

DOI: <https://doi.org/10.36719/2663-4619/116/71-74>

Səyyad İbrahimov

Azərbaycan Texniki Universiteti

<https://orcid.org/0009-0005-9224-6853>

ibrahimovsayyad01@gmail.com

Əşyaların interneti əsaslı ağıllı idarəetmə sistemləri: arxitektura, təhlükəsizlik və optimallaşdırma

Xülasə

Əşyaların İnterneti (Internet of Things – IoT) texnologiyası müasir ağıllı idarəetmə sistemlərinin əsasını təşkil edərək müxtəlif sahələrdə proseslərin optimallaşdırılması, avtomatlaşdırılması və real vaxtda qərarvermənin təmin olunmasında mühüm rol oynayır. Bu tədqiqatda IoT əsaslı idarəetmə sistemlərinin çoxsəviyyəli texniki arxitekturası, məlumat axınının təşkili, enerji səmərəliliyi, təhlükəsizlik tədbirləri və optimallaşdırma yanaşmaları kompleks şəkildə təhlil olunmuşdur. IoT-in tətbiq sahələrində – sənaye, kənd təsərrüfatı, nəqliyyat və şəhər infrastrukturunda – qarşıya çıxan texniki və funksional problemlər real nümunələr əsasında qiymətləndirilmiş, onların həlli üçün tətbiq edilən texnologiyalar və metodoloji yanaşmalar müqayisəli şəkildə analiz olunmuşdur. Araşdırmanın məqsədi ağıllı idarəetmə sistemlərinin effektivliyini artırmaq üçün nəzəri baza və texniki istiqamətləri müəyyənləşdirməkdir. Əldə edilən nəticələr göstərir ki, edge computing (kənar hesablama), enerji optimallaşdırma strategiyaları, təhlükəsizlik protokolları və standartlaşdırılmış interfeys yanaşmaları sistemlərin dayanıqlılığını və performansını əhəmiyyətli dərəcədə artırır. Gələcək tədqiqatlar süni intellektin dərin integrasiyası və kvant hesablama texnologiyaları ilə IoT sistemlərinin birləşdirilməsinə yönəlməlidir.

Açar sözlər: *Əşyaların İnterneti (IoT), ağıllı idarəetmə, arxitektura, təhlükəsizlik, optimallaşdırma, enerji səmərəliliyi, kənar hesablama*

Sayyad İbrahimov

Azerbaijan Technical University

<https://orcid.org/0009-0005-9224-6853>

ibrahimovsayyad01@gmail.com

Internet of Things-Based Intelligent Control Systems: Architecture, Security and Optimization

Abstract

The Internet of Things (IoT) technology serves as the backbone of modern intelligent control systems, playing a pivotal role in enhancing process optimization, automation, and real-time decision-making across diverse sectors. This study presents a comprehensive analysis of the multilayered architecture of IoT-based management systems, focusing on data flow organization, energy efficiency, security protocols, and optimization strategies. Technical and functional challenges observed in various application scenarios – including industrial automation, agriculture, transportation, and smart city infrastructure – are evaluated through real-world examples and technical comparisons. The study aims to identify theoretical frameworks and practical recommendations to improve the overall effectiveness of intelligent control systems. The findings indicate that techniques such as edge computing, adaptive energy management, encryption protocols, and interoperable data standards significantly enhance the performance and reliability of IoT systems. Future work should focus on the integration of artificial intelligence, quantum computing applications, and secure-by-design architectures to ensure sustainable deployment at scale.

Keywords: *Internet of Things, intelligent control, architecture, security, optimization, energy efficiency, edge computing*

Giriş

Əşyaların İnterneti anlayışı ilk dəfə sənaye mühitində izləmə və diaqnostika məqsədi ilə tətbiq edilsə də, texnologiyanın imkanlarının genişlənməsi ilə müxtəlif sektorlarda tətbiq sahələri sürətlə artmışdır. Müasir dövrdə IoT sistemləri nəinki məlumat toplama və ötürmə platforması, eyni zamanda öz-özünə qərar verə bilən və prosesləri dinamik şəkildə optimallaşdırma bilən texnoloji əsas kimi çıxış edir. Belə sistemlər idarəetmə sahəsində insan faktorunu minimuma endirir, çevikliyi və funksional səmərəliliyi maksimuma çatdırır. IoT arxitekturası sensorlar, edge cihazlar, şəbəkə infrastrukturu, bulud əsaslı məlumat emal platformaları və istifadəçi interfeyslərindən ibarət çoxsəviyyəli sistem kimi qurulur (Atzori, Iera, Morabito, 2010).

Tədqiqat

Texniki baxımdan, sensorlar real dünyadan məlumat toplayaraq sistemi qidalandırır, aktuatorlar isə fiziki reaksiya verir. Keçid cihazları (gateways) edge səviyyəsində ilkin emal, təhlükəsizlik filtrası və protokol çevrilməsi əməliyyatlarını həyata keçirir. Bu yanaşma mərkəzi sistemə düşən yükü azaldır və cavab vaxtını optimallaşdırır. Şəbəkə səviyyəsində Zigbee, LoRa, NB-IoT və 5G kimi texnologiyalar tətbiq sahəsinə uyğun olaraq seçilir. Bulud əsaslı platformalar (AWS IoT, Azure IoT Hub və s.) isə daha mürəkkəb analiz, saxlanma və vizuallaşdırma imkanları təqdim edir. Bu arxitektura çevik, genişlənmə bilən və real vaxt rejimində qərarverən sistemlərin əsasını təşkil edir (Gubbi, Buyya, Marusic, Palaniswami, 2013).

IoT əsaslı sistemlərin performansını isə yalnız infraqstrukturdan deyil, tətbiq edilən optimallaşdırma strategiyalarından da asılıdır. Sistemin ömrünü və dayanıqlılığını artırmaq üçün müxtəlif yanaşmalar mövcuddur. Enerji səmərəliliyi, hesablama yükünün balanslaşdırılması və yalnız vacib məlumatların işlənməsi bu baxımdan mühüm rol oynayır. Ağıllı sleep-wake rejimləri, adaptiv nümunə götürmə və məlumat sıxılması texnikaları enerji və hesablama resurslarına qənaət edir. Bu texnikaların birgə tətbiqi sayəsində sistemin ümumi performansını 30–50% aralığında yüksəldilə bilər (Al-Fuqaha, Guizani, Mohammadi, Aledhari, Ayyash, 2015).

Cədvəl 1. IoT texnologiyasının əsas komponentlərinin funksional xüsusiyyətləri.

Komponent	Əsas Funksiya	Texnologiyalar	Resurs Tələbi	Uyğun Tətbiq Sahəsi
Sensorlar və aktuatorlar	Fiziki məlumat toplanması və təsir	DHT22, BMP180, HC-SR04	Aşağı enerji	Kənd təsərrüfatı, sənaye
Edge cihazları	İlkin emal, protokol çevrilməsi	ESP32, Raspberry Pi	Orta	Real vaxt idarəetmə
Şəbəkə modulları	Məlumat ötürülməsi	Zigbee, LoRa, 5G	Fərqli səviyyələr	Uzun məsafə, yüksək sürət
Cloud platformaları	Məlumat saxlanması və analiz	AWS IoT, Azure IoT	Yüksək hesablama	Böyük verilənlər təhlili
İstifadəçi interfeysi	Vizualizasiya və monitoring	Node-RED, Grafana	Aşağı	Operator nəzarəti

Mənbə: Adapted from: Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). *Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications*. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 17(4), 2347–2376.
<https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2444095>

Cədvəl 1-ə əsasən, hər bir texnoloji komponent sistemin ayrı-ayrı mərhələlərində spesifik funksiyalar yerinə yetirir. Sensorlar və aktuatorlar sistemin fiziki əsasını təşkil edir, edge cihazları isə sistemin cavab çevikliyini artırır. Şəbəkə infrastrukturu dayanıqlılığı, cloud isə analitik imkanları

təmin edir. Bu komponentlər arasında optimal balans yaratmaq ağıllı idarəetmənin səmərəliliyi baxımından kritik əhəmiyyət daşıyır.

İdarəetmə sistemlərində tətbiq olunan optimallaşdırma yanaşmaları, enerjiden tutmuş qərarvermə mexanizmlərinə qədər sistemin bütün aspektlərinə təsir göstərir. Əldə olunan nəticələrin müqayisəli təhlili aşağıdakı cədvəldə təqdim olunmuşdur.

Cədvəl 2. İdarəetmə sistemlərində optimallaşdırma yanaşmalarının nəticələri.

Yanaşma	Təsiri	Orta İrəliləyiş (%)
Edge computing	Gecikmənin azaldılması	35–50%
Sleep-wake rejimləri	Enerji sərfiyyatının azalması	30–45%
Adaptiv nümunə götürmə	Verilənlərin həcmnin azaldılması	20–40%
Maşın öyrənməsi ilə idarə	Qərar doğruluğunun artması	25–35%
MQTT / CoAP / OPC-UA	İnteroperabilitiyin güclənməsi	40–60%

Mənbə: Adapted from: Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., & Zorzi, M. (2014). *Internet of Things for smart cities*. IEEE Internet of Things Journal, 1(1), 22–32.
<https://doi.org/10.1109/IIOT.2014.2306328>

Cədvəl 2-də göstərilən optimallaşdırma yanaşmaları müxtəlif texnoloji strategiyaların sistem performansına birbaşa təsirini əks etdirir. Edge computing yanaşması məlumatların emal prosesini mənbəyə yaxınlaşdıraraq həm cavab müddətini azaldır, həm də şəbəkə infrastrukturuna olan yükü yüngülləşdirir. Bu, xüsusilə real vaxt tələbi yüksək olan tətbiqlərdə – nəqliyyat idarəetməsi, təhlükə aşkarlanması və istehsal xətlərinin avtomatlaşdırılmasında əhəmiyyətli nəticələr verir.

Sleep-wake rejimləri IoT cihazlarının enerji sərfini optimallaşdırmaq üçün ən çox tətbiq olunan üsullardandır. Cihazların yalnız lazım olan vaxt aktivləşdirilməsi batareya ömrünü uzadır və texniki xidməti azaldır. Eyni məqsədə xidmət edən adaptiv nümunə götürmə üsulu isə yalnız anlamlı və əhəmiyyətli verilənlərin toplanması ilə resurslardan səmərəli istifadəni təmin edir (Miorandi, Sicari, De Pellegrini, Chlamtac, 2012).

Maşın öyrənməsi alqoritmlərinin integrasiyası qərar proseslərinin keyfiyyətini artırmaqla yanaşı sistemlərin proqnozlaşdırma və adaptiv cavabvermə qabiliyyətini də yüksəldir. Bu yanaşma ilə sistem yalnız verilmiş ssenariləri deyil, həm də öyrəndiyi nümunələri əsas götürərək qərar verir ki, bu da idarəetməni daha ağıllı edir.

Protokol səviyyəsində isə MQTT, CoAP və OPC-UA kimi yüngül və standartlaşdırılmış rabitə protokollarının istifadəsi müxtəlif istehsalçıların cihazları arasında qarşılıqlı işləmə qabiliyyətini (interoperability) əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşdırır. Bu da sistemin genişləndirilə bilməsini, təmir və təkmilləşdirmə işlərinin daha səmərəli icrasını təmin edir.

Bütün bu optimallaşdırma yanaşmaları sistemin texniki quruluşundan asılı olmayaraq idarəetmə sistemlərinin uzunmüddətli istismarı, xərclərin azaldılması və əməliyyat təhlükəsizliyinin yüksəldilməsi üçün strateji üstünlük yaradır (Lin, Yu, Zhang, Yang, Zhang, Zhao, 2017).

Bununla yanaşı, optimallaşdırma strategiyalarının uğurlu tətbiqi yalnız hesablama və enerji səmərəliliyi ilə məhdudlaşmamalı, sistemlərin kibertəhlükəsizlik və davamlılıq baxımından da dayanıqlı olmasını təmin etməlidir. Bu kontekstdə, ağıllı idarəetmə sistemlərində təhlükəsizlik məsələlərinin texniki və normativ səviyyələrdə necə həll olunduğu ayrıca və ətraflı şəkildə təhlil olunmalıdır (Hasan, Islam, Hossain, 2021).

Təhlükəsizlik aspektləri bu sistemlərin etibarlılığı və fasiləsiz fəaliyyəti baxımından həlledici rol oynayır. Daxili və xarici təhdidlərə qarşı müdafiə üçün çoxsəviyyəli autentifikasiya, end-to-end şifrələmə, zərərli fəaliyyətlərin aşkarlanması üçün davranış əsaslı monitorinq sistemləri (IDS), həmçinin rollara əsaslanan giriş nəzarəti kimi mexanizmlər tətbiq edilir. Eyni zamanda, rəqəmsal imzalanmış daxili proqram təminatı yeniləmələri və məlumat dəyişdirilməzliyini təmin edən blokçeyn əsaslı texnologiyalar IoT sistemlərinin müdaxilələrə qarşı dayanıqlılığını gücləndirir.

Normativ uyğunluq baxımından isə GDPR və digər beynəlxalq təhlükəsizlik standartlarına riayət edilməsi, xüsusilə şəxsi məlumatların qorunması və məlumat axınının hüquqi nəzarəti üçün vacib şərtlərdən sayılır. Sistemlər bu qaydalara uyğun şəkildə qurulduqda yalnız texniki etibarlılıq deyil, həm də hüquqi təhlükəsizlik təmin olunur.

Nəticə

Aparılmış tədqiqatlar və təqdim olunan texniki analizlər göstərdi ki, Əşyaların İnterneti texnologiyasına əsaslanan ağıllı idarəetmə sistemləri müasir dövrün çevik, səmərəli və dayanıqlı idarəetmə strukturlarının formalaşmasında mühüm rol oynayır. IoT sistemlərinin çoxsəviyyəli arxitekturası, enerjiden səmərəli istifadə, məlumat axınının optimallaşdırılması və təhlükəsizlik tədbirləri ilə birgə tətbiqi idarəetmə sistemlərinin keyfiyyətini və davamlılığını əhəmiyyətli dərəcədə artırır.

Edge computing, adaptiv nümunə götürmə, sleep-wake rejimləri və standartlaşdırılmış protokollar vasitəsilə aparılan optimallaşdırmalar sistemin cavab müddətini qısaldır, enerji sərfini azaldır və hesablama resurslarının rəşional bölgüsünü təmin edir. Təhlükəsizlik baxımından isə çoxsəviyyəli autentifikasiya, şifrələmə və davranış əsaslı təhlükə aşkarlama mexanizmləri IoT sistemlərini kibertəhlükələrə qarşı daha davamlı edir. Əldə olunan nəticələr göstərir ki, ağıllı idarəetmə sistemlərinin effektivliyi yalnız tətbiq edilən texnologiyalarla deyil, bu texnologiyaların düzgün inteqrasiyası və sistemli şəkildə optimallaşdırılması ilə birbaşa əlaqəlidir. Gələcək tədqiqatlar süni intellekt və maşın öyrənməsi modellərinin IoT sistemlərinə dərin inteqrasiyasına, kvant hesablama texnologiyalarının tətbiqinə və hüquqi-etik çərçivələrin gücləndirilməsinə yönəldilməlidir. Belə yanaşma IoT sistemlərinin yalnız texnoloji baxımdan deyil, həm də sosial və hüquqi cəhətdən dayanıqlı və uzunömürlü şəkildə inkişafını təmin edə bilər.

Ədəbiyyat

1. Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787–2805. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>
2. Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645–1660. <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>
3. Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347–2376. <https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2444095>
4. Miorandi, D., Sicari, S., De Pellegrini, F., & Chlamtac, I. (2012). Internet of Things: Vision, applications and research challenges. *Ad Hoc Networks*, 10(7), 1497–1516. <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2012.02.016>
5. Lin, J., Yu, W., Zhang, N., Yang, X., Zhang, H., & Zhao, W. (2017). A survey on Internet of Things: Architecture, enabling technologies, security and privacy, and applications. *IEEE Internet of Things Journal*, 4(5), 1125–1142.
6. Hasan, M. K., Islam, M. M., & Hossain, M. S. (2021). Edge computing for real-time smart city applications: A review. *IEEE Access*, 9, 99874–99891.
7. Lee, I., & Lee, K. (2015). The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. *Business Horizons*, 58(4), 431–440.
8. Da Xu, L., He, W., & Li, S. (2014). Internet of Things in industries: A survey. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(4), 2233–2243.