

WEARABLE SENSOR TECHNOLOGIES FOR AUTOMATIC SIGN LANGUAGE RECOGNITION: MODERN APPROACHES AND THE IMOVOX SMART GLOVE

Latifjonov Abduqodir Baxtiyor ugli

Master's student at Fergana State Technical University

abduqodirlatifjonov20020903@gmail.com

Scientific Supervisor: **Xomidov Abdullo Qambarali ugli**

Associate Professor, Department of Electrical Engineering, Fergana State Technical
University

<https://orcid.org/0009-0001-0806-5963> abdullajon.xomidov@fstu.uz

Abstract

This thesis analyzes wearable sensor technologies used for automatic sign language recognition, their advantages and practical limitations, and examines the experimental prototype of the IMOVOX smart glove. In modern systems, the integration of flex sensors, inertial measurement units (IMUs), microcontrollers, and machine learning algorithms enables the simultaneous recording of hand shapes and spatial movements. The IMOVOX prototype was developed using five flex sensors, an MPU6050, and the ESP32 platform. A total of 900 trials were conducted with 10 participants across 30 basic signs, achieving an overall accuracy of 83.1% and an average response time of 452 ms. The results showed that static signs were recognized more consistently than dynamic signs. The study indicates that sensor fusion, individual calibration, and TinyML-based classification offer promising opportunities for the further development of local assistive devices such as IMOVOX.

Keywords

Sign language, smart glove, wearable sensor, flex sensor, MPU6050, ESP32, sensor fusion, assistive technology.

**IMO-ISHORA TILINI AVTOMATIK ANIQLASHDA TAQILADIGAN
SENSORLI TEXNOLOGIYALAR: ZAMONAVIY YONDASHUVLAR VA
IMOVOX AQLLI QO‘LQOPI**

Latifjonov Abduqodir Baxtiyor o‘g‘li Farg‘ona davlat texnika universiteti
magistranti abduqodirlatifjonov20020903@gmail.com

Ilmiy rahbar: **Xomidov Abdullo Qambarali o‘g‘li**
Farg‘ona davlat texnika Universiteti, Elektr muhandisligi kafedrası dotsenti
<https://orcid.org/0009-0001-0806-5963> abdullajon.xomidov@fstu.uz

Annotatsiya. Ushbu tezisda imo-ishora tilini avtomatik aniqlash uchun qo‘llanilayotgan taqiladigan sensorli texnologiyalar, ularning afzalliklari va amaliy cheklovlari tahlil qilinadi hamda IMOVOX aqlli qo‘lqopining tajriba prototipi ko‘rib chiqiladi. Zamonaviy tizimlarda flex sensorlar, inertial o‘lchov modullari (IMU), mikrocontrollerlar va mashinaviy o‘qitish algoritmlarining integratsiyasi qo‘l shakli hamda fazoviy harakatni birgalikda qayd etish imkonini bermoqda. IMOVOX prototipi beshta flex sensor, MPU6050 va ESP32 platformasi asosida ishlab chiqilgan. 30 ta asosiy imo-ishora bo‘yicha 10 nafar ishtirokchi ishtirokida 900 ta sinov o‘tkazilib, umumiy aniqlik 83,1 %, o‘rtacha javob vaqti 452 ms ni tashkil etdi. Natijalar statik ishoralarni aniqlash dinamik ishoralarga nisbatan barqarorroq ekanini ko‘rsatdi. Tadqiqot sensor fusion, individual kalibrlash va TinyML asosidagi klassifikatsiya IMOVOX kabi mahalliy assistiv qurilmalarning keyingi rivoji uchun istiqbolli ekanini ko‘rsatadi.

Kalit so‘zlar: imo-ishora tili, aqlli qo‘lqop, wearable sensor, flex sensor, MPU6050, ESP32, sensor fusion, assistiv texnologiya.

**НОСИМЫЕ СЕНСОРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО
РАСПОЗНАВАНИЯ ЖЕСТОВОГО ЯЗЫКА: СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ
И «УМНАЯ» ПЕРЧАТКА IMOVOX**

Латифжонов Абдукодир Бахтиёр угли

Магистрант Ферганского государственного технического университета

abduqodirlatifjonov20020903@gmail.com

Научный руководитель: **Хомидов Абдулло Камбарали угли**

Доцент кафедры электротехники, Ферганский государственный

политехнический институт

<https://orcid.org/0009-0001-0806-5963> abdullajon.xomidov@fstu.uz

KIRISH

Imo-ishora tili eshitish va nutqida cheklovi bo'lgan insonlarning kundalik muloqotida muhim kommunikativ vosita hisoblanadi. Biroq imo-ishora tilini bilmaydigan inson bilan bevosita muloqotda axborotni tez va aniq uzatish muammosi saqlanib qolmoqda. Shu sababli imo-ishoralarni avtomatik ravishda matn yoki ovozga aylantiruvchi assistiv texnologiyalar kompyuter ko'rishi, sun'iy intellekt va taqiladigan elektronika kesishmasidagi dolzarb tadqiqot yo'nalishiga aylandi. So'nggi sharhlar sign language recognition tizimlarida vision-based, wearable sensor-based va multimodal yondashuvlar parallel rivojlanayotganini ko'rsatadi [1,2].

Kamera asosidagi usullar kontaktsiz ishlashi bilan qulay, biroq yoritilish, fon murakkabligi, okklyuziya va maxfiylik kabi omillarga sezgir. Taqiladigan tizimlarda esa sensorlar qo'l bilan bevosita bog'langanligi sababli barmoq bukilishi va qo'l harakatini muhit yoritilishidan mustaqil qayd etish mumkin. Wearable sensorlar bo'yicha tadqiqotlarda flex sensorlar, akselerometr, giroskop, magnitometr, sEMG va ularning kombinatsiyalari keng qo'llanadi [2,3]. Ayniqsa flex sensor va IMU kombinatsiyasi qo'l shakli hamda fazoviy harakat haqida bir-birini to'ldiruvchi ma'lumot beradi [4].

Mazkur ishning maqsadi taqiladigan sensorli imo-ishora aniqlash texnologiyalarining zamonaviy holatini tahlil qilish va ushbu yondashuv asosida ishlab chiqilgan IMOVOX aqlli qo'lqopining dastlabki eksperimental samaradorligini

baholashdan iborat. Ishning amaliy yo‘nalishi o‘zbek imo-ishora tiliga mos, nisbatan arzon, portativ va real vaqt rejimida ishlovchi mahalliy assistiv platformani shakllantirish bilan belgilanadi.

MATERIALLAR VA USULLAR

Tadqiqot ikki bosqichda olib borildi. Birinchi bosqichda smart-glove va wearable sign language recognition yo‘nalishidagi ilmiy ishlar qiyosiy tahlil qilindi. Adabiyotlarda sensor turi, ma’lumot yig‘ish usuli, klassifikatsiya yondashuvi, real vaqt rejimida ishlash imkoniyati va foydalanuvchiga moslashuv mezonlariga e’tibor qaratildi. Mavjud tadqiqotlar sensorli qo‘lqoplarda beshta flex sensor va IMU kombinatsiyasi amaliy jihatdan keng tarqalgan arxitektura ekanini ko‘rsatadi. Masalan, Android bilan integratsiyalangan tizimda beshta flex sensor va MPU6050 qo‘llangan [5], boshqa ishlarda esa bending sensor va inertial sensor ma’lumotlarini DTW asosida birlashtirish orqali qo‘l shakli va harakat xususiyatlari kompleks baholangan [4].

Ikkinchi bosqichda IMOVOK prototipi eksperimental baholandi. Qurilmaning sensor qismi har bir barmoqning bukilish holatini o‘lchovchi beshta rezistiv flex sensor hamda qo‘lning tezlanishi va burchak harakatini qayd etuvchi MPU6050 inertial modulidan tashkil topgan. Sensor signallari ESP32 mikrokontrollerida qabul qilinib, dastlabki filtrlash, normallashtirish va etalon imo-ishora parametrlari bilan solishtirish jarayonlaridan o‘tkazildi. Tanilgan natija OLED displeyda aks ettirilishi va audio kanal orqali uzatilishi ko‘zda tutilgan. Bunday edge-processing arxitekturasini ma’lumotni tashqi serverga majburiy yubormasdan qisqa javob vaqtini ta’minlash imkonini beradi.

Eksperimental bazaga kundalik muloqot uchun tanlangan 30 ta imo-ishora kiritildi. Sinovlarda 10 nafar ishtirokchi har bir ishorani uch martadan bajardi. Shunday qilib, $N = 10 \times 30 \times 3 = 900$ ta kuzatuv shakllantirildi. Natijalar to‘g‘ri tanilgan, noto‘g‘ri tanilgan va aniqlanmagan holatlarga ajratildi. Umumiy aniqlik $A = N_{\text{to‘g‘ri}}/N_{\text{jami}} \times 100 \%$ ifoda orqali hisoblandi. Bundan tashqari, ishoralar oddiy statik, murakkab statik

va dinamik guruhlarga ajratilib, har bir guruh bo'yicha tanish samaradorligi qiyoslandi. Qurilmaning amaliy tezkorligini baholash uchun sensor harakati boshlangan vaqtdan natija hosil bo'lishigacha bo'lgan end-to-end javob vaqti qayd etildi.

NATIJA VA MUHOKAMALAR

900 ta eksperimental urinishning 748 tasi to'g'ri, 104 tasi noto'g'ri tanildi, 48 holatda esa tizim ishorani aniqlay olmadi. Shunga ko'ra, IMOVOX V1 prototipining umumiy tanish aniqligi 83,1 % ni tashkil etdi. Ishora murakkabligi bo'yicha tahlilda oddiy statik ishoralar 88,7 %, murakkab statik ishoralar 83,7 %, dinamik ishoralar esa 77,0 % aniqlik bilan tanildi. Natija barmoq bukilishiga asoslangan statik belgilar flex sensorlar orqali nisbatan barqaror qayd etilishini, vaqt bo'yicha o'zgaruvchi dinamik ishoralarda esa trajektoriya va tezlik xususiyatlarini hisobga olish zarurligini ko'rsatadi.

Qurilmaning end-to-end javob vaqti 390–525 ms oralig'ida bo'lib, o'rtacha 452 ms, median qiymati 447 ms ni tashkil etdi. Prototipning massasi 285 g bo'lib, dastlabki ergonomik baholashda 5 ballik shkala bo'yicha 4,35 ball olindi. 30 ta tanlangan ishoraning 27 tasi ekspert baholashida o'zbek imo-ishora tilidagi ma'noga mos deb topildi. Ushbu natijalar prototip real vaqtga yaqin rejimda ishlashga qodirligini ko'rsatsa-da, lug'at hajmi va dinamik ishoralarni tanish aniqligi bo'yicha takomillashtirish zarurligini ko'rsatadi.

Adabiyotlar bilan qiyoslash ham sensor fusion yondashuvining istiqbolini tasdiqlaydi. Flex sensorlar barmoq konfiguratsiyasini, IMU esa qo'lning fazoviy harakatini tavsiflaydi; shu sababli ikkala axborot manbasini birlashtirish faqat bitta sensor turiga tayangan tizimga qaraganda murakkab ishoralarni ajratishda ko'proq informativ belgi hosil qiladi [3,4]. Zamonaviy ishlarda CNN, LSTM va boshqa chuqur o'rganish modellaridan foydalanish, shuningdek real vaqt inference uchun yengil modellarni qurilmaga joylashtirish tendensiyasi kuchaymoqda [1,6].

MUHOKAMA

IMOVOK sinovlari taqiladigan sensorli qurilmalar o'zbek imo-ishora tilini avtomatik tanish uchun amaliy platforma bo'la olishini ko'rsatdi. 83,1 % umumiy aniqlik prototip bosqichi uchun ishlash qobiliyatini tasdiqlaydi, biroq natijani tayyor tijoriy tizim ko'rsatkichi sifatida talqin qilish mumkin emas. Xatolarning asosiy qismi o'zaro o'xshash barmoq konfiguratsiyalari, foydalanuvchilar orasidagi anatomik farqlar, sensorning individual joylashuvi hamda dinamik harakatlarning vaqt bo'yicha o'zgaruvchanligi bilan bog'liq bo'lishi mumkin. Smart-glove tadqiqotlarida ham qo'l o'lchami, sensor joylashuvi va foydalanuvchiga mos kalibrlash muhim omillar sifatida qayd etilgan [2,7].

Keyingi bosqichda individual avtomatik kalibrlash, flex va IMU ma'lumotlarini vaqt qatori sifatida birlashtiruvchi sensor fusion, TinyML/LSTM klassifikatsiyasi va ikki qo'lli ishoralarni qo'llab-quvvatlash maqsadga muvofiq. Lug'atni 200–500 ishoragacha kengaytirish uchun turli yosh va qo'l anatomiyasiga ega foydalanuvchilar ishtirokidagi katta, balanslangan dataset zarur. Shuningdek, o'zbek imo-ishora tilida yuz ifodasi va tana holati kabi noverbal belgilar ham semantik ma'no berishi sababli kelajakda qo'lqop sensorlarini kamera yoki boshqa kontaktsiz sensorlar bilan multimodal integratsiya qilish yuqori darajadagi tarjima tizimiga o'tish imkonini beradi.

XULOSA

Xulosa qilib, wearable sensorlar imo-ishora tilini real vaqt rejimida aniqlash uchun muhit yoritilishiga kam bog'liq, portativ va edge-computing bilan mos yechimdir. IMOVOK prototipining dastlabki natijalari ushbu konsepsiyaning mahalliy assistiv texnologiya sifatida rivojlantirilishi mumkinligini ko'rsatdi. Aniqlikni oshirish, dinamik ishoralarni ishonchli klassifikatsiya qilish, standartlashtirilgan UzSL datasetini yaratish va ergonomik konstruktsiyani ixchamlashtirish loyiha rivojining ustuvor ilmiy-amaliy vazifalari hisoblanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar:

[1] Alyami S., Luqman H., Hammoudeh M. Reviewing 25 years of continuous sign language recognition research: Advances, challenges, and prospects. *Information Processing & Management*, 2024, 61(5), 103774. DOI: 10.1016/j.ipm.2024.103774.

[2] Ahmed M.A. et al. A Comparative Review on Applications of Different Sensors for Sign Language Recognition. *Journal of Imaging*, 2022, 8(4), 98. DOI: 10.3390/jimaging8040098.

[3] Rastgoo R. et al. Wearable Sensor-Based Sign Language Recognition: A Comprehensive Review. *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, 2021, 14, 82–97.

[4] Data Glove with Bending Sensor and Inertial Sensor Based on Weighted DTW Fusion for Sign Language Recognition. *Electronics*, 2023, 12(3), 613.

[5] Shaban S.A., Elsheweikh D.L. An Intelligent Android System for Automatic Sign Language Recognition and Learning. *Journal of Advances in Information Technology*, 2024, 15(8), 923–940. DOI: 10.12720/jait.15.8.923-940.

[6] Nwachukwu M.M. et al. Implementing Sign Language Recognition System using Flex Sensors. *International Journal of Research and Innovation in Applied Science*, 2024, 9(9), 73–79. DOI: 10.51584/IJRIAS.2024.909008.

[7] Leite C. et al. Simulation-driven design of smart gloves for gesture recognition. *Scientific Reports*, 2024, 14, 14873.