

Electronics and electrical engineering Elektronika ir elektros inžinerija

RŪKO KOMPIUTERIJOS TECHNOLOGIJOS PACIENTŲ JUTIKLIŲ TINKLAMS – TENDENCIJOS, PROBLEMOS IR ATEITIES KRYPTYS

Mantas KAZLAUSKAS*

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva

Gauta 2021 m. birželio 21 d.; priimta 2021 m. birželio 30 d.

Santrauka. Jutiklių ir daiktų interneto pažanga žada plačias galimybes daugelyje sričių, viena iš jų – sveikatos priežiūra. Sukurta daugybė sprendimų, kaip valdyti sveikatos priežiūros duomenis, pagrįstus debesų kompiuterija, tačiau didelė delsa, didelis perduodamų duomenų kiekis ir jų saugumas yra pagrindinės nutolusių duomenų centrų problemos norint perduoti sveikatos duomenis. Rūko kompiuterija pasižymi greitu atsaku ir leidžia apdoroti didelius duomenų kiekius atliekant realaus laiko analizę, apimančią mašininį mokymąsi ir dirbtinį intelektą. Rūko kompiuterija dar nėra visiškai įsitvirtinusi, o tvarkant sveikatos duomenis vis dar kyla daug problemų. Šiame straipsnyje pateikiama rūko kompiuterijos sveikatos priežiūros srityje apžvalga. Pasirinkta ištirti aktualiausias e. sveikatos rūko kompiuterijos tematikos kryptis išanalizuojant apžvalginius straipsnius, paaiškinti rūko kompiuterijos architektūros modelį ir pateikti dabartines tendencijas – rūko kompiuterijos e. sveikatos technologijų taikymo aplinkas, diegimo atvejus, infrastruktūros technologijas, duomenų apdorojimo uždavinius, problemas ir ateities kryptis. Atrinkti 38 per pastaruosius 5 metus publikuoti mokslinės apžvalgos straipsniai darbų analizei, filtruojant reikšmingiausias darbus taikant *Web of Science* straipsnių paieškos įrankį.

Reikšminiai žodžiai: rūko kompiuterija, daiktų internetas, sveikatos priežiūra, apžvalga.

Įvadas

Sveikatos apsauga – viena iš brangiausių pramonės šakų, nes ji yra orientuota į asmenį, jo individualius poreikius ir reikalauja individualaus sveikatos priežiūros darbuotojų vertinimo. Daugelio šalių gyventojų populiacijoms vis sparčiau senstant, sveikatos sistema susiduria su vis didesniu krūviu, todėl reikia ieškoti papildomų technologinių sprendimų, kurie galėtų padidinti sveikatos priežiūros paslaugų prieinamumą išlaikant tinkamą jų kokybę.

Daiktų interneto (angl. *Internet of Things*) prietaisų išpopuliarėjimas ir prieinamumas atvėrė naujas galimybes plėsti medicinos paslaugas ir priežiūrą ne tik medicinos priežiūros įstaigose ir ligoninėse, bet ir pacientų namuose atlaisvinant dalį sveikatos priežiūros personalo. Naujų technologijų, pagrįstų individualiu įprastos ir prevencinės sveikatos priežiūros vertinimu, integravimas gali sumažinti sveikatos priežiūros išlaidas ir pasiūlyti vertinimą realiuoju laiku be sveikatos priežiūros specialisto įsikišimo. Sveikatos duomenų perdavimas, apdorojimas ir techninė įranga – pagrindinės sritys, kuriose taikomos įvairios e. sveikatos kompiuterijos technologijos.

Dauguma paslaugų šiuo metu teikiama per debesiją (angl. *Cloud*), tačiau ji negali patenkinti sveikatos paslaugų modelio, kuris pasižymi realiuoju laiku krašto įrenginių (angl. *Edge Devices*) siunčiamų duomenų gausa, todėl tenka ieškoti kitų sprendimų, kurie leistų itin mažą delsą arba, kitaip tariant, greitą atsaką, išplečiamumą, įrenginių įvairovę, mobilumą, belaidžio ryšio prieigą, realiojo laiko duomenų analizę, skubių atvejų pranešimus, mažas energijos sąnaudas, saugumą ir privatumą, taikant nuasmenintus duomenis.

Visa tai gali pasiūlyti rūko kompiuterija, kuri pradėjo kurtis 2010 metais, kai CISCO telekomunikacijų kompanijos darbuotoja Ginny Nichols, kalbėdama su kolega Flavio Bonomi, pirmą kartą paminėjo rūko kompiuteriją kalbant apie debesijos infrastruktūrą arčiau „žemės“ (Forster, 2021). Nuo to laiko šį terminą su savo komanda pradėjo vartoti Flavio Bonomi, kurį ir įtvirtino (Bonomi, 2019). Rūko kompiuterija – tai skaičiavimo ir saugojimo resursai, esantys netoli krašto įrenginių. Rūko kompiuterijos įrenginiai fiziškai ir funkciškai veikia tarp krašto įrenginių ir debesijos.

*Autorius susirašinėti. El. paštas mantas.kazlauskas@vilniustech.lt

Rūko kompiuterijos tikslas – padidinti efektyvumą, našumą ir sumažinti siunčiamų ir debesiją duomenų kiekį, debesijoje jie turi būti apdorojami, išanalizuoti ir saugojami, bei sumažinti duomenų centrų ir krašto įrenginių, kurie dažnai veikia naudodami bateriją, apkrovą ir turi ribotą veikimo laiką.

Jutiklių surinkti duomenys yra renkami, apdorojami ir saugojami laikinoje rūko duomenų koncentratoriaus įrenginio (angl. *Fog Node*) duomenų bazėje, o ne perduodami į debesiją, taip išvengiant abipusio bei tinklo srauto duomenų vėlavimo.

Greitas sprendimų priėmimas yra itin svarbus elektroninėms sveikatos programoms, kurios internetu perduoda duomenis nuotoliniam apdorojimui realiuoju laiku. Tokiomis programomis siekiama aktyviai stebėti pacientus ir (arba) procesus bei taip gauti vertingos informacijos, kuri leistų priimti sprendimus ir pateikti išvadas.

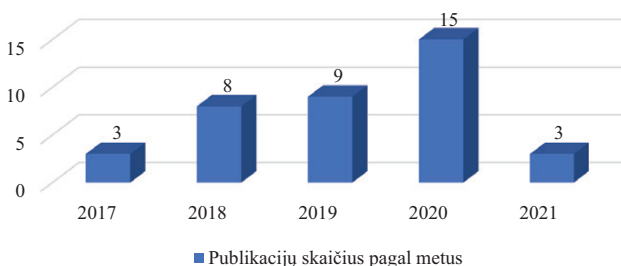
Šiuo straipsniu siekiama išsiaiškinti aktualiausias e. sveikatos rūko kompiuterijos tematikos kryptis išanalizuojant apžvalginius straipsnius, paaiškinti rūko kompiuterijos architektūros modelį ir pateikti dabartines tendencijas – rūko kompiuterijos e. sveikatos technologijų taikymo aplinkas, diegimo atvejus, infrastruktūros technologijas, duomenų apdorojimo uždavinius, problemas ir ateities kryptis.

1. Tyrimo eiga

Tyrimui atlikti buvo surinkti 5 metų naujausi apžvalginiai straipsniai e. sveikatos rūko kompiuterijos tematika, sudaryta paieškos strategija ir atlikta straipsnių atranka.

Paieškos strategija. Pagrindinis paieškos strategijos tikslas buvo rasti aktualiausius darbus, susijusius su rūko kompiuterija ir sveikatos priežiūra. Tyrimo pradžioje apibrėžta paieškos apimtis ir su tematika susiję reikšminiai žodžiai. Reikšminiai žodžiai parinkti tokie, kad būtų gaunami kuo platesni rezultatai. Ieškant straipsnių, gautoje paieškos eilutėje buvo naudojamas šis reikšminių žodžių junginys – „fog health“ ir atrinkami straipsniai pagal apžvalgos tipą bei papildomai taikomas reikšminių žodžių junginys „fog health review“, kuris davė papildomų rezultatų.

Straipsnių paieška buvo atlikta ieškant straipsnių pagal temą, įskaitant pavadinimą, santrauką, autoriaus reikšmi-



1 paveikslas. Atrinkti per pastaruosius 5 metus publikuoti 38 apžvalginiai straipsniai rūko kompiuterijos ir sveikatos priežiūros tematika pagal metus

Figure 1. Selected 38 review articles published in the last 5 years on fog computing and health care topics by year

nius žodžius. Rankiniu būdu analizuotas rūko ir sveikatos priežiūros informacijos aprėpties kontekstas pagal temos svarbą ir atitikimą.

Paieškos etape straipsniai buvo gauti iš elektroninių žurnalų duomenų bazių, pritaikant sukurtus reikšminius žodžius, naudojant *Web of Science* straipsnių paieškos įrankį, kurį prižiūri *Clarivate Analytics*. Toliau pateikiamos elektroninės duomenų bazės, kurios buvo prieinamos ir jose randami apžvalginiai straipsniai, tokios kaip: *ACM Digital Library*, *Elsevier*, *Emerald Insight*, *Hindawi*, *IEEE Xplore*, *MDPI*, *Research Gate*, *ScienceDirect*, *SpringerLink*, *Tech Science Press* ir *Wiley Online Library*.

Paieškos imčiai apriboti buvo nustatytas metų diapazonas nuo 2017 iki 2021 metų ir rankiniu būdu filtruoti paieškos rezultatai.

Straipsnių atranka. Šis kriterijus buvo pasirinktas patikrinti, ar straipsnis yra aktualus ir yra būtinas tinkamai įvertinti atrinktų straipsnių kokybę. Straipsniai vertinami atsižvelgiant į tyrimo tikslą, tinkamą kontekstą, literatūros apžvalgą, rezultatus ir išvadas, tyrimo tikslus ir siekius. Toliau pateikiami šiam tyrimui taikyti straipsnių atrankos kokybės vertinimo kriterijai:

- tinkama straipsnio tematika;
- tyrimo tikslas yra aiškiai nurodytas;
- turi tyrimo rezultatus;
- išvados siejamos su tyrimo tikslais.

Atlikus reikšminių žodžių paiešką, buvo rastas 151 apžvalginis straipsnis, iš kurių, atlikus straipsnių atranką pritaikius kokybės vertinimo kriterijus, atrinkti 38 straipsniai. 1 paveiksle pateikiami atrinkti per pastaruosius 5 metus publikuoti apžvalginiai straipsniai rūko kompiuterijos ir sveikatos priežiūros tematika pagal metus nuo 2017 iki 2021 metų.

Galima teigti, jog nuo 2017 iki 2020 metų matomas tendencingas apžvalginių straipsnių publikavimo didėjimas, o tai rodo tematikos aktualumą. 2021 metai dar nesibaigė, todėl šis skaičius dar turėtų padidėti.

2. Aktualiausios e. sveikatos rūko kompiuterijos tematikos kryptys

Rūko kompiuterijoje yra daug tiriamų tematikos kryptų dėl sistemos sudėtingumo ir taikomų technologijų įvairovės, o apžvalginių straipsnių autoriai itin skirtingai pasirenka, kam bus skiriamas didžiausias dėmesys, kaip plačiai bus aprašoma problema ir į kokius klausimus bus bandoma atsakyti analizuojant rūko kompiuteriją e. sveikatos srityje, todėl svarbu išsiaiškinti, kokios tematikos kryptys vyrauja ir kurioms yra skiriama mažiau dėmesio. Atlikus apžvalginių straipsnių analizę buvo nustatytos aštuonios aktualiausios tematikos kryptys:

1. Taikymo sritys.
2. Taikomos technologijos ir charakteristikos.
3. Duomenų apdorojimo uždaviniai.
4. Saugumas ir pažeidžiamumas.
5. Teisinė aplinka ir politika.
6. Problemos ir iššūkiai.

7. Sprendimai.

8. Ateities kryptys.

Atlikus straipsnių atranką ir išanalizavus atrinktus 38 pastarųjų 5 metų publikuotus apžvalginius straipsnius, susijusius su rūko kompiuterija ir sveikatos priežiūra, buvo sudaryta aktualiausių tematikos krypčių ir autorių lentelė (1 lentelė).

Nustatyta, jog apžvalginių straipsnių autoriai dažniausiai rašo apie problemas ir iššūkius (28 autoriai), taikomas technologijas ir charakteristikas (23 autoriai), taikymo sritis (22 autoriai) ir duomenų apdorojimo uždavinius (12 autorių). Mažiausiai skiriama dėmesio egzistuojančiai teisei aplinkai ir politikai (2 autoriai), konkrečioms sprendimams (4 autoriai), saugumui ir pažeidžiamumui (8 autoriai) bei ateities kryptims (9 autoriai).

Matoma tendencija, jog per paskutinius trejus metus pradėtos tirti naujos e. sveikatos rūko kompiuterijos tematikos kryptys, tokios kaip teisinė politika, konkretūs sprendimai bei ateities kryptys. Apie teisinę aplinką ir politiką per paskutinius dvejus metus nebebuvo rašoma.

Tolimesnė šio straipsnio medžiaga paremta dauguma apžvalginių straipsnių, kurie nurodyti 1 lentelėje.

3. Rūko kompiuterijos architektūros modelis

Rūko kompiuterija papildo klasikinę debesų kompiuterijos architektūrą, kurios ištekčiai decentralizuoti, ir siūlo paslaugas arčiau naudotojų. Vyrauja trijų lygmenų architektūra (žr. 2 pav.), kurią sudaro trys sluoksniai: debesijos, rūko ir krašto sluoksnis. Debesiją sudaro nutolę duomenų centrai. Rūko įrenginių sluoksnį sudaro rūko duomenų koncentratoriaus įrenginiai, tokie kaip mikroduomenų centras ar mikrokompiuteris bei tinklo įranga, kurią sudaro tinklų sietuvai, maršruto parinktuvai, belaidžio ryšio prieigos taškai. Galiausiai, krašto sluoksnis, kuris apima matavimo įrangą, mobilius įrenginius, jutiklius ir pan. (Cisco, 2015).

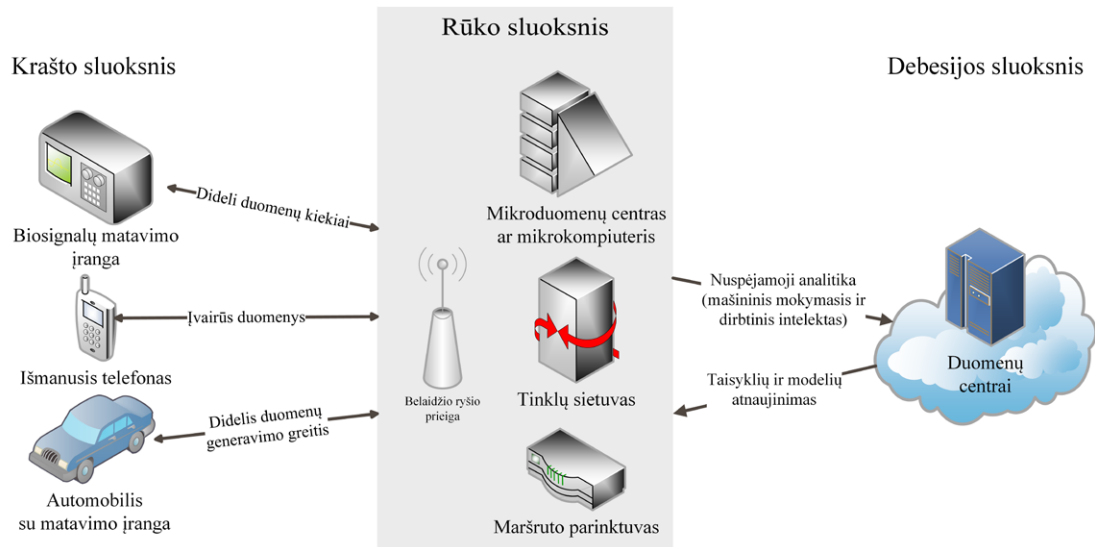
Rūko kompiuterijos architektūra turi daug privalumų, lyginant su debesijos architektūra. Rūko kompiuterijos architektūra pasižymi mažesne delsa, nes fizinis atstumas iki įrangos yra mažesnis ir yra išvengiama vėlavimo, kuris gali kilti dėl ribotų debesijos duomenų centrų resursų ar didelio atstumo.

Rūko kompiuterija paremtos architektūros duomenų rinkimas ir skaičiavimo resursai yra netoli galutinių naudotojų, todėl sistema gali būti mažiau priklausoma nuo

1 lentelė. Tiriamos aktualiausių tematikos kryptys pastarųjų 5 metų publikuotų 38 apžvalginių straipsnių rūko kompiuterijos ir sveikatos priežiūros tematika

Table 1. The most relevant topics of the 38 review articles published in the last 5 years on the topic of fog computing and health care

Taikymo sritys	Taikomos technologijos ir charakteristikos	Duomenų apdorojimo uždaviniai	Saugumas ir pažeidžiamumas
(Aceto et al., 2018, 2020; Anawar et al., 2018; Badidi et al., 2020; Basir et al., 2019; da Silva ir de Aquino, 2018; Dang et al., 2019; de Moura Costa et al., 2020; Dong ir Yao, 2021; Escamilla-Ambrosio et al., 2018; Gaber et al., 2019; Haouari et al., 2018; Hu et al., 2017; Ibrahim et al., 2018; Javadzadeh ir Rahmani, 2020; Kraemer et al., 2017; Naresh et al., 2020; Nazir et al., 2019; Saheb ir Izadi, 2019; Swamy ir Kota, 2020; Tayeb et al., 2017; Vilela et al., 2020)	(Aceto et al., 2018; Anawar et al., 2018; Badidi et al., 2020; Basir et al., 2019; Behmanesh et al., 2020; da Silva ir de Aquino, 2018; Dang et al., 2019; de Moura Costa et al., 2020; de Prado et al., 2020; Dong ir Yao, 2021; Escamilla-Ambrosio et al., 2018; Fu et al., 2020; Hartmann et al., 2019; Hu et al., 2017; Younan et al., 2020; Kaur et al., 2020a; Kraemer et al., 2017; McCann et al., 2018; Swamy ir Kota, 2020; Tayeb et al., 2017; Thurston ir de Leon, 2018; Vilela et al., 2020; Wani et al., 2019)	(Anawar et al., 2018; Badidi et al., 2020; Dang et al., 2019; Dash et al., 2019; Erhan et al., 2021; Gaber et al., 2019; Hartmann et al., 2019; Ibrahim et al., 2018; Younan et al., 2020; Sadri et al., 2021; Saheb ir Izadi, 2019; Vilela et al., 2020)	(Behmanesh et al., 2020; Dang et al., 2019; Kaur et al., 2020b; Nazir et al., 2019; Obaidat et al., 2020; Silva et al., 2020; Tayeb et al., 2017; Thurston ir de Leon, 2018)
Teisinė aplinka ir politika	Problemos ir iššūkiai	Sprendimai	Ateities kryptys
(Dang et al., 2019; Thurston ir de Leon, 2018)	(Aceto et al., 2018, 2020; Anawar et al., 2018; Badidi et al., 2020; Basir et al., 2019; da Silva ir de Aquino, 2018; Dang et al., 2019; Dash et al., 2019; de Moura Costa et al., 2020; de Prado et al., 2020; Erhan et al., 2021; Fu et al., 2020; Gaber et al., 2019; Haouari et al., 2018; Hartmann et al., 2019; Hu et al., 2017; Younan et al., 2020; Javadzadeh ir Rahmani, 2020; Kaur et al., 2020b; McLamore et al., 2019; Naresh et al., 2020; Obaidat et al., 2020; Sadri et al., 2021; Silva et al., 2020; Swamy ir Kota, 2020; Tayeb et al., 2017; Vilela et al., 2020; Wani et al., 2019)	(Basir et al., 2019; Kaur et al., 2020b; McLamore et al., 2019; Naresh et al., 2020)	(Gaber et al., 2019; Hartmann et al., 2019; Younan et al., 2020; Javadzadeh ir Rahmani, 2020; Kraemer et al., 2017; Sadri et al., 2021; Silva et al., 2020; Swamy ir Kota, 2020; Wani et al., 2019)



2 paveikslas. Rūko sluoksnio įrenginių paslaugos koordinuoja krašto sluoksnio duomenų judėjimą iš rūko į debesiją
Figure 2. Fog layer facility services coordinate the movement of edge layer data from fog to cloud

tinklo ryšio prieinamumo. Perduodamas duomenų kiekis į debesiją yra sumažinamas, nes į duomenų centrus gali būti siunčiama tik nedidelė dalis duomenims saugoti, apdoroti ar analizuoti, nes visa tai gali būti atliekama rūko sluoksnyje duomenų koncentratorių įrenginiais.

Kai rūko duomenų koncentratoriaus įrenginiu yra nesinaudojama, t. y. nėra siunčiami jutiklių duomenys, jis gali veikti kaip tinklų sietuvas (angl. *Gateway*) ir taip taupyti elektros energiją. Procesai, reikalaujantys daugiau resursų, ar dėl to, kad krašto sluoksnio įrenginio baterija gali greičiau išsikrauti, nes yra norima prailginti prietaiso veikimo laiką, gali būti perkelti vykdyti į rūko duomenų koncentratoriaus įrenginį.

4. E. sveikatos rūko kompiuterijos taikymo aplinkos ir diegimo atvejai

Išskiriamos trys rūko kompiuterijos e. sveikatoje srityje taikymo aplinkos (Vilela et al., 2020): 1) stacionarus veikimas, kai atliekamas gydymas medicinos įstaigoje, ligoninėje ar stacionare; 2) mobilus veikimas naudojant išmaniuosius telefonus, jutiklius ir kitus dėvimus prietaisus bei veikimą greitosios pagalbos automobilyje; 3) veikimas kasdienį gyvenimą palengvinančioje aplinkoje (angl. *Ambient Assisted Living*).

Pirmoji taikymo aplinka – medicinos įstaiga, kuri apima specializuotą medicininę įrangą, naudojamą pacientų stebėsenai (angl. *Monitoring*) vykdyti – gyvybiniais pacientų parametrams fiksuoti ir analizuoti. Naudojami medicinos prietaisai būna sudėtingesni ir dažniausiai priklauso gydymo įstaigai. Kita aplinka, apimanti mobilų veikimą, išpopuliarėjo su daiktų internetu atsiradus mobiliosios sveikatos (angl. *m-Health*) paradigmai, kai naudojami mobilieji prietaisai. Trečioji taikymo aplinka – kasdienį gyvenimą palengvinanti aplinka, kuri apima ne tik biomedicininį signalų stebėjimą, bet ir įvairius išmanius aplinkos jutiklius, leidžiančius suteikti veiksmingesnę pagalbą

žmonėms, kurie gyvena vieni ir turi tam tikrą negalią ar serga lėtinėmis ligomis.

Šis skirstymas gali būti detalčiau išskaidomas į penkis rūko kompiuterijos diegimo atvejus (Kraemer, 2017), kurie apima dalyvaujančius naudotojus ir suinteresuotąsias šalis, prietaisus ir jungiamumą:

- Nešiojami įrenginiai (išmanusis telefonas, planšetė ir pan.) – veikia tarp jutiklių įrenginių ir debesijos.
- Namų įranga – priklauso naudotojui.
- Ligoninės įranga – priklauso ir yra prižiūrima pačios įstaigos. Sistemos yra žymiai sudėtingesnės, todėl naudotojai yra kvalifikuoti sveikatos priežiūros specialistai.
- Įstaigos įranga – pagrindiniai prietaisai priklauso įstaigai ir jie prižiūrimi, tačiau pacientai gali prijungti asmeninę įrangą prie tinklo.
- Transporto įranga (greitosios pagalbos automobilis, sraigtasparnis) – tai panašu į įstaigos atvejį, tačiau sudėtingesnį, nes infrastruktūra turi būti mobili, pavyzdžiui, naudojant mobilųjį ryšį.

5. E. sveikatos rūko kompiuterijos infrastruktūros technologijos

E. sveikatos rūko kompiuterijos infrastruktūrą sudaro įvairi techninė ir programinė įranga, kuri yra paremta daiktų interneto technologijomis.

Techninė įranga. Įrangą, kuri apima techninę dalį (2 lentelė), galima suskirstyti į penkias pagrindines dalis: debesijos (kurios gali ir nebūti), duomenų koncentravimo, tinklo, krašto ir jutiklių įrangos.

Rūko duomenų koncentratoriaus komunikacija. Rūko duomenų koncentratoriaus komunikacijai su krašto įrenginiais ir tinklu yra taikomos įvairios ryšio duomenų perdavimo technologijos. Jos pasižymi skirtinga signalo aprėptimi, greičiu ir energijos poreikiais, dauguma yra belaidės (3 lentelė).

2 lentelė. E. sveikatos rūko kompiuterijos techninė įranga
Table 2. E-health fog computing technical equipment

Techninė įranga	Variantai
Debesija	Duomenų centrai
Duomenų koncentravimo įranga	Mikroduomenų centras (angl. <i>Micro Data Center</i>) Mikrokompiuteris (angl. <i>Microcomputer</i>) Išmanusis telefonas (angl. <i>Smartphone</i>)
Tinklo įranga	Prieigos taškas (angl. <i>Access Point</i>) Tinklų sietuvas (angl. <i>Gateway</i>) Maršruto parinktuvas (angl. <i>Router</i>)
Krašto įranga	Biosignalų matavimo įranga Išmanusis telefonas
Jutiklių įranga	Temperatūros jutiklis Pulso oksimetras Elektrinių biosignalų matavimo jutikliai (EMG, ECG, EDA, EEG)

3 lentelė. E. sveikatos rūko kompiuterijos tinklų tipai
Table 3. E-health fog computing network types

Tinklo tipas	Tinklo protokolai	Signalų aprėptis	Greitis	Energijos poreikiai
WWAN	GPRS, 2G/3G/4G/5G, LTE	Labai didelė	Didelis	Dideli
LPWAN	M2M, LTE-M, NB-IoT, Weightless, SigFox, LoRa/LoRaWAN ir Ingenu	Didelė	Didelis	Vidutiniai
WLAN	Wi-Fi, Low Power Wi-Fi (IEEE 802.11ah)	Vidutinė	Vidutinis	Vidutiniai ar maži
WPAN	Bluetooth, Bluetooth Low Energy (BLE), ZigBee ir Z-Wave, 6LoWPAN (IEEE 802.15.4)	Maža	Mažas	Maži
WBAN	IEEE 802.15.6	Labai maža	Mažas	Maži
Taškinis	NFG, RFID, UWB	Labai maža	Labai mažas	Labai maži

E. sveikatos sistemos dėl įrenginių įvairovės taiko įvairių technologijų tinklų kombinacijas. BAN ir PAN tinklai atsakingi už duomenų perdavimą arčiausiai paciento, o LAN ir WAN tinklai skirti lokaliai ir tolumo ryšio duomenų perdavimui ir, galiausiai, taškinio artimo kontakto tinklas, kuris taikomas identifikacijai – veiksmui ar operacijai patvirtinti ar atlikti.

Programinė įranga ir technologijos. Programinę įrangą apima įvairios operacinės sistemos ir technologijos bei pačių e. sveikatos rūko sistemų tinklui kurti taikoma modeliavimo programinė įranga, tokia kaip *CloudSim* ar *iFogSim*.

Aplinkoje, kurioje gali būti įvairių naudotojų ir jie nori pasiekti išorines e. sveikatos paslaugas, gali būti tikslin-

ga veikti virtualioms mašinoms ir konteneriams taikant daiktų interneto virtualizavimo technologijas (de Prado et al., 2020).

Tai leidžia skirtingoms programoms ir paslaugoms naudotis bendrais rūko duomenų koncentratoriaus įrenginio resursais bei, taikant įvairius virtualios mašinos migracijos būdus, yra galimybė programoms migruoti tarp įvairių rūko duomenų koncentratorių įrenginių.

Duomenų perdavimo protokolai. Ryšiui tarp rūko duomenų koncentratoriaus ir krašto įrenginių įgyvendinti yra taikomi įvairūs interneto programų sluoksnio (angl. *Application Layer*) protokolai (Saheb ir Izadi, 2019):

- HTTP (angl. *Hypertext Transfer Protocol*),
- CoAP (angl. *Constrained Application Protocol*),
- MQTT (angl. *Message Queuing Telemetry Transport*),
- AMQP (angl. *Advanced Message Queuing Protocol*),
- WAMP (angl. *Web Application Messaging Protocol*),
- XMPP (angl. *Extensible Messaging and Presence Protocol*),
- WebSocket.

Šio sluoksnio protokolai yra atsakingi už duomenų formatavimą ir pateikimą. Programos sluoksnis internete įprastai pagrįstas HTTP protokolu, tačiau HTTP dažnai netinka ribotų išteklių aplinkoje, nes jis yra „sunkiasvoris“ dėl paties protokolo valdymo sąnaudų. Dėl šios priežasties geriau taikyti alternatyvius protokolus, kurie sukurti veikti daiktų interneto aplinkoje.

6. Rūko kompiuterijos duomenų apdorojimo uždaviniai

Rūko kompiuterija pagrįstas duomenų koncentratorius yra vienas iš pagrindinių elementų, atsakingų už įvairias teikiamas paslaugas, ir gali atlikti įvairius duomenų apdorojimo bei analitikos uždavinius.

Rūko duomenų koncentratatoriaus funkcijos. Rūko duomenų koncentratorius – tai daugiavandis įrenginys, kuris yra atsakingas už įvairių funkcijų vykdymą (Dash et al., 2019):

- duomenų siuntimą, gavimą ir saugojimą,
- taisyklių nustatymą ir atnaujinimą,
- duomenų apdorojimą vykdamas:
 - pirminį apdorojimą,
 - grupavimą,
 - sintezę,
 - požymių išskyrimą ir klasifikavimą,
 - dirbtinių neuronų tinklo mokymą,
 - suspaudimą,
 - šifravimą saugant ir perduodant duomenis.

Duomenų analitikos metodai. Skiriamos dvi pagrindinės duomenų analitikos rūšys: reaktyvioji (angl. *Reactive*) ir nuspėjamoji (angl. *Predictive*).

Atliekant reaktyviąją analitiką, duomenys analizuojami ir stebimi pokyčiai už numatytų normų ribų:

- kritiniams įvykiams apdoroti;
- anomalijoms nustatyti;
- priežiūrai ir paskirstytai kontrolei vykdyti;
- baigtinio automato būsenai nustatyti ir valdyti.

Atliekant sprendimų priėmimą ir nuspėjamąją analitiką, kai nuspėjama ir prognozuojama, yra taikomi statistiniai, mašininio mokymosi ir dirbtinio intelekto metodai.

Mašininis mokymas ir dirbtinis intelektas. Rūko duomenų koncentratoriaus ar išoriškai surinkti duomenys gali būti naudojami neuroninių tinklų modeliams mokyti. Galimos šios neuroninio tinklo modelio mokymo ir vykdymo vietos (Erhan et al., 2021):

- Modelio mokymas ar vykdymas debesijos duomenų centruose.
- Modelio mokymas ar vykdymas rūke – rūko duomenų koncentratoriuje ar naudojant netoliese esančius skaičiavimo resursus.
- Modelio vykdymas krašto įrenginiuose.

Rūko duomenų koncentratorius neuroninių tinklų modelį gali panaudoti išvadoms generuoti ar sprendimams priimti.

7. Rūko kompiuterijos e. sveikatos srityje problemos ir ateities kryptys

Kaip ir kitose paskirstytose skaičiavimo sistemose, krašto ir rūko kompiuterijos ekosistemose kyla įvairių iššūkių, kad paslaugų naudotojai, paslaugų ir infrastruktūros tiekėjai galėtų pasinaudoti krašto ir rūko serverių teikiamomis paslaugomis.

Problemos. Standartizacijos trūkumas – dauguma taikymo atvejų apima kelis įrenginius, sistemas ir diegimo atvejus, todėl kyla sąveikos tarp įrenginių, sukurtų skirtingų gamintojų, problema (Kraemer, 2017).

Dėl savo savybių didžiulis kiekis sveikatos priežiūros paslaugų duomenų atitinka reikalavimus (pagal tūrį, greitį ir įvairovę), dėl kurių juos galima laikyti didžiaisiais duomenimis (angl. *Big data*). Dideliu iššūkiu išlieka didžiųjų duomenų įvairovė bei šaltinių, formatų ir atributų heterogeniškumas (Aceto et al., 2020).

Jutikliai krašto sluoksnyje yra daugiau ar mažiau maitinami baterijomis. Išikvojus akumuliatorių, išsijungia ir jutiklių mazgai, kurie yra labai svarbūs sistemos darbui skubios sveikatos priežiūros atvejais (Naresh et al., 2020).

Naudotojų ar transporto priemonių mobilumo scenarijų įgyvendinimo problemų kyla, kai vykdomos programos būseną ar visa programa turi būti perkelta tarp skirtingų rūko kompiuterijos įrenginių (Badidi et al., 2020).

Duomenų saugumo užtikrinimo problemų gali kilti tam tikroje sistemos grandyje dėl techninės įrangos ar programos saugumo pažeidžiamumo. Įsilaužėliai gali pasisavinti nepakankamai apsaugotus pacientų duomenis ar pakenkti jų sveikatai (Fu et al., 2020).

Ateities kryptys. Atlikus apžvalginių mokslinių straipsnių apžvalgą buvo suformuluotos šios rūko kompiuterijos e. sveikatos srityje ateities kryptys:

- Telemedicinos integravimas į rūko kompiuteriją.
- Nuotolinės virtualios ligininės paslaugų teikimas.
- Visą parą dėvimų jutiklių duomenų apdorojimas.

- Recepto išdavimo ir vaistų pristatymo robotizavimas atsižvelgiant į paciento sveikatos duomenis.
- Sveikatos profilio sudarymas.
- Gydytojų ištaigos atliekamos anoniminės pacientų būklės analizė.
- Ne sveikatos duomenų naudojimas atliekant spėjimą ar prognozę.
- Išmaniųjų virtualių asistentų taikymas analizuojant asmeninius sveikatos duomenis.

Išvados

1. Nuo 2017 iki 2020 metų matomas tendencingas apžvalginių straipsnių publikavimo didėjimas, o tai rodo tematikos aktualumą. 2021 metai dar nesibaigė, todėl šis skaičius dar turėtų padidėti.
2. Atlikus straipsnių atranką ir išanalizavus atrinktus 38 pastarųjų 5 metų publikuotus apžvalginius straipsnius rūko kompiuterijos ir sveikatos priežiūros tematika, nustatytos aštuonios aktualiausios tematikos kryptys. Dažniausiai rašoma apie problemas ir iššūkius (28 autoriai), taikomas technologijas ir charakteristikas (23 autoriai), taikymo sritis (22 autoriai) ir duomenų apdorojimo uždavinius (12 autorių). Mažiausiai skiriama dėmesio egzistuojančiai teisei aplinkai ir politikai (2 autoriai), konkretiems sprendimams (4 autoriai), saugumui ir pažeidžiamumui (8 autoriai) bei ateities kryptims (9 autoriai).
3. Matoma tendencija, jog per paskutinius trejus metus pradėtos tirti naujos e. sveikatos rūko kompiuterijos tematikos kryptys: teisinė politika, konkretūs sprendimai bei ateities kryptys. Apie teisinę aplinką ir politiką per paskutinius dvejus metus nebebuvo rašoma.
4. Rūko kompiuterijos problemos e. sveikatos srityje apima standartizacijos trūkumą, kuris kyla dėl įrenginių įvairovės ir jų sąveikos, didžiųjų duomenų įvairovės bei šaltinių, formatų ir atributų heterogeniškumo, krašto sluoksnio jutiklių priklausomybės nuo elektros energijos, naudotojų ar transporto priemonių mobilumo scenarijų įgyvendinimo problemų, kai vykdomos programos būseną ar visa programa turi būti perkelta tarp skirtingų rūko kompiuterijos įrenginių ir, galiausiai, duomenų saugumo užtikrinimo problemų, kurių gali kilti tam tikroje sistemos grandyje dėl techninės įrangos ar programos saugumo pažeidžiamumo.
5. Suformuluotos rūko kompiuterijos e. sveikatos srityje ateities kryptys, kurios apima telemedicinos integravimą į rūko kompiuteriją, nuotolinės virtualios ligininės paslaugų teikimą, visą parą dėvimų jutiklių duomenų apdorojimą, recepto išdavimo ir vaistų pristatymo robotizavimą atsižvelgiant į paciento sveikatos duomenis, sveikatos profilio sudarymą, gydytojų ištaigos atliekamos anoniminės pacientų būklės analizę, ne sveikatos duomenų naudojimą atliekant spėjimą ar prognozę, išmaniųjų virtualių asistentų taikymą analizuojant asmeninius sveikatos duomenis.

Literatūra

- Aceto, G., Persico, V., & Pescapé, A. (2018). The role of Information and Communication Technologies in healthcare: taxonomies, perspectives, and challenges. *Journal of Network and Computer Applications*, 107, 125–154. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2018.02.008>
- Aceto, G., Persico, V., & Pescapé, A. (2020). Industry 4.0 and Health: Internet of Things, Big Data, and Cloud Computing for Healthcare 4.0. *Journal of Industrial Information Integration*, 18, 100129. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2020.100129>
- Anawar, M. R., Wang, S. G., Zia, M. A., Jadoon, A. K., Akram, U., & Raza, S. (2018). Fog computing: an overview of Big IoT data analytics. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2018, 7157192. <https://doi.org/10.1155/2018/7157192>
- Badidi, E., Mahrez, Z., & Sabir, E. (2020). Fog computing for smart cities' big data management and analytics: a review. *Future Internet*, 12(11), 190. <https://doi.org/10.3390/fi12110190>
- Basir, R., Qaisar, S., Ali, M., Aldwairi, M., Ashraf, M. I., Mahmood, A., & Gidlund, M. (2019). Fog computing enabling Industrial Internet of Things: state-of-the-art and research challenges. *Sensors*, 19(21), 4807. <https://doi.org/10.3390/s19214807>
- Behmanesh, A., Sayfour, N., & Sadoughi, F. (2020). Technological features of Internet of Things in medicine: a systematic mapping study. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2020, 9238614. <https://doi.org/10.1155/2020/9238614>
- Bonomi, F. (2019). *The edge – fog movement: a paradigm shift with many names*. <https://web.archive.org/web/20210117034005/https://www.nebbiolo.tech/2019/08/14/the-edge-fog-movement-a-paradigm-shift-with-many-names/>
- Cisco. (2015). *Cisco fog computing solutions: unleash the power of the Internet of Things* [White paper]. https://www.cisco.com/c/dam/en_us/solutions/trends/iot/docs/computing-solutions.pdf
- da Silva, C. A., & de Aquino, G. S. (2018). Fog computing in healthcare: a review. In *IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)* (pp. 1131–1136). Institute of Electrical and Electronics Engineers. <https://doi.org/10.1109/iscc.2018.8538671>
- Dang, L. M., Piran, M. J., Han, D., Min, K., & Moon, H. (2019). A survey on Internet of Things and cloud computing for healthcare. *Electronics*, 8(7), 768. <https://doi.org/10.3390/electronics8070768>
- Dash, S., Biswas, S., Banerjee, D., & Atta-Ur-Rahman. (2019). Edge and fog computing in healthcare – a review. *Scalable Computing: Practice and Experience*, 20(2), 191–205. <https://doi.org/10.12694/scpe.v20i2.1504>
- de Moura Costa, H. J., da Costa, C. A., da Rosa Righi, R., & Antunes, R. S. (2020). Fog computing in health: A systematic literature review. *Health and Technology*, 10(5), 1025–1044. <https://doi.org/10.1007/s12553-020-00431-8>
- de Prado, R. P., Garcia-Galan, S., Munoz-Exposito, J. E., Marchewka, A., & Ruiz-Reyes, N. (2020). Smart containers schedulers for microservices provision in cloud-fog-IoT networks. Challenges and opportunities. *Sensors*, 20(6), 1714. <https://doi.org/10.3390/s20061714>
- Dong, Y. D., & Yao, Y. D. (2021). IoT platform for COVID-19 prevention and control: a survey. *IEEE Access*, 9, 49929–49941. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3068276>
- Erhan, L., Ndubuaku, M., Di Mauro, M., Song, W., Chen, M., Fortino, G., Bagdasar, O., & Liotta, A. (2021). Smart anomaly detection in sensor systems: A multi-perspective review. *Information Fusion*, 67, 64–79. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2020.10.001>
- Escamilla-Ambrosio, P. J., Rodriguez-Mota, A., Aguirre-Anaya, E., Acosta-Bermejo, R., & Salinas-Rosales, M. (2018). Distributing computing in the Internet of Things: cloud, fog and edge computing overview. In *Neo 2016. Studies in Computational Intelligence* (Vol. 731, pp. 87–115). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-64063-1_4
- Forster, K. (2021). *Conversation with Flavio Bonomi. Podcast #139 Fog Man*. <https://www.momenta.one/insights/fog-man-flavio-bonomi>
- Fu, C., Lv, Q., & Badrnejad, R. G. (2020). Fog computing in health management processing systems. *Kybernetes*, 49(12), 2893–2917. <https://doi.org/10.1108/K-09-2019-0621>
- Gaber, M. M., Aneiba, A., Basurra, S., Batty, O., Elmisery, A. M., Kovalchuk, Y., & Rehman, M. H. U. (2019). Internet of Things and data mining: From applications to techniques and systems. *WIREs Data Mining and Knowledge Discovery*, 9(3), e1292. <https://doi.org/10.1002/widm.1292>
- Haouari, F., Faraj, R., & AlJa'am, J. M. (2018). Fog computing potentials, applications, and challenges. In *2018 International Conference on Computer and Applications (ICCA)* (pp. 399–406). Institute of Electrical and Electronics Engineers. <https://doi.org/10.1109/comapp.2018.8460182>
- Hartmann, M., Hashmi, U. S., & Imran, A. (2019). Edge computing in smart health care systems: Review, challenges, and research directions. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 1–25. <https://doi.org/10.1002/ett.3710>
- Hu, P. F., Dhelim, S., Ning, H. S., & Qiu, T. (2017). Survey on fog computing: architecture, key technologies, applications and open issues. *Journal of Network and Computer Applications*, 98, 27–42. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2017.09.002>
- Ibrahim, W. N. H., Selamat, A., Krejcar, O., & Chaudhry, J. (2018). Recent advances on fog health – a systematic literature review. In *New trends in intelligent software methodologies, tools and techniques* (Vol. 303, pp. 157–170). <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-900-3-157>
- Younan, M., Houssein, E. H., Elhoseny, M., & Ali, A. A. (2020). Challenges and recommended technologies for the industrial internet of things: A comprehensive review. *Measurement*, 151, 107198. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.107198>
- Javadzadeh, G., & Rahmani, A. M. (2020). Fog computing applications in smart cities: a systematic survey. *Wireless Networks*, 26(2), 1433–1457. <https://doi.org/10.1007/s11276-019-02208-y>
- Kaur, J., Agrawal, A., & Khan, R. A. (2020a). Security issues in fog environment: a systematic literature review. *International Journal of Wireless Information Networks*, 27(3), 467–483. <https://doi.org/10.1007/s10776-020-00491-7>
- Kaur, R., Pasricha, R., & Kaur, B. (2020b). A study of wireless body area networks and its routing protocols for healthcare environment. *Recent Advances in Electrical & Electronic Engineering*, 13(2), 136–152. <https://doi.org/10.2174/2352096512666190305152857>
- Kraemer, F. A., Braten, A. E., Tamkittikhun, N., & Palma, D. (2017). Fog computing in healthcare – a review and discussion. *IEEE Access*, 5, 9206–9222. <https://doi.org/10.1109/access.2017.2704100>
- McCann, J., Quinn, L., McGrath, S., & O'Connell, E. (2018). Towards the distributed edge – an IoT review. In *2018 12th International Conference on Sensing Technology (ICST)*

- (pp. 263–268). Institute of Electrical and Electronics Engineers. <https://doi.org/10.1109/icsenst.2018.8603663>
- McLamore, E. S., Datta, S. P. A., Morgan, V., Cavallaro, N., Kiker, G., Jenkins, D. M., Rong, Y., Gomes, C., Claussen, J., Vanegas, D., & Alocilja, E. C. (2019). SNAPS: sensor analytics point solutions for detection and decision support systems. *Sensors*, 19(22), 4935. <https://doi.org/10.3390/s19224935>
- Naresh, V. S., Pericherla, S. S., Murty, P. S. R., & Reddi, S. (2020). Internet of Things in healthcare: architecture, applications, challenges, and solutions. *Computer Systems Science and Engineering*, 35(6), 411–421. <https://doi.org/10.32604/csse.2020.35.411>
- Nazir, S., Ali, Y., Ullah, N., & Garcia-Magarino, I. (2019). Internet of Things for healthcare using effects of mobile computing: a systematic literature review. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2019, 5931315. <https://doi.org/10.1155/2019/5931315>
- Obaidat, M. A., Obeidat, S., Holst, J., Al Hayajneh, A., & Brown, J. (2020). A comprehensive and systematic survey on the Internet of Things: security and privacy challenges, security frameworks, enabling technologies, threats, vulnerabilities and countermeasures. *Computers*, 9(2), 44. <https://doi.org/10.3390/computers9020044>
- Sadri, A. A., Rahmani, A. M., Saberikamarposhti, M., & Hosseinzadeh, M. (2021). Fog data management: A vision, challenges, and future directions. *Journal of Network and Computer Applications*, 174, 102882. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2020.102882>
- Saheb, T., & Izadi, L. (2019). Paradigm of IoT big data analytics in the healthcare industry: A review of scientific literature and mapping of research trends. *Telematics and Informatics*, 41, 70–85. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2019.03.005>
- Silva, F. S. D., Silva, E., Neto, E. P., Lemos, M., Neto, A. J. V., & Esposito, F. (2020). A taxonomy of DDoS attack mitigation approaches featured by SDN technologies in IoT scenarios. *Sensors*, 20(11), 3078. <https://doi.org/10.3390/s20113078>
- Swamy, S. N., & Kota, S. R. (2020). An empirical study on system level aspects of Internet of Things (IoT). *IEEE Access*, 8, 188082–188134. <https://doi.org/10.1109/access.2020.3029847>
- Tayeb, S., Latifi, S., & Kim, Y. (2017). A survey on IoT communication and computation frameworks: an industrial perspective. In *2017 IEEE 7th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC)* (pp. 1–6). Institute of Electrical and Electronics Engineers. <https://doi.org/10.1109/ccwc.2017.7868354>
- Thurston, K. H., & de Leon, D. C. (2018). The healthcare IoT ecosystem advantages of fog computing near the edge. In *2018 IEEE/ACM International Conference on Connected Health: Applications, Systems and Engineering Technologies (CHASE)* (pp. 51–56), Washington, DC, USA. <https://doi.org/10.1145/3278576.3278595>
- Vilela, P. H., Rodrigues, J. J. P. C., Righi, R. D., Kozlov, S., & Rodrigues, V. F. (2020). Looking at fog computing for e-health through the lens of deployment challenges and applications. *Sensors*, 20(9), 2553. <https://doi.org/10.3390/s20092553>
- Wani, U. I., Batth, R. S., & Rashid, M. (2019). Fog computing challenges and future directions: a mirror review. In *2019 International Conference on Computational Intelligence and Knowledge Economy (ICCIKE' 2019)* (pp. 765–769). Institute of Electrical and Electronics Engineers. <https://doi.org/10.1109/iccike47802.2019.9004428>

FOG COMPUTING TECHNOLOGIES FOR PATIENT SENSOR NETWORKS – TRENDS, ISSUES AND FUTURE DIRECTIONS

M. Kazlauskas

Abstract

Advances in sensors and internet of things promise broad opportunities in many areas and one of them is health care. There are many solutions to manage health care data based on cloud computing. However, high response latency, large volumes of data transferred and security are the main issues of such approach. Fog computing provides immediate response and ways to process large amounts of data using real time analytics which includes machine learning and AI. Fog computing has not yet fully matured and there are still many challenges when managing health care data. It was chosen to investigate the most relevant e-health fog computing topics by analyzing review articles to explain the fog computing model and present the current trends – fog computing e-health technology application environments, deployment cases, infrastructure technologies, data processing challenges, problems and future directions. 38 scientific review articles published in the last 5 years were selected for analysis, filtering the most significant works with Web of Science article search tool.

Keywords: fog computing, internet of things, health care, review.