

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო  
უნივერსიტეტი



მეშვიდე სტუდენტური კონფერენცია ზუსტ და საბუნებისმეტყველო  
მეცნიერებებში

სამეცნიერო-კვლევითი პროექტი 1

ოპტიმიზირებული საკომუნიკაციო  
სისტემა შესტების ენით მოსაუბრეთათვის

დოქტორანტი: გურამ ჩაგანავა

ხელმძღვანელი: დავით კაკულია  
ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა კანდიდატი,  
ასოცირებული პროფესორი

თბილისი

2019

## სარჩევი

შესავალი .....	6
თემის აქტუალობა.....	6
თემის აღწერა .....	7
კვლევის მიზნები და ამოცანები.....	10
კვლევის მეთოდოლოგია .....	11
მიღებული შედეგები .....	13
ქესტების შესახებ ინფორმაციის მიმღები სისტემა .....	13
ქესტური ენის ამოცნობა .....	13
ქესტური ენის ამოცნობის ალტერნატიული მიდგომა.....	15
ინფორმაციის მიმოცვლის სისტემა.....	16
გამოყენებული რესურსები.....	18

## ანოტაცია

მოცემული პროექტი ეხება სმენადაქვეითებული და მეტყველების უნარის არ მქონე ადამიანებისათვის ოპტიმიზირებული საკომუნიკაციო სისტემის შექმნასა და გამოცდას. მოცემული პროექტი ეხმიანება იმ საკითხს, რომ მოხდეს თანამედროვე საკომუნიკაციო სისტემების მაქსიმალური ადაპტირება შეზღუდული შესაძლებლობების მქონე პირებზე. კვლევის ფარგლებში აქცენტი აღებულია ყრუ-მუნჯი ადამიანებისათვის კონკრეტული ინოვაციური სისტემის შექმნაზე. შემოთავაზებული სისტემით შესაძლოა განხორციელდეს სტანდარტული ვიდეო ზარის ჩანაცვლება შეზღუდული რესურსების პირობებში. კერძოდ, ყრუ-მუნჯ ადამიანებს საშუალება ექნებათ დაამყარონ უწყვეტი კომუნიკაცია საკომუნიკაციო ქსელებთან შეზღუდული კავშირის შემთხვევაში მინიმალური ფინანსური დანახარჯის პირობებში.

ინოვაციური საკომუნიკაციო სისტემის მთავარი არსი გადასაცემი ინფორმაციის ოპტიმიზაციაში მდგომარეობს. იმისათვის, რომ ვიდეო ზარის განხორციელება უფრო სტაბილურად განხორციელდეს და მნიშვნელოვანი ინფორმაცია არ დაიკარგოს, უმჯობესია გადავცეთ არა სრული, არამედ მხოლოდ მნიშვნელოვანი ინფორმაცია. გამოსახულების დამუშავების თანამედროვე ტექნოლოგია საშუალებას გვაძლევს მოვახდინოთ სასურველი ობიექტებისა თუ მოძრაობების იდენტიფიცირება. კონკრეტული ალგორითმების გამოყენებით შეგვიძლია დავაკვირდეთ გამოსახულების იმ ნაწილს, სადაც ხელის მტევნებია ნაჩვენები და მოვახდინოთ მათი მდგომარეობის განსაზღვრა. მოხდება მდგომარეობის შესაბამისი ტექსტური ინფორმაციის გენერირება. შედეგად მოწყობილობებს შორის განხორციელდება არა მთლიანი გამოსახულების, არამედ ჟესტების შესაბამისი კოდური ინფორმაციის გაცვლა. მოწყობილობა, რომელიც მიიღებს კოდურ ინფორმაციას, ეკრანზე გამოსახავს შესაბამის ანიმაციურ გამოსახულებას. კერძოდ, ეკრანზე ნაჩვენები იქნება ე.წ. ავატარი, რომელიც ხელის მოძრაობებით გამოსახავს იმ ჟესტებს, რომლებიც მიღებულ ინფორმაციას შეესაბამება. შედეგად, ეკრანზე ნაჩვენები ანიმაციის საშუალებით ყრუ-მუნჯი ადამიანი მიიღებს იმ ინფორმაციას, რომელიც მას სხვა ადამიანმა გამოუგზავნა. აღსანიშნავია ის ფაქტი, რომ ამ შემთხვევაში სრული ინფორმაციიდან ხდება მხოლოდ ყველაზე მნიშვნელოვანის ამოცნობა და მისი ტექსტური ფორმატით გაგზავნა. ეს რადიკალურად შეამცირებს აუცილებელი რესურსების რაოდენობას. ინფორმაციის გაცვლისთვის შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას როგორც ინტერნეტ კავშირი, ისე სატელეფონო ქსელი. ინფორმაციის დაბალი მოცულობის გამო კომუნიკაცია შეფერხებების გარეშე უნდა განხორციელდეს იმ შემთხვევებშიც კი, როცა ინტერნეტთან წვდომა სუსტია ან ინტერნეტის სიჩქარე დაბალია. მაგრამ თუ ინტერნეტთან წვდომა არ გვაქვს, ვიყენებთ სატელეფონო ქსელს. ამ შემთხვევაში ჟესტების შესაბამის ტექსტურ ინფორმაციას განვიხილავთ, როგორც საუბრის შესაბამის სიგნალს. ამ ინფორმაციას ვათავსებთ სატელეფონო სიგნალის ინფორმაციულ პაკეტებში და ვაგზავნით ისე, როგორც სატელეფონო ზარს. აღწერილი სისტემა ყრუ-მუნჯ ადამიანს საშუალებას მისცემს გაცვალოს ინფორმაცია სასურველ ადამიანთან ჟესტების ენის გამოყენებით საჭირო რესურსების მინიმალური დანახარჯის პირობებში. კომუნიკაცია შედგება იმ შემთხვევაშიც კი, როდესაც მის მოწყობილობას სუსტი კავშირი აქვს ინტერნეტთან ან საერთოდ არ აქვს მასთან წვდომა.

პროექტის არსი მდგომარეობს იმაში, რომ გამოკვლევულ იქნეს აღწერილი ინოვაციური მეთოდის ეფექტურობა. უნდა დადგინდეს, თუ რამდენად შესაძლებელია მოცემული მეთოდის საშუალებით თანამედროვე საკომუნიკაციო მეთოდები უფრო მეტად ადაპტირებული გავხადოთ შეზღუდული შესაძლებლობების მქონე პირებისათვის. კვლევის მთავარ მიზანს წარმოადგენს იმის შეფასება, თუ რამდენად ეფექტური იქნება მოცემული მიდგომა შეზღუდული რესურსების არსებობის შემთხვევაში.

## Abstract

This project is about creating and testing of the optimized communication system for people with hearing impairment and muteness. This project echoes the issue that modern communication systems should be adapted to persons with disabilities. Within the scope of research, the focus is on developing a concrete innovative system for deaf-mute people. The proposed system can replace the standard video call within limited resources. In particular, deaf people will have the opportunity to establish continuous communication while having limited access to communications networks and to save financial resources during communication.

The main essence of the innovative communication system is to optimize the transmitted information. In order to make the video call more stable and do not lose important information, it is better to transmit not whole, but important information. Modern image processing technology enable us to identify desired objects or movements. By using specific algorithms we may observe that part of image, where are shown hands and determine their condition. Textual information conformable to condition will be generated. As a result of it coded information conformable to gestures and not entire image information will be exchanged between equipment. Appropriate animated image will be reflected on the screen through the equipment receiving the coded information. Namely, on the screen will be displayed so called avatar reflecting gestures through the movement of hand appropriate to obtained information. As a result of it the animation shown on the screen will be the source of information for deaf and mute person sent from another person. It is noteworthy that in this case only the most important information will be identified out of the complete information and it will be sent under text format. It will radically reduce the number of necessary resources. Both internet service and phone network may be applied for the purpose of exchange of information. Due to low volume of information the communication should be made without impediment even when is low internet access, or low internet speed. But if we have no internet access, in this case is applied phone network. In this case textual information conformable to gestures is considered as a signal corresponding to conversation. This information is places into the information packet of telephone signal and send it alike phone call. Described system will enable deaf and mute persons to exchange information with desired persons by applying sign language by minimal use of essential resources. Connection will take place even when its equipment has weak connection with internet, or has no at all access to it.

Essence of project is to have studied efficiency of described innovative method. It is to be established, if it is possible to have more adapted modern communication methods though provided method for disabled persons. Major objective of study is to evaluate, as to how efficient will be this approach in the event of having limited resources.

კვლევა განხორციელდა შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის ფინანსური მხარდაჭერით [PHDF—18-342, ოპტიმიზირებული საკომუნიკაციო სისტემა ქვესტების ენით მოსაუბრეთათვის].

This work was supported by Shota Rustaveli National Science Foundation (SRNSF) [PHDF—18-342, Optimized communication system for sign language speakers].

# შესავალი

## თემის აქტუალობა

შეზღუდული შესაძლებლობების ერთ-ერთი სახეა სამეტყველო კომუნიკაციის უნარების დარღვევა. ეს მოიცავს როგორც სმენის უნარის დაქვეითებას, ისე მეტყველების შესაძლებლობის შეზღუდვას. მსოფლიო ჯანდაცვის ორგანიზაციის მონაცემებით დღესდღეობით დაახლოებით 466 მილიონი ადამიანს ნაწილობრივ ან სრულად აქვს სმენა დაქვეითებული<sup>1</sup>. ასეთი ადამიანები კომუნიკაციის სხვა ადამიანებთან კომუნიკაციის დასამყარებლად იყენებენ ჟესტურ ენას. ჟესტური ენა წარმოადგენს ვიზუალურ საკომუნიკაციო ენას, რომლის მიხედვითაც სათქმელის გამოხატვა ხდება ხელის მოძრაობების საშუალებით. ჟესტური ენაა სმენადაქვეითებული და მეტყველების უნარის არ მქონე ადამიანების მთავარი საკომუნიკაციო საშუალება.

შეზღუდული შესაძლებლობიდან გამომდინარე ჟესტების ენით მოსაუბრე ადამიანებს არ შეუძლიათ გამოიყენონ თანამედროვე საკომუნიკაციო ტექნოლოგიების ერთ-ერთ მიღწევას - სატელეფონო ზარის და დისტანციურად ესაუბრონ სხვა ადამიანს. რაც შეეხება ინფორმაციის გაცვლას მოკლე ტექსტური შეტყობინებების საშუალებით, უნდა აღინიშნოს, რომ სმენადაქვეითებული ადამიანებისათვის წერა-კითხვის შესწავლა გარკვეულ სირთულეებთანაა დაკავშირებული. ეს განსაკუთრებით ეხება იმ ადამიანებს, რომლებიც მოცემული შეზღუდული შესაძლებლობით დაიბადნენ. შესაბამისად, ასეთ ადამიანებს შორის წერილობითი კომუნიკაცია მოუხერხებელი და არაეფექტურია. მას შემდეგ რაც ვიდეო ზარის განხორციელება გახდა შესაძლებელი, ჟესტების ენით მოსაუბრე ადამიანებმა შეძლეს სრულფასოვანი კომუნიკაციის დამყარება. სატელეფონო ზარისაგან განსხვავებით ვიდეო ზარის მიმდინარეობისას ხდება კამერიდან მიღებული სრული გამოსახულების მიმოცვლა, რაც საკმაოდ დიდი მოცულობის ინფორმაციას წარმოადგენს. ხშირ შემთხვევაში გამოსახულების მხოლოდ ის ნაწილია ინფორმაციული, რომელშიც ხელის მტევენების პოზიციებია ნაჩვენები. თუმცა საუბრის დროს მაინც სრული გამოსახულების გაცვლა ხდება. ამ მოცულობის ინფორმაციის გადაცემის დროს აუცილებელია საკომუნიკაციო ქსელებთან წვდომა იყოს უწყვეტი და მაღალი სიჩქარის. ეს კი, ხშირად ფინანსურ ხარჯებთანაა დაკავშირებული.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე უნდა ითქვას, რომ ტექნოლოგიების განვითარებასთან ერთად საკმაოდ მნიშვნელოვანია მათი ადაპტირება შეზღუდული შესაძლებლობების მქონე პირებისათვის. კვლევის ფარგლებში აქცენტი აღებულია ჟესტების ენით მოსაუბრე ადამიანებისათვის კონკრეტული ინოვაციური სისტემის შექმნაზე. შემოთავაზებული სისტემით შესაძლოა განხორციელდეს სტანდარტული ვიდეო ზარის ჩანაცვლება შეზღუდული რესურსების პირობებში. კერძოდ, ყრუ-მუნჯ ადამიანებს საშუალება ექნებათ დაამყარონ უწყვეტი კომუნიკაცია საკომუნიკაციო ქსელებთან შეზღუდული კავშირის შემთხვევაში მინიმალური ფინანსური დანახარჯის პირობებში.

## თემის აღწერა

მოცემული პროექტი ეხება შეზღუდული შესაძლებლობის, კონკრეტულად კი სმენადაქვეითებული და მეტყველების უნარის არ მქონე ადამიანებისათვის ოპტიმიზირებული საკომუნიკაციო სისტემის პროტოტიპის შექმნასა და მისი ეფექტურობის კვლევას. საკომუნიკაციო სისტემამ ყრუ-მუნჯ ადამიანებს საშუალება უნდა მისცეს მინიმალური რესურსის გამოყენების პირობებში დისტანციურად ესაუბრონ ერთმანეთს ჟესტური ენის საშუალებით.

ვიდეო ზარის მიმდინარეობისას მოწყობილობა, მაგალითად სმარტფონი, კამერიდან მიღებულ მონაცემებს უგზავნის იმ მოწყობილობას, რომელთანაც ვიდეო ზარს ვახორციელებთ. ამავდროულად ის კითხულობს სხვა მოწყობილობიდან გამოგზავნილ მონაცემებს. ინფორმაციის გაცვლა ხდება რომელიმე სერვისის, მაგალითად სერვერის გავლით. რაც მთავარია, მონაცემთა გაგზავნა-მიღება მიმდინარეობს უწყვეტ რეჟიმში. ეს პროცესი მოითხოვს გარკვეულ რესურსს. ესენია:

- *იმ მოწყობილობის სწრაფქმედება, რომელიც ვიდეო ზარს ახორციელებს.* შეიძლება ითქვას, რომ თანამედროვე მოწყობილობებში - ლეპტოპებსა და სმარტფონებში აღნიშნული პრობლემა გადაჭრილია. მათი მუშაობის სისწრაფე სრულებით საკმარისია უწყვეტი ვიდეო ზარის განსახორციელებლად.
- *მაღალი სიჩქარის გლობალურ საკომუნიკაციო ქსელთან წვდომა.* ვიდეო ზარის განსახორციელებლად აუცილებელი მოთხოვნაა რომელიმე საკომუნიკაციო ქსელთან უწყვეტი წვდომა. კომპიუტერული პროგრამები და მობილური აპლიკაციები ვიდეო ზარისათვის იყენებენ ინტერნეტ კავშირს. უნდა აღინიშნოს, რომ ვიდეო ზარისთვის ქსელთან წვდომა საკმარისი არ არის. აუცილებელია ინფორმაციის მიმოცვლის მაღალი სიჩქარე. წინააღმდეგ შემთხვევაში გამოსახულების გადაცემა შეფერხდება და ინფორმაციის გარკვეული ნაწილი დაიკარგება.

ვიდეო ზარის მიმდინარეობისას ყრუ-მუნჯი ადამიანები ერთმანეთს ჟესტების ენის დახმარებით უცვლიან ინფორმაციას. ამ დროს ხმოვანი ინფორმაციის როლს ასრულებს გამოსახულება, კონკრეტულად კი ის ნაწილი, სადაც მოსაუბრის ხელის მტევენებია ნაჩვენები. ძირითად ინფორმაციას სწორედ გამოსახულების ამ ნაწილის პიქსელების მონაცემები წარმოადგენს. სხვა მნიშვნელოვანი ინფორმაცია შეიძლება იყოს მოსაუბრე ადამიანის სახე, გარეგნობა, მისი ჩაცმულობა, გარემო, სადაც ის იმყოფება და ა.შ. თუმცა, გამომდინარე იქიდან, რომ მოსაუბრის სათქმელის გადაცემა ხდება არა ხმის, არამედ გამოსახულების საშუალებით, მნიშვნელოვანია, რომ არ მოხდეს ვიდეო ზარის მსვლელობის შეფერხება და გამოსახულების დამახინჯება.

ვიდეო ზარის მიმდინარეობა შეიძლება შეფერხდეს რამდენიმე მიზეზის გამო:

- დაბალი სიჩქარის ინტერნეტ კავშირი, როგორც კაბელური (Ethernet), ისე უსადენო (Wi-Fi ან ე.წ. მობილური ინტერნეტი).
- უსადენო ინტერნეტის წყაროდან მოშორებით ყოფნა. ამ შემთხვევაში მიღებული სიგნალი დაბალი სიმძლავრისაა, რის გამოც ინფორმაციის მიმოცვლის სიჩქარე საკმაოდ დაბალია.

იმისათვის, რომ კომუნიკაცია უფრო სტაბილურად განხორციელდეს და მნიშვნელოვანი ინფორმაცია არ დაიკარგოს, უმჯობესია გადავცეთ კამერიდან მიღებული არა სრული, არამედ მხოლოდ მნიშვნელოვანი ინფორმაცია. გამოსახულების დამუშავების თანამედროვე ტექნოლოგიები საშუალებას გვაძლევს მოვახდინოთ სასურველი ობიექტებისა თუ მოძრაობების იდენტიფიცირება. კონკრეტული ალგორითმების გამოყენებით შეგვიძლია დავაკვირდეთ გამოსახულების იმ ნაწილს, სადაც ხელის მტევნებია ნაჩვენები და მოვახდინოთ მათი მდგომარეობის განსაზღვრა. ანუ მივიღოთ ხელის პოზიციების შესაბამისი ინფორმაცია. შედეგად მოწყობილობებს შორის განხორციელდება არა მთლიანი გამოსახულების, არამედ ჟესტების შესაბამისი კოდური ინფორმაციის გაცვლა. მოწყობილობა, რომელიც მიიღებს კოდურ ინფორმაციას, ეკრანზე გამოსახავს შესაბამის ანიმაციურ გამოსახულებას. კერძოდ, ეკრანზე ნაჩვენები იქნება ე.წ. ავატარი, რომელიც ხელის მოძრაობებით გამოსახავს იმ ჟესტებს, რომლებიც მიღებულ ინფორმაციას შეესაბამება. შედეგად, ეკრანზე ნაჩვენები ანიმაციის საშუალებით ყრუ-მუნჯი ადამიანი მიიღებს იმ ინფორმაციას, რომელიც მას სხვა ადამიანმა გამოუგზავნა. აღსანიშნავია ის ფაქტი, რომ ამ შემთხვევაში სრული ინფორმაციიდან ხდება მხოლოდ ყველაზე მნიშვნელოვანის ამოცნობა და მისი გაგზავნა. ეს კი რადიკალურად შეამცირებს კომუნიკაციისათვის აუცილებელი რესურსების რაოდენობას.

ინფორმაციის გაცვლისთვის შესაძლებელია გამოყენებულ იქნეს როგორც ინტერნეტ კავშირი, ისე სატელეფონო ქსელი. ინფორმაციის დაბალი მოცულობის გამო კომუნიკაცია შეფერხებების გარეშე უნდა განხორციელდეს იმ შემთხვევებშიც კი, როცა ინტერნეტთან წვდომა სუსტია ან ინტერნეტის სიჩქარე დაბალია. მაგრამ თუ ინტერნეტთან წვდომა არ გვაქვს, ვიყენებთ სატელეფონო ქსელს. ამ შემთხვევაში ჟესტების შესაბამის ინფორმაციას განვიხილავთ, როგორც საუბრის შესაბამის სიგნალს. ამ ინფორმაციას ვათავსებთ სატელეფონო სიგნალის ინფორმაციულ პაკეტებში და ვაგზავნით ისე, როგორც სატელეფონო ზარს. აღწერილი სისტემა ყრუ-მუნჯ ადამიანს საშუალებას მისცემს გაცვალოს ინფორმაცია სასურველ ადამიანთან ჟესტების ენის გამოყენებით საჭირო რესურსების მინიმალური დანახარჯის პირობებში. კომუნიკაცია შედგება იმ შემთხვევაშიც კი, როდესაც მის მოწყობილობას სუსტი კავშირი აქვს ინტერნეტთან ან საერთოდ არ აქვს მასთან წვდომა.

უნდა აღინიშნოს, რომ სისტემა ავტომატურად მოახდენს საკომუნიკაციო ქსელის არჩევას. ამ დროს უპირატესობა მიენიჭება იმ ქსელს, რომელიც ინფორმაციის მიმოცვლას მოახდენს მინიმალური ფინანსური დანახარჯის პირობებში. მაგალითად, სისტემისათვის ყველაზე პრიორიტეტული იქნება Wi-Fi ქსელის გამოყენება, ვინაიდან ამ შემთხვევაში საჭირო ფინანსური რესურსის მოცულობა დამოკიდებული არაა გამოყენებული



ინფორმაციის რაოდენობაზე. თუმცა იმ შემთხვევაში, როდესაც Wi-Fi სიგნალი საკმაოდ სუსტია ან საერთოდ ვერ ხერხდება მასთან დაკავშირება, სისტემა გამოიყენებს ე.წ. მობილურ ინტერნეტს ან ფიჭურ ქსელს. იმ შემთხვევაში, როცა ვერცერთი ქსელის გამოყენება ვერ ხერხდება, სისტემა შეინახავს ჟესტების შესაბამის შეტყობინებებს, რომელთა გაგზავნაც მომხმარებელს სურს. როგორც კი რომელიმე ქსელთან დაკავშირება მოხერხდება, მოწყობილობა გადააგზავნის დაგროვილ შეტყობინებებს.

აღწერილ მეთოდს დღესდღეობით გამოყენებად მეთოდებთან შედარებით რამდენიმე თვალსაჩინო უპირატესობა აქვს, კერძოდ:

- *ადაპტირებულია შეზღუდული შესაძლებლობების მქონე პირებზე*, კონკრეტულად კი სმენადაქვეითებულ და მეტყველების უნარის არ მქონე ადამიანებზე. ყრუ-მუნჯ ადამიანს შეზღუდული რესურსების პირობებში შეუძლია გამოიყენოს სტანდარტული მოკლე ტექსტური შეტყობინების სერვისი. თუმცა, უნდა აღინიშნოს, რომ ასეთი ადამიანების დიდი ნაწილისთვის წერა-კითხვის შესწავლა პრობლემას წარმოადგენს. შესაბამისად, ჟესტური ენა მათთვის კომუნიკაციის შეუცვლელი საშუალებაა. მოცემულ საკომუნიკაციო სისტემას შეეძლება ჟესტების საშუალებით გადმოცემული ინფორმაციის აღქმა. სრული გამოსახულების ნაცვლად სწორედ ეს ინფორმაცია იქნება გაგზავნილი თანამოსაუბრესთან.
- *გათვლილია შეზღუდული რესურსების პირობებში მუშაობაზე*, კერძოდ:
  - დაბალი სიჩქარის ინტერნეტთან წვდომის შემთხვევაში.
  - ინტერნეტ კავშირის არქონის შემთხვევაში. ამ დროს ხდება ფიჭური სატელეფონო ქსელის გამოყენება.
- *ინტერნაციონალიზაცია*. ჟესტური ენის გამოყენება ყრუ-მუნჯ ადამიანებს საშუალებას აძლევს დაამყარონ კავშირი ადამიანებთან, მაგალითად უცხოელებთან, რომელთაც არ იციან თანამოსაუბრის ეროვნების შესაბამისი ენა, თუმცა ფლობენ ჟესტების შესაბამის ენას.
- *კონფიდენციალურობა*. კომუნიკაციის მიმდინარეობის დროს არ ხდება ადამიანთა რეალური გამოსახულებების მიმოცვლა. შეიძლება ითქვას, რომ ეს სისტემის კიდევ ერთ უპირატესობას წარმოადგენს იმ შემთხვევაში, როდესაც მომხმარებელს არ სურს საკუთარი გარეგნობის ან იმ გარემოს ჩვენება, სადაც ის იმყოფება.

## კვლევის მიზნები და ამოცანები

პროექტის მიზანია გამოკვლევულ იქნეს საკომუნიკაციო სისტემების შეზღუდული შესაძლებლობების მქონე პირებზე, კონკრეტულად კი ყრუ-მუნჯ ადამიანებზე ადაპტირების ინოვაციური ტექნოლოგიის ეფექტურობა. საკომუნიკაციო სისტემის ეფექტურობაში იგულისხმება კომუნიკაციის პროცესის უწყვეტად და გამართულად წარმართვის შესაძლებლობა როგორც ნორმალურ, ისე შეზღუდული რესურსების არსებობის შემთხვევაში.

კვლევის პროცესი მოიცავს ორ ეტაპს: საკომუნიკაციო სისტემის კონსტრუირება და გამოცდა სხვადასხვა პირობებში. სისტემის კონსტრუირების ეტაპზე განსახორციელებელი ამოცანები შეიძლება დავყოთ რამდენიმე ნაწილად:

- კამერიდან მიღებული მონაცემებიდან მოსაუბრის ჟესტების იდენტიფიცირება და შესაბამისი ინფორმაციის გენერირება.
- მიღებული ინფორმაციის გაგზავნა სასურველ მოწყობილობასთან.
- თანამოსაუბრე მოწყობილობაში მიღებული ინფორმაციის გამოსახვა ანიმაციური ობიექტის საშუალებით.

საკომუნიკაციო სისტემის კონსტრუირების შემდეგ უნდა მოხდეს მისი ეფექტურობის შემოწმება სხვადასხვა პირობებში. სისტემის ეფექტურობის შესამოწმებლად იგეგმება შემდეგი კვლევების ჩატარება:

- საკომუნიკაციო სისტემის გამოცდა ყრუ-მუნჯი ადამიანების მიერ. მათ უნდა შეაფასონ, თუ რამდენად გამართულად და სწრაფად ახდენს სისტემა მათი ჟესტების იდენტიფიცირებასა და გამოსახვას ანიმაციის საშუალებით.
- საკომუნიკაციო სისტემის სწრაფქმედების შემოწმება სხვადასხვა სიჩქარის ინტერნეტ კავშირის დროს. მნიშვნელოვანია სისტემის გამოკვლევა მაშინ, როდესაც ინტერნეტის სიჩქარე იმაზე დაბალია, ვიდრე მინიმალური ხარისხის ვიდეო ზარის განსახორციელებლად საჭირო სიჩქარე, რაც დაახლოებით 128 kbps-ის ტოლია.
- საკომუნიკაციო სისტემის სწრაფქმედების შემოწმება Wi-Fi სიგნალის ან მობილური ინტერნეტის სხვადასხვა სიმძლავრით მიღების შემთხვევებში. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია სისტემის შემოწმება მაშინ, როდესაც მოწყობილობა შორსაა უსადენო ინტერნეტ კავშირის წყაროდან.
- საკომუნიკაციო სისტემის სწრაფქმედების შემოწმება ინტერნეტ კავშირის არქონის შემთხვევაში. კვლევის შედეგად უნდა განისაზღვროს, თუ

რამდენად სწრაფი და საიმედოა საკომუნიკაციოდ ფიჭური ქსელის გამოყენება.

- საკომუნიკაციო სისტემის სწრაფქმედების შემოწმება ფიჭური კავშირის სიგნალის სხვადასხვა ინტენსივობით მიღების შემთხვევაში. აუცილებელია საკომუნიკაციო სისტემის გამოცდა ისეთ რეჟიმში, როდესაც რაიმე მიზეზის, მაგალითად ადგილმდებარეობის ან ბუნებრივი პირობების გამო ვერ ხერხდება სატელეფონო სიგნალის სრული სიმძლავრით მიღება.

## კვლევის მეთოდოლოგია

კვლევის პროცესი მოიცავს საკომუნიკაციო სისტემის პროტოტიპის აგებასა და მისი მუშაობის ხარისხის შეფასებას სხვადასხვა პირობებში. პროტოტიპის აგება გულისხმობს მისი შემადგენელი თითოეული ნაწილის კონსტრუირებას, მათ ერთიანობაში მოყვანასა და გამართვას. შემდეგი ეტაპია საკომუნიკაციო სისტემის გამოკვლევა. კერძოდ, მისი მუშაობის ეფექტურობის, სისწრაფისა და მდგრადობის შეფასება.

აღწერილი საკომუნიკაციო სისტემის პროტოტიპის აგება შეიძლება მოხდეს რომელიმე კომერციული მოწყობილობის ბაზაზე. თუმცა კვლევის მიზნებიდან გამომდინარე ჩვენ გადავწყვიტეთ აქცენტი ავიღოთ არა კომერციულ მოწყობილობაზე, არამედ ცალკეული მოდულებისა და სისტემების გამოყენებით შევქმნათ ე.წ. ჩაშენებული სისტემა. დამოუკიდებელი ელექტრონული სისტემის შექმნის უპირატესობა ისაა, რომ კვლევის პროცესში მეტი საშუალება გვაქვს მივწვდეთ სასურველ hardware და software კომპონენტებს, მოვახდინოთ მანიპულირება კონკრეტულ სიგნალებზე და ა.შ. გადავწყვიტეთ საკომუნიკაციო სისტემის პროტოტიპის ასაგებად გამოგვეყენებინა კომპიუტერული დაფა Raspberry Pi. ჩვენი შეფასებით მისი პროცესორის გამოთვლითი სიმძლავრე საკმარისი უნდა იყოს იმისათვის, რომ მოხდეს გამოსახულების დამუშავებისა და ქესტების იდენტიფიცირების ალგორითმების სწრაფად შესრულება. მიღებული ინფორმაციის შესაბამისი ანიმაციების აგებასა და მის საკმარისად სწრაფად განახლებას განხორციელებს მოცემული კომპიუტერის გრაფიკული პროცესორი, რომლის მონაცემებიც, ჩვენი გათვლებით, საკმარისი უნდა იყოს აღნიშნული ამოცანის შესასრულებლად.

საკომუნიკაციო სისტემის პროტოტიპის კონსტრუირება მოიცავს შემდეგ ეტაპებს:

- *საუბრის პროცესში ქესტების შესახებ ინფორმაციის მიღება.* აღნიშნულის განსახორციელებლად შეიძლება გამოკვლეულ იქნეს რამდენიმე მეთოდი, მაგალითად: ქესტური ენის ამოცნობა, გამოსახულებიდან ხელების მდგომარეობების განსაზღვრა. გადავწყვიტეთ საწყის ეტაპზე შეგვესწავლა ქესტური ენის ამოცნობის მეთოდები და გამოგვეკვლია ჩვენ პროექტში მათი გამოყენების შესაძლებლობა.

- *ინფორმაციის მიმოცვლის სისტემის იმპლემენტაცია.* ინფორმაციის მიმოცვლას საკომუნიკაციო სისტემა განახორციელებს ორი მეთოდით:
  - *ინტერნეტ კავშირი.* საკომუნიკაციო სისტემას ექნება ინტერნეტთან წვდომა რამდენიმე გზით, მათ შორის Wi-Fi სიგნალითა და ე.წ. მობილური ინტერნეტით. Wi-Fi სიგნალთან დაკავშირებას შევძლებთ Raspberry Pi-ში ჩაშენებული Wi-Fi ადაპტერით, მობილურ ინტერნეტთან კი GSM/GPRS/3G/4G LTE მოდულებით.
 

მოხდება სერვერის შექმნა შესაბამისი მონაცემთა ბაზებითა და ვებ-სერვისებით. სერვერზე განთავსებულ მონაცემთა ბაზებში მოხდება მომხმარებელთა პერსონალური ინფორმაციისა და შეტყობინებების შენახვა, ვებ-სერვისებით კი მოხდება საკომუნიკაციო სისტემის დაკავშირება სერვერთან.
  - *ფიჭური კავშირი.* იმ შემთხვევაში, თუ Wi-Fi სიგნალთან დაკავშირება ვერ ხერხდება, კომუნიკაცია განხორციელდება ფიჭური კავშირის საშუალებით.
- *მიღებული ინფორმაციის ვიზუალიზაცია.* სერვერიდან ან სატელეფონო სიგნალიდან მიღებული ინფორმაციის ვიზუალიზაციისთვის მოხდება ადამიანის ფორმის ანიმაციური ობიექტის გამოსახვა. ის ჟესტების ენის საშუალებით გადმოგვცემს მიღებულ ინფორმაციას. ანიმაციური ობიექტის ასაგებად გამოყენებული იქნება სამგანზომილებიანი მზა პროგრამული მოდელები.

პროტოტიპის კონსტრუირების შემდეგ უნდა მოხდეს მისი ეფექტურობის კვლევა, რომლის შედეგადაც უნდა დადგინდეს ჟესტების ენის იდენტიფიცირების სისტემისა და ანიმაციური ობიექტით ჟესტების გადმოცემის გამართულობა და კორექტულობა. ამისათვის ჩვენ ვგეგმავთ კვლევის პროცესში აქტიურად ჩავრთოთ ადამიანები, რომლებიც ყოველდღიურად იყენებენ ჟესტების ენას. მათი დახმარებით შევეცდებით ამომცნობი სისტემა მაქსიმალურად დახვეწილი გავხადოთ.

# მიღებული შედეგები

## ჟესტების შესახებ ინფორმაციის მიმღები სისტემა

### ჟესტური ენის ამოცნობა

საწყის ეტაპზე მოხდა ჟესტების ამომცნობი მზა სისტემების მოძიება და მათი შესწავლა. ჩვენ განვიხილეთ სამეცნიერო პუბლიკაციები, რომლებშიც განხილული იყო ჟესტების ამოცნობის შესახებ ჩატარებული კვლევების შედეგები. ჟესტებით საუბრის დროს ინფორმაციის ჩასაწერად მკვლევარები სხვადასხვა მოწყობილობებს იყენებენ, მაგალითად: კამერა, ხელთათმანი ინტეგრირებული სენსორებით, ელექტრომიოგრაფი და ა. შ. ჩვენი ამოცანის მიზნებიდან გამომდინარე გამოკვლეულ იქნა მხოლოდ ისეთი ამომცნობი სისტემები, რომლებიც ინფორმაციის ჩასაწერად იყენებენ ერთ ცალ კამერას. რაც შეეხება კამერის ხარისხს, მნიშვნელოვანია, რომ გამოყენებულ იქნას ისეთი პარამეტრების მქონე კამერა, რომლის მსგავსიც თანამედროვე სმარტფონებშია.



მკვლევარების მიერ ინფორმაციის ჩასაწერად გამოყენებული მოწყობილობები (მარცხნიდან მარჯვნივ): სენსორებით აღჭურვილი ხელთათმანი, სტანდარტული კამერა, ელექტრომიოგრაფია

განხილულ პუბლიკაციებში წარმოდგენილი ნაწილი გულისხმობს ჟესტებისთვის მათემატიკური მოდელის შექმნას. (S, 2018)<sup>2</sup> ამერიკული ჟესტური ენის ალფავიტისა და ციფრების ამოცნობას ცდილობს კამერის მონაცემებში კონტურების საზღვრებისა და სიმრგვალების დადგენის გზით. კვლევა<sup>3</sup> კი კადრში თითებს შორის კუთხეების გამოთვლით ახერხებს რამდენიმე ჟესტის ამოცნობას. თუმცა, დიდი რაოდენობის ჟესტებისთვის უნიკალური მათემატიკური მოდელების შექმნა დიდ სირთულეებთანაა დაკავშირებული. ამიტომაც, აქცენტი ავიღეთ მეთოდების განხილვაზე, რომლებიც ჟესტების შესწავლას ახდენენ. კვლევა<sup>4</sup> და <sup>5</sup> ჟესტების ამოსაცნობად იყენებენ ნახვევისებრ, იგივე კონვოლუციურ ნეირონულ ქსელს. კვლევა<sup>6</sup> დინამიური ჟესტების ამოსაცნობად

იყენებს ჰიბრიდულ მოდელს - სამგანზომილებიან რეკურენტულ ქსელს. კვლევა<sup>7</sup>-ში შემოთავაზებულია ქესტების ამოცნობის სწავლების მოდიფიცირებული მეთოდი და შედარებულია ტრადიციულ მეთოდებთან. პუბლიკაცია<sup>8</sup>-ში განხილულია ქესტური ენით საუბრის დროს ინფორმაციის ჩაწერისა და ქესტების ამოცნობის სხვადასხვა მეთოდები. მოყვანილია შესაბამისი შედეგები. გამომდინარე იქიდან, რომ მკვლევარები სწავლებისთვის სხვადასხვა ტიპისა და მოცულობის სასწავლო სიმრავლეებს იყენებენ, კვლევების შედეგების მიხედვით არ შეგვიძლია ვიმსჯელოთ იმის შესახებ, თუ რომელი მეთოდის გამოყენებაა უმჯობესი.

ასევე მოხდა ქესტების ამომცნობი პროგრამული კოდების მოძიება და მათი მუშაობის ეფექტურობის გამოკვლევა. პროექტი<sup>9</sup> მიზნად ისახავს ამერიკული ქესტური ენის ალფავიტის ასოების ამოცნობას. ქესტების სასწავლად გამოყენებულ იქნა ნახვევისებრი ნეირონული ქსელი. პროგრამული კოდები დაწერილია Python პროგრამირების ენაზე. პროექტში გამოსახულების დამუშავებისთვის გამოიყენება კომპიუტერული ხედვის ბიბლიოთეკა OpenCV, ნეირონული ქსელის შესაქმნელად და სწავლების პროცესის ჩასატარებლად კი მანქანური სწავლების ბიბლიოთეკები TensorFlow და Keras. გამოყენებულ იქნა რამდენიმე მონაცემთა ბაზა, რომლებიც დაკომპლექტებული იყო რამდენიმე ათეული ქესტის შესაბამისი ორობითი (შავ-თეთრი) ფოტოებით. სწავლების პროცესის შედეგად ქსელის სიზუსტემ გადააჭარბა 90%-ს. ამის შემდეგ მოვახდინეთ ქსელის ტესტირება. ქსელს მივაწოდეთ კამერიდან პირდაპირ ეთერში მიღებული კადრები. ამოცნობის პროცესი შეიძლება ჩამოვაყალიბოთ შემდეგი სახით:

- მიღებული კადრის წინასწარი-დამუშავება: RGB ფორმატიდან ნაცრისფერ, ბოლოს კი ორობით ფორმატში გადაყვანა;
- გაწვრთნილი ქსელისთვის ორობითი ფოტოს მიწოდება და შედეგის მიღება.

ექსპერიმენტის შედეგად შეიძლება დავასკვნათ, რომ ასეთი ამომცნობი სისტემის მთავარი პრობლემა კადრში ხელების კონტურების დანახვაა. კადრის წინა-დამუშავების დროს გამოსახულება უნდა გარდაიქმნას იმ ფორმატში, რა ფორმატის ფოტოებიც ქსელს ვასწავლეთ, ამ შემთხვევაში ორობითი. თუმცა, გარდაქმნა ისე უნდა მოხდეს, რომ მიღებულ ფოტოში ხელის ფორმა იყოს კონტრასტული. კადრში ხელსა და გარემოს შორის კონტრასტის დანახვის შეთხვევაში ქესტის ამოცნობა მაღალი სიზუსტით ხდება, თუმცა ხშირ შემთხვევაში კონტრასტის პოვნა სრულად ვერ ხერხდება. ამის მიზეზი შეიძლება იყოს გარემო განათებულობა, მოსაუბრის კანის ფერის შესაბამისობა ფონურ ფერთან. ამ პრობლემის გადასაჭრელად ჩვენ შევცვალეთ ამომცნობი პროგრამული კოდი ისე, რომ კადრის ორობით ფორმატში გადაყვანის დროს ფერებს შორის საზღვრების დადგენა მოხდეს ავტომატურად. შედეგად, მოსაუბრის ხელსა და გარემოს შორის კონტრასტის დადგენის ხარისხი გაუმჯობესდა, რამაც ამოცნობის პროცესი უფრო ზუსტი გახადა. თუმცა, გარე განათებულობის კონკრეტულ შემთხვევებში პროგრამა მაინც ვერ ახერხებს სწორი საზღვრების დადგენას.

პროექტი<sup>10</sup>-ში განხილულია ვიდეოდან დინამიური ქსელების ამოცნობა ნახვევისებრი და რეკურენტული ქსელების საშუალებით. ანალოგიური ამოცანაა განხილული პროექტი<sup>11</sup>-ში, თუმცა დამატებით გამოყენებულია გამოსახულებაში ე.წ. ოპტიკური ნაკადებზე დაკვირვების მეთოდი. შედეგად კონკრეტული მონაცემთა ბაზის შემთხვევაში მუშაობის სიზუსტე 93%-ს აღწევს. უნდა აღინიშნოს, რომ ორივე შემთხვევაში მოსაუბრეს უწევს წინასწარ განსაზღვრული წესების შესრულება, მაგალითად, ქსეტებს შორის გარკვეული ხანგრძლივობის პაუზის გაკეთება, ხელების კონკრეტულ პოზიციაზე განლაგება და ა.შ. (S, 2018)<sup>12</sup>

კვლევების შედეგად, უნდა ითქვას, რომ ქსელების ამომცნობი კომერციული სისტემა ჯერ-ჯერობით არ არსებობს. შემოთავაზებული ამომცნობი სისტემების მუშაობის ხარისხი არ იძლევა იმის საშუალებას, რომ ისინი გამოყენებულ იქნეს სტანდარტული მომხმარებლის მიერ. შესაბამისად, დაბალია ასეთი სისტემების კომერციალიზაციის შანსი.

ჩვენი შეფასებით არსებული სისტემების პროექტში ინტეგრირება შესაძლებელია, თუმცა ამ შემთხვევაში სასწავლო სიმრავლის შესაქმნელად უნდა მოხდეს არსებული მონაცემთა ბაზების გაერთიანება, ვინაიდან ცალკეული ბაზები საკმარისი არ იქნება გამოყენებადი ამომცნობი სისტემის ასაგებად.

## ქსეტური ენის ამოცნობის ალტერნატიული მიდგომა

უნდა აღვნიშნოთ, რომ საკომუნიკაციო სისტემისადმი ერთ-ერთი უმთავრესი მოთხოვნაა კომუნიკაციის უწყვეტობა. თუ საუბრის პროცესში სისტემამ ვერ შეძლო რომელიმე ქსეტის სწორად ამოცნობა, ეს გამოიწვევს კომუნიკაციის წყვეტას. ხშირი წყვეტის შემთხვევაში მოსაუბრის მიერ ნაგულისხმევი აზრი დაირღვევა და შესაბამისად, მოცემული საკომუნიკაციო სისტემის გამოყენება აზრს დაკარგავს. მოგეხსენებათ, ნებისმიერ ქსეტური ენა საკმაოდ დიდი რაოდენობის ქსეტებს მოიცავს. დიდი რაოდენობის ქსეტების დასწავლა საკმაოდ დიდ რესურსებთანაა დაკავშირებული (დიდი მოცულობის სასწავლო სიმრავლე, მძლავრი გამოთვლითი რესურსი და დროითი რესურსი). ამიტომაც, საკმაოდ მაღალია იმის ალბათობა, რომ საწყის ეტაპზე ქსეტების ამომცნობმა სისტემამ ვერ მოახერხოს უმეტესი ქსეტების ამოცნობა. ამ პრობლემის გადასაჭრელად ჩვენ შევიმუშავეთ ალტერნატიული მეთოდი, რომლის მიხედვითაც საუბრის დროს უნდა მოხდეს არა ქსეტების ამოცნობა, არამედ მოსაუბრის ხელის მდგომარეობის განსაზღვრა. კერძოდ, თითოეული კადრში უნდა დადგინდეს ხელის/ხელების სივრცული პოზიციის შესაბამისი მონაცემები, მაგალითად სამგანზომილებიანი კოორდინატები. სწორედ ეს ინფორმაცია გაიგზავნება მოსაუბრესთან, სადაც სამგანზომილებიანი ანიმაციური მოდელის ხელები მიღებული მონაცემების შესაბამის მდგომარეობას დაიკავებს. ჩვენ გამოვიკვლიეთ ხელების მდგომარეობის განსაზღვრის მეთოდები. ამისათვის მკვლევარები სხვადასხვა ტიპის სენსორებსა და კამერებს იყენებენ, მაგალითად ხელთათმანები, რომლებშიც ორიენტაციის სენსორებია ინტეგრირებული. მხოლოდ ერთი კამერის საშუალებით

აღნიშნული ოპერაციის შესრულება საკმაოდ დაბალი ხარისხით ხდება. შესაბამისად, მიღებული შედეგი ხშირ შემთხვევებში საკმაოდ არაზუსტია. ამიტომაც იძულებული გავხდით ხელის მდგომარეობის დადგენისთვის სხვა მეთოდი გამოგვეყენებინა. გადავწყვიტეთ შეგვექმნა ნეირონული ქსელი, რომელსაც ვასწავლიდით გამოსახულებასა და ამ გამოსახულებაში ხელის კოორდინატებს შორის კავშირის დადგენას. ამ ექსპერიმენტისთვის საჭირო იყო სასწავლო სიმრავლის შექმნა, სადაც იქნებოდა კამერიდან მიღებული კადრები და შესაბამისი სამგანზომილებიანი კოორდინატები. ამ კოორდინატების ჩასაწერად კი გადავწყვიტეთ გამოგვეყენებინა ერთ-ერთი ყველაზე მაღალი სიზუსტის სენსორი - Leap Motion. კვლევის მომდევნო ეტაპზე იგეგმება აღწერილი მეთოდის შემოწმება ქსელების ამომცნობ სისტემაზე მუშაობის პარალელურად.



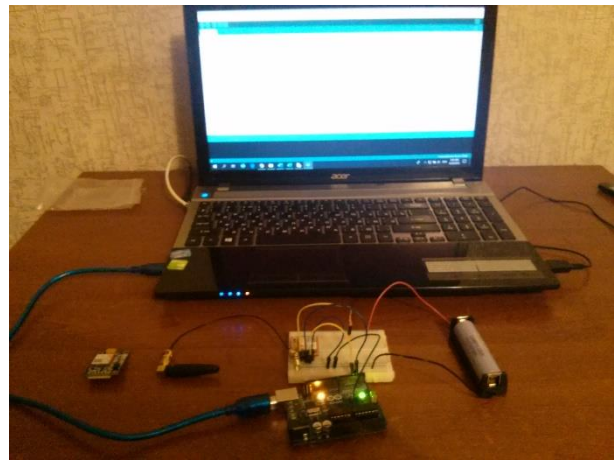
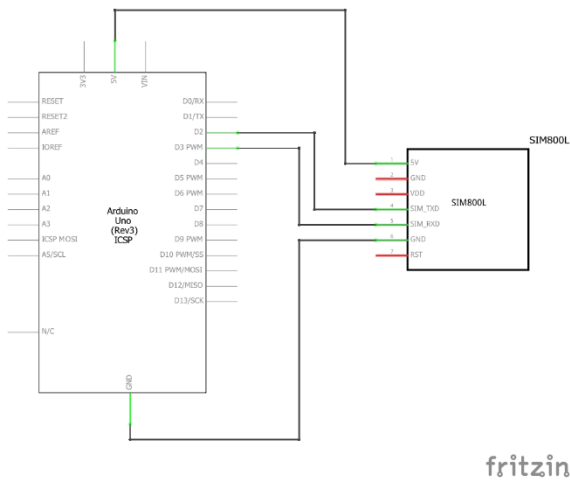
## ინფორმაციის მიმოცვლის სისტემა

მოსაუბრეთა შორის ინფორმაციის გასაცვლელად ჩვენ გამოვიყენეთ ორი მეთოდი: მონაცემთა მიმოცვლა ინტერნეტისა და ფიჭური ქსელის გავლით. ჩვენ გავიკვლიეთ, თუ რომელი მათგანის გამოყენება იქნება უფრო ეფექტური და რა შემთხვევებში. ეფექტურობაში ვგულისხმობთ ინფორმაციის გაცვლის მაღალ სისწრაფესა და დაბალ ფასს.

- *ინტერნეტის გავლით* ინფორმაციის გაცვლისას შუალედურ რგოლად ვიყენებთ ვებ-სერვერს. თითოეული მოსაუბრე ახდენს აღნიშნულ სერვერთან დაკავშირებას და მასზე ინფორმაციის ატვირთვას. საკომუნიკაციო სისტემა ინტერნეტს უკავშირდება უსადენოდ და ამისათვის იყენებს ორ მეთოდს: Wi-Fi და 2G/GPRS/3G/4G/5G (ე.წ. მობილური ინტერნეტი) ქსელებს. დღესდღეობით Wi-Fi-ს გამოყენებით ინფორმაციის გაცვლის სიჩქარე მერყეობს დაახლოებით 11 Mbps-დან რამდენიმე Gbps-მდე, მობილური ინტერნეტის სიჩქარე კი მერყეობს 40 kbps-დან 3 Gbps-მდე. რაც შეეხება ფასს, ამ შემთხვევაში Wi-Fi-ს გამოყენების უპირატესობა ცალსახაა.
- *ფიჭური ქსელის გავლით* ინფორმაციის გადაცემას ვახდენთ ორი გზით: მოკლე ტექსტური შეტყობინებითა და სატელეფონო ზარით. ჩვენ შევექმენით ინფორმაციის გაცვლის სისტემის პროტოტიპი, რისთვისაც გამოვიყენეთ SIM800L მოდული. ის დაგვუკავშირეთ კომპიუტერს მიკროკონტროლერის გავლით. მოდულსა და მიკროკონტროლერს შორის ინფორმაციის გაცვლა მოვახდინეთ ასინქრონული თანმიმდევრული (Serial) საკომუნიკაციო პროტოკოლის საშუალებით. შევექმენით კომპიუტერული პროგრამული კოდები, რომლებიც AT ბრძანებების საშუალებით



ახდენენ მოდულის მართვას. შედეგად მოვახდინეთ მოკლე ტექსტური შეტყობინებითა და სატელეფონო ზარით ინფორმაციის გაცვლის ტესტირება.



SIM800L მოდულის მიკროკონტროლერთან მიერთების ელექტრული წრედის პრინციპული სქემა და ფოტოსურათი

ინფორმაციის გადაცემის სისწრაფისა და ფასის გათვალისწინებით შეიძლება ითქვას, რომ პრიორიტეტული იქნება ინტერნეტის, კონკრეტულად კი Wi-Fi-ს გამოყენება. თუმცა კომუნიკაციის მეთოდის შერჩევასას ასევე გათვალისწინებული უნდა იყოს ამა თუ იმ ქსელთან წვდომის ხარისხი, რაც მოსაუბრის ადგილმდებარეობაზეა დამოკიდებული. ჩვენი შეფასებით მეთოდის არჩევა დამოკიდებულია ასევე მოსაუბრიდან ინფორმაციის მიღების მეთოდზე.

- *ჟესტების ამომცნობი სისტემის* გამოყენების შემთხვევაში გადასაცემი ინფორმაციის მოცულობა დამოკიდებულია ჟესტებით საუბრის სიჩქარეზე. საუბრის საშუალო სისწრაფე ხშირ შემთხვევებში არის დაახლოებით 1 ჟესტი წამში. ეს შეიძლება შეესაბამებოდეს ერთი ასოს, სიტყვას ან წინადადებას. შესაბამისად, ინტერნეტთან წვდომის არქონის შემთხვევაში პრიორიტეტული იქნება მოკლე ტექსტური შეტყობინების გამოყენება.
- *ხელების მდგომარეობების* გაგზავნის შემთხვევაში ინფორმაციის მიმოცვლა უწყვეტი უნდა იყოს. ამიტომაც პრიორიტეტული იქნება სატელეფონო ზარის გამოყენება.

## გამოყენებული რესურსები

- 
- <sup>1</sup> მსოფლიო ჯანდაცვის ორგანიზაცია. წყაროს ელექტრონული მისამართი:  
<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/deafness-and-hearing-loss>
- <sup>2</sup> Shivashankara S, Srinath S. American Sign Language Recognition System: An Optimal Approach. I.J. Image, Graphics and Signal Processing, 2018, 8, 18-30. DOI: 10.5815/ijigsp.2018.08.03
- <sup>3</sup> Anupam Yedida. Sign Language Recognition Based On OpenCV.
- <sup>4</sup> Facundo Quiroga, Ramiro Antonio, Franco Ronchetti, Laura Lanzarini, and Alejandro Rosete. A Study of Convolutional Architectures for Handshape Recognition applied to Sign Language. XXIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación. 2017.
- <sup>5</sup> Brandon Garcia, Sigberto Alarcon Viesca. Real-time American Sign Language Recognition with Convolutional Neural Networks.
- <sup>6</sup> Yuancheng Ye, Yingli Tian, Matt Huenerfauth, and Jingya Liu. Recognizing American Sign Language Gestures from within Continuous Videos. PROCEEDINGS 2018 IEEE/CVF CONFERENCE ON COMPUTER VISION AND PATTERN RECOGNITION WORKSHOPS (CVPRW).
- <sup>7</sup> Qifan Xue, Xuanpeng Li, Dong Wang and Weigong Zhang. Deep Forest-Based Monocular Visual Sign Language Recognition. Applied Sciences. 2019.
- <sup>8</sup> Suhajito; Anderson, R.; Wiryana, F.; Ariesta, M.C.; Kusuma, G.P. Sign Language Recognition Application Systems for Deaf-Mute People: A Review Based on Input-Process-Output. Procedia Comput. Sci. 2017, 116, 441–448.
- <sup>9</sup> [Simple Sign Language Detector](#)
- <sup>10</sup> [Sign Language Gesture Recognition From Video Sequences Using RNN And CNN](#)
- <sup>11</sup> [Sign Language Recognition for Deaf People](#)