

ენერგოეფექტურობა, როგორც პროცესორების განვითარების ძირითადი ტენდენცია

ალექსანდრე ბენაშვილი, თამაზ კუცია, გიორგი ბენაშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

რეზიუმე

განხილულია Core არქიტექტურის ძირითადი უპირატესობები netburst არქიტექტურასთან შედარებით. გაკეთებულია nehalem და sandy bridge პროცესორების შედარებითი ანალიზი წარმადობისა და ენერგომოხმარების კუთხით. გამოკვეთილია თანამედროვე ტენდენციები პროცესორების განვითარების სფეროში.

საკვანძო სიტყვები: პროცესორი. პროცესორის წარმადობა. პროცესორის ენერგომოხმარება.

1. შესავალი

ციფრული მოწყობილობებისთვის და კონკრეტულად პროცესორებისთვის უმნიშვნელოვანესი პარამეტრია მოხმარებული სიმძლავრე. სიმძლავრის პარამეტრი განსაკუთრებით შეზღუდული სიმძლავრეებისა და ელექტროენერჯის რესურსების შეზღუდულობის შემთხვევაშია მნიშვნელოვანი, მაგალითად, პორტატიული კომპიუტერებისათვის [1].

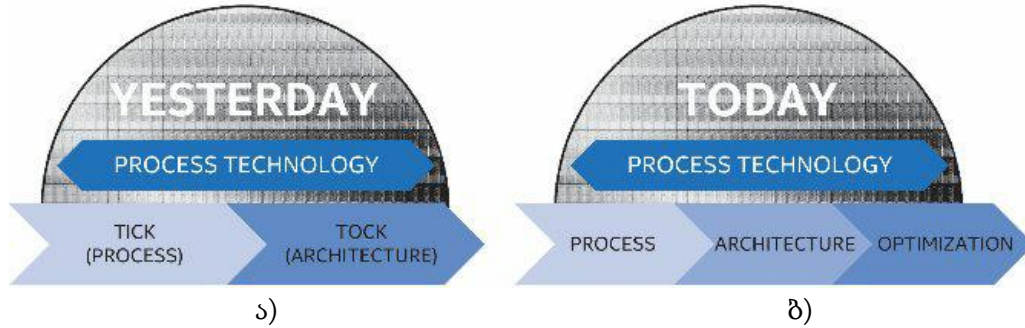
ტრადიციულად Intel x86 პროცესორების განვითარების მთავარ ტენდენციას წარმადობის ზრდა წარმოადგენდა. თუ Intel Pentium II პროცესორის მაქსიმალური სიხშირე 450 მჰც-ს შეადგენდა, Netburst არქიტექტურის საფუძველზე დამუშავებული Intel Pentium 4-ებისთვის ამ რიცხვმა 3,8 გჰც-ს მიაღწია [2]. წარმადობის ზრდას, ბუნებრივია, არქიტექტურული სიახლეებიც განაპირობებდა. თუმცა მთლიანობაში ამან პროცესორის მიერ მოხმარებული სიმძლავრის მნიშვნელოვანი ზრდა და საკმაოდ მასიური გამაგრებელი სისტემების გამოყენების საჭიროება განაპირობა [3].

Intel Pentium 4-ში რეალიზებული NetBurst არქიტექტურისგან განსხვავებით, თანამედროვე Core არქიტექტურაში აქცენტი არა სატაქტო სიხშირის მომატებაზე, არამედ პროცესორის არქიტექტურულ ცვლილებებზე და ტექნოლოგიური პროცესის გაუმჯობესებაზე კეთდება [1].

აღსანიშნავია პროცესორების განვითარების მოდელი Tick-Tock (ნახ.1-ა), რომელსაც კორპორაცია Intel იყენებს 2007 წლიდან [4].

ციკლი „Tick“ გულისხმობს ტექნოლოგიის გაუმჯობესებას, რაც უფრო მცირე ნანომეტრიანი ტექნოლოგიური პროცესის გამოყენებას გულისხმობს. ამ დროს ხდება წინამდებარე პროცესორის არქიტექტურის მცირე ცვლილებებით გადატანა ახალ ტექნოლოგიურ პროცესზე. Tick ციკლის პროცესორი წინამდებარესთან შედარებით უფრო მცირე ზომის ტრანზაიტორებით გამოირჩევა, რაც საშუალებას იძლევა შემცირდეს ენერგომოხმარება და გაიზარდოს მიკროსქემის ინტეგრაციის ხარისხი.

ციკლი „Tock“ გულისხმობს ახალი, გაუმჯობესებული მიკროარქიტექტურის პროცესორის გამოშვებას იგივე ტექნოლოგიური პროცესით. ამ დროს უმჯობესდება მუშაობის ლოგიკა, იზრდება პროცესორის წარმადობა.



ნახ.1. Intel-ის „Tick-Tock“ (ა) და „Process-Architecture-Optimization“ (ბ) მოდელები

2015 წლის ჩათვლით დამუშავებულია Core i პროცესორების შვიდი თაობა (ცხრილი 1).

Core i პროცესორების თაობები

ცხრ.1

პროცესორი	ტექნოლოგიური პროცესი	ციკლი	გამოშვების წელი
Nehalem	45 ნმ	Tock	2008
Westmere	32 ნმ	Tick	2010
Sandy Bridge	32 ნმ	Tock	2011
Ivy Bridge	22 ნმ	Tick	2012
Haswell	22 ნმ	Tock	2013
Broadwell	14 ნმ	Tick	2015
Skylake	14 ნმ	Tock	2015

2. ძირითადი ნაწილი

როგორც აღვნიშნეთ, Intel-ის მოდელი დაახლოებით 10 წელია მუშაობს. თუმცა ბოლო პერიოდში ძალიან გართულდა ტექნოლოგიური პროცესის გაუმჯობესება. 22 ნმ-იანი პროცესიდან 14 ნმ-იან პროცესზე გადასვლა პროგნოზირებულთან შედარებით 6-9 თვის დავიანებით მოხდა. მომავალში ნავარაუდევია 10, ხოლო შემდეგ 7 და 5 ნმ-იან ტექნოლოგიურ პროცესზე გადასვლა, თუმცა ძირითადი პრობლემა ძალაში რჩება - ციფრული მოწყობილობების წარმადობის ზრდის რეზერვები, განპირობებული ტრანზისტორების ზომების შემცირებით, ფაქტიურად ამოწურულია.

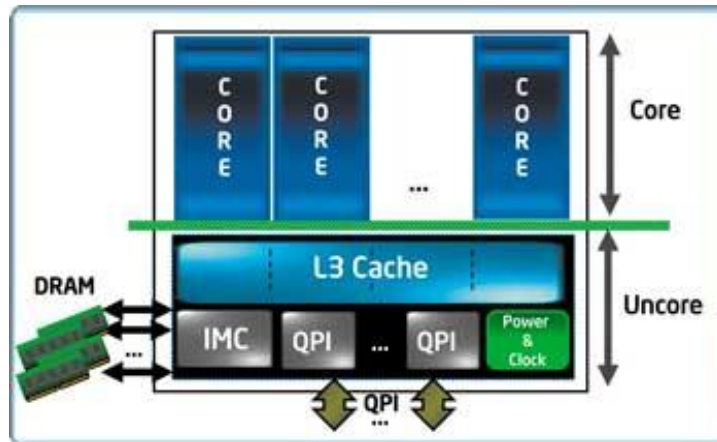
ამასთან დაკავშირებით 2016 წელს Intel-მა გამოაცხადა, რომ ორსაფეხურიანი „Tick-Tock“ მოდელის ნაცვლად გამოყენებულ იქნება სამსაფეხურიანი მოდელი - „პროცესი - არქიტექტურა - ოპტიმიზაცია“ (Process - Architecture - Optimization) (ნახ.1,ბ). ერთი და იგივე ტექნოლოგიური პროცესით დამზადებული იქნება პროცესორების სამი თაობა.

წარმადობის და მოხმარებული სიმძლავრის (TDP) ერთდროული ზრდის ტენდენცია მეტ-ნაკლებად მისაღებია სამაგიდო კომპიუტერებისთვის, თუმცა აბსოლუტურად მიუღებელი აღმოჩნდა ნოუთბუქებისთვის და მთლიანად მობილური სეგმენტისთვის, რომლის ხვედრითი წილი მნიშვნელოვნად გაიზარდა პროცესორების გამოყენების სფეროში.

ამჟამად Intel აწარმოებს ერთიდაიმავე არქიტექტურის როგორც 150 ვატამდე სიმძლავრის სასერვერო და სამაგიდო, ასევე 4-15 ვატი სიმძლავრის ულტრამობილურ პროცესორებს, რომლებიც საერთოდ არ საჭიროებენ გაგრილების სისტემების გამოყენებას.

საყურადღებოა Nehalem პროცესორში რეალიზებული არქიტექტურული სიახლეები, რომლებიც როგორც წარმადობის ზრდას, ასევე ენერგომოხმარების შემცირებას ემსახურება.

Nehalem პროცესორებს ორდონიანი მოდულური არქიტექტურა გააჩნიათ. Core Logic-ის დონეს პროცესორის ოთხი ბირთვი შეადგენს, ხოლო Uncore Logic-ის დონეს - ისეთი კომპონენტები, როგორებიცაა L3 Cache მეხსიერება, DMI, ან QPI ინტერფეისი, მეხსიერების და PCI express ინტერფეისის კონტროლერები (ნახ.2).



ნახ.2. Intel

Nehalem

პროცესორის ორდონიანი მოდულური არქიტექტურა

ამასთან ერთად, Core Logic-ის, ანუ პროცესორის ბირთვების და Uncore Logic-ის კომპონენტები როგორც ელექტრულად, ასევე სიხშირით ერთმანეთისგან დამოუკიდებელია. ეს ნიშნავს, რომ მაგალითად L3 Cache მეხსიერებას შეუძლია პროცესორის ბირთვების, L1 და L2 Cache მეხსიერებისგან განსხვავებულ სიხშირეზე მუშაობა.

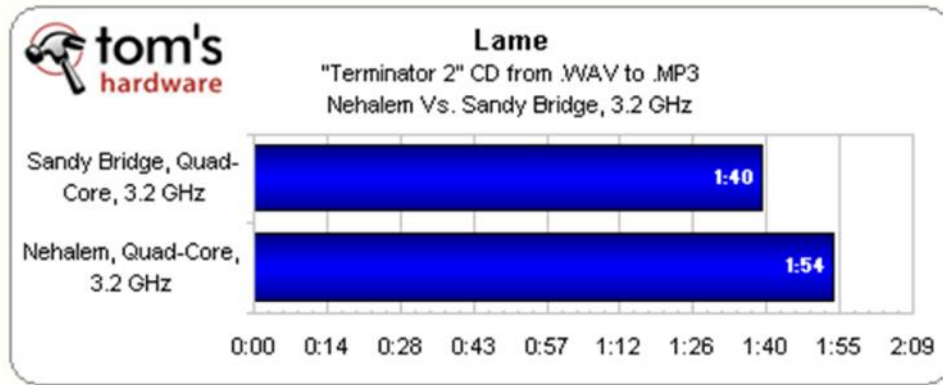
Nehalem პროცესორებში რეალიზებულია Hyper-threading ტექნოლოგია, რის შედეგად ოპერაციული სისტემა ოთხბირთვიან პროცესორს „ხედავს“, როგორც რვა ცალკეულ ლოგიკურ პროცესორს.

ენერგომოხმარების შემცირებას Turbo Boost (ზოგჯერ გამოიყენება ტერმინი Turbo Mode) რეჟიმი ემსახურება. პროცესორს გააჩნია სპეციალური ფუნქციონალური ბლოკი PCU (Power Control Unit), რომელიც თვალყურს ადევნებს პროცესორის ტემპერატურას და ბირთვების დატვირთვის დონეს. იგი არეგულირებს Core Logic-ის და Uncore Logic-ის სატაქტო სიხშირეებს და კვებას. PCU ბლოკის შემადგენლობაში შედის ე.წ. Power Gate (ჩამკეტი). როდესაც პროცესორის რომელიმე ბირთვი არ არის დატვირთული, იგი ამორთავს მას კვებიდან (ენერგომოხმარება ნულის ტოლი ხდება). შესაბამისად, შესაძლებელია დანარჩენი დატვირთული ბირთვების სატაქტო სიხშირის და ძაბვის დინამიური ზრდა. ბუნებრივია, ამ დროს პროცესორის მოხმარებულმა სიმძლავრემ არ უნდა გადააჭარბოს ნებადართულ TDP-ს.

უფრო მეტიც, Turbo Boost რეჟიმი მაშინაც რეალიზდება, როდესაც როდესაც ყველა ბირთვი დატვირთულია, თუმცა ენერგომოხმარება TDP-ს არ აღემატება. ამ შემთხვევაში

ყველა ბირთვის სიხშირე შეიძლება გაიზარდოს, თუმცა არ უნდა აღემატებოდეს წინასწარ BIOS-ში მოცემულ მნიშვნელობას.

უნდა აღინიშნოს, რომ Core არქიტექტურის ყოველი შემდეგი მიკროარქიტექტურის პროცესორების წარმადობა წინამორბედ მიკროარქიტექტურასთან შედარებით საშუალოდ მხოლოდ 5-15 %-ითაა გაზრდილი მე-3 ნახაზზე წარმოდგენილია ოთხბირთვიანი Sandy Bridge და Nehalem პროცესორების ტესტირების შედეგები აუდიოფაილის კონვერტაციის დროს, რაც ადასტურებს ამ ტენდენციას [5].



ნახ.3. ოთხბირთვიანი Sandy Bridge და Nehalem პროცესორების ტესტირების შედეგები wav to mp3 კონვერტაციის ამოცანის შესრულების დროს

ამჟამად Intel-ის მთავარ პრიორიტეტს პროცესორის ენერგომომხმარების შემცირება წარმოადგენს. ახალი მიკროარქიტექტურა მხოლოდ იმ შემთხვევაში ინერგება, როდესაც წარმადობის 1%-ით ზრდასთან ერთად ენერგომომხმარების ზრდა 1%-ზე ნაკლებია.

მე-2 ცხრილში წარმოდგენილია Sandy Bridge მიკროარქიტექტურის, ხოლო მე-3 ცხრილში - Ivy Bridge მიკროარქიტექტურის მობილური პროცესორების მახასიათებლები.

Intel Sandy Bridge Mobile პროცესორები

ცხრ.2

კოდური სახელი	სეგმენტი	სიხშირე, გჰც	TDP	ბირთვების/ პროცესების რაოდ.	L3 Cache, Mb
Core i7 Extreme	Performance	2,5-2,7	55	4/8	8
Core i7	Mainstream	2,0-2,8	17-45	4/8	4-8
Core i5	Mainstream	1,4-2,6	17-35	2/4	3

Intel Ivy Bridge Mobile პროცესორები

ცხრ.3

კოდური სახელი	სეგმენტი	სიხშირე, გჰც	TDP	ბირთვების/ პროცესების რაოდ.	L3 Cache, Mb
Core i7 Extreme	Performance	3,1-3,9	13-55	4/8	6-8
Core i7	Mainstream	2,6-3,7	13-35	2/4	4
Core i5	Mainstream	2,8-3,3	13-35	2/4	3

3. დასკვნა

საყურადღებოა Ivy Bridge Mobile i5 პროცესორების იგივე კლასის Nehalem პროცესორებთან შედარებით მაქსიმალური სიხშირის 2,6 გჰც-დან და 3,3 გჰც-მდე ზრდა ენერგომომარების შენარჩუნების პირობებში და მინიმალური ენერგომომარების 17-დან 13 ვატამდე შემცირება, რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მობილური სეგმენტისთვის.

ლიტერატურა - References – Литература:

1. ბენაშვილი ა., ბენაშვილი გ. (2017). პერსონალური კომპიუტერის არქიტექტურა. მე-3 გამოცემა I ნაწ., თბ. „საქართველოს უნივერსიტეტი“.
2. <https://tomshardware.com/reviews/Intel-i7-nehalem-cpu,2041-2.html>
3. Upgrading and Repairing PCs 22th Edition Scott Mueller. 2015.
4. <https://ark.intel.com/>

ENERGY EFFICIENCY, AS THE MAIN TREND OF PROCESSOR DEVELOPMENT

Benashvili Aleksandre, Kutsia Tamaz, Benashvili Giorgi
Georgian Technical University

Summary

The article considers the main advantages of the Core architecture in comparison with the Netburst architecture. A comparative analysis of processors Nehalem and Sandy Bridge is made on the basis of performance and power consumption. The main trends of processor development are revealed.

Энергоэффективность – основная тенденция совершенствования процессоров

Бенашвили А., Куция Т., Бенашвили Г.
Грузинский Технический Университет

Резюме

Рассмотрены основные преимущества Core архитектуры по сравнению с netburst архитектурой. Произведен сравнительный анализ nehalem и sandy bridge процессоров с точки зрения производительности и энергопотребления. Выделены современные тенденции совершенствования процессоров.