

Tibbi Şəbəkə İnfrastrukturunun Arxitekturası: Tibbi Sağlamlıq Sensorlarının Bulud Əsaslı Platformalara İnteqrasiyası

Rəşid Ələkbərov¹, Oqtay Ələkbərov²

ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu, Bakı, Azərbaycan

¹rashid.alakberov@gmail.com, ²oqtayalakbarov@yahoo.com

Xülasə—Məqalədə çoxsəviyyəli tibbi şəbəkə arxitekturası ətrafı təhlil olunmuş, hər bir səviyyənin funksional xüsusiyyətləri və iş prinsipləri araşdırılmışdır. Bununla yanaşı, bulud texnologiyasına əsaslanan hesablama sistemlərinin həm üstün cəhətləri, həm də mövcud məhdudiyyətləri qiymətləndirilmişdir. Tədqiqatda bulud əsaslı tibbi infrastrukturun, sağlamlıq sensorları vasitəsilə toplanan məlumatların bu sistemlərin emal mərkəzlərində işlənməsi və süni intellekt alqoritmləri ilə təhlil edilməsi nəticəsində xəstəliklərin erkən mərhələdə aşkarlanması və fərdi müalicə planlarının formalaşdırılması imkanları nəzərdən keçirilmişdir. Həmçinin, emal mərkəzlərinin serverlərində xəstələrə özəl fərdi bulud mühitlərinin yaradılması prinsipləri araşdırılmış, bu yanaşmanın tətbiqi sahəsində təmin etdiyi üstünlüklər göstərilmişdir.

Açar sözlər— sensorlar, kənar hesablamlar, bulud hesablamları, fərdi buludlar, emal mərkəzi, süni intellekt, təhlükəsizlik, aşıyaların interneti

I. GİRİŞ

Son illərdə informasiya-kommunikasiya texnologiyalarının inkişafı tibb sahəsində mühüm dəyişikliklərə səbəb olub. Sağlamlıq sensorları, bulud əsaslı sistemlər və süni intellektin birgə tətbiqi, tibbi şəbəkə infrastrukturunun yeni mərhələsinə formalaşdırıb. Bu sistem, pasiyentlərin sağlamlıq göstəricilərini real vaxtda izləyərək, məlumatları təhlil edir, diaqnozlar qoyur və fərdiləşdirilmiş müalicə planları tərtib edir. Çoxsəviyyəli arxitektura – sensorlardan bulud əsaslı emal mərkəzlərinə və süni intellekt analitikasına qədər olan inteqrasiya, səmərəliliyi artırmaq üçün vacibdir. Bu yanaşma tibbi xidmətlərin keyfiyyətini və əlçatanlığını yaxşılaşdırır, müasir tibbin çağırışlarına cavab verir. Məqalə, bu texnologiyaların tibbi yanaşmalarla inteqrasiyasını araşdıran aktual bir tədqiqatdır.

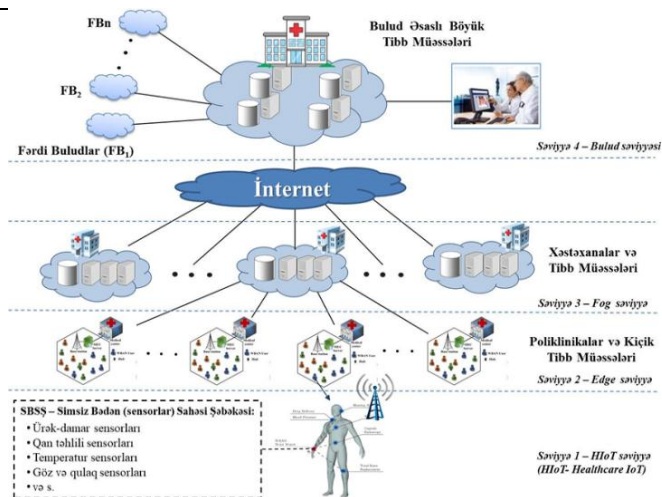
II. ƏLAQƏLİ İŞLƏRİN İCMALI

[1]-də e-səhiyyə sistemlərində geniş tətbiqi nəzərdə tutulan WBAN (Wireless Body Area Network) texnologiyasının əsas aspektləri — monitorinq və sensor texnologiyaları, enerjiyə qənaət edən protokollar, şəbəkə arxitekturası və təhlükəsizlik məsələləri təhlil olunaraq müvafiq tövsiyələr verilmişdir. [2]-də dörd səviyyəli bulud hesablama xidmətləri əsasında xəstəliklərin aşkarlanması və monitorinqi modelləri araşdırılmış, məlumatların emalı nəticəsində gecikmənin

azaldılması və səmərəli paylaşım imkanları vurğulanmışdır. [3]-də WBAN sisteminin təhlükəsizlik məsələləri, arxitekturası və rabitə texnologiyaları təhlil edilir. Təhlükəsizliyin artırılması və enerji sərfiyyatının azaldılması üçün müxtəlif mexanizmlər tövsiyə olunur. [4]-də dəniz neft platformalarında çalışan işçilərin təhlükəsizliyini təmin etmək məqsədilə IoT texnologiyalarının tətbiqi araşdırılır. IoT-nin bulud, Big Data və süni intellekt texnologiyaları ilə inteqrasiyası vurğulanır. [5]-də WBAN texnologiyasının istifadəsində yarana biləcək təhlükəsizlik riskləri və rabitə problemləri sistemli şəkildə təhlil edilir. Bu texnologiyanın müxtəlif tətbiqlərdə istifadəsi zamanı ortaya çıxan çətinliklər göstərilir. [6]-də WBAN texnologiyasına dair əhatəli araşdırma təqdim olunur. Xüsusilə, təhlükəsizlik və məxfilik problemləri, onların qarşısının alınması yolları və gələcək araşdırma istiqamətləri müzakirə edilir. [7]-də HIoT (Healthcare Internet of Things) texnologiyalarının səhiyyə sahəsində tətbiqi, bulud texnologiyaları ilə inteqrasiyası və potensial problemlər təhlil olunur. Mövcud çağırışlar və həll yolları da təqdim edilir. [8]-də səhiyyə sahəsində HIoT vasitəsilə yaranan məlumatların məxfiliyi və təhlükəsizlik məsələləri analiz olunmuş, anomaliyaların aşkarlanması üçün süni intellekt texnologiyalarından istifadənin əhəmiyyəti vurğulanmışdır. [9]-də bulud texnologiyalarının e-səhiyyə sistemlərində istifadəsi, bu texnologiyaların təqdim etdiyi imkanlar, üstünlüklər və məhdudiyyətlər qiymətləndirilmişdir. [10]-də e-səhiyyə sisteminin effektiv idarə olunmasında bulud texnologiyalarının rolu, IoT, Big Data və süni intellektlə inteqrasiyası vasitəsilə işçilərin sağlamlıq vəziyyətinin izlənməsi və təhlükəsizliyin təmin olunması araşdırılmışdır.

III. BULUD ƏSASLI ÇOXSƏVİYYƏLİ TIBBİ ŞƏBƏKƏ İNFRASTRUKTURUNUN ARXITEKTURU

Müasir səhiyyə sistemlərində xəstələrdən məlumatların toplanması, emalı və effektiv idarə olunması proseslərinin təmin edilməsi məqsədilə bulud əsaslı çoxsəviyyəli tibbi şəbəkə infrastrukturunu geniş şəkildə istifadə olunur. Sistemin arxitekturu (şəkil 1), dörd əsas səviyyədən təşkil edilmişdir: sensor səviyyəsi, kənar hesablamlar (edge computing) səviyyəsi, məlumat ötürülməsi səviyyəsi və bulud səviyyəsi.



Şəkil 1. Bulud əsaslı çoxsəviyyəli tibbi şəbəkə infrastrukturunun arxitekturu.

Aşağıda hər bir səviyyənin funksiyası və yerinə yetirildiyi işlər təhlil olunur:

- **1-ci səviyyə – Tibbi sağlamlıq sensorları və IoMT cihazları:** Bu səviyyə, tibbi cihazlar və IoMT (Tibbi Əşyaların İnterneti) vasitəsilə sağlamlıq göstəricilərinin izlənməsini və xəstəliklərin erkən mərhələlərdə aşkarlanmasını təmin edir. Bu cihazlar, fizioloji parametrləri ölçərək məlumat toplayır və növbəti mərhələlərə ötürür. Kənar hesablama texnologiyaları, məlumatların ilkin analizini yerində və ya yaxın modularda etməyə imkan verir, bu da məlumatların sürətli və effektiv emalını təmin edir.

- **2-ci səviyyə – Poliklinikalar və kiçik tibbi mərkəzlər:** Bu mərhələdə, lokal tibb müəssisələrində məlumatlar yerli serverlərdə emal olunur. Burada tibbi qərarlar internetə bağlı olmadan qəbul edilə bilər, bu da xüsusilə uzaq və zəif əlaqəli bölgələrdə faydalıdır. Məlumatlar daha sonra yüksək sürətli şəbəkələrdə vasitəsilə digər səviyyələrə ötürülür.

- **3-cü səviyyə – Xəstəxanalar və klinikalar:** Bu səviyyə, daha böyük tibb müəssisələrində məlumatların mərkəzləşdirilmiş bulud sistemlərinə göndərildiyi və analiz edildiyi mərhələyə aiddir. Burada məlumatların təhlükəsizliyi və məxfilik qorunur. Yüksək sürətli əlaqə vasitələri məlumatların effektiv ötürülməsini təmin edir.

- **4-cü səviyyə – Bulud səviyyəsi (verilənlərin emal mərkəzi):** Burada, xəstələrin sağlamlıq qeydləri və digər məlumatlar mərkəzi bulud infrastrukturunda saxlanılır və dərin təhlil edilir. Süni intellekt və maşın öyrənməsi alqoritmləri diaqnozların sürətli və dəqiq qoyulmasına kömək edir. Bu sistem, məlumatların uzun müddət ərzində saxlanması və emalı üçün kritik əhəmiyyət kəsb edir.

Bulud əsaslı tibbi şəbəkə infrastrukturunu, müasir elektron səhiyyə sistemlərində məlumatların idarə edilməsi və paylaşılmasını asanlaşdıran innovativ bir yanaşmadır. Bu texnologiya tibbi xidmətlərin səmərəliliyini artırır, xəstə məlumatlarına sürətli çıxış təmin edir və resurslardan effektiv istifadəni dəstəkləyir. Lakin, bu sistemin həm üstünlükləri, həm də müəyyən çatışmazlıqları mövcuddur.

Bulud əsaslı tibbi şəbəkə infrastrukturunun üstünlükləri:

- **Real vaxt rejimində məlumatların yerli emalı cavab sürətini artırır və təcili tibbi vəziyyətlərdə effektivliyi yüksəldir.**

- **İnternetə qoşulmuş hər yerdən məlumatlara çıxış imkanı verir və telemedicini inkişaf etdirir.**

- **Süni intellektlə təhlil edilən məlumatlar, dəqiq diaqnoz və fərdiləşdirilmiş müalicə planlarını optimallaşdırır.**

Bulud əsaslı tibbi şəbəkə infrastrukturunun çatışmazlıqları:

- **Sabit internet əlaqəsi tələb edir, əlaqə qırılmaları xidmət dayanmalarına səbəb ola bilər.**

- **Kiberhücumlar və məlumat sızması riski xəstələrin həssas məlumatlarını təhdid edir.**

- **Böyük həcmli məlumatların buluda ötürülməsi gecikmələrə yol açır, bu da təcili hallarda səmərəliliyi azaldır.**

IV. FƏRDI BULUDLARIN BULUD HESABLAMA SİSTEMLƏRİNDƏ YARADILMASI

Fərdi buludların yaradılması, tibbi məlumatların təhlükəsiz saxlanması və operativ şəkildə əldə edilməsi üçün effektiv bir yanaşmadır. Bu yanaşma tibbi xidmətlərin keyfiyyətini artırır və daha sürətli qərarların qəbul edilməsinə imkan verir. Fərdi buludlar, xəstənin məlumatlarının saxlanması üçün bulud serverlərində yerləşdirilir. Poliklinikalar və xəstəxanalar ilkin məlumat toplayır və daha yüksək səviyyələrə ötürür. Xəstənin Elektron Sağlamlıq Kartı (EHR) fərdi buludlarda saxlanılır, burada tibbi tarixçə, müalicə planları və digər əhəmiyyətli məlumatlar toplanır. Bu sistem məlumatların təhlükəsizliyini və inteqrasiyasını gücləndirir, rəqəmsal sağlamlıq infrastrukturunu daha çevik və səmərəli edir.

Təklif edilən fərdi bulud sisteminin üstünlükləri aşağıdakılardır:

- **Təhlükəsizlik.** Məlumatların mərkəzləşdirilmiş saxlanması təhlükəsizlik tədbirlərinin daha effektiv tətbiqinə imkan verir. Aşağı səviyyələrdə saxlanılan məlumatların pozulma riski aradan qaldırılır.

- **Tibbi müəssisələr arası məlumat inteqrasiyası.** Bütün məlumatlar mərkəzləşdirilmiş bir platformada saxlanıldığı üçün tibb müəssisələri arasında daha yaxşı inteqrasiya təmin edilir.

- **Fərdi buludlarda məlumatların real vaxtda yenilənməsi.** Sağlamlıq sensorları və tibbi qurğular vasitəsilə alınan məlumatlar fərdi buludda avtomatik olaraq yenilənir.

- **Fərdi buludlara uzaqdan asan əlçatanlıq.** Həkimlər və digər tibb mütəxəssisləri fərdi tibbi məlumatlarına istənilən vaxt və yerdən daxil ola bilərlər.

- **Xəstə məmnuniyyətinin artırılması:** Xəstələr öz məlumatlarına daha asan çıxış əldə edə bilər və müalicə prosesində daha fəal iştirak edə bilər.

- **Xəstə müalicəsinin keyfiyyətinin yaxşılaşdırılması:** Dəqiq və tam məlumat əsasında daha yaxşı qərarlar qəbul edilir.

Beləliklə, xəstələrin EHR məlumatları bulud səhiyyəsinin serverlərində yerləşdirilir və həkimlər, tibbi qurumlar bu məlumatlara internet üzərindən çıxış əldə edirlər. Bu yanaşma məlumatların təhlükəsizliyini, əlçatanlığını və effektiv idarə edilməsini təmin edir.

**V. SISTEMIN TƏHLÜKƏSİZLİK MƏSƏLƏLƏRİNİN
HƏLLİDƏ SÜNİ INTELEKT TEXNOLOGİYALARININ TƏTBİQİ**

Bulud əsaslı tibbi sistemlər xəstəxanalar, tədqiqat mərkəzləri və fərdi istifadəçilər üçün tibbi məlumatların saxlanması, emalı və paylaşımını asanlaşdırır. Lakin bu sistemlər, məlumatların məxfiliyi, bütövlüyü və əlçatanlığına dair təhlükəsizlik risklərini də artırır. EHR və digər həssas tibbi məlumatlar kiberhücumlara qarşı həssasdır. Hakerlər tərəfindən məlumat oğurluğu, icazəsiz giriş və xidmətin dayandırılması (DoS) hücumları ciddi təhlükələr yarada bilər. Buna görə də, bulud əsaslı tibbi sistemlərin təhlükəsizliyi, həm texnoloji, həm də hüquqi baxımdan nəzərdən keçirilməli və effektiv həllər təklif olunmalıdır. Son dövrlərdə təhlükəsizlik məsələlərinin həllində süni intellekt texnologiyalarından geniş istifadə olunur. Aşağıda SI-nin bu sahədə tətbiqinin əsas istiqamətləri qeyd olunur:

- Anomaliyaların aşkarlanması: SI, dərin öyrənmə, maşın öyrənmə alqoritmləri vasitəsilə məlumat axınında qeyri-adi davranışları real vaxtda aşkar edərək məlumat sızması riskini azalda bilər.

- Dinamik şifrələmə: SI, məlumatların həssaslığına uyğun olaraq adaptiv şifrələmə metodları tətbiq edərək zəif şifrələmə problemini həll edir və icazəsiz girişin qarşısını alır.

- Giriş nəzarətinin təkmilləşdirilməsi: SI əsaslı biometrik autentifikasiya (məsələn, üz tanıma və ya barmaq izi) və davranış analizləri ilə giriş icazələrini daha dəqiq idarə edir, çoxsəviyyəli sistemlərdə təhlükəsizliyi gücləndirir.

- Monitorinqin real vaxtda aparılması: SI, tibbi sensorlardan gələn məlumat axınını davamlı olaraq təhlil edərək potensial təhlükələri müəyyənləşdirir və diaqnoz proseslərinin ləngiməsinin qarşısını alır.

Məxfilik qorunması: SI, məlumatların anonimləşdirilməsi və ya maskalanması texnikalarını tətbiq edərək xəstə məxfiliyini qoruyur

NƏTİCƏ

Tədqiqatda bulud texnologiyasına əsaslanan tibbi şəbəkə infrastrukturunun üstünlükləri araşdırılmışdır. Tibbi sensorlardan toplanan məlumatların buludda təhlil olunması və süni intellekt ilə dəstəklənməsi, xəstəliklərin erkən aşkar

edilməsi və fərdiləşdirilmiş müalicə planlarının formalaşdırılmasına imkan verir. Bu sistemlər, real vaxtda məlumatlara çıxış təmin edərək əməliyyat xərclərini azaldır və ümumi səmərəliliyi artırır. Fərdi bulud mühitləri, tibbi məlumatların təhlükəsiz idarə olunmasını təmin edir və süni intellekt alqoritmləri, təhlükəsizlik risklərini minimuma endirir, sistemin dayanıqlığını artırır

İSTİNADLAR

- [1] B. Pradhan, S. Bhattacharyya, P. Kunal. IoT-Based Applications in Healthcare Devices. *Journal of Healthcare Engineering*. Volume 8. 2021, Article ID 6632599, pp. 1-18.
- [2] E.A. Abdullah, A.S. ALshamiri. A review on cloud computing in healthcare sectors. *International Research Journal of Modernization in Engineering, Technology and Science*. Volume:02/Issue:08, 2020, pp.877-882.
- [3] G.V. Crosby, T. Ghosh, R. Murimi, C.A. Chin. Wireless Body Area Networks for Healthcare: A Survey. *International Journal of Ad hoc, Sensor & Ubiquitous Computing (IJASUC)* Vol.3, No.3, pp.1-26.
- [4] L. Devadass, S.S. Sekaran, R. Thinakaran. Cloud computing in healthcare. *International Journal of Students' Research In Technology & Management*. Vol 5, No 1, April 2017, pp 25-31, ISSN 2321-2543.
- [5] M. Quwaider, Y. Jararweh. Multi-tier cloud infrastructure support for reliable global health awareness system. *Simulation Modelling Practice and Theory*. 67 (2016), pp. 44-58.
- [6] M. Asam, T. Jamal, M. Adeel, A. Hassan, S.A. Butt, A. Ajaz, M. Gulzar. Challenges in Wireless Body Area Network. *(IJACSA) International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. Vol. 10, No. 11, 2019, pp.336-341.
- [7] M. Yaghoubi, K.R. Ahmed, Y. Miao. Wireless Body Area Network (WBAN): A Survey on Architecture, Technologies, Energy Consumption, and Security Challenges. *J. Sens. Actuator Netw.* 2022, 11, 67, pp. 1-34.
- [8] M.A. Abini, A.R. Bushara. Secure and Compliant Machine Learning in the Cloud for Healthcare. *International Journal of Science and Engineering Applications* Volume 14-Issue 02, pp.38 – 44, 2025.
- [9] M.A. Khatun et al.: Machine Learning for Healthcare-IoT Security: A Review and Risk Mitigation. *IEEE Access*, volume 11, 2023, pp. 145869-145896.
- [10] M.H. Məmmədova, Z.Q. Cəbrayıllova. Dəniz neft platformasında personalin fizioloji vəziyyətinin və coğrafi mövqeyinin monitorinqində əşyaların internetinin imkanları. *İnformasiya texnologiyaları problemləri*, 2018, №2, pp.3-17.