УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ

Стефана Церовина

ВИРТУЕЛНА МАШИНА ДАРТИНО-ИМПЛЕМЕНТАЦИЈА ИНТЕРПРЕТАТОРА ЗА ПЛАТФОРМУ МИПС

мастер рад

Београд, 2016.

Ментор:

др Милена Вујошевић Јаничић
Универзитет у Београду, Математички факултет

Чланови комисије:

др Саша Малков
Универзитет у Београду, Математички факултет

др Филип Марић
Универзитет у Београду, Математички факултет

Датум одбране: _____

Брату, мами и тати

Наслов мастер рада: Виртуелна машина Дартино- имплементација интерпретатора за платформу МИПС

Резиме:

Кључне речи: МИПС, систем са уграђеним рачунаром, интерпретатор,

Садржај

Глава 1

Увод

Појам „Интернет ствари” (енг. IOT- Internet of things) се све чешће среће, и он представља модел повезаности објеката који нас свакодневно окружују у огроман систем у оквиру ког међусобно комуницирају. Дефиниција „ствари” у оквиру појма „Интернет ствари” варира, али се може рећи да је то систем са уграђеним рачунаром(енг. embedded system) који преноси и прима информације путем мреже. Системи са уграђеним рачунаром су системи специјалне намене, који обављају једну или више функција које тој намени одговарају. Модерни системи са уграђеним рачунаром су углавном базирани на микроконтролерима, а ређе на микропроцесорима, зато што микроконтролере карактерише ефикасно управљање процесима у реалном времену, масовна производња, ниска цена и мала потрошња електричне енергије. Сматра се да је потенцијал за развој индустрије система са уграђеним рачунаром велики, и да је будућност у изградњи велики ИоТ система.

Писање апликација за системе са уграђеним рачунаром се обично своди на писање у програмском језику C, коришћење гцц(енг.GCC) или ллвм(енг. LLVM) компилатор, и коришћење неког алата за дебаговање, обично гдб(енг. gdb) који се налази на другом рачунару. Разлог због ког је окружење такво је то што микроконтролер садржи малу количину RAM меморије, малу количину флеш меморије, па се на овако малом уређају не може покренути ниједан регуларни оперативни систем, а и микролинукс често захтева више RAM меморије од оне којом микроконтролер располаже. Често се програмира у асемблерском језику. Због наведених услова, процес развоја апликација је доста успорен.

Пошто се Веб апликације много брже развијају од апликација за системе са

уграђеним рачунаром, дошло се на идеју да се омогући програмирање система са уграђеним рачунаром у вишем програмском језику Дарт, за који постоји подршка за развој Веб, серверских и мобилних апликација. Више о програмском језику Дарт биће речено у поглављу 3. Тако је настала виртуелна машина Дартино, са намером да се програмирање система са уграђеним рачунаром олакша и приближи што већем броју програмера. Дартино омогућава писање апликација за мале микроконтролере, на језику који доста личи на C, али је објектно-оријентисан и садржи разне погодности које процес имплементације доста олакшавају, те се апликације могу развијати брже и ефикасније. Ова виртуелна машина је детаљније описана у поглављу 4.

У оквиру Дартино виртуелне машине биле су подржане само Интел и Арм архитектуре процесора. Због широке распрострањености МИПС процесора у системима са уграђеним рачунаром, развијен је интерпретатор за платформу МИПС, који је у међувремену званично интегрисан у Дартино пројекат. Имплементација интерпретатора описана је у поглављу 5, док се о платформи МИПС више може прочитати у поглављу 2.

Глава 2

МИПС

2.1 ЦИСК и РИСК

2.2 Проточни систем (pipeline)

2.3 Специфичности МИПС платформе

2.4 Поређење МИПС платформе и Интел x86-64

2.5 Поређење МИПС платформе и ARM

2.6 Архитектура МИПС32

2.7 Значај и употреба МИПС платформе у системима са уграђеним рачунаром

Глава 3

Програмски језик Дарт

3.1 Уопштено

3.2 Приватност

3.3 Конкурентност

3.4 Грешке и упозорења

3.5 Промењљиве

3.6 Функције

3.7 Оператори

3.8 Класе

3.9 Интерфејси

3.10 Енумерације

3.11 Генерици

3.12 Уграђени типови

3.13 Библиотеке

3.14 Специфичности у односу на јаваскрипт

Глава 4

Дартино

4.1 Опис виртуелне машине

Дартино виртуелна машина представља виртуелну машину за симулирање језика. Виртуелне машине за симулирање језика извршавају један програм, односно један процес. Имплементирају се са циљем обезбеђивања окружења за програме, независно од платформе, а имплементација се заснива на интерпретатору.

Као што је речено у уводу, Дартино виртуелна машина је настала са циљем да се писање апликација за микроконтролере олакша. Како би се направило боље окружење за рад, потребна је отворена и приступачна платформа, која ће већини програмера бити позната. Требало би омогућити статичку анализу кода, допуњавање кода, библиотеке са разним функционалностима, и тиме развијање апликација учинити ефикаснијим.

Пре Дартина је било могуће програмирати микропроцесоре у Дарту, али не и микроконтролере. Особине микроконтролера постављају велика додатна ограничења при развоју виртуелне машине која ће на њима радити. Обично се под виртуелном машином подразумева нешто што преводи изворни код у некакав међукод, и извршава га. Према томе, виртуелна машина садржи некакву компоненту за извршавање, сакупљач отпадака, омогућује препознавање класа и објеката, и има подршку за дебаговање.

Шта садржи Дартино виртуелна машина?

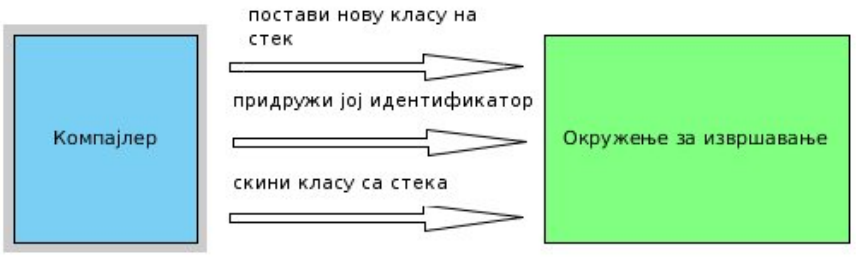
1. Компоненту за извршавање

2. Објектни модел

3. Сакупљач отпадака

Ове три компоненте су неопходне када је у питању виши програмски језик као што је Дарт. Компилатор изворног кода је избачен, и направљен је систем у коме су компилатор и окружење за извршавање раздвојени, као што је случај код гцц-а или ллвм-а. Систем за дебаговање је да поједностављен и смањен.

Како су раздвојени компилатор и окружење за извршавање? Компилатор може да се налази било где, обично на рачунару где се развија апликација, и он комуницира са окружењем за извршавање које се потенцијално налази на другом систему. Интерфејс за комуникацију је једноставан, јер окружење за извршавање мора бити веома једноставно, како би одговарало карактеристикама миктроконтролера. Окружење за извршавање садржи командни АПИ, преко ког му компилатор може затражити да уради одређене ствари. Испод тога се заправо налази стек машина, тако да се може поставити ново стање на стек окружења за извршавање, могу се правити класе, дефинисати објекти и методе путем овог АПИ-ја.



Слика 4.1: Комуникација компилатора и окружења за извршавање

Како би компилатор знао где је која класа завршила у систему, и доделио им симболичка имена, омогућено му је да свакој класи придружи одређени идентификатор. Ови идентификатори окружењу за извршавање не значе ништа, али компилатор при примању објекта назад, зна да је инстанца одређене класе. Сва комуникација се врши преко жичног протокола, тако да је омогућено удаљено извршавање, и обично је базирано на TCP/IP протоколу. На овај начин велики део посла се пребацује на компилатор, а окружење за извршавање се максимално упрошћава.

Шта се све може радити помоћу овог протокола? Најпре се може постављати структура програма, што обухвата:

1. Додавање нових класа на стек
2. Додавање нових метода на стек

Може се мењати структура програма:

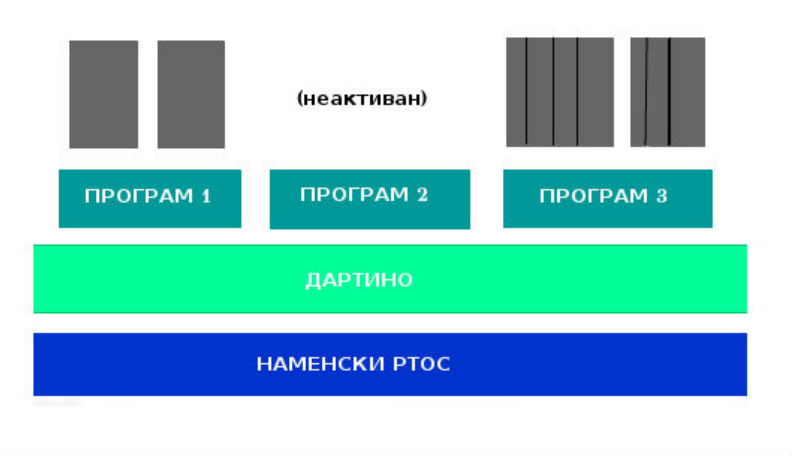
1. Мењање табела метода
   Може се рећи „од овог тренутка желим да ова класа поред метода А има и метод Б". То значи да је омогућена висока интерактивност са системом.
2. Мењање шема
   Мењање шема се односи на мењање класе, нпр.додавањем нових поља. Оно што се дешава у тој ситуацији је да се врши пролаз кроз све инстанце класе, и оне се ажурирају и прилагођавају новом формату класе.
3. Дебаговање
   a) Покретање
   b) Постављање зауставних тачака
   c) Рестартовање

Систем за дебаговање једноставан и ограничен, јер не зна ништа о изворном коду.

4.2 Модел програмирања

Доњи слој чини традиционални оперативни систем са уграђеним рачунаром у реалном времену(нпр. Фри РТОС). Изнад тога се налази Дартино окружење за извршавање, које може извршавати више програма, независно, и они не морају знати ништа једни о другима. Ово се разликује од уобичајених система који раде на оперативном систему са уграђеним рачунаром, и који обично не могу да извршавају више независних компоненти, на независан начин. За сваки програм можемо имати више процеса, више инстанци програма, или делова програма, који се извршавају конкурентно.

На слици 4.3 је приказана ситуација када имамо 3 програма. Програм2 се тренутно не извршава, за Програм1 су покренуте две инстанце, док се Програм3 извршава у 7 нити.



Слика 4.2: Модел програмирања

4.3 Значајне карактеристике

1. Лаки процеси

   За сваки процес нам је потребно мало меморије, неколико стотина бајтова. Сав код и подаци у меморији се деле, па меморију заузимају само подаци који представљају процес. На овај начин ради већина оперативних система, али је то новина за оперативне системе са уграђеним рачунаром.

2. Блокирање процеса

   Процес се може блокирати, при чему се не заузимају ресурси, већ се главна нит враћа систему. Разлог за то је што у системима са уграђеним рачунаром обично имамо мали фиксирани број нити, па не желимо да их блокирамо.

3. Паралелизам

   Уколико процесор има више језгара, процеси се могу извршавати паралелно.

```
main() {
  for (int i = 0; i < 40000; i++) {
    Process.spawn(factoriel, 12);
  }
}
```

```
int factoriel(n) {
  if (n == 1) return 1;
  return n * factoriel(n-1);
}
```

Могуће је покренути 40000 независних процеса, који ће бити лепо распоређени на одређени број језгара и извршавати се паралелно.

Како се могу користити процеси за манипулисање надолазећим конекцијама?

```
var server = new ServerSocket("127.0.0.1", 0);
while(true) {
  server.spawnAccept((Socket socket){
        //izvrsava se u novom procesu
        socket.send(UTF.encode("Hello"));
        socket.close();
  })
}
```

Креира се ServerSocket који представља сервер, затим се помоћу метода spawnAccept креира нови процес. У оквиру тог процеса се чека да клијент успостави конекцију са сервером, и самим тим блокира даље извршавање док се конекција не успостави. При успостављању конекције, клијент(socket) шаље серверу(server) поздравну поруку.

4. Комуникација

Комуникација између процеса се обавља слањем порука, помоћу канала и портова. Канал представља један ред порука. Порт представља могућност слања поруке каналу, и без приступа одређеном порту, не може се слати порука каналу који чека на другој страни порта.

Блокирање слањем порука:

```
final channel = new Channel();
final port = new Port(channel);
Process.spawn(() {
        int i=0;
```

```
        while(i < 50) {
                port.send(i++);
        }
});
while(true) {
        print(channel.receive());
}
```

Један процес који шаље поруке, и функција print која блокира извршавање све док не прими следећу поруку.

5. Дељено непроменљиво стање између процеса

   a) Сваки непроменљиви објекат се може слати као порука, без копирања

   b) Више процеса могу користити исти објекат истовремено

   c) Нема потребе за експлицитним примитивама за синхронизацију

6. Изолате

   Изолате су независни воркери, свака изолата има своју хип меморију, и за разлику од нити нема дељења меморије између изолата. Изолате комуницирају само преко порука. Могу се паузирати, наставити и убити.

```
main() {
  Expect.equals(1597, fib(16));
  Expect.equals(4181, fib(18));
}

fib(n) {
  if (n <= 1) return 1;
  var n1 = Isolate.spawn(() => fib(n - 1));
  var n2 = Isolate.spawn(() => fib(n - 2));
  return n1.join() + n2.join();
}
```

Пример употребе изолата за рачунање елемената Фибоначијевог низа, рекурзивно, покретањем две независне изолате.

7. Влакна

   Влакна представљају нити извршавања у оквиру једног процеса, које деле спољну меморију, али не деле непроменљиву меморију. Омогућују да више независних нити једног процеса могу чекати на исту ствар(блокирати) независно једна од друге. На овај начин се имплементира вишеструка одвојена контрола тока.

```
void publishOnChange(Socket socket, String propertyName, Channel input){
  int last = 0;
  while(true){
    int current = input.receive();
    if(current != last)
      socket.send(UTF.encode('("\$propertyName": \$current)'));
    last = current;

  }
}

Fiber.fork(() => publishOnChange(server, "temperature", temperatureSensor));
Fiber.fork(() => publishOnChange(server, "humidity", humiditySensor));
```

   Креирамо два влакна, у оквиру једног се чека на промену вредности у сензору за температуру, док се у оквиру другог чека на промену вредности у сензору за влажност ваздуха. Функција publishOnChange блокира извршавање док се у сензору за који је позвана не деси промена вредности. На овај начин је омогућено да се у оквиру једног процеса чека на више ствари, и нема паралелизма, већ се уколико дође до блокирања у једном влакну, прелази на извршавање следећег који је спреман за извршавање.

8. Корутине

   Дартино има уграђену подршку за корутине. Корутине су објекти налик на функције, које могу давати више вредности, па су веома сличне генераторима. Када корутина врати вредност, зауставља се на тренутној позицији, а њен стек извршавања се чува за касније покретање. Када врати последњу вредност, сматра се завршеном, и више се не може покретати.

   Пример употребе корутина:

```
var co = new Coroutine((x) {
    Expect.isTrue(co.isRunning);
    Expect.equals(1, x);
    Expect.equals(2, Coroutine.yield(4));
    Expect.isTrue(co.isRunning);
});
Expect.isTrue(co.isSuspended);
Expect.equals(4, co(1));
Expect.isTrue(co.isSuspended);
Expect.isNull(co(2));
Expect.isTrue(co.isDone);
```

9. Динамичко отпремање метода

   Динамичко отпремање метода се односи на позивање преклопљених метода класа, при чему се проблем преклапања разрешава у фази превођења, а не у фази извршавања. Табела отпремања се имплементира као низ, у који се сваки метод, сваке класе, смешта на своју позицију. Позиција метода се рачуна помоћу редног броја класе и позиције метода. Оно што је неопходно при добијању одређеног метода из табеле је провера да ли је резултат заправо оно што нам треба. Уколико није, значи да тражении метод одређене класе не постоји. Загарантовано је константно време отпремања, и табела отпремања се израчунава пре извршавања, па представља део апликације. Пример прављења табеле отпремања:

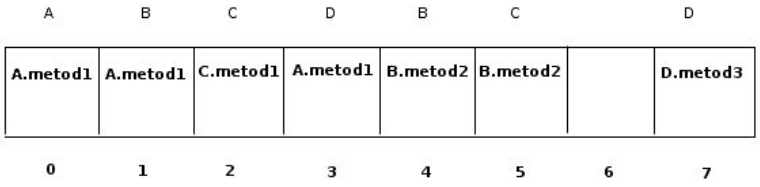
```
class A {
  metod1();
}

class B extends A {
  metod2();
}

class C extends B {
  metod1();
}
```

```
class D extends A {
  metod3();
}
```

Класама редом придружимо бројеве: 0, 1, 2 и 3. Методима придружимо позиције на мало компликованији начин. Метод metod1, који је дефинисан у највећем броју класа, придружимо позицију 0, и он се смешта на почетак табеле. Методу metod2 придружимо позицију 3, и методу metod3 придружимо 4. Позиције морају бити јединствени бројеви, како не би дошло до преклапања метода. Приметимо да се могу појавити празне позиције у табели.



Слика 4.3: Табела отпремања за дати пример

4.4 Најзначајније библиотеке

1. file - АПИ за рад са датотекама. Подржано само када се Дартино извршава на ПОСИКС платформи.

2. ffi - 'foreign function interface' библиотека која омогућава да се из Дарт кода позивају функције дефинисане у неком другом програмском језику, нпр. функције програмског језика C.

3. http - Имплементација HTTP клијента.

4. mbedtls - TLS подршка, базирана на mbedtls. Ово се може користити на исти начин као нормални сокет (и да се прослеђује HTTP пакету).

5. mqtt - MQTT клијентска библиотека за MQTT протокол, IOT протокол за размену порука заснован на објављивању/претплати.

6. os - Приступ оперативтивном систему. Подржано када се Дартино извршава на ПОСИКС платформи.

7. socket - Дартино имплементација TCP и UDP сокета

8. stm32 - Подршка за STM32 плоче.

4.5 Покретање Дарт програма помоћу Дартино ВМ

Примарни начин за комуникацију са Дартино виртуелном машином је преко команде dartino. Ова команда комуницира са трајним(persistent) процесом, који ради сав тежи посао. Помоћу трајног процеса(dart) dartino компајлира програм, а помоћу Дартино виртуелне машине (dartino-vm) извршава и дебагује програме .

Нешто више о командама које се користе при покретању програма:

1. dartino
   Ова команда је Ц++ програм. Намера је била да буде што једноставнији програм који једноставно прослеђује стандардне улазно/излазне сигнале трајном процесу преко сокета. Ово је мали извршни фајл за покретање компилатора. Компилатор је написан у Дарту и извршава се у оквиру Дарт виртуелне машине.

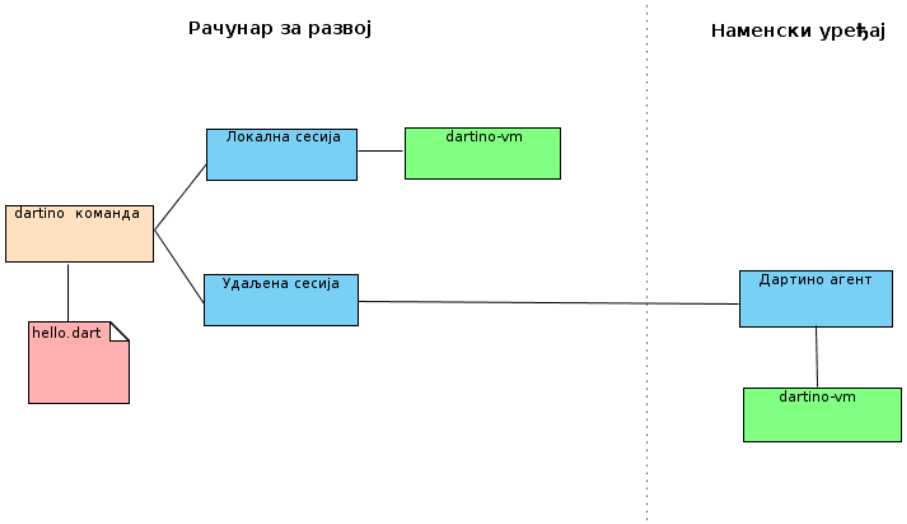
2. dartino-vm
   Самостална виртуелна машина која подржава превођење програма и покретање програма из бајткода.

3. dart
   Трајни процес је Дарт програм: Класична Дарт виртуелна машина за покретање компилатора. Овај извршни фајл се не генерише у оквиру Дартина, већ је део Дарта. Трајни процес се састоји из главне нити, и неколико воркера. Главна нит ослушкује надолазеће конекције из дартино команде, и може да користи воркере да обави тражени задатак.

Шта се заправо дешава када се покрене команда „dartino run hello.dart”? Дартино је подразумевано повезан на локалну сесију, која је повезана на ло-

калну виртуелну машину која ради на нашем рачунару. „dartino" преводи код до бајткода, а онда га прослеђује „dartino-vm" која га извршава. Дартино виртуелна машина враћа резултат назад Дартину, и он га приказује.

Дартино подржава више сесија. Свака сесија може бити придружена различитој Дартино виртуелној машини, што омогућује кориснику да тестира више различитих уређаја истовремено. Тренутно је руковање сесијама експлицитно.



Слика 4.4: Процес извршавања програма

Покретање програма у оквиру одређене сесије је омогућено на следећи начин:

```
./out/DebugXMIPS/dartino create session my_session
```

Креирање нове сесије „my_session".

Након тога морамо да покренемо дартино виртуелну машину:

```
./out/DebugXMIPS/dartino-vm
```

Након чега се исписује порука типа „Waiting for compiler on 127.0.0.1:61745". 61745 представља рандом генерисани порт.

У новом терминалу се прикачимо на дати сокет:

```
./out/DebugXMIPS/dartino attach tcp_socket 127.0.0.1:61745 in session my_session
```

А затим покренемо жељени програм у оквиру те сесије:

```
./out/DebugXMIPS/dartino run hello.dart in session my_session
```

Сесија се прекида помоћу следеће команде:

```
./out/DebugXMIPS/dartino x-end session my_session
```

Глава 5

Имплементација интерпретатора за платформу МИПС

5.1 Имплементација у програмском језику Ц++

5.2 Нумерички алгоритам у програмском језику Дарт

Глава 6

Закључак

Библиографија

[1] Yuri Gurevich and Saharon Shelah. Expected computation time for Hamiltonian path problem. *SIAM Journal on Computing*, 16:486–502, 1987.

[2] Petar Petrović and Mika Mikić. Naučni rad. In Miloje Milojević, editor, *Konferencija iz matematike i računarstva*, 2015.