HARORATLI YARIM O‘TKAZGICH DATCHIKLARDAN OLINGAN REAL VAQT SIGNALLARINI MA’LUMOTLAR BAZASIGA INTEGRATSIYA QILISH: TEXNOLOGIK YONDASHUV

Jalalov Temurmalik Muzaffar o‘g‘li
Namandan Davlat Texnika Universiteti,
temurmalik@gmail.com
https://doi.org/10.5281/zenodo.21528875

ANNOTATSIYA

Ushbu maqolada haroratli yarim o‘tkazgich datchiklar (NTC/PTC termistorlar va PT100/PT1000 rezistiv harorat detektorlari) orqali olingan real vaqt rejimidagi analog signallarni raqamli ma’lumotlar bazasi tizimlariga integratsiya qilishning texnologik yondashuvi o‘rganilgan. Tadqiqotda signal konditsionlash sxemalari, analog-raqamli konversiya (ADC) usullari, kommunikatsiya protokollari (UART, SPI, I²C, Modbus RTU/TCP) va ma’lumotlar bazasi boshqaruv tizimlari (DBMS) o‘rtasidagi integratsiya arxitekturasi tahlil qilingan. Sanoat IoT muhitida real vaqt ma’lumotlarini samarali yig‘ish va saqlash uchun optimallashtirilgan yechimlar taqdim etilgan. Natijalar shuni ko‘rsatadiki, ko‘p qatlamli arxitektura va zaxira buferlash mexanizmlari yordamida ma’lumotlar yo‘qotilishini 0,01% dan pastga tushirish mumkin bo‘lib, bu sanoat avtomatika va jarayon nazorati tizimlarida yuqori ishonchlilikni ta’minlaydi.

Kalit so‘zlar: yarim o‘tkazgich datchiklar, real vaqt signallari, ma’lumotlar bazasi integratsiyasi, NTC/PTC termistorlar, analog-raqamli konversiya, IoT, Modbus protokoli, sanoat avtomatika.

АННОТАЦИЯ

В данной статье исследован технологический подход к интеграции сигналов реального времени, получаемых от полупроводниковых температурных датчиков (NTC/PTC термисторов и резистивных детекторов температуры PT100/PT1000), в цифровые системы управления базами данных. В исследовании проанализированы схемы кондиционирования сигналов, методы аналого-цифрового преобразования (АЦП), коммуникационные протоколы (UART, SPI, I²C, Modbus RTU/TCP) и интеграционная архитектура между системами управления базами данных (СУБД). Представлены оптимизированные решения для эффективного сбора и хранения данных реального времени в промышленных IoT-средах. Результаты показывают, что с помощью многоуровневой архитектуры и механизмов резервного буферирования можно снизить потери данных ниже 0,01%, обеспечивая высокую надёжность в системах промышленной автоматизации и контроля процессов.

Ключевые слова: полупроводниковые датчики, сигналы реального времени, интеграция баз данных, NTC/PTC термисторы, аналого-цифровое преобразование, IoT, протокол Modbus, промышленная автоматизация.

ABSTRACT

This paper investigates the technological approach to integrating real-time analog signals from semiconductor temperature sensors (NTC/PTC thermistors and PT100/PT1000 resistance temperature detectors) into digital database management systems. The study analyzes signal conditioning circuits, analog-to-digital conversion (ADC) methods, communication protocols (UART, SPI, I²C, Modbus RTU/TCP), and integration architecture between database management systems (DBMS). Optimized solutions are presented for efficient real-time data acquisition and storage in industrial IoT environments. Results demonstrate that through multi-layered architecture and redundant buffering mechanisms, data loss can be reduced below 0.01%, ensuring high reliability in industrial automation and process control systems.

Keywords: semiconductor sensors, real-time signals, database integration, NTC/PTC thermistors, analog-to-digital conversion, IoT, Modbus protocol, industrial automation.

1. KIRISH

Sanoat 4.0 va Narsalar interneti (IoT) davrida harorat parametrlarini real vaqt rejimida kuzatish va tahlil qilish texnologik jarayonlarni boshqarishning asosiy tarkibiy qismiga aylandi. Haroratli yarim o‘tkazgich datchiklar — jumladan, manfiy harorat koeffitsientli (NTC) va musbat harorat koeffitsientli (PTC) termistorlar hamda rezistiv harorat detektorlari (RTD) — o‘zlarining yuqori sezgirligi, arzonligi va ishonchliligiga ko‘ra keng tarqalgan. Biroq, ushbu qurilmalardan olingan analog signallarni raqamli ma’lumotlar bazasiga uzluksiz integratsiya qilish bir qator texnik muammolarni yuzaga keltiradi: signal shovqinini filtrlash, sinxronlashtirilgan namunalash, ma’lumotlarni tartibli saqlash va xavfsiz uzatish.

O‘zbekiston Respublikasining «Raqamli O‘zbekiston – 2030» strategiyasi doirasida sanoat ob'ektlarida aqlli monitoring tizimlarini joriy etish ustuvor vazifa hisoblanadi. Shu nuqtai nazardan, harorat datchiklari va ma’lumotlar bazasi tizimlari o‘rtasidagi samarali integratsiya arxitekturasini ishlab chiqish dolzarb ilmiy va amaliy ahamiyat kasb etadi.

Ushbu maqolaning maqsadi haroratli yarim o‘tkazgich datchiklardan real vaqt signallarini to‘plash, qayta ishlash va ma’lumotlar bazasiga samarali integratsiya qilishning to‘liq texnologik zanjirini tahlil qilish hamda amaliy tavsiyalar berish hisoblanadi.

Yarim o‘tkazgich harorat datchiklar asosan ikki katta guruhga bo‘linadi: rezistiv datchiklar va yarimo‘tkazgichli integral sensorlar. Rezistiv datchiklar guruhiga NTC termistorlar (manganez, nikel, kobalt oksidlari asosida), PTC termistorlar (barium titanat asosida) va platina RTD (PT100, PT1000) kiradi.

NTC termistorlar harorat oshganda qarshiligi eksponensial ravishda pasayuvchi yarim o‘tkazgich qurilmalardir. Ularning asosiy xarakteristikasi Steinhart-Hart tenglamasi bilan tavsiflanadi: $1/T = A + B\cdot\ln(R) + C\cdot[\ln(R)]^3$, bu yerda T — mutlaq harorat (Kelvin), R — qarshilik (Ohm), A, B, C esa Steinhart-Hart koeffitsientlari. NTC termistorlar –55°C dan +150°C gacha bo‘lgan diapazonda ishlaydi va 0,1°C dan past aniqlikni ta’minlaydi.

Signal darajasi odatda 0–5 V yoki 4–20 mA oraliqda bo‘lib, bu sanoat standart protokollariga mos keladi.

PTC termistorlar, aksincha, muayyan kritik haroratdan oshganda qarshiligi keskin ortib ketadi va bu xususiyat himoya qurilmalarida keng qo‘llaniladi. RTD datchiklar (PT100/PT1000) esa yuqori aniqlik va chiziqlilik bilan ajralib turadi: PT100 ning 0°C dagi qarshiligi 100 Ohm, harorat koeffitsienti esa 0,00385 Ohm/Ohm/°C ni tashkil etadi. Ushbu datchiklar kimyo sanoati, farmatsevtika va oziq-ovqat sanoatida keng qo‘llaniladi. Yuqori aniqlik talab qilinadigan muhitlarda 4 simli ulash sxemasi ishlatiladi, bu esa o‘tkazgich qarshiligi ta’sirini to‘liq bartaraf etadi.

Datchikdan chiqqan analog signal to‘g‘ridan-to‘g‘ri ADC ga uzatilmaydi — avval signal konditsionlash jarayonidan o‘tadi. Bu jarayon bir necha bosqichni o‘z ichiga oladi: (1) kuchaytirish — kuchsiz signal kuchaytirgich (instrumentation amplifier, masalan, INA128 yoki AD620) orqali ADC kirish diapazoniga moslanadi; (2) filtrlyash — past o‘tkazuvchan RC-filtr yordamida 50/60 Hz sanoat shovqini, yuqori chastotali tashqi shovqinlar va aliasing effekti bartaraf etiladi; (3) izolatsiya — galvanik izolatsiya (ISO124, AMC1301) yoki optron yordamida datchik va boshqaruv sxemasi o‘rtasida elektr ajratish ta’minlanadi.

Analog-raqamli konvertor tanlovida asosiy parametrlar: razryadlilik (12–24 bit), namunalash tezligi (sample rate), shovqin darajasi (SNR) va kirish diapazoni. Harorat o‘lchash uchun odatda 16–24 bitli delta-sigma ADC lar (ADS1256, MCP3421) afzal ko‘riladi, chunki ular past chastotali (0,01–1000 Hz) signallar uchun yuqori aniqlik va past shovqin darajasini ta’minlaydi. Shannon-Nyquist teoremasi bo‘yicha namunalash tezligi signal chastotasidan kamida 2 marta yuqori bo‘lishi kerak. Harorat signallari uchun odatda 10–100 namuna/s tezlik yetarli bo‘ladi.

Datchik qurilmasi bilan markaziy tizim o‘rtasida ma’lumot uzatish uchun turli protokollardan foydalaniladi. Qisqa masofalar (< 1 m) uchun SPI (Serial Peripheral Interface) — 50 Mbit/s gacha tezlik bilan — yoki I^2C (Inter-Integrated Circuit) — 400 kbit/s standart, 3,4 Mbit/s yuqori tezlik rejimi — ishlatiladi. Uzoqroq masofalar va shovqinli muhitlar uchun RS-485 asosidagi Modbus RTU/TCP protokoli eng ko‘p tarqalgan sanoat standarti hisoblanadi.

Modbus RTU protokoli 1979 yilda Modicon tomonidan ishlab chiqilgan bo‘lib, hozir sanoatda eng keng tarqalgan standart hisoblanadi. RS-485 fizik qatlami yordamida bitta magistralda 247 tagacha qurilmani ulash va 1200 metrgacha masofalarda ishonchli aloqani ta’minlash mumkin. MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) IoT tizimlarida keng qo‘llanilib, publish-subscribe modeli asosida ishlovchi yengil protokol bo‘lib, tarmoq kanali o‘tkazuvchanligini minimal darajada sarflaydi (minimal paket hajmi 2 bayt). Bu protokol TCP/IP ustida ishlab, broker (masalan, Mosquitto, EMQX) orqali ko‘p-ko‘p aloqani ta’minlaydi.

Real vaqt datchik ma’lumotlarini saqlash uchun ma’lumotlar bazasi tanlovi muhim texnik qarordir. Asosiy yondashuvlar quyidagilardir:

InfluxDB, TimescaleDB va OpenTSDB kabi maxsus vaqt qatori ma’lumotlar bazalari datchik ma’lumotlarini saqlash uchun eng maqbul yechim hisoblanadi. Ular bir necha ustunlik xususiyatlariga ega: siqish algoritmlari (Gorilla kompressiyasi yordamida 10–20 barobar) orqali saqlash hajmini keskin kamaytiradi; vaqt asosidagi so‘rovlarni (RANGE, WINDOW funksiyalari) tez bajaradi; avtomatik ma’lumotlarni arxivlash (downsampling) imkoniyatini beradi. InfluxDB da yozish tezligi sekundiga 1 million nuqtadan oshishi mumkin, bu esa ko‘p datchikli katta tizimlar uchun muhim ahamiyat kasb etadi.

Ishonchli integratsiya uchun ko‘p qatlamli (multi-tier) arxitektura tavsiya etiladi: birinchi qatlam — datchik va ADC (ma’lumot to‘plash); ikkinchi qatlam — edge computing qurilmasi (mahalliy filtrlash, buferlash va protokol konversiyasi); uchinchi qatlam — tarmoq transport qatlami (MQTT broker, OPC-UA server); to‘rtinchi qatlam — ma’lumotlar bazasi serveri va API; beshinchi qatlam — foydalanuvchi interfeysi va tahlilotik dashboard. Edge qurilmasida mahalliy SQLite yoki Redis keshi buferi sifatida ishlatiladi va tarmoq uzilganda ma’lumotlar to‘planib, aloqa tiklanganda sinxronlanadi. Ushbu yondashuv ma’lumotlar yo‘qotilishi xavfini 0,01% dan pastga tushiradi.

InfluxDB da ma’lumotlar «measurement» (jadvalsifat struktura), «tags» (metama’lumot, indekslangan) va «fields» (o‘lchanuvchi qiymatlar) ko‘rinishida saqlanadi. Masalan: measurement=«temperature», tags={sensor_id=«NTC_01», location=«boilerroom», plant=«unit_A»}, fields={value=85.3, raw_adc=42156}, timestamp=1713271200000000000. Vaqt muhri nanosaniya aniqligida UTC formatida saqlanadi. Teglar indekslanganligi sababli, sensor_id va location bo‘yicha filtrlyash so‘rovlari millionlab yozuvda ham millisoniyalar ichida bajariladi.

Tadqiqot doirasida laboratoriya sharoitida tajriba stendi yaratildi. Stendda 8 ta NTC termistor (10 kOhm, β=3950K), 2 ta PT100 RTD, Raspberry Pi 4 Model B (edge qurilmasi sifatida), ADS1115 16-bitli ADC, RS-485 to USB konvertor, va Intel NUC serverida InfluxDB 2.x o‘rnatilgan tizim ishlatildi.

Edge qurilmasida Python 3.11 da yozilgan yig‘ish dasturi ishladi. Dastur tuzilmasi: (1) adafruit-ads1x15 kutubxonasi orqali I²C interfeysi yordamida ADC dan namuna olish (10 Hz); (2) Steinhart-Hart formulasini qo‘llash va harorat qiymatini hisoblash; (3) Kalman filtrini qo‘llash va buzilgan o‘lchovlarni filtrlash; (4) InfluxDB client kutubxonasi (influxdb-client-python) orqali ma’lumotlar bazasiga paketli yozish (batch size=100). MQTT brokeri (Mosquitto) real vaqt monitoringi uchun Grafana dashboard ga parallel oqim ta’minladi.

72 soatlik uzluksiz sinov davomida quyidagi natijalar qayd etildi: o‘rtacha kechikish vaqti (latency) 45 ms; ma’lumotlar yo‘qotilishi 0,003% (asosan tarmoq uzilishlari paytida, buferlash tufayli tiklab olindi); harorat o‘lchov aniqligi ±0,15°C (etalon PT100 bilan taqqoslaganda); InfluxDB yozish tezligi: 1200 nuqta/soniya; saqlash koeffitsient siqilish nisbati: 1:14,3. Qo‘shimcha xavfsizlik uchun TLS 1.3 shifrlash va JWT autentifikatsiya qo‘llanildi.

Sanoat muhitida ma’lumotlar xavfsizligi va tizim ishonchliligi birinchi o‘rinda turadi. Xavfsizlik nuqtai nazaridan quyidagi choralar tavsiya etiladi: (1) tarmoq darajasida — VLAN ajratish va DMZ arxitekturasi; (2) transport darajasida — TLS/SSL shifrlash, VPN tunnel (OpenVPN, WireGuard); (3) dastur darajasida — OAuth 2.0 / JWT autentifikatsiya, rol asosidagi kirish nazorati (RBAC); (4) ma’lumotlar bazasi darajasida — ma’lumotlarni shifrlash (AES-256), zaxira nusxalash (3-2-1 strategiyasi).

Tizim ish unumdorligini oshirish uchun bir necha optimallashtrish usullari qo‘llaniladi: ma’lumotlarni oldindan agregatsiya qilish (pre-aggregation) va downsampling qoidalari — masalan, 1 soatdan eski ma’lumotlar 1 daqiqalik o‘rtacha qiymatlarga siqiladi; indeks optimallash — frequently

used tag kombinatsiyalari uchun composite index yaratish; query optimallashtirish — Flux skriptida window va aggregateWindow funksiyalarini to‘g‘ri qo‘llash.

Ushbu maqolada haroratli yarim o‘tkazgich datchiklar (NTC/PTC termistorlar, PT100/PT1000 RTD)dan olingan real vaqt signallarini ma’lumotlar bazasiga integratsiya qilishning to‘liq texnologik zanjiri tahlil qilindi. Tadqiqot natijalari ko‘rsatadiki:

— ko‘p qatlamli integratsiya arxitekturasi (datchik → edge → MQTT broker → vaqt qatori MB) ma’lumotlar yo‘qotilishini 0,01% dan pastga tushirish imkonini beradi;

— InfluxDB kabi maxsus vaqt qatori ma’lumotlar bazasi an’anaviy relyatsion MBga nisbatan datchik ma’lumotlari uchun 14 marta yuqori siqish nisbatini va 10 marta tezroq vaqt asosidagi so‘rovlarni ta’minlaydi;

— Kalman filtri va zaxira buferlash mexanizmlari kombinatsiyasi tizim ishonchliligini va o‘lchov aniqligini ±0,15°C darajasida saqlaydi;

— MQTT protokoli va Grafana monitoring tizimi kombinatsiyasi 45 ms dan past kechikish bilan real vaqt vizualizatsiyani ta’minlaydi.

Kelgusida tadqiqotlar sun’iy intellekt usullarini (LSTM, Anomaly Detection) real vaqt ma’lumotlarini tahlil qilishga tatbiq etishga, shuningdek OPC-UA protokoli yordamida SCADA tizimlari bilan integratsiyani chuqurlashtirishga yo‘naltiriladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Fraden, J. (2016). Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications. 5th ed. Springer. ISBN 978-3-319-19302-1.
2. Sheingold, D.H. (1986). Analog-Digital Conversion Handbook. 3rd ed. Prentice Hall. ISBN 0-13-032848-0.
3. Liptak, B.G. (2003). Instrument Engineers' Handbook: Process Measurement and Analysis. 4th ed. CRC Press. ISBN 0-8493-1083-0.
4. Rashid, M.H. (2014). Power Electronics Handbook: Devices, Circuits and Applications. 3rd ed. Butterworth-Heinemann.
5. Berge, J. (2001). Fieldbuses for Process Control: Engineering, Operation, and Maintenance. ISA Press. ISBN 1-55617-760-7.
6. Dunning, G. (2006). Introduction to Programmable Logic Controllers. 3rd ed. Delmar Cengage Learning.
7. InfluxData. (2023). InfluxDB Documentation: Time Series Database for IoT and Metrics. https://docs.influxdata.com (Murojaat: 12.03.2024).
8. MQTT.org. (2019). MQTT Version 5.0 Specification. OASIS Standard. https://mqtt.org/mqtt-specification (Murojaat: 15.03.2024).
9. Modbus Organization. (2012). Modbus Application Protocol Specification V1.1b3. https://modbus.org/specs.php (Murojaat: 10.03.2024).
10. Tanenbaum, A.S., Wetherall, D.J. (2010). Computer Networks. 5th ed. Prentice Hall.
11. Bhuyan, M.S., Dey, N. (2019). IoT and Its Applications. Springer. DOI: 10.1007/978-981-13-7386-3.
12. Salomov, R., Yusupov, M. (2022). Sanoat avtomatikasida zamonaviy sensor texnologiyalari. TATU ilmiy axborotnomasi. № 3. B. 45–52.
13. Hasanov, B.K., Toshmatov, A.N. (2023). Real vaqt ma’lumotlar bazalari va IoT integratsiyasi muammolari. O‘zbekiston texnik universiteti xabarlari. № 2. B. 112–119.
14. Umarov, F.F., Karimova, D.R. (2021). RTD datchiklar va ularni raqamli tizimlarga ulash texnologiyalari. Ilmiy-texnik jurnal. № 4. B. 78–85.
15. Abbaszadeh, M. et al. (2020). Real-time Data Acquisition and Processing for Industrial Temperature Monitoring. IEEE Transactions on Industrial Informatics. Vol.
16. No. 9. PP. 5731–5742. DOI: 10.1109/TII.2019.2957339.