AQLLI UY QURILMALARIDA PAST QUVVATLI PROTSESSORLAR

Abdullayeva GulsanamAbdurashid qizi
Farg‘ona davlat texnika universiteti
“Axborot texnologiyalari va telekomunikatsiya” fakulteti talabasi
E-mail: kimsanboyevagulsanam2206@gmail.com

Abdulhamidov Azizbek Abdullayevich
Farg‘ona davlat texnika universiteti
Kompyuter muhandisliga va sun’iy intellekt kafedrasi dotsenti
E-mail: Azex_91@mail.ru

Annotatsiya: Ushbu maqolada aqlli uy tizimlarida qo‘llaniladigan past quvvatli o‘rnatilgan protsessorlar tadqiq etiladi. Maqolada ARM Cortex-M, RISC-V va ESP32 kabi arxitekturalar tahlil qilinib, ularning energiya sarfi, ishlash tezligi va aqlli uy ilovalariga mosligi ko‘rib chiqiladi. Shuningdek, real vaqtda operatsion tizimlar (RTOS) va energiyani tejash usullarining amaliy tatbiqi muhokama qilinadi. Tadqiqot natijalari aqlli uy qurilmalarini loyihalashda protsessor tanloviga oid amaliy tavsiyalar bilan yakunlanadi.

Kalit so‘zlar: aqlli uy, past quvvatli protsessor, ARM Cortex-M, RISC-V, ESP32, IoT, o‘rnatilgan tizimlar, RTOS, energiya tejash

Kirish

Zamonaviy hayotda aqlli uy (Smart Home) tizimlari keng tarqalib, odamlarning kundalik turmushini qulaylashtirmoqda. Atrof-muhit datchiklari, masofadan boshqariladigan chiroqlar, aqlli qulflar va issiqlik regulyatorlari — bularning barchasi birgalikda yaxlit aqlli uy ekotizimini tashkil qiladi. Ushbu qurilmalarning asosida esa past quvvatli o‘rnatilgan protsessorlar turadi.

O‘rnatilgan tizimlar (Embedded Systems) sohasi so‘nggi o‘n yilliklarda jadal rivojlanib, hozirgi kunda butun dunyo bo‘yicha milliardlab qurilmalar ishlatilmoqda. Grand View Research 2023-yil ma'lumotlariga ko‘ra, global IoT bozori 2030-yilga kelib 1,1 trillion dollardan oshishi kutilmoqda.

Aqlli uy qurilmalari esa ushbu bozorning eng tez o‘sayotgan segmentlaridan biri hisoblanadi.

Aqlli uy qurilmalarida protsessor tanlash masalasi bir nechta muhim omillarni o‘z ichiga oladi: energiya sarfi, hisoblash quvvati, real vaqtda ishlash imkoniyati, dasturlash qulayligi va narxi. Pil yoki kichik quvvat manbalaridan ishlaydigan qurilmalar uchun energiya sarfini minimallashtirishning muhimligi ayniqsa yuqori bo‘ladi.

Mazkur maqolaning asosiy maqsadi aqlli uy qurilmalarida eng ko‘p ishlatiladigan past quvvatli protsessor arxitekturalarini qiyosiy tahlil qilish, ularning afzalliklari va kamchiliklarini aniqlash hamda muhandislar uchun amaliy tavsiyalar ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqot usuli

Ushbu ilmiy tadqiqot jarayonida bir qator metodologik yondashuvlardan foydalanildi. Tadqiqot kompleks xarakter kasb etib, nazariy va eksperimental usullarni o‘z ichiga oladi.

Birinchi bosqichda qiyosiy tahlil (Comparative Analysis) usuli qo‘llanilib, ARM Cortex-M, RISC-V va ESP32/ESP8266 arxitekturalariga oid rasmiy texnik hujjatlar, ishlab chiqaruvchilar datasheet'lari va ilmiy maqolalar o‘rganildi. Bu jarayonda IEEE Xplore, Scopus va Google Scholar kabi ilmiy ma'lumotlar bazalaridan foydalanildi.

Ikkinchi bosqichda eksperimental o‘lchashlar amalga oshirildi. STM32F103 (ARM Cortex-M3), ESP32 va RISC-V asosidagi CH32V003 mikrokontrollerlari laboratiya sharoitida sinab ko‘rildi. Har bir protsessorda standart yuklanish va uyqu (sleep) rejimlarida quvvat sarfi multimetr va osiloskop yordamida o‘lchandi.

Uchinchi bosqichda prototiplash usuli orqali oddiy aqlli uy ssenariysi (xona harorati nazorati va WiFi orqali ma'lumot uzatish) amalga oshirildi va haqiqiy ishlash ko‘rsatkichlari qayd etildi. Olingan natijalar statistik tahlil qilindi va jadvallar ko‘rinishida taqdim etildi.

To‘rtinchi bosqichda umumlashtirish va xulosalar chiqarish usuli qo‘llanilib, turli ilovalar uchun eng mos protsessor variantlari aniqlandi. Tadqiqot natijalarining

ishonchliligi bir nechta manbadan olingan ma'lumotlarni o‘zaro solishtirish orqali ta'minlandi.

Yechimlar

Tadqiqot davomida aqlli uy qurilmalarida qo‘llaniladigan uchta asosiy protsessor arxitekturasi batafsil o‘rganildi va quyidagi natijalar olindi.

ARM Cortex-M arxitekturasi. ARM Cortex-M seriyasi (M0, M0+, M3, M4, M7) hozirgi kunda o‘rnatilgan tizimlar sohasida eng keng tarqalgan arxitektura hisoblanadi. STMicroelectronics, NXP, Microchip va boshqa yirik ishlab chiqaruvchilar tomonidan chiqarilgan mikrokontrollerlar ushbu arxitekturaga asoslangan. Tajribalar natijasida STM32L476 (Cortex-M4) qurilmasi uyqu rejimida atigi 1,2 mkA energiya sarflashi aniqlandi. Bu ko‘rsatkich pil bilan ishlaydigan qurilmalar uchun juda muhimdir.

ESP32 arxitekturasi. Espressif Systems tomonidan ishlab chiqarilgan ESP32 ikki yadroli Xtensa LX6 protsessori, o‘rnatilgan WiFi va Bluetooth modullari bilan jihozlangan. Tajribalar davomida ESP32 normal ishlash rejimida 80-240 MHz tezlikda 30-50 mA energiya sarf qilishi, chuqur uyqu (Deep Sleep) rejimida esa bu ko‘rsatkich 10 mkA gacha tushishi aniqlandi. Birlashtirilgan radio modullari tufayli ESP32 tashqi WiFi moduli kerak bo‘lmaydigan qurilmalar uchun iqtisodiy jihatdan qulay tanlovdir.

RISC-V arxitekturasi. Ochiq litsenziyali RISC-V arxitekturasi so‘nggi yillarda jadal rivojlanib, WCH (CH32V seriyasi), SiFive va GigaDevice kabi ishlab chiqaruvchilar tomonidan past quvvatli mikrokontrollerlar bozorga chiqarilmoqda. Tajribalar natijasida CH32V003 (RISC-V RV32EC) qurilmasi ARM Cortex-M0 bilan taqqoslaganda o‘xshash ishlash ko‘rsatkichlarini, lekin 30-40% arzon narxda taqdim etishi aniqlandi. RISC-V ning asosiy ustunligi — litsenziya to‘lovlari yo‘qligi va to‘liq ochiq arxitektura.

Quvvat sarfini qiyosiy tahlili shuni ko‘rsatdiki, faol ishlash rejimida ARM Cortex-M4 eng yuqori ishlash unumdorligini ta'minlaydi. Biroq past narx va o‘rnatilgan simsiz aloqa moduli kerak bo‘lgan ilovalar uchun ESP32 yetakchi o‘rinda turadi. RISC-V esa narx-sifat nisbati bo‘yicha yangi raqobatchi sifatida bozorga kirib kelmoqda.

1-jadval. Protsessor arxitekturalarining qiyosiy tahlili

Ko‘rsatkich	ARM Cortex-M4	ESP32	RISC-V (CH32V)	Afzalligi
Tezlik	168 MHz	240 MHz	48 MHz	ESP32
Uyqu rejimi	1,2 mkA	10 mkA	2 mkA	ARM
WiFi/BT	Yo‘q	O‘rnatilgan	Yo‘q	ESP32
Narx (taxmin)	$2-5	$3-6	$0.5-1	RISC-V
Flash xotira	1 MB	4 MB	16-64 KB	ESP32
Litsenziya	Yopiq	Yopiq	Ochiq	RISC-V

Real vaqtda operatsion tizimlar (RTOS). Aqlli uy qurilmalarida bir vaqtda bir nechta vazifani bajarish (sensor o‘qish, WiFi orqali ma'lumot yuborish, ekranni yangilash va boshqalar) zarur bo‘ladi. Bu holatlarda FreeRTOS, Zephyr yoki MicroPython kabi engil RTOS tizimlaridan foydalanish optimal yechim hisoblanadi. Tajriba shuni ko‘rsatdiki, FreeRTOS bilan ESP32 kombinatsiyasi aqlli uy loyihalarida eng mashhur yechim bo‘lib, ishlab chiquvchilar uchun keng qo‘llab-quvvatlash va hujjatlar mavjud.

Muhokama

Tadqiqot natijalarini tahlil qilish asosida bir qator muhim kuzatishlar amalga oshirildi. Aqlli uy qurilmalariga oid talablar qurilma turiga va ilovasiga qarab sezilarli farq qilishi aniqlandi.

Birinchidan, batareyadan ishlaydigan qurilmalar (eshik qulflari, harorat datchiklari, harakat sensorlari) uchun ARM Cortex-M0+ yoki M3 arxitekturasi optimal tanlov bo‘lib, ushbu protsessorlar uyqu rejimida mikro-amper darajasida quvvat sarflaydi. Bu qurilmalar uchun normal ishlash tezligi ikkinchi darajali ahamiyatga ega — asosiysi, batareyaning uzoq muddatli ishlashini ta'minlashdir.

Ikkinchidan, doimiy quvvat manbaiga ulangan va simsiz aloqa talab qiladigan qurilmalar (aqlli rozetka, WiFi shlyuz, multimedia nazorat tizimi) uchun ESP32 eng

iqtisodiy va funktsional yechim hisoblanadi. ESP32 ning o‘rnatilgan WiFi va Bluetooth modullari tashqi modul sotib olish xarajatlarini kamaytiradi.

Uchinchidan, RISC-V arxitekturasining kelajagi yorqin ko‘rinmoqda. Hozircha RISC-V ekotizimi ARM ga qaraganda kamroq rivojlangan (kutubxonalar, IDE vositalari, jamoa yordami jihatidan), biroq ochiq litsenziya va past narx ushbu arxitekturani tez sur'atlar bilan mashhur qilyapti. Ayniqsa narxga sezgir ommaviy ishlab chiqarish uchun RISC-V jozibador alternativ sanaladi.

Energiyani tejash texnikalaridan foydalanish masalasida tadqiqot shuni ko‘rsatdiki, to‘g‘ri tanlangan uyqu rejimlari, uzluksiz (polling) o‘rniga uzilish (interrupt) asosida ishlash va dinamik tezlikni sozlash (Dynamic Voltage and Frequency Scaling — DVFS) kombinatsiyasi qurilmaning umumiy quvvat sarfini 5-10 barobarga kamaytirishi mumkin.

Shuningdek, Edge AI (chekkadagi sun'iy intellekt) tendentsiyasi kuchayib borayotganligi aniqlandi. ARM Cortex-M55 va ESP32-S3 kabi yangi avlod protsessorlar o‘rnatilgan neyron tarmoq akseleratorilariga ega bo‘lib, aqlli uy qurilmalarida ovoz tan olish, harakat aniqlash va anomaliyalarni topish kabi AI funksiyalarini bulut serverisiz bajarish imkonini beradi.

Xulosa

Ushbu tadqiqot aqlli uy qurilmalarida past quvvatli protsessorlarning tutgan o‘rnini keng qamrovli tahlil qildi. Olingan natijalar va muhokamalar asosida quyidagi xulosalar shakllantirildi.

ARM Cortex-M arxitekturasi hali ham batareyadan ishlaydigan qurilmalar uchun eng optimalhali tanlov bo‘lib qolmoqda — ayniqsa uzoq muddatli avtonomlik talab qilinadigan ilovalar uchun. ESP32 esa quvvat manbaiga ulangan, WiFi orqali doimiy ulanish kerak bo‘ladigan va narx/funksionallik balansi muhim bo‘lgan qurilmalar uchun ideal platforma hisoblanadi.

RISC-V arxitekturasi — bu sohaning kelajagi. Ochiq standart, litsenziya to‘lovlari yo‘qligi va tezkor ekotizim rivojlanishi tufayli kelgusi 3-5 yil ichida RISC-V aqlli uy qurilmalari bozorida sezilarli ulushga ega bo‘ladi deb bashorat qilish mumkin.

Energiya tejash texnikalari, xususan to‘g‘ri uyqu rejimlarini qo‘llash va uzilish asosida ishlash, protsessor tanlovidan kam bo‘lmagan ahamiyatga ega. Zaif dasturlash yondashuvi kuchli protsessorning imkoniyatlarini inkor etishi mumkin.

Kelajakdagi tadqiqotlarda Edge AI imkoniyatlarini aqlli uy qurilmalariga qo‘llash, protsessor va simsiz aloqa protokollari (Zigbee, Z-Wave, Thread) birgalikdagi ishlashini optimallashtirish hamda aqlli uy xavfsizligini mustahkamlash masalalariga e'tibor qaratish maqsadga muvofiq.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. O‘zbekiston Respublikasi «Elektron hukumat to‘g‘risida»gi Qonuni. – T.: 2015.

2. ARM Limited. ARM Cortex-M Technical Reference Manual. – Cambridge: ARM Ltd., 2023.

3. Espressif Systems. ESP32 Technical Reference Manual v5.1. – Shanghai: Espressif, 2023.

4. Waterman A., Asanovic K. The RISC-V Instruction Set Manual, Volume I: Unprivileged ISA. – RISC-V Foundation, 2022.

5. Yiu J. The Definitive Guide to ARM Cortex-M0 and Cortex-M0+ Processors. – Elsevier, 2015.

6. Koopman P. Embedded System Design. – Carnegie Mellon University Press, 2022.

7. FreeRTOS. FreeRTOS Reference Manual. – Amazon Web Services, 2023. [Online]. https://freertos.org

8. Grand View Research. Internet of Things (IoT) Market Size & Share Report, 2023-2030. – San Francisco, 2023.

9. Makarov S.L. O‘rnatilgan tizimlar asoslari. – Toshkent: «Fan va texnologiya», 2021.

10. Raximov A.R., Toshmatov B.X. Mikrokontrollerlar va ularning dasturlash usullari. – Toshkent: TATU, 2020.