

Универзитет у Крагујевцу
Факултет инжењерских наука



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Информатика у инжењерству

Предмет: Архитектура рачунарских система

Број индекса: 722/2011

Борко С. Јовић
ARM процесори
завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. др Јасна Радуловић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да проучи препоручену, као и ширу литературу која се односи на ARM архитектуру процесора. На бази усвојеног знања кандидат треба да обради типове ARM процесора, објасни њихове карактеристике и архитектуру као и да наведе најкоришћеније ARM процесоре.

Препоручена литература:

- [1] Миле Стојчев, П. Кртолица, "Рачунарски системи", Природно математички факултет Ниш, Ниш 2005.
- [2] Миле Стојчев, студенти: Александар Младеновић, Давор Дејковић, Бојан Павловић, Милош Миленковић, Семинарски рад "ARM7 процесор", Ниш, октобар 2006.
- [3] William Stallings, Computer Organization and Architecture, Prentice Hall, New Jersey, 2003.

Крагујевац, датум

ментор:
др Јасна Радуловић

Резиме рада :

У овом раду је описана архитектура ARM процесора, од прве генерације па до најсавременијих, који имају потенцијал да се даље развијају. Архитектура ARM микропроцесора дозвољава израду малих имплементација, али са високим перформансама уз малу потрошњу енергије, као што су већина савремених мобилних телефона и многих других уређаја базираних на ARM - у, што чини ARM најраспрострањенијом фамилијом 32 - битних микропроцесора на свету. У овом раду су дефинисани неки основни појмови архитектуре ARM процесора, њихова подела и примена.

Кључне речи: ARM процесор, ARM архитектура процесора, језгро процесора.

Summary of work:

This work describes the architecture of ARM processors, from the first generation to the latest versions of it, which have the potential for further development. ARM microprocessor architecture allows the creation of small implementation, with high performance and low power consumption, such as most modern mobile phones and many other devices based on ARM, which makes ARM the most commonly used family of 32 - bit microprocessors in the world. This work defines some basic concepts of architecture ARM processors, their classification and application.

Key words: ARM processor, ARM processor architecture, the processor core.

Садржај

1. Увод	5
2. ARM процесори	8
2.1 Класични ARM процесори	11
2.2 Специјалистички ARM процесори	12
2.3 Уградни ARM Cortex процесори (Embedded)	13
2.4 Cortex ARM апликација процесори	13
3. Организација и имплементација ARM - а.....	15
3.1 Тростепена проточна ARM организација	16
3.2 Петостепени ARM процесор.....	17
4. ARM7TDMI архитектура	20
4.1 Thumb концепт.....	20
5. ARM8TDMI процесори	23
6. ARM9TDMI процесори	25
7. ARM11 процесор	26
8. Cortex - M0 + CPU процесори.....	27
9. Cortex A7 процесор	29
10. Cortex A8 процесор	31
11. Cortex A9 процесор	33
11.1 Nvidia Tegra 2 - напредна ARM Cortex A9 архитектура	37
11.2 Nvidia Tegra 3 - први четворојезгрени мобилни процесор	40
12. ARM четворојезгрени процесор "Cortex - A15 MP4"	42
13. Закључак	44
14. Литература	45

1. Увод

Процесор (микропроцесор, μP) је електронска компонента направљена од минијатурних транзистора на једном чипу (полупроводничком интегралном склопу). Централни процесор је срце сваког рачунара, иако централни процесор (CPU - central processing unit) није једини процесор, такође процесор има и графичка картица (GPU - graphics card processing unit), звучна картица и многи други делови, али под именом процесор најчешће се мисли на централни процесор.

Сваки процесор споља изгледа веома једноставно, али, он је у својој унутрашњости јако комплексан, јер се ради о стотинама милиона транзистора који су смештени у једном чипу. Први пут такво нешто је успело 1971. када је направљен први Intel 4004 процесор, који је додуше могао само сабирати и одузимати, али су научници по први пут успели да у један чип сместе силна интегрисана кола и транзисторе, што је дало подстицај за даљи развој процесора који су тим напретком почели да троше много мање електричне енергије [1].

Архитектуру процесора карактеришу: програмски доступни регистри, типови података, формат инструкција, начини адресирања, скуп инструкција и механизам прекида.

Програмски доступни регистри процесора су регистри у које је, и из којих је, могуће програмском путем (извршавањем инструкција процесора) или уписивати вредности или читавати вредности.

Типови података представљају различите начине представљања података бинарним речима.

Најчешће коришћени типови података су целобројне величине, величине у покретном зарезу, алфанумерички низ и нумерички низ.

Форматом инструкције се специфицирају три врсте информација неопходне за извршавање инструкција и то:

- операција и тип податка,
- изворишни и одредишни операнди и
- следећа инструкција.

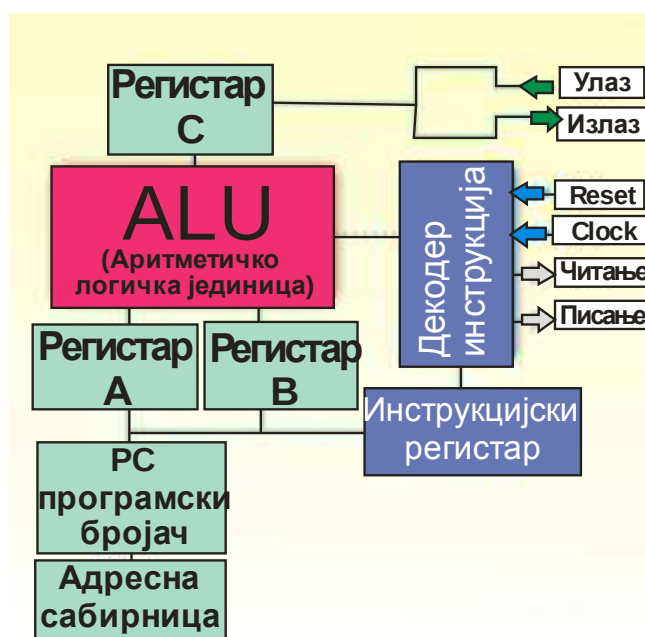
Начини адресирања одређују да ли је операнд садржај неке меморијске локације, неког од регистара података или регистара опште намене процесора или непосредна величина у самој инструкцији.

Скуп инструкција специфицира операције које могу да се извршавају у процесору. Скуп инструкција чине стандардне инструкције и нестандартне инструкције.

Механизам прекида код процесора омогућује прекид у извршавању текућег програма, који ће се називати главни програм, и скок на нови програм, који ће се називати прекидна рутина.

Процесор обрађује и извршава машински (бинарни) код који му говори “шта треба да ради”. Једини разумљиви језик процесору је асемблерски језик. CPU ради три основне ствари:

- помоћу аритметичко логичке јединице (ALU - arithmetic Logic Unit) процесор је у могућности да изводи основне математичке операције (сабирање, одузимање, множење и дељење). Модерни процесори су у могућности да обављају и јако компликоване операције,
- процесор пребацује податке са једног меморијског места на други и сходно наредбама, процесор може скочити на нови сет инструкција.



Слика 1. Шематски приказ најједноставнијег процесора [1]

На слици је показан најједноставнији могући процесор, и ради се о веома компликованом делу рачунара (ако не и најкомпликованијем). Главни делови су:

- аритметичко логичка јединица - део задужен за све математичке калкулације,
- регистри - основна јединица регистра је flip - flop,
- програмски бројач (PC - program counter) део задужен за бројање, сходно наредби он повећава вредност за 1, или је ресетује на 0,
- инструкцијски регистар и декодер инструкција су делови који контролишу све остале делове процесора.

После обраде података, адресна сабирница шаље адресу меморији, док се кроз улаз и излаз добијају подаци из меморије. Читање и писање се односи на адресирану меморију, када процесор жели, reset поставља program counter на 0.

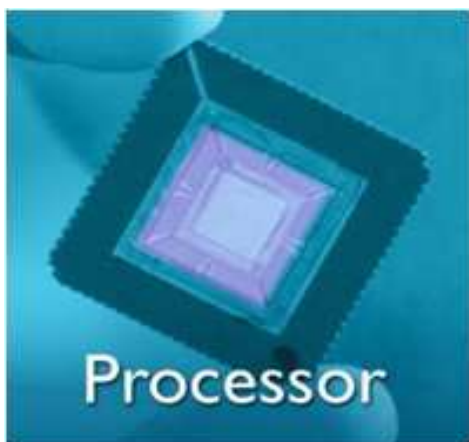
Процесор ради у тесној сарадњи са рам меморијом (RAM - ram memory), тј. процесор адресира сваки податак који иде у меморију. RAM меморија је веома брза и сви подаци у њој су брзо доступни, због тога је битно имати што више меморије јер CPU онда може адресирати много више података [1].

2. ARM процесори

ARM је скраћеница од Advanced RISC (Reduced Instruction Set Computer), Machines настао новембра 1990. - е, од Acorn Computers који је основан десетак година раније. Њихова језгра чине основу највећег дела апликација процесора који се могу наћи на тржишту.

Компанија је деведесетих година на тржиште избацила први јефтини RISC процесор, за који су лиценце убрзо почели да купују многе велике фирме као што су: NEC, Sharp i Cirrus Logica, да би до данашњих дана 19 од 20 највећих произвођача чипова у неком од својих процесора имали за основу неко од ARM језгара. Стабилност ARM језгра довела је до тога да, готово да нема области потрошачке електронике, где у неком од примењених процесора у позадини не лежи ARM архитектура.

Архитектура ARM микропроцесора дозвољава израду малих имплементација, али са високим перформансама уз малу потрошњу енергије. Ниска потрошња струје ове процесоре чини посебно погодним за коришћење у преносивим уређајима. Заправо, већина савремених мобилних телефона као и многих других уређаја је базирана на ARM - у, што чини ARM најраспрострањенијом фамилијом 32 - битних микропроцесора на свету.

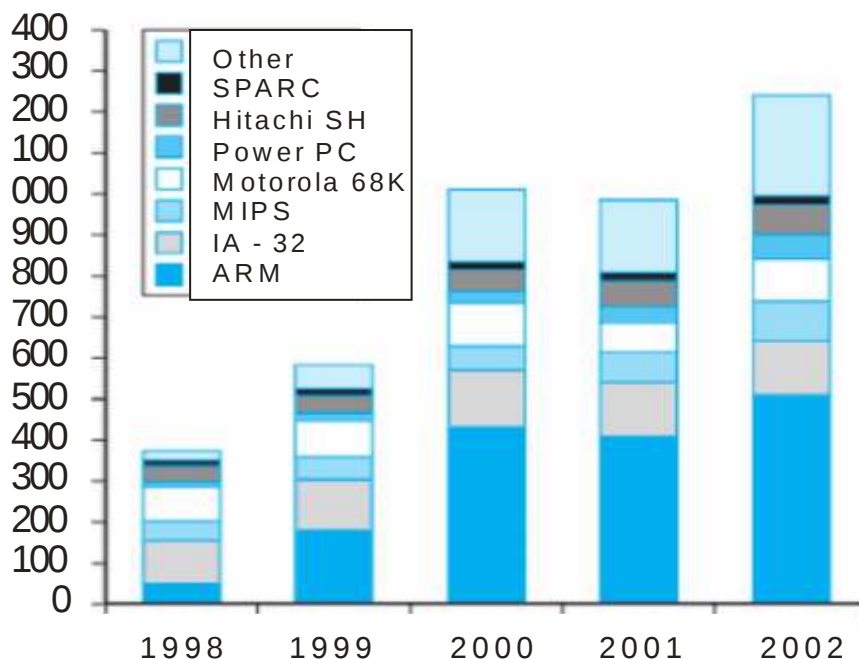


Слика 2. Изглед ARM процесора [2]

Такође, ARM RISC језгра имају веома квалитетан и међусобно, врло сличан скуп инструкција, постоји широка скала језгара намењених најразличитијим стварима, а од стране ARM - а су изузетно добро подржана развојним алатима.

ARM је линија 32 - битних микропроцесора које развија компанија ARM Holdings још од осамдесетих година двадесетог века под именима Advanced RISC Machine или Acorn RISC Machine. ARM процесори користе скраћени скуп инструкција (Reduced Instructions Set, RISC) што им омогућава солидне перформансе у малом паковању и малу потрошњу енергије. Те њихове главне карактеристике омогућиле су им огроман комерцијални успех па се сваке године произведе више од 2,5 милијарди различитих изведби ARM процесора.

На следећој слици је приказано повећање производње ARM процесора: у периоду од 1998. па до 2002. године.



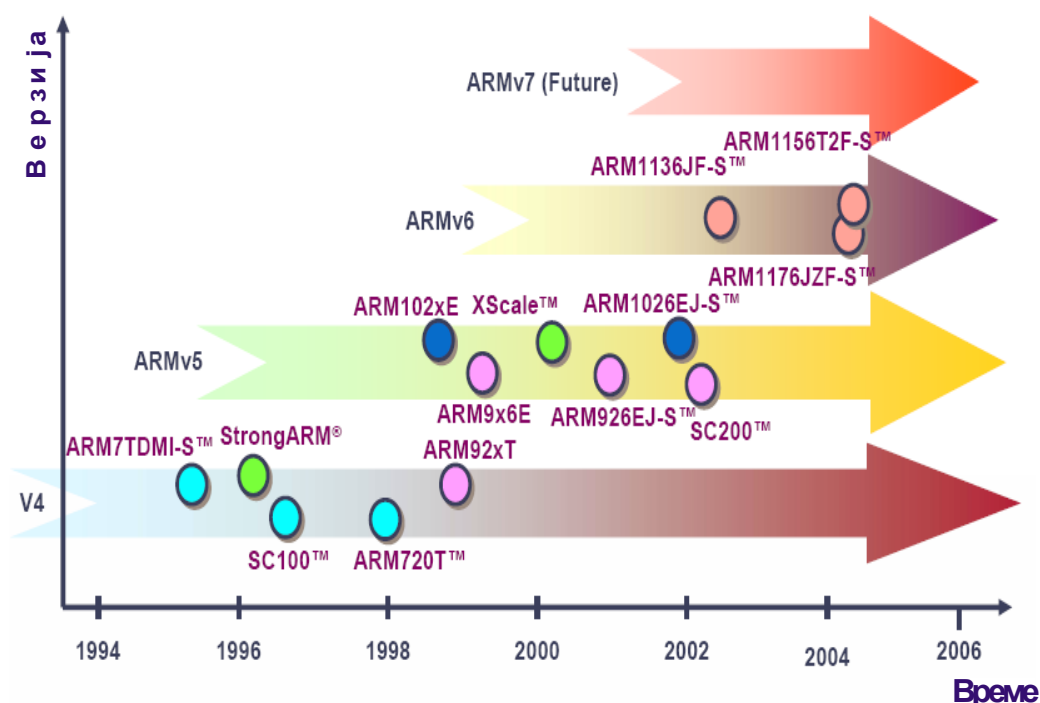
Слика 3. Приказ повећања производње ARM процесора [2]

Током 2005. године више од 98 % продатих мобилних телефона садржавало је најмање један ARM микропроцесор или микроконтролер. Осим у мобилним

телефонима, ARM процесори се користе у широком распону електричних уређаја, као на пример: штампачима, мрежним усмеривачима, калкулаторима, конзолама за игре, телевизорима, дигиталним репродукторима итд.

Компанија ARM Holdings бави се само дизајнирањем микропроцесора, а не и њиховом производњом. Заинтересоване компаније лиценцирају одређену изведбу и количину процесора и затим наручују њихову производњу код трећих компанија које се баве само производњом чипова. Осим лиценцирања готовог процесора, заинтересоване компаније могу лиценцирати и конструкционе шеме које даље развијају и производе сопствене, изведене варијанте процесора.

Ова поменута компанија је развила неколико породица процесора од којих су најпознатији ARM7 (класични процесори опште намене), ARM9 (популарни процесори засновани на архитектури у ARMv5), ARM11 (перформансни процесори засновани на архитектури ARMv6) и Cortex A7, Cortex A8, Cortex A9 и Cortex A15 [2].



Слика 4. ARM - ове фамилије процесора [3]

ARM језгра су представљена следећом табелом:

Табела 1. ARM језгра [3]

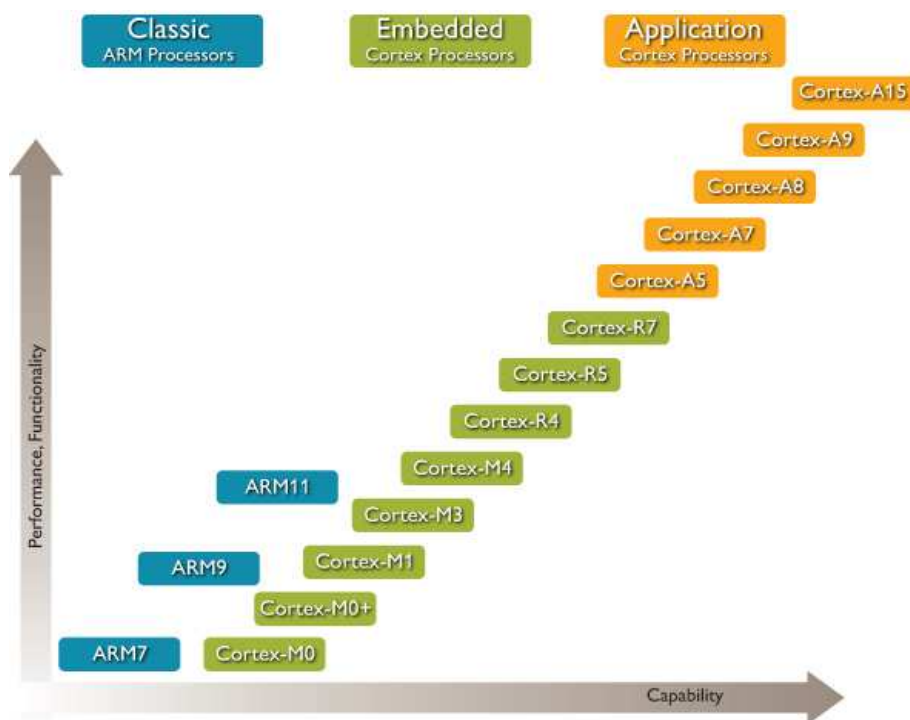
Архитектура	Породица
ARMv1	ARM1
ARMv2	ARM2 , ARM3
ARMv3	ARM6, ARM7
ARMv4	Strong ARM , ARM7TDMI , ARM9 TDMI
ARMv5	ARM7EJ , ARM9E , ARM10E , Ksscale
ARMv6	ARM11 , ARM Cortex - M
ARMv7	ARM Cortex - A, ARM Cortex - M , ARM Cortex - R
ARMv8	Нема још доступних језгара. Подржаваће 64 - битне податке и адресирање

2.1 Класични ARM процесори

ARM7 серија - класични процесори опште намене,

ARM9 серија - популарни процесори засновани на архитектури ARMv5,

ARM11 серија - су перформансни процесори засновани на архитектури ARMv6.



Слика 5. Подела процесора [3]

Класични ARM процесори су идеални за организације које желе да искористе тржишту доказане технологије у новим апликацијама. Испоруком ових процесора тржишту, корисници на својим мобилним апаратима, рачунарима и другим уређајима добијају мноштво различитих функција, одличну ефикасност, као и широк спектар могућности у зависности од куповне моћи корисника.

2.2 Специјалистички ARM процесори

Специјалистички ARM процесори су дизајнирани да задовоље захтевне потребе специфичних тржишта. Secur Core процесори се користе у оквиру безбедносних тржишта за мобилне као и личне апликације и интегрише бројне технологије за детекцију и спречавање разноразних упада на исте. Пружа изванредне могућности.

Secur Core серија - процесори високе безбедности за апликације,
FPGA језгра (field programmable gate array core) - процесори за FPGA.

2.3 Уградни ARM Cortex процесори (Embedded)

Cortex уградни процесори (са својим микроконтролерима) су дизајнирани да својим апликацијама задовоље широк спектар различитих тржишта.

Cortex M серија - решења по питању финансија (приступачне цене).

То су процесори који су развијани првенствено за микроконтролер - домен, где постоји потреба за великом брзином. Сам прекид управљања повезан је са жељом да се и тада потроши што је могуће мање енергије.

Cortex R серија - изузетне перформансе за апликације у реалном времену.

То су процесори који су развијани за дубоко уграђене апликације у реалном времену, где се потреба за малом снагом и добром функционалношћу балансира изузетним перформансама и постојећим јаким платформама.

Апликације ових процесора укључују:

Cortex M серија:

- микроконтролери,
- комбиновано - сигнални уређаји,
- smart (паметни) сензори,
- аутомобилска електроника.

Cortex R серија:

- аутомобилски системи за погонска решења,
- mass storage контролер,
- умрежавања и штампања.

2.4 Cortex ARM - апликација процесори

Cortex серија - представља процесоре високих перформанси затворених оперативних система. Ови процесори пружају изузетне перформансе и до 2 GHz,

типичну фреквенцију напредних процесних чворова омогућавајући боље карактеристике следећим генерацијама мобилних интернет уређаја. Процесори су доступни у single - core и multi - core варијанти.

Укључују следеће апликације:

- паметни телефони,
- smartbook и netbook,
- eBook читаче,
- дигитална тв,
- home gateway,
- огроман низ додатних производа.

3. Организација и имплементација ARM - а

Организација језгра ARM процесора ARM6 и ARM7 се јако мало променила у односу на прве тромикронске процесоре у технологији развијене у Acorn - у између 1983. и 1985. Тростепени проточни систем (pipeline) који су ови процесори користили је постепено усавршаван, а технологија CMOS (CMOS - Complementary metal oxide semiconductor) процеса је знатно смањила величину чипова, па су се перформансе ових језгара драстично повећале. Основни принципи операција су остали углавном исти.

ARM архитектура је базирана на, већ поменути, RISC принципима који обезбеђују много једноставнији декодујући механизам и инструкцијски сет бољи него што га имају процесори базирани на типу процесора са великим скупом наредби CISC (Complex Instruction Set Computer) принципима. Ова једноставност садржана је у једном малом и јефтином чипу са великом брзином извршавања инструкција и врло брзим одзивом на прекид.

Од 1995. - е се појавило још пар нових ARM језгара која су имала далеко боље перформансе због увођења петостепене проточне обраде као и засебних меморија за инструкције и податке обично у форми раздвојених кеш меморија међусобно повезаних преко јединствене меморије за инструкције и податке.

Основне компоненте ARM - а су:

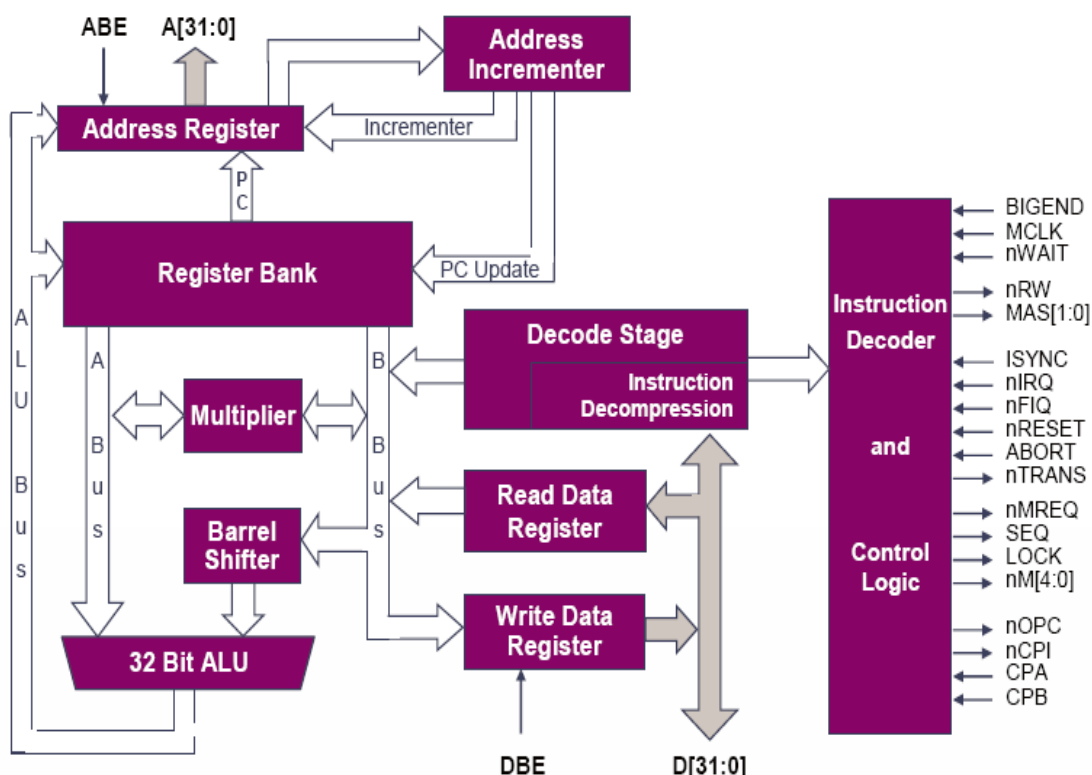
- Регистарска банка - користи се за чување стања процесора. Банка има два порта за читање и један порт за упис. Портови се могу користити за приступ било ком регистру. Постоји и додатни порт за читање и порт за упис којима се приступа регистру R15, програмском бројачу, што омогућава његово ажурирање након што се прибављена инструкција адресе инкрементира, док порт за читање обезбеђује да се настави са фазом прибављања након што је адреса издата.

- Barrel померач - може да помера или ротира било који операнд произвољан број бит позиција.
- ALU - обавља аритметичке и логичке функције из репертоара скупа наредби.
- Адресни регистар и инкрементер - селекује и чува све меморијске адресе и генерише секвенцијалне адресе када је то потребно.
- Регистри података - чувају податке који се преносе или добављају из меморије.
- Декодер инструкција и управљачка логика.

3.1 Тростепена проточна ARM организација

ARM процесори до верзије ARM7 користе тростепену проточну обраду код које се идентификују следећи степени:

- Fetch (прибављање) - инструкција се прибавља из меморије и смешта у инструкциони проточни систем.
- Decode (декодирање) - врши се декодирање инструкције, а управљачки сигнали стазе података се припремају за наредни циклус.
- Execute (извршење) - инструкција се извршава од стране стазе података, читају се садржаји регистарске банке, помера се операнд, резултат који генерише ALU се уписује у одредишни регистар.



Слика 6. Блок дијаграм ARM процесора (тростепена проточна обрада) [4]

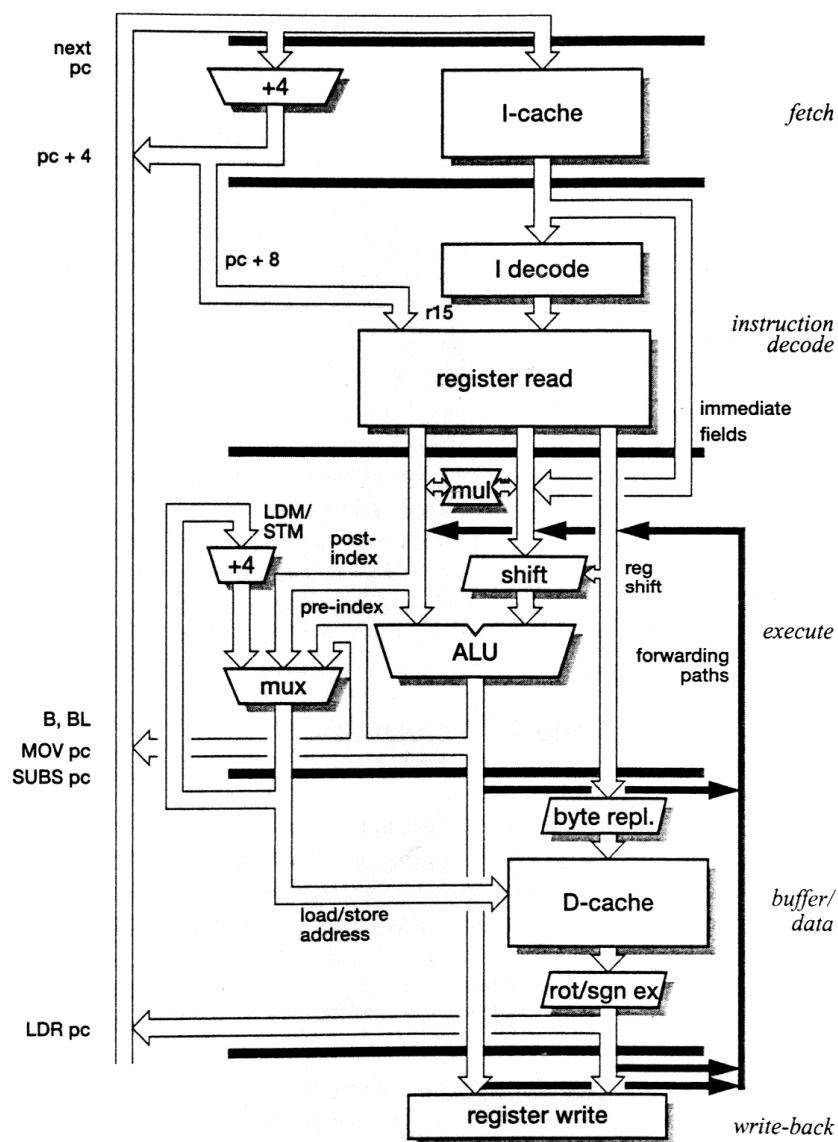
У датом тренутку, могуће је да се извршавају три инструкције, од којих се свака налази у различитом степену. Када процесор изводи једноставне инструкције за обраду података, проточни систем (pipeline) омогућава да се по једна инструкција изврши у сваком тактном циклусу. Једној инструкцији је потребно три тактна циклуса да би се извршила, тако да има кашњење од три циклуса.

Проточна архитектура је организована тако да сви делови процесора и меморијског система могу да функционишу у континуитету, типично - док се извршава једна инструкција, друга се декодује, а трећа се „извлачи“ из меморије.

3.2 Петостепени ARM процесор

ARM процесори се реализују и као петостепено - проточни. Код ових процесора постоје следећи степени:

- Fetch
- Decode
- Execute
- Buffer / data - приступа се меморији за податке када се то захтева од стране инструкције. Иначе ALU резултат се баферује и прослеђује се и следећем степену тактног циклуса.
- Write - back - резултати генерисани од стране инструкције уписују се у регистарско поље укључујући и податке који се добављају из меморије.



Слика 7. Структура петостепеног језгра ARM - а [4]

Овакав петостепени проточни систем коришћен је од стране великог броја RISC процесора и представља класично решење за овакав тип процесора.

ARM меморијски интерфејс је дизајниран да омогући високе перформансе без великих финансијских улагања у меморијски систем. Speed - critical контролни сигнали су тако повезани да обезбеђују имплементацију системских контролних функција у стандардној Low - power логици, што олакшава експлоатацију и брз приступ меморији коју нуди стандардни индустријски динамички RAM.

4. ARM7TDMI архитектура

ARM7TDMI је члан ARM породице 32 - битних микропроцесора, која нуди високе перформансе уз веома малу потрошњу енергије и малу цену. ARM7TDMI је процесор са тростепеном проточном архитектуром која се заснива на Von Neumann - овој load / store логици. Карактеристика ове архитектуре је да има само једну магистралу за податке (магистрала података) и за инструкције (адресна магистрала). CPU има два инструкцијска сета:

- ARM са 32 - битним инструкцијама - обезбеђују максималне перформансе и
- Thumb са 16 - битним инструкцијама - обезбеђују максималну компактност кода.

Инструкције оперишу са 8 - битним, 16 - битним и 32 - битним типовима података. CPU има седам оперативних модова од којих је сваки намењен посебном блоку регистара због брзог управљања изузецима. Укупно има 38: 32 - битних регистара, укључујући и 6 статусних.

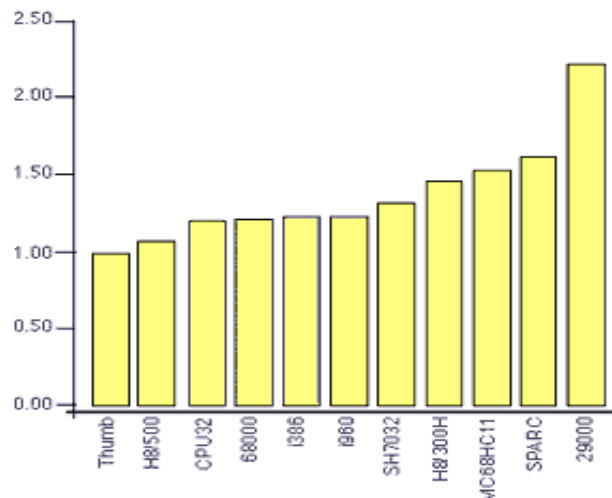
4.1 Thumb концепт

ARM7TDMI процесор „користи“ јединствену архитектуру познату као Thumb, што га чини идеалним за high - volume, захтевне апликације са меморијским рестрикцијама или за апликације где је компактност кода примарна.

Кључна ствар која се „крије“ иза Thumb концепта је супер - редукован инструкцијски сет. Наиме, ARM7TDMI процесор има два инструкцијска сета:

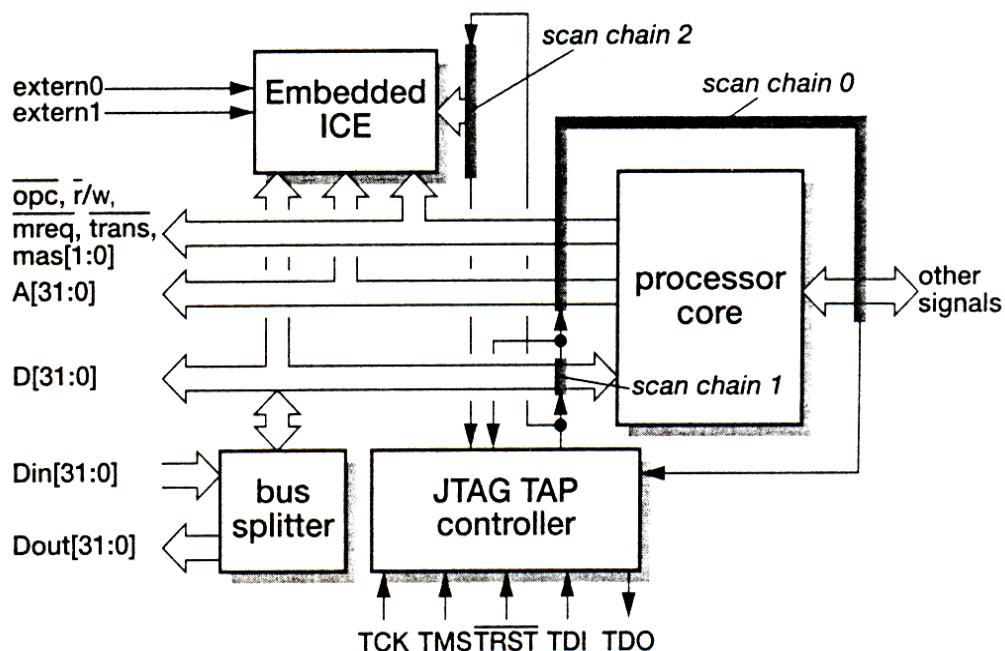
- стандардни ARM сет и
- 16 - битни Thumb сет.

Thumb 16 - битни инструкцијски сет допушта коришћење дупло „гушћег“ кода него што је стандардни ARM код, док задржава већину предности ARM перформанси над традиционалним 16 - битним процесорима који користе 16 - битне регистре.



Слика 8. Релативна величина кода [3]

ARM7TDMI има језгра са ослабијим перформансама. Користи се код великог броја апликација, а типична је она која се користи за мобилне дигиталне телефоне. Организација процесора ARM7TDMI је приказана на слици 9.



Слика 9. Организација процесора ARM7TDMI [4]

Језгро процесора чини ARM integer језгро које користи три проточна степена и са следећим проширењима:

- примењује и извршава ARM архитектуру верзије, 4Т са подршком која подржава 64 - битне резултате множења, операција Load и Store типа полуреч и један бајт, као и скуп инструкција Thumb.
- садржи EMbeddedICE модул који подржава отклањање грешака у програму код ambedet система.
- код отклањања грешака у хардверу приступ процесору се остварује преко JTAG порта за приступ, при чему је JTAG логика саставни део процесора.

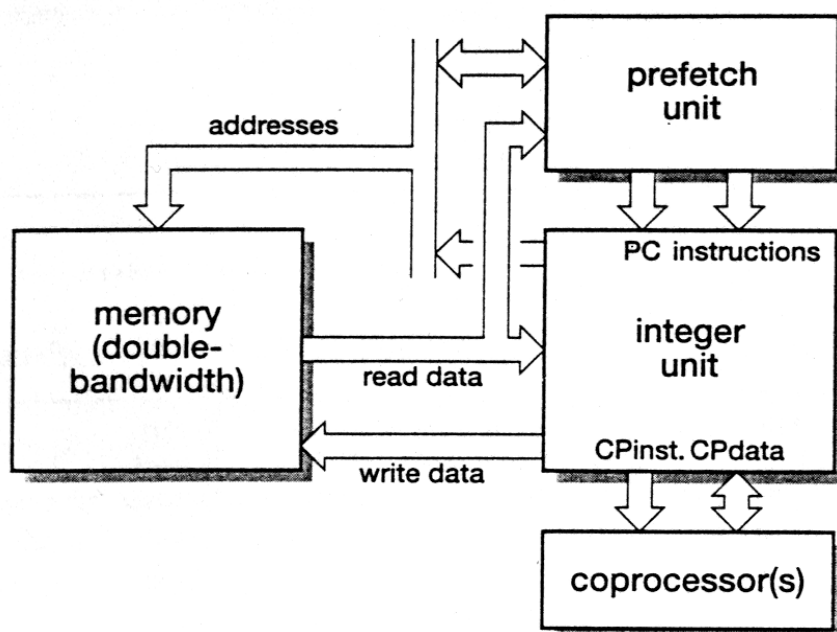
5. ARM8TDMI процесори

ARM8 језгро је настало у компанији ARM Limited у периоду између 1993. и 1996. како би испунило захтеве за ARM језгром које ће имати боље перформансе од оних које је постизало дотадашње ARM7 језгро. Данас су га наследила ARM9 и ARM10 језгра али је његов дизајн изазвао велико интересовање. Перформансе процесора су побољшане на следеће начине:

- повећавањем тактне фреквенције. Ово захтева поједностављење логике у сваком проточном степену што повлачи повећање броја проточних степена
- смањењем CPU тактних циклуса по инструкцији. Ово захтева смањење броја комуникационих канала које заузимају инструкције, или смањење зависности међу инструкцијама тако да оне не изазивају застоје у комуникационим каналима.

Најбоља је комбинација оба метода.

На слици 10. је дата организација ARM8 процесора:



Слика 10. Организација процесора ARM8 [4]

ARM8 процесор се састоји из јединице за прибављање инструкција и integer стазе података. Јединица за прибављање је задужена за прибављање инструкција из меморије и њихово баферовање у унапред задати редослед. Тај редослед мора омогућити максимално коришћење пропусног опсега меморије. Затим се integer јединици прослеђује по једна инструкција у сваком такту заједно са вредношћу програмског бројача за дату инструкцију. Јединица за прибављање је такође задужена за предикцију гранања, и користи статичко предвиђање код одређивања смера гранања (за гранања уназад се предвиђају, да ће се “десити”, док се гранања унапред предвиђају као “неће се десити”).

ARM процесор користи петостепену проточну обраду при чему јединица за унапред прибављање инструкција одговара првом степену проточне обраде док се integer јединици придружују остала 4 степена. Организацију ARM8 процесора чине следећи степени:

1. Instruction prefetch - унапред прибављање инструкције
2. Instruction decode and register read - декодирање инструкције и читање стања регистра
3. Execute (shift and ALU) - извршење (померање и ALU операција)
4. Data memory access - приступ меморији за податке
5. Write - back results - упис резултата

6. ARM9TDMI процесори

ARM9TDMI језгро поседује функционалност ARM7TDMI језгра али са значајно побољшаним перформансама. Попут ARM7TDMI језгра (а насупрот од ARM8), ово ново језгро подржава Thumb скуп инструкција и EmbeddedICE модул за подршку дебуговања на самом чипу. Побољшања у перформансама су остварена након прихватања петостепеног проточног система чиме се обезбедило повећање тактне фреквенције као и коришћење посебних меморијских портова за приступ инструкцијама и подацима.

ARM9TDMI језгро има одвојене портове за инструкције и податке. У основи је могуће повезати ове портове на јединствену меморију, али је последица тога смањење перформанси тако да се повезивање не изводи. ARM9TDMI се прави за веће радне фреквенције у поређењу са ARM7TDMI језгром, тако да све апликације које користе ARM9TDMI језгро имају сложеније и брже меморијске подсистеме. Максимална брзина такта коју ARM језгро може подржати је одређена најспоријом логичком путањом у било ком од комуникационих канала.

Ови процесори се примењују у:

- индустријској контроли,
- медицинским системима - контроли приступа,
- комуникационим скретницама, уграђеним модемима и
- у применама опште намене [4].

7. ARM11 процесор

ARM11 је 32 - битни RISC микропроцесор, породица која је увела ARMv6 архитектонске додатке. Ово укључује SIMD инструкције, медија мултипроцесорску подршку и нову архитектуру кеш. Имплементација укључује значајно побољшану обраду инструкција, у поређењу са претходним ARM9 и ARM10 процесорима. Најчешће се користе у smart “паметним” телефонима из Apple и Nokia итд. Почетна ARM11 језгра су почела да се производе крајем 2002. године.

ARM11 процесори су тренутно једини који имају ARMv6 - архитектуру језгра. Постоје, међутим ARMv6 - M језгра (Cortex - M0 и Cortex - M1). Ови процесори се користе за извршавање много захтевнијих апликација. У погледу сета инструкција, ARM11 се надовезује на претходне ARM9 процесоре. То обухвата све ARM926EJ - S карактеристике и додаје ARMv6 упутства за медијску подршку (SIMD) и убрзавање IRQ линија - одзив.

Побољшања у микроархитектури ARM11 језгра обухватају:

- SIMD инструкције које могу да удвоструче MPEG - 4, аудио и дигиталне обраде сигнала,
- кеш је обрађен чиме је решен проблем великог кеширања,
- подржан је мешовити приступ подацима,
- смањено загревање и мањи је ризик прегревања,
- EmbeddedICE модул је замењен са интерфејсом који је постао део ARMv7 архитектуре.

ARM језгра су интегрисана у више различитих дизајна, користећи различите синтезе логичких чипова алата и производних процеса, тако да је утицај његовог регистра за пренос на нивоу RTL и квалитет - увећан много пута [1].

8. Cortex - M0 + CPU процесори

ARM је најавио Cortex - M0 + CPU процесоре, за које тврди да је енергетски најефикаснији процесор на свету, пошто овај 32 - битни процесор користи само 9 μA / MHz и израђује се у low - cost 90 nm LP производном процесу. Поређења ради, то је само трећина енергије коју користе типични 8 - битни или 16 - битни процесори, а доноси и значајно увећање перформанси у односу на претходнике. Чип је намењен уређајима као што су кућни апарати, медицински системи, системи осветљења и контролери рада мотора, а у компанији наглашавају и да се ради о првом чипу који ће омогућити долазак појаве коју многи футуристи предвиђају, а то је Internet ствари ("the Internet of Things").



Слика 11. Cortex - M0 + CPU [3]

Постоје многе могућности коришћења приступачног чипа високих перформанси као што је нови Cortex. Нови CPU подржава single - cycle IO за убрзање GPIO приступа и приступање периферији, отклањање неисправности и могућности су

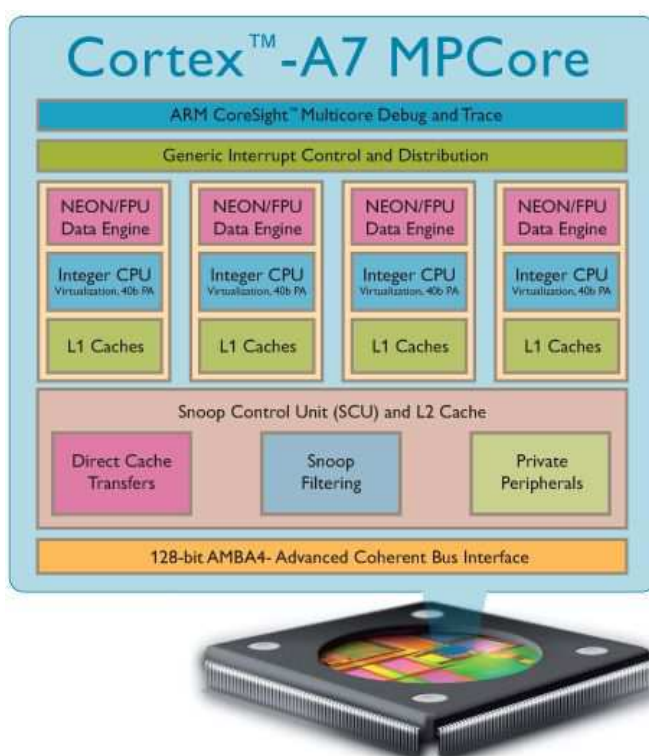
унапређене, а двостепени pipeline ће редуковати број циклуса по инструкцији и резултовати још нижом потрошњом електричне енергије.

Cortex - M0 + користи модел који је нарочито погодан за C програмски језик и одржава широку компатибилност са постојећом базом алатки за Cortex - M0 процесоре. Такође, компатибилан је са другим ARM софтвером за Cortex процесоре. Freescale i NXP Semiconductor су већ најавили да ће лиценцирати Cortex - M0 + CPU, а имајући у виду да је преко 50 компанија лиценцирало претходну генерацију ових процесора, за очекивати је да ће сличним путем кренути и пуно других компанија [6].

9. Cortex A7 процесор

ARM је представио дизајн процесора Cortex A7 који се одликују ниском потрошњом енергије и димензијама. Cortex A7 би требао бити пет пута енергетски ефикаснији од процесора Cortex A8 и имати 5 пута мању површину, односно само око 0,45 квадратних милиметара.

Процесор би се требао производити у 28 - нанометарском процесу, а радиће на тактовима до 1,2 GHz у једно и двојезгреним конфигурацијама, али неће моћи обрадити једнак број инструкција као јачи процесори попут Cortex A15. Биће у потпуности компатибилан, уназад са већ постојећим процесорима, а требао би омогућити израду "паметних" мобилних телефона који ће 2013. имати цену испод 100 долара, а имати перформансе садашњих "паметних" телефона којима је цена око 500 долара.

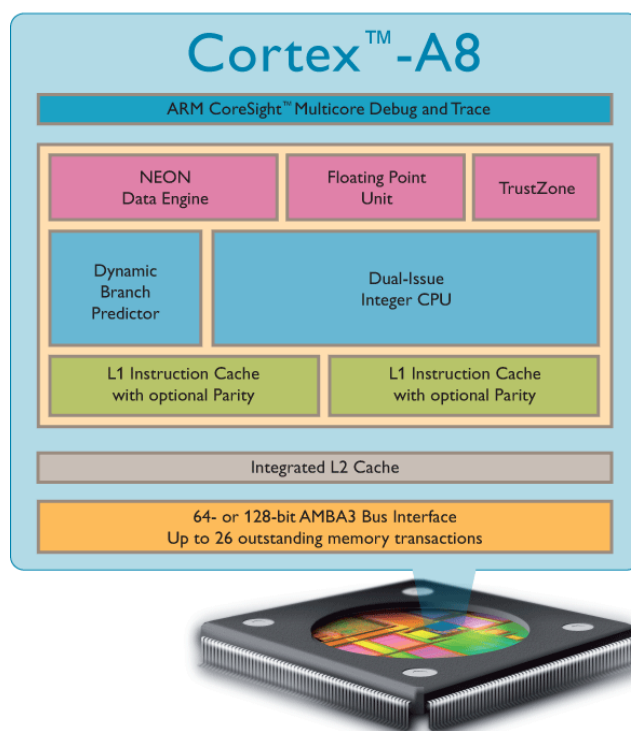


Слика 12. Cortex A7 процесор [7]

ARM је са Cortex A7 представио и свој концепт Big. Little према којем би уређаји попут "паметних" мобилних телефона имали два процесора. На пример, процесор заснован на језгру Cortex A7 би могао бити коришћен за основне "телефонске" задатке, док би Cortex A15 био задужен за захтевније задатке попут обраде видеа или игара. Према тврдњама из ARM - а на тај начин се могу осигурати уштеде до 70 % енергије у односу на садашње "паметне" телефоне који користе само један процесор високих перформанси [7].

10. Cortex A8 процесор

Cortex A8 је базиран на ARM 7 архитектури и има способност подешавања брзине од 600 MHz до 1 GHz. Овај процесор може да задовољи захтеве напајања оптимизованих мобилних уређаја којима је потребна за операције мање од 300 mW и оптимизованим перформансама апликација које захтевају 2000 Dhrystone MIPS.



Слика 13. Cortex A8 процесор [3]

Cortex A8 процесор је дизајниран да задовољи потребе тржишта које захтева високе перформансе уз ефикасно напајање и има примену код великог броја разних уређаја данас, од врхунских карактеристика мобилних телефона (укључује smartphone апликацију да процесор одлично функционише у оперативном систему мобилних телефона), до netbook - рачунара (снага netbook

Завршни рад - ARM процесори

- рачунара ефикасна у раду на радној површини оперативних система), честог интернет повезивања, DTVs, штампача, па све до аутомобилске индустрије.

Перформансе ових процесора су представљене у следећој табели:

Табела 2. Перформансе процесора Cortex A8 [3]

	65nm LP процес		65nm G+ процес	
	Оптимално	Синтезно	Оптимално	Синтезно
Фреквенција(MHz)	600	500	1 GHz	750
Услови фреквенције	at ss, 1.08v, 125 C		at SS, 0.9v, 125C	
Површина са L1 Кеш (mm2)	<4	<4	<4	<4
Кеш величина (I/D)	32K/32K	32K/32K	32K/32K	32K/32K

11. Cortex A9 процесор

Cortex - A9 процесор пружа изузетне могућности користећи мању снагу, са платформама високих перформанси. Њих одликују и следеће карактеристике:

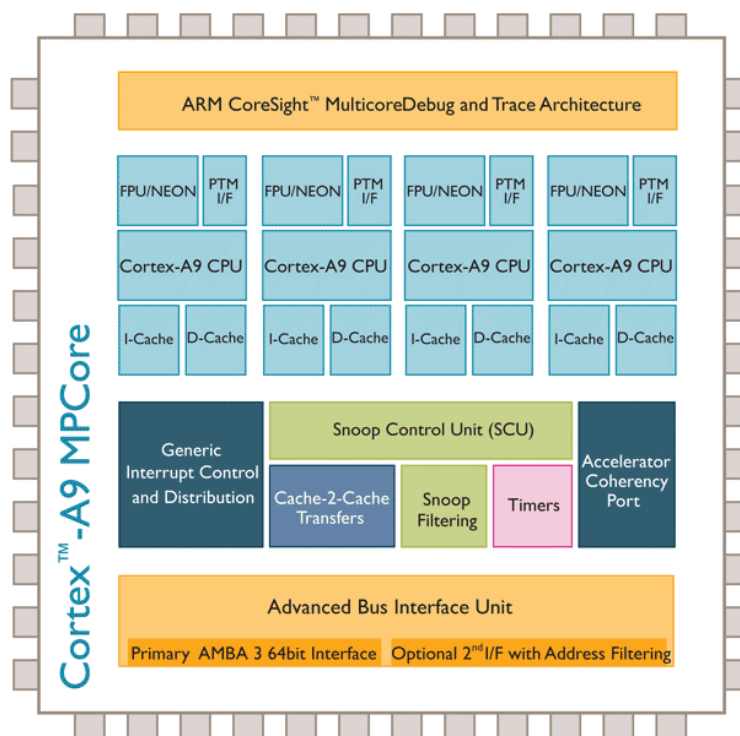
- Без премца - перформансе са 2 GHz
- Мале снаге, намењени су за Single Core имплементације у осетљивим уређајима
- Подесив - до четири језгра са напредном технологијом MPCore
- Опционо Neon медија и / или floating point обраду

Cortex - A9 процесори имају најбоље перформансе ARM процесора, који спроводе максималне могућности користећи широко подржану ARMv7 архитектуру. Дизајниран око најнапредније, високо - ефикасне динамичне архитектуре, ови процесори пружају сасвим нови ниво перформанси и енергетске ефикасности у функционисању, и због наведених карактеристика представљен је предводником најновијих производа ових процесора - преко широког спектра потрошача, умрежавања, предузећа и мобилних апликација.

Табела 3. Перформансе, снага и површина Cortex A9 процесора [3]

ARM Cortex - A9 Перформансе, снага и површина			
	Cortex - A9 Single core Меки Макро Имплементација	Cortex - A9 Dual core Тврди Макро Имплементација	
Процес	TSMC 65G	TSMC 40G	
Оптимизација модела	Перформансе Оптимизовано	Перформансе Оптимизовано	Снага Оптимизовано

ARM Cortex - A9 Перформансе, снага и површина			
	Cortex - A9 Single core Меки Макро Имплементација	Cortex - A9 Dual core Тврди Макро Имплементација	
Стандардна библиотека ћелија	ARM SC12	ARM SC12 + Високи перформанс комплет	ARM SC12 + Високи перформанс комплет
Перформансе укупно (DMIPS)	2,075 DMIPS	10.000 DMIPS	4.000 DMIPS
Фреквенција	830 MHz	2000 MHz (типично)	800 MHz (VC / SS)
Енергетска ефикасност (DMIPS / mV)	5.2	5.26	8.0
Укупна снага на циљној фреквенцији	0,4 V	1.9 V	0,5 V
Силиконска Површина	1,5 mm ² (не укључује кеш)	6.7 mm ² (укљ. L1 паритет DFT /DFM)	4,6 mm ² (укључујући све DFT /DFM)

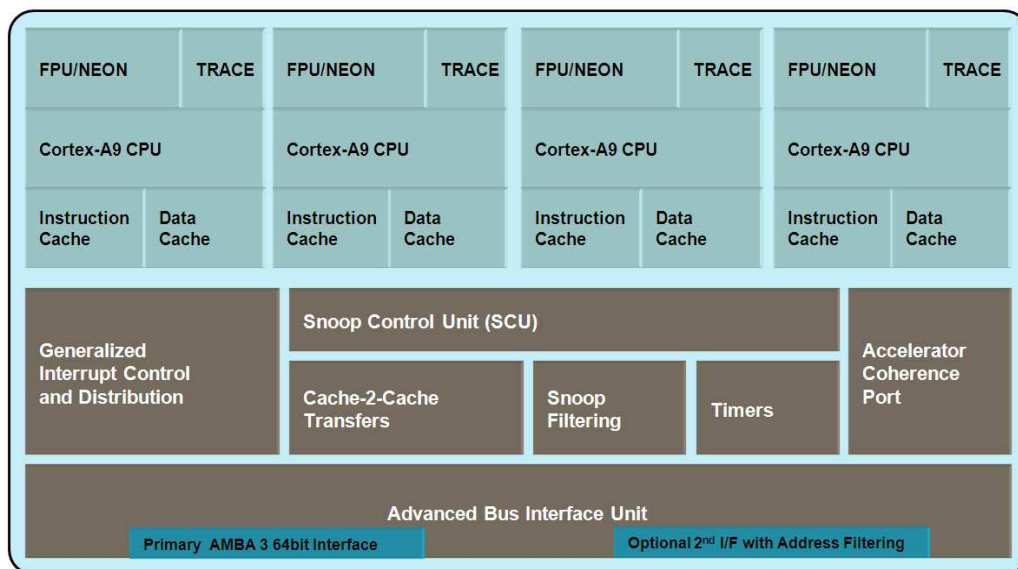


Слика 14. Cortex - A9 процесор [3]

Cortex - A9 процесори обезбеђују добро решење у широком спектру тржишта апликација из мобилних телефона па све до високих перформанси предузећа и потрошача производа делећи заједничке захтеве:

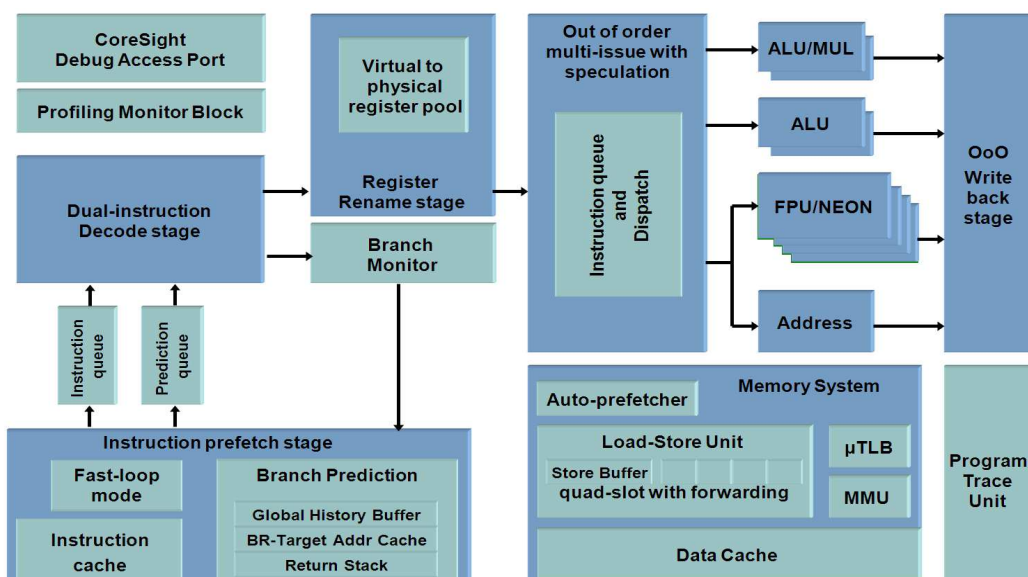
- повећана ефикасност напајања са високим перформансама за мању потрошњу енергије,
- повећана врхунским перформансама за најзахтевније апликације,
- способност поделе софтвера и алата преко више уређаја.

Cortex - A9 процесори се производе као multi core ili single core процесори.



Слика 15. Cortex - A9 процесор MPCore (Multi core) [3]

Cortex - A9 multicore процесор интегрише MPCore и веома је успешан по питању технолошких карактеристика. Овај процесор даје могућност проширења перформанси до високог нивоа, а такође подржава дизајн флексибилности, као и нове могућности да се даље смањује и контролише потрошња енергије на нивоу система и процесора. Cortex - A9 процесор MPCore такође нуди нове могућности мобилним уређајима побољшаних перформанси у односу на данашња решења.

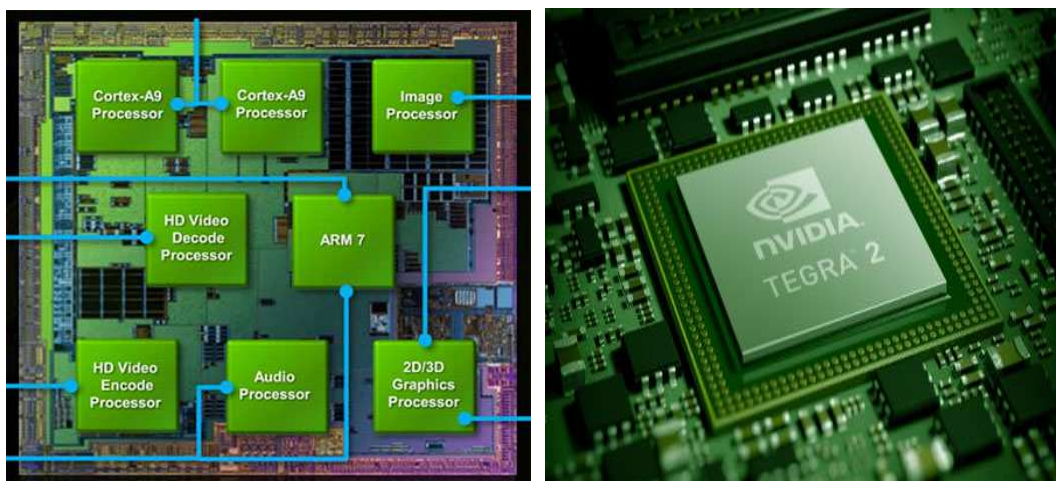


Слика 16. Cortex - A9 Single Core процесор [3]

Cortex - A9 Single Core процесор пружа невиђене нивое перформанси и енергетске ефикасности, што га чини идеалним решењем за било који дизајн који захтева високе перформансе мале снаге, а такође и коштају подношљиво. Користећи погодан проток и IP испоруку, Cortex A9 процесор пружа идеалну путању за надоградњу постојећих ARM11 - процесора на бази дизајна који захтева високе перформансе и повећане енергетске ефикасности, задржавајући компатибилно софтвер окружење [3].

11.1 Nvidia Tegra 2 - напредна ARM Cortex A9 архитектура

Nvidia Tegra 2 представља високо - оптимизовану верзију ARM Cortex A9 процесорске архитектуре, која пружа двоструко боље перформансе у односу на постојећу генерацију процесора који се уграђују у "паметне" телефоне. Технологија симетричног мулти процесирања и извршавања инструкција ван редоследа, омогућава кратко време учитавања Web страница, муњеви то брз приказ, те неподношљиву лакоћу и течан рад са мобилним телефонима изједначавајући их по перформансама са netbook преносним рачунарима [1].



Слика 17. Nvidia Tegra 2 [1]

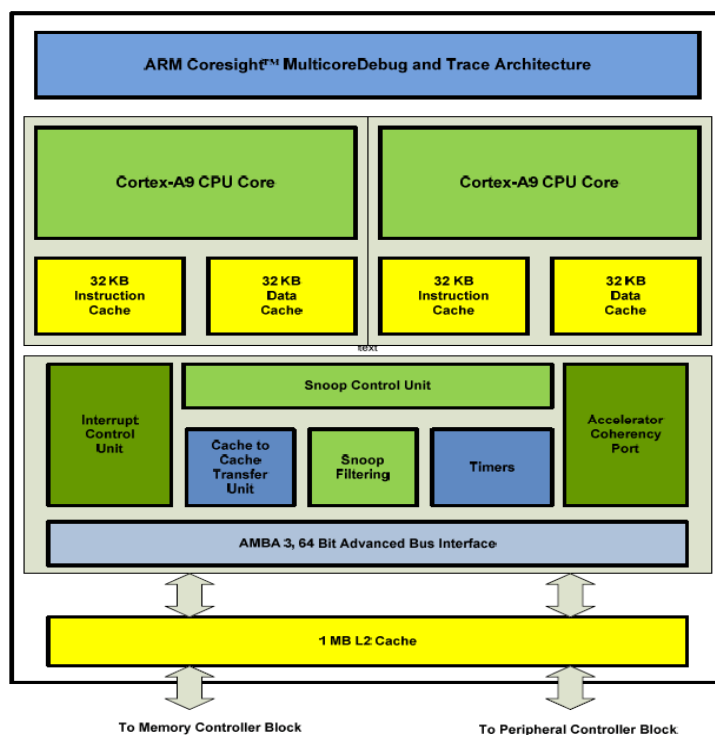
Cortex A9 архитектура користи ARMv7 сет инструкција и базирана је на извршавању инструкција ван редоследа у осам нивоа. Ови процесори обезбеђују

далеко боље перформансе у односу на претходну генерацију сличних производа остајући у лимитима потрошње енергије карактеристичним за ултра - мобилне уређаје. ARM Cortex A9 архитектура је еволуција претходне Cortex A8 генерације и при томе доноси неколико кључних унапређења по питању перформанси и могућности као на пример:

- Динамичке промене дужине јединице за извршење сложених инструкција у више корака. Суштина “Out of order” начина обраде је да се сложена инструкција разбија на више једноставних делова који се истовремено извршавају. При томе се не чека хронолошки ред извршења појединих упрошћених делова, већ обрада једног дела може започети пре него што се обрада претходног заврши. Тиме се значајно убрзава процес обраде а перформансе драстично расту захваљујући елиминисању кашњења. Претходна инструкција, Cortex A8 процесора је попут Intel Atom процесора имала језгро које извршава инструкције по редоследу. Извршење следеће почиње са претпоставком да се завршила обрада претходне операције. Када се од стране branch механизма, који предвиђа која ће се следећа операција извршити, погрешно и у кеш меморију учитају погрешни подаци, тада се читава операција враћа на почетак јер предстоји пражњење кеша и учитавање “исправних” података како би се инструкција извршила.
- Симулација извршења и структурно предвиђање. Ове напредне функције почивају на захтеву и могућностима централног процесора да истовремено изврши више инструкција. У неким случајевима резултати извршене инструкције не морају бити ресурс за извршење следеће, нарочито у случајевима када се извршење инструкција не ради по принципу неког редоследа. Процесори, као што су Cortex A8 серије и Intel Atom модела, задржавају могућност извршења следеће инструкције све док резултати претходне не буду познати [1].
- Двојезгено симетрично мултипроцесирање (SMP) је истовремено независно извршавање инструкција које омогућавају максималне перформансе када је то потребно, али исто тако потпуну уштеду енергије у случају када процесор није ангажован.

Завршни рад - ARM процесори

- 32 KB кеш меморије за инструкције и 32 KB кеш меморије за податке по језгру, при чему оба језгра деле 1 MB заједничке другостепене L2 кеш меморије. То је довољна количина кеша да се учита комплетна структура web странице како би се убрзао рад на интернету.
- Процесорска језгра су оптимизована за рад на фреквенцији од 1 GHz са могућношћу повећања радне фреквенције. Два процесорска језгра међусобно асистирају (захваљујући контролној логици) која усклађује њихов рад и истовремено управља радом кеш меморије коју заједнички деле оба CPU језгра. Напајање енергијом оба језгра се врши помоћу комплексног алгоритма који се обележава термином “Dynamic Voltage and frequency Scaling“, који је имплементиран како на хардверском тако и на софтверском нивоу како би се обезбедило да оба језгра раде на оптималном нивоу напона и фреквенције, при томе испоручујући захтевани ниво перформанси - а троше минимално могући ниво енергије. Следећи дијаграм показује архитектуру ARM двојезгреног Cortex A9 процесора на коме се базира Nvidia Tegra 2 процесор:

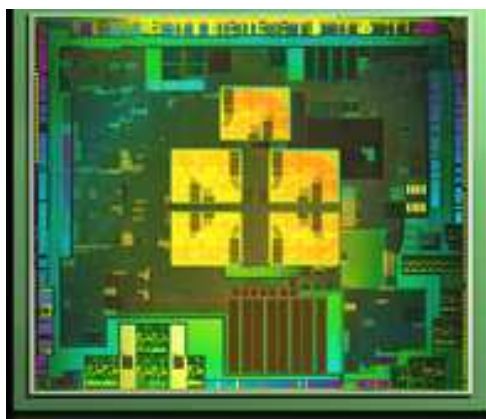
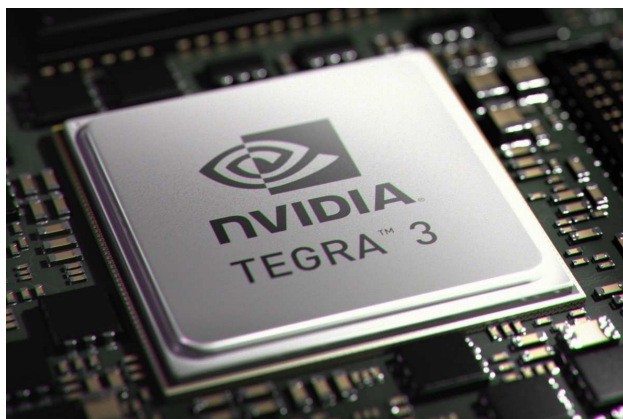


Слика 18. Шематски приказ [1]

11.2 Nvidia Tegra 3 - први четворојезгрени мобилни процесор

После све веће популарности и снажног раста продаје Tegra 2 - високоинтегрисаног процесора на бази ARM архитектуре, Nvidia је конструисала и направила ARM вишејезгрени процесор са снажним графичким језгром за мобилне телефоне и таблет уређаје. Масовна производња Tegra 3 процесора се очекује врло брзо.

Tegra 3 обећава и до пет пута боље перформансе у односу на постојећу генерацију Tegra 2 чипова. Осим унапређене архитектуре и додатног броја ARM Cortex A9 језгра, Nvidia доноси и побољшано графичко GeForce језгро са 12 извршних јединица које ће подржавати рад на ултра високим резолуцијама од 2500*1600 pixel - а, истовремено доносећи подршку за 3D визуелну технологију, што значи да ове могућности далеко превазилазе спецификације најнапреднијих мобилних телефона и рачунара.



Слика 19. Tegra 3 [1]

ARM је најавио нову архитектуру ARMv8, која би у наредним годинама могла бити значајније присутна у серверима и системима. Реч је о првој ARM архитектури са подршком за 64 - битне инструкције и са могућношћу адресирања знатно већих количина радне меморије у односу на актуалне 32 - битне верзије.

Компанија ARM је у октобру прошле године представила своју прву 64 - битну процесорску архитектуру ARMv8, која треба да омогући шире коришћење њених процесора у серверима и другој опреми за компаније. ARMv8 има 64 - битно адресирање, што је побољшање у односу на актуелну архитектуру ARMv7, чије је адресирање 40 - битно. Нова архитектура поставља ARM у много директније надметање са Intel - ом и његовим 64 - битним процесорима Xeon.

ARMv8, има два начина рада AArch32 са подршком за инструкцијски сет постојећих ARM чипова и AArch64 инструкцијски сет A64 за 64 - битне апликације. Архитектура ARMv8 има имплементиране и технологије TrustZone, подршку за виртуализацију, engine NEON и SIMD дизајн, као и постојећа архитектура ARMv7 [1].

ARM већ нуди нову архитектуру заинтересованима на лиценцирање, а компанија уско сарађује и са другим фирмама попут Nvidie и Microsofta за што бољу подршку и искоришћавање нових могућности на будућим системима. На конкретне производе засноване на ARMv8 чиповима ипак ћемо морати још мало причекати - ARM тек следеће године намерава објавити више детаља и о самим процесорима са ARMv8 архитектуром, док се први прототипови уређаја за пословни и потрошачки сегмент очекују тек 2014. године.

ARM - ови процесори се тренутно налазе углавном у "паметним" телефонима и табличним рачунарима, али интересовање за те штедљиве процесоре расте из дана у дан. ARM - ови процесори би могли да привуку и произвођаче сервера који се труде да понудом штедљивијих сервера сниже трошкове изградње центара за обраду података, у којима се налази велики број сервера. Компанија Hewlett - Packard већ испробава сервере са ARM - овим процесорима, док компанија Nvidia у центру за супер компјутере у Барселони експериментира са системом у коме се налази комбинација њених процесора Tegra 3 и графичких процесора [7].

12. ARM четворојезгрени процесор “Cortex - A15 MP4”

Компанија ARM је недавно представила свој нови четворојезгрени Cortex - A15 MP4 процесор, намењен за преносиве рачунаре, а ово парче хардвера хвале и боље перформансе од својих претходника, па је тако новом процесору омогућено ефикасније управљање потрошњом електричне енергије.



Слика 20. Cortex - A15 MP4 процесор [7]

За разлику од ранијих модела процесора ове компаније, који су дозвољавали измену архитектуре корисницима, то није случај и са последњим представљеним моделом који је у потпуности оптимизован. Наиме, Cortex - A15 MP4 је дизајниран да ради на 2 GHz, док се произвођачима рачунара и других рачунарски сродних уређаја нуди као једноставније решење [7].

Компанија ARM за свој нови процесор тврди да је бољи за сервере за разлику од свог претходника Cortex A9 из више разлога, а неки од њих су:

- подржава нижу потрошњу,
- открива грешке,
- боље карактеристике по питању повраћаја података и
- хардверска визуелизација.

С' обзиром да је ARM један од главних "играча" на тржишту процесора за "пааметне" телефоне и таблет рачунаре, претпоставља се да ће са својим новим чипом закорачити на ова тржишта, наравно, под условом да уређај као оперативни систем користи Windows 8 [7].

13. Закључак

ARM је деведесетих година прошлог века на тржиште избацио први јефтини RISC процесор. Од тада до данас, захваљујући јединственој архитектури, карактеристикама и могућности језгара као и малој потрошњи енергије истих, постају водећи произвођачи у овој области. Готово да нема области потрошачке електронике где у неком од примењених процесора у позадини не лежи ARM архитектура.

У већини досадашњих система, само централни процесори узимају огроман део енергије, често 40 одсто или више, а крајњи циљ је да се направе процесори који ће да омогуће дате перформансе, користећи 15 до 30 пута мање енергије.

Тајвански независни произвођач микро - процесора, компанија TSMC званично је објавила вест да је успешно окончала серију тестова чипова произведених 28 - nm производним поступком, базираних на ARM Cortex - A9 језгру при радној фреквенцији од 3.1 GHz. Нова генерација процесора високих перформанси намењени су преносним уређајима који захтевају високу радну фреквенцију и ниску потрошњу енергије. ARM процесори на 3.1 GHz са два језгра су дупло бржи од тренутних, dual - core решења на бази 40 - nm ARM технологије. Нова технологија се може применити у широком спектру производа различитих ценовних, брзинских и енергетских захтева, зависно од потреба циљног тржишта.

Са правом се може рећи да је ARM у свету процесора за мобилне телефоне, али и на многим другим тржиштима - владар из сенке.

14. Литература

- [1] Миле Стојчев, П. Кртолица, “Рачунарски системи”, Природно математички факултет Ниш, Ниш 2005.
- [2] Миле Стојчев, студенти: Александар Младеновић, Давор Дејковић, Бојан Павловић, Милош Миленковић, Семинарски рад “ARM7 процесор”, Ниш, октобар 2006.
- [3] William Stallings, Computer Organization and Architecture, Prentice Hall, New Jersey, 2003.
- [4] Александар Младеновић, Давор Дејковић, Бојан Павловић, Милош Миленковић - Семинарски рад “ARM7 процесор”, Ментор: проф. др. Миле Стојчев, Ниш, октобар 2006.
- [5] <http://hardware.benchmark.rs>, мај 2012.
- [6] <http://www.bug.hr>, јун 2012.
- [7] <http://www.mikro.rs>, мај - јун 2012.