

UNIVERSITETI I MITROVICËS “ISA BOLETINI”
FAKULTETI I INXHINIERISË MEKANIKE DHE KOMPJUTERIKE
DEPARTAMENTI: INFORMATIKË INXHINIERIKE



PUNIM DIPLOME

Mentori
Prof.Ass. Dr. Muzafer Shala

Kandidati
Xhelal Arifi

Mitrovicë, shtator, 2020

UNIVERSITETI I MITROVICËS “ISA BOLETINI”
FAKULTETI I INXHINIERISË MEKANIKE DHE KOMPJUTERIKE
DEPARTAMENTI: INFORMATIKË INXHINIERIKE



PUNIM DIPLOME

Edge Computing - Network Design

Mentor
Prof.Dr. Muzafer Shala

Kandidati
Xhelal Arifi

Mitrovicë, Shtator, 2020

FALENDERIME DHE MIRËNJOHJE

Falënderojë mentorin tim në këtë punim të temës së diplomës Prof.Ass.Dr.Muzafer Shala për gatishmërinë, inkurajimin, mbështetjen e pakursyer rreth punimit të kësaj teme të diplomës dhe për këshillat e tij gjatë këtyre tri viteve të studimit tim në universitet. Finalizimi me sukses i këtij punimi nuk do të kishte qenë i mundur pa ndihmën dhe përkrahjen e tij.

Shprehë mirënjohje dhe një falënderim të madh edhe për gjithë stafin e Universitetit Publik të Mitrovicës, Fakultetin e Inxhinierisë Mekanike dhe Kompjuterike dhe në veçanti profesorët e departamentit të Informatikës Inxhinierike të cilët me korrektësi më kanë ligjëruar dhe te cilët kanë dhënë një kontribut të madh në arritjet dhe zhvillimin tim profesional.

DEKLARATA E ORGJINALITETIT / AUTORËSISË

Me anën e kësaj deklarate dëshmojë se punimi im nuk është botuar më herët në ndonjë universitet apo institucion tjetër akademik dhe deklarojë qartë që unë kam respektuar në përpikëri autorësinë e secilit autor apo institucioni tjetër duke iu referuar në punimin tim informacioneve që ata kanë poseduar.

Po ashtu njoftojë që kam respektuar rregullat themelore akademike dhe shkencore të Universitetit të Mitrovicës “Isa Boletini” për punimin e temës së diplomës.

PËRMBAJTJA

FALENDERIME DHE MIRËNJOHJE	3
DEKLARATA E ORGJINALITETIT / AUTORËSISË	3
LISTA E FIGURAVE.....	6
LISTA E SHKURTESAVE.....	7
ABSTRAKT	8
1. HYRJE.....	9
1.1 Edge Computing dhe rëndësia e saj	9
2 ÇFARË ËSHTË EDGE COMPUTING.....	Error! Bookmark not defined.
3 PSE KA RËNDËSI EDGE COMPUTING DHE CILAT JANË AVANTAZHET E SAJ	12
3.1 Teknologjia 5G.....	13
3.2 Avantazhet e teknologjisë Edge Computing	14
3.2.1 Përfitimet e Edge Computing për biznesin	14
4 ARKITEKTURA E EDGE COMPUTING DHE TRENDET E REJA CLOUD TO EDGE.....	17
4.1 Nivelet e Edge Computing	17
4.2 Arkitektura e Cloud Computing.....	21
4.3 Llojet e Arkitekturave	27
4.4 Përmbledhje e koncepteve të arkitekturë	28
4.5 Kërkesat për arkitekturën e Edge Computing	29
4.5.1 Mundësit e arkitekturës së Edge Computing	32
4.5.2 Dizajnimi i arkitekturës.....	33
4.6 Arkitektura e Edge Computing – Rasti IBM.....	35
4.6.1 Paisjet dhe Serverët Edge.....	35
4.6.2 Arkitektura e Edge Computing	38

4.7	Qytetet e zgjeruara janë mundësuar nga Edge Computing	39
4.7.1	Avancimet e fundit.....	42
5	SI PO SJELL EDGE COMPUTING NJË EPOKE TË RE TË CDN	47
5.1	Përmbledhje e Cloud computing dhe multi-CDN	47
5.2	Interneti, një pengesë e performancës	48
5.3	Parimet e “application delivery”	48
5.4	Nevoja për multi-CDN	49
5.5	Aplikimet në Edge Computing do të jenë norma e re	50
6	EDGE COMPUTING DHE 5G	Error! Bookmark not defined.
7	PRIVATËSIA DHE SIGURIA NË EDGE COMPUTING	53
	PËRFUNDIMI	55
	LITERATURA	56

LISTA E FIGURAVE

Figura 1 Si punon Edge Computing (Burimi: Network World / IDG).....	117
Figura 2 Augmented Reality (Realiteti i shtuar, i zmadhuar. Burimi: hospitalitytech.com)	162
Figura 3 Llojet e pajisjeve dhe marrëdhënia e tyre me gjërat fizike (Burimi: ITU-T Përpunuar nga Xh.Arifi).....	195
Figura 4 Fog Computing (Burimi: Stallings, 2016).....	206
Figura 5 Edge Computing, Fog Computing & Cloud Computing (Burimi: JOSEPH T.C.G)	Error! Bookmark not defined. 7
Figura 6 Shtesa e shtuar e Edge në komunikimin deri tek Cloud.....	228
Figura 7 Arkitektura Inteligjente e Shprendarë (Burimi: Edge Computing Consortium (ECC) and Alliance of Industrial Internet (AII)).....	30
Figura 8 Platforma e hapur e Edge Computing (Burimi: Edge Computing Consortium (ECC) and Alliance of Industrial Internet (AII)).....	2531
Figure 9 Disa shembuj të përdorimit të Cloud Computing.....	2632
Figure 10 Edge Computing ndërmjet pajisjeve fundore dhe Cloud (Burimi: Edge Computing Consortium (ECC) and Alliance of Industrial Internet (AII))	284
Figura 11 Funkcionet kryesore të propozuara për një server Edge.....	40
Figura 12 Pajisjet edge, kubernetes (Edge Serverat e IBM) dhe mjedisi i ndermarrjes (Burimi: IBM.com).....	3542
Figura 13 Arkitektura e nivelit të lartë e Edge Computing (Burimi: IBM.com)	3643
Figura 14 Arkitektura refernciale e Edge Computing sipas IBM (Burimi: ibm.com).....	385
Figura 15 Pamje e përgjithshme e asaj se si Edge Computing i mundëson Qytetet e Zgjuara (Burimi: Edge Computing Enabled Smart Cities: A Comprehensive Survey).....	417

LISTA E SHKURTESAVE

AR – Augmented Reality | Realiteti i shtuar

AI - Artificial Intelligence

AII - Alliance of Industrial Internet

AMQP- Advanced Message Queuing Protocol | Protokolli i Renditjes së Avancuar të Mesazheve

API - Application programming interface | Ndërfaqja e Programimit të Aplikacioneve

CDN - Content Delivery Network

ECC - Edge Computing Consortium

GPU - Graphical Processing Unit | Njësia e procesimit grafik

ML - Machine Learning | Të mësuarit e makinave

MQTT - MQ Telemetry Transport

IAR - Industrial Augmented Reality

ICMP - Internet Control Message Protocol

IDC - International Data Corporation

IMCS - Intelligent manhole cover management system

RFID - Radio Frequency Identification | Radio-Frekuencës së Identifikimit

RUM - Real user monitoring

RTT - Round-trip delay time

OT /TO - Operative technology | Teknologji operative

OPC-UA - Object Linking and Embedding for Process Control Unified Architecture

QoS - Quality of Service | Cilësia e shërbimeve

QoE - Quality of Experience | Cilësia e përvojave

SaaS - Software as a Service | Softueri si shërbim

SDVN - Software Defined Vehicular Networks

VM - Virtual Machine | Makina Virtuale

VPN - Virtual Private Network

VR – Virtual Reality | Realiteti virtual

TTFB - Time to first byte | Koha deri në bitin e parë

WSN - Wireless sensor network

ABSTRAKT

Cloud Computing, IoT, Veturat autonome, Industria e digjitalizuar, Sistemi shëndetësorë i digjitalizuar, paraqitja e rrjetit 5G, shtëpitë e zgjuara dhe qytetet e zgjuara janë të gjitha fusha të reja të cilat me popullaritet të ndryshëm po vazhdojnë të përdoren e të përhapen masovikisht nëpër botë. Bizneset dhe qytetarët tashmë kanë pritje të larta të performancës në kohë rekorde. E në anën tjetër të dhënat që duhet të përpunohen janë vazhdimisht e më të mëdha.

Më të përhapurat nga teknologjitë janë edhe Cloud Computing dhe IoT. Cloud computing po përdoret shumë për disa vite për qëllime të ndryshme. Nga detyrat e përditshme, të tilla si leximi i postave elektronike, shikimi i videove deri në automatizimin e industrisë dhe kontrollimin e pajisjeve. Numri i shtuar i pajisjeve të lidhura në internet në të gjithë këtë ekosistem kompleks po sjell probleme të tilla si Cilësia e ulët e Shërbimit, për shkak të burimeve të kufizuara të infrastrukturës dhe latencës së lartë, ngase në përgjithësi kapacitetet e rrjetave ekzistuese janë të kufizuara në bandwidth.

Tendenca aktuale për të zgjidhur problemet që ka Cloud computing ka përqafuar si zgjidhje që llogaritjet të kryhen sa më pranë pajisjeve fundore, qofshin klientë, biznes apo sensorë të ndryshëm. Kjo paradigmë quhet Edge Computing. Ekzistojnë disa arkitektura të propozuara për Edge Computing, dhe ende është duke u punuar që të krijohet një standard i pranuar nga i gjithë komuniteti ose industria. Në këtë punim, ne përshkruajmë Edge Computing, shpjegojmë se si duket arkitektura e tij, cilat janë kërkesat e tij dhe kush e mundëson Edge Computing. Kemi sjellë avantazhet e përdorimit të Edge Computing. E gjithashtu edhe karakteristikat kryesore që një server Edge duhet t'i mbështesë.

Kemi shpalosur tendencat Cloud to Edge dhe gjithashtu ndërlidhjet e multi-CDN me Edge computing. Kemi përfshi edhe një mori shembujsh të rolit të Edge Computing në krijimin dhe funksionimin e qyteteve të zgjuara. Për të mos lënë anash as ndërlidhjet me 5G.

Fjalë kyçe – Edge Computing; Kërkesat; Arkitektura e Edge Computing; Cloud Computing, IoT, 5G, Smart Cities.

1. HYRJJE

1.1 Edge Computing dhe rëndësia e saj

Me vendosjen e pajisjeve IoT dhe ardhjen e teknologjisë së rrjetit të shpejtë wireless 5G, vendosja e pajisjeve kompjuterike dhe sistemeve analitike afër vendit ku krijohen të dhënat ka krijuar të gjitha parakushtet për Edge Computing (apo përlogaritjen në skaj). Pra Edge Computing është përpunim apo përlogaritje kompjuterike e të dhënave në skajet e teknologjisë, mu afër burimit ku krijohen ato të dhëna.

Edge Computing është duke shndërruar mënyrën e trajtimit të të dhënave, mënyrën e përpunimit të tyre dhe shpërndarjes nga miliona pajisje në të gjithë botën. Rritja me ritme shpërthyesë e pajisjeve të lidhura me internetin apo siç njihen IoT - së bashku me aplikacionet e reja që kërkojnë fuqi llogaritëse në kohë reale, vazhdon të drejtojë të gjitha zhvillimet e sistemeve informatike. Teknologjitë më të shpejta të rrjetit, të tilla si wireless 5G, po lejojnë që sistemet e informatikës Edge Computing të përshpejtojnë krijimin dhe mbështetjen e aplikacioneve që procesojnë të dhëna në kohë reale, të tilla si përpunimi i videove, analitikët, veturat autonome vetë-drejtuese, inteligjenca artificiale, robotika, e shumë të tjera. Ndërsa qëllimet e hershme të Edge Computing ishin të adresonin kostot e bandwidth-it i cili humbte në distanca të mëdha, humbje të cilat u bene me te medha edhe për shkak të rritjes pajisjeve IoT të kyçura në rrjet.

Por rritja eksponenciale e pajisjeve IoT dhe aplikacioneve që lidhen me internetin në cloud dhe të cilat gjenerojnë sasi të mëdha të të dhënave gjatë veprimtarisë së tyre e bëri të domosdoshme Edge Computing. Prandaj kjo temë bashkëkohore dhe tejet e rëndësishme në kuptimin e afektimit të teknologjisë, të biznesve, industrisë dhe të vet qyteteve duket të jetë shumë e dobishme për ne si student të cilët do të ballafaqohemi në realitet me zgjidhjen e problemeve të ngjashme. Prej qëllimeve dhe objektivave të temës është sqarimi i asaj se çfarë është edge computing, rëndësia dhe avantazhet e kësaj teknologjie, arkitektura e Edge Computing. Do të përzgjidhen disa mjedise ku do të trajtohet konteksti i aplikimit të kësaj teknologjije, si CDN, mjediset armiqësore, qytetet e zgjuara (smart cities), IoT dhe 5G.

Këto janë disa nga përdorimet dhe mënyrat më të favorshme për të paraqitur këtë temë në mënyrë interesante dhe të dobishme. Ne do të tentojmë të sjellim dritë edhe tek çështja e privatësisë dhe sigurisë.

2 ÇFARË ËSHTË EDGE COMPUTING

Definicionet e Edge Computing janë të ndryshme në detale por ne do të përmbledhim disa prej definicioneve që kanë më shumë të përbashkëta mes vete.

Edge computing është një arkitekturë e shpërndarë dhe e hapur e IT që përmban fuqi përpunimi e cila është e decentralizuar, kjo teknologji mundëson funksionimin e telefonisë celulare dhe teknologjitë e pajisjeve të klasifikuara si Internet of Things (Interneti i Gjërave - IoT). Në Edge Computing , të dhënat përpunohen nga vetë pajisja ose nga një kompjuter lokal apo server, në vend që të transmetohen në një qendër të dhënash [7].

Edge computing është një kornizë kompjuterike e shpërndarë që afron aplikacionet e ndërmarrjes më afër burimeve të të dhënave, siç janë në këtë rast pajisjet e IoT ose serverat lokal të vendosur në skajin më të afërm me përdoruesin. Kjo afërsi me burimin e të dhënave mund të japë përfitime reale për bizneset: si pasqyra më të shpejta me rezultate të sakta, koha e reagimit dhe përmirësimit të gjërave është shumëfish më e shpejtë dhe disponueshmëria e bandwidthit në rrjet është shumë herë më e mirë [8].

Edge computing është një paradigmë kompjuterike e shpërndarë e cila sjell llogaritjen (eng. computing) dhe ruajtjen e të dhënave më afër vendndodhjes ku është e nevojshme, për të përmirësuar kohën e reagimit dhe për të ruajtur bandwidth-in. Origjina e Edge Computing qëndron në rrjetet e shpërndarjes së përmbajtjes (eng. Content Delivery Networks) që u krijuan në fund të viteve 1990 për të shërbyer përmbajtje dhe video në internet nga serverët që ishin vendosur afër përdoruesve. Në fillim të viteve 2000, këto rrjete evoluuan duke hostuar aplikacione dhe përbërës të aplikacionit në serverat Edge, duke rezultuar kështu në shërbimet e para komerciale të Edge Computing. Këto shërbime hostonin aplikacione të tilla si gjetësit e lokacionit të biznesëve, karrocet e blerjeve, grumbulluesit e të dhënave në kohë reale, dhe motorët e reklamave. Teknologjia moderne Edge Computing në mënyrë të konsiderueshme e shtrin këtë qasje përmes teknologjisë së virtualizimit që e bëjnë më të lehtë vendosjen dhe drejtimin e një game më të gjerë të aplikacioneve në serverat Edge [6].

Pra nga ajo që kuptuam më sipër, në nivelin bazë, Edge Computing e sjell llogaritjen dhe ruajtjen e të dhënave më afër pajisjeve ku grumbullohen të dhënat, në vend që të mbështeteni në një vendndodhje qendrore që mund të jetë mijëra kilometra larg. Kjo është bërë në mënyrë që të dhënat, veçanërisht të dhënat në kohë reale, të mos pësojnë vonesa që mund të ndikojnë në performancën e një aplikacioni. Për më tepër, kompanitë mund të kursejnë para duke e bërë

përpunimin në vend, duke zvogëluar sasinë e të dhënave që duhet të përpunohen në një vendndodhje të centralizuar ose të bazuar në Cloud (shq. re).

Edge Computing u zhvillua për shkak të rritjes eksponenciale të pajisjeve IoT, të cilat lidhen me internetin ose për të marrë informacion nga cloud ose për kthyer të dhëna prapa në cloud. Dhe shumë pajisje IoT gjenerojnë sasi të mëdha të të dhënave gjatë veprimtarisë së tyre.

Mendoni për pajisjet që monitorojnë pajisjet e prodhimit në fabrikë, ose një video kamerë të lidhur në internet që dërgon pamjet live nga një zyrë në distancë. Ndërsa një pajisje e vetme që prodhon të dhëna mund t'i transmetojë ato nëpër një rrjet mjaft lehtë, problemet shfaqen kur numri i pajisjeve që transmetojnë të dhëna në të njëjtën kohë rritet në mënyrë eksponenciale. Në vend që një video kamerë të transmetojë pamjet e drejtpërdrejta, shumëzoheni atë me qindra ose mijëra pajisje të tilla kur transmetojnë të dhëna të ngjashme. Jo vetëm që cilësia do të vuajë për shkak të latencës, por kostot në bandwidth mund të jenë të jashtëzakonshme.

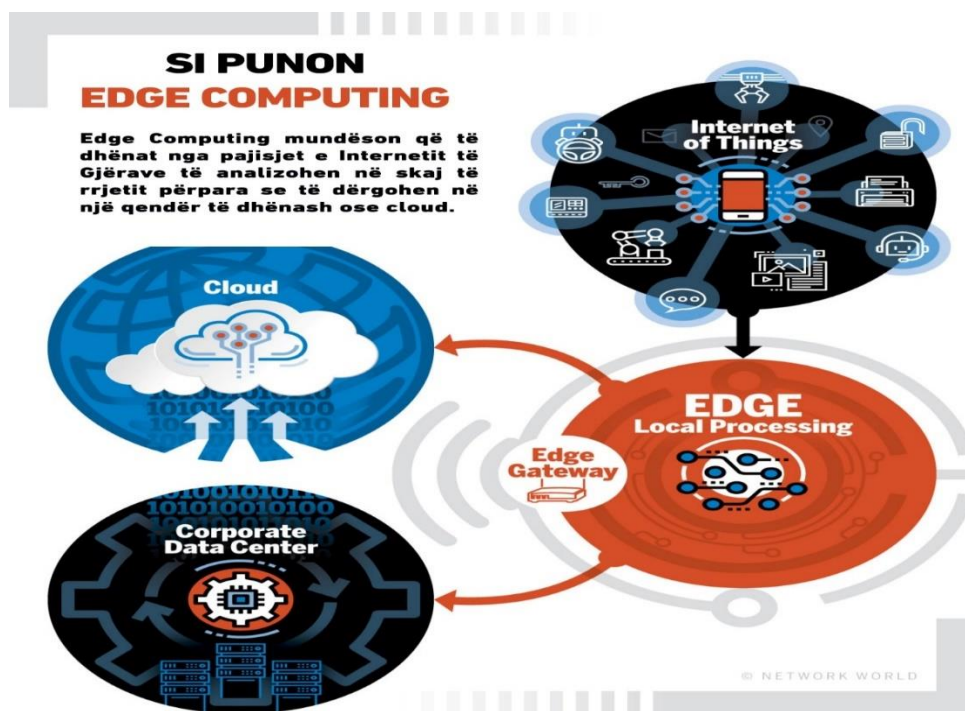


Figura 1 Si punon Edge Computing (Burimi: Network World / IDG)

Pajisjet dhe shërbimet e Edge Computing ndihmojnë në zgjidhjen e këtij problemi duke qenë një burim lokal i përpunimit dhe ruajtjes së të dhënave për shumë prej këtyre sistemeve.

Një edge gateway, për shembull, mund të përpunojë të dhënat nga një pajisje Edge, dhe pastaj të dërgojë vetëm të dhënat përkatëse në cloud, duke zvogëluar nevojat e brezit të transmetimit (eng. Bandwith). Ose mund të përdoret për të kthyer të dhëna përsëri në pajisjen Edge në rast të nevojave të aplikimit në kohë reale.

Këto pajisje Edge mund të përfshijnë shumë gjëra të ndryshme, të tilla si një sensor i një IoT, një laptop, një smartphone i gjeneratës së fundit, një kamerë e sigurisë apo edhe një furrë me mikrovalë e lidhur në internet në dhomën e pritjes në një zyrë biznesi. Vetë edge gateway konsiderohen pajisje shtesë brenda një infrastrukture Edge Computing [12].

3 PSE KA RËNDËSI EDGE COMPUTING DHE CILAT JANË AVANTAZHET E SAJ

Për shumë kompani, kursimi i kostos vetëm mund të jetë një shtysë drejt vendosjes së një arkitekture të Edge Computing. Kompanitë që përqafuan cloud-in për shumë prej aplikacioneve të tyre mund të kenë zbuluar se kostot në bandwidth ishin shumë më të larta se sa prisnin. Sidoqoftë, gjithnjë e më shumë, përfitimi më i madh i Edge Computing është aftësia për të përpunuar dhe ruajtur të dhënat më shpejt, duke mundësuar aplikime më efikase në kohë reale, elemente këto që janë kritike për kompanitë. Para Edge Computing, një smartphone që skanon fytyrën e një personi për njohjen e fytyrës do të duhet të drejtojë algoritmin për njohjen e fytyrës përmes një shërbimi të bazuar në Cloud, i cili do të marrë shumë kohë për t'u përpunuar. Me një model të Edge Computing, algoritmi mund të funksionojë lokalisht në një server edge apo në një gateway edge, apo edhe në vetë smartfonin, duke pasur parasysh fuqinë në rritje të telefonave smart. Aplikacione të tilla si Virtual Reality (shq. realiteti virtual) dhe Augmented Reality, veturat vet-drejtuese, qytetet smart dhe madje edhe sistemet e automatizimit të ndërtesave kërkojnë përpunim dhe përgjigje të shpejtë.

"Edge Computing ka evoluar në mënyrë të konsiderueshme nga ditët e para të tij, thotë Kuba Stolarski, drejtor kërkimi në IDC, në "Parashikimet e infrastrukturës botërore të Edge (Compute and Storage) 2019-2023". Ai thotë "me ndërlidhshmëri të përmirësuar që mundëson qasje të përmirësuar në aplikacionet Edge, dhe me mundësitë e përdorimit në raste të reja të IoT dhe

aplikacioneve tjera, infrastruktura e Edge është përgatitur të jetë një nga motorët kryesorë të rritjes në tregun e serverave dhe të sistemeve të ruajtjes së të dhënave për dekadën e ardhshme dhe më shumë. "

Kompanitë si NVIDIA e kanë konfirmuar nevojën për më shumë kapacitete procesuese në Edge, kjo është arsyeja pse ne po shohim të ndërtohen vazhdimisht module të reja të sistemit që përfshijnë funksionimin e inteligjencës artificiale. Moduli më i fundit i kompanisë Jetson Xavier NX, për shembull, është më i vogël se një kartë krediti dhe mund të vendoset në pajisje më të vogla si drona, robotë dhe pajisje mjekësore. Algoritmet e AI kërkojnë sasi të mëdha të fuqisë përpunuese, kjo është arsyeja pse shumica e tyre drejtohen përmes shërbimeve cloud.

3.1 Teknologjia 5G

Në të gjithë botën janë duke u vendosur teknologji të rrjetave pa tel 5G, të cilat premtojnë përfitimet e një bandwidthi të lartë me humbje të ulët për aplikacionet, duke i mundësuar kompanive dhjetrafishojnë apo qindrafishojnë kapacitetin e bandwidthit. Në vend që të ofrojnë vetëm shpejtësi më të shpejtë dhe t'u thonë kompanive të vazhdojnë përpunimin e të dhënave në Cloud, shumë kompani janë duke punuar strategji të përpunimit të dhënave Edge duke përfituar nga avantazhet e vendosjet së rrjetit 5G, në këtë mënyrë po ofrohet një përpunim më i shpejtë në kohë reale, veçanërisht për pajisjet mobile, veturat e lidhura në rrjet dhe veturat e vetë-drejtuara.

Në raportin e tij të fundit "Trendet e 5G, IoT dhe Edge Computing", Futurion shkruan se 5G do të jetë një katalizator për teknologjinë e Edge Computing. "Aplikacionet që përdorin teknologjinë 5G do të ndryshojnë modelet e kërkesës së trafikut, duke siguruar driverin më të madh për Edge Computing në rrjetat mobile celulare," shkruan Futurion. Ajo citon aplikacionet që kanë latencë të ulët që përfshijnë analitikët e pajisjeve IoT, Machine Learning, Virtual Reality, veturat autonome, të gjitha këto "kanë karakteristika të reja të bandwidthit dhe të latencës, gjë që e kërkon mbështetje nga infrastruktura e Edge Computing".

Është e qartë se ndërsa qëllimi fillestar për Edge Computing ishte të zvogëlojë kostot e bandwidthit për pajisjet IoT për komunikimin e të dhënave në distanca të gjata, rritja e aplikacioneve me kohë reale që kërkojnë aftësi lokale të përpunimit dhe ruajtjes së të dhënave do ta çojnë teknologjinë shumë më përpara gjatë viteve të ardhshme [12].

3.2 Avantazhet e teknologjisë Edge Computing

3.2.1 Përfitimet e Edge Computing për biznesin

Edge Computing për biznesin mund të rrisë shpejtësinë e përpunimit dhe analizimit të të dhënave. Interneti i Gjërave (IoT) pritet të rritet ndjeshëm, parashikohet të arrijë në rreth 1.6 bilion dollarë deri në vitin 2025. Teknologjia Edge mund të ndihmojë në përpunimin e sasive të bollshme të të dhënave që do të prodhojë kjo rritje në pajisjet e IoT. Për shkak se Edge Computing përpunon të dhënat në vendin ku gjenerohen të dhënat, i ruan ato, i përpunon, i analizon dhe i informon përdoruesit në çast për veprimet e nevojshme.

Përfitimet e *Edge Computing* mbi *Cloud computing* janë shpejtësia me të cilën analizohen dhe veprohet me të dhënat. Prej avantazheve të Edge Computing janë si më poshtë:

Shkallëzueshmëria (Eng. Scalability) - Ndoshta një nga avantazhet më të nënvlerësuara të Edge Computing është në shkallëzueshmërinë që ofron.

Ndërmarrjet janë mbështetur tradicionalisht në qendrat e të dhënave të dedikuara, të krijuara enkas për to. Sidoqoftë, ato nuk mund të përfaqësojnë gjithmonë vlerë të mirë, veçanërisht kur merren parasysh kostot e larta të vendosjes dhe mirëmbajtjes. Rritja gjithashtu mund të jetë e kufizuar, pasi ndërmarrjet janë të rrënjosura në qendrat e të dhënave dhe kështu mungojnë në përmirësimet teknologjike. Edge computing është në gjendje të lidh pajisjet e IoT me mikro qendrat e të dhënave, duke mundësuar shkallëzueshmërinë dhe shkathtësinë e domosdoshme për të siguruar që ato të mbeten një alternative më pak e kushtueshme për qendrat e dedikuara të të dhënave.

Mikro Qendrat e të dhënave mund të zmadhohen lehtësisht për të akomoduar pikat kulmore të ngarkesave të punës që vijnë si rezultat i rritjeve të paplanifikuara të aktivitetit të përdoruesit fundorë, ose adresojnë nevojën për të zhvilluar, testuar dhe vendosur përdorime të reja. Pasi një qendër e të dhënave të shfrytëzohet plotësisht, një tjetër qendër mund të vendoset në të njëjtë strukturë, në varësi të përshtatshmërisë së hapësirës së zyrës. Natyra e tyre e standardizuar e parafabrikuar siguron që ato mund të integrohen pa probleme [3].

Interoperabiliteti (Ndërveprimi) - Investimi në Edge Computing mundëson që sistemet ekzistuese të trashëguara të mos jenë vjetëruar. Pajisjet Edge mund të veprojnë si një urë lidhëse midis trashëgimisë dhe makinave moderne, duke kanalizuar komunikimin për të lejuar që të dy llojet të mbeten të dobishme në biznes. Edge Computing e vendosi emrin e saj në vektorët industrialë, dhe është këtu që kjo dobi të përjetohet me shumë dëshirë.

Ende ka punë për tu siguruar që Edge Computing të komunikojnë pastër me pajisjet e trashëguara nga e kaluara dhe makinat moderne. Kjo është identifikuar si një çështje dhe gjithashtu një mundësi përfitimi shumë e rëndësishme nga zhvilluesit. Qëllimi i zhvillimit është të krijojmë ndërfaqe më të hapura, të cilat karakterizohen nga përshtatshmëria dhe aplikimi i gjërë [3].

Edge Computing mundëson marrjen e përfitimeve edhe të resurseve lokale edhe të Cloud - Edge Computing po bëhet parësore për bizneset që duan efikasitet nga Cloud Computing- siç janë zvogëlimi i shpenzimeve operative dhe reaktiviteti dinamik ndaj kushteve të tregut - ndërkohë që përfitojnë nga resurset lokale, të cilat kërkohen për aplikacione që kanë latencë ultra të ulët dhe gjithashtu edhe për aplikacionet që duhet të ekzekutohen në qendrën e të dhënave ose në afërsi për shkak të elementeve të sigurisë ose performancës. - Thotë Mark Price.

Përmirësimi i Performancës së Pajisjeve Shëndetësore dhe Menaxhimi i të Dhënave - Edge Computing e ndihmon jashtëzakonisht shumë infrastrukturën e IT të kujdesit shëndetësor. Edge Computing ndihmon për të parandaluar problemet e vonesave dhe performancës së dobët të aplikacioneve që shërbejnë për menaxhimin e pajisjeve mjekësore. Në vend që të mbështeteni në një qendër të centralizuar të të dhënave, përpunimi kritik i të dhënave të kujdesit shëndetësor mund të lokalizohet dhe në të njëjtën kohë të rritet siguria, të marrim përgjigje më të shpejta dhe të bëjmë transmetim më të efektshëm të të dhënave. Thotë Archie Agarwal, ThreatModeler Software, Inc.

Diagnostifikimi dhe trajtimi më i mirë mjekësor - Pajisjet mjekësore IoT në Edge mund të ndihmojnë në zbulimin e ndryshimeve jonormale më shpejt dhe më herët. Kjo do të çonte në reagimin në kohë më të shpejtë dhe në rritjen e aftësive të mjekëve për të siguruar diagnostikim dhe trajtim më të shpejtë. Me pajisje që monitorojnë aktivitetin fiziologjik të njeriut e të cilat vishen në trup, ruajtja dhe përpunimi i të dhënave nga sensorët e tyre po bëhet më i lirë. Imagjinoni se çfarë avantazhi mund të ofrojnë kombinimi i këtyre teknologjive në ndryshimin e botës duke e

larguar atë nga trajtimi reaktiv siç bëhet aktualisht, në një trajtim të parashikuar përmes inteligjencës artificiale - thotë - Jason Lau, Crypto.com

Ja edhe disa mënyra se si mund të transformohet një biznes në ditët në vijim:

Analiza e të dhënave në kohë reale - Të dhënat normalisht dërgohen në një vendndodhje qendrore në mënyrë që të mund të analizohen me qëllim që të ndërmerren veprimet e duhura. Sidoqoftë, Edge Computing lejon që analiza e të dhënave të bëhet pranë zonës ku janë krijuar të dhënat. Me teknologjinë Edge, të dhënat mund të mbahen sa më afër pikës së tyre të origjinës, e cila është optimale për marrjen e vendimeve gati në kohë reale [5].

Augmented Reality (Realiteti i shtuar ose i zmadhuar) - Edge Computing ka shansin të përmirësojë Augmented Reality. Përdoruesit do të fitojnë një përvojë më të gjallë dhe më realiste me elemente të shtuara për kuptimin e gjërave. Duke përfituar nga kjo teknologji me kohë, firmat e teknologjisë mund të jenë nga të parat që ofrojnë këtë përvojë të azhurnuar për klientët e tyre.



Figura 2 Augmented Reality (Realiteti i shtuar, i zmadhuar. Burimi: hospitalitytech.com)

Prodhimtaria SMART - Kompanitë prodhuese mund të përmirësojnë prodhimin me teknologjinë e Edge. Me analizën e të dhënave pothuajse në kohë reale, ju ndihmon në përmirësimin e efikasitetit dhe margjinave të prodhimit / fitimit. Kompanitë mund të ndihmohen në evitimin e

mbylljes së linjave duke identifikuar problemet me kohë ngaqë Edge Computing mundëson analizën e të dhënave të mbledhura në kohë tejet të përshtatshme.

Sistemet e sigurisë - Organizatat e mëdha kanë nevojë për sisteme të shpejta dhe të sakta të sigurisë për të ndihmuar në ruajtjen e informacionit dhe mbajtjen e ndërtesave të tyre të sigurta. Edge Computing i bën sistemet e sigurisë më efikase kur veprojnë në një bandwidth të ulët. Të dhënat nga kamerat e sigurisë shpesh mbledhen dhe ruhen në Cloud përmes një sinjali. Edge Computing lejon që secila pajisje të ketë një kompjuter të brendshëm i cili është në gjendje të transferojë pamjet në Cloud kur të është e nevojshme.

Ulja e kostove operacionale- Për shkak se Edge Computing ndihmon në mbledhjen e të dhënave, e këtë e bën pa pasur nevojë që një server qendror të përcaktoj se çfarë veprimi duhet të ndërmerret. Kjo ndihmon në uljen e kostove operacionale duke pasur nevojë për më pak hapësirë për ruajtje dhe mbajtje të informacionit.

4 ARKITEKTURA E EDGE COMPUTING DHE TRENDET E REJA CLOUD TO EDGE

4.1 Nivelet e Edge Computing

Në shumë vendosje të IoT, sasi masive e të dhënave mund të gjenerohen nga një rrjet i shpërndarë i sensorëve. Për shembull, fushat e naftës në det të hapur dhe rafineritë mund të gjenerojnë një terabyte të të dhënave në ditë. Një aeroplan mund të krijojë disa terabajtë të dhënash në orë. Në vend që t'i ruani të gjitha ato të dhëna përgjithmonë (ose të paktën për një periudhë të gjatë) në ruajtje (eng. storage) qendrore të arritshme për aplikacionet IoT, shpesh është e dëshirueshme të bëni sa më shumë përpunim të të dhënave në nivelin afër sensorëve.

Kështu, qëllimi i nivelizimit të Edge Computing është të shndërrojë rrjedhën e të dhënave në rrjet në informacione që janë të përshtatshme për ruajtje dhe përpunim të nivelit më të lartë. Elementet e përpunimit në këtë nivel mund të merren me vëllime të larta të të dhënave dhe të kryejnë operacione të transformimit të të dhënave, duke rezultuar në ruajtjen e vëllimeve shumë më të ulëta të të dhënave. Në një publik shkencor të Cisco mbi modelin IWF [CISC14b] janë renditur shembujt e mëposhtëm të operacioneve Edge Computing:

Vlerësimi: Vlerësimi i të dhënave për kriteret nëse ato duhet të përpunohen në një nivel më të lartë.

Formatimi: Riformatimi i të dhënave për përpunim të vazhdueshëm në nivele më të larta.

Zgjerimi/deshifrimi: Trajtimi i të dhënave të krijuara me kontekst shtesë (siç është origjina)

Distilimi/Reduktimi: Reduktimi/përmbledhja e të dhënave për të minimizuar ndikimin e në të dhëna, trafikun në rrjet dhe për të mos ngakruar sistemet e përpunimit të nivelit më të lartë.

Vlerësimi kontrollues: Përcaktimi nëse të dhënat paraqesin një prag ose alarm; kjo mund të përfshijë ridrejtimin e të dhënave në destinacione shtesë

Elementet e përpunimit në këtë nivel korrespondojnë me pajisjet e përgjithshme në modelin ITU-T në figurën 3. Në përgjithësi, ato janë vendosur fizikisht pranë skajit të rrjetit IoT; domethënë, pranë sensorëve dhe pajisjeve të tjera për krijimin e të dhënave. Pra, disa nga përpunimet themelore të vëllimeve të mëdha të të dhënave të gjeneruara janë të mbingarkuara dhe këto barten për përpunim jashtë nga softveri i aplikacionit IoT i vendosur në qendër [13].

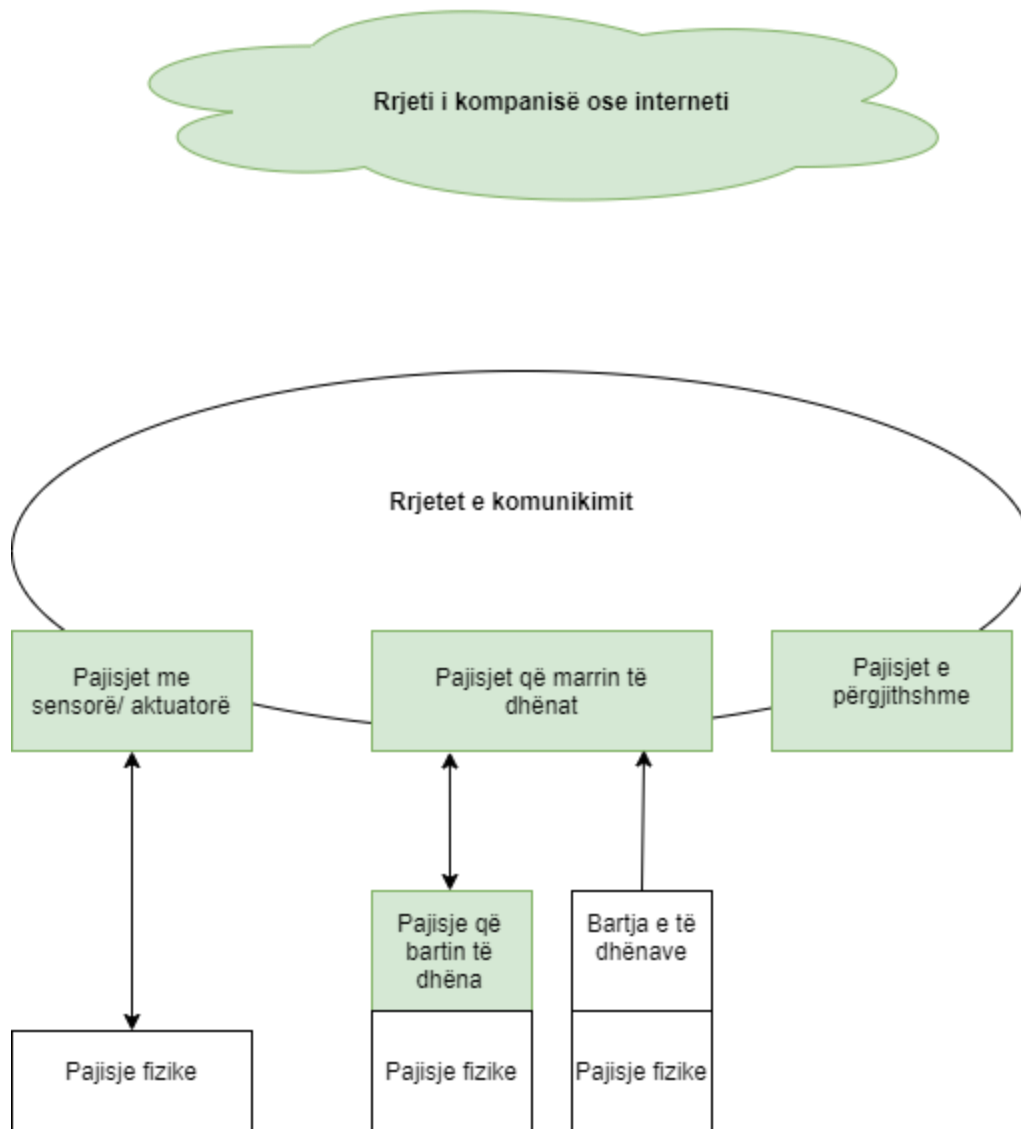


Figura 3 Llojet e pajisjeve dhe marrëdhënia e tyre me gjërat fizike (Burimi: ITU-T | Përpunuar nga Xh.Arifi)

Përpunimi në nivelin e Edge Computing nganjëherë quhet Fog Computing. Shërbimet Fog dhe Fog Computing pritet të jenë një karakteristikë dalluese e IoT. Figura 4 ilustron konceptin. Fog Computing paraqet një prirje të kundërt në rrjetëzimin modern nga Cloud Computing. Me Cloud Computing, burimet masive, të centralizuara të ruajtjes dhe përpunimit të të dhënave vëhen në dispozicion të klientëve të cilët janë të shpërndarë në nëpër nyje të rrjetës cloud, ku kemi një numër relativisht të vogël të përdoruesve.

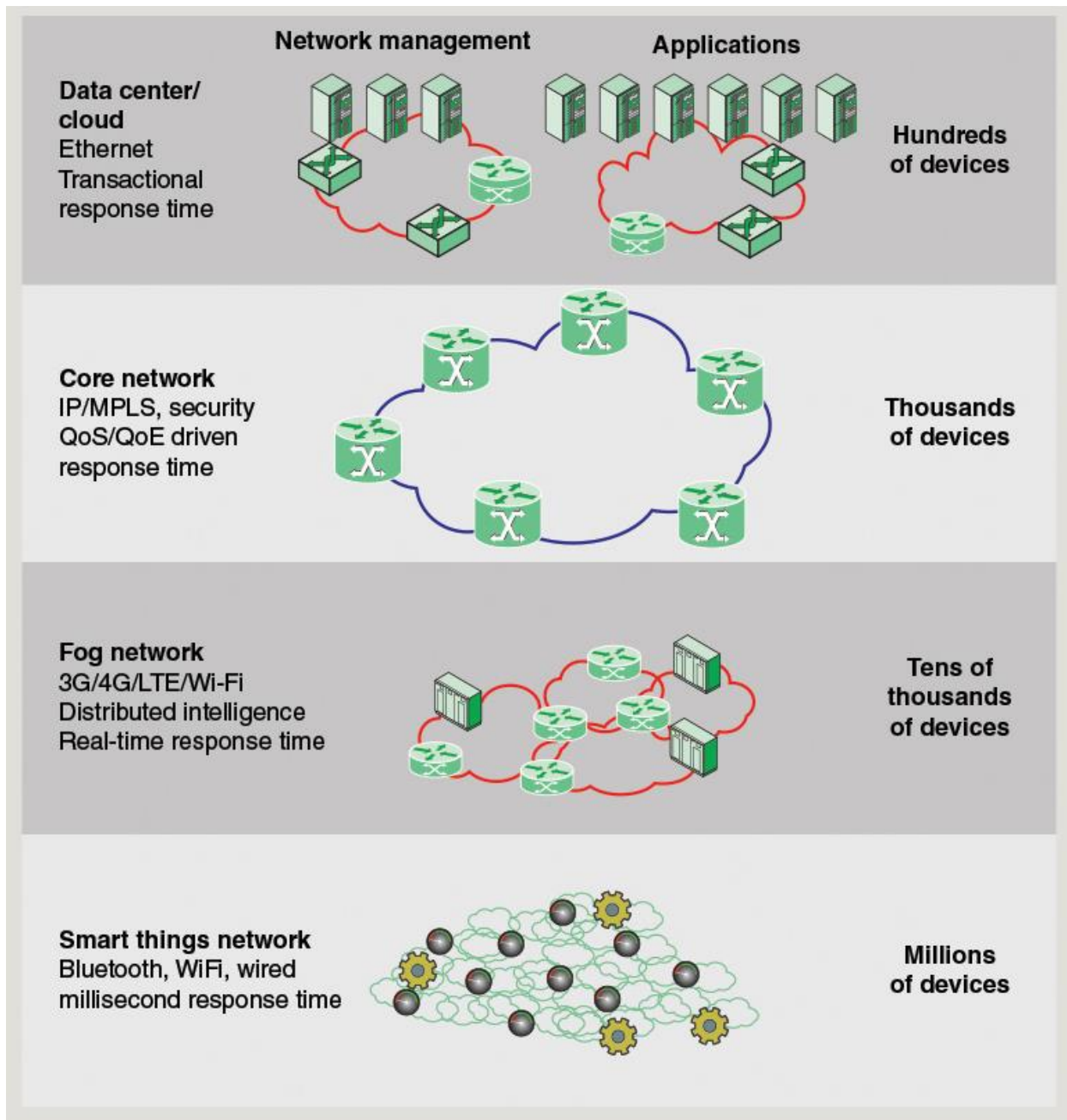


Figura 4 Fog Computing (Burimi: Stallings, 2016)

Me Fog Computing, një numër masiv i objekteve individuale inteligjente janë të ndërlidhura me objektet e rrjetit Fog që sigurojnë burime të përpunimit dhe ruajtjes së të dhënave më afër pajisjeve Edge dhe IoT. Fog Computing adreson sfidat e ngritura nga veprimtaria e mijëra ose miliona pajisjeve inteligjente, përfshirë sigurinë, privatësinë, kufizimet e kapacitetit të rrjetit dhe kërkesat e latencës. Termi Fog Computing frymëzohet nga fakti se fog (mjegulla) ka tendencë të ulet në tokë, ndërsa retë janë të larta në qiell.

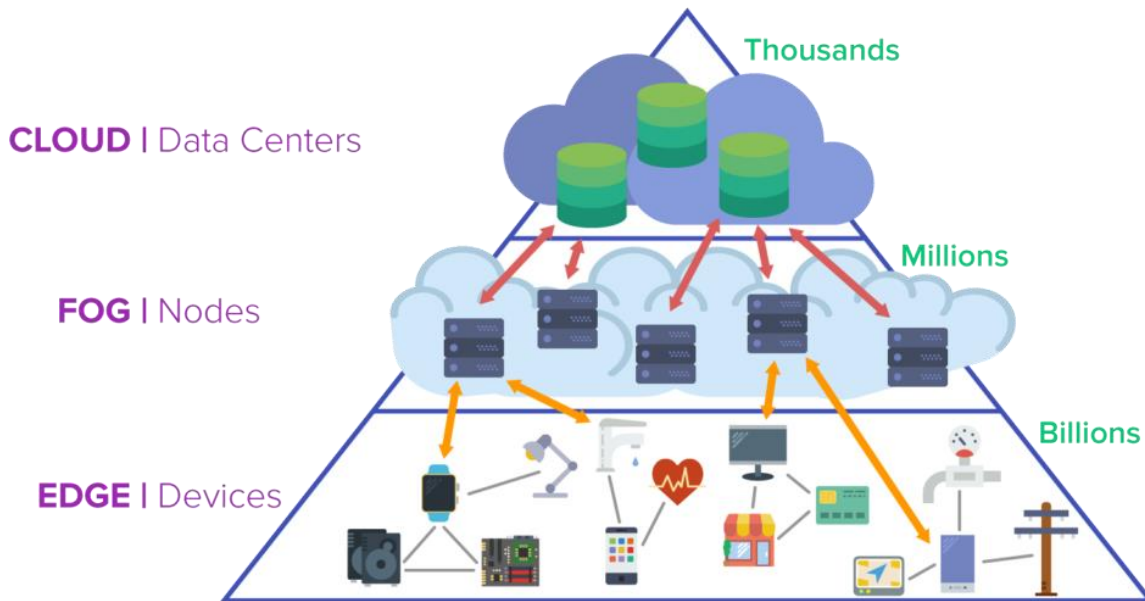


Figura 5 Edge Computing, Fog Computing & Cloud Computing (Burimi: JOSEPH T.C.G)

4.2 Arkitektura e Cloud Computing

Puna, punëtorët dhe vendet e punës janë më të shpërndara se kurrë. Përdoruesit në distanca të largëta dhe degët e zyrave të korporatave që tashmë janë të shpërndara nëpër vende të ndryshme dërgojnë dhe marrin të dhëna gjatë gjithë kohës. Këta përdorues kërkojnë kohë të shpejtë të reagimit, sapo t'i qasen aplikacioneve të rrjetit, të dhënave dhe shërbimeve.

Arkitektura e Edge Computing ndihmon duke i lëvizur aplikacionet dhe të dhënat sa më afër përdoruesit.

Edge Computing shton një shtresë shtesë midis Cloud dhe pajisjeve fundore siç përshkruhet në figurë

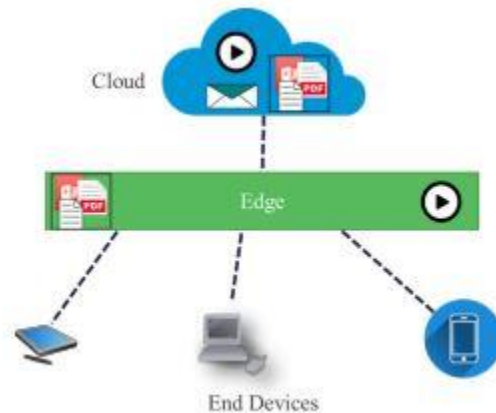


Figura 6 Shtesa e shtuar e Edge në komunikimin deri tek Cloud

Si një arkitekturë e shpërndarë e TI, Edge Computing synon të përmbushë kërkesat dhe pritjet e përdoruesit fundorë për reagim në kohë të shpejtë duke përpunuar të dhënat sa më afër tyre. Përveç njerëzve dhe vendeve të shpërndara, pajisjet e lidhura gjithashtu shumohen dhe komunikojnë mes vete, duke përfshirë pajisjet shtëpiake, smartphone, sistemet e transportit dhe tashmë edhe teknologjinë operative të industrisë

Profesionistët e rrjetit mund të përfitojnë nga një arkitekturë e Edge Computing duke decentralizuar qendrat e të dhënave dhe duke i lokalizuar ato më afër përdoruesve fundorë.

Për këtë profesionistët e rrjetit mund të instalojnë mikro data centers ose serverë në vende të largëta për të imituar lokalisht shërbimet cloud, të cilat mund të përmirësojnë performancën e aplikacionit, kohën e reagimit dhe përpunimin e të dhënave.

Jo vetëm që Edge Computing mund të përmirësojë shërbimet për përdoruesit fundorë, por gjithashtu mund të ruajë burimet e rrjetit. Për shembull, Edge Computing mund të zvogëlojë vonesën e rrjetit dhe pengesat e rrjetit meqë e shkarkojnë ngarkesën duke bërë përpunimin e madh më afër burimit. Pavarësisht nga përfitimet e një arkitekture Edge Computing, kjo përbërje natyrisht ka të metat e saj - gjegjësisht sfidat e sigurisë, licencimit dhe konfigurimit. Në një arkitekturë të shpërndarë, ku vazhdimisht e më shumë pajisje dhe klientë vijnë në bord, sipërfaqja e sulmit zgjerohet dhe kostot e fshehura të licencimit mund të jenë befasi e keqe [11].

Edge Computing ndër të tjera duhet të mundësojë edhe funksionimin e qyteteve smart dhe intelegjencen e industrisë 2.0:

1) Të vendos lidhje dhe ndërveprime midis botës fizike dhe botës dixhitale

Me binjakëzimin dixhitalë, në botën dixhitale është krijuar një hartografi në kohë reale e protokolleve, pajisjeve të shumta dhe aseteve fizike nëpër sisteme për të lehtësuar të kuptuarit e gjendjes së gjërave ose sistemeve, trajtimin e ndryshimeve, përmirësimin e operacioneve dhe shtimin e vlerës.

Gjatë 10 viteve të fundit, fushat e rrjetit, procesimit dhe ruajtjes, që janë tre shtyllat e industrisë së TIK-ut, janë rritur në mënyrë eksponenciale në drejtim të fizibilitetit teknik dhe ekonomik.

1. Ndryshimet në fushën e rrjetit: Gjerësia e brezit (bandwithi) është rritur më shumë se 1000 herë, ndërsa kostoja është ulur 40-fish.
2. Ndryshimet në fushën e llogaritjes: Kostoja e çipave procesues është ulur 60 herë.
3. Ndryshimet në fushën e ruajtjes: Kapaciteti i një disku të vetëm është rritur më shumë se 10,000-fish ndërsa kostoja është ulur 17-fish.

Për shkak të zvogëlimit të kostove të rrjetit, rritjes së aftësive procesuese dhe sasive të mëdha të të dhënave, binjakëzimi dixhitalë mund të luajnë një rol të rëndësishëm në epokën e inteligjencës industriale 2.0.

2) Të siguroj një arkitekturë dhe platformë inteligjente të shpërndarë të drejtuar nga modeli (model-driven)

Në arkitekturën dhe platformën inteligjente të shpërndarë në anën e Network Edge, Modeli i njohurive drejton aftësitë e inteligjencës për të mundësuar autonominë dhe bashkëpunimin e gjërave.

- **Autonomia e gjërave:** Gjërat mund të kryejnë lidhje autonome, zbulojnë, mësojnë, optimizojnë, të marrin vendime dhe të ekzekutojnë.
- **Bashkëpunimi i gjërave:** përfshinë bashkëpunimin midis gjërave, midis gjërave dhe njeriut, midis gjërave dhe sistemeve të zgjuara lokale, dhe midis gjërave dhe Cloud.

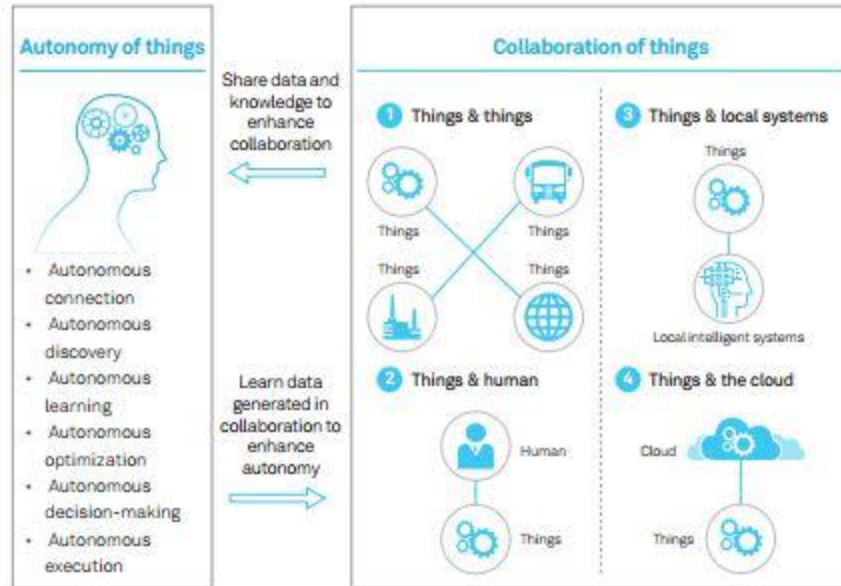


Figura 7 Arkitektura Inteligjente e Shpërndarë (Burimi: Edge Computing Consortium (ECC) and Alliance of Industrial Internet (AII))

Arkitektura inteligjente e shpërndarë mundëson:

- **Asete smart:** të cilat sigurojnë autonominë dhe kapacitetet bashkëpunuese përmes integritit të rrjetit, procesimit dhe ruajtjes.
- **Smart Gateway:** të cilat lidhni botën fizike dhe botën dixhitale përmes funksioneve të tilla si lidhja në rrjet & konvertimi i protokollit, dhe siguron menaxhimin e lidhjes së lehtë, analizën e të dhënave në kohë reale dhe menaxhimin e aplikacionit.
- **Sisteme inteligjente:** Sistemet inteligjente janë ndërtuar bazuar në bashkëpunimin e shumëfishtë të "smart gateway" ose serverave të shpërndarë dhe ofrojnë mundësi elastike të rrjetit, procesimit dhe ruajtjes.
- **Shërbime smart:** të cilat sigurojnë kornizën e zhvillimit të shërbimeve, kornizën e vendosjes (deploy) të shërbimeve dhe operimit të shërbimeve për role të ndryshme, duke përfshirë: funksionimin e sistemit për personel dhe mirëmbajtje, vendimmarrjen e biznesit, integrimin e sistemit dhe zhvilluesit e aplikacioneve, bazuar në kornizën e shërbimit të unifikuar të drejtuar nga modeli.

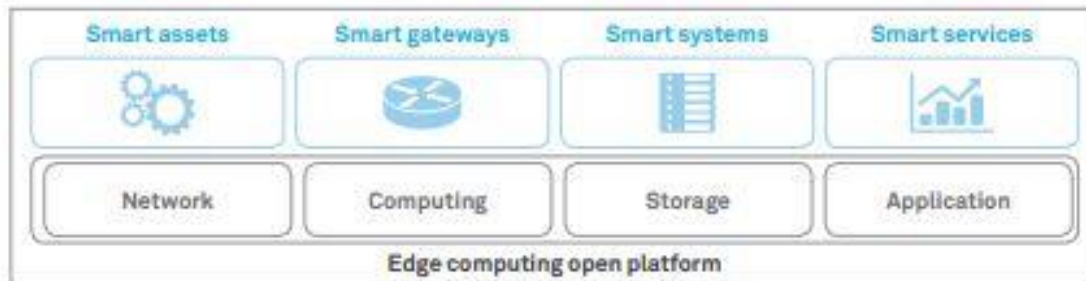


Figura 8 Platforma e hapur e Edge Computing (Burimi: Edge Computing Consortium (ECC) and Alliance of Industrial Internet (AII))

3) Të siguroj kornizën zhvillimit të shërbimit të dhe kornizën e vendosjes (deployment) së shërbimit dhe funksionimit

Kuadri i

min dhe lëshimin e tyre në funksion. Korniza e vendosjes dhe funksionimit të shërbimit kryesisht përfshin orkestrimin e shërbimit, vendosjen e aplikacioneve dhe tregun e aplikacioneve. Kuadri i shërbimit të zhvillimit duhet të bashkëpunojë ngushtë me kornizën e vendosjes së shërbimit dhe të funksionimit për të mbështetur zhvillimin efikas, vendosjen automatike dhe funksionimin e centralizuar të zgjidhjeve.

4) Të bashkëpunoni me kompjuterat cloud

Edge Computing duhet të mbështesë lloje të shumta të ndërfaqeve të rrjetit, protokolleve & topologjive, përpunimit të shërbimit në kohë reale, latencës fikse, përpunimit dhe analizës së të dhënave, inteligjencës së shpërndarë, sigurisë dhe mbrojtjes së privatësisë. Cloud nuk mund të përmbushë kërkesa të tilla. Edge computing duhet të bashkëpunojë me cloud computing në rrjete, shërbime, aplikacione dhe inteligjencë.

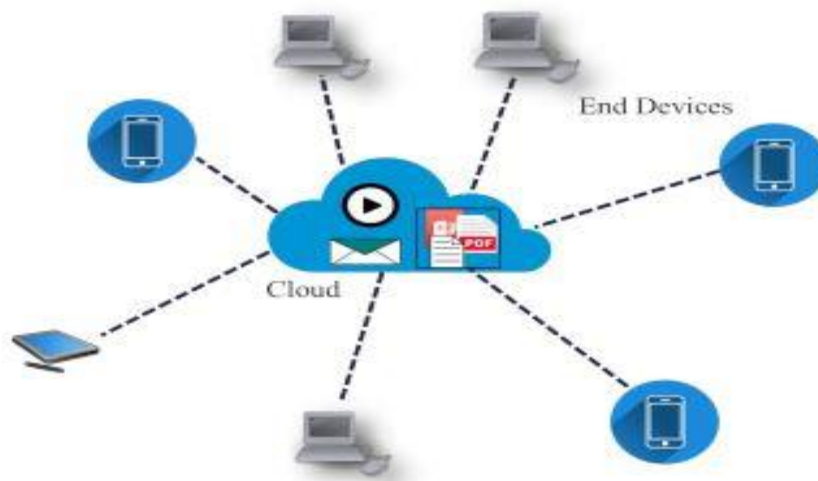


Figure 9 Disa shembuj të përdorimit të Cloud Computing

Rritja e nyjeve Edge brenda një lokacioni do të zvogëlojë numrin e pajisjeve të lidhura me një Cloud të vetëm dhe do të eliminojë problemet e Cloud Computing. Shembuj të Edge Computing mund të renditen si Qytetet Smart, Komunikimi Makinë me Makinë, Sistemet e Sigurisë, Realiteti i Shtuar (Augmented Reality), Sistemet e Kujdesit Shëndetësor i lidhur me sensorët e pajisjeve që vendosen në trup, Veturat e Lidhura në rrjet dhe Transporti Inteligjent.

Për shembull, një aeroplan prodhon gigabajt të të dhënave për sekondë, të cilat nuk mund të trajtohen nga një infrastrukturë bazë e vetme për shkak të kufizimeve të brezit - bandwidth.

Një shembull tjetër është një makinë e Formula 1 e cila prodhon afërsisht 1.2 GB / s të dhëna që kërkon mbledhjen, analizën dhe veprimin në kohë për të qëndruar konkurrues në garë.

Edge Computing besohet se zgjidh këto çështje duke grumbulluar dhe para-përpunuar të dhënat në Edge, përpara se t'i transmetojë në Cloud ose madje t'i vendosë edhe hapat e ardhshëm që duhet të ndërmerren në Edge.

Të dyja Edge Computing dhe Cloud Computing janë pjesë e Internet of Things (IoT) dhe lejojnë mundësinë e arritjes së të dhënave kudo. Për të ndërtuar një arkitekturë, çështjet në sistemet aktuale Cloud ose IoT duhet të identifikohen, kërkesat duhet të specifikohen, duhet të listohen teknologjitë që i mundësojnë, dhe më pas duhet të jepet një koncept. Më vonë, koncepti mund të zbatohet në një arkitekturë, të vërtetohet dhe të vlerësohet. Kjo pjesë e këtij punimi shpjegon kërkesat dhe mundësuesit e kësaj teknologjie për të zgjidhur çështjet e paraqitura në përdorimin e lartë të Cloud dhe IoT.

4.3 Llojet e Arkitekturave

Megjithëse përdorimi i termit "Edge Computing" është i kohëve të fundit, tashmë janë në dispozicion disa arkitektura të propozuara, secila duke konsideruar aspekte të ndryshme për të përmbushur kërkesat e Edge Computing.

Më poshtë, do të paraqesim disa nga arkitekturat ekzistuese të propozuara:

Arkitektura e propozuar nga IBM konsideron kërkesat për autonomi dhe vetë-mjaftueshmëri të vendeve të prodhimit. Arkitektura është me tre shtresa për të balancuar ngarkesën e punës midis Edge, Fabrikës dhe Ndërmarrjes. Sfidat e arkitekturës janë renditur si fitime të produktivitetit për rrjedhën e lartë të energjisë, parandalimin e dështimit për sistemet me besueshmëri të lartë dhe cilësi të lartë të produktit, dhe nën anën tjetër të ofroj fleksibilitet të mjaftueshëm ndërsa fshehin kompleksitetin dhe lejojnë rikonfigurimin pa shumë mundi.

Një arkitekturë tjetër është arkitektura e propozuar nga Konsorciumi OpenFog. Kjo arkitekturë emërton parimet thelbësore si shtylla. Shtyllat grupohen sipas kërkesave në fushën e tyre. Këto shtylla janë Siguria, Shkallzueshmëria (scalability), Hapja, Autonomia, Agility, dhe Programueshmëria.

Arkitektura e Referuar nga OpenFog propozohet me synim për të mbuluar rastet e përdorimit industrial.

Një tjetër iniciativë e kohëve të fundit për ndërtimin e një platforme të përbashkët për Edge Computing të IoT industriale është EdgeX Foundry. Kjo iniciativë u nis nga Fondacioni Linux dhe kontributi fillestar i bërë nga Dell. Sidoqoftë, e ngjashme me Konsorciumin OpenFog, ajo është gjithashtu e hapur për anëtarësime të reja. EdgeX Foundry është një platformë softuerësh me burim të hapur, bashkëveprojnë në rrjetën Edge.

EdgeX Foundry përcakton kërkesat në parimet arkitektonike si më poshtë: platformë agnostike për sa i përket harduerit dhe sistemit operativ, fleksibël në aspektin e zëvendësueshmërisë, shtueshmërisë, ose shkallëzueshmërisë lart e poshtë, e aftë për të ruajtur ose për të përcjellë të dhëna, inteligjente për t'u marrë me latencën, bandwidthin, dhe çështjet e ruajtjes, e sigurtë dhe lehtësisht e menaxhueshme. Një kornizë e ngjashme e quajtur Liota është duke u zhvilluar nga VMware dhe synon gjithashtu përdorimin, instalimin dhe modifikimin e lehtë.

Së dyti, ajo synon një cilësi të përgjithshme, modulare dhe të nivelit të ndërmarrjes. Kjo kornizë është gjithashtu me burim të hapur dhe drejtohet nga VMware.

4.4 Përmbledhje e koncepteve të arkitekturë

Një nga qëllimet kryesore të Edge Computing është të zvogëlojë vonesën dhe të ruajë cilësinë e shërbimit (QoS) sa më lartë që të jetë e mundur. Siç e kuptuam në Cloud Computing, infrastruktura Cloud komunikon drejtpërdrejt me pajisjet fundore. Edge Computing synon të zgjidhë çështjet e Cloud Computing ose IoT duke shtuar një rradhë (tier) shtesë midis pajisjeve IoT dhe infrastrukturës së back-end për qëllime procesimi dhe komunikimi. Siç paraqitet në Figurën më poshtë, kjo rradhë e shtuar (tier) ka edhe përbërës të ndërmjetëm për mbledhjen e parë, analizën dhe llogaritjen e të dhënave. Këto përbërës të ndërmjetëm quhen Edge Server.

Janë propozuar disa lloje arkitekture për aplikacionet që mundësojnë funksionimin IoT. Në këtë punim, do të përdoret një arkitekturë me tre nivele. Siç shihet në Figurën më poshtë, arkitektura e propozuar për Edge Computing përbëhet nga Cloud Tier, Edge Tier dhe Device Tier.

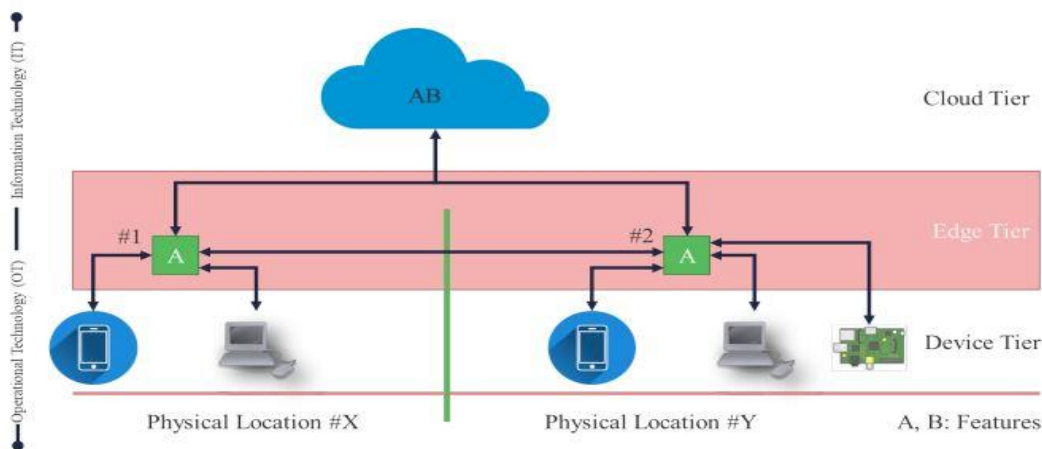


Figure 10 Edge Computing ndërmjet pajisjeve fundore dhe Cloud (Burimi: Edge Computing Consortium (ECC) and Alliance of Industrial Internet (AI))

Në Grupin e Pajisjeve, ka pajisje të përdoruesit fundorë. Blloqet e gjelbërta në Edge Tier janë Edge Server. Këta serverë mbledhin, grumbullojnë, analizojnë dhe përpunojnë të dhënat përpara se t'i ngarkojnë ato në Cloud Tier. Pajisjet fundore mund të jenë në të njëjtin vend, ose në lokacione të ndryshme fizike siç përshkruhet në figurë. Kur një pajisje fundore duhet të komunikojë me Cloud, së pari, kërkesa i dërgohet Edge Serverit i cili është në vendin më të afërt. Atëherë, nëse Edge Serveri është i aftë të kryejë vetë detyrën, ai automatikisht trajton të dhënat dhe i përgjigjet pajisjes

fundore me rezultatin. Nëse jo, të dhënat ngarkohen në një server tjetër në të njëjtën shkallë me kusht që të ekzistojnë. Përndryshe, të dhënat ngarkohen në Cloud. Procesi i vendimit bëhet duke marrë parasysh burimet e disponueshme në serverat e tjerë të disponueshëm në të njëjtin rrjet, distancën fizike dhe kërkesat e kohës.

Supozojmë se Cloud siguron funksionalitetet A dhe B.

Kur njëra prej pajisjeve në Vendndodhjen Fizike X synon të bëjë detyrën B, së pari të dhënat kalohen në serverin # 1. Meqenëse ky server nuk është i aftë të kryejë këtë detyrë, ai i kalon të dhënat në Cloud. Meqenëse Cloud është i aftë të kryejë detyrën B, të dhënat përpunohen këtu dhe dërgohen përsëri në pajisjen fundore origjinuese. Sfida këtu është të vendosni për funksionalitetet në Edge Tier duke mbajtur kostot në minimum dhe QoS në maksimum.

Sidoqoftë, të vendosësh për llogaritjen dhe burimet e mundshme të Edge Serverave paraqet gjithashtu sfida të mëdha dhe kompromise (eng.trade-off: Pranimi i diçkaje më të keqe në një drejtim për hir të një të mire në një drejtim tjetër). Ka disa aspekte që duhet të merren parasysh përpara se t'i kaloni të dhënat në Cloud. Për shembull, nëse një pajisje e vendosur në Y duhet të kryejë detyrën A dhe nëse Edge Server # 2 është i zënë duke u shërbyer dy pajisjeve të tjera të lidhura, një tjetër kompromis do të jetë ekzistent. Në këtë rast, serveri # 2 duhet të ngarkojë detyrën qoftë në serverin # 1 ose në Cloud. Sidoqoftë, në varësi të urgjencës së detyrës, serveri # 2 duhet të llogarisë një funksion për të vendosur për marrësin më të mirë të të dhënave. Sipas kësaj, funksioni duhet të merr parasysh përparësinë e detyrës, shfrytëzimin e burimeve të serverave, llogaritjen e kostos për detyrën dhe distancën fizike ose koston e distancës së serverëve që do të përdoren.

4.5 Kërkesat për arkitekturën e Edge Computing

Edge Computing është një paradigmë e cila përdor teknologjitë e Cloud Computing dhe i jep më shumë përgjegjësi nivelit Edge. Këto përgjegjësi janë, domethënë, llogaritja e ngarkesave kompjuterike, caching / ruajtja e të dhënave, përpunimi i të dhënave, shpërndarja e shërbimeve, menaxhimi i IoT, siguria dhe mbrojtja e privatësisë [14].

Pa kufizuar tiparet e Cloud Computing, Edge Computing duhet të ketë kërkesat e mëposhtme, disa prej të cilave janë përcaktuar edhe për Cloud Computing :

1) Ndërveprueshmëria: Serverët në Edge Computing mund të lidhen me pajisje të ndryshme dhe serverë të tjerë. Në Cloud Computing, IoT lejon numër të panumërt të pajisjeve për të komunikuar

me njerëzit ose njëri-tjetrin. Kjo krijon një treg të madh për prodhuesit e këtyre pajisjeve. Për këtë arsye, ekziston çështja e ndërveprimit me pajisjen e lidhur duke përdorur protokolle të ndryshme komunikimi. Protokollin e Renditjes së Avancuar të Mesazheve (AMQP), Transportin e Telemetrisë në Rrugë të Mesazheve (MQTT) dhe TCP / IP përdoren gjerësisht dhe duhet të mbështeten nga Edge Computing.

Përdorimi i një standardi të përdorur dhe të njohur gjerësisht do të heqë pengesat teknologjike dhe gjuhësore, duke rritur ndërveprimin midis pajisjeve.

2) Shkallzueshmëria: Ngjashëm me shërbimet Cloud, Edge Computing gjithashtu do të duhet të përshtatet për madhësinë e përdoruesve dhe sensorëve të tij. Vendosija e parë duhet të mundësojë numër të vogël të përdoruesve dhe pajisjeve ndërsa disa serverë Edge duhet të trajtojnë numër më të madh të përdoruesve.

Vendosija shtesë e Edge serverave është e kushtueshme dhe numri i vogël i Edge Serverave është i dëshirueshëm në aspektin ekonomik. Për këtë arsye, shkallzueshmëria e lartë është gjithashtu e detyrueshme.

3) Zgjerueshmëria: Teknologjia procesuese po zhvillohet me shpejtësi. Pas 2-3 viteve të vendosjes, clock speed, madhësia e memories dhe madhësia e procesorëve gjithashtu rriten. Vendosija e thjeshtë e shërbimeve të reja dhe pajisjeve të reja duhet të jetë mundshme të bëhet me përpjekje të vogla, kjo është kërkesë thelbësore ndaj Edge Computing. Funkcionet dhe pajisjet e reja duhet të integrohen pa (ri) konfigurimin e rrjetit Edge. Prandaj, sistemi duhet të lejojë shtrirjen me komponentët harduerik dhe softuerik.

4) Abstraksioni: Për kontrollin dhe komunikimin pa probleme, kërkohet abstraksioni i secilës nyje Edge dhe grupi të nyjeve. Për më tepër, abstraksioni ndihmon që topologjia e një rrjeti Edge të jetë fleksibël dhe e rikonfigurueshme. Në thelb, një nyje Edge ndodhet midis nivelit të pajisjes dhe nivelit të Cloud. Me fjalë të tjera, një shkallë Edge është një kufi midis Teknologjisë së Informacionit (IT) dhe Teknologjisë Operative (OT). Kjo shtresë mund të përbëhet nga një ose më shumë nyje dhe grupe Edge. Në këtë rast, një nyje Edge e grupit mund të ndajë detyra ose në nyjet në grup ose mund ta menaxhojë përparësinë. Shfrytëzimi i Ndërfaqeve të Programimit të Aplikacioneve (API) në abstraksion është i dobishëm për të siguruar përputhshmëri prapa funksionaliteteve të reja ose ndryshimeve të mëdha në arkitekturë.

5) Ndjeshmëria në kohë: Nën OT, operacionet mund të jenë pothuajse në kohë reale ose në kohë reale. Edge Computing pritet të zgjidhë çështjet kohore që Cloud computing nuk mund t'i

garantojë. Për dallim nga Cloud Computing, distanca fizikisht e afërt është një forcë e komunikimit të besueshëm dhe të shpejtë pa u shqetësuar për problemin e trafikut. Shërbimi i transmetimit video është një nga aplikacionet e pritura të Edge Computing. Kërkohe për kohën e duhur të ofrimit të shërbimit. Për më tepër, ndjeshmëria kohore shton përfitime të mëdha për ofruesit e shërbimeve reaktive, siç janë reklamat e bazuara në vendndodhje dhe sistemet udhëzuese të bazuara në statusin e përdoruesit.

6) Siguria dhe Privatësia: Përdorimi i shërbimeve Cloud Computing ka një disavantazh për ndërmarrjet prodhuese dhe atp hightech sepse ekziston shqetësimi për rrjedhjen e njohurive me ndjeshmëri të larta dhe ekziston frika se me këtë bëhet zbulimi i aktiviteteve të biznesit jashtë organizatës së tyre. Edge Computing është një mënyrë për të siguruar përmbajtjen e të dhënave, e cila është e ndryshme nga firewall-i që kontrollon vetëm hyrjen e jashtme në rrjet. Është gjithashtu e rëndësishme të izoloni të dhënat duke parandaluar hyrjen edhe nga përdoruesit e pa-autorizuar.

7) Besueshmëria: Edge Servers ofrojnë kontroll në kohë reale ose në kohë jo reale për pajisjet. Detyrat në kohë reale mund të jenë jetësore që përfshijnë sigurinë e njeriut. Prandaj, është me rëndësi jetike të keni një sistem të besueshëm i cili reagon kur është e nevojshme dhe si është e nevojshme. Kërkesat e besueshmërisë fizike për serverat Edge që ofrojnë shërbime janë të ngjashme me Cloud Computing. Mjedise të ashpra, siç janë fabrikat dhe punishtet e ndërtimit, kërkojnë tavan të papërshkueshëm nga uji, kompjuterë pa ftohës me flutur dhe sistem kundër pluhurit. Në termocentrale, mburoja magnetike është e pajisur me sensorë.

8) Inteligjenca: Multi-sensori gjeneron sasi të madhe të të dhënave dhe i ngarkon direkt në Cloud. Kjo shkakton bllokim të rrjetit dhe ngarkesë të rëndë në serverin e Cloud. Edge Computing mbështet filtrimin e parë dhe të dytë të këtyre të dhënave duke shndërruar në një nivel më të lartë përmbajtjen e të dhënave. Filtrimi i të dhënave zbatohet nga motorë të bazuar në rregulla të caktuara ose algoritme të Machine Learning. Në rastin e një sistemi me shumë kamera si sistemet e sigurisë, Edge Computing mbështet përpunimin e imazheve, vizionin e kompjuterit dhe mundëson zbulimin e objektit (object detection) para transferimit të të dhënave në Cloud.

Një shembull tjetër është parashikimi i dështimit ose anomalive në një linjë prodhimi duke analizuar të dhënat e sensorit dhe duke marrë masat paraprake për parandalimin ose informimin e përdoruesit. Këto lloj funksionesh inteligjente janë të domosdoshme për Edge Computing.

9) Energjia elektrike: ndërprerja e papritur e energjisë ose fikja është shkaku i prishjes së Edge Server-ave. Furnizimi me energji i pandërprerë (UPS) është i nevojshëm dhe duhet të garantojë

një kohë të mjaftueshme për të mbrojtur njësitë elektronike dhe të garantojë ruajtjen e të dhënave në rast të një ndërprerje të papritur të energjisë.

4.5.1 Mundësit e arkitekturës së Edge Computing

Edge Computing përdor një gamë të gjerë teknologjish dhe i bashkon ato. Brenda këtij domeni, Edge Computing përdor shumë teknologji, siç janë Wireless sensor networks - WSN (sq. rrjetet e sensorit pa tel), Mobile Data Acquisition, Mobile signature analysis (analiza e nënshkrimit celular), Fog / Grid Computing, operacione të shpërndara të të dhënave, shërbime të largëta të Cloud, etj.

Për më tepër, Edge Computing kombinon protokollet dhe termat e mëposhtëm:

1) **Komunikimi 5G:** i cili është sistem wireless i gjeneratës së pestë që synon kapacitet më të lartë nga brezat parardhës, konsum më të ulët të energjisë dhe latencë më të ulët krahasuar me gjeneratat e mëparshme. Për shkak të rritjes së sasisë së të dhënave, 5G pritet të zgjidhë çështje të trafikut që lindën me rritjen e numrit të pajisjeve të lidhura në internet.

2) **Protokolet PLC:** Object Linking and Embedding for Process Control Unified Architecture (OPC-UA) është një protokoll i zhvilluar për automatizimin industrial. Për shkak të hapjes dhe qëndrueshmërisë së saj, ajo përdoret gjerësisht nga industritë në fushën e naftës dhe gazit, farmaceutikës, robotikës dhe prodhimit.

3) **Message que broker** (sq. Ndërmjetësi në radhën e mesazheve): MQTT dhe TCP / IP janë protokollet e njohura të sensorëve inteligjentë dhe pajisjeve IoT. Nga mbështetja e këtyre ndërmjetësve të mesazheve, Edge Computing e rrit numrin e pajisjeve që lidhen me të. Për problemin e sigurisë MQTT, AMQP është i dobishëm edhe në komunikimin me serverat Cloud Computing.

4) **Event Processor** (sq. procesori i ngjarjeve): Pasi që mesazhet e IoT mbërrijnë në serverin Edge, procesori i ngjarjeve analizon ato mesazhe dhe krijon ngjarje semantike duke përdorur rregulla të paracaktuara. EsperNet, Apache Spark dhe Flink janë disa shembuj për këtë mundësi.

5) **Virtualizimi:** Shërbimet në cloud vendosen si makina virtuale në një server Cloud ose në clustera. Përdorimi i makinave virtuale lejon ekzekutimin e shumë instancave të sistemeve operative (OS) të ndryshme në të njëjtin server.

6) **Hypervisor:** Ashtu si dhe makinat virtuale, vlerësimi i performancës dhe trajtimi i të dhënave kërkohet dhe realizohet nga Hypervisor për të kontrolluar makinat virtuale në kompjuterin që është host.

7) **OpenStack:** Menaxhimi i burimeve të shumta mund të jetë sfidues. OpenStack është një sistem operativ Cloud që ndihmon kontrollimin e pishinave të procesimit (eng. pools of computing) dhe të kapaciteteve ruajtëse përmes një paneli kontrollues dhe mjeteve tjera të monitorimit.

8) **Platforma AI:** Motor i bazuar në rregulla dhe platforma e Machine Learning mbështet analizën e të dhënave në nivelin lokal. Siç e kemi thënë më herët , kjo është mjaft e rëndësishme për të arritur një nga qëllimet e Edge Computing që është mbledhja, analizimi dhe kryerja e filtrimit të parë të të dhënave.

9) **Hyperledger:** Teknologjia Blockchain aktualisht përdoret për zona mjaft të ndjeshme, siç janë monedhat dixhitale si BitCoin. Është konsideruar gjithashtu si e dobishme për mbrojtjen e të dhënave në Cloud Computing. Duke përdorur këtë teknologji, të dhënat e sigurta mund të shpërndahen me persona të jashtëm dhe me serverë me siguri të lartë.

10) **Docker:** Makinat virtuale punojnë me instalimin e sistemeve operative. Për dallim nga makinat virtuale, Docker është një kontejner si një shërbim (CaaS) i cili mund të përdorë një sistem të vetëm operativ të përbashkët dhe të lëshojë në përdorim softuerin në një mjedis të izoluar. Docker kërkon vetëm libraritë e softuerit që e bën atë një sistem të lehtë pa u shqetësuar se ku është vendosur programi.

4.5.2 Dizajnimi i arkitekturës

Edge Computing shton një shtresë shtesë midis pajisjeve Cloud dhe IoT për processim dhe komunikimin. Të dhënat e prodhuara nga vetë pajisjet nuk dërgohen drejtpërdrejt në infrastrukturën Cloud ose back-end, por procesimi fillestar kryhet në këtë shkallë. Duke marrë parasysh numrin e pajisjeve të lidhura dhe të dhënat që ato prodhojnë, kjo shkallë përdoret për të grumbulluar, analizuar dhe përpunuar të dhënat para se t'i dërgojë në shtresën e sipërme, infrastrukturën.

Figura më poshtë përshkruan funksionet kryesore të propozuara për një server Edge.

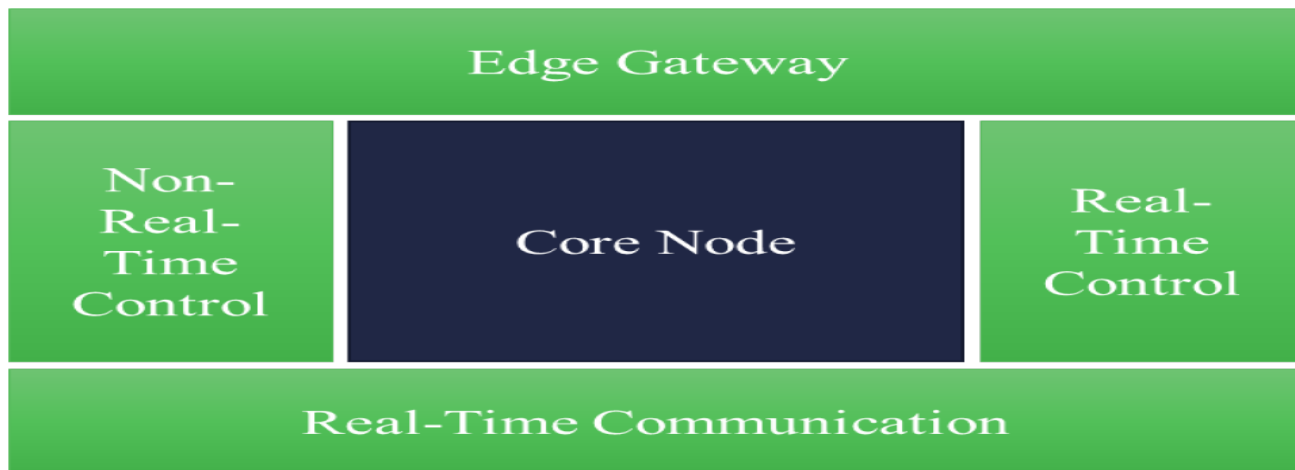


Figura 11 Funksionet kryesore të propozuara për një server Edge.

Arkitektura e propozuar e Edge Server duhet të jetë modulare dhe duhet të sigurojë funksionime për kontrollin në kohë reale dhe në kohë jo reale, si dhe për komunikimin në kohë reale. Njësia kryesore funksionon në një sistem operativ dhe gjurmon burimet dhe merr vendime se ku mund të ekzekutohet një detyrë. Në arkitekturën e propozuar, shtimi i një hardueri ose moduli të ri kompjuterik mundëson funksionime të reja dhe përmirëson përdorueshmërinë e serverit.

Për shembull, në rastin kur algoritmet e Machine Learning dëshirohen të ekzekutohen në server, duke e lidhur një modul të inteligjencës artificiale të dedikuar (AI) me Njësinë e Përpunuar të Grafikëve (GPU) nuk duhet të kërkojë që konfigurimi minimal të jetë aktiv. Siç u përmend më herët, shkallueshmëria është mjaft e rëndësishme për të përmbushur detyrat. Në fushën e shkallëzimit, një server pritët të jetë i vetëdijshëm për serverat e tij fqinj, së bashku me funksionalitetet e tyre. Duke përdorur shembullin e mëparshëm, në rast se një modul AI është i lidhur me një server, serverët e tjerë janë të informuar me këtë funksionalitet dhe ata mund ta përdorin këtë server më shpesh për detyra që lidhen me AI. Vendimi, natyrisht, varet nga kushtet e kërkuara nga detyra, siç është afati.

4.6 Arkitektura e Edge Computing – Rasti IBM

4.6.1 Paisjet dhe Serverët Edge

Serveri Edge është një platformë e bazuar në Kubernetes, të cilat janë pajisje me 1GB + harduer që mund të shkallëzohen nga 10 deri në 1000 njësi - servera. Kanë aftësinë të planifikojnë, menaxhojnë dhe shpërndajnë ngarkesat e punës në pajisje në vende të largëta dhe ndonjëherë të shkëputura, si një pajisje që kontrollon vajin në një makinë, një depo, një aeroplan, një anije lundrimi, etj.



Figura 12 Pajisjet edge, kubernetes (Edge Serverat e IBM) dhe mjedisit i ndermarrjes (Burimi: IBM.com)

Solucionet për Edge janë zakonisht arkitektura të shpërndara me shumë shtresa që përfshijnë dhe balancojnë ngarkesën e punës midis shtresës Edge, Edge Colud, rrjetit Edge dhe shtresës së Ndërmarrjes (Enterprise layer). Për më tepër, kur flasim për Edge, ekzistojnë pajisjet Edge dhe serverët lokalë Edge [9]. Do të vini re që arkitekturat e Edge Computing janë një zgjerim i arkitekturave IoT (Internet of Things) dhe përdorin terma si OT për teknologjinë operative. Në mënyrë të veçantë, ju do të shihni konvergjencën e mjedisëve të IT (Teknologjia e informacionit) dhe OT (d.m.th. integrimi i Internetit, kompjuterëve dhe pikave të kyqjes Wi-Fi në rrjetet industriale). Transformimi dhe konvergjenca e teknologjive të TI dhe OT ka potencial për të dhënë vlera të mëdha gjatë dekadës së ardhshme.

Thënë kështu, jo të gjitha shtresat e Edge Computing janë të nevojshme në çdo skenar. Në një skenar të shkëputur, për shembull (si në rastin e një platforme të naftës ose kur lidhja Cloud nuk është aty), pajisjet Edge mund dhe do të vazhdojnë të funksionojnë pasi vetëm ato duhet të komunikojnë me serverat Edge. Edge ka ardhur si teknologji për shkak të përshkallëzimit enorm të numrit të pajisjeve IoT dhe të dhënave që gjenerohen nga këto pajisje, sfida mbetet tek telashet që dalin nga çështja e latencës me arkitekturat aktuale.

Edge computing adreson këto sfida, siç e dini, duke lëvizur përpunimin në buzë të rrjetit. Duke pasur parasysh këtë, **figura më poshtë** tregon një plan të nivelit të lartë të arkitekturës Edge Computing. Nga e majta në të djathtë, të katër shtresat ose rajonet përshkruajnë si vijon:

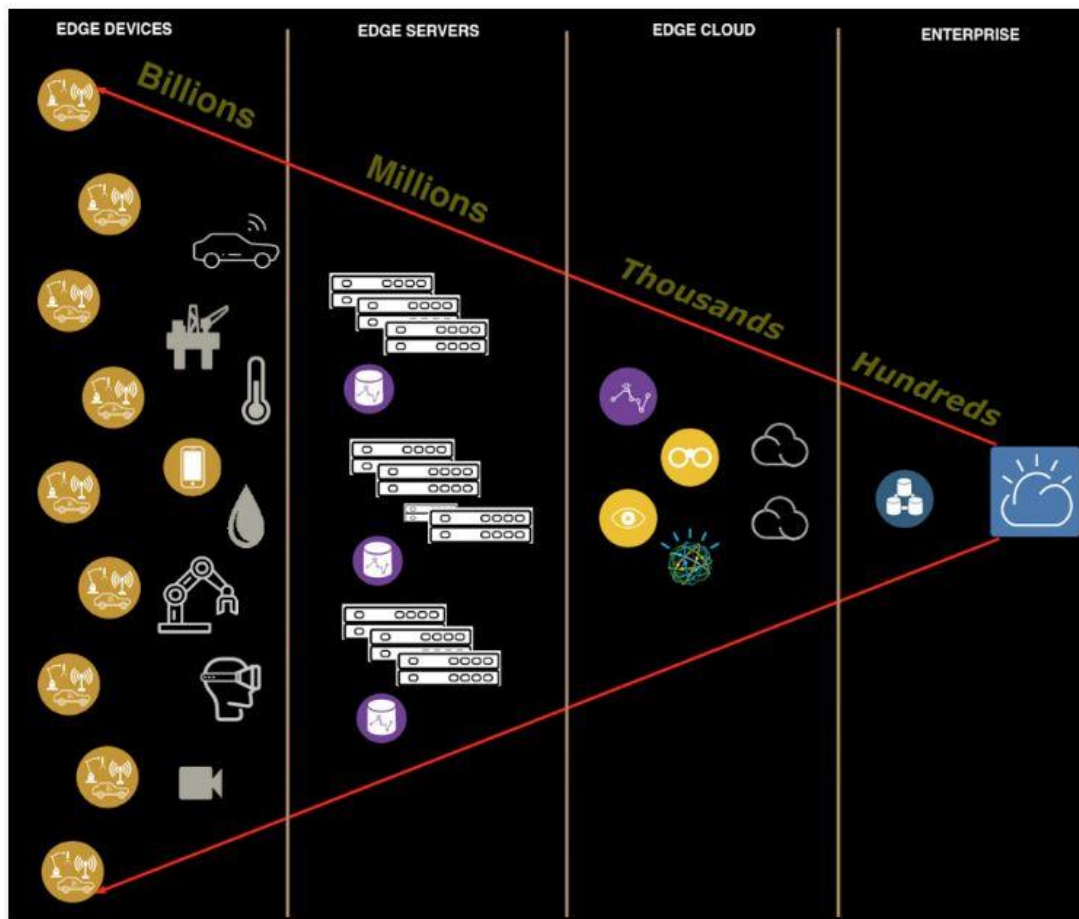


Figura 13 Arkitektura e nivelit të lartë e Edge Computing (Burimi: IBM.com)

Pajisjet Edge: Pajisjet Edge dhe IoT janë të pajisura për të drejtuar aplikacione analitike, të zbatojnë rregullat e AI dhe madje të ruajnë disa të dhëna në vend për të mbështetur operacionet në Edge. Pajisjet mund të trajtojnë analizat dhe inferencimin në kohë reale pa përfshirjen e serverit Edge ose shtresës së ndërmarrjes (Enterprise layer). Kjo është e mundur sepse pajisjet mund të përdorin çdo Softuer-si-Shërbim (SaaS Software as a Service). Nisur nga konsideratat ekonomike dhe faktorë të tjerë, një pajisje Edge zakonisht ka burime të kufizuara procesuese. Është e zakonshme të gjejmë pajisje Edge me CPU të klasës ARM ose x86 me një ose dy bërthama, 128 MB memorje dhe mbase 1 GB hapësirë për ruajtje të vazhdueshme lokale.[9]

Serverët Edge: Serverët Edge përdoren për të shpërndarë aplikacione në pajisje. Ata janë në komunikim të vazhdueshëm me pajisjet duke përdorur agjentët (softuerët klientë) e instaluar në secilën prej pajisjeve. Këta serverë Edge mbajnë një impuls komunikimi me të gjitha pajisjet, dhe nëse diçka është e nevojshme, të dhënat nga pajisjet i dërgohen serverit Edge për analiza të mëtejshme. Këto pajisje janë kompjuterë me destinacion të përgjithshëm që janë të vendosur në objekte ku kryhen operacione e që janë në distanca të ndryshme, p.sh. si një fabrikë, dyqan me pakicë, një hotel, një qendër shpërndarjeje ose një bankë. Ata mund të kenë edhe 8, 16, ose më shumë bërthama të kapacitetit procesues, 16 GB memorie dhe disa qindra GB hapësirë ruajtëse lokale.

Edge Cloud: Teknologjitë e reja të rrjetit kanë rezultuar në Edge Cloud (ose në mikro qendrat e të dhënave), i cili mund të shihet si një re lokale për të komunikuar pajisjet me të. Kompanitë e telekomunikacionit mund ta quajnë atë edhe rrjeti Edge (Edge Network). Ajo zvogëlon distancën e udhëtimit për të dhënat që vijnë nga pajisjet dhe kështu zvogëlohet vonesa dhe adresohen çështjet e bandwidth-it, veçanërisht me ardhjen e 5G. Kjo shtresë gjithashtu ofron më shumë aftësi analitike dhe ruajtje shtesë për modelet analitike dhe të të dhënave.

Multi-Cloudi hibrid i ndërmarrjeve (Enterprise hybrid multicloud): Kjo shtresë ofron ruajtjen dhe menaxhimin e modelit klasik të nivelit të ndërmarrjes, menaxhimin e pajisjeve, dhe veçanërisht analitikët dhe panelat e nivelit të ndërmarrjes. Kjo mund të strehohet në Cloud ose në një qendër të të dhënave brenda objekteve.

4.6.2 Arkitektura e Edge Computing

Tani që ne e dimë grupin thelbësor të komponentëve që mund të jenë të nevojshme në një zgjidhje Edge, ne mund të përpiqemi të krijojmë një arkitekturë referenciale të Edge Computing siç tregohet në figurën më poshtë:

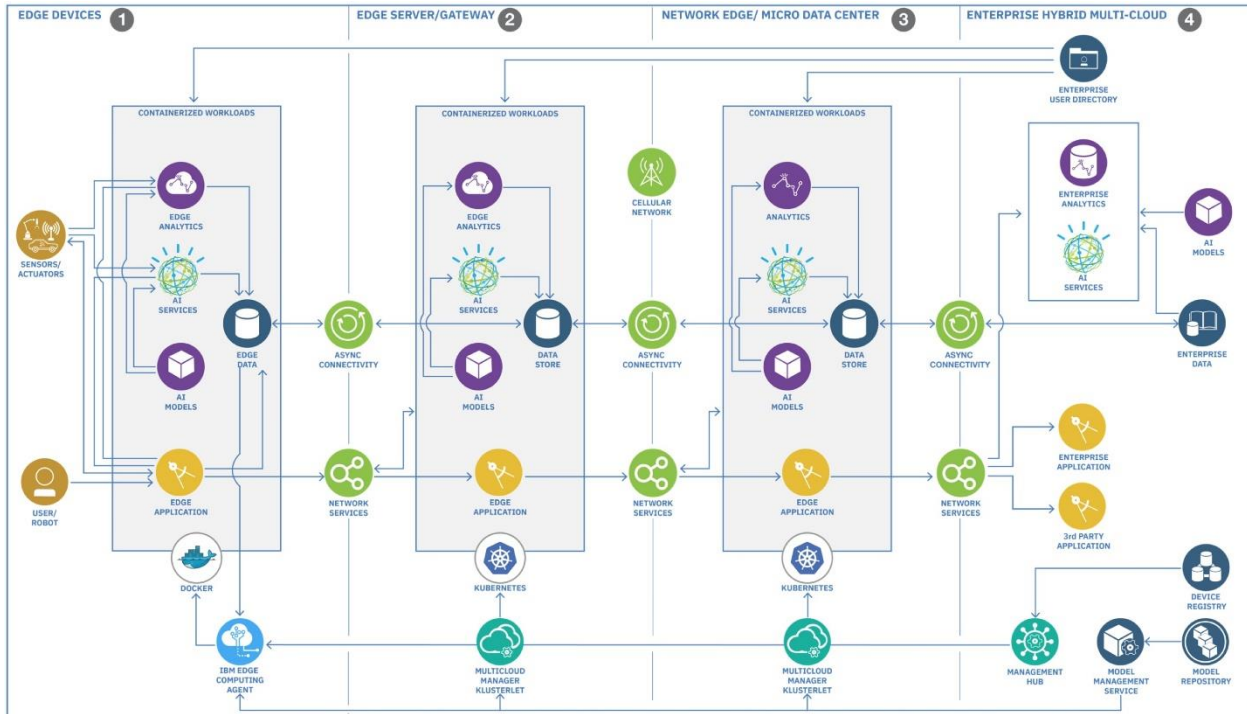


Figura 14 Arkitektura referenciale e Edge Computing sipas IBM (Burimi: ibm.com)

Nëse e vëmë re shtytjen që i qon komponentët procesuese dhe të ruajtjes drejt në të majtë të diagramit (d.m.th., në Edge) dhe larg nga qendra e të dhënave. Kjo lëvizje në drejtim të rrjetit të "Edge", larg nga qendra e të dhënave dhe më afër përdoruesit, zvogëlon sasinë e kohës që duhet për të shkëmbyer informacione dhe për të marrë vendime, kur krahasohet me procesimin tradicional të centralizuar në cloud.

Mund të vini re gjithashtu se të njëjtët komponentë softuerësh janë duplikuar në secilën shtresë (regjon); kjo adreson pyetjen e mëparshme në lidhje me aplikacionet. Një vështrim i thjeshtë të mundëson të parashikosh gjurmët e atyre aplikacioneve të vendosura si nga më të voglat, të mesmet dhe të mëdhat duke shkuar nga e majta në të djathtë.

Ndërsa mund të bëjmë inferencim në kohë reale në pajisjet Edge, analitika e bazuar në rregulla, Machine Learning dhe / ose përmirësimi i modelit duhet të bëhet në shtresat në të djathtë - si serveri Edge apo edhe në nivel të Ndërmarrjes (Enterprise). Në mënyrë të ngjashme, ka kufizime edhe në pajisjet Edge, kështu që AI dhe modelet e të dhënave ruhen në serverin Edge ose në Edge Cloud. Ndërsa në pajisje të vogla çdo ditë e më shumë po vendoset inteligjencë më e lartë, sfida është administrimi dhe mirëmbajtja e atyre pajisjeve [9].

4.7 Qytetet e zgjuara janë mundësuar nga Edge Computing

Një bollëk i paparë i teknologjive të vogla por me sensorë kanë dëshmuar në mënyrë të jashtëzakonshme se vizioni i qyteteve të zgjuara po bëhet i arritshëm dhe i pashmangshëm. Qytetet e zgjuara (eng. Smart cities) u japin mundësi qytetarëve të përjetojnë zhvillime të qëndrueshme, të sigurta dhe të besueshme. Qytetet e zgjuara janë definuar në mënyra të shumta dhe kështu, nuk ka një definicion absolut të qyteteve të zgjuara. Në përgjithësi, këto përkufizime i referohen përparimeve në infrastrukturën e Teknologjisë së informacionit dhe të komunikimit (TIK) që u mundësojnë qytetarëve të realizojnë cilësi të lartë të jetës përmes shërbimeve inteligjente. Shërbimet e zgjuara të qytetit nuk janë të kufizuara dhe mund t'i referohen shumë proceseve të ndryshme, duke rezultuar nga qytete më të besueshme, të sigurta, të qëndrueshme dhe inovative me mundësi unike të sipërmarrjes.

Kontribuesit kryesorë të qyteteve të zgjuara janë zhvilluesit e platformave, komunitetet kërkimore, qeveritë, qytetarët, ofruesit e shërbimeve dhe zhvilluesit e aplikacioneve. Një rritje e dukshme e popullsisë së qyteteve që po pritët në të ardhmen është lehtë e parashikueshme, kjo rritje do të imponojë një kompleksitet domethënës të procesimit kompjuterik në lidhje me përparimet në qytetet e zgjuara. Për më tepër, kjo rritje e shpejtë e popullsisë do të paraqesë sfida të mëtejme për infrastrukturën e qytetit për shkak të një rritje eksponenciale të të dhënave të krijuara nga pajisjet e ndryshme, të tilla si telefonat inteligjentë, sistemet e pozicionimit global, sensorët e zgjuar dhe kamerat inteligjente.

Një mënyrë për të përballuar sfidat e procesimit kompjuterik dhe ruajtjes së të dhënave në shkallë të gjerë është përdorimi i pajisjeve të shtrenjta kompjuterike të dedikuara me kapacitet të mjaftueshëm ruajtjeje. Për të eliminuar nevojën për pajisje kompjuterike të kushtueshme, u fut

teknologjia Cloud Computing. Kjo është një teknologji e fuqishme që ka për qëllim të përmirësojë Cilësinë e Përvojës (QoE) duke siguruar kapacitete ruajtëse dhe përpunimi në mënyrë të efektshme dhe me fleksibilitet të lartë varësisht sipas kërkesave. Karakteristikat mahnitëse të procesimit në cloud, të tilla si shkallëzueshmëria, qëndrueshmëria, shumëzimi, kapaciteti i mjaftueshëm i ruajtjes dhe bashkimi i burimeve, kanë bërë që adoptimi i kësaj teknologjie të jetë i mundur në fusha të ndryshme. Kohët e fundit, llogaritja në cloud me burime praktikisht të pakufizuara është shfaqur si një paradigmë premtuese për të trajtuar kompleksitetin e lartë të llogaritës që bëjnë qytetet e zgjuara. Sidoqoftë, kufizimet e kësaj teknologjie natyrshëm janë: latenca e lartë, sjellja jo kontekstuale, mos ofrimi i mbështetjes për mobilitet ose kufizime serioze në përdorimin e saj në mjedise të zgjuara në kohë reale.

Përveç këtyre dobësive, procesimi në cloud vuan nga joefikasiteti i kohës së përpunimit të dhënave për shkak të vëllimit të madh të të dhënave të qyteteve të zgjuara. Nga ana tjetër, Edge Computing e mundëson zgjerimin e llogaritjes së Cloud në rrjetin e Edge dhe ofron ndërgjegjësim mbi kontekstin (context awareness), ka latencë të ulët, dhe ofron mbështetje të plotë për mobilitet (teknologji mobile) dhe ka shkallëzueshmëri të gjerë. Prandaj, për të adresuar kufizimet e llogaritjes së Cloud dhe për të mundësuar hapësirë për funksionim të Qyteteve të zgjuara me teknologji në kohë reale, Edge Computing është një zgjidhje e zbatueshme [10].

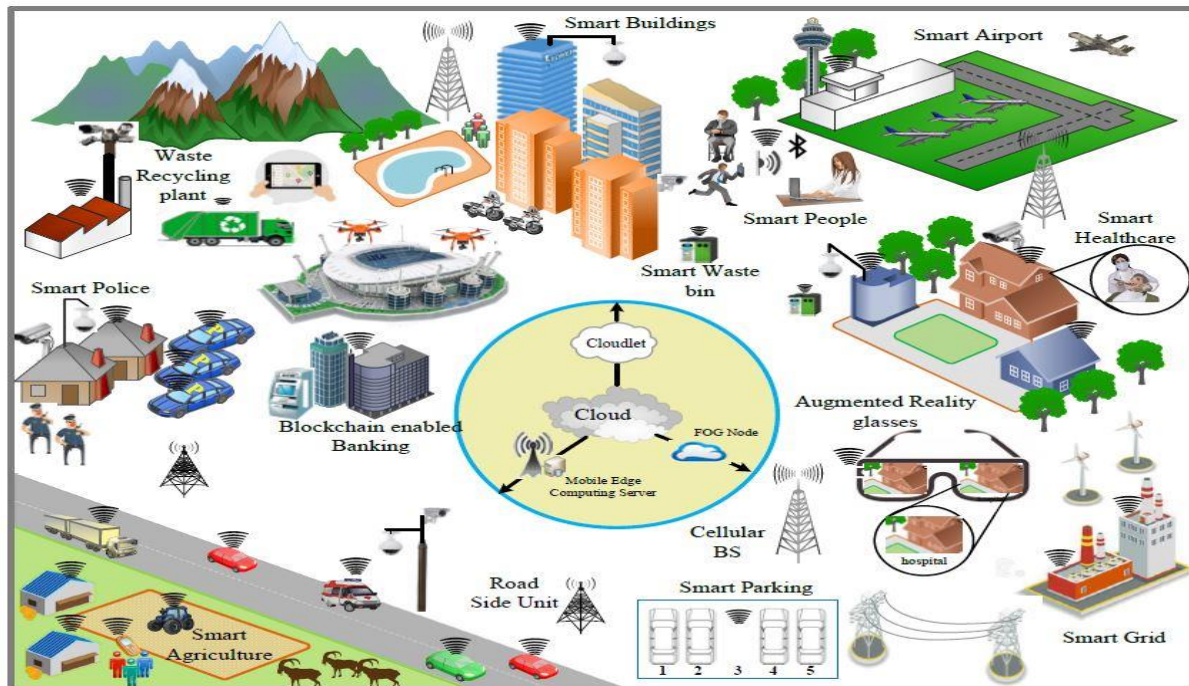


Figura 15 Pamje e përgjithshme e asaj se si Edge Computing i mundëson Qytetet e Zgjuara (Burimi: Edge Computing Enabled Smart Cities: A Comprehensive Survey)

Figura më sipër sqaron një përmbledhje të nivelit të lartë të mjediseve të qytetit të zgjuar të bazuar në Internet of Things (IoT) e të mundësuar nga Edge Computing. Këto mjedise inteligjente të bazuara në IoT krijojnë pajisje dhe sensorë të IoT për të përmirësuar standardet e jetesës për qytetarët. Përveç kësaj, IoT mund të përcaktohet në mënyra të ndryshme sepse shoqërohet me një larmi teknologjish dhe konceptesh.

Aplikacionet asistuese të IoT për qytetet e zgjuara përfshijnë: rrjetet inteligjente, sistemet e ndriçimit inteligjente, transportin inteligjent, kujdesin shëndetësor inteligjent, shtëpitë inteligjente, bujqësinë inteligjente dhe realitetin e shtuar (augmented reality). Prandaj është e qartë se IoT është një pjesë integrale e qyteteve të zgjuara. Hapi tjetër është tu mundësojmë aplikacioneve të qytetit inteligjent dhe aplikacioneve tjera që konsumojnë resurse në mënyrë intenzive të kenë rregullim strikt të latencës (vonesave, të jenë sa më të ulëta). Edge computing garanton një zgjidhje premtuese e cila u mundëson këtyre aplikacioneve të aftësi të mëdha procesuese dhe të ruajtjes së të dhënave me latencë të ulët. Kohët e fundit, tre teknologji të ndryshme në zhvillim, cloudlet, cloud computing dhe mobile edge computing, janë përdorur për të shfrytëzuar tiparet e jashtëzakonshme të cloud computing.

4.7.1 Avancimet e fundit

Ky seksion analizon në mënyrë kritike trendet mbizotëruese drejt qyteteve të zgjuara të mundësuar nga Edge Computing. Përveç sigurimit të një pasqyre për aspektet arkitektonike dhe algoritmike, këtu kemi sjellur edhe një vlerësim rigoroz të literaturës nga ekspertë të kësaj fushe në nivel ndërkombëtar të cilët kanë përdorur parametra të ndryshëm vlerësimi.

Shkenctarët konsiderojnë pesë parametra të ndryshëm të vlerësimit, përkatësisht: vetëdijësimin e kontekstit (context awareness), shkallëzueshmërinë, qëndrueshmërinë, ruajtjen dhe sigurinë. Ndërgjegjësimi për kontekstin (Context awareness): Një aftësi e sistemit për të marrë informacione që kanë të bëjnë me vendndodhjen e nyjeve dhe mjedisin përreth tyre. Asistenca context-awareness mundëson ekzekutimin automatik të shërbimeve të qytetit inteligjent.

Qëndrueshmëria: Kjo merret me hartimin efikas të energjisë dhe përdorimin e burimeve të rinovueshme të energjisë. Qëllimi kryesor i qëndrueshmërisë është zvogëlimi i nivelit të emetimit të karbonit. Një pjesë e konsiderueshme (më shumë se 80%) e energjisë gjenerohet duke përdorur burime të karbonit. Prandaj, qëndrueshmëria është një aspekt i rëndësishëm që duhet të merret parasysh në hartimin e infrastrukturës së Edge Computing. Për më tepër, kjo metrikë ofron një rritje të fitimit, ulje të nivelit të emetimit të karbonit dhe e rrit besueshmërinë e harduerit.

Shkallzueshmëria: Aftësia e një sistemi për të mundësuar shërbime fleksibile sipas kërkesave të përdoruesit pa humbur QoS, duke rezultuar në një operacion me kosto të efektshme. Caching: Ruajtja e përkohshme e përmbajtjes popullore në lokacione të ndryshme në një rrjet për të mundësuar input me latencë të ulët. Caching gjithashtu zvogëlon bllokimet në një rrjet duke shmangur qarkullimin e përsëritur të trafikut. Siguria: Kjo i referohet sigurisë fizike të pajisjeve dhe sigurisë në internet. Më saktësisht, siguria kibernetike merret me mbrojtjen e rrjetit, infrastrukturën procesuese dhe mbrojtjen e të dhënave nga sulmet.

Sistemi i Transportit Smart - Një sistem transporti inteligjent është parashikuar të mundësojë skema inovative të menaxhimit të trafikut, mënyra të avancuara të transportit, ngasje autonome dhe shërbime informuese brenda mjeteve transportuese.

Aplikacionet e Transportit Smart - Zhvillimi i aplikacioneve të transportit inteligjent bëhet vetëm me mbështetje të teknologjisë Fog Computing. Kërkesat më moderne dhe sfidat në lidhje me zbatimin e Fog Computing, për të mundësuar funksionimin e aplikacioneve për transport të zgjuar janë si më poshtë:

Kërkesat e shkallëzueshmërisë dhe ndërgjegjësimit të kontekstit në rrjetet e automjeteve të asistuar nga teknologjia, migrimi i shërbimeve dhe siguria, janë faktorët që kanë një rëndësi të konsiderueshme në rrjetet e automjeteve. Automjeti mund të ndryshojë lidhjen në rrjet nga një njësi rrugore në tjetrën gjatë transmetimit të videos. Prandaj, migrimi i shërbimit duhet të konsiderohet në hartimin e aplikacioneve të asistuar nga Fog Computing për rrjetin e mjeteve të transportit. Në mënyrë të ngjashme, aspekti i sigurisë duhet të adresohet për të shmangur çdo aksident dhe dëmtim fizik. Për shembull, nëse një haker hyn në sistemin e mjeteve të transportit dhe ndryshon informacionin për ndryshimin e korsisë, kjo mund të rezultojë në aksidente, veçanërisht në makina autonome.

Rrjetet e automjeteve të përcaktuara me program kompjuterik që funksionojnë nga mbështetja në 5G (5G-enabled Software Defined Vehicular Networks) - Arkitektura 5G-SDVN, e cila përbëhet nga tre rrafshë, siç është rrafshi i të dhënave për transmetimin e të dhënave, rrafshi social për Vehicular Neighbour Groups (VNGs) dhe rrafshin e kontrollit me mobile edge computing.

Për më tepër, arkitektura e SDN ofron përfitimet e ndarjes efikase të të dhënave, bashkëveprimin të kudogjendshëm celular dhe bashkëpunimit të besueshëm të burimeve. Përveç këtyre përfitimeve, SDN ofron ndarje të logjikës së kontrollit nga infrastruktura themelore, e cila siguron më shumë liri për shtimin e funksionalitetit (d.m.th. inteligjencës) në një rrjet pa marrë parasysh ndryshimin në harduer. Megjithatë, arkitektura e propozuar ofron përparësi të konsiderueshme, por nuk merr parasysh rastin e migrimit aktiv të shërbimit.

Augmented Reality (Realiteti i shtuar) (AR) - Realiteti i shtuar është gjithashtu njëra nga teknologjitë që ka mundur realizimin e qyteteve të zgjuara. Kjo teknologji u ofron përdoruesve Realitetin e Shtuar industrial, për turizmin e zgjuar (smart tourism), mbështetjen e zgjuar në distancë të largët (smart remote live support), realitetin e shtuar me bazë inteligjencën e webit, siç mund të sjellim shembujt e nënseksioneve të mëposhtme.

Realiteti i shtuar industrial - Një arkitekturë industriale AR e bazuar në Fog Computing, e njohur edhe si AR industriale Navantia (IAR Industrial Augmented Reality Navantia). Përdorimi i IAR në industri të zgjuara çon në rritjen e produktivitetit. Arkitektura e propozuar e IAR përbëhet nga tre shtresa, të tilla si shtresa IAR, shtresa e Edge Computing dhe shtresa e Cloud Computing. Shtresa IAR përfshin AR devices që përdorin WiFi së bashku me teknologji të tjera pa tel për lidhjen me shtresën e Edge.

Pajisjet e shtresës IAR bashkëveprojnë me shtresën e Edge përmes portave lokale të shtresës së Edge që ofrojnë shërbime të latencës së ulët, të tilla si ruajtja e caching dhe fuzionimi i sensorëve. Avantazhi i kësaj arkitekture është shkallëzueshmëria dhe caching në arkitekturë. E meta e kësaj arkitekture është siguria e cila kërkohet për operim normal. Për shembull, një përdorues i paautorizuar mund të hyjë në sistem dhe të ndërpresë funksionimin e duhur të sistemit, i cili mund të çojë në pasoja të rënda.

Turizmi i zgjuar - Mobile edge computing ka mundësuar një arkitekturë për transmetim e videove me rezolucion të lartë HD dhe kjo teknologji konsiderohet edhe tek përdorimi i turizmit të zgjuar. Një rast i tillë janë syzet interaktive për të marrë informacion në lidhje me lokacionin ose objektin e vizituar, ndërsa rasti tjetër përfshin turistët që incizojnë video, i komentojnë këto video dhe i dërgojnë ato në serverin e Edge Computing. Edhe pse migrimi i një shërbimi të tillë nga një server Edge në një Edge tjetër konsiderohet përgjegjësi e turistëve, por turistët nuk e mendojnë kurrë për menaxhimin e burimeve për përdorues të shumtë, ata i mendojnë vetëm nevojat personale, e që në praktikë është më realiste skenar i shumë përdoruesëve. Andaj për eksperiencë më të mirë të shërbimeve, institucionet që menaxhojnë me turizmin dhe telekomunikacionin duhet të ofrojnë këtë eksperiencë të mirë e cila mundësohet vetëm në sajë të AR dhe Mobile Edge Computing. Në përgjithësi, turistët vizitojnë vendet historike në grupe (bashkësi shoqërore), prandaj komunikimi i pajisjes me pajisje me ndërgjegjësim shoqëror (social awareness) duhet të konsiderohet gjithashtu si element për përmirësimin e performancës. Përdoruesi mund të kërkojë përmbajtje nga një përdorues tjetër që e ka atë, në vend që të dërgojë një kërkesë tek access pointet. Kjo do të përmirësojë shkallën e transmetimit të përdoruesit kërkues dhe do të zvogëlojë bllokimin e access point-ave.

Kujdesi shëndetësor i zgjuar - Kujdesi shëndetësor i zgjuar realizohet duke u ofruar lehtësi institucioneve të kujdesit shëndetësor me kosto të ulët dhe efektive në të gjithë botën.

Spitalet e zgjuara- Spitalet smart mundësohen nga një arkitekturë e kujdesit shëndetësor, e cila është arkitekturë tri shtresore e bazuar në Fog & Edge Computing për shtëpitë / spitalet e zgjuara. Arkitektura e propozuar përbëhet nga shtresa e pajisjeve inteligjente, shtresa e Edge dhe shtresa e Cloud. Shtresa e pajisjeve ka sensorë mjekësorë që kapin sinjalet biomjekësore nga trupi i njeriut. Këto sinjale biomjekësore dërgohen më tej në portat përmes teknologjive pa tel, të tilla si ZigBee, Wi-Fi ose Bluetooth. Shtresa e cloud përbëhet nga llogaritjet në cloud që kryen analiza të të dhënave. Shtresa e Edge përbëhet nga porta inteligjente e-shëndetësore, të cilat shpërndahen

geografikisht dhe janë të afta për të mbështetur protokollet për komunikim pa tel dhe komunikim ndërmjet pajisjeve. Për më tepër, shtresa e Edge kryen gjithashtu funksione të përpunimit të të dhënave lokale, filtrimin e të dhënave, kompresimin e të dhënave, fuzionimin e të dhënave, analizën e të dhënave, ruajtjen lokale dhe funksionet e ndërveprimit.

Rrjetet - Gridat e zgjuara (eng Smart Grids)- Një grid i zgjuar është një teknologji inovative që mundëson transformimin e rrjeteve tradicionale me qëllim të zvogëlimit të kostove të shërbimeve dhe të zvogëlimit të ngrohjes globale duke përdorur burime të rinovueshme të energjisë, njehsorë të zgjuar dhe pajisje inteligjente.

Bujqësia e zgjuar - Bujqësia e zgjuar ka për qëllim të shfrytëzojë teknologjitë e përparuara për rritjen e produktivitetit dhe uljen e kostos njëkohësisht.

Bujqësia me precizion të zgjuar- Një infrastrukturë e shpërndarë inteligjente e mbështetur në IoT dhe e ndihmuar nga nyjet e Edge mund t'i ofroj një fermeri përfitime të zgjeruara. Arkitektura e propozuar përbëhet nga katër nivele, d.m.th., shtresa e gjërave, shtresa e Edge, shtresa e Fog Computing dhe shtresa e komunikimit. Në shtresat e gjërave, një gjë - pajisje mund të jetë një aktuator, kontrollor ose sensorë, të cilat janë krijuar për të përmbushur objektivat e prodhimit. Funksioni i Edge Computing është të sigurojë ndërveprimin, ruajtjen, analizën e zgjuar dhe parashikimin pranë Edge.

Arsyeja e përdorimit të Edge Computing është për shkak të kërkesave të ulëta të latencës për kontrollin, përgjigjet e shpejta të analizës së të dhënave dhe monitorimit të vazhdueshëm të sensorëve. Caching mund të përdoret për të përmirësuar edhe më tej performancën e inkuadrimit inteligjent.

Shtëpi të qëndrueshme e të zgjuara - Shtëpitë e zgjuara mundësohen në sajë të një kornize tre nivelëshe për shtëpitë e zgjuara të bazuara në IoT dhe Edge Computing. Tri nivelet e kornizës janë një shtresë e shtëpive të zgjuara, një shtresë nanogride dhe një shtresë mikrogride. Shtresa e shtëpisë inteligjente përbëhet nga gjërat shtëpiake me ndërfaqe për të mundësuar komunikimin pa tel. Të gjitha të dhënat në shtëpitë e zgjuara janë mbledhur në një sistem, i cili ka aftësinë e përpunimit dhe ruajtjes lokale. Në rangun nanogrid, sistemet e shtëpive të ndryshme të zgjuara komunikojnë me njëra-tjetrën. Për të mundësuar komunikimin midis sistemeve, mund të përdoren tipologji të ndryshme, siç janë rrjetat, klasteri ose yjet. Në nivelin mikrogrid, sistemet e shtëpive të ndryshme të zgjuara komunikojnë me pajisjet përmes portave - gateway. Pajisjet IoT kanë

energji të kufizuar, prandaj gateway-t e Edge Computing mund të përdoren për të siguruar shërbimet e procesimit për shtëpitë e zgjuara. Kufizimi i madh i kornizës qëndron në mungesën e konsiderimit të sigurisë që paraqet sfida të rëndësishme për funksionimin e shtëpive të zgjuara. Një dashakeq mund të hyjë në objektet e shtëpisë së zgjuar të bazuara në IoT dhe t'i drejtoj funksionet e pajisjeve në një mënyrë të dëmshme, të pa dëshiruar.

Lojërat Mobile shumë të zgjuar- Lojërat shumë të zgjuara sot janë të zhvilluara edhe në teknologjitë AR / VR Përtej AR/VR për të funksionuar këto lojëra janë të domosdoshme interneti me shpejtësi të madhe, aftësi e lartë e procesimit kompjuterik, pajisje inteligjente, krejt këto për të ofruar përvoja të interesante dhe të gjithëanshme të lojërave. Po flasim për lojëra të tilla celulare që mbështeten në besueshmëri të lartë të rrjetit, komunikim me latencë të ulët dhe në të dhënat e sensorëve të pajisjeve mobile. Për shembull, Pokemon Go është një lojë që funksionon në sajë të informacionit që i vije nga sensorët (d.m.th., vendndodhjen e përdoruesit) dhe AR.

Menaxhim i zgjuar i qyteteve - Në epokën e qyteteve të zgjuara, teknologjitë e informacionit dhe komunikimit janë të përfshira për të mundësuar menaxhimin më të zgjuar të infrastrukturës urbane për përmirësimin e përgjithshëm të përvojës së përdoruesit - QoE.

Një Sistem Inteligent i Menaxhimit është edhe IMCS që mundësohet nga procesimi në Edge Computing, ky sistem mundëson shmangjen e aksidenteve për shkak pusetave të hapura. IMCS-ja e propozuar përbëhet nga tre pjesë: teknologjia e perceptisionit dhe njohjes, teknologjia e transmetimit të rrjetit dhe teknologji e përpunimit të informacionit. Në teknologjinë e perceptisionit dhe njohjes, sensorët e Radio-Frekuencës së Identifikimit (RFID) janë bashkangjitur me puseta për të lehtësuar komunikimin aktiv. Në pjesën e dytë, grupi i ngushtë-IoT dhe Interneti përdoren për komunikim midis pusetave dhe përdoruesve përfundimtar. Pjesa e tretë përbëhet nga një sistem i menaxhimit inteligjent i aktivizuar në kompjuterin informues që lejon vendimmarrjen e menjëhershme.

5 SI PO SJELL EDGE COMPUTING NJË EPOKË TË RE TË CDN

Ne po jetojmë në një botë të lidhur shumë, ku gjithçka mund të shtyhet në Cloud. Ideja për të pasur një përmbajtje të vendosur në një vend, e cila mund të jetë e dobishme nga këndvështrimi i menaxhmentit, tani është e tepërt. Sot, përdoruesit dhe të dhënat janë të kudondodhura. Pritjet e përdoruesve janë rritur për shkak të këtij evolucioni. Tani ka një pritje të shtuar të një shërbimi me cilësi të lartë dhe një humbje të durimit të klientëve. Në të kaluarën, me durim mund të prisnim deri në 10 orë për të shkarkuar përmbajtjen e dëshiruar. Por sigurisht që nuk është më ky rast në kohën e tanishme. Në ditët e sotme kemi pritshmëri të mëdha dhe kërkesa për performancë të lartë por nga ana tjetër, ekzistojnë shqetësime gjithashtu. Interneti është një vend i çuditshëm, me modele asimetrike të paparashikueshme, dhe me një listë të problemeve të tjera që lidhen me performancën. Gjithashtu, interneti po rritet me një shpejtësi të përshpejtuar. Deri në vitin 2020, interneti pritet ka arritur në 1.5 Gigabajt trafik në ditë për person. Në kohët në vazhdim, bota e Internetit të Gjërave (IoT) do t'i tejkalojë shumë këto shifra. Për shembull, një aeroplan i lidhur në internet do të gjenerojë rreth 5 Terabajt të dhëna në ditë. Ky nivel spiral i vëllimit kërkon një qasje të re në menaxhimin e të dhënave dhe na detyron të rimendojmë sesi të ofrojmë aplikacione për to.

Kjo për shkak se të gjitha këto informacione nuk mund të përpunohen nga një Cloud i vetëm ose nga një pajisje e ndodhur në presmisa të një lokacioni. Latenca do të jetë gjithnjë problem. Për shembull, në realitetin virtual (VR) çdo vonesë ose ndërprerje mbi 7 milisekonda do të shkaktojë ndërprerje të lëvizjes. Kur vendimet kërkohen të merren në kohë reale, nuk mund të dërgosh të dhëna në cloud. Sidoqoftë, ju mund të përdorni Edge Computing dhe një infrastrukturë të dizajnuar së fundmi e njohur si multi-CDN.

5.1 Përmbledhje e Cloud computing dhe multi-CDN

Shkalla e adoptimit të cloud, all-things-video, IoT dhe Edge Computing po sjellin përsëri në jetë CDN dhe modelet e multi-CDN. Në mënyrë tipike, një multi-CDN është një model implementimi që përfshin më shumë se një ofrues të CDN. Drejtimi i trafikut kryhet duke përdorur metrikë të ndryshme, përmes të cilëve trafiku mund të jetë i balancuar ose i dështuar në mesin e ofruesve të ndryshëm. Edge Computing lëviz veprimet sa më afër burimit. Theshtë pika kur bota fizike bashkëvepron me botën dixhitale. Logjikisht, qasja e decentralizuar e Edge Computing nuk do të

marrë përsipër qasjen e centralizuar. Ata do të jenë plotësues të njëri-tjetrit, në mënyrë aplikacioni të mund të funksionojë në kulmin e nivelit të tij, në varësi të pozicionit të tij në rrjet.

Për shembull, në IoT, kursimi i energjisë në bateri është thelbësore. Le të supozojmë se një pajisje IoT mund të kryejë transaksionin në 10 minuta kohë udhëtimi (RTT), në vend të 100ms RTT. Si rezultat, ajo mund të përdorë 10 herë më pak bateri [2].

5.2 Interneti, një pengesë e performancës

Interneti është krijuar në parimin që të gjithë mund të flasin me të gjithë, duke siguruar kështu lidhje universale pavarësisht nëse kërkohet apo jo. Por në ndërkohë ka pasur një numër ndryshimesh në dizajn, me përkthimin e adresës së rrjetit (NAT) që është më e madhja. Sidoqoftë, në thelb roli i internetit ka mbetur i njëjtë përse i përket lidhjes, pavarësisht nga vendndodhja.

Me këtë lloj modeli të lidhjes, distanca është një përcaktues i rëndësishëm për performancën e aplikacionit. Përdoruesit në anën tjetër të planetit do të vuajnë pavarësisht nga madhësitë e buferave ose optimizimet e tjera të pajisjeve. RTT-ja e gjatë përjetohet pasi paketat të shkojnë përpara ose prapa transmetimit të të dhënave aktuale. Edhe pse po përdoret caching dhe ridrejtimi i trafikut, por deri më tani suksesi që është arritur është i kufizuar.

5.3 Parimet e “application delivery”

Protokolli i kontrollit të transmetimit (TCP), është i dizajnuar nisur nga supozimet se të gjitha shërbimet janë në një rrjet lokal lokal (LAN) dhe nuk ka humbje të paketave. Në kohën kur u krijua, ne nuk patëm trafik në kohë reale, transmetime të tilla si zëri dhe video që janë shumë të ndjeshme ndaj latencës dhe pengesave tjera.

Në mënyrë ideale, TCP ishte krijuar për lehtësinë e përdorimit dhe besueshmërinë, jo për të rritur performancën. Tashmë në të vërtetë kemi nevojë që ta optimizojmë TCP-në. Dhe kjo është arsyeja pse CDN-të janë shumë të mira në kryerjen e detyrave të tilla. Për shembull, nëse një lidhje merret nga një telefon celular, një CDN do të fillojë me supozimin se do të ketë humbje të lartë të paketave. Kjo u lejon atyre të nivelizojnë madhësinë e dritares TCP në mënyrë të saktë që të përputhen me saktësi me kushtet e rrjetit. Zmadhimi i performancës këtu bëhet në një kuptim të

përgjithshëm, e shumica synojnë uljen e latencës. Sidoqoftë, me aplikacione, të tilla si transmetimi i videos, latenca nuk na tregon nëse videoja po shkon në bufer. Mund të supozohet vetëm se vonesa më e ulët do të çojë në më pak buffering. Në një skenar të tillë, matja bazuar në totalin e sasisë së të dhënave që del nga një proces transmetues për kohë të caktuar është një metrikë shumë më e mirë e performancës pasi do t'ju tregojë se sa shpejt do të ngarkojë një objekt. Ne gjithashtu duhet të marrim parasysh kohët e ngarkesës së faqes. Në nivelin e rrjetit, është koha për tek bajti i parë (TTFB) dhe ping. Sidoqoftë, këto mekanizma nuk ju tregojnë shumë për përvojën e përdoruesit pasi gjithçka përshtatet në një paketë. Përdorimi i ping nuk do t'ju informojë për problemet e brezit. Dhe nëse një faqe në internet shkon më ngadalë me 25% pasi humbja e paketave tejkalon 5% dhe ju jeni duke matur kohën në bajtin e parë i cili është paketa e 4-të - çfarë saktësisht mund të mësoni? TTFB është i krahasueshëm me një protokoll të mesazhit të kontrollit të internetit (ICMP) i cili kërkon vetëm një shtresë deri në slack. Është mirë nëse diçka është thyer, por jo për të kuptuar nëse ekziston ndonjë mungesë e performancës. Kur e shqyrtojmë historinë e matjes së TTFB, do të zbulojmë se ishte vendosur për shkak të mungesës së matjeve të Monitorimit të Përdoruesit Real (RUM). Më parë TTFB ishte aq i mirë për të llogaritur përafërsisht se sa shpejt diçka do të ngarkohej, por ne nuk kemi pse të masim përafërsisht, pëderisa mund ta masim saktë me RUM. RUM është matje nga përdoruesit fundorë. Një shembull mund të jetë metrika e gjeneruar nga një faqe në internet që i shërbehet një përdoruesi aktual. Përfundimisht, TTFB, ping dhe koha e ngarkesës së faqeve nuk janë matje të sofistikuara. Ne duhet të preferojmë matjet e kohës me RUM për aq sa të mundemi. Kjo siguron një pamje më të saktë të përvojës së përdoruesit. Kjo është diçka që është bërë kritike gjatë dekadës së fundit. Tani ne po jetojmë në një botë RUM e cila na lejon të ndërtojmë rrjetin tonë bazuar në ato që kanë rëndësi për përdoruesit e biznesit. Të gjitha CDN-të po synojnë matjet RUM. Për këtë, ata mund të kenë nevojë të integrohen me sistemet e menaxhimit të trafikut që matin me inteligjencë atë që vërtet shikon përdoruesi përfundimtar [2].

5.4 Nevoja për multi-CDN

Kryesisht, arsyet që do të na kërkonim të zgjidhnin një mjedis multi-CDN janë disponueshmëria dhe performanca. Asnjë CDN e vetme nuk mund të jetë më e shpejta për të gjithë dhe kudo në

botë. Është e pamundur për shkak të modelit të lidhjes së internetit. Sidoqoftë, kombinimi më i mirë i dy apo edhe më shumë ofruesve të CDN do të rrisë performancën.

Një multi-CDN do të japë një performancë më të shpejtë dhe disponueshmëri më të lartë se sa mund të arrihet me një CDN të vetme. Një model i mirë është ajo që drejton dy zona të disponueshmërisë. Një model më i mirë është ajo që drejton dy zona të disponueshmërisë me një ofrues të vetëm CDN. Sidoqoftë, dizajni superior është ajo që drejton dy zona të disponueshmërisë në një mjedis multi-CDN.

5.5 Aplikimet në Edge Computing do të jenë norma e re

Jo shumë kohë më parë pati një kalim nga arkitektura e rëndë fizike monolitike në Agile Cloud. Por gjithçka që ndodhi me të vërtetë ishte kalimi nga pajisja fizike në një pajisje virtuale me bazë në cloud. Ndoshta tani është koha që duhet të kërkojmë, a është kjo e ardhmja që ne vërtet po e kërkojmë. Një nga çështjet kryesore në prezantimin e aplikacioneve në Edge Computing është mënyra e të menduarit. Është sfiduese për të bindur veten ose bashkëmoshatarët tuaj që infrastruktura në të cilën keni kaluar tërë kohën duke punuar dhe investuar në të, nuk është mënyra më e mirë që biznesi i juaj e ka përpara.

Edhe pse Cloud computing ka krijuar një gumëzhitje të madhe, vetëm fakti se migroni në re nuk do të thotë që aplikacionet tuaja do të funksionojnë më shpejt. Në fakt, gjithçka që ju jeni duke bërë, me të vërtetë është abstraktimi i pjesëve fizike të arkitekturës dhe pagimi i dikujt tjetër për ta menaxhuar atë. Sidoqoftë, industria e Cloud Computing ka hapur derën për diskutimet mbi aplikimin e Edge Computing. Tashmë kemi hedhur hapin e parë për në Cloud dhe tani është koha të bëjmë lëvizjen e dytë. Në thelb, kur mendoni për aplikimet në Edge Computing: thjeshtësia e tij është një CDN e programueshme. Një CDN është një aplikim i Edge Computing dhe një aplikim i Edge Computing është një super - përmbledhje e asaj që bën CDN-i juaj. Aplikimet e Edge tregojnë për procesimin e cloud në Edge. Është një model për të shpërndarë aplikacionin sa më afër burimit për të pasur latencë sa më të ulët, qëndrueshmëri shtesë dhe infrastrukturë të thjeshtuar, ku akoma i keni kontroll dhe keni privatësi në duart tuaja. Nga pikëpamja arkitekturore, një aplikacion i Edge Computing ofron më shumë qëndrueshmëri sesa vendosja e aplikacioneve në sisteme të centralizuara. Në botën e sotme ku përdoruesit kanë pritje të larta, aftësia fleksibile është domosdoshmëri për vazhdimësinë e biznesit. Aplikimet e Edge ju lejojnë të ktheheni përsëri apo të avanconi në një infrastrukturë arkitektura e të cilës është më e lirë, më e thjeshtë dhe më e

vëmendshme për aplikacionet. Sa më pak hapësirë dhe distancë në infrastrukturën tuaj, mund të keni më shumë kohë dhe mund të përqendrohni në atë që me të vërtetë ka rëndësi për biznesin dhe konsumatorët.

Një shembull i një arkitekture Edge:

Një shembull i arkitekturës Edge është brenda secilit PoP, çdo aplikacion ka mjedisin e vet të izoluar JavaScript (JS). JavaScript është e shkëlqyeshme për izolimin e sigurisë dhe shkallën e garantimit të performancës. JavaScript është një shembull i veçantë i izoluar që ekzekuton kodin në Edge. Me shumë mundësi, çdo JavaScript ka makinën e vet virtuale (VM). Operacioni i vetëm që VM po kryen është motori i funksionimit JavaScript dhe e vetmja gjë që po funksionon është kodi i klientit. Dikush mund të përdorë Google V8 open-source që cilësi të lartë të dhe një motor (engine) të lartë për të operuar JavaScript dhe WebAssociation.

Le ta pranojmë, nëse vazhdoni të ndërtoni më shumë PoP, do të godisni ligjin e zvogëlimit të kthimeve. Kur është fjala për aplikacione të tilla si ato të fushës celulare (mobile), dhe ju me të vërtetë dëshironi të veproni me kapacitet maksimal atëherë mund ta shmangni PoPs për të formuar një zgjidhje tjetër. Në kohët në vazhdim, ne do të shohim një trend ku shumica e aplikacioneve do të bëhen globale, që do të thotë aplikimet në Edge janë trendi. Dhe në anën tjetër sigurisht që s'ka kuptim ta vendosni të gjithë aplikacionin tuaj në një vend (lokacion) e në anën tjetër përdoruesit tuaj janë kudo tjetër nëpër botë. Prandaj kombinimi i Multi-CDN me teknologjinë Edge japin avantazhin lokal dhe global [2].

6 EDGE COMPUTING DHE 5G

Pajisjet e Edge Computing- veçanërisht pajisjet IoT - varen nga aksesit i rrjetit në cloud për të kryer llogaritjet e Machine Learning dhe për t'iu qasur modeleve komplekse të përpunimit të eventeve. Në të njëjtën mënyrë, këto pajisje kanë nevojë për qasje në rrjetë për të dërguar të statusin dhe të dhënat e sensorëve në cloud. Në një mjedis ndërmarrjeje, shumë nga këto pajisje janë tashmë në rrjetet SCADA dhe do të vazhdojnë të funksionojnë atje.

Këto rrjete janë rritur si në kompleksitet ashtu edhe në distancë, dhe disa industri paraqesin çështje më të ndërlikuara të lidhjes -rrjetit. Po kështu, numri i sensorëve wireless do të vazhdojë të rritet

geometrikisht me rritjen e automjeteve autonome, shtëpive të zgjuara dhe përvojave të shumta të tjera të brezit të lartë - bandwidthit. Për të mbështetur këto pajisje dhe nevojat e lidhjes, ndërmarrjet, si dhe konsumatorët kanë nevojë për më shumë bandwidth, mbështetje për më shumë pajisje në rrjet dhe siguri më të madhe për të mbrojtur dhe menaxhuar të dhënat.

Imperativi i sigurisë, shpejtësisë dhe shkallzueshmërisë është thelbësor për standardet e rrjetit pa tel 5G dhe gjeneratës së ardhshme të shërbimeve. Më tej, shpërthimi i pajisjeve IoT nënkupton shumë më tepër pajisje afër njëra-tjetrës. Një nga sfidat me standardet ekzistuese të rrjetit 4G LTE është densiteti i lidhjes. Një radio sistem 4G mund të mbështesë vetëm deri në 2,000 pajisje aktive në një kilometër katror. Pajisjet IoT, teknologjitë e Edge Computing dhe rritja e vazhdueshme në pajisjet personale do të kërkojnë lidhje më aktive se kurrë. Standardet 5G janë krijuar për të mbështetur deri në 100,000 pajisje aktive në të njëjtën madhësi hapësire dhe puna po vazhdon që kjo të ofrohet në kufirin e mbështetjes së afër 1 milion pajisjeve [1]. Duke krahasuar teknologjitë 4G LTE me 5G, ndryshimet e mëposhtme pritet të jenë ato që e bëjnë dallimin:

Tabela 1 Dallimet ndërmjet 4G LTE dhe 5G (Burimi: CISCO)

	4G LTE	5G
Average Data Rate	25 Mb/s	100 Mb/s
Peak Data Rate	150 Mb/s	10,000 Mb/s
Latencia	50 ms	1 ms
Densiteti i lidhjeve	2,000 km ²	100,000 km ²

Me veturat autonome, Edge Computing kërkohet për të mundësuar marrjen e vendimeve kritike për ndalimin e një makine vetë-drejtuese në kohë me precizitet absolut të saktë. Ndërsa shumë automjete sot nuk janë autonome, shumica e automjeteve të reja do të prodhohen si makina të lidhura, ku të dhënat e sensorëve, mbledhja e telemetrisë, veglat për parashikimin e kohës së mirëmbajtjes janë disa nga aspektet kryesore të automjetit.

Duke ekzaminuar standardet e dalura nga 4G LTE, operatorët e rrjetit nuk mund të ofrojnë shërbime të reja të rrjetit dhe kapacitete në raport me numrin e shtuar të sistemeve të reja të lidhura, le të themi kur merren parasysh pajisjet e tjera IoT, orët e zgjuara dhe matësit e tjerë të veshur dhe pajisjet e tjera teknologjike. 5G do të bëhet një aspekt kritik për tranzicionin e suksesshëm në këto zgjidhje të lidhura në rrjet. Ndërsa bartësit dhe operatorët e rrjeteve të telekomunikacionit kanë

filluar të rrotullohen në valën e parë të rrjeteve dhe shërbimeve 5G, adoptimi i 5G nga individët dhe organizatat nuk do të fillojë me të vërtetë deri në vitin 2020. Hendeku aktual në testimin e bartësve dhe adoptimin e rrjedhës kryesore do të jetë i varur nga disponueshmëria e pajisjeve me 5G, kjo do të jetë e varur gjithashtu edhe në azhurnimet e pajisjeve dhe softuerëve që kërkohen në rrjetet e operatorëve të telekomunikacionit me qëllim për të mbështetur teknologjitë 5G. Por kjo nuk do të thotë që arkitektura e Edge Computing nuk duhet të zbatohet tani. Shumica e ofruesve të mëdhenj të cloud ofrojnë shërbime të shumta për të mbështetur Edge Computing. Integrimi i modeleve të Machine Learning në pajisjet e Edge tani do të ndihmojë që projektet IoT të jenë më të suksesshme. Shumë prej këtyre pajisjeve IoT do të vazhdojnë të përdorin gateway dhe pajisje të tjera grumbulluese për të kontrolluar vëllimin e të dhënave që dërgohen në cloud dhe llojet e të dhënave. Shumë nga këto pajisje mund të zëvendësohen pa ndikuar fare në pajisjet ekzistuese IoT kur versionet e gatshme 5G të bëhen të disponueshme. Më e rëndësishmja, ndërmarrjet që do të hasin suksesin më të madh në këto transformime në vazhdim do të jenë ato që identifikojnë mënyrat për të nxitur inovacionin, krijimin e aftësive dhe drejtimin e transformimit të biznesit përmes përdorimit të këtyre teknologjive - jo vetëm përvetësimin e teknologjive sepse konkurrenca po bën hapat e saj me shpejtësi [1].

7 PRIVATËSIA DHE SIGURIA NË EDGE COMPUTING

Sidoqoftë, siç është rasti me shumë teknologji të reja, zgjidhja e një problemi mund të krijojë të njëjtin problem tjetër. Nga pikëpamja e sigurisë, të dhënat Edge mund të jenë problematike, veçanërisht kur ato trajtohen nga pajisje të ndryshme që mund të mos jenë aq të sigurt sa një sistem i centralizuar ose i bazuar në Cloud. Ndërsa numri i pajisjeve IoT rritet, është e domosdoshme që sektori i IT t'i kuptojë problemet e mundshme të sigurisë përreth këtyre pajisjeve dhe të sigurohet që ato sisteme mund të sigurohen. Kjo përfshin sigurimin që të dhënat të jenë të koduara, dhe të përdoren metodat e sakta të kontrollit të qasjes dhe madje edhe tunelimi VPN.

Për më tepër, kërkesat e ndryshme të pajisjes për energji procesuese, energji elektrike dhe lidhjes së rrjetit mund të ndikojnë në besueshmërinë e një pajisjeje Edge. Kjo e bën të ndjeshëm edhe menaxhimin e humbjeve për pajisjet që përpunojnë të dhënat në Edge, veçanërisht për të siguruar që të dhënat dorëzohen dhe përpunohen saktë edhe kur një nyje e vetme del prej funksionit. Si ruhen privatësia dhe të dhënat e përdoruesit nga sulmet e përdoruesve me qëllim të keq. Siguria në

infrastrukturën e Edge Computing në thelb ka dy aspekte kryesore: siguria kibernetike e pajisjeve dhe siguria fizike. Siguria në internet (kibernetike) i referohet mbrojtjes së rrjetit, infrastrukturës së procesimit dhe të dhënave. Në mënyrë të veçantë, siguria e të dhënave është mbrojtja e të dhënave nga aksesit i paautorizuar, ndërsa privatësia mund të konsiderohet si kornizë edhe e legjislacionit (një grup rregullash) që përcakton nivelet e mbrojtjes. Privatësia vendos kufizime në autorizimin e përdoruesve lidhur me aksesin e të dhënave dhe qëllimin e përdorimit të të dhënave. Përveç privatësisë, siguria duhet të adresohet siç duhet në të gjithë rrjetin dhe infrastrukturën e Edge Computing. Në thelbin e paradigmave të Edge Computing, ekzistojnë shumë mundësi të ndryshme të teknologjisë, d.m.th., virtualizimi, rrjetet pa tela, peer-to-peer, dhe sistemet e shpërndara. Prandaj, mundësia e sigurisë fizike të pajisjeve të Edge Computing është e nevojshme dhe shumë sfidues (për shkak të natyrës së shpërndarë të nyjeve Edge). Një përdorues i paautorizuar lehtë mund të përdorë fizikisht ndonjë nga pajisjet e Edge dhe të instalojë një program me qëllim të keq. Përveç sigurisë fizike, teknikat efektive kriptografike mund të përdoren për të garantuar siguri të përmirësuar kundër sulmuesëve. Për më tepër, mekanizmat e sigurisë në ekosistemet Edge Computing mund të jenë të centralizuara ose të decentralizuara bazuar në varësinë e vazhdueshme nga infrastruktura e centralizuar. Siguria e centralizuar kërkon disponueshmëri të vazhdueshme të infrastrukturës së centralizuar. Edhe pse kjo ka avantazhin e administrimit më të lehtë, është më i prekshëm ndaj dështimit në rastet kur sulmet drejtohen në serverin e centralizuar. Nga ana tjetër, një mekanizëm i decentralizuar i sigurisë ka avantazhet e zvogëlimit të vonësës dhe të qenit më pak i ndjeshëm ndaj dështimit nga sulmet. Sidoqoftë, një mekanizëm i tillë ka një kompleksitet më të lartë se algoritmet e centralizuara për shkak të natyrës së tij të shpërndarë [2].

PËRFUNDIMI

Ne sollëm një definim të detalizuar të teknologjisë Edge Computing, arkitekturën e saj, aplikimin e gjërë dhe ndërlidhjet me shumicën e teknologjive në rrjet dhe jo vetëm. Sollëm këtu rolin e madh dhe avantazhet e saj në industri, në funksionimin e IoT, në funksionimin dhe mbështetjen e Fog Computing, Cloud Computing, vumë në pah edhe rolin e madh në ri-përdorimin e teknologjive CDN me qëllim të rritjes së efikasitetit të Edge Computing edhe në nivel global.

I dhamë një hapësirë të madhe edhe rolit që ka Edge Computing në funksionimin e qyteteve të zgjuara dhe sistemeve ndërlidhëse me qytetet e zgjuara siç janë bujqësia e zgjuar, sistemi shëndetësorë, menaxhimi i urbanizimit dhe sistemet e veturave autonome.

Pikë kritike ishte edhe mundësimi dhe roli i përbashkët që ka edhe me teknologjinë 5G.

Pra mësuam dhe arritëm ta shpalosim se Edge Computing është një praktikë për realizimin e përparimeve të qyteteve të zgjuara që funksionojnë me teknologji në kohë reale. Parametrat e rëndësishëm ishin ndërgjegjësimi në kontekst (context awareness), shkallëzueshmëria, qëndrueshmëria, ruajtja dhe siguria. Për të përgaditur këtë temë kemi shfrytëzuar literaturën e përparimeve më të fundit dhe punimet që kanë marrë vlerësimin më rigoroz.

Ne kategorizuam përparimet e fundit në fusha të ndryshme të aplikimit dhe përmbledhëm kontributet e tyre kryesore. Ne pastaj konkludojmë se siguria ka një rëndësi të konsiderueshme midis faktorëve të tjerë dhe kështu duhet të zbatohet në hartimin e aplikacioneve inteligjente.

Përvec sigurisë, përfshirja e ndërgjegjësimit në kontekst në kompjuterin informues mund të përmirësojë performancën e sistemeve të reagimit emergjent.

Analitika e Edge mund të luajë një rol të rëndësishëm në qytetet e ardhshme të zgjuara. Një numër masiv i pajisjeve dhe sensorëve inteligjentë prodhojnë një vëllim të madh të të dhënave, nga të cilat vetëm një pjesë e vogël e të dhënave janë të dobishme. Kjo kërkon filtrim të të dhënave dhe përpunim inteligjent të menjëhershëm, i cili mund të aktivizohet nga Inteligjenca Artificiale e bazuar në skajet inteligjente (AI) të Edge Computing. Përdorimi i burimeve hibride të energjisë për të mundësuar funksionimin e qëndrueshëm është edhe një nga rekomandimet.

Përfundimisht kritike mbetet vetëm mungesa e kapaciteteve testuese për aplikimin dhe integrimin me 5G për shkak se ende rrjetet nuk janë shtrirë dhe për shkak të nevojës së detyrueshme që operatorët e telekomunikacionit duhet ta azhurnojnë harduerin dhe softuerin e tyre për të funksionuar me 5G. Ndërsa për vendin tonë mendojmë se jemi të privuar nga përfitimet e Edge Computing.

LITERATURA

- [1] Hewlett Packard Enterprise Development LP, "EDGE COMPUTING DEFINITION," 3 Janar 2020. [Online]. Available: <https://www.hpe.com/us/en/what-is/edge-computing.html>.
- [2] R. High, "What is Edge Computing | IBM Edge Computing," 2 Janar 2020. [Online]. Available: <https://www.ibm.com/cloud/what-is-edge-computing>.
- [3] E. Hamilton, "What is Edge Computing: The Network Edge Explained," 27 Dhjetor 2018. [Online]. Available: <https://www.cloudwards.net/what-is-edge-computing/>.
- [4] K. Shaw, "What is edge computing and why it matters," 13 Nëntor 2019. [Online]. Available: <https://www.networkworld.com/article/3224893/what-is-edge-computing-and-how-it-s-changing-the-network.html>.
- [5] W. Stallings, Foundations of Modern Networking SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud, Indianapolis, Indiana: Pearson, 2016.
- [6] Z. Cooper, "How edge computing can benefit businesses," 02 Janar 2020. [Online]. Available: <https://www.itpro.co.uk/internet-of-things-iot/34509/how-edge-computing-can-benefit-businesses>.
- [7] Forbes Technology Council, "13 Ways Edge Computing Can Benefit Businesses," 3 Janar 2020. [Online]. Available: <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2019/12/23/13-ways-edge-computing-can-benefit-businesses/#2d745a0139a8>.
- [8] Luke O'Neill, TechTarget, "What you need to know about edge computing architecture," Techtarget.com, 03 Maj 2019. [Online]. Available: <https://searchnetworking.techtarget.com/ehandbook/What-you-need-to-know-about-edge-computing-architecture>. [Accessed 03 Janar 2020].
- [9] Edge Computing Consortium (ECC) and Alliance of Industrial Internet (AII), "Edge Computing Reference Architecture 2.0," 2017.
- [10] J. C. Q. Z. Y. L. L. X. W. Shi, "Edge Computing: Vision and Challenges," vol. III, no. 5, 2016.
- [11] A. Iyengar, "Architecting at the Edge," 03 Janar 2020. [Online]. Available: <https://www.ibm.com/cloud/blog/architecting-at-the-edge>.
- [12] I. Y. N. H. T. S. M. A. K. T. N. D. C. S. H. Latif U. Khan, "Edge Computing Enabled Smart Cities: A Comprehensive Survey," 2019.
- [13] M. Conran, "How edge computing is driving a new era of CDN," 03 Janar 2020. [Online]. Available: <https://www.networkworld.com/article/3409027/how-edge-computing-is-driving-a-new-era-of-cdn.html>.
- [14] S. Bryson, "5G technology needs edge computing architecture," 03 Janar 2020. [Online]. Available: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/enterprise-networks/edge-computing-architecture-5g.html>.