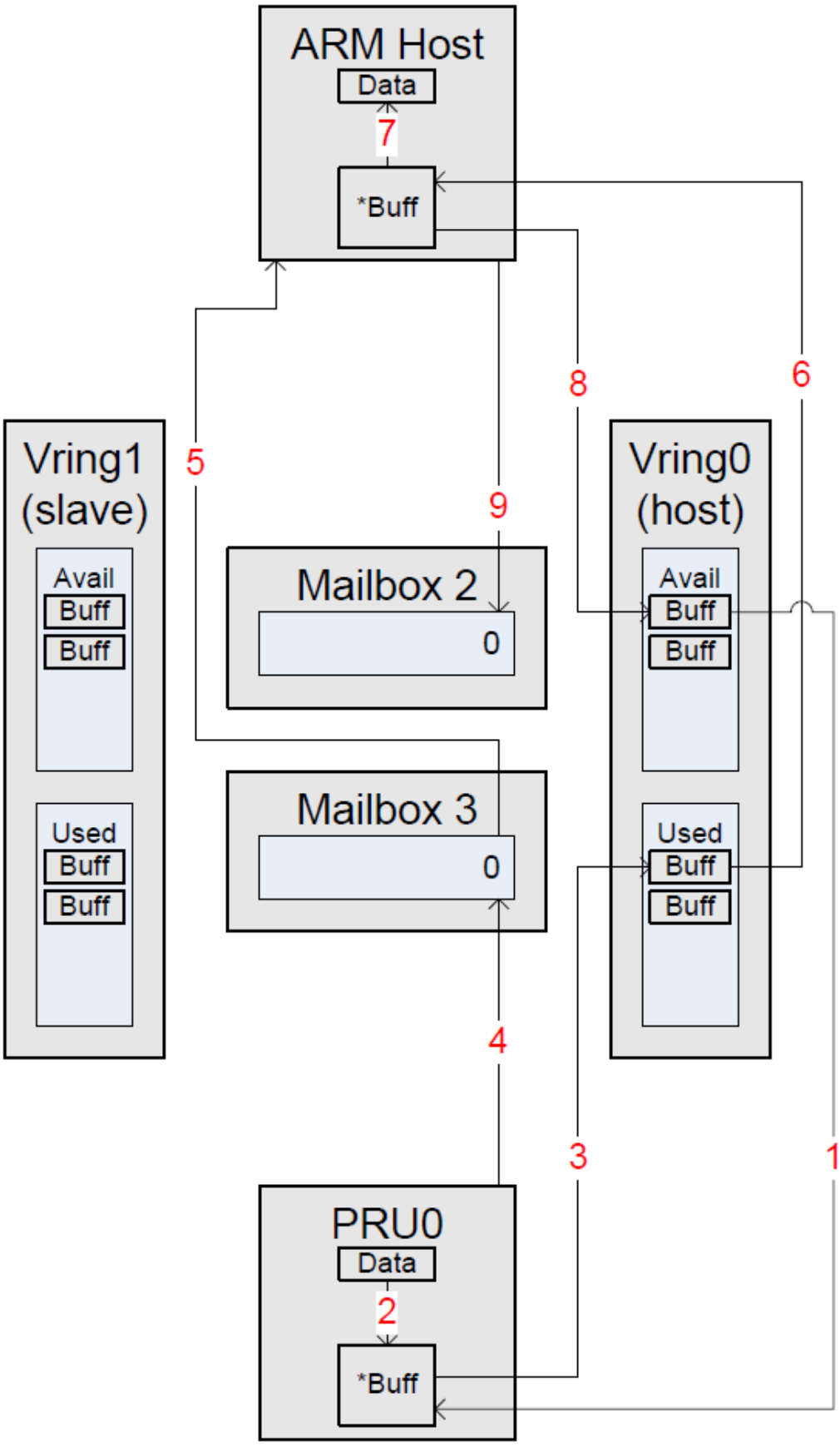
Na obrázku nižšie je znázornený proces posielania správ z PRU do ARM.

PRU:

1. Získaj voľnú vyrovnávaciu pamäť z host Vring
2. Skopiruj dáta na prenos do vyrovnávacej pamäti
3. Pridaj naplnenú vyrovnávaciu pamäť do zoznamu použitých v host Vring
4. Naštartuj host Vring zapísaním jeho indexu (0) do správy v Mailbox 3

ARM:

1. Prerušenie indikuje, že Mailbox 3 má správu od Vring (0). To oznamuje ARM procesoru že má dostupné dáta na príjem
2. Získaj použitú vyrovnávaciu pamäť z host Vring
3. Skopiruj dáta na príjem z vyrovnávacej pamäti z kroku 2.
4. Pridaj prázdnu vyrovnávaciu pamäť do zoznamu dostupných v host Vring
5. Naštartuj host Vring zapísaním jeho indexu (0) do správy v Mailbox 2.



Obrázok 4: PRU -> ARM komunikácia

4.1.4. Analýza Robot Framework

V rámci testovania Robot Framework, bola spočiatku nevyhnutná analýza viacerých už existujúcich testov spoločnosti Kistler, pričom bola taktiež nutná analýza práce so samotnou technológiou Robot Framework a taktiež externou knižnicou Selenium, k čomu bola využívaná prevažne oficiálna dokumentácia k produktu Robot Framework (http://robotframework.org/robotframework/latest/RobotFrameworkUserGuide.html) spolu s rôznymi video návodmi, ktoré slúžili primárne na zozname sa s technológiu a jej osvojenie.

4.2. Návrh

Pred samotnou implementáciou bolo potrebné navrhnúť jednotlivé časti systému. Táto kapitola pozostáva z viacerých častí a popisuje návrh jednotlivých častí.

4.2.1. Návrh novej dosky

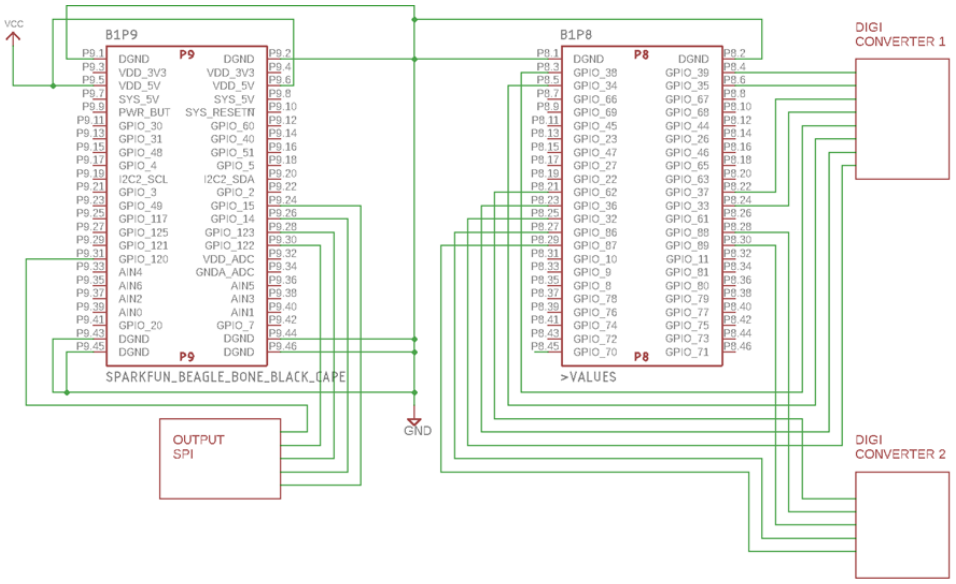
Pri návrhu novej dosky sme sa rozhodli zachovať zapojenie napájania z pôvodného návrhu dosky. Hlavným cieľom bolo rozdelenie evaluačnej dosky DAC na jednotlivé komponenty ako aj vyriešenie chýb, ktoré sa nachádzali v pôvodnom návrhu.

Prvou chybou, ktorú sme vyriešili bolo obsadenie bootovacích pinov v pôvodnom návrhu dosky. Konkrétne sa jedná o piny zodpovedné za zápis digitálnych hodnôt pre digitálne konektory. V tabuľke číslo 4 môžeme vidieť pôvodné rozloženie pinov spolu s novým návrhom rozdelenia týchto pinov.

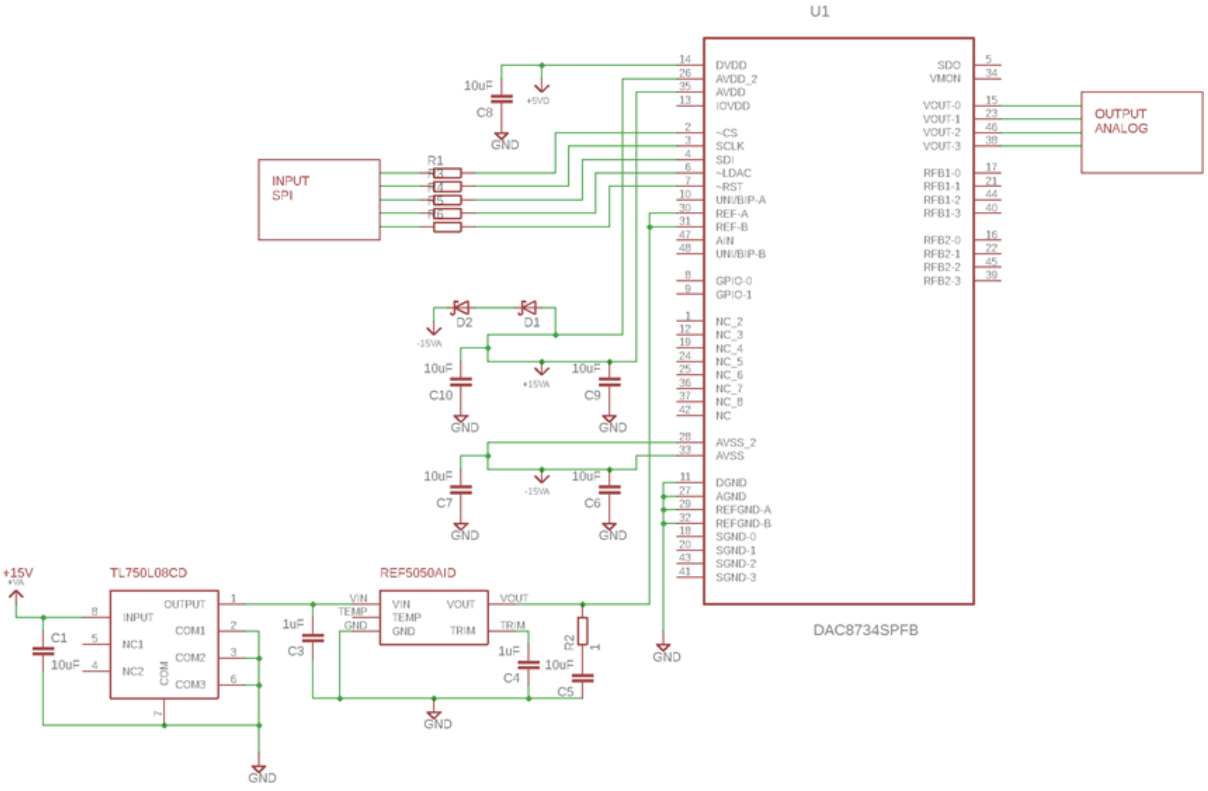
Tabuľka číslo 4.

Starý pin	Nový pin
GPI01_14 (37)	GPI02_22 (27)
GPI02_15 (38)	GPI02_23 (29)
GPI02_16 (36)	GPI02_24 (28)
GPI02_17 (34)	GPI02_25 (30)

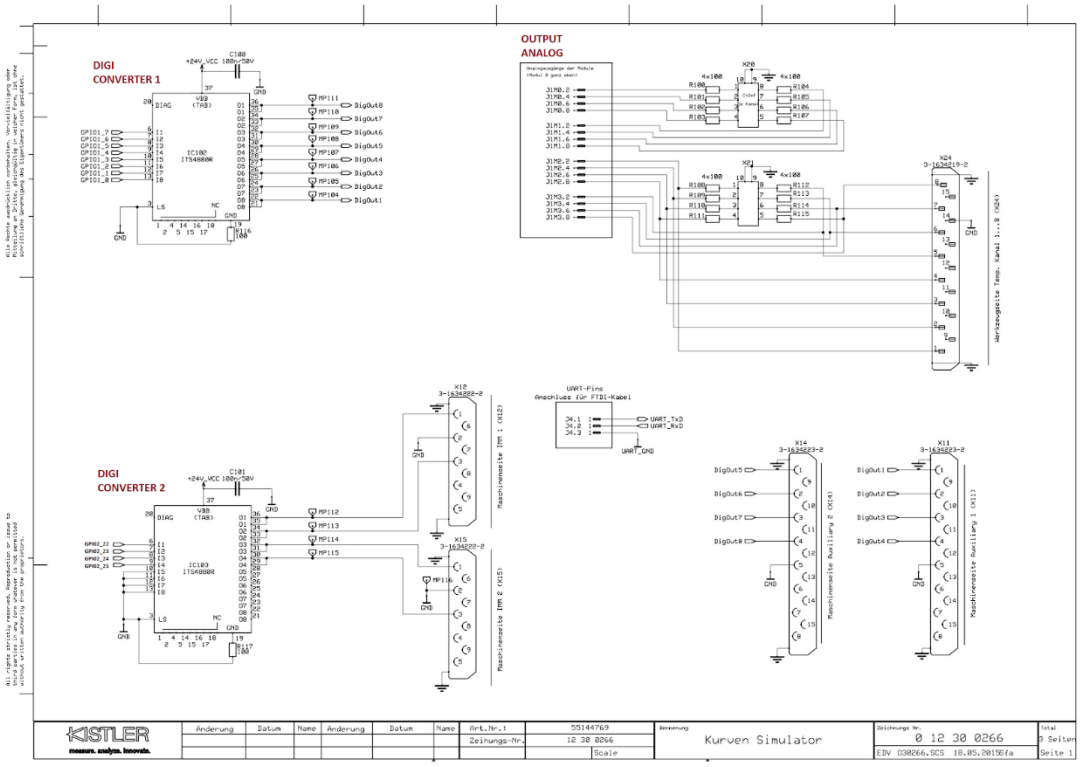
Návrh novej dosky sa následne vykonával pomocou kreslenia zapojení jednotlivých komponentov. Tieto zapojenia sú zobrazené na nasledujúcich obrázkoch.



Obrázok 5: Zapojenie pinov P9 a P8 dosky Beaglebone Black



Obrázok 6: Refractoring DAC dosky



Zapojenie konektorov ku doske Beaglebone Black

4.2.2. Návrh webového servera

Z pohľadu výsledného produktu ide o programové rozhranie, ktoré zabezpečuje komunikáciu centrálnej testovacej jednotky Robot framework so vzdialeným zariadením BeagleBone, ktoré pomocou príslušného modulu spoločnosti Kistler, komunikuje s monitorovacím zariadením Como Neo, taktiež od spoločnosti Kistler.

Na základe aktuálneho priebehu je žiaduce, aby REST API umožňovalo za pomoci POST REQUESTOV odosielanie jednoduchého digitálneho signálu(0/1). Preto môžeme hovoriť o prototype. V budúcnosti bude potreba toto rozhranie rozšíriť aj o zasielanie zložitejších signálov, čo sa podarilo načrtnúť už v doterajšom priebehu. Aktuálne REST API umožňuje zasielanie aj zložitejších signálov a to za pomoci dát zasielaných vo formáte JSON, čo môžeme považovať za výhodu a do budúcna.

4.2.3. Návrh programu pre komunikáciu PRU a CPU

Pre overenie analýzy a otestovanie funkčnosti PRU jednotky bolo potrebné navrhnúť jednoduchý program, vďaka ktorej vie systém pracovať v reálnom čase.

Požiadavkou tejto úlohy bolo vytvoriť program, ktorý bude čítať neustále zadávané premenné od používateľa(posielané z CPU na PRU) a umožní používateľovi zobraziť zadané premenné (preposlané späť z PRU na CPU).

Aby bolo možné zabezpečiť takúto funkcionalitu je potrebné vytvoriť komunikačný kanál RPMsg, v ktorom bude prebiehať komunikácia od používateľa k PRU obojstranne a dve metódy na zachytávanie a výpis správ.

4.2.4. Návrh programu pre spínanie digitálnych pinov z PRU

Pre samotné ovládanie digitálnych pinov pomocou PRU bolo potrebné navrhnúť program, ktorý reaguje na prichádzajúce správy z CPU. Správy sú v tvare "1" alebo "0". Správy iných formátov sú programom ignorované. Program funguje na PRU v nekonečnom cykle, v ktorom počúva na prichádzajúce správy od CPU. Po prijatí správy "1" program nastaví hodnoty požadovaných digitálnych výstupov na logickú jednotku. Po prijatí správy "0" program nastaví hodnoty požadovaných digitálnych výstupov na logickú nulu.

Tento program je založený na jednoduchom programe ktorý je navrhnutý vyššie.

4.2.5. Návrh prvého prototypu pre REST API na BBB

Návrh prvého protypu REST API mal za úlohu vytvoriť aplikačné rozhranie medzi testovacím zariadením Robot Framework, ktorý predstavuje zároveň aj technológiu iniciujú jednotlivé testy so vzdialeným zariadením Beagle Bone Black, ktoré je priamo pripojené pomocou navrhnutej dosty priamo na testovacie zariadenie ComoNeo.

Požiadavkou na toto rozhranie bolo vytvoriť digitálne spojenie, ktoré bude umožňovať odosielanie jednoduchých digitálnych vstupov (0/1), k čomu sa využila predošlá analýza poskytovaných aplikačných rozhraní uvedená vyššie.

Aplikačné rozhranie je navrhnuté na platforme Flask (Python), ktorá umožňuje jednoduché zasielanie POST-ov na vzdialené zariadenie v tvare

(*http://IP_adreda_BBB:5000/digital_input?digIn=**1***), pričom číslo **1** uvedené na konci POST-u predstavuje zasielaný digitálny vstup.

4.2.6. Návrh JSON pre odosielanie analógového aj digitálneho signálov

Ďalej bolo nevyhnutné rozšírenie vyššie uvedeného prototypu aplikačného rozhrania o možnosť zasielania štruktúrovaných dát, ktoré predstavujú nevyhnutnú podmienku pre zasielanie digitálnych aj analógových signálov.

Štruktúra pre dáta, ktoré je potrebné zasielať na vzdialené zariadenie, pomocou JSON súborov:

```
struct Sample
{
   std::uint32_t sampleIndex; ///< Index of sample in the cycle.
   std::uint32_t digitalIn; ///< Status of digital inputs.
   std::int32_t channel[cChannelsInSample];
}
```

Pričom dáta budú zasielané, ako pole vo formáte JSON vyššie uvedených štruktúr:

```
{
        "sampleIndex": "0",
        "digitalIn": "256",
        "channel": ["0", "0", "0", "0", "0", "0", "0", "0", "0", "0", "0", "0", "0", "0", "0", "0", "0", "0", "0", "0", "-2751", "-1566", "-1190", "-2775", "-24", "-88", "-588", "477", "0", "0", "0", "0", "0", "0", "0", "0", "0", "0", "0", "0", "0", "0", "0", "0", "0", "0", "0", "0", "0", "0", "0", "0"]
}
```

Príklad jedného prvku poľa JSON štruktúry.

Jednou zo základných podmienkou bolo taktiež prispôsobenie tohoto rozhrania tak, aby zasielané dáta boli parsované už na vyššej vrstve rozhrania a to teda na Rest API Beagle Bone Black, keďže parsovanie týchto dát na PRU, by bolo časovo a aj implementačne náročnejšie.

4.2.7. Návrh Robot Framework

Pri návrhu testov pre Robot Framework sme sa snažili, aby testy boli ľahko modifikovateľné (nie napevno naprogramované), a aby vykonanie zmeny vyžadovalo čo najmenší zásah v kóde. Napríklad, aby sme vedeli odoslať digitálne hodnoty 0 aj 1 pomocou jedného testu, pričom v kóde sa bude meniť len posledné číslo.

Ako ďalšie sme navrhli, že testy sa budú skladať z troch častí:

- Tests - Obsahuje jednotlivé testy ktoré sa budú vykonávať. Tieto testy sú písané pomocou Keywords, ktoré sú uložené v ďalších dvoch častiach. Testy sú písané v jazyku Robot Framework.
- Resources - Obsahuje podrobnejšie kroky samotných testov. Testy sú písané v jazyku Robot Framework.
- ExternalKeywords - Obsahuje kroky testov, ktoré nie je možné vykonať pomocou knižnice SeleniumLibrary. Tieto kroky testov sú písané v jazyku python.

4.2.8. Návrh siete

Ako akceptačné kritérium úspešnej implementácie nášho návrhu bolo potrebné na zariadení ComoNeo zasvietit a zhasnúť požadované LED diódy predstavujúce digitalne konektory.

Zariadenie ComoNeo má pridelenú statickú IP adresu 192.198.197.151. Pre overenie správneho fungovania nášho prototypu bolo potrebné okrem zariadenia ComoNeo zapojiť do siete taktiež samotnú vývojovú dosku a jeden počítač, na ktorom bude bežať automatizovaný test, ktorý sa postará o zasvietenie a vypnutie LED diódy ako aj o overenie, či sa naozaj tak stalo. Pre prepojenie jednotlivých komponentov sme sa rozhodli vytvoriť si vlastnú sieť s maskou /24 a adresou siete 192.168.197.0. Zariadeniu ComoNeo prislúchala v našej sieti IP adresa 192.168.197.151, vývojovej doske IP adresa 192.168.197.154 a adresa počítača bola nastavená na 192.168.197.155. Na prepojenie jednotlivých komponentov sme použili sieťový prepínač

4.3. Implementácia

4.3.1. Implementácia programu pre komunikáciu PRU a CPU

Pre správne pochopenie fungovania PRU a najmä komunikácie PRU a CPU bol použitý jednoduchý program. Program je voľne dostupný pre úpravu a použitie vo forme zdrojového kúdu ako aj v binárnej forme pod podmienkou dodržania distribučných pravidiel. Program beží na PRU. Tento program počúva v nekonečnej slučke na prichádzajúce správy od CPU. Po prijatí správy program odpovedá na prijatú správu preposlaním tejto správy späť. Komunikácia

prebieha vo forme súboru do ktorého dokáže CPU zapísať správu a následne si z rovnakého súboru dokáže vyčítať odpoveď od PRU. Nižšie je zobrazená ukážka zo zdrojového kódu programu. Ukážka zobrazuje proces komunikácie v cykle po incializovaní všetkých potrebných premenných. Celý zdrojový kód je priložený na elektronickom médiu.

```
while (1) {
    /* Zistenie ci je spojenie s CPU aktivne */
    if (__R31 & HOST_INT) {
      /* Vycistenie statusu */
      CT_INTC.SICR_bit.STS_CLR_IDX = FROM_ARM_HOST;
      /*Prijatie vsetkych sprav od CPU */
      while (pru_rpmsg_receive(&transport, &src, &dst, payload, &len) ==
            PRU_RPMSG_SUCCESS) {
        /* Preposlanie spravy spat */
        pru_rpmsg_send(&transport, dst, src, payload, len);
      }
    }
}
```

4.3.2. Implementácia programu pre spínanie digitálnych pinov z PRU

Po otestovaní správneho fungovania PRU jednoduchým programom bol tento jednoduchý program rozšírený o funkcionalitu spínania digitálnych pinov dosky BeagleBone Black. Pre možnosť ovládania digitálnych pinov boli použité jednoduché správy. Obsah správ bol "1" alebo "0". Správa "1" spínala na digitálnych pinoch logickú jednotku, zatiaľ čo správa "0" spínala na digitálnych pinoch logickú nulu. Pred samotným počúvaním na správy bolo potrebné zavolať niekoľko inštrukcií. Inštrukcie boli zavolané pomocou inline assemblera. Tieto inštrukcie majú za úlohu aktiváciu OPC-master a tým uvoľnenie komunikácie s digitálnymi pinmi pre zapisovanie hodnôt.

```
__asm__ __volatile__
(
" LBCO &r0, C4, 4, 4 \n"
" CLR r0, r0, 4 \n"
" SBCO &r0, C4, 4, 4 \n"
);
```

Ďalej bolo potrebné zadefinovať požadovaným digitálnym pinom smer komunikácie a teda, že budú na tieto piny zapisované hodnoty a nebudú z nich hodnoty čítané.

```
GPIODirModeSet(SOC_GPIO_2_REGS, 14, GPIO_DIR_OUTPUT);
GPIODirModeSet(SOC_GPIO_2_REGS, 15, GPIO_DIR_OUTPUT);
GPIODirModeSet(SOC_GPIO_2_REGS, 16, GPIO_DIR_OUTPUT);
GPIODirModeSet(SOC_GPIO_2_REGS, 17, GPIO_DIR_OUTPUT);
```

Napokon bolo možné na tieto piny zapisovať požadované logické hodnoty. Tento zápis bol ovplyvňovaný prichádzajúcimi správami od CPU. Po zachytení správy obsahujúcej "1" boli všetky požadované digitálne piny nastavené na logickú hodnotu jedna. Po zachytení správy "0" boli všetky požadované piny nastavené na logickú hodnotu nula.

```
while (pru_rpmsg_receive(&transport, &src, &dst, payload, &len) ==
PRU_RPMSG_SUCCESS) {
    int i;
    for (i = 0; i < len; i++) {
        if (payload[i] == '1') {
            GPIOPinWrite(SOC_GPIO_2_REGS, 14, GPIO_PIN_HIGH);
            GPIOPinWrite(SOC_GPIO_2_REGS, 15, GPIO_PIN_HIGH);
            GPIOPinWrite(SOC_GPIO_2_REGS, 16, GPIO_PIN_HIGH);
            GPIOPinWrite(SOC_GPIO_2_REGS, 17, GPIO_PIN_HIGH);
        }
        else if (payload[i] == '0') {
            GPIOPinWrite(SOC_GPIO_2_REGS, 14, GPIO_PIN_LOW);
            GPIOPinWrite(SOC_GPIO_2_REGS, 15, GPIO_PIN_LOW);
            GPIOPinWrite(SOC_GPIO_2_REGS, 16, GPIO_PIN_LOW);
            GPIOPinWrite(SOC_GPIO_2_REGS, 17, GPIO_PIN_LOW);
        }
    }
}
```

Celý zdrojový kód tohto programu je dostupný na priloženom elektronickom médiu.

4.3.3. Implementácia prvého prototypu pre REST API na BBB

Vo všeobecnosti ide o program napísaný v jazyku Python, ktorý pomocou knižnice Flask a knižnice JSON, umožňuje prijímanie a zapisovanie dát. Pre funkčnosť tohto rozhrania boli následne vytvorené akceptačné testy využitím Robot frameworku, kde Robot odošle za pomoci rozhrania testovacie dáta, pričom z hľadiska testov je požiadavka aby rozhranie zaslané dáta v nezmenenom formáte vrátilo. Ak rozhranie tieto dáta vráti ako odpoveď, vieme že rozhranie je aktívne.

Nižšie je uvedené funkcia REST API (POST), ktorá je aktívna po spustení implementovaného aplikačného rozhrania, a zabezpečuje prijímanie dát, či už cez parameter alebo taktiež vo formáte JSON.

```
def digital_input():
    if request.method == 'POST':
        if not request.json:
            input =  request.args.get('digIn')
            print(input)
            return input
        print(request.json)
        json_array = json.loads(request.json)
        for item in json_array:
            print()
            print("sampleIndex: "+item['sampleIndex'])
            print("digitalIn: "+item['digitalIn'])
            arr = []
            arr = item['channel']
            res_arr = []
            for x in arr:
                res_arr.append(x)
            print("Channel: ")
            print(res_arr)

        return json.dumps(request.json)
```

4.3.4. Implementácia testu Robot Framework

Počas samotnej implementácie sme využívali knižnicu SeleniumLibrary. Taktiež sme implementovali vlastné funkcie pomocou jazyka python. Tieto funkcie slúžili hlavne na komunikáciu cez REST API. Najprv sme implementovali menšie časti ako napríklad: dostať sa na testovacie piny na web stránke, odoslanie hodnoty pomocou REST API.

Na konci implementácie po prvom semestri sme nakoniec naprogramovali samotný integračný test, ktorý obsahoval celkovú funkcionalitu. Samotný test sa skladal z troch častí, ktoré vznikli počas návrhu.

Prvá časť - integračný test, ktorý sa nachádza v zložke Tests/DigitalInput.robot

```
*** Settings ***
Library SeleniumLibrary
Resource ../Resources/Resources.robot
*** Test Cases ***
Integration test
    Send dig in 1
    Open testing page
    Go to connector //*[@id="main-content"]/div/div/ul/div[1]/spanxpath://*[@id="socketX12"]
    ${value} = Read connector //*[@id="main-content"]/div/div/div/div[1]/div/ng-include/div/div[2]/generic-table/div/div/table/tbody/tr[1]/td[3]/div
    Test connector ${value} led turned-on
    Sleep 5
    Send dig in 0
    ${value} = Read connector //*[@id="main-content"]/div/div/div/div[1]/div/ng-include/div/div[2]/generic-table/div/div/table/tbody/tr[1]/td[3]/div
    Test connector ${value} led turned-off
    Sleep 5
    Close testing page
```

Test najprv odošle digitálny vstup hodnoty 1 pomocou REST API na webový server. Následne otvorí testovaciu webovú aplikáciu a prejde na konektor, ktorý má byť testovaný. Prečíta jeho hodnotu a skontroluje, či sa rovná hodnote, ktorá bolo odoslaná. Toto isté sa následne opakuje, len odoslaná hodnota je 0 a na konci sa ešte zatvorí webový prehliadač. Druhá časť - podrobnejšie kroky integračného testu, ktoré sa nachádzajú v zložke Resources/Resources.robot

```
*** Settings ***
Library SeleniumLibrary
Library ../ExternalKeywords/ExternalKeywords.py
```

***** Variables *****

${Browser} chrome ${URL_COMO} http://192.168.197.151/app/home

${URL_REST} http://192.168.197.153/digital_input

***** Keywords *****

Open testing page

Open Browser ${URL_COMO} ${Browser}

Maximize Browser Window

Wait Until Page Contains Element //*[@id="main-view"]/nav/div[6]/a/div

Click Element //*[@id="main-view"]/nav/div[6]/a/div

Wait Until Page Contains Element //*[@id="main-view"]/nav/div[6]/div/a[2]/div

Click Element //*[@id="main-view"]/nav/div[6]/div/a[2]/div

Close testing page

Close Browser

Go to connector

[Arguments] ${menu} ${connector}

Wait Until Page Contains Element ${menu}

Click Element ${menu}

Wait Until Page Contains Element ${connector}

Click Element ${connector}

Read connector

[Arguments] ${connector}

${status} = Get Element Attribute ${connector} class

[return] ${status}

Test connector

[Arguments] ${status} ${value}

Should Be Equal As Strings ${value} ${status}

Send dig in

[Arguments] ${input}

send_digital_input ${URL_REST} ${input}

Táto zložka obsahuje Keywords, ktoré sú volané zo samotného testu. Obsahuje tri globálne premenné, ktoré sa volajú pri vykonávaní niektorých Keywords.

Tretia časť - funcie, ktoré boli implementované v jazyku python ExternalKeywords/ ExternalKeywords.py

```
import requests
import json
def send_digital_input(url, input):
    payload = {'digIn': input}
    requests.post(url, params=payload)
```

Tieto funkcie slúžia na komunikáciu s využitím REST API. Sú volané v samotnom teste.

4.4. Testovanie

4.4.1. Testovanie webového servera na BeagleBone Black

Implementované aplikačné rozhranie bolo spočiatku testované využitím nástroja *Postman,* pričom na zariadenie Beagle Bone Black, boli zaslané základné testovacie vstupy (0/1) pomocou parametrov alebo zasielaním jednoduchého JSON dokumentu :

{"digIn": '1', "digIn2": '10'})

pričom test bol úspešný, ak aplikačné rozhranie vypísalo zasielané hodnoty na obrazovku a taktiež odoslalo spätnú odpoveď (response) v presnom tvare požiadavky (request).

Neskôr boli pre túto úlohu vytvorené samostatné akceptačné testy v prostredí *Robot Framework*, ktorých funkcionalita bola totožná z vyššie uvedenou funkcionalitou testov pomocou nástroja *Postman* ale s tým rozdielom, že tieto testy vykonávali toto testovanie automatizovanie a taktiež ho aj automaticky vyhodnocovali. Vstupom testu boli príslušné dáta a výstupom testu bola hodnota (true - úspešný / false - neúspešný).

4.4.2. Testovanie programu pre komunikáciu PRU a CPU

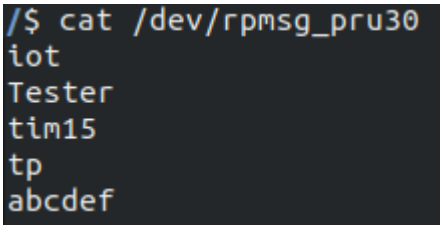
Predpokladáme, že program na prijímanie a preposielanie správ už je skompilovaný, nahraný na BeagleBone Black a je aj v PRU. Testovací scenár je zadanie 5 rôznych premenných od používateľa a následné overenie spätnej komunikácie.

Zadanie testovacích vstupov:

- **echo "iot" > /dev/rpmsg_pru30**
- **echo "Tester" > /dev/rpmsg_pru30**
- **echo "tim15" > /dev/rpmsg_pru30**
- **echo "tp" > /dev/rpmsg_pru30**
- **echo "abcdef" > /dev/rpmsg_pru30**

Overenie odpovede:

- **cat /dev/rpmsg_pru30**



4.4.3. Testovanie programu pre spínanie digitálnych pinov z PRU

Program pre spínanie digitálnych pinov z PRU bol otestovaný. Najskôr bolo potrebné tento program nahrať do PRU a následne spustiť. Nahrávanie a spúšťanie programu je priblížené v príručke uvedenej nižšie. Po spustení programu boli pomocou logickej sondy kontrolované digitálne piny, ktoré mali byť ovládané programom. Postupne boli odoslané z CPU na PRU správy obsahujúce “1” alebo “0”.

Posielanie správ:

- **echo "1" > /dev/rpmsg_pru30**
- **echo "0" > /dev/rpmsg_pru30**
- **echo "1" > /dev/rpmsg_pru30**
- **echo "0" > /dev/rpmsg_pru30**
- **echo "test" > /dev/rpmsg_pru30**

Overenie výsledku:

Logickou sondou boli overené logické hodnoty na požadovaných pinoch. Piny reagovali na správy korektne. V prípade správy “test” nenastala žiadna zmena hodnôt na digitálnych pinoch, čo bol očakávaný výstup. Taktiež boli logickou sondou overené aj iné digitálne piny, pre zaistenie že program mení hodnoty len požadovaných pinov. Po otestovaní bol program prehlásený za funkčný.

4.4.4. Testovanie systému ako celku pre digitálny signál

Predpokladáme, že BBB aj ComoNeo sú pripojené a všetky technické parametre (IP adresy, ...) nastavené. Na BeagleBone Black je spustený program obsahujúci webový server a ovládanie pinov na doske prostredníctvom PRU. Následne je možné spustiť simulačný test v robot frameworku, ktorý najprv odošle na dosku BeagleBone Black cez rozhranie REST API požiadavku na nastavenie digitálnych pinov na hodnotu logickej jednotky. Potom test otvorí prehliadač s IP adresou zariadenia ComoNeo, kde je možné vidieť nastavenú hodnotu. Túto hodnotu test overí. Po overení test odošle REST API požiadavku na nastavenie digitálnych pinov na hodnotu logickej nuly. Test následne vyhodnotí aj tento scenár. Po úspešnej validácii sa prehliadač zavrie a testovanie je vyhodnotené ako úspešné.

5. Príručky

5.1. Inštalácia flask balíka na BBB

Linux bežiaci na doske BeagleBone Black, je zostavený pomocou projektu Yocto. Tento Linux teda neobsahuje balíčky klasického operačného systému Linux. Medzi tieto balíčky patrí aj Python server Flask. Medzi tieto balíčky patrí aj Python server Flask. Pre inštaláciu balíčku Flask bolo potrebné tento balíček zostaviť a vložiť ho na dosku BeagleBone Black.

Prvý krok je pripravenie prostredia, na ktorom budeme balíček vytvárať. Pri vytváraní sú potrebné viaceré balíčky. Inštaláciu všetkých potrebných balíčkov spustíme príkazom:

- **sudo apt-get install git build-essential python diffstat texinfo gawk chrpath dos2unix wget unzip socat doxygen libc6:i386 libncurses5:i386 libstdc++6:i386 libz1:i386**

Dôležité je aj nastaviť bash ako predvolený shell:

- **sudo dpkg-reconfigure dash**

Ďalším krokom je stiahnutie a inštalácia Linaro Toolchain, ktorý obsahuje veľa knižníc a program ako napr. GCC. Následne je potrebné vytvoriť sadu vývojových nástrojov (anglicky software development kit, SDK). Kroky potrebné na vytvorenie SDK sa nachádzajú v kapitole Príručky 5.2 Vytvorenie SDK. Vytvorením SDK sa súčasne vytvorili aj všetky

potrebné balíčky pre operačný systém Linux. Tieto balíčky boli prekopírované na SD kartu BeagleBone Black.

Následne bolo možné balíček Python-Flask na doske nainštalovať príkazom:

- **opkg install python-flask.ipk**

Inštalácia balíčka Flask však obsahovala závislosti na iné balíčky. Konkrétne to boli balíčky:

- Werkzeug - poskytuje Python rozhranie medzi aplikáciami a servermi.
- Jinja - poskytuje vzor pre zobrazovanie stránok, ktoré aplikácie ponúkajú.
- MarkupSafe - bráni v útokoch injekcie (injection attack)
- ItsDangerous - bezpečne podpisuje dáta pre zaistenie integrity dát.
- Click - framework pre písanie aplikácií príkazového riadku.

Všetky tieto balíčky boli vytvorené pri vytváraní SDK a preto boli taktiež prekopírované na SD kartu dosky BeagleBone Black.Všetky potrebné balíčky boli postupne nainštalované. Po nainštalovaní závislostí bolo možné nainštalovať balíček Flask a vďaka tomu vytvoriť jednoduchý JSON server, ktorý počúva na prichádzajúce JSON požiadavky na vybranom porte. V našom prípade to bol port 5000.

5.2. Vytvorenie SDK

Postupnosť príkazov, ktoré je potrebné zadať, aby bolo SDK správné vytvorený:

- **git clone git://arago-project.org/git/projects/oe-layersetup.git tisdk**
- **cd tisdk**
- **./oe-layertool-setup.sh -f configs/processor-sdk/processor-sdk-04.02.00.09-config.txt**
- **cd build.**
- **conf/setenv**
- **export PATH=$HOME/gcc-linaro-6.2.1-2016.11-x86_64_arm-linux-gnueabihf/bin:$PATH**
- **MACHINE=am355x-evm bitbake python-flask**

5.3. Spustenie webového servera

Samotné aplikačné rozhranie je nutné aktuálne spúšťať ručne pomocou priameho pripojenia sa na zariadenie BeagleBone Black. Pre jeho spustenie je nutné, aby na zariadení bola nainštalovaná (knižnica) Python a taktiež knižničná funkcia Flask, ktorá je podporovaná práve programovacím jazykom Python. Následne už stačí len umiestniť kód tohto rozhrania na samotné zariadenie BeagleBone Black a to ako štandardný súbor *xxx.py*. Následne už stačí toto rozhranie len pustiť pomocou príkazu *python xxx.py*. Štandardne je aplikačnému rozhraniu pridelená domovská IP adresa zariadenia BeagleBone Black s portom 5000. IP adresa BeagleBone Black je zadaná staticky alebo získaná DHCP serverom.

Neskôr bude toto rozhranie spúšťané automaticky pri štarte zariadenia Beagle Bone Black. Pričom toto zariadenie po štarte odošle svoje konfiguračné údaje (IP adresu) na vopred definovaný aplikačný server, ktorý bude slúžiť na správu týchto zariadení.

5.4. Spustenie programu na PRU

Aby bolo možné spustiť program na PRU je ho potrebné najprv skompilovať v programe Code Composer Studio od firmy Texas Instruments a ako cieľovú platformu vybrať BeagleBone Black. Po úspešnom skompilovaný vznikne súbor s koncovkou out, ktorý je potrebný uložiť na sd kartu v BeagleBone Black.

Nový program sa do PRU nahrá iba keď je PRU stopnutá a na nahratie programu zadáme príkaz:

- **echo 'program.out' > /sys/class/remoteproc/remoteproc1/firmware**

Posledný krok je už len spustenie programu pomocou príkazu:

- **echo 'start' > /sys/class/remoteproc/remoteproc1/state**

Tieto kroky sú zahrnuté a vykonané v programe pre spustenie Python Flask servera pre zjednodušenie spúšťania programu na PRU.

Program je možné zaszaviť príkazom:

- **echo 'stop' > /sys/class/remoteproc/remoteproc1/state**

5.5. Nahranie nového súboru „Device Tree“

Pre sprístupnenie pinov na doske BeagleBone Black pre PRU je potrebné nahrať na dosku súbor, ktorý definuje okrem iného aj rozloženie pinov dosky a mód každého pinu. Tento súbor sa nazýva „device tree“ a v binárnej forme má koncovku „.dtb“. Súbor je priložený na elektronickom médiu.

Postup nahrania DTB:

- Skopírovanie DTB súboru na SD kartu BeagleBone Black
- Zmena ukazovateľa z pôvodného DTB na nový DTB príkazom:

  sudo ln -f -s am335x-boneblack_PRU.dtb am335x-boneblack.dtb

- Synchronizácia príkazom: **sync**

5.6. Spúšťanie testov Robot Framework

Pre spustenie testov je potrebné nainštalovať a nastaviť nasledovné časti:

- Inštalácia Pyhton (https://www.python.org/downloads)
- Pridanie cesty do systémovej premennej Path (..\PythonXX;..\PythonXX\Scripts)
- Inštalácia robotframework pomocou cmd (pip install robotframework)
- Inštalácia SeleniumLibrary pomocou cmd (pip install robotframework-seleniumlibrary)
- Stiahnuttie chromedriver (http://chromedriver.chromium.org/downloads)
- Vloženie chromedriver do priečinka (..\PythonXX\Scripts)
- Inštalácia PyCharm (https://www.jetbrains.com/pycharm/download)
- Inštalácia pluginu IntelliBot (v nastaveniach PyCharm)
- Inštalácia requests pre python kvôli využitiu REST API (pip install requests)

Zatiaľ sme pracovali na dvoch funkcionalitách:

- Test, ktorý testuje digitálny input na webovej aplikácii zariadenia ComoNeo. Tento test si otvorí webovú aplikáciu, dostane sa k digitálnym input-om a prečíta hodnotu, aké je tam zobrazená. Hodnota predstavuje, či bol digitálny vstup 1/0.

- Aby sme vedeli poslať digitálny input, bolo potrebné implementovať špeciálnu knižnicu, ktorá vedela pomocou nami implementovaného REST API odoslať samotný digitálny input. Ten sa opäť testuje vo webovej aplikácii.

Samotné testovanie a výsledné testy sú verziované a ukladané na gitlabe spoločnosti Kistler, nakoľko sa pri testoch využívajú citlivé informácie.