

А.Б. Нусибалиева<sup>1</sup>, С.А. Юсупова<sup>1</sup>, Н.Т. Жетенбаев<sup>1</sup>, Г.К.Балбаев<sup>2</sup>, Н.С. Бакирова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ғ. Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті,  
Алматы, Қазақстан

<sup>2</sup>Логистика және көлік академиясы, Алматы, Қазақстан  
E-mail: a.nussibaliyeva@aes.kz

## МАШИНЕ-ТО-МАШИНЕ (M2M) ТЕХНОЛОГИЯСЫН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, МОБИЛЬДІ РОБОТТЫ МАШИНАЛАРҒА ҚЫЗМЕТ КӨРСЕТУ ПЛАТФОРМАСЫ АРАСЫНДАҒЫ БАЙЛАНЫСЫН ЗЕРТТЕУ

**Аңдатпа.** Қазіргі өндіріс әлемінде мобильді роботтық платформалар әмбебап және таптырмас активтерге айналды. Бұл платформалар тиеу-түсіру жұмыстары мен сапаны бақылаудан бастап құрастыру мен логистикаға дейінгі көптеген тапсырмаларды орындауға арналған. Олардың тиімділігінің негізінде динамикалық өнеркәсіптік ортада кедергісіз және тиімді байланысу мүмкіндігі жатыр. Бұл мақалада өндіріс контекстіндегі мобильді роботтық платформалардың әртүрлі коммуникациялық мүмкіндіктері қарастырылады, олардың нақты уақыттағы тапсырмаларға басымдық берудегі, деректермен алмасудағы және осы машиналарға қызмет көрсетудегі рөлі көрсетілген.

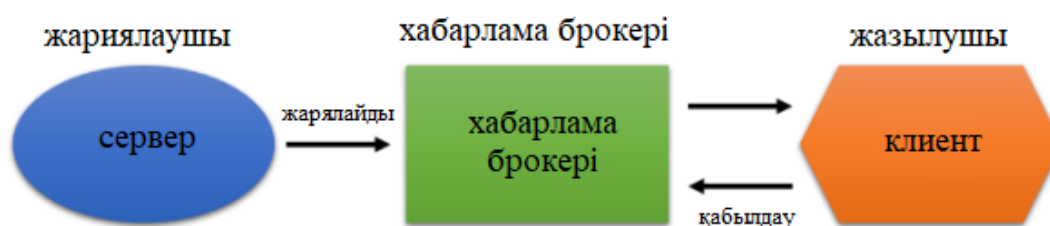
**Түйінді сөздер.** Машиналар арасындағы байланыс, мобильді роботтық платформа, байланыс интерфейстері, индустриялық автоматтандыру.

### Кіріспе.

Машиналарға қызмет көрсетуге арналған мобильді роботтық платформа контекстіндегі машина аралық байланыс (M2M) адамның араласуынсыз әртүрлі машиналар мен құрылғылар арасында деректер мен нұсқаулармен алмасуды қамтиды. Бұл сценарийде мобильді роботтық платформа материалдарды жүктеу және түсіру, процестерді бақылау және машиналардың тиімді жұмыс істеуін қамтамасыз ету сияқты тапсырмаларды орындау үшін CNC машиналары (компьютерлік сандық басқару) немесе 3D принтерлер сияқты әртүрлі машиналарға қызмет көрсету үшін қолданылады.

Нортбрукта орналасқан Barrett-Cravens компаниясы автоматтандырылған, басқарылатын тасымалдаушы құрылғыларды 1953 жылы алғашқы болып ұсынды [1]. Қозғалыс жолағын бақылап отыратын қарапайым технологиялармен және датчиктермен жабдықталған бұл тасымалдаушы құрылғылар арнайы жолдарға орнатылады. Байланыс, интеграция және унификация сияқты жүйелердің болмауына байланысты бұл технология артта қалып қойды. Кейінірек, 1980 жылдары электроника және автоматтандыру секторы үшінші өнеркәсіптік революцияға байланысты қарқынды дамыды. Соның арқасында әртүрлі интерфейстер мен байланыс технологиялары пайда болды. Төртінші өнеркәсіптік революция арқасында, яғни IoT және Industrie 4.0 сияқты жобалардың арқасында бүгінгі күні ішкі және сыртқы байланыстың жаңа мүмкіндіктері ашылды. Осы мүмкіндіктерді пайдалана отырып енді компаниялар тасымалдаушы құрылғыларды әрі қарай жетілдіре алады және оларды қолданыстағы көлік инфрақұрылымына енгізе алады. Тасымалдаушы құрылғылар технологиясының жалғасы ретінде қазіргі таңда әртүрлі жылжымалы роботтар жасалуда. Мұндай мобильді роботтарды сәтті дамыту үшін бірнеше міндеттерді шешу қажет. Мобильді роботтарды пайдалану жағдайларымен қатар, мобильді роботты әртүрлі өндірістік нысандарға енгізу мүмкіндіктерін егжей-тегжейлі талдау және бағалау қажет.

Message Queue Telemetry Transport (MQTT) интерфейсі машинааралық байланыс үшін стандартты интерфейске айналды [2]. Сенімді байланысты қамтамасыз ету үшін бұл интерфейсстің құрылымы TCP/IP сияқты желілік архитектураға негізделген [3]. MQTT тарату-қабылдау принципі бойынша жұмыс істейді, ақпарат XML форматында жүктеледі [4]. Ең алдымен, MQTT брокері үшін тиісті тақырып анықталады. Содан кейін осы тақырып аясында құрылғы деректерді жариялай алады. Осы тақырыппен байланысқан басқа да құрылғылар дереу жариялау туралы хабарлама алады [5]. Егер құрылғы сон режимінде болса, онда ол белсенді режимге өту туралы хабарлама алады. MQTT желісінде үш маңызды компонент бар: клиенттер, брокерлер және тақырыптар (1 суретте көрсетілгендей). Клиенттер – бұл брокермен әрекеттесу үшін QT кітапханасын пайдаланатын барлық құрылғылар болып табылады. Клиенттерді жариялаушылар мен жазылушылар деп бөлуге болады. Егер жариялаушы брокерге белгілі бір хабарлама жіберсе, онда бұл хабарлама жазылушыларға келеді [6]. Брокерлер клиенттердің аутентификациясы мен авторизациясына, хабарламаларды қабылдау мен сүзуге және барлық жазылушыларға хабарлама жіберуге жауапты [7]. Бұл ретте брокер бірыңғай коммуникациялық процестерді ұйымдастыратын коммуникациялық делдалдың функциясын орындайды. Сонымен қатар, брокерлер арасындағы тікелей байланысты қамтамсыз ететін MQTT брокерлері бар, олар брокер-көпірлер деп аталады [8]. Тақырыптар хабарламаларды топтастыруға, таратуға, сүзуге және бағыттауға мүмкіндік береді.

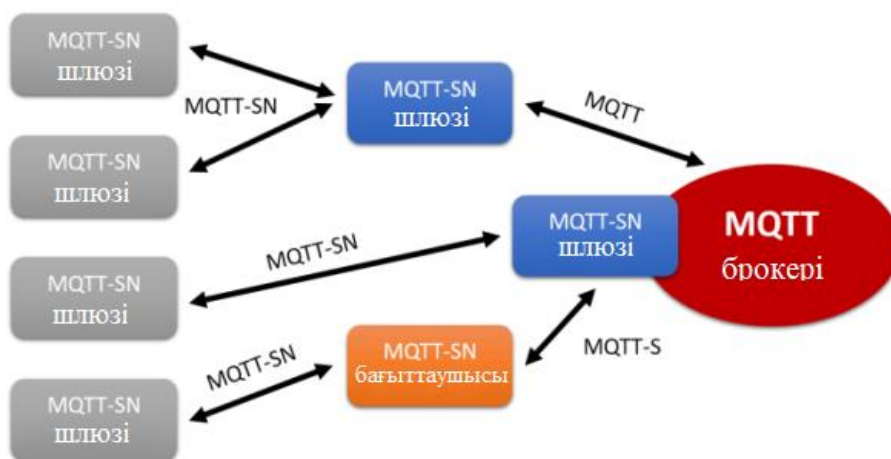


1 сурет - MQTT хаттамасының жариялаушы және жазылушы схемасы бойынша жұмыс істеу принципі

MQTT интерфейсі деректерді жеткізудің дұрыстығын тексеретін үш механизмнен, клиентпен байланысты бақылау механизмінен, қауіпсіздіктің үш түрлі деңгейінен (none, пайдаланушы және пароль) және TLS/SSL сертификаттарынан тұрады. Осы интерфейсстің күрделігін азайту үшін қарапайым тақырыптар қолданылады. Көп жағдайларда екі сатылы конфигурация қолданылады: MQTT клиенттері мен MQTT брокері [2]. MQTTSN – бұл MQTT интерфейсiнiң модификацияланған түрі болып табылады. Ол сымсыз байланыс пен желі үшін оңтайландырылған және келесі мәселелерді жояды: төменгі өткізу қабілеті, байланыс арналарының үзілуі, қысқа хабарлама ұзындығы, сымсыз желілердегі ақаулардың көптігі және мобильді құрылғылардың бортында деректерді өңдеу мен сақтаудың шектеулі мүмкіндіктері [9]. Технологияның бұл түрі үш сатылы конфигурацияны қолданады.

MQTT сияқты, XMPP «жариялау – жазылу» принципі бойынша жұмыс істей алады және TCP/IP хаттама негізінде құрылады [2]. Деректерді жіберу IP хаттамасы арқылы жүзеге асырылады, бұл хаттама IPv4 және IPv6 екі стандартты да қолдайды [10]. Негізінен, бұл хаттама әртүрлі XML технологияларын қолданады және оны XEP хаттама кеңейтімдерін қолдану арқылы кеңейтуге болады [11]. Сонымен қатар клиент-сервер XML ағындарын тікелей қосу арқылы нақты уақыттағы байланысқа жақын байланысқа қол жеткізуге болады. Сондай-ақ бұл хаттама желіні құру үшін брандмауэр шлюзін немесе қосымша бағдарламалық жасақтаманы пайдалануды қажет етпейді және құрылғыларды бір желіге қосуды жеңілдетеді. XMPP хаттамалық технологиясын пайдалану тегін, ашық,

әрі оңай және ол RFC 3920 және RFC 3921 стандарттарына ие. Оның икемділігінің арқасында желіні басқару, бірізділік, файлдарды бөлісу немесе бұлтты есептеу сияқты әртүрлі функциялар мен қосымшаларды жүзеге асыруға болады [12]. Желіде жекелеген клиенттер жариялаушы немесе жазылушы ретінде әрекет ете алатын jabber ID (JID) арқылы идентификацияланады [13]. MQTT сияқты, XMPP жариялау және жазылу принципі бойынша жұмыс істей алады, онда бірнеше XMPP субъектілері тақырыптар жасайды (немесе оларды түйіндер деп те атайды) және оларда ақпаратты жариялайды [2]. Бұл ақпарат осы тақырыптарға жазылған барлық түйіндерге беріледі, сол себепті түйіндер ақпараттарға оңай қол жеткізе алады [14].



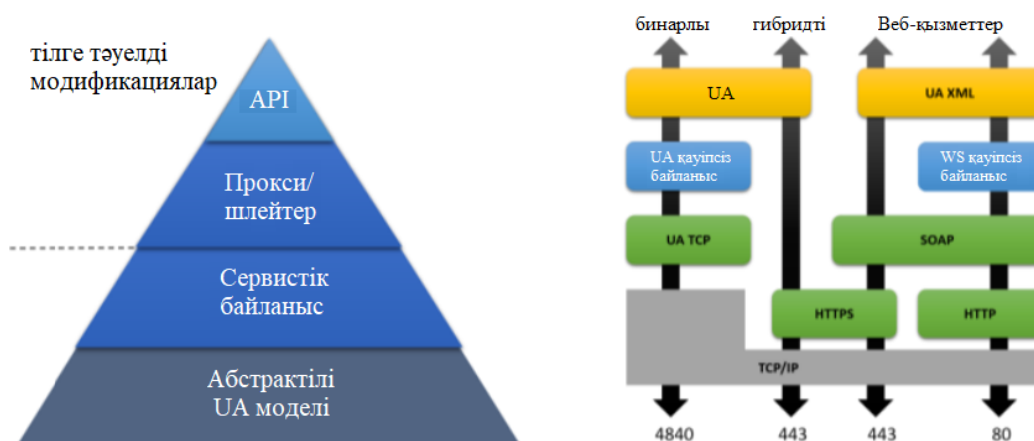
2 сурет - MQTT-SN құрылымы сипаттайтын үлгі

Жазылым, жазылымнан бас тарту және жариялау функциялары әртүрлі «сұраныс», «сәтті» немесе «қателік» сияқты хабарламалармен жүзеге асырылуы мүмкін. Сонымен қатар, тақырыптарды құруға, конфигурациялауға, басқаруға және жоюға болады. Қосылу күйін анықтау үшін әр субъектінің қосылуы туралы ақпарат беріледі «қосылды» немесе «ажыратылды» түрінде беріледі. Әртүрлі физикалық құрылғылар үлкен көлемдегі ақпарат шығаратын сенсорлық жүйелерде Pubsub механизмдері жиі қолданылады. Мұндай желілерде сенсорлар мен атқарушы құрылғылар бір уақытта жариялаушы және жазылушы бола алады. Мұндай құрылғылар тиісінше командаларды орындай алады, сонымен қатар логикалық файлдарды оқи алады (жазылушы ретінде әрекет еткен жағдайда) немесе сенсорлардан келген деректерді желіге жібере алады (жариялаушы ретінде әрекет еткен жағдайда). Ақпаратты түсіну үшін деректер агрегаторлардың көмегімен жиналады. Агрегаторлар абоненттер болып табылады, олар әртүрлі тақырыптар бойынша деректерді жинап қана қоймай, оларды талдаудан өткізеді, осылайша нәтижесінде тиімді пайдалануға болатын біртұтас ақпарат қалыптасады. Шын мәнінде, бұл ақпараттық массивтер жеке тақырыптарда жарияланады [15]. Бірнеше веб-технологияларға негізделген REST әмбебап XML және Internet Mail Extensions (MIME) кеңейтімдерін, HTTP хаттамасын деректерді жеткізу хаттамасы ретінде, URI идентификаторын мәліметтерді сәйкестендіруші ретінде қолданады. Rest технологиясын қолданған кезде XML файлы веб-сайтқа тіркелген тиісті веб-бетте орналасатын нақты бір ақпараттан тұрады [16]. M2M байланыс аясында жұмыс істеу кезінде RESTful веб-қызметтері жиі қолданылады, өйткені олар статикалық сипаттамаларға ие емес. Осылайша, сенімсіз байланыстарды қалпына келтіруге болады. Сонымен қатар, қосылған құрылғылар қосылыс күйлерін басқарып отыраты қосымша жадыны қажет етпейді. RESTful API («қолданбалар интерфейсі») қолданып жеке қолданбаларды конфигурациялауға болады. Дегенмен, жетілдірілген мүмкіндіктері бар желілерге келетін болсақ (деректерді жеткізудің жоғары жылдамдығының аккумулятор,

процессордың тұтынатын қуатымен сәйкес келуі), HTTP тақырыптарының үлкен өлшемдеріне және XML, JSON деректер пакетінің үлкен болуына байланысты REST технологиясын қолдану тиімсіз болып табылады. Сол себепті CoAP сияқты жеңілдетілген хаттама типі қажет.

Жоғарыда айтылғандай, IoT және M2M қосымшалары ресурстардың шектеулілігімен және көптеген төмен қуатты құрылғылардың болуымен сипатталады. Сондықтан HTTP-ге балама ретінде жеңілдетілген хаттама қажет. CoAP REST технологиясына негізделген және UDP хаттамасы негізінде жұмыс істейді. Бұл хаттама клиент пен серверлер арасында ақпаратты тікелей жібереді, техникалық қызмет көрсету құны төмен және HTTP-ге оңай түрлендіріледі. Ақпарат XML немесе JSON форматында жіберіледі [17].

OPC бірыңғай технологиясы – бұл қызмет көрсетушіге сұраныстарды қабылдайтын, оларды өңдейтін және шешімді кері жіберетін қызметке бағытталған технология (SOA) болып табылады. Стандартталған және ортақ қызметтерді пайдалану бойынша OPC UA үйлесімді, толықтырылатын және ешқандай платформаға тәуелсіз құрылым ретінде танымал [18]. Ол төрт сатылы құрылымға негізделген: төменгі жағында – UA абстрактілі моделінің сипаттамасы, келесі сатыда қызметтерді байланыстыру, ал пирамиданың ең жоғарғы бөлігінде кеңейтулер мен модификациялар болады. Бұл технология бірнеше күрделі ақпарат түрлерімен алмасуға мүмкіндік беретін семантикалық деңгейде әрекеттесуді қамтамасыз етеді. 3 суретте өріс деңгейіндегі басқару элементтері жалпы ақпарат жүйелеріне сілтеме жасай алатын модель көрсетілген. Сондықтан көлік, мета-модельдер мен қызметтер үшін функционалды мүмкіндіктер қажет. Тасымалдау әрбір қосымшаға өзіне тән хаттамаларды қолдана отырып, OPC-UA қосымшалары арасында өзара мәліметтер алмасуға мүмкіндік береді. TCP/IP хаттамасына негізделген UA TCP технологиясы жоғары өнімділік пен жылдамдыққа кепілдік береді, ал HTTP және SoAP болса Firewall-ға бағытталған. Метамоделі ішінде тиісті ақпараттық модельдің әртүрлі нормалары мен негізгі элементтері анықталады. Әр түрлі қызметтер серверлер арасында ақпарат жеткізушілері ретінде және клиенттер оның пайдаланушылары ретінде өзара әрекеттесуді қамтамасыз етеді [19]. Ақпараттық модельдің өзі қабаттардан тұрады, ал әрбір жоғары қабат белгілі бір ережелерге сәйкес құрылады. Бұл дегеніміз, ережелермен жұмыс істеу мүмкіндігі шектеулі клиенттер тіпті егер модель ішіндегі байланыстың қалай жүзеге асатынын білмесе де күрделі ақпараттық модельдерді өңдей алады [20]. Сонымен қатар, UA OPC өнім деректерін, хабарландыруларды, оқиғаларды, мұрағат деректерін және тапсырманы қамтуы мүмкін біріктірілген мекенжай жүйесін қамтамасыз етеді [16]. Сондықтан әр түрлі мекен-жай кеңістіктерін шолу үшін бір ғана интерфейс қажет болады [19]. Әртүрлі дереккөздерге сәйкес, OPC UA технологиясы жақын арада IoT стандартына айналады деп күтілуде [5] [9] [11] [20].



3 сурет - OPC UA құрылымы [19]

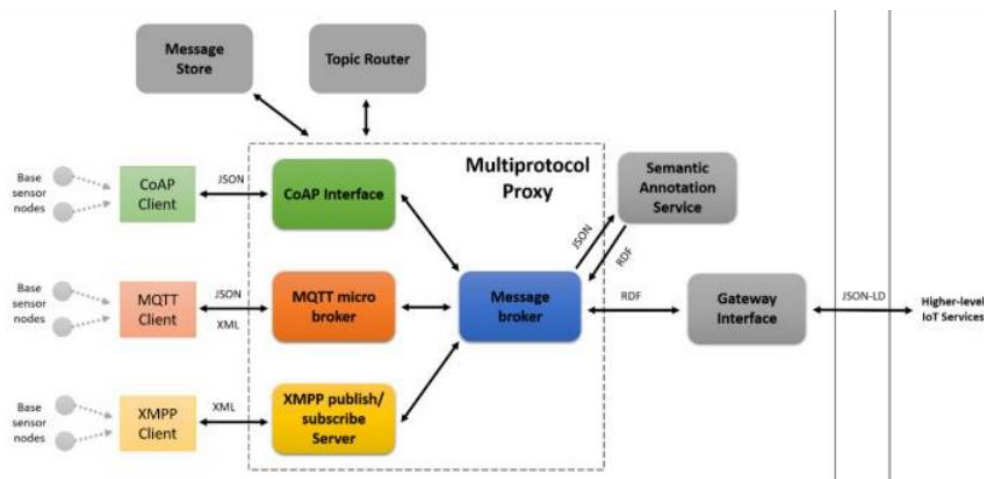
### **Материалдар мен тәсілдер.**

Жүйелік талдау – қолданыстағы техникалық байланыс ландшафтын түсіну өте маңызды. Мобильді роботтық платформалар көбінесе ескірген және заманауи жүйелер қатар өмір сүретін гетерогенді ортада жұмыс істейді. Үйлесімділік пен функционалдық үйлесімділік негізгі мәселелер болып табылады. Бұл мақалада өнеркәсіптік автоматтандыруда жиі қолданылатын әртүрлі байланыс хаттамалары, стандарттар мен архитектуралар қарастырылады. Онда бұл хаттамалар мобильді роботтардың зауыттық цехтардағы басқа жабдықтармен кедергісіз өзара әрекеттесуін қамтамасыз ету арқылы деректер мен басқару топтарымен алмасуды қалай жеңілдететіні қарастырылады.

### **Нәтижелер мен талқылау.**

IoT концепциясын жүзеге асыру үшін қазіргі таңда «silos» деп аталатын тәсіл қолданылууда. Әрбір нақты қосымшаның өзіндік ішкі құрылымы болады, бұл қосымша интерфейстердің пайда болуына және жоғары шығындарға әкеледі [3]. Болашақта мұндай құрылым барлық тапсырмаларды орындау үшін бір ғана операциялық жүйесі бар көлденең типті құрылыммен ауыстырылатын болады [6]. [3] жұмысқа сәйкес, мұндай желілік инфрақұрылымда үш түрлі кадамды бөліп қарастыруға болады: жинау қадамы, жібері қадамы және өңдеу, ұйымдастыру және пайдалану қадамы. Жоғарыда айтылғандай, физикалық түйіндер, яғни физикалық құрылғылар (RFID, сенсорлар) қысқа қашықтықтағы байланыс арқылы бір-бірімен мәліметтермен алмасады. Сондықтан желінің тиімді жұмыс істеуін қамтамасыз ету үшін әртүрлі хаттамаларды қолдануға болады. Мұндай хаттамаларды төмен қуатты желілік хаттамаларға (ZigBee, ZWave, Bluetooth), дәстүрлі желілік хаттамаларға (Ethernet, WIFI) және IOT желілік хаттамаларға (CoAP, MQTT, XMPP) жіктеуге болады. Дегенмен, бұл хаттамалар әр түрлі болмағандықтан, IoT инфрақұрылымдары хаттамадан тәуелсіз болатындай шешімдерді қажет етеді. Шлюз түйіндерінің есептеу ресурстарының көлемінің үлкен болуына байланысты шлюздер IoT қызметтеріне абоненттерді қосу үшін пайдаланылады (SGS) [6]. Шын мәнінде, шлюз физикалық құрылғылар мен бұлт арасындағы деректер алмасуды басқарады, оны семантикалық қызметке бағытталған технология (SSOA) деп атауға болады. Мұндай технологияда түйіндер иерархия түрінде немесе торлы желі түрінде өзара байланысады және жоғарыда аталған хаттамалар (CoAP, XMPP, MQTT) арқылы шлюзге қосылады. Бұл ретте шлюзге берілетін деректер іс жүзінде аннотациялауға жатпайды. Бұл ретте шлюзге берілетін деректер іс жүзінде аннотацияланбайды. Іс жүзінде бұл конфигурациядағы физикалық сенсорлық түйіндер әрқайсысы өзінің хаттамасын (CoAP, MQTT, XMPP) қолдайтын клиенттер болып табылады. Клиенттік ақпарат мультихаттамалы проксиіне JSON және/немесе XML сияқты әртүрлі форматтар арқылы берілуі мүмкін. Осылайша, берілген хаттамаға тән әрбір ақпарат ағынының өз арнасы болады. CoAP, MQTT және XMPP құрылымындағы айырмашылықтарға байланысты тиісті трансляция үшін мультихаттамалы прокси қажет. MQTT «жариялау/жазылу» принципінің негізінде жұмыс істесе, CoAP «сұраныс/жауап» принципінің негізінде жұмыс істейді. «Жариялау/жазылу» принципіне сүйене отырып (pubsub деп те аталады), XMPP ресурстарды тақырыптар емес, түйіндер деп түсінеді. Осы ерекшеліктерге байланысты әр түрлі форматтар қажет (XML және/немесе JSON). 4 суреттен көріп отырғаныңыздай, хабарлама қоймасы мен тақырып маршрутизаторы трансляция процесін қамтамасыз ететін мультихаттамалы проксимен байланысады.





4 сурет - Мульти хаттамалы прокси-серверді қамтитын SGS сервистік интерфейс

Тақырып маршрутизаторы әртүрлі тақырыптарды құруға және басқаруға, сондай-ақ осы тақырыптарға арнайы пайдаланушы күйлерін тағайындауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, CoAP ақпаратын осы тақырыптармен сәйкестендіруге болады. Көп арналы хабарламаларды мультихаттамалы прокси-сервер шеңберінде таратқаннан кейін хабарлама брокері оларды семантикалық аннотация қызметіне JSON форматында жібереді. Өңдеуден кейін хабарлама брокері аннотацияланған ақпаратты RDF форматында алады. Бұл формат деректерді шлюз интерфейсіне жіберу үшін қажет. Шлюз RESTful хаттамасымен жұмыс істеуге мүмкіндік беретіндей RDF форматын аннотацияланған JSON форматына түрлендіреді. Бұл сипатталып отырған жүйені бұлтты қызметтермен және басқа да SGS жүйелерімен байланыстыру үшін қажет [6].

M2M-байланыста ақпараттық-коммуникациялық технологиялар (ICT), сондай-ақ үлкен деректер қолданылады. M2M-дегі үлкен деректерге бес негізгі талап қойылады: нақты уақыттағы деректермен жұмыс істеу мүмкіндігі, ауқымдылығы, әмбебаптығы, сенімділігі және гетерогенділігі [4] [7]. [7] сәйкес, үш түрлі M2M құрылымын қолдануға болады: IP қолдамайтын үш сатылы, IP қолдайтын екі сатылы және IP қолдамайтын екі сатылы құрылымдар. Бірінші модельде (IP қолдамайтын үш сатылы құрылымда) жекелеген құрылымдарға IP берілмейді. Әдетте бұл құрылым кіріктірілген интеллект пен желіге қол жетімділігі бар арзан құрылғыларды пайдалану кезінде қолданылады. Бұл жағдайда бірнеше шлюзі бар капиллярлық желілер қолданылады. Бірінші деңгейлі шлюз арқылы «нүкте-нүкте» байланысы (мысалы, IEEE 802.15.4, M-Bus) немесе ретранслятор/шлюз арқылы жүзеге асырылатын маршрутталған торлы байланыс (мысалы, ZigBee, Z-Wave) орнатылады. Бірінші деңгейге негізделген екінші деңгейлі шлюз WIFI, Ethernet және ұялы байланыс сияқты кең таралған технологияларды қолдана отырып, IP қолдауымен байланыс орнатады. Кең тараған хаттамаларға UDP, TCP және HTTP жатады, алайла M2M байланысты қолданағанда мәліметтермен алмасу үшін MQTT және CoAP хаттамалары кеңінен қолданылады. Соңында деректермен алмасу және құрылғылардың өзара әрекеттесуі тұрғысынан алғанда жекелеген құрылғыларды басқару үшін үшінші деңгейлі шлюз қызмет берушілермен байланысады. Бірінші физикалық деңгейде орналасқан құрылғылар WIFI, Ethernet немесе ұялы байланыс арқылы екінші деңгейге дербес қосыла алады. Ол үшін шлюз қажет емес. Желіден тыс қосылу мүмкіндігіне байланысты құрылғының өзінде кіріктірілген жады мен интеллект болуы керек. Бұл аппараттық талаптар HTTP немесе MQTT сияқты тиісті хаттаманы қолданудың қажетті шарты болып табылады. Соңғы модель – IP қолдамайтын құрылғыларды қолданатын екі сатылы құрылым. IP негізіндегі транзиттік желіні пайдалану кезінде желіні жеңілдетуге және кеңірек қамтуға қол жеткізуге болады [7].

*Пайдалану мысалы.*

Бұл зерттеуде негізгі пайдалану түрі ретінде бөлшектерді автоматты түрде ауыстыру анықталды (Machine Tending). Сондықтан өнеркәсіптік робот-манипуляторынан тұратын мобильді роботтық жүйенің болуы болжанады. Бұл процесті келесі процедураларға бөлуге болады:

- 1) Көлік есігін ашу.
- 2) Бөлшектің күйі мен салмағын тексеру.
- 3) Бөлшек кеңістігінің күйін тексеру.
- 4) Бекіткіштерді ыдырату.
- 5) Көлік ішіндегі бөлшекті таңдау.
- 6) Бөлшекті идентификациялау.
- 7) Бөлшекті алу және өңдеу.
- 8) Бөлшекті көлікке салу.
- 9) Бекіткіштерді бекіту.
- 10) Көліктің есігін жабу.

5 суретте мобильді көлік роботын пайдаланудың мысалы көрсетілген.



5 сурет - Мобильді роботтық жүйемен машиналарға техникалық қызмет көрсету

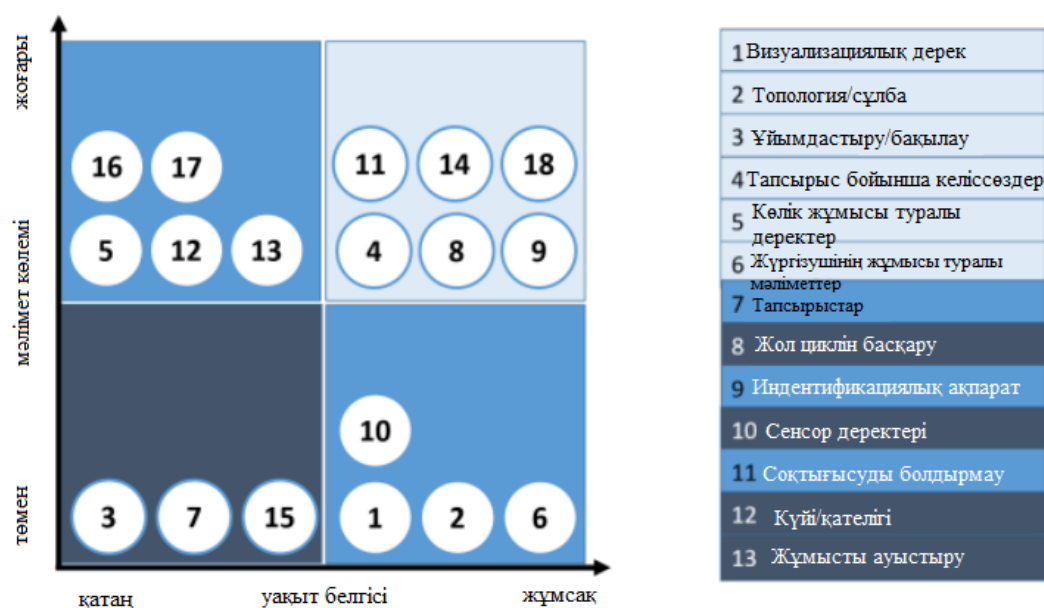
*Ақпарат алмасуды талдау.*

Бұл тарауда мобильді роботтық жүйелерде алмасатын ақпарат жайында айтылады. Алдымен әртүрлі дереккөздердің негізінде жалпылама ақпарат ипатталатын болады. Бұл тараудың негізі [21] дереккөзге сүйенеді. VDI/VDE 5100 және VDI 2510 интерфейстерінде автоматтандырылған көлік құралдарының (AGV) материалдық ағындарын басқару жүйелері үшін әртүрлі ақпарат жинақталған [22]. Келесі ақпарат интернетке сүйене отырып келесідей негізделеді: жүйенің құрамдас бөліктеріндегі бағдарламалық агенттерді тіркеу және есептен шығару, көлік бірліктеріне қызмет көрсететін бағдарламалық агенттердің сұраныстары, модуль-агенттер арасындағы тапсырыстар туралы келіссөздер, модуль-агенттердің бағдарламалық қызметтерде ұсыныс және орнату/жою туралы хабарламалары. Вирт VDI және VDMA ұсынған ақпаратты ақпараттық кластарды құру үшін Интернет парадигмасының ақпараттық талаптарымен біріктірді. Осылайша, ақпаратты кластерлерге топтастыруға болады:

- визуализациялаушы деректер;
- топология/сұлба;
- ұйымдастыру/бақылау;
- тапсырыс бойынша келіссөздер;
- көлік жұмысы туралы деректер;
- машинистің жұмысы туралы деректер;
- брондау;

- жүктеу циклін басқару;
- индетификациялаушы деректер, сенсор деректері;
- соқтығысудың алдын алу;
- күй/қате туралы хабарландырулар;
- жұмыс орындарын ауыстыру.

Осы кластарға сәйкес бірнеше ішкі деректер кластары туралы да айтуға болады. Ақпараттың осылай жіктелуінен басқа, Вирт оны нақты уақыт режимінің талаптарына сәйкес кластерледі. Сондықтан нақты уақыт талаптарына сәйкестікті бағалау үшін «уақыт-мақсат», «деректердің максималды көлемі», «сұраныстардың орташа жиілігі» және «терминалдар саны» критерийлері қолданылды. Техникалық жағдайды бағалау үшін жұптасқан уақыт пен деректердің максималды көлемінің критерийлері қолданылады. 6 суретте жеке деректер кластарының осы екі критериймен байланысы көрсетілген. Ақпаратты талдау негізінде мобильді робототехника саласына арналған қосымша мәліметтерді бағалау қажет. ЕРС көмегімен осы сценарийді іске асыру процесін модельдеу негізінде өзара әрекеттесу объектілері мен тиісті ақпарат талданды. Негізінен ақпарат кластары «идентификаторлар», «өзара әрекеттесу», «басқару туралы мәліметтер», «робот манипуляторы туралы мәліметтер», «қозғалыстың орындалуы туралы мәліметтер», «мобильді жүйе туралы мәліметтер» және «кешенді мәліметтер» болып топтастырылады.



6 сурет - Әртүрлі әрекеттерге арналған мәліметтер көлемі және нақты уақыт талаптары

Идентификаторлар сандық құрылымға ие болғандықтан, деректер саны аз. Сонымен қатар, осы сандармен байланысты тапсырмаларды белсендіру дер кезінде орындауды талап етпейді, сондықтан нақты уақыт режимінде деректерді ұсыну қажеттігі де туындамайды. Екіншіден, тапсырмалардың күйі және аккумулятордың күйі туралы деректер қажет. Бұл күй деректері Pubsub құрылымында тақырыпқа мәндерді енгізу үшін пайдаланылады. Осылайша, үнемді байланыс желісін құруға болады. Күйлердің «Boolean» сипаты деректердің аз мөлшерін пайдалануға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, күйлер нақты уақыттағы функциялардың міндетті түрде болуын қажет етпейді. Олар сұраныстардан немесе командалардан тұрады, бұл олардың деректерінің көлемін арттырады. Егер ERP сұраныстары жедел түрде жіберілмесе, онда командалық деректер уақытты қажет етеді. Өзара әрекеттесулердің қауіпсіздігі нақты уақыт режимінде ақпарат алмасуға мәжбүр етеді. Сипаттамалық деректердің салмағы әдетте өте аз болады, себебі қарапайым ақпараттардан тұрады. Сонымен қатар, таймерлерді қоспағанда, таймердің

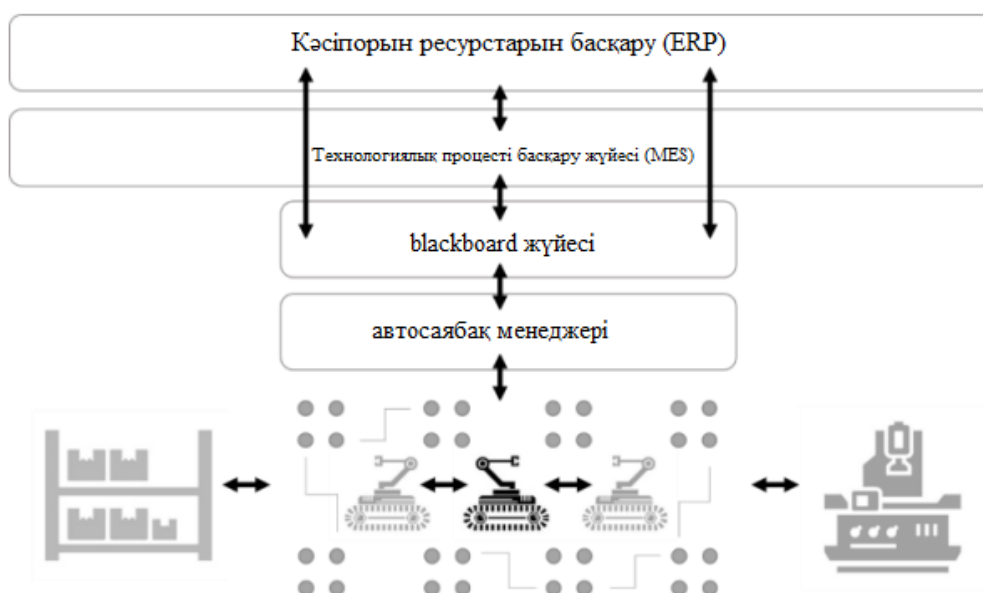


қажетті дәлдігіне байланысты деректерді беру басымдығы әдетте төмен болады. Робот-манипуляторда қолданылатын барлық математикалық және ақпараттық мәліметтер, әрине, жоғары басымдыққа ие. Бұл күрделі кадрлардың, векторлардың, жазықтықтардың және Якоби матрицаларының болуына байланысты. Қозғалысты орындауға арналған техникалық тапсырмада роботты манипуляторды бекіту, құрал-саймандар, түсіру, жылжыту бойынша нақты деректер келтіріледі. Қажетті ақпараттың үлкен көлеміне байланысты деректер көлемі де өте үлкен болады. Нақты уақытқа қойылатын талаптар, керісінше, төмен, өйткені қозғалыстың өзі қауіпсіздікке қауіп төндірмей немесе процестердің айтарлықтай баяулауынсыз сәл кідіріспен орындалуы мүмкін. Мобильді платформа бірнеше ақпарат кластарын қажет етеді. Мобильді платформа үшін, сондай-ақ робот-манипулятор үшін позиция деректері жеткілікті қарапайым, өйткені олар  $x$ ,  $y$  және  $z$  мәндерінің жиынтығынан тұрады. Мобильді робот картаны өзі жүктейді, сондықтан нақты уақыт сипаттамаларын қажет етпейді. Алайда, нақты уақыт режимінде карта жасауға тура келуі мүмкін, бұл кезде осындай мүмкіндіктер қажет болады. Картадағы объектілердің нақты уақыт моментіндегі орнын өзгерту үшін басқа мобильді роботтарда болатындай икемді құралдардың болуы талап етіледі. Соқтығыстың алдын алу үшін маршрут туралы ақпаратты ұсыну қажет. Осыған байланысты деректер көлемі, сондай-ақ нақты уақыт талаптары да жоғары болады. Дегенмен, саябақ менеджері әрбір мобильді робот үшін соқтығысуды болдырмайтын жолдарды анықтау үшін маршруттар алдын ала есептеледі. Бұл жағдайда нақты уақыт режимінде ақпарат беру қажет. Бірақ мобильді роботтың қозғалысы кезінде ауытқулар пайда болған кезде, мысалы, күтпеген кедергілер туындаған кезде, бұл ақпарат авто саябақ менеджеріне жеткізілуі керек. Содан кейін келесі басқа маршрут есептеледі және ол басқа да маршруттарға да өз әсерін тигізеді. Сондықтан мұндай жағдайлар үшін нақты уақыт деп аталатын мүмкіндіктер қажет болады. Мобильді роботқа орнатылған сенсорлар кедергілерді, сондай-ақ басқа да роботтарды кедергілер түрінде қабылдай алады. Сенсорлардан алынған деректерді реляциялық типтегі деректер ретінде негіздеуге болады. Кәдімгі координаталық деректерден айырмашылығы, мобильді роботтардың орналасуы туралы деректер инкременттік мәндер ретінде ұсынылады. Мұндай деректер әлдеқайда күрделі болады. Шын мәнінде, робот басқа да объектілермен дәл байланыса алуы үшін мұндай ақпарат нақты уақыт режимінде берілуі керек. Сапар басталғанға дейін мобильді жүйеге қозғалтқыштарды басқару туралы нақты ақпарат қажет (қозғалыс параметрлері), мысалы, үдеу, жылдамдық, жауап беру уақыты. Осы ақпараттық ағындардың әртүрлілігін қарай олардың күрделілік дәрежесін бағалауға болады. Бұл ақпараттар жадыда сақталады және сапар басталғанға дейін қолданылады. Сондықтан бұл жағдайда нақты уақыт режимінде деректерді беру аса маңызды емес. Жылдамдық шектеулері немесе техникалық қауіпсіздік талаптары сияқты жетек процесіндегі өзгерістер нақты уақыт режимінде қажетті бөліктерге жеткізілуі мүмкін. Егер жылдамдық шектеулері қарапайым ақпараттардан (аз мөлшерлі деректерден) тұрса, онда қауіпсіздік талаптары, мысалы, сенсорларды калибрлеу айтарлықтай күрделене түседі. Шын мәнісінде, сенсорлық деректердің өзі де күрделі болып келеді. Сенсорлардың жұмысы туралы бірнеше деректерді біріктіре отырып, толыққанды қорытынды жасауға болады. Қоршаған орта жағдайларына жауап беру үшін сенсорлардан алынған деректерді нақты уақыт режимінде беру керек. Күрделі ақпараттың тағы да бір класына визуалды деректер жатады. Үш өлшемді объектілерді олардың сапасын анықтау мақсатында сканерлеу кезінде сканерленген деректер оның сапа белгілерін талдау үшін үш өлшемді объектіге аударылуы тиіс. Сондықтан нақты және оңтайлы 3D моделін салыстыру қажет, сәйкесінше бұл деректер көлемінің артуына әкеледі. Деректер көлеміне және нақты уақыттың басымдылығына келетін болсақ, бұрын сипатталған ақпарат кластары 7 суреттің аналогы болып табылатын келесі схемаға келтірілді.



7 сурет - Мобильді роботты пайдалану мысалдарын талдау барысында анықталған деректер көлемі және ақпараттың нақты уақыт талаптары

Вирттің пайымдауынша, жалпы мобильді роботтарға арналған байланыс жүйелеріне сегіз түрлі талап қойылу қажет. Қысқаша айтатын болсақ мұндай талаптарға келесілер жатады: ақпаратты қажет болған жағдайда ғана тарату, сымсыз байланыс, деректермен нақты уақыт режимінде алмасу, үйлесімділік, техникалық ашық стандарттар, басқа байланыс жүйелерімен өзара әрекеттесу, сигнал деңгейінің және желінің істен шығу жиілігінің өздігінен реттелуі, желінің қауіпсіздігі, сондай-ақ батарея қуаты. Аталған негізгі талаптардан басқа, Вирттің диссертациялық жұмысында басқа да талаптарды бөліп көрсетуге болады. Мысалы, мобильді роботтар үшін олардың ішіндегі ең маңыздыларына келесілер жатады: байланыс серіктестерін іздеу, деректердің сәйкестігі және олардың артықтығы [29]. Негізгі талаптардан басқа, байланыс интерфейстерін де ескеру қажет. Вирт ұсынған «blackboard» жүйесіне сүйене отырып, автор 8 суретте көрсетілген нақты қолдану жағдайларына бағытталған жүйенің үлгісін ұсынды.



8 сурет - Байланыс сұлбасы

Осыдан қосымша талаптар туындайды. Біріншіден, мобильді робот басқа машиналармен, нысандармен және құрылғылармен тікелей байланыса алуы керек (OPC UA арқылы жүзеге асырылатын M2M байланыс жүйесі арқылы). Екіншіден, «blackboard» ақпараттық жүйесімен жұмыс істеу қажеттілігі туындайды, оған publish-and-subscribe сияқты әртүрлі байланыс хаттамалары арқылы қол жеткізуге болады. Байланыс хаттамаларының әртүрлілігіне және барлығы қолданатын бірыңғай стандарттың болмауына байланысты хаттамалар арасындағы үйлесімділіктің болуы өте маңызды. Осыған орай әртүрлі хаттамалармен жұмыс істей алатын мультихаттама проксиінің мысалы қарастырылған болатын. Оны қолданудың басты шарты – ол MQTT, XMPP, CoAP және OPC UA сияқты әртүрлі технологияларды қолдауы қажет. Егер сарапшылардың болжамдары орындалса және болашақта OPC UA негізгі байланыс құралына айналатын болса, онда бұл хаттаманы белсенді түрде қолдау өте маңызды болады. Қорытындылай келе, мобильді робот ERP және MES сынды жүйелермен өзара әрекеттесуі керек екенін атап өткен жөн. Сондықтан осы ақпараттық жүйелерден келген сұраныстар түсінікті болуы керек. Бұған тікелей байланыс арқылы да, авто саябақ менеджерінің көмегімен де қол жеткізуге болады. Бұл байланыс жүйесі екі жақтан да бір мезетте сұраныстарды қабылдап, оларды түсінікті форматқа аудара отырып, тиісті түрде тарата алады. Аралық бағдарламалық жасақтама үшін екі түрлі опция ұсынылады: бағдарламалық жасақтама мобильді робот құрылымына ендіріледі немесе одан тыс жатады. Бірінші нұсқа тиімді, себебі ол ақпаратты өңдеуді орталықсыздандыруды қамтамасыз етеді. Екінші жағынан, бұл құрылым бірнеше кемшіліктерге ие: күрделілік және қосымша шығындардың көп болуы. Екінші нұсқаны қолданған кезде ресурстарды аутсорсингке жіберуге болады, яғни бұл дегеніміз сыртқы жүйе қажетті командаларды тікелей роботқа беріп отырады. Бір жағынан, шығындарды болдырмауға болады. Екінші жағынан, орталықтандырылған жүйенің сенімділігі өте маңызды. Сыртқы интерфейстерден басқа, ішкі байланыс жүйесі қажет. Біріншіден, мобильді жүйе робот-манипулятормен тікелей әрекеттесуі керек. Сондықтан роботтың оперативті жады енгізу-шығару интерфейстері арқылы манипулятормен және мобильді жүйемен байланысуы керек. Шындығында, қауіпсіздік ережелеріне сәйкес робот пен терминал арасында әдетте қорғаныс тізбегі (Servo ON/OFF) жүзеге асырылады. Бұл платформа қозғалмай тұрған кезде робот манипуляторының қозғалысы орындалады дегенді білдіреді. Әдетте роботты басқару жүйесі немесе PLC арқылы іске асырылады. Сонымен қатар, манипулятор жүйесі Bus интерфейсіне қосылуды қажет етеді. Роботпен бірлесіп жұмыс істеу үшін, яғни адам мен роботтың өзара әрекеттесуін жүзеге асыру үшін қосымша сенсорлық технология қажет. Осыған байланысты автор ISO TS 15066 сияқты әртүрлі нормативтік құжаттарға сілтеме жасайды. Сонымен қатар, толыққанды мобильді құрылғы әзірлеу үшін мобильді платформа мен оған бекітілген сенсорлар бір-бірімен өзара әрекеттесуі қажет.

### **Қорытынды.**

Бұл жұмыста өндірістік мақсаттарға арналған мобильді роботтық жүйенің әртүрлі коммуникациялық құралдары зерттеліп, әзірленді. Қолданыстағы және дамып келе жатқан коммуникациялық хаттамаларды, стандарттар мен құрылымдарды бақылай отырып, қазіргі уақытта әмбебап байланыс хаттамасы жоқ екені белгілі болды. Байланыс хаттамасы ретінде OPC UA технологиясын қолдану ұсынылады. Әр түрлі коммуникациялық хаттамаларды қолдау және жүйелердің өзара әрекеттесуін қамтамасыз ету үшін хаттамаларды бір-біріне түрлендіру механизмі ұсынылды. Мысалы бұл жұмыста мультихаттамалы прокси жүйесі егжей-тегжейлі қарастырылды. Сонымен қатар, бұл жұмыста M2M және IoT желілерін ұйымдастырудың әртүрлі нұсқалары сипатталды. Ақпарат көлемі мен уақытқа байланысты қажетті мағлұматтар әртүрлі кластарға топтастырылды. Жаңа мобильді роботтар туралы деректер мен әдебиеттердің

жеткіліксіздігіне орай, бұл жұмыста алынған нәтижелер болашақ зерттеулер үшін үлкен маңыздылыққа ие. Сондықтан тұрақты, жан-жақты және функционалды коммуникациялық инфрақұрылымды құру үшін қосымша зерттеулер, эксперименттер қажет.

## ӘДЕБИЕТТЕР

- [1] Ullrich, G. (2013): Fahrerlose Transportsysteme: Eine Fibel - mit Praxisanwendungen - zur Technik - für die Planung. 2nd edition: Springer Verlag.
- [2] Dohler, M.; Antón-Haro, C. (2015): Machine-to-machine (M2M) Communications: Architecture, Performance and Applications. 1st edition. Cambridge: Elsevier Ltd.
- [3] Stanford-Clark, A.; Truong, H. (2013): MQTT For Sensor Networks (MQTT-SN): Protocol Specification Version 1.2. In International Business Machines Corporation (IBM).
- [4] Desai, P.; Sheth, A.; Anantharam, P. (2015): Semantic Gateway as a Service architecture for IoT Interoperability. In Proceedings of the 2015 IEEE International Conference on Mobile Services, pp. 313–319
- [5] Xu, Y.; Mahendran, V.; Sridhar, R. (2016): Towards SDN-based Fog Computing: MQTT Broker Virtualization for Effective and Reliable Delivery. In COMSNETS 2016 - Workshop on Wild and Crazy Ideas on the interplay between IoT and Big Data
- [6] Agarwal, N.; Paul, S.; Gujar, P.; Gite, V. (2016): Internet of Things (IoT) based switchbox using MQTT Protocol. In IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology, pp. 405–411.
- [7] Tang, K.; Wang, Y.; Liu, H.; Sheng, Y.; Wang, X.; Wei, Z. (2013): Design and Implementation of Push Notification System Based on the MQTT Protocol. In Atlantis Press
- [8] Novinskiy, A. (2016): A View of WSN-facilitating Application's Design and a Cloud Infrastructure in Academic Environment and Research. In Proceedings of the Eleventh International Network Conference (INC).
- [9] Stanford-Clark, A.; Truong, H. (2013): MQTT For Sensor Networks (MQTT-SN): Protocol Specification Version 1.2. In International Business Machines Corporation (IBM).
- [10] Iivari, A.; Väisänen, T.; Alaya, M. B; Riipinen, T.; Monteil, T. (2014): Harnessing XMPP for Machine-to-Machine Communications & Pervasive Applications. In Journal of Communications Software and Systems 10 (3).
- [11] Klauck, R.; Kirsche, M. (2012): Chatty Things - Making the Internet of Things Readily Usable for the Masses with XMPP. In 8th International Conference Conference on Collaborative Computing: Networking, Applications and Worksharing, Collaborate.com.
- [12] XMPP: An Overview of XMPP. XMPP. Available online at <https://xmpp.org/about/technology-overview.htm>
- [13] Mandal, A.; Baldin, I.; Xin, Y.; Ruth, P.; Heerman, C. (2014): Enabling Persistent Queries for Cross-Aggregate Performance Monitoring. In IEEE Communications Magazine
- [14] Iivari, A.; Väisänen, T.; Alaya, M. B; Riipinen, T.; Monteil, T. (2014): Harnessing XMPP for Machine-to-Machine Communications & Pervasive Applications. In Journal of Communications Software and Systems 10 (3).
- [15] ITU-T Focus Group on M2M Service Layer (2014): M2M service layer: APIs and protocols overview. In Telecommunication Standardization sector of ITU.
- [16] Borgia, Eleonora (2014): The Internet of Things vision: Key features, applications, and open issues. In Journal of Computer Communications
- [17] Desai, P.; Sheth, A.; Anantharam, P. (2015): Semantic Gateway as a Service architecture for IoT Interoperability. In Proceedings of the 2015 IEEE International Conference on Mobile Services, pp. 313–319.

[18] Eruvankai, S.; Muthukrishnan, M.; Mysore, A. K. (2017): Accelerating IIOT Adoption with OPC UA. In Internetworking Indonesia Journal 9 (1). Available online at [http://www.internetworkingindonesia.org/Issues/Vol9-No1-2017/ijj\\_vol9\\_no1\\_2017\\_eruvankai.pdf](http://www.internetworkingindonesia.org/Issues/Vol9-No1-2017/ijj_vol9_no1_2017_eruvankai.pdf)

[19] Leitner, S.; Mahnke, W. (2006): OPC UA - Service-oriented Architecture for Industrial Applications. In Softwaretechnik-Trends. Available online at <https://www.semanticscholar.org/paper/OPC-UAService-oriented-Architecture-for-Industry-LeitnerMahnke/0ccb58f9a3a9df31ec16c9993285e3e7d7d46aff>

[20] OPC Foundation (2013): OPC Unified Architecture - Wegbereiter der Industrie 4.0. Available online at <https://www.iosb.fraunhofer.de/servlet/is/21752/OPC-UA-Wegbereiterder-I40.pdf?command=downloadContent&filename=OPC-UAWegbereiter-der-I40.pdf>

[21] Wirth, P. (2013): Kommunikationskonzept für selbststeuernde Fahrzeugkollektive in der Intralogistik. Technische Universität München (TUM), München. Fakultät für Maschinenwesen, Lehrstuhl für Materialfluss und Logistik. Available online at <http://www.fml.mw.tum.de/fml/images/Publikationen/TenerowiczWirth.pdf>

[22] Entwurf/ Draft Richtlinie 5100, 03/2008: Systemarchitektur für die Intralogistik (SAIL): Beispiele zur Modellierung. Available online at [https://www.vdi.de/nc/richtlinie/entwurf\\_vdivdma\\_5100\\_blatt\\_2-systemarchitektur\\_fuer\\_die\\_intralogistik\\_sail\\_beispiele\\_zur\\_modellierung/](https://www.vdi.de/nc/richtlinie/entwurf_vdivdma_5100_blatt_2-systemarchitektur_fuer_die_intralogistik_sail_beispiele_zur_modellierung/)

**Арайлым Нусибалиева**, магистр, старший преподаватель, Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева, Алматы, Казахстан, [a.nussibaliyeva@aes.kz](mailto:a.nussibaliyeva@aes.kz)

**Юсупова Салтанат**, к.т.н., Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева, Алматы, Казахстан, [s.yusupova@aes.kz](mailto:s.yusupova@aes.kz)

**Нурсултан Жетенбаев**, магистр, старший преподаватель, Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева, Алматы, Казахстан, [n.zhetenbaev@aes.kz](mailto:n.zhetenbaev@aes.kz)

**Нагима Бакирова**, магистр, старший преподаватель, Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева, Алматы, Казахстан, [n.bakirova@aes.kz](mailto:n.bakirova@aes.kz)

**Гани Балбаев**, PhD, ассоциированный профессор, Академия логистики и транспорта, Алматы, Қазақстан, [g.balbayev@alt.edu.kz](mailto:g.balbayev@alt.edu.kz)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ ПЛАТФОРМОЙ ОБСЛУЖИВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ РОБОТИЗИРОВАННЫХ МАШИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ MACHINE-TO-MACHINE (M2M)

**Аннотация.** В мире современного производства и производства мобильные роботизированные платформы стали универсальными и незаменимыми активами. Эти платформы предназначены для выполнения широкого спектра задач: от погрузочно-разгрузочных работ и контроля качества до сборки и логистики. В основе их эффективности лежит способность беспрепятственно и эффективно общаться в динамичной промышленной среде. В этой статье рассматриваются разнообразные коммуникационные возможности мобильных роботизированных платформ в контексте производства, подчёркивается их роль в определении приоритетов задач в реальном времени, обмене данными и обслуживании этих машин.

**Ключевые слова.** Связь между машинами, мобильная роботизированная платформа, интерфейсы связи, промышленная автоматизация.



**Arailym Nussubaliyeva** master's degree, senior lecturer, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G.Daukeyev, Almaty, Kazakhstan, a.nussibaliyeva@aes.kz

**Saltanat Yussupova**, candidate of technical sciences, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G.Daukeyev, Almaty, Kazakhstan, s.yusupova@aes.kz

**Nursultan Zhetenbayev**, master's degree, senior lecturer, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G.Daukeyev, Almaty, Kazakhstan, n.zhetenbaev@aes.kz

**Nagima Bakirova**, master's degree, senior lecturer, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G.Daukeyev, Almaty, Kazakhstan, n.bakirova@aes.kz

**Gani Balbayev**, PhD, associate professor, PhD, Academy of logistics and transport, Almaty, Kazakhstan, g.balbayev@alt.edu.kz

## INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE MOBILE ROBOTIC MACHINE MAINTENANCE PLATFORM USING MACHINE-TO-MACHINE (M2M) TECHNOLOGY

**Abstract.** In the world of modern manufacturing and manufacturing, mobile robotic platforms have become universal and irreplaceable assets. These platforms are designed to perform a wide range of tasks: from loading and unloading and quality control to assembly and logistics. Their effectiveness is based on the ability to communicate seamlessly and effectively in a dynamic industrial environment. This article examines the various communication capabilities of mobile robotic platforms in the context of production, emphasizes their role in prioritizing tasks in real time, data exchange and maintenance of these machines.

**Keywords.** Communication between machines, mobile robotic platform, communication interfaces, industrial automation.

\*\*\*\*\*