

ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტი

ღვალაძე ნაირა

ჯანმრთელობის სტრუქტურული მონიტორინგის  
აპლიკაციები

სენსორული ქსელების აღმოჩენა: MEMS-ის შესავალი,  
მიკროსისტემები და სენსორები

ინფორმაციული ტექნოლოგიები

ნაშრომი შესრულებულია ინფორმაციული ტექნოლოგიების მაგისტრის აკადემიური  
ხარისხის მოსაპოვებლად

თბილისი 2013

სამაგისტო ნაშრომის ხელმძღვანელი  
ლელა მირცხულავა  
დოქტორი, ასოცირებული პროფესორი

## ანოტაცია

მოცემულ სამაგისტრო ნაშრომი შეისწავლის ძაბვების მონიტორინგის მნიშვნელოვნებას ხიდეზზე და სხვა სამოქალაქო ინფრასტრუქტურას. განიხილავს საკითხებს იმაზე თუ როგორ შეიძლება საზოგადოებრივი უსაფრთხოების გაუმჯობესება უწყვეტი სტრუქტურული ჯანმრთელობის მონიტორინგის მეშვეობით. მოცემული ნაშრომი შემოღებულია საკითხები მიკრო ელექტრო-მექანიკური სისტემებში (MEMS) და სენსორებში. შეისწავლება თუ როგორ ზემოქმედებას ახდენს MEMS ტექნოლოგია პროდუქტებისა და აპლიკაციების ფართო სპექტრზე, რმელიც მოიცავს Wii კონტროლერებსა და ანალიზის ინსტრუმენტებს მედიცინაში, ბიოლოგიასა და ქიმიაში.

## Annotation

In this Master thesis, we learn about the importance of monitoring stresses on bridges and other civil infrastructure, and about how public safety can be improved by using wireless sensor networks for continuous structural health monitoring. This paper introduces topics in micro-electrical-mechanical systems (MEMS), microsystems, and sensors. We learn how MEMS technology has impacted a wide variety of products and applications, including Wii controllers, and tools for analysis and sensing in medicine, biology and chemistry.

# სარჩევი

შესავალი .....	5
<b>თავი 1.</b>	
1.1. უსადენო სენსორული ქსელების სისტემის არქიტექტურა .....	6
<b>თავი 2.</b>	
2.1. განზოგადებული სენსორული კვანძები .....	10
2.2. გასაღების არქიტექტურის მისამართები .....	12
2.3. დაყოფა RF -სა და პროცესის სიჩქარეს შორის .....	15
2.4. უსადენო ქსელის დიზაინი .....	17
2.5. უსადენო სენსორული კვანძის განზოგადებული არქიტექტურა .....	17
<b>თავი 3.</b>	
3.1 ჯანმრთელობის სტრუქტურის მონიტორინგი .....	19
3.2 უსადენო სენსორული ქსელების გამოყენების უპირატესობები .....	19
3.3 უსადენო სენსორული ქსელების გამოწვევები .....	20
<b>თავი 4.</b>	
4.1. MEMS -ის დანიშნულება .....	17
4.2. MEMS წარმოება .....	25
4.3. MEMS აპლიკაციები და სოციალური გავლენა .....	27
<b>თავი 5.</b>	
5.1. ტენზომეტრული სენსორის დანიშნულება .....	30
5.2. წრიული ხიდის კონსტრუირება და დაბალანსება .....	34
5.3. გარდატეხის ეფექტის განსაზღვრა ტენზომეტრის ხარისხში .....	39
5.4. ფორმულირება ტენზომეტრული სენსორის .....	40

თავი 6.

დასკვნა .....	43
გამოყენებული ლიტერატურა .....	44

## შესავალი

ნაშრომი ეძღვნება ჯანმრთელობის სტრუქტურის მონიტორინგს : უსადენო სენსორულ ქსელებს კერძოდ მიკროელექტრო სისტემებს (MEMS) , მიკროსისტემებს და სენსორებს .

ნაშრომი მოიცავს შესავალს ოთხ თავს დასკვნას და ბიბლიოგრაფიას.

იქედან გამომდინარე , რომ მიზანს წარმოადგენს ჯანმრთელობის სტრუქტურის მონიტორინგის , მიკროელექტრო სისტემების მუშაობის პრინციპების გაცნობა და მათი პრაქტიკულად წარმოდგენა კოდების სახით შესაბამის პროგრამაში. I თავი ეძღვნება უსადენო სისტემის არქიტექტურის გაცნობას.

I I თავში აღწერილია განზოგადებული სენსორული კვანძების მიმოხილვა.

III თავში კი აღწერილია ჯანმრთელობის სტრუქტურის მონიტორინგი , უსადენო სენსორული ქსელების გამოყენების უპირატესობების და მათი განვითარების უპირატესობები.

IV თავში მოცემული უშუალოდ მიკროელექტრო სისტემების ( MEMS) -ის შესავალი და მიკროსისტემების და სენსორების დანიშნულება , ფუნქციონირება , მიკროელექტრო სისტემების გავლენა სოციალურ სფეროზე და მისი მახასიათებლების წარმოდგენა.

V თავი წარმოადგენს ტენზომეტრული სენსორის გაცნობას, .

დასკვნაში მოყვანილია ჩატარებული სამუშაოების აღწერა და გამოყენებული ლიტერატურა .

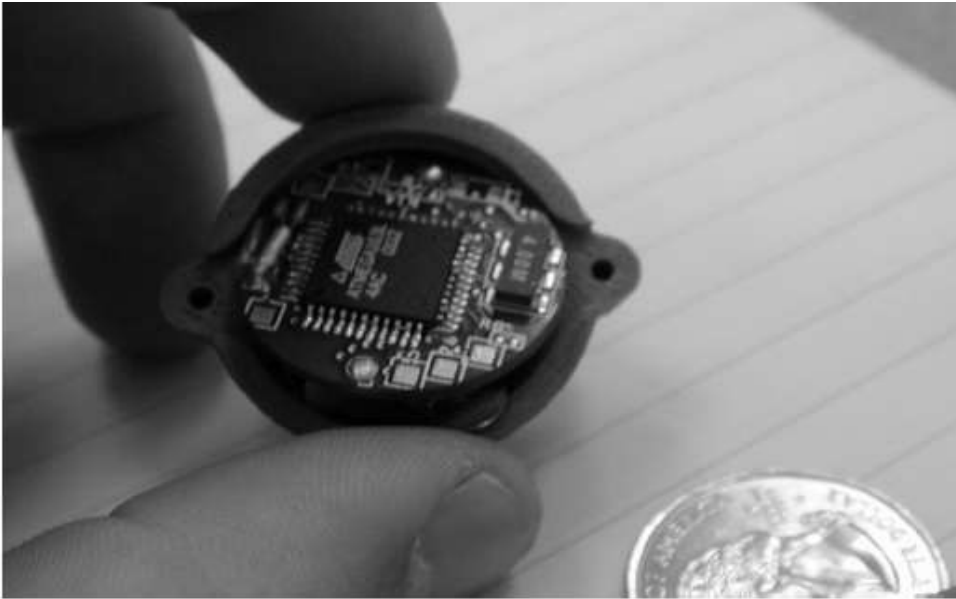
## I თავი

### 1.1. უსადენო სენსორული ქსელების სისტემის არქიტექტურა

უსადენო სენსორული ქსელების განვითარების სფერო აერთიანებს გამოთვლებს და კომუნიკაციას ერთ პატარა მოწყობილობაში. ამან განაპირობა mesh ქსელების პროტოკოლების., სქემების ფორმის ზღვა კავშირი კიბერსივრცეში, მთელ პიზიკურ სამყაროში. როგორც წყალი მიედინება და ეძებს ყველა გასასვლელს, ასე mesh ქსელების კავშირი ცდილობს გამოიყენოს კომუნიკაციის ნებისმიერი გზა, კვანძიდან კვანძში მონაცემების გასაცემით დანიშნულების ადგილამდე. მიუხედავად იმისა რომ ერთი სქემის შესაძლებლობები მინიმალურია, ასობით სქემების წყობა სთავაზობს ახალ ტექნოლოგიურ შესაძლებლობებს.

უსადენო სენსორული ქსელების ენერჯის უნარი იმაში მდგომარეობს რომ განათავსოს დიდი რაონების მოწყობილობები, შემდეგში შეკრებისათვის და დაკომფიჭურებისთვის. გამოყენების სცენარები ამ სქემებისათვის ვრცელდება მონიტორინგისათვის რეალურ დროში.

ყველაზე მარტივი გამოყენება უსადენო სენსორული ქსელური ტექნოლოგიისა არის მონიტორინგი დისტანციურ გარემოში დაბალი სიხშირის მონაცემის მიმართულებით. მაგალითად ქიმიური მცენარითა მინიტორინგი ასობით სენსორი დახმარებით ადვილად აღმოაჩენს გაჟონვას, ავტომატურად ქმნის უსადენო დამაკავშირებელ ქსელს და დაუყოვნებლივ ატყობინებს გამჟონვას ნებისმიერი ქიმიური გაჟონვისა. განსხვავებით ტრადიციული სახაზო სისტემებისა, განლაგების ხარჯები იქნება მინიმალური. მარტივად, ინსტალატორებად უნდა განათავსონ მეოთხედი ზომის მოწყობილობა როგორცაა სურათი ფიგურა 1-1, თითოეული გრძნობის წერტილი.



ფიგურა 1-1: უსადენო სენსორული ქსელის მოწყობილობა შემუშავებული სავარაუდო ზომის. მომავალი მოწყობილობები იქნება, პატარა, იაფი და უფრო ხანგრძლივი. ქსელი შეიძლება ხარისხობრივად გაიზარდოს, მარტივად შეიძლება დაამატო მეტი მოწყობილობები- არა გადაკეთება ან რთული კომფიგურაცია. მოწყობილობებით წარმოდგენილი ეს თეზისი, სისტემას აძლევს საშუალებას შეამოწმოს ანომალიები რამდენიმე წლის მანძილზე ერთი ბატერიების კომპლექტით.

გარდა იმისა რომ რადიკალურად შეამცირონ სამონიტაჟო ხარჯები, უსადენო სენსორულ ქსელებს აქვთ ურანი დინამიურად მოერგონ ცვალებად გარემოს. ადაპტაციის მექანიზმებს შეუძლია ცვლილებებზე რეაგირება ქსელის მოწყობილობებში ან შეიძლება გამოიწვიოს ქსელის ცვლილება გადამწყვეტად განსხვავებულ მეთოდურ ოპერაციებთან. მაგალითად, იგივე ქსელი ასრულებს გაჟონვის მონიტორინგს ქიმიურ ქარხანაში ქსელი ლოკალიზებას უკეთებს გაჟონვის წყაროს და აკონტროლებს შხამიანი აირების გავრცელებას.

ტრადიციული უსადენო მოწყობილობებისაგან განსხვავებით, უსადენო სენსორის კვანძები კომუნიკაციისათვის არ საჭიროებს კავშირს მაღალი სიმძლავრის მაკონტროლებელ კოშკთან ან საბაზო სადგურთან, მხოლოდ უკავშირდება ადგილობრივს. ამის ნაცვლათ ეყრდნობა დაგეგმილ ინფრასტრუქტურას, თოთოეულიო სენსორი ან actuator ხდება ნაწილი საერთო ინფრასტრუქტურის. მოქნილი mesh არქიტექტურა დინამიურად ადაპტირდება ხელს უწყობს შესავალს ახალ კვანძებში ან აფართოებს გადაფარვას უფრო დიდი გეოგრაფიულ რეგიონში. გარდა ამისა, სისტემას შეუძლია ავტომატურად ადაპტირდეს კვანძის წარუმატებლობისას.



Mesh (ბადისებრი) ქსელური ხევიდა ეფუძვნება სიმყარეს ნომრებში. სატელეფონო სისტემების უჯრედის განსხვავებით როდესაც ძალიან ბევრი ტელეფონია აქტიური მცირე ტერიტორიაზე, დაკავშირება უსადენო სენსორულ ქსელში უფრო ძლიერდება კვანძების დამატებისას. სანამ არსებობს საკმარისი სიმკვრივე, ერთი ქსელის კვანძს შეუძლია დაფარვის ზონა გაზარდოს სეზულუდავად ტერიტორიაზე.



ფიგურაზე წარმოდგენილია შესაძლო განლაგება ac-hoc უსადენო ქსელის სოფლის მეურნეობის მაგალითზე. სენსორები აღმოაჩინოს ტემპერატურის, მსუბუქი დონე და ნიადაგის ტენიანობის დროს ასობით რაოდენობა მასშტაბით სფეროში და კომუნიკაცია მათი მონაცემთა მრავალ hop ქსელის ანალიზი.

ქსელის ნახაზი არის მოცემული სურათზე. იგი გამოხატავს სოფლის მეურნეობაში ზუსტ გამოყენებას- აქტიური ზონის კვლევითვის. ასობით კვანძი მიმოფანტულია მინდორზე, იკრიბება ერთად და ქმნის routing ტოპოლოგიას და მონაცემები გადაიცემა უკან შეკრების წერტილში. გამოყენება მოითხოვს ძლიერ, იაფ და მარტივ განტავსებას ქსელისას უსადენო სენსორული ქსელის სრულყოფილად შეხვედრისთვის. თუ კვანძთაგან დაზიანდა, იქმნება ახალი ტოპოლოგია და საერთო ქსელი განაგრძობს მონაცემების მიწოდებას.

არსებობს უამრავი კვლევა შექმნან ახალი ალგორითმები მონაცემთა აგრეგაციისა , დროებითი routing და სიგნალის გავრცელებისა უსადენო სენსორულ ქსელში.

ალგორითმების და ტოპოლოგიების განვითარება უსადენო სენსორულ ქსელში მხარს უჭერს მცირე სიმძლავრეს, ეფექტურ და მოქნილ პლატფორმას.

ეს თეზისი აქცენს აკეტებს სისტემური არქიტექტურის შემხვედრი კვანძების განვითარებისა უსადენო სენსორულ ქსელებში. დიზაინის გამოწვევა უსადენო სენსორულ ქსელებში არის რესურსის მკაცრი შეზღუდვა ინდივიდუალურ მოწყობილობებში. ჩამაგრებულმა პროცესორებმა უნდა განახორციელოს კომპლექსური გავრცელება ad-hoc ერჯერადი ქსელური ოქმებისა. ბევრი შეზღუდვად გამომდინარეობს მოწყობილობებიდან, რადგან მოიხმარება დიდი რაოდენობით და უნდა იყოს იაფი და პატარა.

ყველაზე რთული რესურსული შეზღუდვა არის ენერგომოხმარება. ფიზიკური ზომა მცირდება. ძირითადი ენერგეტიკული შეზღუდვების დასრულებდა ქმნის კომპიუტერულ და შენახვის შეზღუდვებს, ეს გამოიწვევს არქიტექტურული საკითხების ახალ ნაკრებს.

უსადენო სენსორული ქსელების არქიტექტურა წარმოადგენს როგორც ტექნიკის პლატფორმას ასევე ოპერაციული სისტემის საჭირო კვანძების მომართვას უსადენო სენსორულ ქსელში. TinyOS არის ოპერაციული სისტემის კომპონენტი, რომლის მიზანია დაგეგმილად გაუშვას უსადენო მოწყობილობების იძულებითი რესურსი.

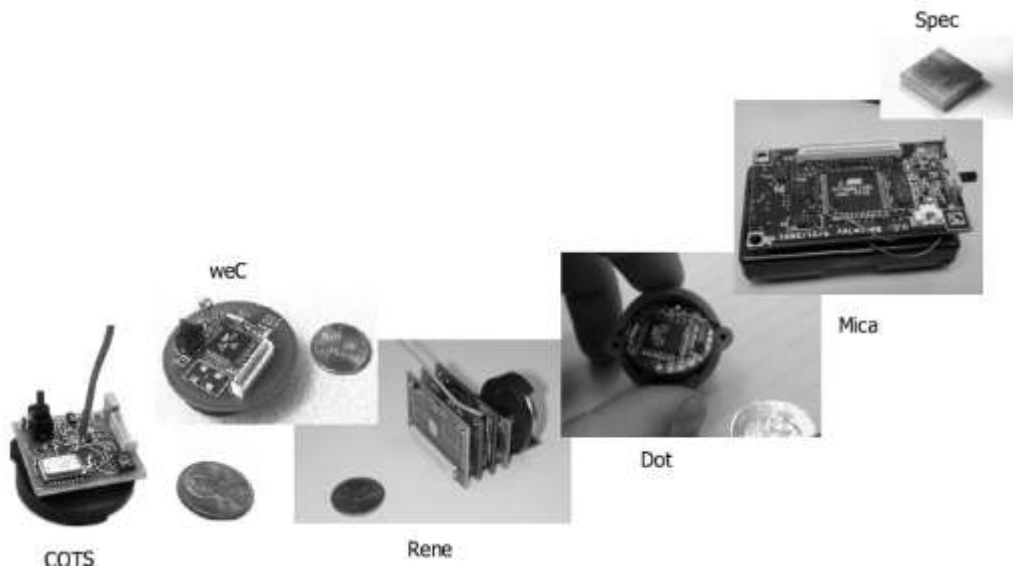
ნაშრომში განხილულია უსადენო სენსორული ქსელების განვითარებადი სისტემების არქიტექტურის აუცილებელი მოთხოვნილებები. დიზაინი ძირითადი საკითხი ითვალისწინებს უსადენო სენსორულ ქსელების ერთ დივაისში მოთავსებას. მეხსიერების ჩადგმული პროცესორი კილობაიტებთან ერთად უნდა შესრულდეს კომპლექსურ, განაწილებულ, ad hoc ქსელურ პროტოკოლზე. ბევრი შეზღუდული მოწყობილობები უნდა იყოს წარმოებული დიდი რაოდენობით, უნდა იყოს პატარა, იაფი და დაბალი ღირებულების. როგორც მურის კანონი ამბობს, თითოეული მოწყობილობა მიიღება უფრო პატარისაგან, არა ხოლოდ იზრდება სიძლიერე არამედ ზომაც.

ყველაზე რთული შეზღუდვა არის ენერჯის მოხმარება. როგორც კი ფიზიკური ზომა მცირდება, გამომუშავდება ენერჯის მოცულობა. ენერჯია საფუძვლად უდევს კომპიუტერული და საცავის შეზღუდვების შექმნას, რამაც გამოიწვია ახალი არქიტექტურის საკითხები. ბევრი მოწყობილობები როგორცაა, მობილური ტელეფონები და პეიჯერები ამცირებს მათი ენერჯის მოხმარებას სპეციალურად წარმოებული საკომუნიკაციო ტექნიკურ მხარდაჭერის ASICs-ში გავლით, რომელსაც მიეწოდება აუცილებელი საკომუნიკაციო ოქმის დაბალი ენერჯია, ეყრდნობა მაღალი ენერჯის ინფრასტრუქტურას. თუმცა უსადენო სენსორული ქსელების ძალა მდგომარეობს იმაში რომ ის არის მოქნილი და უნივერსალური. უსადენო სენსორული ქსელების პლადფორმამ უნდა უზრუნველყოს მხარდაჭერა სპეციფიკური აპლიკაცია პროტოკოლის ნაკრებისათვის, რომელიც რადიკალურად შეამცირებს კვანძის ზომას, ღირებულებას და ენერჯის მოხმარებას მათი აპლიკაციებისათვის.

უსადენო სენსორული ქსელების არქიტექტურაში ჩვენ წარმოვადგენთ აპარატურული მხარდაჭერის პლადფორმას და უსადენო სენსორული ქსელების ოპერატიული სისტემის დიზაინის პლადფორმის მისამართის კვანძებს. TinyOS არის ოპერატიული სისტემის დიზაინზე დაფუძნებული კომპონენტი რომელიც გაშვებულია შეზღუდული რესურსების უსადენო მოწყობილობებში. ის უზრუნველყოფს მაღალი ეფექტური კომუნიკაციის primitives და თხელფენოვანი რალალეური მექანიზმების აპლიკაციები და ოქმების წარმოება. გასაღებების კონცეფცია TinyOS-ში არის გამოყვება პროგრამირებას დაფუძნებული შედეგის დაკავშირებაში მაღალი ეფექტური კომუნიკაციის მოდელთან ერთად. TinyOS საშუალებას იძლევა სისტემური ქსელების ოპტიმიზაციის მჭიდრო დაწყვილებას პროგრამულ და აპარატურულ დონეებს შორის, როგორც მოქნილი მექანიზმი სპეციფიკური მოდელების შექმნისათვის.

TinyOS აქვს შესაძლებლობა აწარმოოს განზოგადებული არქიტექტურა, სადაც ერთი CPU არის საერთო აპლიკაციასა და პროცესის დამუშავებას შორის. ჩვენ დეტალურად განვიხილავთ სამი თაობის უსადენო სენსორულ ქსელების და ჰოსტების აპლიკაციების განლაგებას, რომლებსაც აქვთ ზოგადი სისტემის არქიტექტურა. მოცემულ სურათზე ნათლად ჩანს „MOTE“ ტექნოლოგიების განვითარების ეტაპები. Mika პლატფორმა წარმოებული დიდი რაოდენობით 5000 Mika კვანძით და განაწილებულია მსოფლიოს 250 კომპანიაში და კვლავით ორგანიზაციებში. Mika პლატფორმა შეიცავს დაბალი სიმძლავრის გადამცემს, ენერჯის მართვის ქვესისტემას, დიდი მოცულობის მეხსიერება და ჩაშენებული მიკროკონტროლერს.

ყველაზე მოწინავე ტექნიკის პლატფორმა არის CMOS მოწყობილობა ინტეგრირებული პროცესორით, მეხსიერებით და საკომუნიკაციო შესაძლებლობებით სრულყოფილი სისტემის შესაქმნელად. ერთი ცალი ჩიპის კვანძის დასახელება Spec ზომებია 2.5მმX2.5 მმ, შეიცავს მიკროკონტროლერს, ტრანსმისტერს, ADC, ძირითადი დანიშნულების I/O პორტი, მეხსიერებას და კოდირების მექანიზმს. პატარა ჩიპი საჭიროებს მხარდაჭერას 32 KHz მანათობელი კრისტალის, ენერჯის მარაგი, ბატარეია და 4 Hz საათი. Spec კვანძი წარმოადგენს მომავალი თაობის უსადენო სენსორულ კვანძებს, რომლებიც წარმოებულია სიაფისათვის და გაფანტულია მეთელ მსოფლიოში.



ორივე Mica და Spec კვანძი გამოყენება რომ, ჩვენი მოთხოვნილება რომ ოპტიმალური სისტემის უსადენო სენსორულ ქსელებს აქვთ ერთი ცენტრალური კონტროლერი რომელიც შეიძლება დაუკავშირდეს დაბალი სიძლიერის რადიო გადამცემს მდიდარი ინტერფეისის საშუალებით. ფენების აბსტრაქცია, როგორც წესი მიიღწევა ტექნიკური მხარდაჭერის დანაწევრების გავლით. პროგრამული მხარდაჭერის აბსტრაქცია ნებას რთავს უფრო ფართო მასშტაბის ჯვარედინი ფენის აბსტრაქციას შეძლოს ბოლომდე მიიყვანოს სისტემის შესრულების სიდიდის მნიშვნელობა. არქიტექტურის ენერჯია და სიცოცხლის უნარიანობა არის წარმოდგენა კოლექციური ნიშნების შესრულების რეალური-მსოფლიოს ტექნიკური მხარდაჭერაზე და განაცხადი დონეებზე განლაგებაში.

მთავარი წვლილი ამ სამუშაოში არის ზოგადი არქიტექტურა, რომელიც აკმაყოფილებს უსადენო სენსორული ქსელების ზუსტი ეფექტურობისა და მოქნილობის მოთხოვნებს, განხორციელებული აქტიტექტურა გამოიყენება მიმდინარე მიკროკონტროლ-ერში და დაბალი ენერჯიის რადიო ტექნოლოგიებში , ინტეგრირებული ჩიპი CMOS აპარატურული პლატფორმის გამოყენება უსადენო სენსორულ ქსელებში და არქიტექტურის მოქნილობის დემონსტრაცია.

განხილულია უსადენო სენსორული ქსელების სამი გასაღების აპლიკაციის სცენარი და მიმოხილვა. უმაღლესი წერტილი გამოსახულებაში - პირველი თაობის სენსორული კვანძი იყენებს საბაზისოს შედარებისათვის.

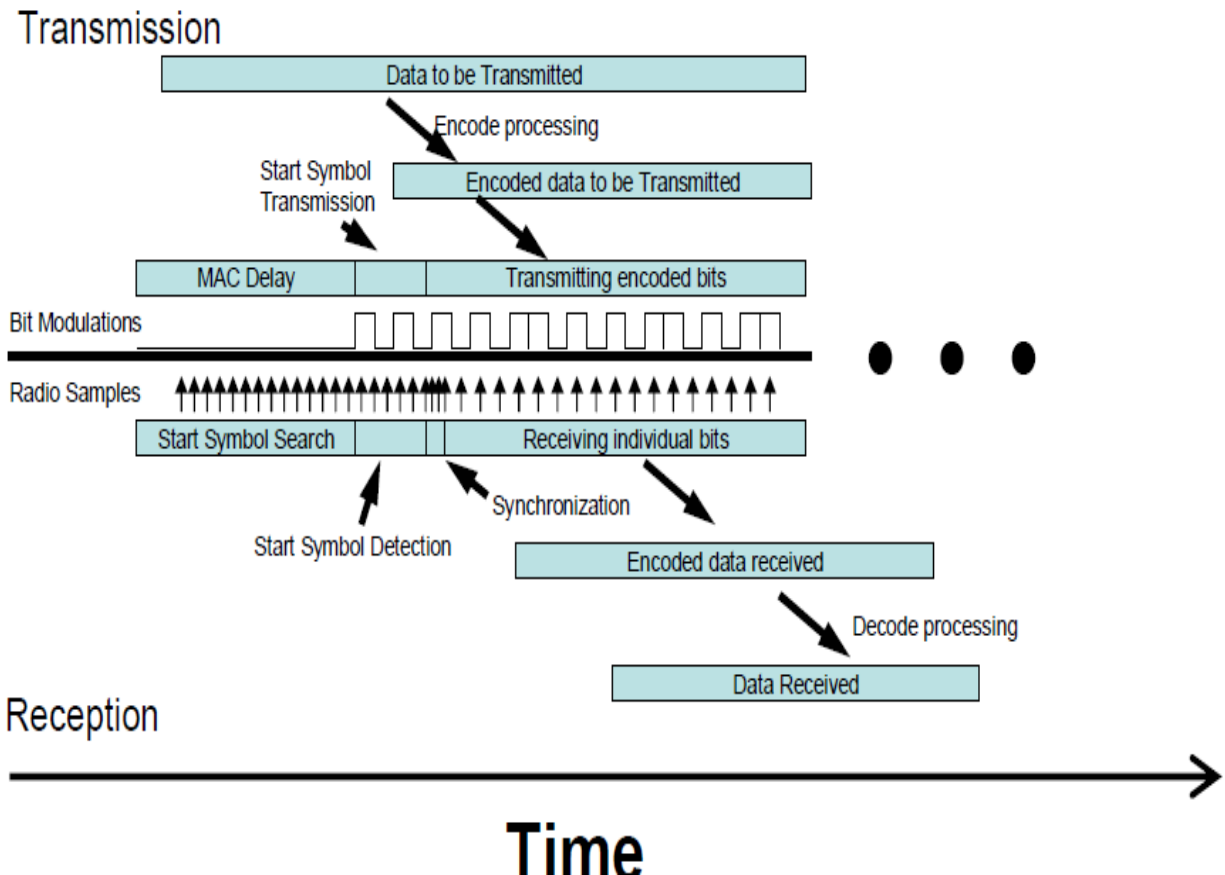
## II თავი

### 2.1 განზოგადებული სენსორული კვანძების მიმოხილვა

გასაღებების ნაბიჯების შესწავლაში შეიძლება შეიცვალოს დაბალი ენერჯის უსადენო სენსორული ქსელების აგება, თემა მიმართულია უსადენო სენსორული ქსელების ზოგადი არქიტექტურის განსავითარებლად. არქიტექტურა არა არის მიბმული კონკრეტულად რომელიმე რადიო ან წარმოების ტექნოლოგიას, არამედ ვრცლად მოცავს თუ როგორ გამოვთვალოთ და დავაკავშიროთ ერთმანეთთან მოწყობილობები. მისი მიზანია ქონდეს საკომუნიკაციო ქვესისტემა, რომელიც ნებას რთავს მოქნილობას, საკომუნიკაციო პროტოკოლის სპეციალურ ოპტიმიზაციას სანამ მიიღება მაღალი გამტარუნარიანობა და ეფექტურობა. არსებობს რამდენიმე ეტაპი, თავიდან აღწერა ხდება ძირითადი გაერთიანებული ოპერაციების რადიო ლინკის საკომუნიკაციო across თან ერთად.

#### უსადენო კომუნიკაციების მოთხოვნები

კომუნიკაცია უსადენო კავშირებზე ოქმები უნდა აშენდეს დაუმუშავებელი ელექტრო-მაგნიტური სიგნალებისგან. გადამცემი უნდა იყოს მოდულირებული RF-ზე, სანამ მიმღები ასრულებს დემოდულაციის სიგნალის ანალიზს. ფიგურაზე ასახულია უსადენო საკომუნიკაციო პროტოკოლის პაკეტ დაფუძნებული გასაღებების ფაზა. მნიშვნელოვანია უნდა აღინიშნოს ისიც, რომ კვანძები უნდა შესრულდეს ერთმანეთის პარალელურად.



პირველი ნაბიჯი კომუნიკაციის პროცესში არის მონაცემების დაშიფრა გადასაცემად. კოდირებული სქემები ზრდის წარმატებით გადაცემის ალბათობას და ასწორებს უმნიშვნელო შეცდომებს. ეფექტური მიზნის მისაღებათ კოდირების პროცესი არის pipelined რეალურ გადაცემის პროცესთან ერთად. მას შემდეგ, რაც პირველი ბიტი არის კოდირებული, გადაცემების შეიძლება დაიწყოს, დარჩენილი ბიტები შეიძლება გახდნენ კოდირებული, როგორც წინამორბედი ბიტები არის გადაცემული.

კოდირებული სქემების დიაპაზონი მერყეობს მარტივი CD სქემებიდან, როგორცაა 4b-6b ან Manchester დაშიფრის კომპლექსული CDMA სქემები. ყოველი ნაკრების პირველი ან შემდეგი მონაცემთა ბიტი სახელად სიმბოლო არის კოდირებული რადიო გადამცემი ბიტის ნაკრების შიგნით და ეწოდება *chips*. მანჩესტერულ კოდირების სისტემას აქვს ორი *chips* თითო სიმბოლოს, რომელიც წარმოადგეს მონაცემის 1 ბიტს. პირდაპირი თანმიმდევრობით გავრცელების სპექტრის და CDMA სქემებს ხშირად აქვთ 15 ან 50 *chips* სიმბოლოს გავლით, თითოეული სიმბოლოსთან ერთად აქვს 1 ან 4 მონაცემების ბიტი.

აქტუალური გადაცემა იწყება media access control (MAC) ოქმის შესრულებისას. MAC ოქმი განკუთვნილია მრავალი მონაცემის გადაცემისათვის ერთ საკომუნიკაციო არხში. ერთი მარტივი MAC ოქმი არის carrier sense media access (CSMA), სადაც თითოეული გადამცემი პირველად ამოწმებს უმოქმედო არხისათვის თითოეულ გადაცემას. თუ არხი დაკავებულია, ის დაიცდის ცოტას, შეჩერდება და შემდეგ ხდება გადაცემა.

მონაცემების პირველი ნაწილის გადაცემა ხდება აქტიური გადაცემით რადიო მიმართვის შემდეგ, რომელიც არის სინქრონიზაციის სიმბოლო ან დაწყების სიმბოლო. როგორც გადაცემის ოქმები, გადამცემმა უნდა გააკონტროლოს დროს ყოველი ბიტის გადაცემისას, ისე რომ მიმღებმა შეინაჩუნოს სინქრონიზაცია.

მონაცემების პირველი ნაწილის მიღებისათვის, აუცილებელია აღმოაჩინოს, რომ მონაცემების გადაცემა დაწყებულია. არხი არის არაერთხელ შემოწმებული ხმაურზე რათა აღმოვაჩინოთ სპეციალური საწყისი სიმბოლო. საწყისი სიმბოლოს სიგრძე და ფორმატი შეიძლება იყოს ოპტიმიზირებული ხმაურის დონეებისათვის. იმისათვის, რომ სწორად მოხდეს აღმოჩენა საწყისი სიმბოლოსი, მიმღების არხის უნდა მოდელი რადიო *chips* ის უმცირესი ნიმუში. წინააღმდეგ შემთხვევაში, შესაბამისი ფაზა ნიმუშის და გადაცემის შეიძლება გამოიწვიოს საწყისი სიმბოლოს გაკარგვა.

მიმღებს სინქრონიზაციისთვის უნდა შეძგალი მონაცემების ზუსტი ფაზა. სინქრონიზაციის ნაბიჯი არის კრიტიკული, რომელიც ნებას რთავს მიმღებს განსაზღვროს საწყისი და ბოლო ბიტი გადამცემებისთვის გამოყენებული. როგორც ინდივიდუალური ბიტი არის მიღებული რადიო მიმღებიდან, ისინია არიან შეკრებილნი ბლოკებში, რომლიც არის კოდირებული ვერსია აქტობრივი მონაცემების შეტყობინებების. ბოლოს, ბლოკები არის გაშიფრული ორიგინალი მონაცემების შიგნით. დაშიფრის პროცესი დროს შეიძლება გაასწორდეს შეცდომით გადაცემული ბიტები მიღებულ სიგნალებში და აღდგეს ორიგინალი მონაცემები.

## 2.2 გასაღების არქიტექტურის მისამართები

არსებობს ოთხი ძირითადი გასაღების საკითხი, რომელშიც უნდა იყოს სისტემის არქიტექტურის მიმსამართები. პირველი, უსადენო კომუნიკაციის ოქმების ძირითად

აღწერილობაში ადგილი აქვს მონაცემების პარაელელურ რეჟიმში ჩატარებას. არხი უნდა იყოს მუდმივი დაკვირვების ქვეშ, მონაცემები დაშიფრული და ბიტი უნდა გადაიცეს radio. მეორე, სისტემა უნდა იყოს მოქნილი მავთულიან ხაზში სამიზნე განაცხადის შეხვედრისას. მესამე, არქიტექტურამ უნდა უზრუნველყოს ზუსტი კონტროლი რადიო გადაცემის დროის. ბოლოს, სისტემამ უნდა შეძლოს და გამოყოს მონაცმთა ფაზის სიჩქარე და რადიოს გადაცემის ხარისხი.

### პარალელიზმი (რესურსების ერთდროული გამოყენება)

არქიტექტურამ უნდა უზრუნველყოს ეფექტური მექანიზმი თხელფენოვანი პარალელიზმის დასამუშავებლად . ორივე გადაცემისა და მიღების შემთხვევაში, დაკავშირებული გათვლები უსადენო კომუნიკაციასთან ერთად უნდა ჰქონდეს პარალელურად აპლიკაცია დონის პროცესთან და პოტენციურად შუალედური დონის პაკეტის პროცესთან. სენსორის მოვლენები და მონაცემთა დაანგარიშება უნდა გაგრძელდეს პროცესში მანამ სანამ არ იქნება კავშირის პროგრესი. ეს განსაკუთრებით სწორია მაშინ, როდესაც მხედველობაში მიიღება საწყისი სიმბოლოს გამოვლენა და განცხადებების პროცესები.

მაგალითად საწყისი სიმბოლოს გამოვლენა უნდა შესრულდეს შეუჩერებლად , როცა ელოდება შემდეგ კომუნიკაციას. თუ სხვა პროცესი მიმდინარეობს , უნდა მოხდეს პარალელურად საწყისი სიმბოლოს მოძებნა. ფიგურა 4.1 გვიჩვენებს თუ როგორ არიან მონაცემები დაშიფრული და გადასაცემი არხში თანმიმდევრულად , რომ შემცირდეს გადაცემის შეყოვნება.

### მოქნილობა

არქიტექტურამ უნდა მიაწოდოს მოქნილობის ფართო სპექტრის მხარდაჭერა კონკრეტული განაცხადის ოქმს. ტელეფონებისაგან განხვავებით უსადენო ლოკალური ქსელებს ან Bluetooth მოწყობილობებს, უსადენო სენსორული ქსელებს არ აქვთ ფიქსირებული საკომუნიკაციო ოქმი, რომელიც უნდა დაიცვას. ინტეგრირებულ უსადენო ქსელებს შუძლიათ გამოიყენონ გაცვლა გამტარუნარიანობას შორის და ქსელის პროცესებში რათა შემცირდეს დენის მოხმარება.

გარდა იმისა, რომ მხარს უჭერს მოქნილი საკომუნიკაციო პროტოკოლს, ასევე მნიშვნელოვანი მხარდაჭერაა ინტერფეისის ოქმსა და განაცხადს შორის. განაცხადის პროცესებსა და კომუნიკაციის პროცესს შორის ინტერფეისი ნებას რთავს პროგრამის შემქმნელს შექმნას ოქმის თვითნებურად დაშლა.

მაგალითად თუ სენსორი მონაცემებს არჩევს ერთხელ წუთში, ეს შეიძლება იყოს მისაღები, გადასაცემი მონაცემების შეჩერება ხდება რამოდენიმე წამი , რომელიც საშუალებას აძლევს ქსელს თანმიმდევრულად ეფექტურად გაატაროს ბევრი ნაკადი, სანამ ოპერაციიარის დაბალი ცვლილებების ციკლში. ესეთი ოპტიმიზაციით პატარიას შეძლია გაძლოს ერთი კვირიდან ერთ წლამდე.

გარდა იმისა, რომ მხარს უჭერს მოქნილი საკომუნიკაციო ოქმები, ასევე მნიშვნელოვანია მოქნილი მხარდაჭერა ოქმსა და განაცხადს შორის. მდიდარი ინტერფეისი განაცხადის პროცესსა და საკომუნიკაციო პროცესს შორის , ნებას აძლევს პროგრამისტს შექმნას

დაუსაბუთებელი ოქმის დამშლელი. შიდა ოქმს შეიძლება ქონდეს დაუცველი ოქმის ფორმა და ოქმს შეიძლება ქონდეს fine-grained კონტროლი.

მარტივი მაგალითი იმისა, რომ საჭიროა მოქნილი ოქმები, რომელიც საშუალებას აძლევს განაცხადს გამოჩინოს ძირითადი არხის მახასიათებლები.

სინქრონიზაცია.

არქიტექტურამ უზრუნველყოს და უნდა მიაწოდოს ზუსტი კვანძი-კვანძში სინქრონიზაცია და მისცეს რადიო დროის განაცხადის პირდაპირი კონტროლი. ეს თამაშობს გადაწყვეტ როლს ბევრი უსადენო სენსორული ქსელების პროგრამაში. ხანგრძლივობის სიმოკლე და გადაცემის სიხშირე ხდის მნიშვნელოვანს განაცხადს ქონდეს დროებითი რადიო კონტროლი. ეს არის განსხვავებული ნიმუში მობილური ტელეფონებისათვის, სადაც კავშირი ხდება იშვიათად და დიდი ხანგრძლივობით. განაცხადის ნებას რთავს რათა მიაღწიოს ზუსტი დროის სინქრონიზაციას, რადიო საკომუნიკაციო ოქმმა უნდა უზრუნველყოს ზუსტი დროის ინფრომაცია, თუ როდის ხდება მონაცემების პაკეტის მიღება. გარდა ამისა, მას შეუძლია განაცხადის ზუსტად გაკონტორლება, როცა რადიოკავშირის დასაწყისი არის კარგი.

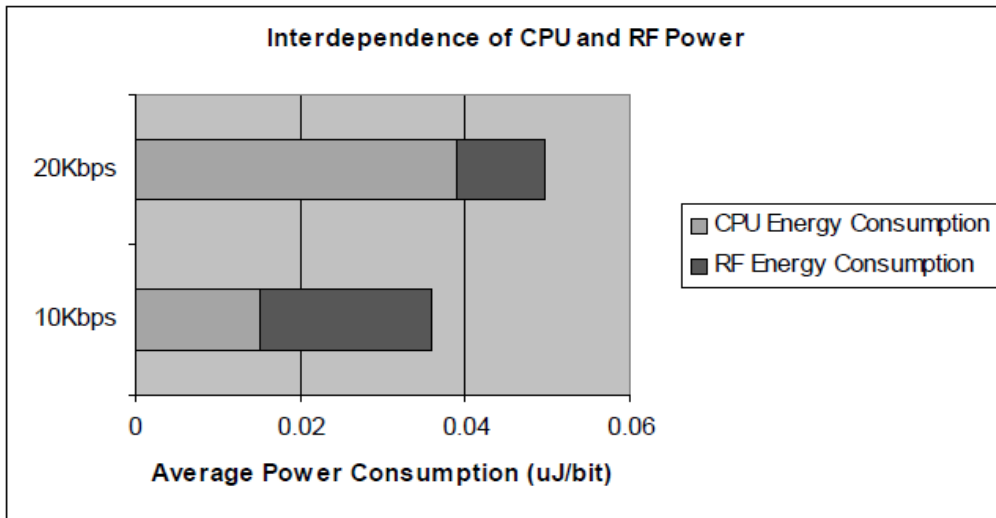
### 2.3 დაყოფა RF -სა და პროცესის სიჩქარეს შორის

სისტემის არქიტექტურამ უნდა დაუშვას დაყოფა RF-ის გადაცემის ხარისხსა და პროცესის სიჩქარეს შორის. რადიოგადაცემა არის ყველაზე ეფექტური როცა მონაცემის გადაცემა წარმოადგენს გადაცემის კოეფიციენტის მაქსიმუმს. როცა გადაცემა ხდება ფიქსირებული ენერგიით, მცირდება გადასაცემი დრო და ამცირებს გამოყენებულ ენერგიას.

თუმცა თანამდეროვე სწავლამ დაბალი ენერგიის პროცესორების დიზაინის და დინამიური ძაბვის სკალირებაში აჩვენა რომ პროცესორები არიან ყველაზე ეფექტური, როცა მანძილის გამოთვლა ხდება დროში, რათა აწარმოოს დაბალი ენერგია.

მოთხოვნათა დახარებით შეძლება გვაკეთოთ Rene პტალფტორმის ნაკლოვანებების ანალიზი. Rene პტალფტორმაში მხოლოდ 10 % არის რადიო, 115 კბ შესაძლებლობა არის გამოყენებული. მიკროკონტროლერის სიჩქარის გაზრდით იზრდება გადაცემის სიჩქარე, იმიტომ რომ I/O პროგრამის სიჩქარე არის პირდაპირპროპორციული მონაცემთა სიჩქარის. თუ საათის სიჩქარის მიკროკონტროლერს გავაორმაგებთ, რის შედეგადაც გადაცემის სიჩქარე იქნება 20კბ და მოხმარებული ენერგია შემცირდება 50%-ით. თუმცა სიჩქარე იზრდება 4 მჰ-ის 8 მჰ მდე ზრდის მიკროკონტროლერის ენერგიის მოხმარებას 15მილივატიდან 50 მილივატამდე. გარდა ამისა, უმოქმედო რეჟიმის დროს ენერგიის მოხმარება შეიძლება გაიზარდოს 9 მეგავატიდან 28 მეგავატამდე.





კონკრეტულად აპლიკაცია , სადაც სქემა გადაცემულია 100% იანი დროის , გაორმაგებული გადაცემის კოეფიციენტი საშუალებას მისცემს მოწყობილობის სიჩქარეს 50% დროის შეინახოს უმოქმედო რეჟიმის შემთხვევაში. რადიო გადაცემი მოითხოვს 21 მილივატს, საშუალო ენერჯის მოხმარება გაუმჯობესებულ სისტემის იქნება დაახლოებით ესეთი სახის 5\*21 მეგავატი +5\*50 მეგავატი +5\*28 მეგავატი +5\*49.5 მეგავატი. მეორე მხრივ, ოროგინალი სისტემა მხოლოდ მოიხმარს საშუალოდ 63 მეგავატს.

სისტემის არქიტექტურის მექანიზმის მოსაგვარებლად სისტემის არქიტექტურამ უნდა უზრუნველყოს დამორებებისგადასაცემი კოეფიციენტი datapath სიჩქარიდან. სპეციალური დანიშნულების ტექნიკურ მხარდაჭერას შეუძლია იმუშაოს სიხშირეზე, რომელიც ოპტიმალურია რადიო გადაცემებისათვის , სანამ მთავარი დანიშნულების კონტროლერი არის აწყობილი გამოსაანგარიშებელი კოეფიციენტისათვის.

#### 2.4. უსადენო ქსელის ტრადიციული დიზაინი

ტრადიციული უსადენო დიზაინი , როგორცაა მობილური ტელეფონები , 802.11 უსადენო კარტები და Bluetooth ჩართული მოწყობილობები ყველა ირჩევს მისამართებს რესურსების ერთდროული გამოყენებისათვის და გამყოფ მოწყობილობებს მიცემული ოქმების პროცესებისათვის. განაცხადისა და ოქმის დონის პროცესებს შეუძლიათ პარალელურად განახლება, იმიტომ რომ ისინი მოქმედებენ ცალკეული ფიზიკური ტექნიკით.

ოქმის პროცესორი რეალურ დროში ამუშავებს მოდულაციის მოთხოვნებს და demodulating რადიო არხებს. მაგალითად, Bluetooth-ის host channel interface (HCI) უზრუნველყოფს მაღალი დონის ოქმების ინტერფეისი არის UART- ის მაღლა, ოქმის სინქრონიზაციის ჩახლართულობა , არხის კოდირება და media access control (MAC) ოქმები, არიან დამალულები განაცხადებისათვის.

მიუხედავად იმისა, რომ არსებოს უარყოფითი მხარეები ოქმის პროტოკოლისადმი მიძღვნილი. დამატებითი პროცესორის ჩართვა არ შეამცირებს გამოთვლებს , რომელიც

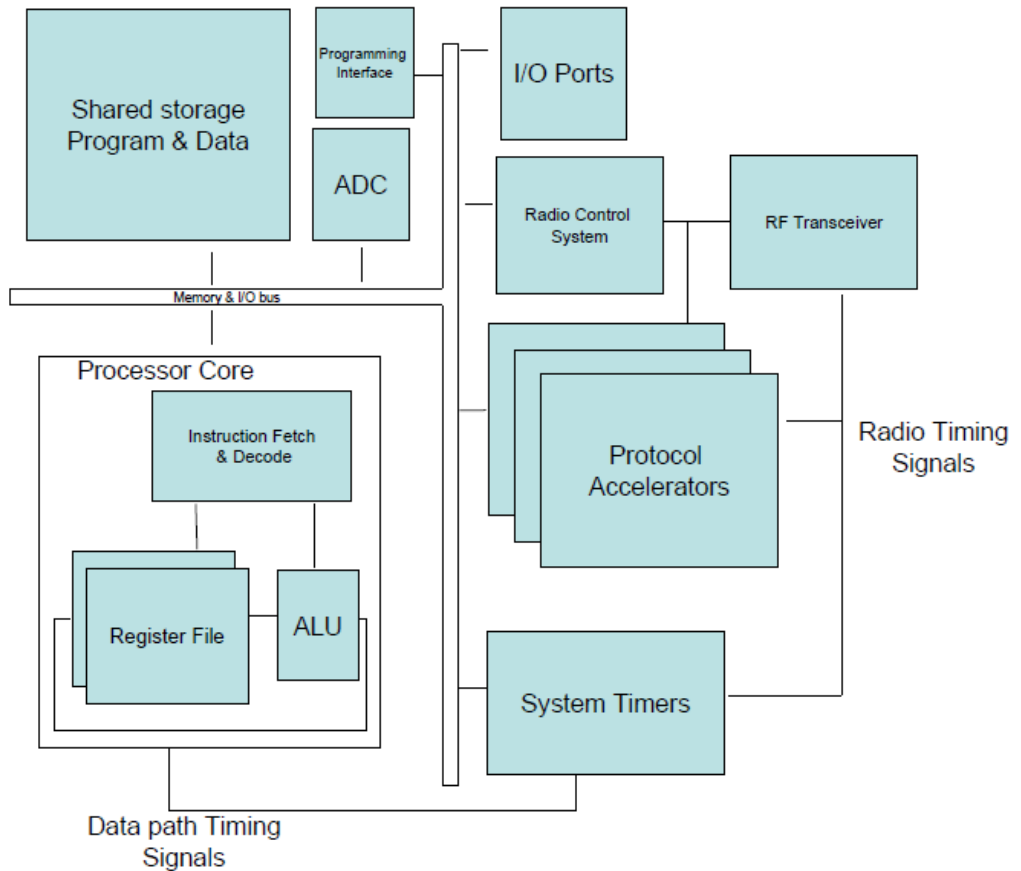
შესასრულებელია. ის არის მხოლოდ საზღვარი მეორე პროცესორისთვის. იგი მხოლოდ უზრუნველყოფს მექანიზმის რესურსების ერთდროულად გამოყენებას, რომელიც საშუალებას აძლევს განაცხადს და ოქმს იმუშაონ ერთდროულად. სამწუხაროდ, პროცესორის პაკეტი არის სისტემის რესურსი მუდმივად მიძღვნილი რადიო გადამუშავებას. ესეთი მკაცრი დაყოფა იწვევს არა-ოპტიმალურად რესურსების ათვისებას. გარდა ამისა, არაეფექტური ჩიპიდან ჩიპზე კომუნიკაციის მექანიზმის გამოყენებული უნდა იქნეს გადასაცემ მონაცემებისათვის განაცხადის პროცესორსა და აპლიკაციის პროცესორს შორის. საბოლოოდ გამოყენება ოქმების პროცესორი იწვევს არაეფექტური რესურსის ათვისებას.

კიდევ ერთი ნაკლი ოქმის პროცესორის არის ის, რომ განაცხადის ინტერფეისის საკომუნიკაციო ოქმები უნდა გავრცელდეს შეზღუდვითი ჩიპიდან ჩიპის ინტერფეისზე. კონტროლის შეტყობინებების ფიქსირებული კომპლექტი უნდა განისაზღვროს განაცხადისა და ოქმის პროცესებ შორის. ფიზიკური ბარიერი განაცხადსა და ოქმის პროცესებს შორის ართულებს შესასრულოს განაკავშირებელი ფენის ოპტიმიზაცია.

## 2.5. უსადენო სენსორული კვანძის განზოგადებული არქიტექტურა

არქიტექტურა არის დაფუძნებულია წინაპირობაზე , რომელიც წარმოადგენს რესურს და რომელიც უნდა იყოს შესაძლო გამოყენებისათვის გამოყენებული ან სასარგებლო დინამიური გამოყოფისათვის, რომ დროებითი მეხსიერების საჭიროებისათვის გამოყენებული იქნას ზოგადი დანიშნულების მონაცემთა ბაზა და რადიო სიგნალი , ოქმის საიმედოობა არის აუცილებელი. მისამართების წარმოდგენა და ეფექტურობა , სპეციალური დანიშნულების ტექნიკის დამაჩქარებლები გადაამუშავებს რეალურ დროში მაღალი სიჩქარის რადიო სიგნალის მოთხოვნებს . აქსელერატორი წარმოადგენს მთავარ გამანაწილებელს,

ქვემოთ მოყვანილი ფიგურაზე გამოსახული განზოგადებული არქიტექტურის მაგალითი. ძირითადი მიზანი არქიტექტურის არის გამოთვლითი მანქანა , რომელიც ანაწილებს დროს განაცხადებსა და პროცესი ოქმებზე. მხოლოდ ერთი გამოთვლითი მანქანა არის გასათვალისწინებელი , იმიტომ რომ ის საშუალებას იძლევა გაანაწილოს ყველა პროცესის რესურსი ერთი ამოცანისათვის როცა ამის საჭიროებაა.



იდეალურ შემთხვევაში, ერთი პროცესორი მოიცავს დამატებითი მხარდაჭერას თხელფენონავი პარალელიზმის დამუშავებისათვის. ეს პროცესორი განკუთვნილია განაწილებული მრავალჯერადი კონკურენტული ოპერაციებისათვის.

როგორც დამახასიათებელია, მიკროკონტროლერის დიზაინში მონაცემთა ფაზა არის დაკავშირებული სისტემის კომპონენტთან უკუკავშირით. მეხსიერება, I/O პორტი, ციფრული და ანალოგური გარდამქმნელი, სისტემის მთვლელი და ტექნიკური მხარდაჭერის აქსელერომეტრი არის ურთიერთდაკავშირებული. CPU-ს ურთიერთქმედება პერიფერიულ მოწყობილობებთან, არის აგრეთვე ერთობლივი ურთიერთდაკავშირება ინდივიდუალური პერიფერიული მოწყობილობების ერთმანეთთან.

### III თავი

#### 3.1. ჯანმრთელობის სტრუქტურის მონიტორინგი

ჯანმრთელობის სტრუქტურის მონიტორინგი არის შეფასება ჯანმრთელობის მონიტორინგის სტრუქტურის ან ცვლილებების აღმოჩენა სტრუქტურაში, რომლის ეფექტიც არის შესრულება(წარმოდგენა). ძირითადი ორი ფაქტორი არის დროის მასშტაბის ცვლილება და სიზუსტის ცვლილება. დროის მასშტაბის ცვლილება არის სწრაფი ცვლილების მოხდენა და სიზუსტე ცვლილების ხარისხი. ორ ძირითადი კატეგორია ჯანმრთელობის სტრუქტურის მონიტორინგის (SHM) არის რეაგირება კატასტროფაზე (მიწისძვრა, აფეთქება) და უწყვეტი ჯანმრთელობის მონიტორინგი (ქარი, ატმოსფერული ვიბრაცია), ნაშრომი ორიენტირებულია ჯანმრთელობის სტრუქტურულ მონიტორინგზე. არსებობს ჯანმრთელობის სტრუქტურული მონიტორინგის ორი ძირითადი მიდგომა: 1. პირდაპირი ზიანის გამოვლენა და 2. არაპირდაპირი ზიანის გამოვლენა.

#### 3.2. უსადენო სენსორული ქსელების გამოყენების უპირატესობები

სტრუქტურული ჯანმრთელობის მონიტორინგი არ არის ახალი კონცეფცია. ზოგადი მეთოდი იყენებს პეროსანალური კომპიუტერის ხაზის piezoelectric აქსელერომეტრს. თუმცა ამ მეთოდს აქვს ხარვეზები:

1. ხაზი არ აწარმოებს მთლიან სტრუქტურას, ამიტომ შეიძლება ხელი შეუშალოს ნორმალური ფუნქციონირების სტრუქტურას.
2. შემადგენლობის ღირებულება არის მაღალი.
3. დაყენება არის ძალიან ძვირი
4. მომსახურეობა ასევე ძვირია.

საყოველთაოდ აღიარებული მეთოდით უსადენო სენსორული ქსელები უზრუნველყოფს იგივე ფუნქციონალობას დაბალი ფასით, რომელიც იძლევა გაცილებით ხშირ მონიტორინგს.

რაც შეეხება ტექნიკის ღირებულებას სისტემა პერსონალურ კომპიუტერთან და piezoelectric აქსელერომეტრთან ერთად არის გამოყენებადი და მისი ღირებულებაა \$40 000 per. რაც შეეხება უსადენო სენსორული ქსელებით მის გამოყენებას დაახლოებით მისი ღირებულებაა \$600 per, რადგან უსადენო სენსორულ ქსელებში(WSN) არ გამოიყენება მავთულები, დაყენება და მისი მომსახურეობა არის ადვილი და იაფი უფრო მეტიც WSN-ის ეფექტის სტრუქტურის ოპერაციაში არის ნაკლები. უსადენო სენსორულ ქსელებზე დაფუძნებული ჯანმრთელობის სტრუქტურული მონიტორინგი შეიძლება გაძილდეს მიკროელექტრო (MEMS) სისტემის აქსელერომეტრის მიერ. MEMS აქსელერომეტრი არის ძალიან მოსახერხებელი ზომაში, მიხმარს ცოტა ენერჯიას და არის იაფი. MEMS აქსელერომეტრის გარეშე უსადენო სენსორული ქსელების მცირე ზომა, დაბალი ენერჯის მოხმარება და დაბალი ღირებულება შეიძლება იყოს გაუარესებული.

### 3.3. უსადენო სენსორული ქსელების გამოწვევები

უსადენო სენსორული ქსელებისათვის ჩვენ გვჭირდება წავიკითხოთ აჩქარების სიგნალები  $500\mu\text{G}$  ზემოთ ეს სიხშირე უფრო მაღალია ვიდრე  $1\text{KHz}$  სინქრონიზაცია .

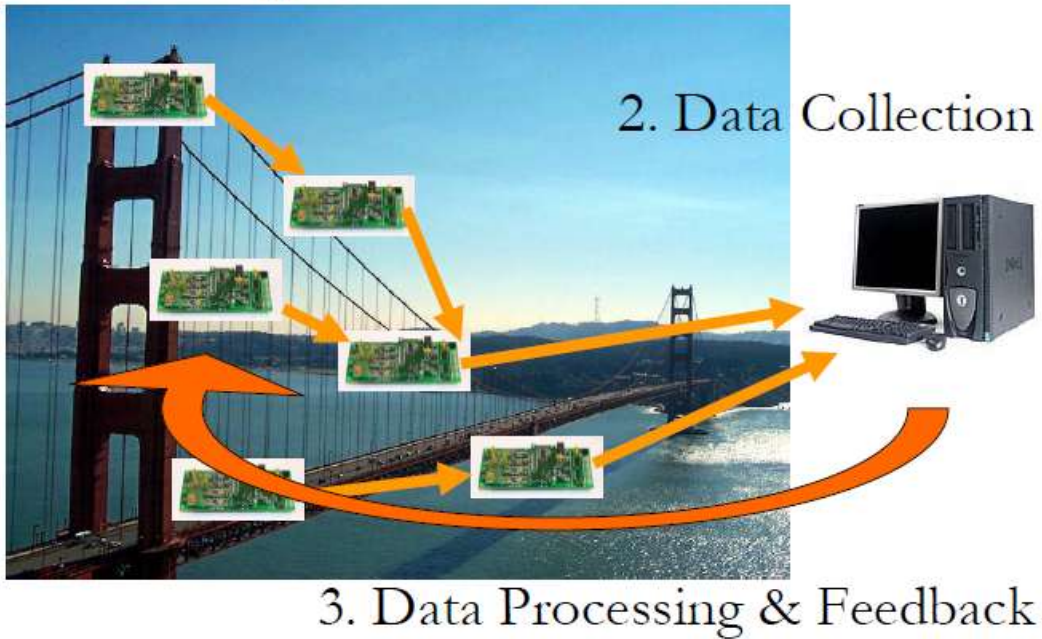
ჯანმრთელობის სტრუქტურული მონიტორინგის მოთხოვნები შეიძლება შეიცვალოს უსადენო სენსორული ქსელებისთვის

- მაღალი სიზუსტის ნიშანი: კოდის დამახინჯება მოიცავს სისტემის ხმაურს, პროგრამის დაყენების შეცდომას და ტემპერატურის ცვალებადობა.
- მაღალი ხარისხის შერჩევა: ეს გულისხმობს დაბალ ციმციმს. ციმციმი არის ცვალებადობა შერჩევის ინტერვალში.
- დროის სინქრონიზაცია: შერჩევა უნდა დაიწყოს ყველა კვანძისთვის, თუმცა ამავე დროს შერჩევა უნდა გაკეთდეს მრავალჯერადი კვანძებისთვის მთელ ქსელში.
- ფართომასშტაბიანი Multi-hop ქსელი: იმ შემთხვევაში თუ სტრუქტურა მოიცავს მაძილს (1 მილი) როგორცაა ხიდი, შეუძლებელია მთელის სტრუქტურა დაიფაროს ერთი hop კომუნიკაციით. ასე რომ ფართომასშტაბიანი Multi-hop ქსელი არის აუცილებელი მიეწოდოს დაკავშირებით
- სანდო ბრძანებების გავრცელება: თუ არ შესრულდა კვანძების დაწყების პროცესი, მონაცემები დაცილდება , გვექნება არასრულყოფილი ხიდის სურათი, რისი ანალიზიც ძალიან რთულია ან შეუძლებელი.
- სანდო მონაცემების გავრცელება: არა მხოლოდ ბრზანებები, არამედ მონაცემები უნდა გადაიცემოდეს საიმედოდ. დაკარგული მონაცემების ანალიზი ზნელია ან შეუძლებელი.

პირობითად უსადენო სენსორული ქსელების გამოყენება მიმართულია დაბალი სიმძლავრის ციკლზე, დაბალი მონაცემების ხარისხი. ჯანმრთელობის სტრუქტურული მონიტორინგი არის აპლიკაციების სპექტრის სხვა დასასრული და აქვს განსხვავებული მოთხოვნები. ენერჯიაზე დამოკიდებულების ნაკლებობასთან ერთად მას სჭირდება მაღალი სიმძლავრის ციკლი, მაღალი სიხშირის და საიმედო კოლექცია დიდი მოცულობით მონაცემთა. განსხვავებები უსადენო სენსორული ქსელების.

მოცემული ფიგურა აჩვენებს სისტემის მაღალი დონის მიმოხილვას. ოპერაცია შეიძლება დაიშალოს სამ ეტაპად.

# 1. Data Acquisition



- მონაცემების შერჩევა:
- მონაცემთა შეგორვება:
- მონაცემთა ანალიზი: გაშვებული ანალიზის პასუხები და დეტერმინებული ჯანმრთელობის სტატუსი. აგზავნის უკუკავშირს კვამებთან თუ დასჭირდა.

სისტემა ასევე შეიძლება დაიშალოს სტუქტურული ერთეულების შიგნით. სისტემა შეიძლება დაიშალოს სამ ერთეულად: ტექნიკური მხარდაჭერა, პროგრამული მხარდაჭერა კვანძების და ცენტრალური კომპიუტერის პროგრამული მხარდაჭერის ანალიზი.

## 4.1. MEMS -ის შესავალი მიკროსისტემები და სენსორები

მოცემული ნაშრომი განიხილავს ელექტრო და კომპიუტერული ინჟინერიის ძირითად კონცეფციას უსადენო სენსორული ქსელების დანერგვაში:

- სენსორული ელექტრონიკის განხილვა და მონაცემთა გარდაქმნა
- შესავალი MEMS-ში, მიკროსისტემები და სენსორები
- რადიო-სიხშირული უსადენო მონაცემთა კომუნიკაცია
- უსადენო სენსორული ქსელები

### მიკროსისტემები

- მიკროსისტემები არის მცირე ზომის სისტემები ან სისტემები , რომელებიც შედგება მცირე ზომის კომპონენტებისგან
- მიკროსისტემებს ემახიან მიკროელექტრომექანიკურ სისტემებს ან შემოკლებით MEMS-ი , მათი ფუნქციონირება სცილდება ელექტრონიკასა და მექანიკას.
- მიკროსისტემები შედგება სქემებისგან, პროცესორის და სიგნალის კონდიციონირებული სქემებისაგან
- transducer -ის მნიშვნელობა

### რა არის transducer ?

- transducer : გარდაქმნის ენერგიას

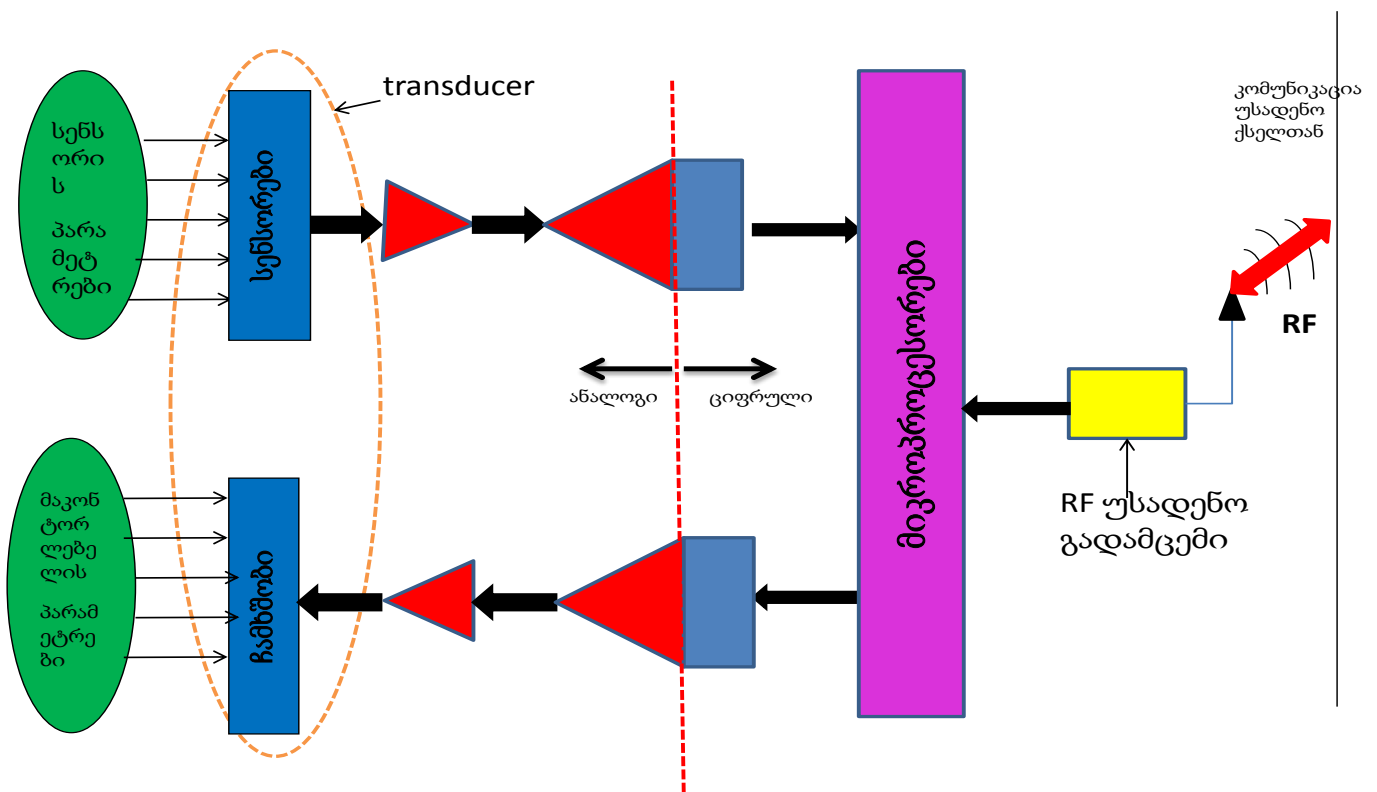
❖ სენსორებში

❖ გადამცემში

სენსორი: გამოიმუშავებს ელექტრო სიგნალებს მაგალითად: აქსელერატორი, ტემპერატურა, აჩქარება...

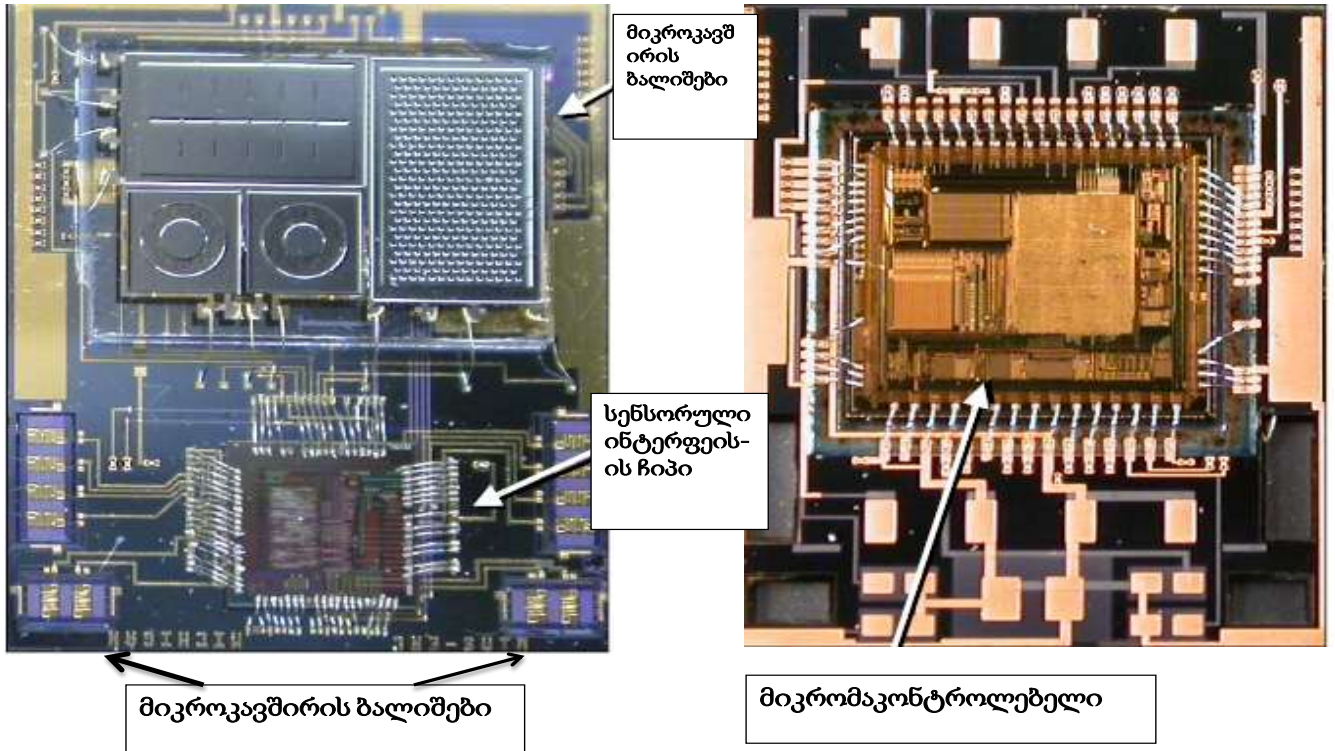
გადამცემი- იღებს სიგნალებს გარემოდან და გარდაქმნის ელექტრო სიგნალებში მაგალითად: გამათბობელი, აუდიო დინამიკი, სქემები.....

## უსადენო სენსორული სისტემები





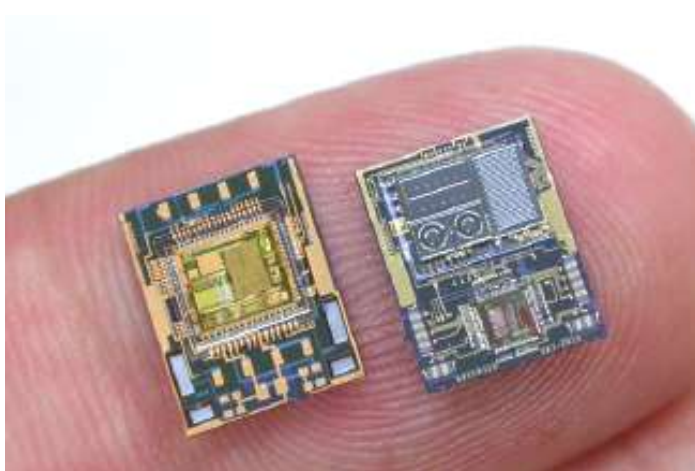
## ინტეგრირებული მიკროსისტემის მაგალითები



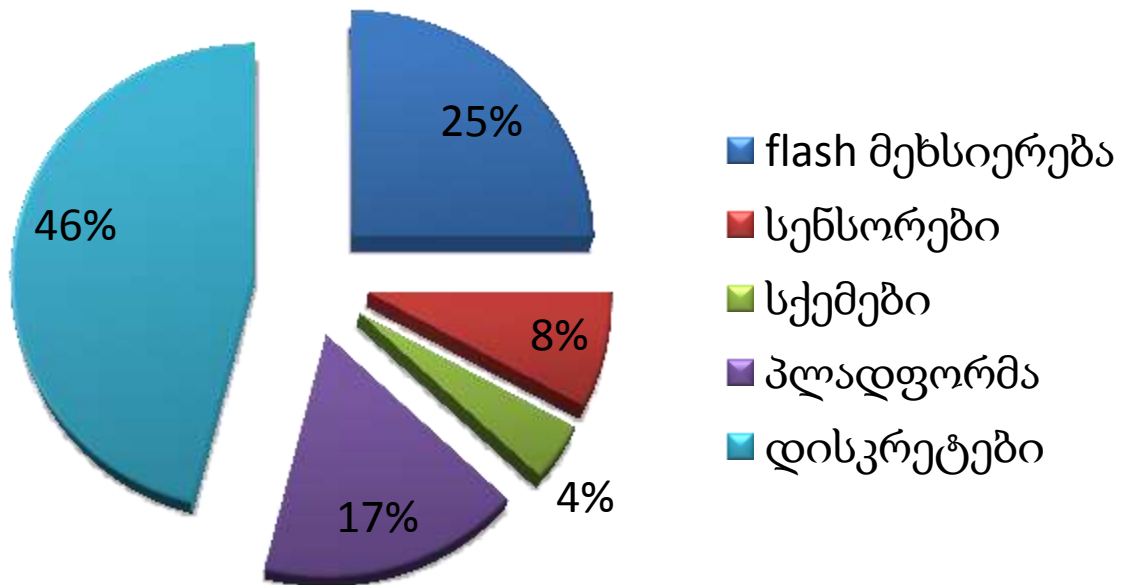
მცირე ზომა, ფუნქციონირების

- ფართობი 9მმX7.6მმ
- წონა 250გ.
- მოცულობა 0.16სმ<sup>3</sup>

სიდიდე



## მიკროსისტემის მოცულობის განაწილება



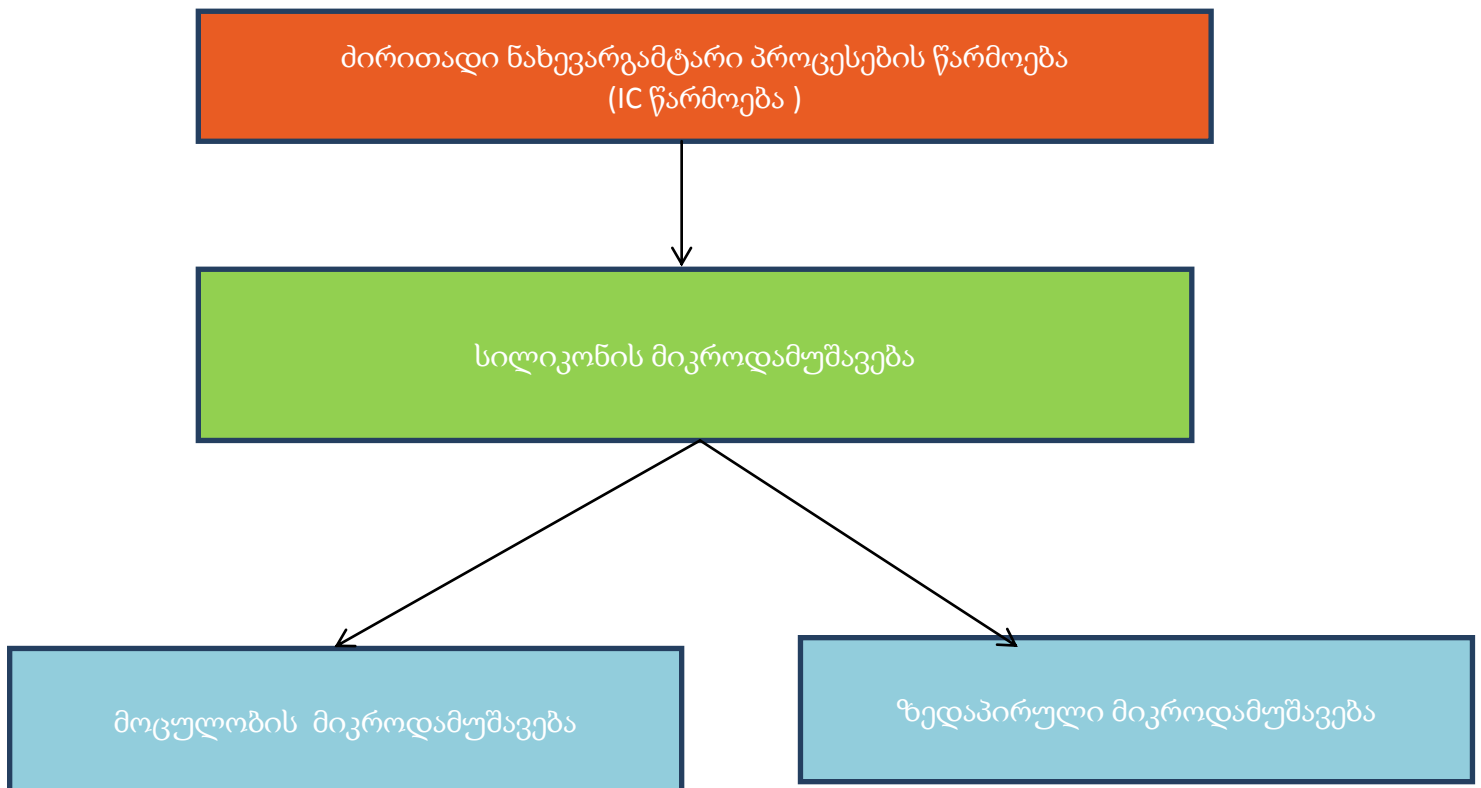
### 4.2. MEMS წარმოება

- MEMS -ის მოწყობილობების წარმოება ხდება სუფთა გარემოში
- სუფთა გარემოს კლასიფიცირება ეფუძნება აირის ნაწილაკის რიცხვს და ზომას.
- A კლასის 100 სუფთა გარემო ნიშნავს რომ ნაწილაკების რიცხვი უფრო დიდია ვიდრე  $0.5\mu\text{m}$ , ის არ უნდა აღემატებოდეს აირის 100 კუბურ ფუტს
- წარმოებისათვის გამოიყენება სილიკონის ფირფიტები, როგორც ნაწილაკები. (substrate)

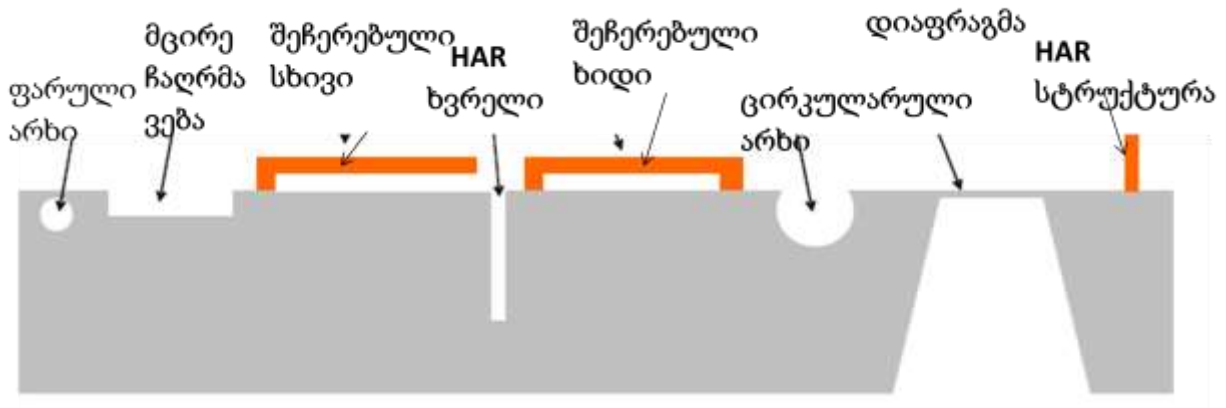
- სილიკონი არის იმავე მასალის, როგორცაა ნაწილაკი (substrate) , რომელიც გამოიყენება მიკროსისტემის და მეხსიერების წარმოებისთვის .

### პროგრესი მიკროელექტრონულ/ინტეგრირებული სქემებში

წელი	ფირფიტის ზომა(სმ)	მახასიათებლის ზომა (μm )	ჩიპის ზომა (მმ)	მოწყობილობები /ჩიპები	ღირებულება /ბიტი(ცენტი)
1960	2.5	25	1	1	-----
1970	5	10	10	1K	3
1980	10	4	30	100K	0.03
1990	20	0.5	100	10M	0.0003
2000	30	0.2	300	1G	0.00001
2010	45	0.05	600	50G	0.0000006



MEMS-ში დაფუძნებულ მოწყობილობებში საჭიროა სხვადასხვაგვარი მიკროსისტემები, როგორცაა ხვრელები, არხები, ღრმულები...



## MEMS-ის განვითარების მიზეზები

- პატარა
- მძლავრი
- იაფი
- ახალი არქიტექტურა
- პორტატული
- უფრო მეტად ფუნქციონალური

### 4.3. MEMS აპლიკაციები და სოციალური გავლენა

- სამრწველო მაგალითები
- სამედიცინო და ბილოგიური მეცნიერებები
- ანალიტიკური ქიმია
- სამოქალაქო ინფრასტრუქტურის მონიტორინგი

## ავტომობილების მრეწველობა

- აირბაგ აქსელერომეტრი, პირველი კომერციულად ხელმისაწვდომი
- MEMS პროდუქტი: პატარა ზომა, მაღალი მგრძობელობა და შედარებით

დაბალი ღირებულება.

- Analog Devices არის ერთი ძირითადი მოთამაშე ამ სფეროში.
- სხვა ავტომობილების აპლიკაციები მოიცავს საწვავის წნევის სენსორებს, საბურავის წნევის სენსორებს, ჭკვიან სენსორებს კოლიზიების ასაცილებლად, ავტომობილის უსაფრთხოებას...

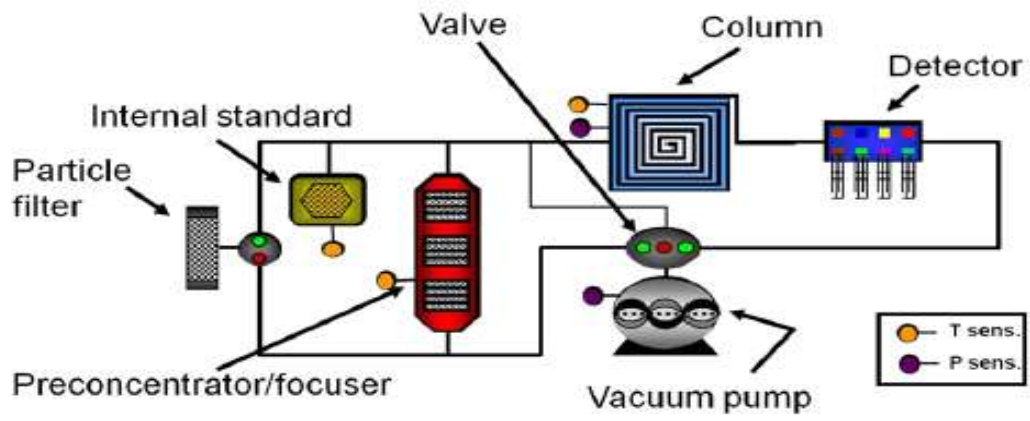
## სამედიცინო და ბიოლოგიური მეცნიერებები

- პარალელური ოპერაცია და მაღალი გამტარუნარიანობა
- მეტი მოქნილობა მიკროსგარემოს დიზაინში
- ფიჭური მიკროგარემოს მჭიდრო კონტროლი
- ნიმუშის პატარა ზომა და რეაქტივი, მცირე ენერგო მომხამრება
- სწრაფი ანალიზის გამო მცირე მასშტაბის სიგრძე

## ანალიტიკური ქიმია

- ნიმუში შეიძლება წარმოდგენილი იყოს preconcentrator ზე.
- შეგროვებული ნიმუში არის გამვეებული დაშორებულ სვეტებში
- სვეტი გამოყოფს ნიმუშს შემადგენლობის შიგნით

- დეტექტორი განსაზღვრავს გამოყოფილ ნივთიერებებს



## V თავი

### 5.1. ტენზომეტრული სენსორი

ტენზომეტრი არის სენსორი რომლის წინააღმდეგობა მერყეობს გამოყენებულ ძალასთან ერთად. ის გარდაქმნის ძალას, წნევას, დამაბულობას, წონას და ასე შემდეგ ელექტრო წინააღმდეგობაში, რომელიც შემდეგ უნდა შეფასდეს.

როდესაც გარე ძალები არის გამოყენებული უძრავ ობიექტზე მაშინ შედეგი არის დამაბუა და სტრესი. სტრესის განისაზღვრება როგორც ობიექტის წინააღმდეგობის გაწევის ძალა, დამაბუა განისაზღვრება როგორც გადადგილება და დეფორმაცია.

ტენზომეტრი არის ერთ ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი ინსტრუმენტი ელექტრო ტექნიკური სისტემის . როგორც მათი სახელი მიუთითებს ისინი გამოიყენება დაჭიმულობის გასაზომად . როგორც ტექნიკური ტერმინი „ტენზომეტრი“ შედგება დაჭიმვადი და კომპრესირებული ტენზომეტრისგან, დამახასიათებელია დადებითი ან უარყოფითი ნიშნები. დამაბულობა ყოველთვის გამოწვეულია გარე ზემოქმედებით ან შიდა ეფექტით, იგი გამოწვეულია ისეთი ფაქტორებით, როგორიცაა ძალა , წნევა , სითბო და ქსოვილების ცვლილებებით . თუ გარკვეული ცვლილებები შესრულებულია , ჯამისა და ღირებულების ზეგავლენის ხარისხით შეიძლება მიღებული იქნას ტენზომეტრის დაანგარიშებული ღირებულება. ექსპერიმენტული დამაბულობის ანალიზი ამ ფუნქციაში ფართოდ გამოიყენება, იგი იყენებს დაჭიმვის ღირებულებებს, რომელიც იზომება ზედაპირის ნიმუშის, სტრუქტურული ნაწილის ,ნივთიერებაში დამაბულობის ან აგრეთვე წინასწარი დაცვითა და გამძლეობით . სპეციალური transducer-ს შეიძლება განკუთვნილი იყოს ძალების შფასებაზე ან სხვა მიღებული რაოდენობაზე, მაგალითად როგორიცაა წნევა , აჩქარება, გადანაცვლება, ვიბრაცია და სხვა.

ტენზომეტრის ფაქტორი  $GF$  განისაზღვრება , როგორც

$$GF = \frac{\Delta R / R_G}{\epsilon}$$

სადაც  $\Delta R$  არის წინააღმდეგობის ცვლილება გამოწვეული დამაბულობით

$R_G$  არადეფორმირებული კრიტერიუმის წინააღმდეგობა

$\epsilon$  არის დამაბულობა

მეტალებისათვის ტენზომეტრული ფაქტორი არის ჩვეულებრივი 2 ზე ზემოთ. ერთი აქტიური კრიტერიუმი და სამი გამომავალი  $v$ , ხიდისთვის არის

$$v = \frac{BV \cdot GF \cdot \epsilon}{4}$$

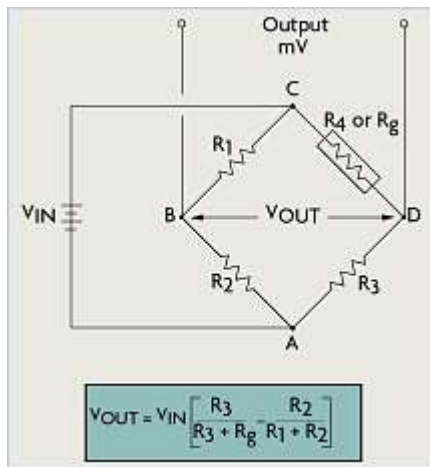
სადაც  $BV$  არის აღზნებული ძაბვის ხიდი.

## Bonded Foil Strain Gages

პირველი bonded მეტალის-ტიპის ტენზომეტრი შეიქმნა 1938 წელს . მეტალის foil-ტიპის ტენზომეტრი შედგება ქსელის მავთულისაგან დაახლოებით 0.001 ინჩი სისქისგან როდესაც ზედაპირზე იზრდება დაწოლა , რის შედეგადაც ზედაპირზე ხანგრძლივობის ცვლილება ეცნობება წინააღმდეგობის და მავთულიანი foil-ის დაჭიმულობა იზომება , რომელიც მერყეობს ხაზოვან დაჭიმულობასთან ერთად. როცა ხდება ტენზომეტრის შერჩევა, არა მარტო უნდა განვიხილოთ დაჭიმულობის მახასიათებლის კონტროლი, არამედ სტაბილურობა და ტემპერატურის გრძნობელობა. სამწუხაროდ, ტენზომეტრის მასალები აგრეთვე მგრძნობიარენი არიან ტემპერატურის ცვლილების და წინააღმდეგობის ცვლილების.

### მიკროსქემის საზომი

იმისათვის რომ განვსაზრვროთ დაჭიმულობა ტენზომეტრთან ერთად , ისინი დაკავშირებული უნდა იყვნენ ელექტრო წრედში , რომელსაც აქვს გაზომვის უნარი , დაჭიმულობის წინააღმდეგობის ცვლილებისა წუთში. ტენზომეტრის transducers ჩვეულებრივ ამუშავებს ოთხი ტენზომეტრის ელემენტი , რომელებიც ელექტრონულად არიან დაკავშირებული Wheatstone სქემის ხიდის წრისთვის.

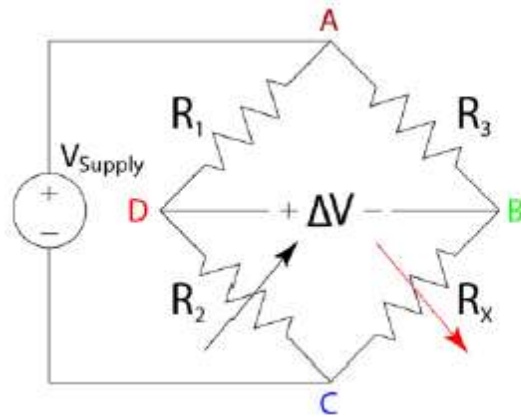


Wheatstone ხიდი იარის გაყოფილი ხიდის წრებრუნვა, რომელიც გამოიყენება ელექტრული და დინამიური ელექტრო წინააღმდეგობის გასაზომად. გამომავალი ძაბვა Wheatstone ხიდის არის გამოხატული შემავალი და გამავალი მილივოლტით.

რიგი სხვა სახის სენსორები მათ შორი ტემპერატურა, ფოტო და ქიმიური უზრუნველყოფს ელექტრო წინააღმდეგობებს რეაქსიების ცვლილებებში.

იმისათვის რომ მიიღო მონაცემი წინააღმდეგობის გამწვევი სენსორიდან, ხშირად საჭიროა გარდაქმნა წინააღმდეგობა ძაბვის დონეზე. ერთი მოდგომა იყენებს მარტივ წინააღმდეგობის გამომწვევ ხიდის სქემას რომელიც ნაჩვენებია შემდეგ ნახაზზე.





ფიგურა 1. წინაარმდეგობის ხიდის წრებრუნვა

ამ სქემაში ცვლადი წინააღობა \$R\_X\$ წარმოადგენს წინააღმდეგობის გამომწვევ მაკონტროლებელ მოწყობილობას. ამ მიკროსქემის გამომავალი (\$\Delta V\$) აღებულია კვანძებს შორის ორი წინააღობების კომპლექტიდან (მონიშნული B და D აღნიშნულ დიაგრამაში). ძაბვის შორის კვანძები შეიძლება ნაჩვენები იყოს შემდეგი ფორმულით :

$$\Delta V = V_{Supply} \cdot \left[ \frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_X}{R_X + R_3} \right]$$

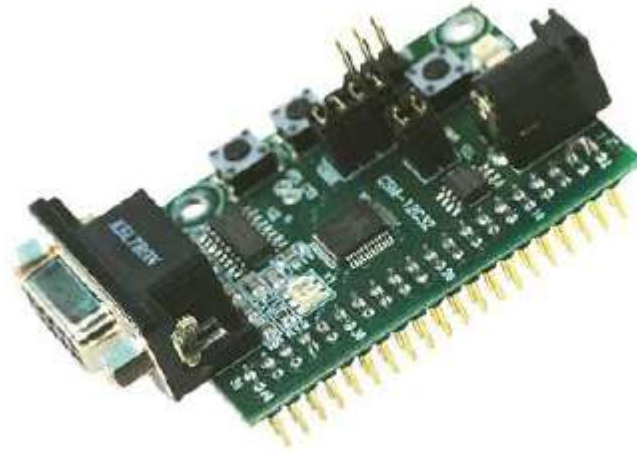
ერთი მთავარი უპირატესობა ხიდის სქემის არის ის, რომ იყოს დაბალანსებული. ჩვენს მდგომარეობაში, სასურველი მდგომარეობა არის სიმშვიდე (ნულოვანი სტრესი) დაძაბულობის გაზომვისას. ფიგურა 1 ზე, \$R\_2\$ წარმოადგენს potentiometer-ს, მოწყობილობა რომელსაც შეიძლება ჰქონდეს წინააღმდეგობის მეტი ღირებულება გარკვეულ დიაპაზონში. (~ \$0\Omega\$ to \$10k\Omega\$ ჩვენს შემთხვევაში). potentiometer გამოიყენოს ხიდი სქემის დაბალანსებისას, ხიდი როდესაც ბალანსირებულია ნაჩვენები უნდ იყოს შედეგნაირად :

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_X}$$

თუ ხიდი ბალანსირებულია მოდუნებული ბალანსის მდგომარეობაში, შემდგომი ცვლილებების დაძაბულობა გამოიწვევს ძაბვის ქანაობას ზემოთ და ქვემოთ 0 ვოლტში

(ადგილზე). ძაბვის ამ ცვლილების აღმოჩენა შესაძლებელია გაძლიერდეს ციფრულ სიგნალად გარდაქმნისას (1s და 0S) და ფართოდ გავრცელებით უსადენო საკომუნიკაციო მოწყობილობების სხვა კვანძებით უსადენო სენსორულ ქსელში. ანალოგურ-ციფრული გარდაქმნა (ასევე ცნობილი, როგორც A / D ან ADC) გამოიყენება ანალოგიური ძაბვის ციფრული ბიტად გარდასაქმნელად .

ბევრი თანამედროვე მიკროკონტროლერი (MCUs) აღჭურვილია A/D გარდამქმნელით. ფიგურა 2 ზე მოცემულია FREESCALE MC9S12C32 MCU დაფა .



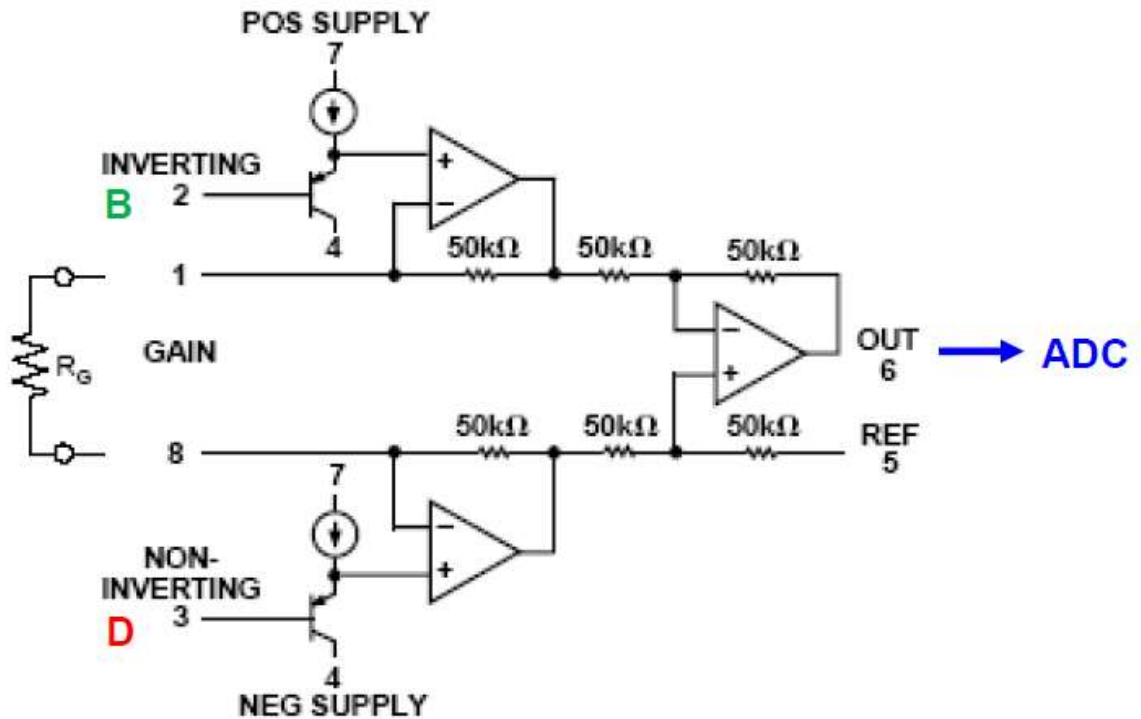
ფიგურა 2. MCU Emulator დაფა

MC9S12-ს A/ D კონვერტორი არის 8 bit კონვერტორი, რაც იმას ნიშნავს, რომ ანალოგიური ძაბვის ამპლიტუდის შეიძლება გადაიყვანოს ერთიდან 256მდე ( $2^N$  სადაც  $N = 8$ ) დისკრეტული ღირებულებები. ამას ეწოდება მოწესრიგებულობის გარდამქმნელი და იგი განსაზღვრავს რამდენად ზუსტია მონაცემთა გარდაქმნა. შეყვანის სიგნალი ზღვარი არის 0 - 5 ვ. ქვემოთ მოყვანილი ცხრილი აჩვენებს კონკრეტულ ძაბვის რომელ დონეზე იქნება ციფრულ წარმოდგენაში გარდაქმნა MC9S12 მიერ.

Voltage	Bits	Equivalent
0	00000000	0
0.5	00011010	26
2.5	01111111	127
3.5	10110011	179
5	11111111	255

ცხრილი 1. A/ D კონვერტორი მაგალითების შეტანისათვის

იმისათვის რომ იზოლირდეს ხიდის სქემა მიკროკონტროლერისაგან და გაძლიერდეს ძაბვის დონე (გაძილება ასევე ცნობილია როგორც მომატება) ამ შემთხვევაში წინაღობის ზღვრული სენსორი არის პატარა, გამაძლიერებელი მოთავსებული ხიდსა და მიკროკონტროლერს შორის. გამაძლიერებლად ამ ლაბორატორიაში ჩვენ გამოვიყენებთ აპარატურის გამაძლიერებელს (კერძოდ ანალოგური მოწყობილობები AD623), რომელშიც რეალურად სამი ფუნქციონირების გამაძლიერებელია ნაჩვენებია ფიგურა 3- ზე.



ფიგურა 4. აპარატურული amp-ის დიაგრამა

+ Vin და Vin გამაძლიერებელი (# 3 და # 2) უკავშირდება მასშტაბით  $\Delta V$  წინააღმდეგობების ხიდს. შენიშვნა, როდესაც ძაბვის განსხვავება + Vin დან -Vin მდე ნულის ტოლია, აპარატურა amp გამოიტანს ძაბვის მითითებულ ღირებულებას (განისაზღვრა Ref pin # 5 ფიგურა 3-ში). გამომავალი ძაბვის კვანძი Vo (pin #6) შემდეგ უკავშირდება შეტანის A/D გარდამქმნელს.

წინაღობა (RG ნახაზი 3) შეიძლება განთავსდეს # 1 და # 8 შორის. მოგება შეიძლება გამოვთვალოთ შემდეგი განტოლებით:

$$Gain = 1 + \frac{100k\Omega}{R_G}$$

მოგება შემოიფარგლა 1000 ღირებულების  $R_G$ .

ოპერატიული გამამლიერებლები შედგება აპარატურის გამამლიერებელისაგან, თავად კი შედგება რიგი ტრანზისტორებისაგან და სხვა მოწყობილობებისაგან.

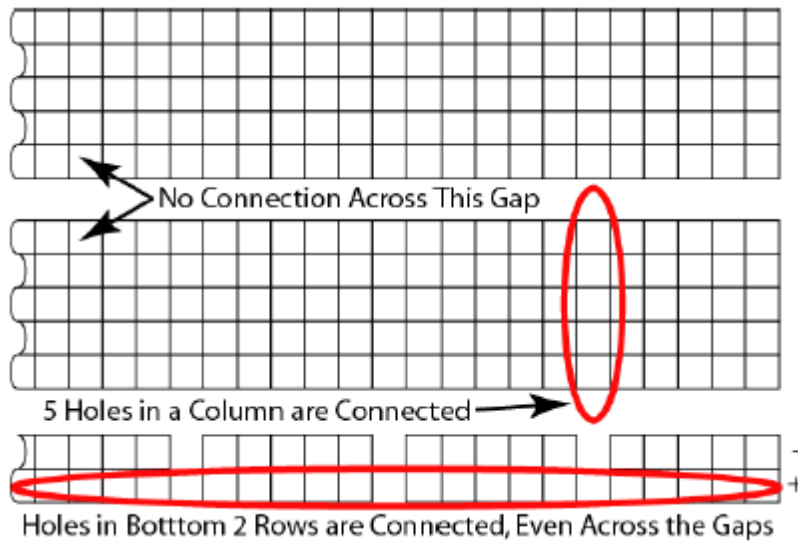
ფოტოდაფის სახელმძღვანელო

ფიგურა 4.-ზე მოცემულია პროექტის დაფა



ფიგურა 4. პროექტის დაფა

ფოტო დაფა საშუალებას იძლევა სწრაფად გავაკეთოთ წრებრუნვის ნიმუში ჩასმის კომპონენტებისათვის და მავთულები ბევრი ღია გაყვანილობის ხვრელების რომლისთვისაც საჭირო არაა soldering-ი. ზოგიერთი ხვრელების კომპლექტი ელექტრონულად დაკავშირებულია დაფის შიგნით. ე.ი არსებობს ძალიან დაბალი (ნულოვანი) ელექტრო წინააღმდეგობა მათ შორის. ფიგურა 5 ზე წარმოდგენილია ეს კავშირები

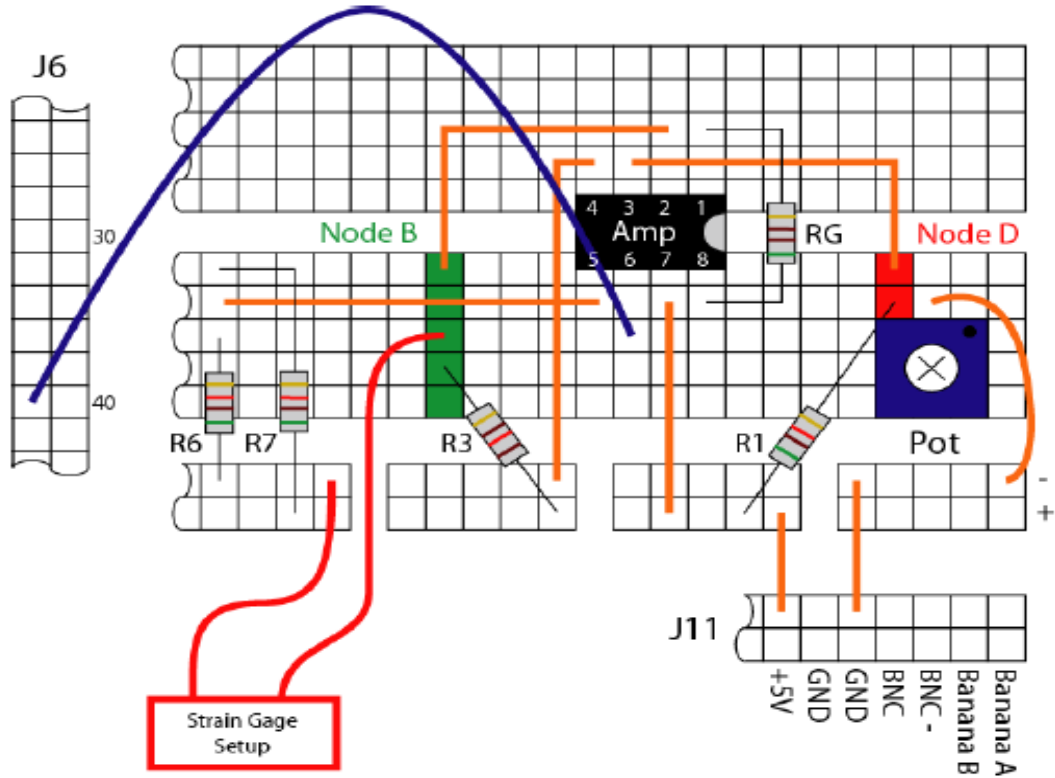


**ფიგურა 5.** დამკავშირებლები ფოტოდაფაზე

რიგები აღნიშნულია პლიუსი და მინუსი ნიშნით (კოდირებები წითლი და ლურჯი ფერით) რომლებსაც ეწოდება bus strips , უკავშირდებიან ერთმანეთს , გამოიყენება პოზიციური ძაბვის მისაწოდებლად (+5 V ჩვენს შემთხვევაში ) და ადგილის ძაბვის შესაბამისად.

## 5.2. კონსტრუირება და დაბალანსება წრიული ხიდის

1. დავადასტუროთ , რომ ჯამპერები პროექტისა და მიკორკონტროლერის დაფებზე სწორად არიან განლაგებული
2. გადაცემა ინფორმაციის , დოკუმენტების , ხდება როგორც წინააღმდეგობის გამწევი ხიდის აშენება და გაძლიერებული წრებრუნვა.



3. გამოყენებული ორი კომპონენტი the potentiometer (პოტენციომეტრი) და the amplifier (გამადლერებელი)
4. დაკავშირება +5V და GND-ის J11 -დან და + ან - სტრიქონი, შესაბამისად არის bus strip ფოტოდაფაზე. თუ + მწკრივი დაემატება +5V, თუ - მწკრივი მაშინ ის არის უცვლელი.
5. 120 Ω რესისტორი ს განლაგება R<sub>3</sub>-სთვის და დაკავშირება არის ჩვენება (დიაგრამის ფერები ემთხვევა რესისტორის ფერებს).
6. ტენზომეტრული სენსორის კონფიგურაციის შექმნა და დაკავშირება ხდება მისი როგორც R<sub>4</sub> დიაგრამაში. დაბალანსებული ხიდი ტენზომეტრთან ერთად , რომელსაც აქვს წინააღმდეგობა 120 Ω არის ანალოგიურ წონასწორობაში 120 Ω რესისტორთან
7. ორი დასახელება 5.1 kΩ რესისტორი და დაკავშირება მათი, როგორც R<sub>6</sub> და R<sub>7</sub>. ეს რესისტორი „დენის საზომიდან“ უზრუნველყოფს წრიული ძაბვის მიწოდებას. შემოწმებული ვოლტი არის დადებითი მიწოდება ნახევარი (2.5 V) და შეიძლება იყოს გამომავალი ვოლტეჯი ADC , როცა შეტანა amp ΔV არის 0-ის ტოლი
8. 510 Ω რესისტორი და დაკავშირება , როგორც R<sub>G</sub> პარალელური 1 დან 8 მდე op amp.

9. წარმოება 6 არჩენილი კავშირის ნარინჯისფერის ხაზებით ფიგურა 6 ში იყენებს ნარიჯისფერი ხაზების სრულყოფას. გრძელი ლურჯი დამაკავშირებელი შეერთებულია დაფის ზემოთ J6 -თან , რომელიც იყენებს ლურჯ ხაზს წარმოებისათვის
10. ჩასვი მიკროკონტროლერის სქემის (ფიგურა 2) კონექტორ J5-ში , წარმოებს ერთი pin -ით , მიკროკონტროლერ სქემისთვის pin 1 შეესაბამება J5, და pin 2 მიკროკონტროლერის სქემის შესაბამისობისთვის J5-ის pin 2
11. პროცესის დაწყების წინ ამოწმებ ყველაფერს , რომ დაკავშირება იყოს ზუსტი როგორც ნაჩვენებია სურათზე . მიკროკონტროლერმა შეიძლება ზიანი მიაყენოს სქემას ან გამაძლიერებრლს.
12. ჩავრთავთ USB კაბელს კომპიუტერში და. თუ შეგეკითხება გინდა თუ არა ვინდოუსის განახლება USB მოწყობილობის მოსამებნად, ავირჩევთ პასუხს არა.
13. თუ სქემა დაგონფიგურირებულია სწორად რამდენიმე LED პროექტის სქემა და MCU სქემა უნდა ანათებდეს. ყველაზე მნიშვნელოვანია “+5” LED პროექტის სქემა და ‘VDD’ LED მიკროკონტროლერის სქემა. თუ არ არის განათებული მაშინ შეუსაბამოაა USB კაბელთან.
14. დაუარქივებელ საქალაღდეში ორჯერ დავაწკაპოთ იმ საქალაღდეს რომელსაც აქვს სახელი Sensor Project.mcp და დაველოდოთ კოდის ინიციალიზაციას.
15. საქალაღდე რომლის სახელია ‘Sources’ გავხსნით და გავუშვებთ ‘main.c’ .
16. დავაჭიროთ F5 ღილაკს დაყენდება და გადაიტვირთება მიკროკონტროლერის პროგრამა, გაიხსენბა ახალი ფანჯარა და ვაჭერთ ხელს ‘OK’ ღილაკს.
17. თუ Windows Firewall ჩართულია, ბლოკი მოხნილი აქვს ოპერაციებს ამ პროცესის გასაგძელებლად. მას შემეგ, რაც სიმულაციის სწორი-დრო ჩაიტვირთება დავაწკაპებთ ქვემოთ მონიშნულ ‘Data 1’-ზე.

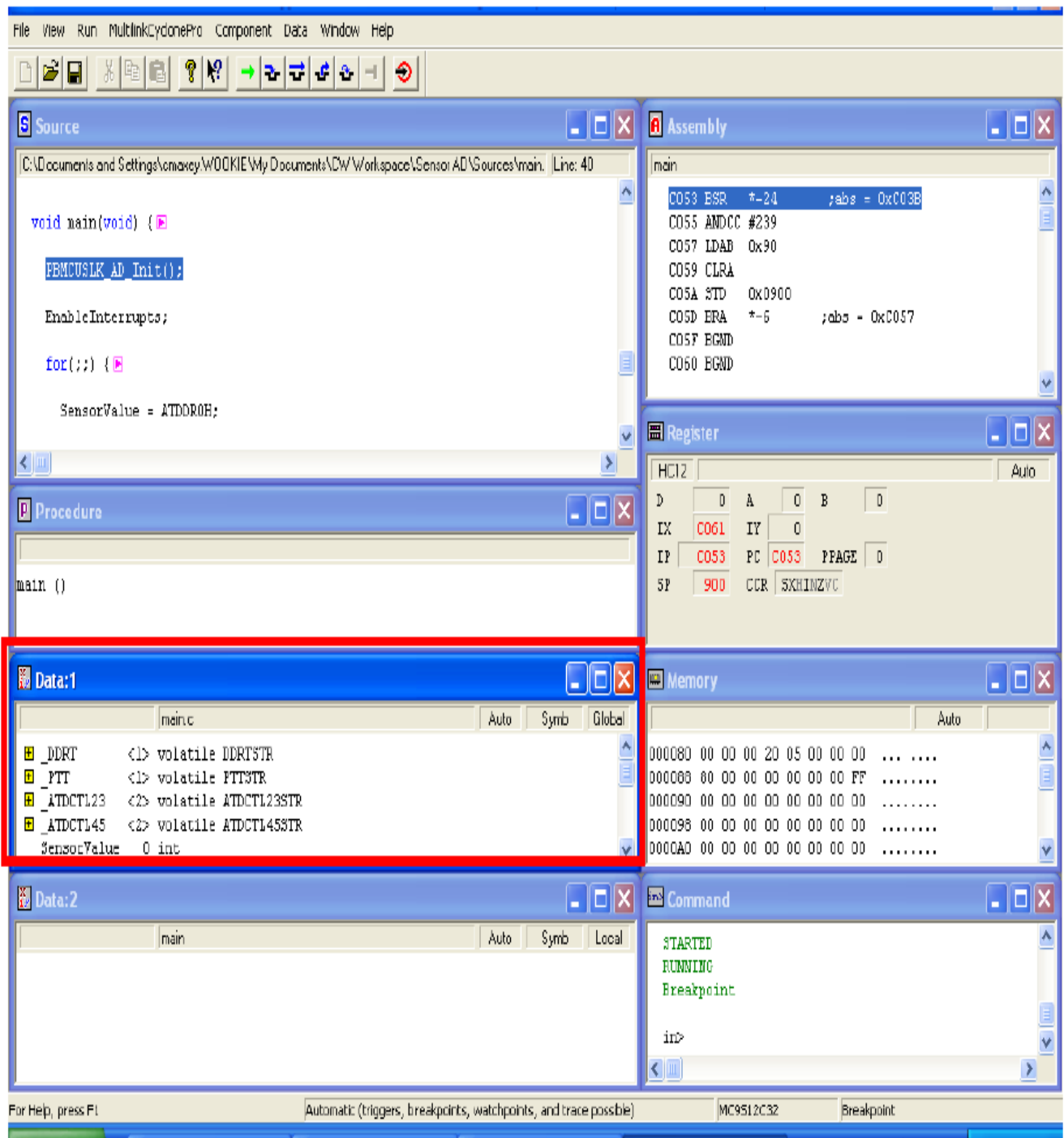


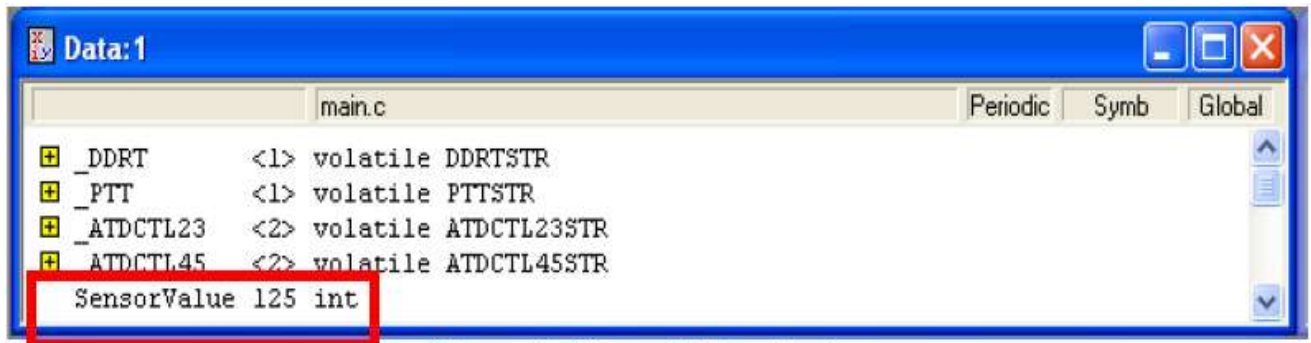
Figure 2: 'Data:1' window is highlighted in red.

18. დავაწკაპებთ მენიუში 'Data' შემდეგ ავაწკაპებთ 'mode' და ავირჩევთ 'periodikal', ისე როგორც სურათზეა ნაჩვენები





19. შეგვყავს 1 დიალოგურ ფანჯარაში. ეს მონაცემების საშუალებას გვაძლევს დავინახოთ მონაცემების მიკროკონტროლერზე რეალურ დროში. F5 ღილაკზე დაჭერით გაეშვება პროგრამა თავიდან.
20. პროგრამას აქვს მარტივი ინტერფეისი A/D კონვერტორი. ღირებულება კონვერტორის A/D კონვერტორისათვის არის ავტომატურად მოთავსებული ცვალებადი 'SensorValue'-ში , რომელიც არის პერიოდულად ნაჩვენები 'Data1' ფანჯარაში. როდესაც დავაჭერთ F5 ღილაკზე პროგრამა გაეშვება და ღირებულება იწყებს განახლებას ყოველ 100 ms.



ხიდი არ იქნება დაბალანსირებული . დაბალანსებულ მდგომარეობაში ღირებულება ინახება 'SensorValue'-ში რომელიც უნდა იყოს აპატარურული amp რეკომენდირებული ვოლტის (2.5 V) ექვივალენტი ციფრულ წარმოდგენაში.

### 5.3. გარდატეხის ეფექტის განსაზღვრა ტენზომეტრის ხარისხში

21. პირველი საზომი ორივე ბოლოებით არის ხაზის საზომი.

22. Match the end of your ruler with the 20" mark on the tape measure.



23. პირველი ჯგუფის წევრებმა უნდა მიმართონ ხის ბლოკს ზეწოლისთვის როგორც გაკეთებულია a სურათზე.

24. დამაბვის ხაზის გადახრა მარჯვნივ. განიხილავს SensorValue-ს რა ღირებულებები მოხდა . რას ნიშნავს ეს წინააღმდეგობის სენსორის მონაკვეთში?

25. დამაბვის ხაზის გადახრა მარცხნივ. განიხილავს SensorValue-ს რა ღირებულებები მოხდა . რას ნიშნავს ეს წინააღმდეგობის სენსორის მონაკვეთში?

26. ქვემოთ მოცემული სურათი გვიჩვენებს 2 ის გადახრას და გამოიყურება ასე:



27. ერთი ინჩით მარჯვნივ გადარხრისას გადაიხრება ჩანაწერის ჯამიც ( $W_{max}$ ) და ჩაიწერება წინააღმდეგობის ცვლელებში  $\Delta R$ .
28. ვიმეორებთ 24 ნაბიჯს 2, 3, 4 და 5 ინჩისთვის.
29. გარჩევა წრიული ბრუნვის, გამორიცხავს სქემაში დატოვებას გამამძლიერებელის და პოტენციომეტრის, როცა ისინი შესაზღვრებელია გაიხსნას ნაკრებში.

#### 5.4. ფორმულირება

1. Plot-ის ციფრული ვოტი (SensorValue) გადახრის მნიშვნელობებისათვის ( $W_{max}$ ).
2. გადახრის ეფექტის განსაზღვრა წინააღმდეგობაში გამოანგარიშება  $R_x$ -ით თითოეული გადახრილი ღირებულებებისათვის.
3. Strain-დატვირთვა (დაჭიმულობა) განისაზღვრება, როგორც ობიექტის დეფორმაციის ერთეულის ხანგრძლივობა მთელს სიგრძეზე, როცა არის ჩატვირთვა გამოყენებული. GAUGE-კრიტერიუმი გამოითვლება საერთო დეფორმაციის გამოსათვლელად მთელ სიგრძეზე ( $L$ )

$$\varepsilon_{x,max} = \frac{3 H \bullet w_{max}}{2 L^2}$$

$L = 10$  ინჩს  $H = 0.2$  sm.

გადახრის სხვადასხვა ღირებულებების კრიტერიუმის გამოთვლა ( $W_{max}$ )

4. სასარგებლოა ტენზომეტრის ფაქტორის მისახვედრად. ტენზომეტრის პროდუქტი და კრიტერიუმი უნდრის თანაფარდობას ცვლილებებს ნომინალური ტენზომეტრის გადახრაში, ტენზომეტრის წინააღმდეგობასთან .

$$\frac{\Delta R}{R} = GF \bullet \varepsilon_{x, \max}$$

$$\frac{\Delta R}{R} = GF \bullet \frac{3}{2} \frac{H \bullet w_{\max}}{L^2}$$

$$\Delta R = GF \bullet \underbrace{\left( \frac{3}{2} \frac{H \bullet R}{L^2} \right)}_C \bullet w_{\max}$$

$$\Delta R = GF \bullet C \bullet w_{\max}$$

C გამოთვლილია , გამოსათვლელია Wmax , რომ შევძლოთ GF-ის გამოთვლა. აუცილებელია  $\Delta R$  გამოთვლა , იგი არის ცვლილება წინააღმდეგობაში და ის შეიძლება იყოს გამოთვლილი შემდეგნაირად  $\Delta R = (R_x - R)$ , სადაც R არის ნომინალი დასვენებული ტენზომეტრის წინააღმდეგობის. დაანგრიშება და plot ტენზომეტრის GF გადახრის ხარისხისთვის (Wmax) და განსაზღვრა GF ის საშუალო სენსორის არის ტენზომეტრის გაზომვა Wmax-ს ინტერვალის ზემოთ.

## დასკვნა

მოცემული ნაშრომში წარმოდგენილია ჯანმრთელობის სტრუქტურის მონიტორინგი უსადენო სენსორული ქსელების მეშვეობით. გადმოცემულია მიკროელექტრო სისტემის მუშაობის პრინციპების და მათი პრაქტიკული წარმოდგენა კოდების სახით შესაბამის პროგრამაში, სადაც გამოვიყენეთ მატლაბში სიმულინკი. ნაშრომი მოიცავს უსადენო სისტემის არქიტექტურის გაცნობას. აღწერილია განზოგადებული სენსორული კვანძების მიმოხილვა; ჯანმრთელობის სტრუქტურის მონიტორინგი; უსადენო სენსორული ქსელების გამოყენება და მათი განვითარების უპირატესობები. მოცემულია მიკროელექტრო სისტემების (MEMS) და სენსორების დანიშნულება და ფუნქციონირება; მიკროელექტრო სისტემის გავლენა სოციალურ სფეროზე და მისი მახასიათებლების წარმოდგენა და წარმოდგენილია ტენზომეტრული სენსორების თვისებები.

## გამოყენებული ლიტერატურა

1. [http://www.matecnetworks.org/webinars/pdf/scme\\_webinar\\_slides\\_mems101\\_102111.pdf](http://www.matecnetworks.org/webinars/pdf/scme_webinar_slides_mems101_102111.pdf)
2. წიგნი IEEE\_RWEP\_Project703
3. წიგნი system\_architecture\_for\_wireless\_sensor\_networks .
4. [https://www.google.ge/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CCgQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.realworldengineering.org%2Fdownload.php%3Fproj%3D676%26file%3DRWEP\\_Final1\\_939\\_part4\\_background\\_lecture\\_wirelessnetworking.pptx&ei=D1CjUcfTK4WoO57KgOgD&usg=AFQjCNGhRXCCZy4aFQ0vqNkFYM\\_qsfv\\_w&bvm=bv.47008514,d.bGE](https://www.google.ge/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CCgQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.realworldengineering.org%2Fdownload.php%3Fproj%3D676%26file%3DRWEP_Final1_939_part4_background_lecture_wirelessnetworking.pptx&ei=D1CjUcfTK4WoO57KgOgD&usg=AFQjCNGhRXCCZy4aFQ0vqNkFYM_qsfv_w&bvm=bv.47008514,d.bGE)
- 5.