

მიმდევრობითი არქიტექტურა - თანამედროვე ტენდენცია ინტერფეისების განვითარების სფეროში

ალექსანდრე ბენაშვილი, ეკატერინე გვარამია

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

a.benashvili@gtu.ge, e.gvaramia@gtu.ge

რეზიუმე

კომპიუტერების განვითარების საწყის ეტაპებზე ინტერფეისების სფეროში უპირატესობა ინფორმაციის პარალელურ გადაცემას ენიჭებოდა, ხოლო სალტის გამტარუნარიანობის ზრდა მისი თანრიგეანობის და სამუშაო სიხშირის ზრდით მიიღწეოდა. თუმცა ინტერფეისების განვითარების თანამედროვე ეტაპზე პარალელური ინტერფეისების მიმდევრობითი ინტერფეისებით ჩანაცვლების ტენდენციაა გამოკვეთილი.

სტატიაში განხილულია თანამედროვე ინტერფეისების განვითარების ტენდენციები. გაკეთებულია თანამედროვე პარალელური და მიმდევრობითი სალტების შედარებითი ანალიზი. გაკეთებულია დასკვნა როგორც სისტემური, ასევე სპეციალიზირებული ერთგამტარიანი ინტერფეისების მიმდევრობითი დაბალვოლტიანი დიფერენციალური სალტებით ჩანაცვლების მიზანშეწონილობის შესახებ.

თანამედროვე ინტერფეისების განვითარების კიდევ ერთ ტენდენციას მათი უნიფიკაცია და სტანდარტიზაცია წარმოადგენს. სტატიაში წარმოდგენილია შესაბამისი მაგალითი და ხელსშემშლელი ფაქტორები, რაც აფერხებს ინტერფეისების რაოდენობის შემცირებას და შესაბამისად კომპიუტერის არქიტექტურის გამარტივებას.

საკვანძო სიტყვები: კომპიუტერის არქიტექტურა, ინტერფეისები, პარალელური ინტერფეისები, მიმდევრობითი ინტერფეისები, ინტერფეისების მახასიათებლები

1. შესავალი

ინტერფეისები პერსონალური კომპიუტერის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი კომპონენტებია. მათი საშუალებით ხდება მონაცემების გაცვლა როგორც კომპიუტერის სხვადასხვა ბლოკებს, ასევე კომპიუტერსა და შემტან-გამომტან მოწყობილობებს შორის.

ინფორმაციის გადაცემა კომპიუტერის ბლოკებს შორის ჩვეულებრივ ელექტრული ან ოპტიკური ხაზებით რეალიზდება. თუმცა თანამედროვე კომპიუტერულ სისტემებში ინფორმაციის გადაცემის უგამტარო მეთოდიც გამოიყენება, რის ილუსტრაციასაც Wi-fi, Bluetooth და სხვა რადიოსიხშირული სტანდარტების ფართო გავრცელება წარმოადგენს [1].

თანამედროვე კომპიუტერებში სტანდარტული ინტერფეისები გამოიყენება, რაც მრავალი სხვადასხვა ტიპის, დანიშნულების, სწრაფქმედების, მუშაობის პრინციპებით განსხვავებული მოწყობილობის კომპიუტერთან შეერთების საშუალებას იძლევა.

2. ძირითადი ნაწილი.

დღესდღეობით კომპიუტერში მხარდაჭერილია ინფორმაციის დამუშავების როგორც პარალელური, ასევე მიმდევრობითი არქიტექტურა, თუმცა ინტერფეისების სფეროში თვალსაჩინოა მონაცემების მიმდევრობითი გადაცემის უპირატესობები პარალელურ გადაცემასთან შედარებით [2]. ეს შემდეგი მიზეზებითაა განპირობებული:

- პარალელურ ინტერფეისებით ინფორმაციის გადაცემისას ადგილი აქვს გადაცემული სიგნალების ფაზურ ძვრას, რაც მნიშვნელოვნად ზღუდავს პარალელური ინტერფეისის კაბელის შესაძლებელ სიგრძეს და სამუშაო სიხშირეს;
- პარალელური ინტერფეისებთან შედარებით მიმდევრობითი ინტერფეისები გამტარების მცირე რაოდენობას შეიცავენ, ამიტომ შეფერხებები, რომლებიც სიგნალების გადაცემისას წარმოიქმნება, უმნიშვნელოა პარალელური ინტერფეისთან შედარებით;
- გამტარების მცირე რაოდენობის გამო მიმდევრობითი ინტერფეისები ბევრად იაფია პარალელური ინტერფეისების კაბელებთან შედარებით;
- კაბელის ეკრანიების მიმართ წაყენებული მოთხოვნები მიმდევრობით ინტერფეისებში ბევრად ნაკლებია პარალელური ინტერფეისის კაბელებთან შედარებით.
- მაღალ სიხშირეებზე მუშაობის დროს პარალელურ ინტერფეისები დიდი ელექტრომაგნიტური გამოსხივებით გამოირჩევიან;
- პარალელურ ინტერფეისებში გამოყენებული მაღალი ძაბვის სიგნალების მიღება თანამედროვე, მაღალ სიხშირეებზე მომუშავე მიკროსქემების გამოსასვლელებიდან გართულებულია.
- მიმდევრობით ინტერფეისებში შესაძლებელია თანამედროვე ტრანზისტორებისთვის მიღწევადი გეგაჰერცობით სიხშირის მიღება, რაც გამორიცხულია პარალელური ინტერფეისების შემთხვევაში.

ინტერფეისების სფეროში აგრეთვე მნიშვნელოვანია, თუ ელექტრული სიგნალების გადაცემის რომელი მეთოდი გამოიყენება. თანამედროვე სისტემებში რეალიზებულია როგორც ერთგამტარიანი, ასევე დიფერენციალური ინტერფეისები [3]. ერთგამტარიანი (SE – Single-ended) ტექნოლოგია შედარებით იაფია, თუმცა მაღალ სიხშირეებზე მუშაობის დროს თვალსაჩინო ხდება წარმადობის შეზღუდულობის და შეფერხებების პრობლემები. ერთგამტარიანი, ანუ დაუბალანსებელი გადაცემის დროს სიგნალი ორი გამტარით ვრცელდება, რომლებიც, როგორც წესი, გადაგრეხილია შეფერხებების შესამცირებლად (გრხილი წყვილი). ერთ გამტარს სამუშაო ძაბვა მიეწოდება, ხოლო მეორე - დამიწებულია. დაბალი შეფერხებამდეგობის გამო არადაბალანსებული სალტის კაბელის მაქსიმალური სიგრძე შეზღუდულია.

დიფერენციალური (LVD – Low Voltage Differential) გადაცემის დროს თითოეული სიგნალისთვის კავშირის ორგამტარიანი ხაზი გამოიყენება. პირველ გამტარზე, ისევე, როგორც ერთგამტარიანი სალტის შემთხვევაში, პირდაპირი სიგნალი მიეწოდება, ხოლო მეორე გამტარზე - სიგნალის ინვერსიული მნიშვნელობა (საპირისპირო ძაბვა). მონაცემების გადაცემის დიფერენციალური მეთოდის გამოყენება ზრდის სალტის შეფერხებამდეგობას. ამის შედეგად შესაძლებელია სალტის სამუშაო სიხშირის და კაბელის სიგრძის ზრდა.

ტრადიციულ პარალელურ ინტერფეისებში, როგორც წესი, სიგნალების გადაცემის ერთგამტარიანი მეთოდი გამოიყენება, ხოლო თანამედროვე მიმდევრობითი ინტერფეისები მონაცემთა გადაცემისთვის გამტარების დიფერენციალურ წყვილებს იყენებენ.

თუმცა პრობლემებისგან თავისუფალი არც მიმდევრობითი ინტერფეისია. გადაცემულ მონაცემებში 1-ების, ან 0-ების გრძელი ჯაჭვის არსებობა დაუშვებელია, რადგან სიგნალების გადახრის გამო იზრდება შეცდომების დაშვების ალბათობა. ამ პრობლემის თავიდან ასაცილებლად ტრადიციულ მიმდევრობით RS-232 ინტერფეისში Start და Stop ბიტები გამოიყენება [4], ხოლო თანამედროვე მიმდევრობით ინტერფეისებში - სპეციალური კოდირების მეთოდები [2].

თანამედროვე კომპიუტერებისათვის დე-ფაქტო სტანდარტს ფირმა Intel-ის მიერ დამუშავებული PCI (Peripheral Component Interconnect — პერიფერიული კომპონენტების დამაკავშირებელი) სალტე წარმოადგენს [5]. პარალელური PCI ინტერფეისის თანდათანობითი ჩანაცვლება მიმდევრობითი PCI Express ინტერფეისით კიდევ ერთხელ ადასტურებს პერსონალური კომპიუტერის ინტერფეისების პარალელური არქიტექტურიდან მიმდევრობით არქიტექტურაზე გადასვლის ტენდენციას. 1-ელ ცხრილში წარმოდგენილია სხვადასხვა ვერსიის პარალელური PCI და მიმდევრობითი PCI Express 1.0 ინტერფეისების მახასიათებლები.

ცხრილი 1

PCI/PCI Express 1.0 ინტერფეისების მახასიათებლები

PCI სალტის ტიპი	თანრიგაიანობა, ბიტი	სალტის სიხშირე, მგჰც	მონაცემთა ციკლები/ ტაქტი	მონაცემთა გადაცემის სიჩქარე, მბაიტი/წმ
PCI 2.0	32	66	1	266
64-თანრიგა PCI	64	66	1	533
PCI-X 533	64	133	4	4266
PCI Express 1.0	1	2500	0,8	250
PCI Express 1.0	16	2500	0,8	8000

აღსანიშნავია, რომ პარალელური PCI ინტერფეისის დაბალი სწრაფქმდება თვალსაჩინო იყო ჯერ კიდევ PCI Express ინტერფეისის გამოშვებამდე. ამიტომ ვიდეობარათების მხარდაჭერისთვის გამოიყენებოდა სპეციალიზირებული პარალელური AGP ინტერფეისი შემდეგი მახასიათებლებით (ცხრილი 2) [2].

ცხრილი 2

AGP ინტერფეისების მახასიათებლები

AGP სტანდარტი	თანრიგაიანობა, ბიტი	სალტის სიხშირე, მგჰც	მონაცემთა ციკლები/ ტაქტი	მონაცემთა გადაცემის სიჩქარე, მბაიტი/წმ
AGP 1×	32	66	1	266
AGP 2×	32	66	2	533
AGP 4×	32	66	4	1066
AGP 8×	32	66	8	2133

საინტერესოა, რომ მიუხედავად პარალელურ PCI ინტერფეისთან შედარებით მაღალი მახასიათებლებისა, AGP ინტერფეისი აღარ გამოიყენება. მიზეზი შემდეგში მდგომარეობს: მაღალი პარამეტრების გრაფიკის უზრუნველსაყოფად ჩვეულებრივ PCI Express ×16 სტანდარტის ვიდეობარათები გამოიყენება, ხოლო დანარჩენ შემთხვევაში უმჯობესია პროცესორში ინტეგრირებული სხვადასხვა მახასიათებლების მქონე ვიდეოკონტროლერის გამოყენება.

აღსანიშნავია, რომ PCI Express ინტერფეისი განუწყვეტლივ ვითარდება. დღემდე რეალიზებულია ინტერფეისის შვიდი ვერსია. PCI Express 1.0 და 2.0 ვერსიებში სტანდარტით გათვალისწინებულია 8b/10b (b - ბიტი) კოდირება. ამ დროს სალტეზე ნებისმიერი ბაიტი (8 ბიტი) გარდაიქმნება 10-ბიტაიან თანმიმდევრობად, რომელშიც 1-ების და 0-ების რაოდენობა დაბალანსებულია (არაუმცირეს ოთხი, არაუმეტეს ექვსი). 8b/10b კოდირების მეთოდი

სიგნალების ავტოსინქრონიზაციას განაპირობებს (გამოირიცხება 1-ების, ან 0-ების გრძელი ჯაჭვი) და სალტზე მონაცემების მაღალი სიხშირით გადაცემის საშუალებას იძლევა.

აღსანიშნავია, რომ PCI Express 3.0-5.0 სტანდარტებში არა 8b/10b (რომელიც 20%-ით ამცირებს სალტის გამტარუნარიანობას), არამედ 128b/130b, ხოლო PCI Express 6.0-7.0 სტანდარტებში - 242b/256b კოდირების მეთოდი გამოიყენება, რაც ფაქტიურ გავლენას არ ახდენს სალტის გამტარუნარიანობაზე.

მე-3 ცხრილში წარმოდგენილია PCI Express ინტერფეისის ვერსიები და მათი მახასიათებლები.

ცხრილი 3

PCI Express 1.0 - PCI Express 7.0 ინტერფეისების მახასიათებლები

სალტის ვერსია	გამოშვების თარიღი	კოდირება	გადაცემის სიჩქარე გტ/წმ	სალტის გამტარუნარიანობა (გბ/წმ)*	
				×1	×16
1.0	2002	8b/10b	2,5	0,25	4
2.0	2007	8b/10b	5	0,5	8
3.0	2010	128b/130b	8	0,984	15,753
4.0	2017	128b/130b	16	1,969	31,506
5.0	2019	128b/130b	32	3,938	63,015
6.0	2022	242b/256b	64	7,563	121,000
7.0	2025	242b/256b	128	15,125	242,000

* სალტის გამტარუნარიანობა ინფორმაციის ერთი მიმართულებით გადაცემის დროს. რამდენადაც სალტე დუპლექსურია, სალტის სრული გამტარუნარიანობის საანგარიშოდ ცხრილში წარმოდგენილი მონაცემები 2-ზე უნდა გამრავლდეს.

აღსანიშნავია, რომ 2028 წელს ნაგარაუდევია PCI Express 8.0 ვერსიის გამოშვება. ცნობილია მისი გადაცემის სიჩქარე - 256 გტ/წმ. შესაბამისად, PCI Express 7.0-თან შედარებით ორჯერ გაიზრდება სალტის გამტარუნარიანობა.

ანალოგიური სიტუაციაა დისკური მოწყობილობების ინტერფეისების სფეროშიც, სადაც მოხდა პარალელური ATA ინტერფეისის მიმდევრობითი SATA ინტერფეისით ჩანაცვლება. ყველაზე მაღალი სწრაფქმედების მქონე პარალელური ATA-7 ინტერფეისის გამტარუნარიანობა 133 მბ/წმ-ს შეადგენს და მისი გაზრდა შესაძლებელია, თუმცა არა-ეკონომიურია მიმდევრობითი SATA ინტერფეისზე მიღებული სიჩქარეების გათვალისწინებით (ცხრილი 4) [6].

ცხრილი 4

SATA ინტერფეისების მახასიათებლები

SATA ტიპი	სალტის სიგანე, ბიტი	სალტის სიხშირე, მგჰც	ციკლების რაოდენობა ტაქტში	გამტარუნარიანობა, მბაიტი/წმ
SATA-1	1	150	0,8	1500
SATA-2	1	300	0,8	3000
SATA-3	1	600	0,8	6000

უნდა აღინიშნოს, რომ PCI და ATA ინტერფეისების შესაბამისად PCI Express და SATA ინტერფეისებით ჩანაცვლება პროგრამულ სირთულეებს არ აწყდება, რადგან ცვლილებები

ეხება მხოლოდ ინფორმაციის გადაცემის ფიზიკურ დონეს, ოპერაციული სისტემისა და დრაივერების დონეზე კი არაფერი არ იცვლება.

წლების განმავლობაში პარალელურ არქიტექტურაზე იყო დაფუძნებული სისტემური ინტერფეისები FSB და HUB, რომელთა საშუალებითაც შესაბამისად პროცესორი უკავშირდებოდა სისტემური პლატის ჩრდილოეთ ხიდს, ხოლო ჩრდილოეთ ხიდი - სამხრეთ ხიდს. თუმცა ჩრდილოეთ ხიდის პროცესორში ინტეგრაციის შემდეგ ორი ინტერფეისის გამოყენება ზედმეტი გახდა. ამჟამად ისინი ჩანაცვლებულია მიმდევრობითი DMI ინტერფეისით, რომლის საშუალებითაც პროცესორი სისტემური პლატის სამხრეთ ხიდს უკავშირდება [7].

DMI ინტერფეისი მსგავსია PCI Express ინტერფეისისა. პერსონალურ კომპიუტერებში რვარხიანი, ან ოთხარხიანი ($\times 8$ ან $\times 4$) შეერთება გამოიყენება, ხოლო მობილურ სისტემებში - უმეტესად ორარხიანი ($\times 2$) შეერთება. პირველი ოთხარხიანი DMI 1.0 ვერსია უზრუნველყოფს 1 გბ/წმ გადაცემის სიჩქარეს, ხოლო რვარხიანი DMI 1.0 ვერსია - 2 გბ/წმ გადაცემის სიჩქარეს, დღემდე დამუშავებულია DMI ინტერფეისის ოთხი ვერსია. ყოველი მათგანი ორჯერ მაღალი სწრაფქმედებით გამოირჩევა წინამორბედ ვერსიასთან შედარებით.

აღსანიშნავია თანამედროვე ინტერფეისების კიდევ ერთი დამახასიათებელი თვისება - ურთიერთქმედების წესების უნიფიკაცია, რაც ინფორმაციული, ელექტრული და კონსტრუქციული შეთავსებადობის უზრუნველყოფისკენა მიმართული. ფუნდამენტურ პრინციპებს თანამედროვე ინტერფეისების დაპროექტებისათვის სწორედ უნიფიკაცია და სტანდარტიზაცია წარმოადგენენ. აგრეთვე მნიშვნელოვანია კომპიუტერის არქიტექტურის გამარტივება.

თანამედროვე მიმდევრობითი ინტერფეისების ანალიზი აჩვენებს, რომ არქიტექტურულად ისინი მსგავსია. ამის მაგალითია M.2 ინტერფეისი, რომელიც ითავსებს PCI Express ინტერფეისის ოთხ არხს, SATA 3.0, USB 3.0 ინტერფეისებს და მოცემულ ეტაპზე უმეტესად მაღალი სწრაფქმედების SSD დამგროვებლების სისტემურ პლატასთან კავშირისთვის გამოიყენება. მაშინ ისმის კითხვა, რა საჭიროა ამდენი ინტერფეისი, როდესაც საკმარისი იქნება სისტემაში მხოლოდ ერთი მიმდევრობითი ინტერფეისის, მაგალითად PCI Express-ის არსებობა. ინტერფეისის გამტარუნარიანობის რეგულირება შესაძლებელი იქნება სალტის სიხშირისა და ჩართული არხების რაოდენობის მიხედვით, ხოლო კონკრეტული პარამეტრების შერჩევა მოხდება სალტზე ჩართული მოწყობილობის მოთხოვნილებების მიხედვით.

პასუხი მარტივია, თითოეული ინტერფეისის დამუშავებაში ჩადებულია უზარმაზარი რესურსი, რეალიზებულია მრავალი მოწყობილობა. ინტერფეისების გაერთიანებისთვის საჭირო იქნება მნიშვნელოვანი აპარატურული და პროგრამულ ცვლილებების შეტანა კომპიუტერის არქიტექტურაში, რაც უახლოეს პერიოდში ნაკლებსავარაუდოა.

3. დასკვნა

სტატიაში განხილულია თანამედროვე ინტერფეისების განვითარების ტენდენციები. გაანალიზებულია მათი მახასიათებლები. გაკეთებულია თანამედროვე პარალელური და მიმდევრობითი ინტერფეისების შედარებითი ანალიზი. გაკეთებულია დასკვნა როგორც უნივერსალური, ასევე სპეციალიზირებული ერთგამტარიანი ინტერფეისების მიმდევრობითი დაბალვოლტიანი დიფერენციალური ინტერფეისებით ჩანაცვლების მიზანშეწონილობის შესახებ.

გამოყენებული ლიტერატურა:

- [1] ა. ბენაშვილი, ს. სულხანიშვილი. კომპიუტერის სტრუქტურული ორგანიზაცია. თბ. „საქართველოს უნივერსიტეტი“. 2020.
- [2] ა. ბენაშვილი, გ. ბენაშვილი. პერსონალური კომპიუტერის არქიტექტურა. მე-3 გამოცემა. I ნაწილი. თბ. „საქართველოს უნივერსიტეტი“. 2017.
- [3] Upgrading and Repairing PCs 22th Edition Scott Mueller. 2015.
- [4] <https://circuitdigest.com/article/rs232-serial-communication-protocol-basics-specifications>
- [5] <https://www.pcmag.com/encyclopedia/term/pci-express>
- [6] <https://www.techtarget.com/searchstorage/definition/Serial-ATA>
- [7] <https://www.intel.com/content/www/us/en/support/articles/000094185/processors.html>

Serial architecture – a modern trend in the field of interface development

Alexander Benashvili, Eka Gvaramia

Georgian Technical University

a.benashvili@gtu.ge, e.gvaramia@gtu.ge

Summary

At the initial stages of computer technology development, preference in the field of interfaces was given to parallel data transfer, and an increase in the interface throughput was achieved by increasing its bit depth and operating frequency. However, at the current stage of interface development, there is an obvious tendency to replace parallel interfaces with serial ones.

The article examines the trends in the development of modern interfaces. A comparative analysis of modern parallel and serial interfaces is conducted. A conclusion is made about the feasibility of replacing both system and specialized single-wire interfaces with serial low-voltage differential interfaces.

Another trend in the development of modern interfaces is their unification and standardization. The article provides a corresponding example and indicates the restraining factors that prevent a reduction in the number of interfaces and, accordingly, simplification of the computer architecture.

Keywords: computer architecture, interfaces, parallel interfaces, serial interfaces, interface characteristics