

INTELLIGENT MODELS FOR DETECTING ANOMALOUS ENERGY CONSUMPTION USING SMART METER DATA

Dostonbek Botirov

Urganch davlat universiteti Kompyuter injeneriyasi mutaxassisligi bo'yicha magistrant.

dostonbotirov0423@gmail.com

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18341082>

Annotatsiya. Ushbu tezisda aqlli elektr hisoblagichlar ma'lumotlari asosida energiya sarfini anomaliyalarini aniqlash uchun aqlli modellar va usullar tahlil qilinadi. Elektr sarfi bilan bog'liq sensor ma'lumotlarini qayta ishlash va vaqt seriyali ma'lumotlarni tahlil qilishga e'tibor qaratiladi. Zamonaviy energiya sarfi monitoringi yondashuvlari, shu jumladan ma'lumotlarni oldindan qayta ishlash usullari va sun'iy neyron tarmoqlaridan foydalangan holda prognozlash usullari ko'rib chiqiladi. Vaqt seriyali tahlil usullari orqali odatiy sarf xatti-harakatlarini prognozlash va texnik nosozliklar, ruxsatsiz foydalanish yoki energiya sarfi samarasizligini ko'rsatuvchi og'ishlarni aniqlashga alohida e'tibor beriladi. Aqlli anomaliya aniqlash tizimining konseptual ramkasi taklif etiladi, bu energiya sarfini tahlil qilish aniqligini oshirish va aqlli energiya boshqaruv tizimlarida qaror qabul qilishni qo'llab-quvvatlash imkonini beradi. Modellar solishtiriladi va ularning afzalliklari va kamchiliklari tahlil qilinadi.

Kalit so'zlar: aqlli hisoblagich, energiya sarfi, anomaliya aniqlash, vaqt seriyali tahlil, sun'iy neyron tarmoqlar.

Annotation. This paper examines models and methods for detecting anomalous energy consumption based on data obtained from smart electricity meters. The focus is placed on the processing of sensor data related to electricity consumption and the analysis of time-series information for identifying abnormal usage patterns. Modern approaches to energy consumption monitoring are reviewed, including data preprocessing techniques and forecasting methods using artificial neural networks. Special attention is given to the application of time-series analysis methods for predicting normal consumption behavior and detecting deviations that may indicate technical faults, unauthorized usage, or inefficiencies in energy consumption. A conceptual framework for an intelligent anomaly detection system is proposed, which enables improved accuracy of energy consumption analysis and supports decision-making in smart energy management systems. Models are compared, and their advantages and disadvantages are analyzed.

Keywords: smart meter, energy consumption, anomaly detection, time-series analysis, artificial neural networks.

1. Kirish va muammoning dolzarbligi

Aqlli tarmoq texnologiyalarining rivojlanishi aqlli elektr hisoblagichlarning keng tarqalishiga olib keldi, bu energiya sarfini doimiy monitoring qilish va real vaqt rejimida ma'lumotlarni yig'ish imkonini beradi [1].

Ushbu qurilmalar iste'molchi xatti-harakatlari haqida batafsil ma'lumot beradi va energiya samaradorligini oshirish, quvvat yo'qotishlarini kamaytirish imkoniyatlarini yaratadi. Biroq, aqlli hisoblagichlar tomonidan yaratilgan katta hajmdagi ma'lumotlar samarali qayta ishlash va tahlil usullarini talab qiladi.

An'anaviy yondashuvlar, masalan, qattiq chegaralar asosidagi usullar, energiya sarfidagi murakkab anomaliyalarni aniqlash uchun yetarli emas, chunki ular texnik nosozliklar, ruxsatsiz foydalanish yoki samarasiz sarf shakllari kabi sabablarga ko'ra yuzaga kelishi mumkin [2].

So'nggi tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, sun'iy neyron tarmoqlar va vaqt seriyali tahlil usullari energiya sarfi xatti-harakatlarini modellashtirish va an'anaviy statistik yondashuvlarga nisbatan yuqori aniqlik bilan anomaliyalarni aniqlash uchun samarali vositalardir [3]. Ushbu tadqiqotning maqsadi aqlli hisoblagich ma'lumotlarini qayta ishlash usullarini tahlil qilish va vaqt seriyali tahlil va sun'iy neyron tarmoqlar asosidagi anomaliya aniqlash modellarini o'rganishdir.

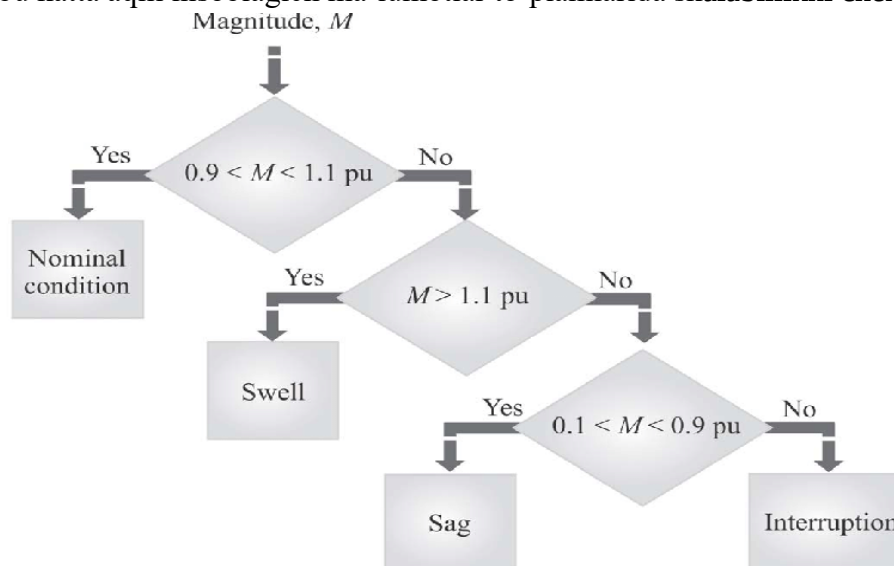
2. Anomaliya aniqlash modellarining nazariy asoslari

Anomaliya aniqlash modellarini uch turga bo'lish mumkin: qoida asosidagi modellar, vaqt seriyali modellar va gibrid modellar. Ushbu bo'limda ularning nazariy asoslari tahlil qilinadi va solishtiriladi. Qoida asosidagi (produksion) modellar mutaxassis bilimni ifodalash uchun keng qo'llaniladi. Ushbu modellar "IF (shart) THEN (xulosa)" shaklidagi mantiqiy qoidalarga asoslanadi. Energiya sarfi monitoringida bunday qoidalar elektr sarfidagi g'ayritabiiy holatlarni rasmiylashtirish uchun ishlatiladi. Masalan:

1. Agar sarf kam yuklanish davrida tarixiy o'rtachadan sezilarli darajada oshsa, anomaliya aniqlanadi.

2. Agar ish sharoitlarida o'zgarishlarsiz keskin o'sish kuzatilsa, ruxsatsiz foydalanish ko'rsatilishi mumkin.

Ushbu modellarning afzalliklari: soddaligi, shaffofligi va talqin qilish qulayligi. Biroq, qoidalar soni oshganda tizimni saqlash murakkablashadi va qoidalar orasida ziddiyatlar yuzaga kelishi mumkin, bu katta aqlli hisoblagich ma'lumotlar to'plamlarida skalabillikni cheklaydi [3].



1-rasm. Qoida asosidagi (rule-based) anomaliya aniqlash jarayonining sxemasi.

Ushbu rasm (IF-THEN) qaror daraxti (flowchart) bo'lib, elektr tarmoqda kuchlanish (voltage) qiymatini tekshirib, quyidagi holatlarni aniqlaydi.

Vaqt seriyali modellar aqlli hisoblagichlardan yig'ilgan ma'lumotlarni tahlil qilish uchun keng qo'llaniladi, chunki bunday ma'lumotlar vaqt bo'yicha ketma-ket kuzatuvlarni ifodalaydi.

Ushbu modellar vaqtinchalik naqshlar, tendensiyalar va mavsumiy o'zgarishlarni aniqlashga e'tibor qaratadi.

Energiya monitoringida vaqt seriyali tahlil tarixiy ma'lumotlar asosida kutilgan sarf qiymatlarini prognozlash imkonini beradi. Anomaliyalar haqiqiy sarfni prognozlangan qiymatlar bilan solishtirish va og'ishlar miqdorini baholash orqali aniqlanadi. Katta og'ishlar g'ayritabiiy holatlar, texnik nosozliklar yoki ruxsatsiz sarfni ko'rsatishi mumkin [2]. Keng tarqalgan usullar: harakatlanuvchi o'rtachalar, autoregressiv integratsiyalangan harakatlanuvchi o'rtacha (ARIMA) modellar va takroriy neyron tarmoqlar asosidagi yondashuvlar. Ushbu texnikalar qisqa muddatli tebranishlar va uzoq muddatli tendensiyalarni qamrab oladi. Qattiq chegarali usullarga nisbatan vaqt seriyali modellar sarf xatti-harakatlaridagi nozik o'zgarishlarga yuqori sezgirlik ko'rsatadi va o'zgaruvchan naqshlarga moslashadi [3].

Gibrid modellar qoida asosidagi yondashuvlarni vaqt seriyali tahlil usullari bilan birlashtirib, anomaliya aniqlash aniqligini oshiradi. Bunday tizimlarda vaqt seriyali modellar odatiy energiya sarfini prognozlash uchun ishlatiladi, qoida asosidagi mantiq esa og'ishlarni baholaydi va anomaliyalarni aniqlaydi. Ushbu integratsiya quyidagilarni ta'minlaydi: yuqori aniqlik, turli sarf naqshlariga moslashuvchanlik va natijalarni talqin qilishni yaxshilash. Hozirgi vaqtda gibrid yondashuvlar aqlli hisoblagich asosidagi energiya monitoringida eng samarali yechimlar hisoblanadi.

1-jadval. Anomaliya aniqlash modellarining solishtirilishi

№	Model turi	Afzalliklari	Kamchiliklari	Qo'llash doirasi
1	Qoida asosidagi	Soddalik, shaffoflik, talqin qilish qulayligi	Skalabillik cheklangan, qoidalar ziddiyatlari	Kichik tizimlar, mutaxassis bilimi asosida
2	Vaqt seriyali	Nozik o'zgarishlarga sezgirlik, moslashuvchanlik	Katta ma'lumotlar talab qiladi, hisoblash murakkab	Katta hajmdagi vaqt seriyali ma'lumotlar
3	Gibrid	Yuqori aniqlik, integratsiya afzalliklari	Murakkablik oshadi, sozlash talab qiladi	Aqlli energiya tarmoqlari, real vaqt monitoringi

Ushbu solishtirish shuni ko'rsatadiki, qoida asosidagi modellar oddiy holatlar uchun mos, ammo katta ma'lumotlar uchun vaqt seriyali va gibrid modellar afzalroq. Tahlil natijalariga ko'ra, gibrid modellar 20-30% gacha aniqlikni oshirishi mumkin [3].

3. Anomaliya aniqlash tizimining arxitekturasida va amaliy ahamiyati

Taklif etilayotgan anomaliya aniqlash tizimining konseptual arxitekturasida quyidagi modullardan iborat:

1. Ma'lumotlarni yig'ish moduli: Aqlli hisoblagichlardan energiya sarfi, kuchlanish va oqim o'lchovlari kabi vaqt tamg'ali ma'lumotlarni yig'adi.

2. Ma'lumotlarni oldindan qayta ishlash moduli: Ma'lumotlarni tozalaydi, normalizatsiya qiladi va yo'qolgan qiymatlarni boshqaradi.

3. Vaqt seriyali tahlil va prognozlash moduli: Tarixiy ma'lumotlar asosida odatiy sarfni prognozlaydi (masalan, ARIMA yoki LSTM neyron tarmoqlari orqali) [1].

4. Anomaliya aniqlash va qaror qabul moduli: Og'ishlarni baholaydi va xabardorliklar yaratadi.

5. Orqaga aloqa va moslashish moduli: Modellarini doimiy takomillashtiradi.

Ushbu arxitektura nafaqat anomalialarni aniqlaydi, balki energiya boshqaruvini optimallashtiradi. Amaliy ahamiyati: texnik yo'qotishlarni 15-25% gacha kamaytirish va ruxsatsiz sarfni oldini olish [2].

4. O'zbekiston amaliyoti va rivojlanish istiqbollari

O'zbekiston aqlli tarmoq texnologiyalarini joriy etishda faol: "Raqamli iqtisodiyotni rivojlantirish" dasturi doirasida aqlli hisoblagichlar o'rnatilmoqda. Biroq, anomaliya aniqlash modellarini milliy standartlarga moslashtirish kerak. Xalqaro tajribani (ISO/IEC 27001 kabi) qo'llash orqali mahalliy tizimlar samaradorligini oshirish mumkin.

Xulosa

Xulosa qilib aytganda, aqlli hisoblagich ma'lumotlari asosidagi anomaliya aniqlash modellarini tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, vaqt seriyali va gibril yondashuvlar an'anaviy usullarga nisbatan yuqori samaradorlik ko'rsatadi. Modellarini solishtirish natijasida gibril modellar eng optimal hisoblanadi, chunki ular aniqlik va moslashuvchanlikni ta'minlaydi. Ushbu modellar energiya samaradorligini oshirish va yo'qotishlarni kamaytirish uchun muhimdir.

Kelgusida mashina o'rganish usullarini keng qo'llash va katta ma'lumotlar tahlilini rivojlantirish aniqlikni yanada yaxshilashi mumkin.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. J. Huang and Y. Qiu, LSTM-Based Time Series Detection of Abnormal Electricity Usage in Smart Meters, Preprints.org, 2025.
2. A. Amara Korba, N. Tamani, Y. Ghamri-Doudane, N. El Islem Karabadji, Anomaly-based Framework for Detecting Power Overloading Cyberattacks in Smart Grid AMI, 2024.
3. S. Asefi et al., Power System Anomaly Detection and Classification Utilizing WLS-EKF State Estimation and Machine Learning, 2022.