VILNIAUS UNIVERSITETAS
FIZIKOS FAKULTETAS
KIETO KŪNO ELEKTRONIKOS KATEDRA

Mindaugas Kurmauskas

CORTEX R4 ARCHITEKTŪROS MIKROVALDIKLIO SAVYBIŲ TYRIMAS

Pagrindinių studijų baigiamasis darbas

(studijų programa – TAIKOMOJI FIZIKA)

Studentas	Mindaugas Kurmauskas
Darbo vadovas	dr. Mindaugas Vilūnas
Recenzentas	dr. Recenzentas
Katedros vedėjas	dr.(HP) Kęstutis Arlauskas

Vilnius 2013

Turinys

Įvadas

Egzistuoja daug užduočių kurioms atlikti reikia didelio patikimumo. Jų atlikimui galima naudoti standartinius mikrovaldiklius, kombinuojant su programinėmiais sprendimais. Tokiais kaip WDT (watchdog timer), kuris prižiūri pagrindinę programą, kad ji tinkamai atliktų savo darbą. Nuolatiniais testais patikrinti duomenų skaičiavimo patikimumą, pavyzdžiui atlikti algoritmą du kartus ir tikrinti ar atsakymai sutampa. Daugeliu atveju visos papildomos priemonės užtikrinti patikimumą prailgina duomenų skaičiavimo laiką.

Sistemose kurioms reikalingas didelis patikimumas ir darbas realeame laike labai praverčia sistemos dubliavimas su tikrinimo funkcijomis. Klaidos tikimybė ne visais atvejais yra tolydi laike, taigi klaidos gali tuo pačiu metu ivykti abiejose sistemose. Tokiu atveju naudinga, kai sistemos dirba pastumtos laike atžvilgiu viena kitos.

Yra daug aplinkų kur gali reikėti tokių sistemų. Pramoninės saugumo reikalaujančios aplinkos, tokios kaip:

- automobilų stabdymo sistemos, tokios kaip ratų anti blokavimo sistema (ABS)
- elektros gaminimo ir paskirstymo sistemos.
- liftai ir eskalatoriai

Medicinoje:

- defibriliatoriai
- radiacijos terapija
- robotizuotos operacijos

Atsižvelgiant į šį poreikį kompanija Teksas Instruments neseniai išleido ARM Cortex-R4 mikrovaldiklių šeimą kodiniu pavadinimu Hercules. Mums kilo klausimas koks yra šių mikrovaldiklių energetinis efektyvumas, bei mikrovaldiklių veikimas esant ekstramaliam poveikiui, ką šiame darba ir bandoma išsiaiškinti.

1 ARM architektūra

ARM architektūra paremta RISC[1] - paprastesnių komandų sistema:

- daug bendrosios paskirties registrų
- paprastai tiesiogiai dirbama su registrais, o ne su atmintimi
- paprasti adresavimo režimai
- vienodo fiksuoto ilgio instrukcijos

Taipat ARM architektūra papildomai turi:

- tiesioginę ALU[2] - aritmetinio loginio ir postūmio įrenginių kontrolė
- automatiškai didėjantis ir automatiškai mažėjantys adresavimo režimai ciklų optimizavimui
- iš karto kelių instukcijų įkėlimo ir paėmimo komandos duomenų pralaidumo optimizavimui.
- vykdymo pralaidumui padidinti yra beveik visų komandų sąlyginis vykdimas.

Paprastai kiekviena instrukcija atliekama per vieną taktą, tad yra nesunku nuspėti programos vykdymą ir galima nesunkiai pritaikyti kaskadinį komandų vykdymą. Komandų atkodavimas reikalauja mažiau tranzistorių, nei mikrovaldikliams paremtiems sudėtingesnių komandų sistema (pvz. CISC[3]) - kur viena komanda yra kelių instrukcijų rinkinys. Dabartiniai ARM mikrovaldikliai yra 32bitų instrukcijos ilgio, bei 32bitų adresavimo. Yra paruoštos ir 64bitų virsijos.

ARM turi 31 bendrosios paskirties 32bitų ilgio registrus. Betkuriuo metu galima matyti 16 jų. Kiti registrai yra naudojami išimčių apdorojimui pagreitinti. Visos intstrukcijos skirtos registrams gali naudoti betkurį iš 16 registrų. Iš 16 visad matomų registru keli turi specializuotas funkcijas:

- Rietuvės rodyklė (ang. stack pointer) - paprastai 13 registras.
- Nuorodos registras (ang. link register) - 14 registras naudojamas kaip adresas į kurį einama funkcijos iškvietimui pasibaigus. 14 registras gali būti naudojamas kaip bendrosios paskirties registras.
- Programos skaitiklis (ang. program counter) - 15 registras. Naudojamas kaip nuoroda į adresą sekančios instrukcijos.

Likę 13 registrų specialių funkcijų neatlieka.

ARM palaiko 7 rūšių išimtis ir privilegijuotą apdorojimo režimą kiekvienai iš jų:

[1] RISC - reduced instruction set computing.
[2] ALU - arithmetic logic unit
[3] CISC - complex instruction set computing.

- reset
- bandymas atlikti nežinomos instrukcijos
- programos pertraukties instrukcijos (SWI - software interupt instruction) gali būti naudojamos iškviesti operacinę sistemą
- išankstinio duomenų paėmimo atšaukimas (ang. prefetch abort)
- normalus trūkis (IRQ - interrupt request)
- greitas trūkis (FIQ - fast interrupt request)

Įvykus išimčiai kaikurie standartiniai trūkiai yra pakeičiami registrais specifiniais tai išimčiai. 14-tame registre laikomas adresas į kurį grižtama po išimties įvykdymo. 13 registras yra išsaugomas, kad išimtis galėtų naudotis savo rietuve, netrigdydama tolimesnio programos darbo. Greito trųkio režime yra išaugomi registrai nuo 8 iki 12, kad nereikėtų jų saugoti atskirai ir būtų galima jais greitai naudotis.

Įvykus išimčiai šerdis sustabdo programos vykdyma apibrėztu būdu ir pereina prie išimties vykdymo į viena iš fiksuotų adresų atmintyje, žinomų kaip išimties vektoriai (ang. exception vector). Yra atskiras vektorius kiekvienai išimčiai.

2 Naudojamos įrangos ir programos

Naudojamas TMDXRM48USB maketas. Jame yra:

- Mikrovaldiklis xRM48L950AZWTT:
  - Du 32-bitu ARM Cortex-R4F procesoriai, veikiantys kartu[4]
  - 3MB flash, 256kB RAM
  - Šerdies taktinis dažnis 200MHz
  - fiksuoto tikslumo (32bitu) ir dvigubo tikslumo (64bitu) slankaus kablelio aritmetikos modulis
- Integruotas XDS100v2 emuliatorius programavimui per usb
- LED'ai, temperatūros sensorius, šviesos sensorius, akselerometras

Palyginimui pasirinktas STM32F4DISCOVERY maketas. Jis pasirinktas dėl

- mikrovaldiklis STM32F407VGT:
  - 32-bitu ARM Cortex-M4F procesorius
  - 1MB flash, 192 kB RAM

[4]lockstep - kartu atlieka tas pačias komandas

  - taktinis dažnis iki 168MHz
  - fiksuoto tikslumo (32bitu) ir slankaus (32bitu) kablelio aritmetikos modulis
- Integruotas ST-LINK/V2 emuliatorius programavimui per usb
- LED'ai, akselerometras, skaitmeninis mikrofonas
- CS43L22- SAK garsui su integruotu D klasės garso stiprinimu

Pasirinktas kompiliatorius - IAR 6.4. Darbo pradėjimo metu vienintelis palaikė abu maketus be papildomos įrangos.

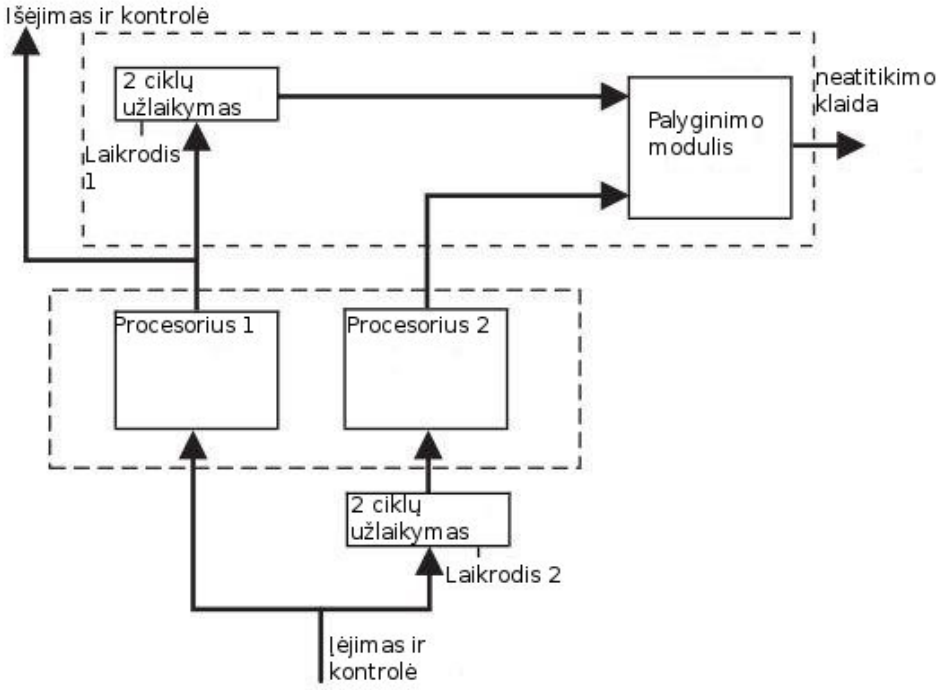
2.1 xRM48L950 aprašas

2.1.1 Procesorius

xRM48L950 turi dvi integruotas 32-bitų RISC ARM Cortex-R4F šerdis, su slankaus kablelio aritmetikos moduliu. Šerdys išdestyti skirtinga orientacija

1 pav. *Šerdys pakreipitos fiziškai viena kitos atžvilgiu korpuse*

Taip pat taktinis dažnis procesoriams paduodamas su 2 taktų užlaikymo skirtumu. Procesoriai fiziškai atskirti 100µm. atstumu. Procesorių išėjimo signalai palyginami atskirame modulyje.



2 pav. *Dviejų branduolių įgyvendinimas*

Įrenginys palaiko savęs testavimą. Jo metu galima priversti branduolių išėjimo signalų nesutapimą, taip patikrinama ar veikia branduolių palyginimo modulis ir ar įrenginys sugeba atpažinti klaidas. Šerdys maitinamos 1.2V įtampa.

2.1.2 Atmintys

Įrenginys palaiko little-endian (LE32) formatą. Tai reiškia, kad atmintyje jauniausias bitas yra saugomas pirmas. SRAM ir Flash atminys turi ECC[5] apsaugą - galimybė 1 bito klaidos aptikimui ir pataisymui, bei 2 bitų klaidos aptikimui 8bitų bloke. Flash atmintis maitinama 3.3V įtampa. Esant kaskadiniui režimui flash atmintis gali veikti iki 200MHz taktiniu dažniu. SRAM atmintį galima nuskaityti arba irašyti 1 ciklu nepriklausomai nuo režimo.

2.1.3 Trūkių sistema

Vektorinis trūkių valdiklis įgalina veiksmų prioritizavimą ir kontrolę. Trūkis - tai paprogramės iškvietimas, galimai nutraukiant esamą procesoriaus veiklą. Paprastai toks įvykis reikalauja greito procesoriaus atsako. Procesorius iš normalios programos peršoka į trūkio aptarnavimo paprogramę. RM48 palaiko 96 skirtingus programiškai reguliuojamo prioriteto trūkius. Yra 2 trūkio vektoriai - normalūs trūkiai (IRQ[6]) ir greitieji trūkiai (FIQ[7]). Greitieji trūkiai turi didesnį prioriteta už normalius ir yra nemaskuojami t.y. juos įjungus jų neimanoma išjungti ar pakeisti, nebent atlikus sistemos perkrovima, kai visi trūkiai yra automatiškai išjungiami. Greitieji trūkiai gali pertraukti normalius.

2.1.4 Prievadai

RM48L950 turi 2 laikmačių (N2HET[8]) koprocesorius su tiesiogine magistrales prieiga (DMA) realaus laiko kontrolei. Jų pagalba galima atlikti ĭtampos impulso pločio moduliaciją (PWM), stebėti išvado loginį lygį, bei gali veikti kaip įvesties/išvesties periferija. Taipat yra du integruoti 12 bitų rezoliucijos analogas kodas keitikliai. Prievadai maitinami 3.3V įtampa. Taipat yra bendrosios paskirties įvesties ivėsties prievadai. Palaiko šias periferijas:

- USB
- Ethernet
- UART
- MibSPI
- I^2C
- SCI

[5]ECC - error corection code
[6]IRQ - interrupt request
[7]FIQ - fast interrupt request
[8]N2HET - next generation high end timer

- DCAN

2.2 STM32F4 aprašas

2.2.1 Procesorius

ARM Cortex-M4F 32-bitų RISC procesorius, su slankaus kablelio aritmetikos moduliu. Palaiko DSP instrukcijas ir 32bitų slankaus kablelio duomenis.

2.2.2 Atmintys

Adaptyvus realaus laiko atminties greitintuvas leidžia minimalų procesoriaus laukimą esant dideliems taktavimo dažniams nuskaitant ir įrašant į Flash atmintį. SRAM atmintis nuskaitom ir įrašoma per 1 taktą. Atminties apsaugos modulis riboja procesoriaus priėjimą prie atminties, kad būtų galima išvengti netyčinių atminties sugadinimų. Tai ypač praverčia kai turima kritiškai svarbių duomenų ir juos reikia apsaugoti nuo kitų veikiančių procesų. Pavyzdžiui, jeigu yra veikianti operacinė sistema procesoriuje.

2.2.3 Trūkių sistema

Palaiko įdėtinę vektorinę trūkių kontrolę (NVIC[9]). Yra 16 prioritetų lygių, 82 maskuojami trūkių kanalai. Leidžia aukštesnio prioriteto trūkiams pertraukti vykdomus žemesnio prioriteto trūkius, minimaliai apkraunant procesorių.

2.2.4 Prievadai

140 įėjimo išėjimo bendrosios paskirties prievadų, su trūkio generavimo galimybe. Periferijos greitis - iki 84MHz. Du 12 bitų skaitmeninis analogas keitikliai. Trys 12 bitų analogas kodas keitikliai. Palaikomos periferijos:

- I^2C
- SPI
- UART
- I^2S
- CAN
- USB 2.0
- Ethernet

[9]NVIC - nested vectored interrupt controller

3 Ka kas ir kaip

4 Naudoti testavimo algoritmai ir jų aprašai

4.1 Matematinių funkcijų skaičiavimo greičių įvertinimo algoritmai

Šiame paragrafe aprašytiems algoritmams buvo naudojamas laiko trūkis, kurio pagalba buvo skačiuojamas algoritmo atlikimo greitis 1ms tikslumu. Abu maketai buvo nustatyti veikti 100MHz greičiu. Algoritmai buvo leisti 100 kartų ir fiksuoti užduoties atlikimo laikai suvidurkinti.

4.1.1 Slankaus kablelio algoritmai

Slankaus kablelio Gauss Legendre algoritmas π skaičiavimui:

$$a_0 = 1\ b_0 = \frac{1}{\sqrt{2}}\ t_0 = \frac{1}{4}\ p_0 = 1$$

$$a_{n+1} = \frac{a_n + b_n}{2},$$

$$b_{n+1} = \sqrt{a_n b_n},$$

$$t_{n+1} = t_n - p_n(a_n - a_{n+1})^2,$$

$$p_{n+1} = 2p_n.$$

$$\pi \approx \frac{(a_n + b_n)^2}{4t_n} \tag{1}$$

Naudojant dvigubo tikslumo kintamųjų testą buvo ieškomas 1000 narys, suskaičiuota konstanta nuo pasirinktosios skiriasi $3.55271 * 10^{-15}$.

```
int doubleTest() {
  volatile int i;
  volatile double an,bn,tn,pi;
  volatile double a,b,t,p;
  a = 1.0; b = 1/sqrt(2);
  t = 1/4; p = 1.0;
  for (i = 0; i < 1000; i++) {
    an = (a+b)/2;
    bn = sqrt(a*b);
    tn = t - p*(a-an)*(a-an);
    p *= 2;
    pi = (an+bn)*(an+bn)/(4*tn);
    a = an; b = bn; t = tn;
  }
```

```
    if ((pi - 3.14159265358979) <= 3.55271e-15)
      return 1; //testas atliktas sekmingai
    return 0;  //teste ivyko klaida
  }
```

Naudojant viengubo tikslumo slankaus kablelio kintamuosius buvo ieškomas 120 narys. Konstanta nuo pasirinktosios skiriasi $8.74228 * 10^{-8}$

```
int floatTest() {
  volatile int i;
  volatile float an,bn,tn,pi;
  volatile float a,b,t,p;
  for(volatile int j = 0; j <9; j++) {
    a = 1.0; b = sqrt(0.5);
    t = 0.25; p = 1.0;
    for (i = 0; i < 120; i++) {
      an = (a+b)/2;
      bn = sqrt(a*b);
      tn = t - (p*(a-an)*(a-an));
      p *= 2;
      pi = (an+bn)*(an+bn)/(4*tn);
      a = an; b = bn; t = tn;
    }
  }
  if ((pi - 3.14159265358979) <= 8.74228e-8)
    return 1; //testas atliktas sekmingai
  return 0; //teste ivyko klaida
}
```

4.1.2 Fiksuoto tikslumo algoritmas

Fiksuoto tikslumo algoritmas:

$$b = \sum_{i=0}^{100000} (i * (-1)^{i+1}) \tag{2}$$

```
void intTest() {
  volatile int a,b;
  a = 1;
  b = 0;
  for(volatile int i = 0; i < 100000; i++) {
    b += i * a;
    a *= -1;
```

```
  }
}
```

4.1.3 Loginių funkcijų testavimo algoritmas

Mikrovaldikliai atlieka logines AND, NOT, OR, XOR, bei bitų stumdymo funkcijas.

```
short testBits() {
  volatile unsigned sum = 0x55555555;
  // 0101 0101  0101 0101  0101 0101  0101 0101
  for (volatile int i = 0; i < 0x020000; i++) {
    sum = sum << 1;          /// sum = 0xAAAAAAAA
    sum &= 0x0000FFFF;       /// sum = 0x0000AAAA
    sum ^= 0xFFFFFFFF;       /// sum = 0xFFFF5555
    sum = sum << 16;         /// sum = 0x55550000
    sum = sum | (sum >> 16); /// sum = 0X55555555
    sum = ~sum;              /// sum = 0xAAAAAAAA
    sum = sum >> 1;          /// sum = 0x55555555
  }
  if (0x55555555 == sum)
    return 1; //testas ivykditas sekmingai
  return 0; // teste ivyko klaida
}
```

4.1.4 Greitas disckretinis Furjė eilutės transformavimo testas

Naudotos ARM dsp[10] bibliotekos, atskirai optimizuotos R4 bei M4 mikrovaldikliams. Naudota 1024 kompleksinių taškų, kurie masyve išdėstyti vienas po kito ir bendras masyvo ilgis 2048. Slankaus kablelio testui masyvas užpildomas funkcija:

$$Re(z) = (sin(v * i) + cos(v * 7)),\ t = 0, 2, 4...2046$$

$$Im(z) = 0 \tag{3}$$

```
#define TEST_LENGTH_SAMPLES 2048
static float32_t testInput[TEST_LENGTH_SAMPLES];
static float32_t testOutput[TEST_LENGTH_SAMPLES/2];
uint32_t fftSize = 1024;
uint32_t ifftFlag = 0;
uint32_t doBitReverse = 1;

void prepareTestFloat(void) {
```

[10]Dsp - digital signal processing (skaitmeninis signalų apdorojimas)

```
  for(volatile int t = 0; t < 2048; t+=2) {
    testInput[i] = sin(t*3) + cos(t*7);
    testInput[i+1] = 0;
  }
}

int32_t testCfftFloat(void) {
  arm_status status;
  arm_cfft_radix4_instance_f32 S;
  float32_t maxValue;

  arm_cfft_radix4_init_f32(&S, fftSize, ifftFlag, doBitReverse);

  arm_cfft_radix4_f32(&S, testInput);

  arm_cmplx_mag_f32(testInput, testOutput, fftSize);

  arm_max_f32(testOutput, fftSize, &maxValue, &testIndex);

  if(testIndex == refIndex) {
    return 1;
  }
  return 0;
}
```

Fiksuoto tikslumo Furijė transformacijai naudoti ARM Q31 fiksuoto kablelio kintamieji. Iš slankaus kablelio paversti į Q31 formato kintamuosius naudota funkcija:

$$Q31(x) = ((int)\ ((x) * (float)(1 << 31))\ ) \tag{4}$$

Masyvo užpildo funkcija:

$$Re(z) = Q31(1000 * (sin(v * i) + cos(v * 7)))),\ t = 0, 2, 4...2046$$

$$Im(z) = 0 \tag{5}$$

```
#define TEST_LENGTH_SAMPLES 2048
uint32_t fftSize = 1024;
uint32_t ifftFlag = 0;
uint32_t doBitReverse = 1;
static q31_t testInputQ[TEST_LENGTH_SAMPLES];
static q31_t testOutputQ[TEST_LENGTH_SAMPLES/2];
uint32_t refQIndex = 0;
```

```
void prepareTestQ31(void) {
  double skaicius=0;
  int nulis = (int) ((0 * (float)(1<<31)));
  for(volatile int32_t i = 0; i < 2048; i+=2) {
    skaicius = 1000*sin(i*3) + 1000*cos(i*7);
    testInputQ[i] = ((int)(skaicius * (float)(1<<31)));
    testInputQ[i+1] = nulis;
  }
}

int32_t testCfftQ31(void) {
  arm_status status;
  arm_cfft_radix4_instance_q31 S;
  q31_t maxValue;

  status = arm_cfft_radix4_init_q31(&S, fftSize, ifftFlag, doBitReverse);

  arm_cfft_radix4_q31(&S, testInputQ);

  arm_cmplx_mag_q31(testInputQ, testOutputQ, fftSize);

  arm_max_q31(testOutputQ, fftSize, &maxValue, &testIndex);

  if(testIndex == refIndex) {
    return 1;
  }
  return 0;
}
```

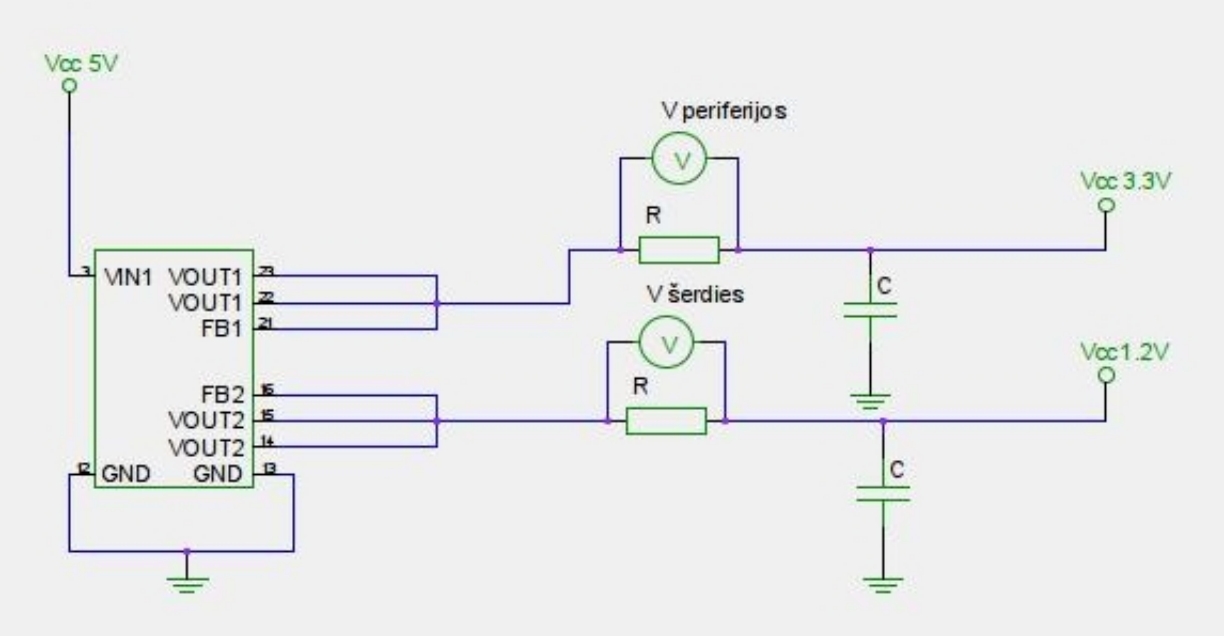
4.2 Įėjimo ir išėjimo į trūkį algoritmo aprašymas

Naudojami maketai buvo paleisti veikti 100MHz greičiu. Abu maketai keisdavo išėjimo prievado vieno iš išvadų loginį lygį, bei buvo įjungtas taimeris su tuščia paprograme. Osciloscopu matuotas išvadų lygmenų kitimo laikas.

4.3 Srovės matavimai

STM32F4DISCOVERY makete srovė matuota tiesiogiai. TMDXRM48USB maketas neturėjo trumpiklių tarp maitinimo ir mikrovaldiklio. Tarp maitinimo 3.3V išėjimo ir mikrovaldiklio išvadų maitinimo bei maitinimo 1.2V išėjimo ir mikrovaldiklio logikos maitinimo buvo įterp-

tos 0.12Ω varžos.



3 pav. *Cortex-R4 srovės matavimo schema. R=0.12 Ω.*

Visų matavimų metu išvadai buvo nustatyti išvesties režime ir nustatyti nuliniame loginiame lygyje. Buvo atlikti matavimai esant šioms konfigūracijoms:

- įjungtas stanby režimas. Siekta išmatuoti minimalų srovės sunaudojimą kai procesoriui nereikia atlikti darbo.
  - Cortex-R4:
    - Flash atmintis automatinio miego režime
    - procesoriai laukimo režime
    - taktuojama iš mažos galios išorinio kvarco
    - periferijos išjungtos
  - Cortex-M4:
    - vidinis 1.2V įtampos reguliatorius išjungtas
    - Pll[11], vidinis 16MHz ir išorinis 8MHz taktiniai osciliatoriai atjungti. Veikia vidinis 32kHz taktinis osciliatorius
    - procesorius sustabdytas
    - mikrovaldiklis minimalioje srovės suvartojimo būsenoje.
    - režimą galima išeiti:
      - gavus išorinį impulsą į NRST arba WKUP išvadus
      - realaus laiko laikrodžiui (RTC) sugeneravus trūkį
- įjungtas negilaus miego režimas esant įvairiems taktavimo greičiams:

[11]PLL - phase lock loop dažnių generatorius

  - Cortex-R4:
    * Flash atmintis automatinio miego režime
    * sistema veikia taktavimo dažniu
    * procesoriai laukimo režime
    * periferija atjungta
  - Cortex-M4:
    * sistema veikia pll taktavimo dažniu
    * procesorius sustabdytas
    * iš režimo galima išeiti betkokio trūkio pagalba

- esant skirtingiems taktavimo dažniams mikrovaldikliai atlikinėjo slankaus kablelio ir fiksuoto tikslumo aritmetikos testus, bei buvo paleisti veikti cikle:

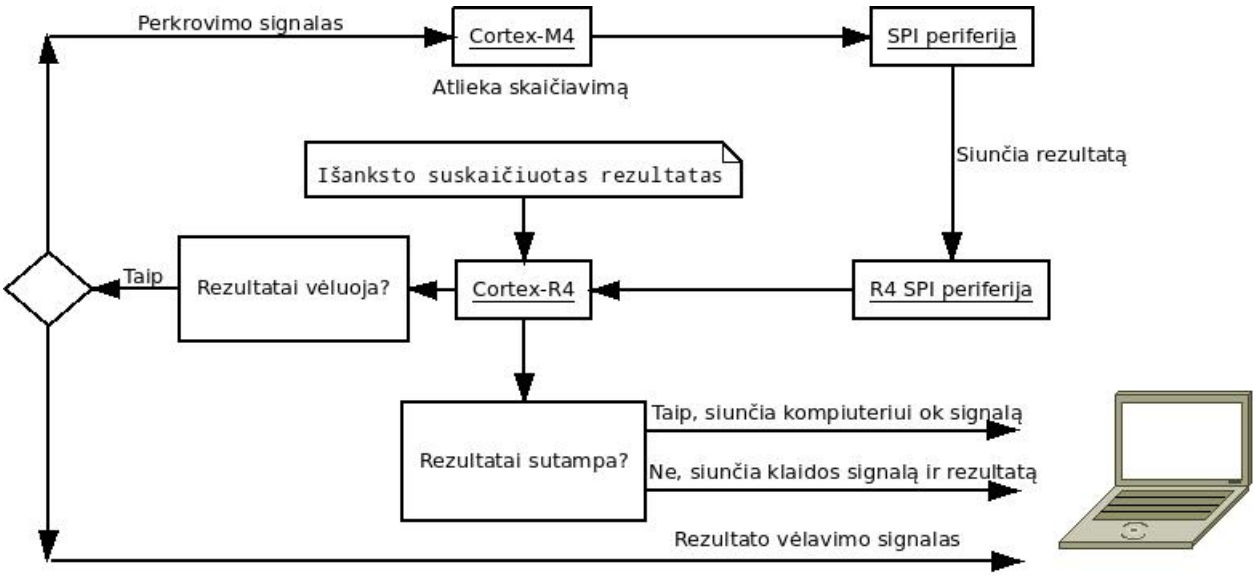
```
while(1);
```

4.4 Radiacinis matavimas

Siekiant patikrinti mikrovaldiklio veikimą ekstremaliam poveikiui. Buvo iškelta hipotezė, kad apšviečiant jonizuojančiąją spinduliuote gali būti sutrigdoma normali mikrovaldiklio veika:

- pažeidžiant flash atmintį sutrigdoma programa, dėl ko mikrovaldiklis pradeda vykdyti neteisingas užduotis arba jų išvis nevykdyti
- pažeidžiant RAM atmintį gali būti iškraipomi skaičiavimų duomenys
- sutrigdant šerdies atliekamą darbą gali būti generuojamos skaičiavimų, logikos ir valdymo klaidos.

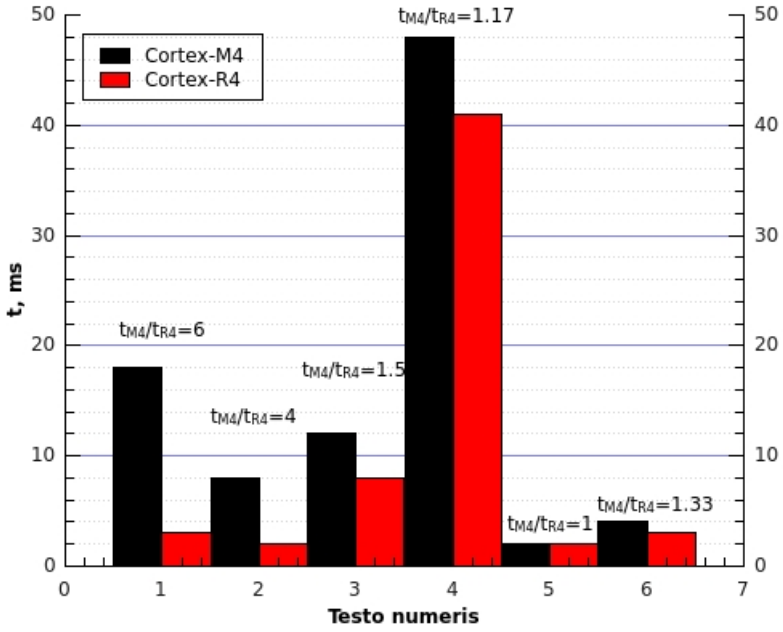
Cortex-M4 ir Cortex-R4 mikrovaldikliai sujungti 4 laidu + žemė spi protokolu. Cortex-M4 nustatytas kaip master, Cortex-R4 kaip slave. Cortex-M4 atlikinėjo matematinius skaičiavimus ir siuntė rezultatus į Cortex-R4 mikrovaldiklį patikrinimui, kuris per UART jungtį juos siuntė į kompiuterio terminalą.



4 pav. *Radiacinio matavimo logikos diagrama.*

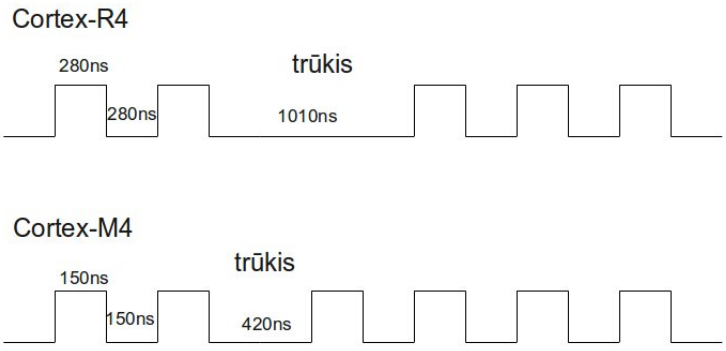
5 Rezultatai

Cortex-R4 mikrovaldiklis beveik visus skaičiavimo testus atliko greičiau nei cortex-M4 mikrovaldiklis esant 100MHz taktiniui dažniui.



5 pav. *Skaičiavimo algoritmų laikai. 1 - dvigubo tikslumo slankaus kablelio testas ((2.1.1) algoritmas). 2 - slankaus kablelio testas ((2.1.1) antras algoritmas). 3 - fiksuoto tikslumo kintamųjų testas ((2.1.2) algoritmas). 4 - loginių funkcijų testas ((2.1.3) algoritmas). 5 - Furijė slankaus kablelio ((2.1.4) algoritmas). 6 - Furijė fiksuoto tikslumo kintamųjų testas((2.1.4) antras algoritmas).*

Tirtas periferijos perjungimo greitis ir įėjimo išėjimo i tuščią trūkio paprogramę laikas esant 100MHz taktavimo dažniui. Cortex-R4 periferijos išėjimo lygmenį keitė kas 280ns. Įėjimo į trūkį ir išėjimo laikas 730ns. Skirtumo tarp IRQ ir FIQ trūkių laiko nebuvo. Cortex-M4 periferikos išvado loginį lygmenį keitė kas 150ns. Įėjimo į trūkį ir išėjimo laikas 200ns.



6 pav. *Generuotų impulsų laikinė diagrama.*

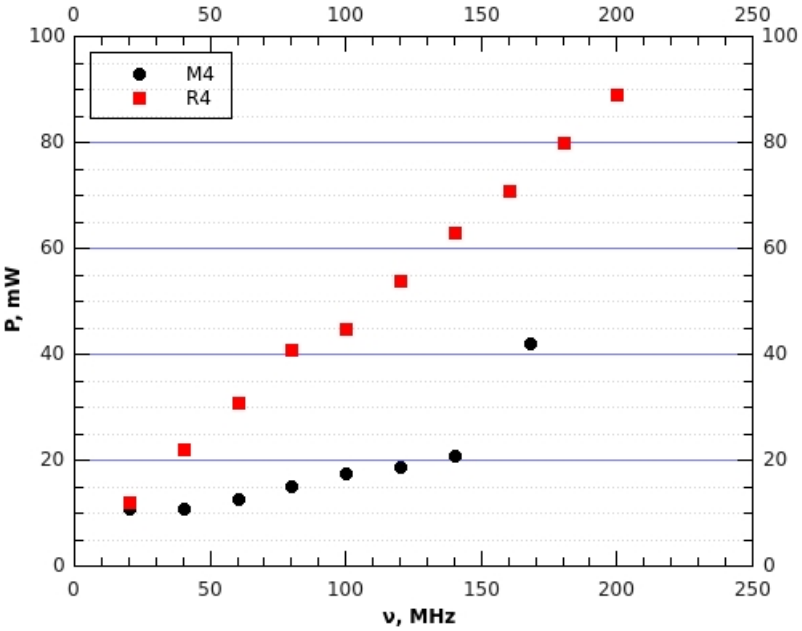
Mikrovaldiklio Cortex-R4 periferija tirta atskirai. Maitinama 3.3V.

- Prievadai nustatyti žemame loginiame lygyje:

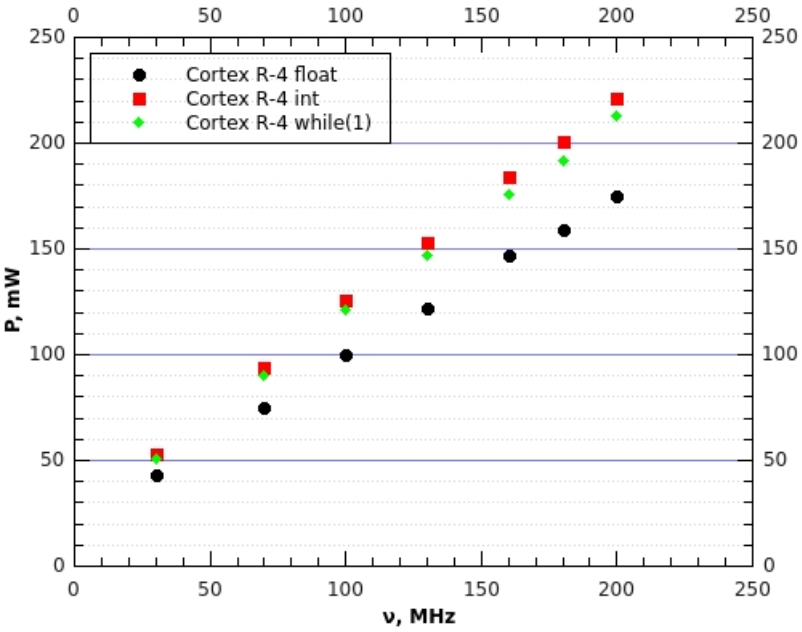
  - Naudajama galia 371.5mW
- Periferija išjungta:
  - Periferijos išvaduose atsiranda loginis aukštas lygis:
    * SPI4nCS, SPI4nENA
    * DMMnENA
    * CAN3TX, CAN3RX
  - Naudojama galia 341mW
- Nurodomas mažos galios osciliatorius periferijų taktavimui. Periferija išjungiama
  - Išjungiant periferiją turėtų būti automatiškai atjungiami ir osciliatoriai
  - Naudojama periferijos galia 283.25mW
  - (Procesoriaus naudojama galia minimali (4mW))
- Išjungiamos periferijos bei procesoriaus loginė dalis atsakinga už periferijos valdymą
  - Mikrovaldiklis nustoja vykdyti kitas komandas
  - Naudojama periferijos galia 374mW
  - Padidėja procesoriaus naudojama galia (16mW) lyginant su prieš tai atliktu matavimu.

Mikrovaldiklio Cortex-R4 šerdis maitinama 1.2V. Kadangi 3.3V maitinama ir kiti įrenginiai esantys makete (tokie kaip šviesos sesnosrius, akselerometras), bei dėl galimos JTAG įtakos rezultatams naudojama galia buvo skaičiuojama pagal formulę $P = I_{serdies} * 1.2V$. Cortex-M4 maitinamas 3.3V. Skaičiuojant galią daryta prielaida, kad išjungus periferiją kitų įrenginių naudojama srovė yra apie 0mA. Cortex-M4 naudojama galia $P = I * 3.3V$.

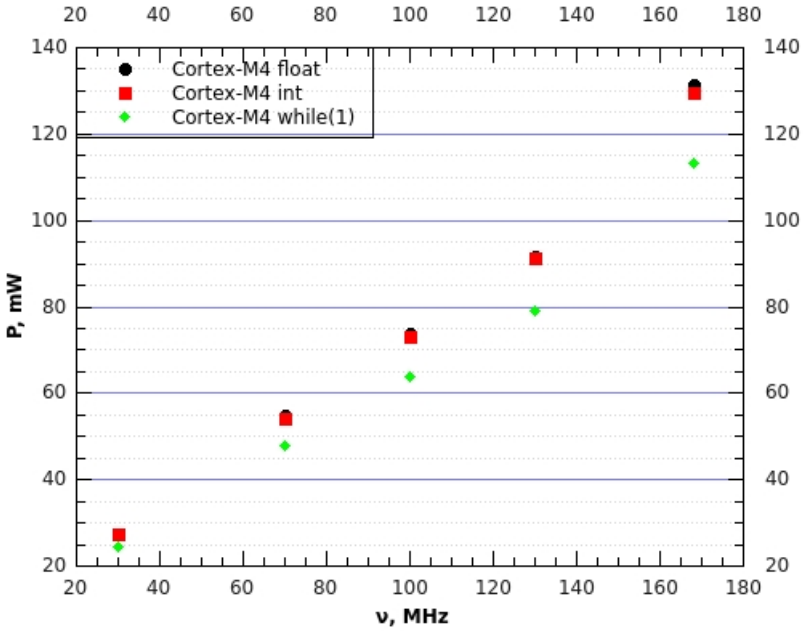
7 pav. *Mikrovaldikliai stanby režime.*



8 pav. *Mikrovaldiklių galios vartojimo priklausomybė nuo taktinio greičio sleep režime.*



9 pav. *RM48 mikrovaldiklio naudojamos galios priklausomybė nuo taktinio dažnio atliekant slankaus kablelio, fiksuoto tikslumo ir būnant tuščiame cikle.*



10 pav. *STM32F4 mikrovaldiklio naudojamos galios priklausomybė nuo taktinio dažnio atliekant slankaus kablelio, neslankaus kablelio ir būnant tuščiame cikle.*

Mikrovaldiklis Cortex-M4 buvo 1h švitinamas 1.176MeV gama spinduliais ($\hat{1}37$Cs). Jokių nukripimų nuo normalaus mikrovaldiklio darbo neužfiksuota. Pereita prie švitinimo rentgeno spinduliuote. Mikrovaldiklis buvo padėtas po rentgeno lempa kurios įtampa bei srovė didinta laipsniškai. Prie 19kV įtampa ir 19mA per 15min mikrovaldiklis nustojo veikti, tačiau iki nustojimo veikti visus skaičiavumus atliko gerai. Mikrovaldiklis per 3h atsistatė ir vėl pradėjo atlikinėti skaičiavimus.

6 Išvados

1. Cortex-R4, esant 100MHz taktiniui dažniui, yra žymiai greitesnis atliekant dvigubo tikslumo slankaus kablelio skaičiavimus nei cortex-M4 mikrovaldiklis.

2. Cortex-R4 trūkių sistema lyginant su Cortex-M4 yra labai lėta ir neefektyvi.

3. Mikrovaldikliams atliekant skirtingus skaičiavimus naudojama galia labiausiai priklauso nuo taktinio dažnio ir tik nežymiai nuo procesoriaus apkrovos skaičiavimais.

4. RM48 mikrovaldiklio periferija taisiklyngai neišsijungia.

5. Su prieinamais jonizuojančios spinduliuotės šaltiniais atliekant matavimus net su vienguba šerdimi nepavyko pasiekti duomenų pažeidim programos vykdymo metu. Keliant intensyvumą prasidėjo išliekantys procesoriaus funkcionalumo pažeidimai.

Literatūros sąrašas

1. Q formatai ir konvertavimas.

   http://infocenter.arm.com/help/topic/com.arm.doc.dai0033a/DAI0033A_fixedpoint_appsnote.pdf

2. TMDXRM48USB trumpas aprašas.

   http://processors.wiki.ti.com/images/5/5c/RM48_USB_QUICK_START.pdf

3. Detalus Cortex-R4 aprašas.

   http://www.ti.com/lit/ds/spns177a/spns177a.pdf

4. Cortex-R4 energijos vartojimo optimizavimo aprašas.

   http://www.ti.com/lit/an/spna172a/spna172a.pdf

5. Cortex-R4 slankaus kablelio modulio savybių aprašas.

   http://infocenter.arm.com/help/index.jsp?topic=/com.arm.doc.dai0240a/index.html

6. Cortex-R4 silicon errata.

   http://www.ti.com/lit/er/spnz194b/spnz194b.pdf

7. STM32F4-Discovery trumpas aprašas.

   http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/DATA_BRIEF/DM00037955.pdf

8. Detalus Cortex-M4 mikrovaldiklio aprašas.

   http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/DATASHEET/DM00037051.pdf

9. Cortex-M4 slankaus kablelio modulio sovybių aprašas.

   http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/DATASHEET/DM00037051.pdf

10. π skaičiavimo algoritmas.

    http://en.wikipedia.org/wiki/Gauss-Legendre_algorithm

Santrauka

„CORTEX R4 ARCHITEKTŪROS MIKROVALDIKLIO SAVYBIŲ TYRIMAS”

Užduotys kurioms reikia didelio patikimumo reikalauja skaičiavimų patikrinimo. Cortex-R4 turi integruotą skaičiavimo ir kontrolės dubliavimą, tačiau neaišku kaip tai yra energetiškai naudinga.

Šiame darbe buvo pabandyta išsiaiškinti Hercules šeimos atstovo RM48 mikrovaldiklio energetinį efektyvumą, bei veikimo ypatybes esant jonizuojančiajai spinduliuotei.