

Г.П.Амочаева, Г.И.Омарбекова, Г.С.Сейсенбаева, Б.А.Оңалбай

Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті
(E-mail: gulnur_130983@mail.ru)

Мәліметтерді сымсыз тарату технологиялары

Қазіргі заманда мәліметтерді сымсыз тарату қарқынды дамуда. Егер дыбыстық алмасудың барлығына, барлық жерде және әрқашанда қажетті екендігі туралы барлығы жеткілікті дәрежеде түсінікті болса, ал мәліметтерді сымсыз тарату туралы жағдай онша түсінікті емес. Мақалада мәліметтерді сымсыз тарату технологияларына шолу жасалған. Сымсыз байланыс технологиясын таңдау бірнеше параметрлерді жиынтықты талдауға негізделуі қажет. BlueTooth, Wi-Fi және ZigBee технологияларына салыстырмалы сипаттама жүргізілген.

Кілт сөздер: сымсыз рұқсат ету, технологиялар, стандарттар, желі архитектурасы, локальді желі.

Кіріспе

Қазіргі заманғы телекоммуникациялық желілер екі деңгейлі иерархияға сәйкесті құрылады: магистралді транспортты желілер және рұқсат ету желілері, олар ашық жүйелерді құру үшін өте ыңғайлы және экономикалық жағынан тиімді. Желіні құрған кезде құнының 90 % оның төменгі бөлігіне келеді, демек, жергілікті желіге немесе рұқсат ету желілеріне. «Соңғы миля» мәселелерін шешу үшін бүгінгі күні бірнеше технологиялар ұсынылған. «Соңғы миля» — бұл жалпы қолданыстағы байланыстың телекоммуникалық желісінің бөлігі. Ол бірінші ретті желі мен абоненттік қондырғының таралу нүктелерінің арасында орналасқан. Дәстүрлі сымды технологиямен қатар ақпаратты тарату үшін абоненттік қолжетімді сымсыз жүйелер мен басқа да технологиялар қолданылады. Телекоммуникациялық қызмет көрсету диапазондары қазіргі кезде өте көп: мәліметтерді тарату, интернетке қосылу, телефония, интерактивті видео, жылжымалы байланыс.

Қолданылатын жиілік диапазондары және оларды реттеу

Жалпы алғанда, мәліметтерді тарату үшін мемлекеттік рұқсат алуды қажет ететін жиілік диапазондарын да, еркін қолдануға болатын лицензияланбайтын жиілік интервалдарын да қолдануға болады. Әдетте бұл алыс аймақтардағы таратқыш қуатымен және антенналардың бағыттылық параметрлерімен анықталатын электромагниттік өріс тығыздығын шектеуге қатысты. Қазіргі кезде лицензияланбаған жиілік диапазондары кеңінен қолданылады. Әрине, бұл жүйеішілік және жүйеаралық электромагниттік сәйкестікте мәселелердің туындауына алып келеді.

Жиілік ресурстарының мұндай түріне ISM (Industrial, Scientific and Medical Equipment) жиілік диапазоны жатады, ол лицензияланбаған қондырғыларды (өндірістік, ғылыми, медициналық, тұрмыстық қолдануға арналған (тек байланыс құралдарына арналмаған). Қондырғылар генерациялауды және радиожілікті энергияны локальді түрде қолдануы керек. АҚШ-та бұл диапазон мынадай интервалдардан тұрады: $915,0 \pm 13$ МГц; 2450 ± 50 МГц; $5,8 \pm 0,075$ ГГц; $24,125 \pm 0,125$ ГГц. Еуропалық нұсқасы бұдан өзгеше.

Қазіргі кезде 2450 МГц жиілік интервалы жақын ара қашықтықтағы мәліметтерді тарату (мысалы, WLAN сымсыз локальді жүйесі) жүйесін ұйымдастыру үшін кеңінен қолданылады. Ресейде екінші ретті интервал ретінде 2400–2483,5 МГц қолдануға рұқсат етілген (екінші реттілік дегеніміз

осы диапазонды бірінше ретті негізде қолданатын жүйелердің бөгеулері пайда болған кезде қолдануға мүмкін емес дегенді білдіреді) [1].

5,8 ГГц интервалы U-NII (Unlicensed National Information Infrastructure — лицензияланбаған ұлттық ақпараттық инфрақұрылым) жүйелері үшін ерекшеленген жиіліктерге сәйкес келеді, ол лицензиялауды қажет ететін диапазондарға қарағанда аз шығынсыз жүйені жылдам ашуды қамтамасыз етеді. АҚШ байланыс бойынша федералды (FCC) комиссиясы U-NII қызметі үшін 5 ГГц жиілігіндегі 300 МГц енді үш жиілік диапазонын берді: жақын ара қашықтықтағы байланысты құрылғылар мен локальді желілер үшін арналған U-NII 1 (5,15–5,25 ГГц) диапазоны және U-NII 2 (5,25–5,35 ГГц) диапазоны, байланыстың үлкен қашықтығын қажет ететін желілер үшін U-NII 3 (5,725–5,825 ГГц) диапазоны. Ресейде 5,725–5,875 ГГц диапазонының жиіліктері сәулелену көзінің радиобөгеу деңгейі рұқсат етілген индустриалды радиобөгеулер деңгейінен асып кетпейтін болған жағдайда қолданылуы мүмкін.

Технологияның қысқаша сипаттамасы

Мәліметтерді сымсыз тарату технологияларына қысқаша сипаттама берейік, одан кейін оларға салыстырмалы талдау жасайық. Дәстүрлі түрде телекоммуникацияның берілген облысында IEEE америкалық стандарттары, ETSI еуропалық стандарттары және фирмалық стандарттар бәсекелеседі.

ZigBee технологиясын ZigBee Alliance ұйымы ұсынған, ол өз алдына, осы технологияның компоненттерін инженерлік іске асыруды және қосымшаларын қоса алғандағы ережелердің (желілік деңгейден қосымша деңгейге дейін) жеті деңгейлі үлгісінің жоғарғы қабатын қамтамасыз ету мақсатын қояды. Сәйкесті төмен жылдамдықты мәліметтерді тарату стандартын құру үшін IEEE 802.15.4 комитеті қосылды, ол жеті деңгейлі үлгінің MAC (тарату ортасына қол жеткізуді басқару — media access control) және PHY (физикалық ортада сигналдарды тарату деңгейі) деңгейлерін құрайды. Бірінші физикалық деңгей (PHY) негізінен жүйенің құнын, мәліметтерді тарату жылдамдығын, тұтынатын қуатын, жиілік диапазондарын, пішінін анықтайды [2].

Бұл технологияның міндеті әр түрлі қолданысқа арналған автоматты және дистанционды басқару жүйелерінің компоненттерін қамтамасыз ету болып табылады. Осы кезде абоненттік терминал үшін оларды AA типті екі элементтермен жарты жылдан екі жылға дейін автоматты қорек көзімен қамтамасыз ету мақсаты қойылады. Бұл жүйелерді басқа мәліметтерді тарату желілерімен өзара байланыстыру үшін шлюз құру қарастырылады.

Қолданылатын жиіліктер: ISM (2,4 ГГц, жылдамдығы 250 кбит/с), еуропалық диапазон 868 МГц (20 кбит/с) және америкалық диапазон 915 МГц (40 кбит/с).

Bluetooth технологиясы — бұл мәліметтерді радио бойынша жақын ара қашықтыққа тарату технологиясы (10 м дейін, 100 м дейін кеңею мүмкіндігі бар), ол сымсыз телефондар, компьютерлер және әр түрлі перифериялардың байланысын тура көріністі қажет етпей іске асыруын қамтамасыз етеді. Радиотарату қуаты бойынша аппаратуралар үш класқа: бірінші (максимал кіріс қуаты 100 мВт), екінші (2,5 мВт) және үшінші (1 мВт) [3].

IEEE 802.11x стандарттарының жиынтығын IEEE америкалық институты құрады. IEEE 802.11 стандарты базалық стандарт болып табылады және сымсыз локальді желілерді (WLAN) ұйымдастыру үшін қажетті ережелерді анықтайды. Олардың негізгілері — MAC (арналық деңгейдің төменгі деңгейшесі) ортасына қол жеткізуді басқару ережелері және PHY физикалық ортадағы сигналдарды тарату ережелері. PHY физикалық ортадағы сигналдарды тарату ережелерінде радиотолқындарды және инфрақызыл сәулеленуді қолдануға рұқсат етіледі. 802.11 стандарты жалғыз MAC деңгейшесін анықтайды, ол кеңжолақты модуляциялы, спектрі тура кеңейетін (DSSS) және (FHSS) 2,4 ГГц диапазонындағы радиоарналар бойынша, сонымен қоса инфрақызыл сәулеленудің көмегімен сигналдарды таратудың әр түрлі технологияларына сәйкес келетін физикалық деңгейдің үш ережелерімен өзара әсерлеседі. Стандарттың спецификасы мәліметтерді таратудың екі жылдамдығын 1 және 2 Мбит/с қарастырады. Сымды локальді есептеуіш желі Ethernet-пен салыстырғанда MAC деңгейшесінің мүмкіншілігі оған бірнеше функцияларды қосу есебінен артты. Ол функциялар әдетте одан жоғары деңгейде орындалатын ережелермен, пакеттерді фрагменттеу мен ретрансляциялау процедураларымен іске асады.

802.11 стандартының ортасына қол жеткізудің негізгі әдісі ретінде CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance — таратушыны анықтайтын және пакеттердің бір-бірімен соқтығысуын болдырмайтын көптеген қол жеткізілімдер) механизмі анықталған.

Желі архитектурасы мен компоненттері. 802.11 стандартының негізі ұяшықты архитектура болып табылады, және де желі бір ұяшықтан да немесе бірнеше ұяшықтардан да тұруы мүмкін. Әрбір ұяшық кіру нүктесі болып табылатын, оның жұмыс жасау радиусында жататын тұтынушылардың станцияларымен біріге отырып, қызмет көрсетудің базалық аумағын түзетін базалық станциямен басқарылады. Көп ұяшықты желілердің кіру нүктелері бір-бірімен кабельді локальді есептеуіш желінің магистральді сегментінің баламасы болып табылатын таратылған жүйе арқылы байланысады. Кіру нүктелері мен таратушы жүйелерден тұратын барлық инфрақұрылым кеңейтілген қызмет көрсету аумағын құрайды. Бұл стандарт сонымен қатар сымсыз желілердің бір ұяшықты түрін де қарастырады, ол кіру нүктесінсіз де іске асырыла алады және де бұл кезде оның функцияларының бір бөлігін жұмыс станциялары атқарады.

Роуминг. Мобильді жұмыс жасау станциясының бір кіру нүктесі аумағынан екіншісіне өтуін қамтамасыз ету үшін көп ұяшықты жүйелерде арнайы сканерлеу (эфирді активті және пассивті тыңдау) және қосылу (Association) процедуралары қарастырылған, бірақ 802.11 стандарты роумингті іске асыру үшін қатаң талаптарды қарастырмайды [4].

Қауіпсіздікті қамтамасыз ету. WLAN қорғау үшін IEEE 802.11 стандарты Wired Equivalent Privacy (WEP) деп аталатын мәліметтерді тарату қауіпсіздігінің бірнеше шараларын қарастырады. Ол желілерге рұқсатсыз кіргізу құралдарынан (механизмдер мен аутентификация процедураларынан), сонымен қатар ақпаратқа рұқсатсыз қол жеткізуден сақтау (шифрлау) құралдарынан тұрады.

Қазіргі кезде IEEE 802.11b стандарты кең таралған. Мәліметтерді тарату жылдамдығы (11 Мбит/с дейін) жоғары болғандықтан, қарапайым сымды локальді есептеуіш желі Ethernet-тің өткізу қабілетіне балама, сонымен қатар 2,4 ГГц жиілік диапазонына негізделген, бұл стандарт сымсыз желілер қондырғыларын өндірушілер арасында ең беделдісі болып келеді. Онда негізгі радиотехнология ретінде Уольштың 8-разрядты тізбектілігі бар DSSS әдісі қолданылады. 11 Мбит/с максимал жылдамдығында жұмыс жасайтын қондырғының жұмыс істеу радиусы төмен жылдамдықта жұмыс жасайтын қондырғыларға қарағанда төмен болғандықтан, 802.11b стандарты сигнал сапасы төмендеген кезде автоматты түрде жылдамдығын да төмендетеді. 802.11 базалық стандартындағы сияқты 802.11b стандартында да роуминг механизмі нақты көрсетілмеген.

802.11 стандартты желісінің географиялық таратуын кеңейтуге талпыну, 802.11 физикалық деңгейіне әмбебап талаптарды IEEE өңдеуде (каналдарды қалыптастыру рәсімі, реттік жиілікті кездейсоқ жағдайлар және т.б.). 802.11d сәйкесті стандарты әлі өңдеу сатысында тұр. 802.11e басқа өңделудегі стандартының өзгешелігі бірлескен және жеке сияқты пайдаланушының әр түрлі категорияларына бағытталған мультисервисті сымсыз локальді желі құруға көмектеседі. 802.11a және 802.11b қабылданған стандарттарымен толық үйлесімділікті сақтау кезінде ол ағымдық мультимедиялық берілгендердің көмегі есебінен олардың функционалдығын және кепілденген (QoS) қызмет сапасын кеңейтуге көмектеседі. Сымсыз желілерде таратылған мәліметтерді таратуларды құру үшін қажетті кіру нүктесі (Inter-Access Point Protocol, IAPP) арасындағы қызметтік ақпараттарды ауыстыру ережелерін 802.11f ерекшелігін сипаттайды. IEEE 802.11h жұмыс тобы кеңседегі және көшедегі сымсыз желілер үшін жиілікті тиімді таңдау PHY алгоритімімен MAC және 802.11a бар спецификаларын толықтыру мүмкіндіктерін қарастырады, сонымен қатар спектрлерді қолдануды басқару құралдары, сәйкесті есептемедегі шығарылған генерация және қуатты бақылау. ETSI ұсынылған Dynamic Frequency Selection (DFS) және Transmit Power Control (TPC) ережелерін қолдануға бұл тапсырмалардың шешімдері негізделетіні жорамалданады. Көрсетілген ережелер қуатты төмендету әдісі, басқа арнаға өту әдісі немесе осы екі әдістің екеуін де қолдану жолымен радиосигналдардың интерференциясына сымсыз желілерді қолданушылардың динамикалық реакциясын қарастырады [5].

IEEE 802.11i стандарттарының спецификасы MAC ережесінің мүмкіндіктерін берілген мәліметтердің шифрлау құралдарын қарастырып, сонымен қатар жұмыс станциясында және пайдаланушылардың орталықтандырылған аутентификациясын кеңейтуге көмектеседі. Нәтижесінде сымсыз локальді желінің масштабы жүзден мыңға дейінгі жұмыс станциясына дейін үлкейді. PPP негізделген Extensible Authentication Protocol (EAP) аутентификация ережелері стандарттар негізінде жатыр. Аутентификация процедурасының өзі оған үш жақтан қатысуды ұсынды — шақырушы (клиент), шақырылатын (кіру нүктесі) және аутентификация сервері (ережеге сәйкес RADIUS сервері). Жаңа стандарттар кілтпен басқарылатын алгоритмдерді жүзеге асыратын өндірушілердің қалауына қалдырылды. Берілген мәліметтерді сақтаудың өндірілген құралдары сымсыз желіде ғана емес, басқа да локальді желілерде — Ethernet и Token Ring қолданыс табуы қажет. Сондықтан

стандарт IEEE 802.1X номерін алды, ал оны 802.11i әзірлеу тобы IEEE 802.1 комитетімен бірге жүргізіледі.

Қазіргі уақытта қарастырылу кезеңіндегі 802.11g стандартының спецификациясы 802.11b стандартының дамуын көрсетеді және сигналдың тиімді модуляциясын пайдаланудың арқасында 22 Мбит/с дейін сымсыз локалды есептегіш желісіне мәліметтерді беру жылдамдығын жоғарлатуға көмектеседі. Стандарттың бірден бір артықшылығы 802.11b мен кері үйлесімділік болып табылады.

802.11j стандартының спецификациясы 802.11a және HiperLAN2 стандартының желісінің бір диапазонында бар екенін айтады.

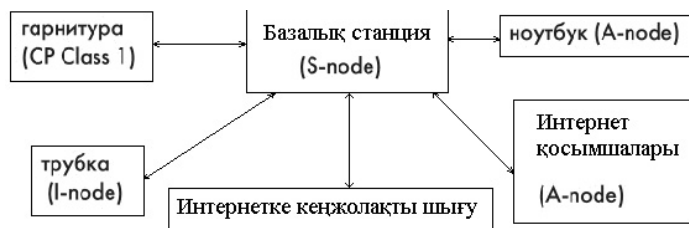
IEEE қызметі туралы айтпағанының өзінде LMDS және MMDS технологиясы аумағында. Жергілікті және көпарналы, көпнүктелі LMDS және MMDS таратушы жүйелер («ұялы телекөрулер» және «сымсыз КТВ»), соңғы уақытта «соңғы миляға» кеңжолақты сымсыз мәліметтерді беру ұйымдары үшін жиі қолданылады, арналы инфрақұрылымы жоқ аудандардағы телебағдарламалар трансляциясы үшін бастапқыда арналады. 2,1–2,7 ГГц диапазонында жұмыс істейтін MMDS таратқыштар қызметінің радиусы 40–50 км жете алады, осы уақытта LMDS жүйесінде мәліметтерді беру максималды ұзақтығы сияқты 27–31 ГГц аумағында жоғары жиілікті айтарлықтай қолданады және 2,5–3 км құрайды.

Стандарттар үш типті абоненттік қондырғы немесе желілер (мысалы, локальді есептеуіш желі немесе мекемелік АТС) және транспорттық желі (ТфОП немесе Интернет) интерфейсін қосатын бірыңғай эталонды модельдің базасында өңделеді. Бірінші радиоинтерфейс базалық станциялы абоненттік қабылдау-жіберу тораптарының қатынасуымен анықталады, ал екіншісінің — «артында орналасқан» желі және радиоторап арасын қамтитын абоненттік және транспорттық екі компоненті бар. Үшінші қосымша радиоинтерфейс спецификациясы жүйенің қамту аймағын жоғарлату үшін шоғырландыру немесе қайталауды қолдануды анықтайды және сигналдарды тарату жолына кедергілерді орнатуды.

Бір тасушылармен сигналдарды жіберу технологиясын қолданатын 10–66 ГГц диапазонында радиоинтерфейс жүйесінің алдын ала дайындалған спецификациясы 802.16 комитетімен қабылданды. 802.16a стандарты 2–11 ГГц диапазонындағы жүйе үшін анықталады сигнал берудің екі әдісі — OFDM және бір тасушымен, ал 802.16b стандарты 5–6 ГГц диапазоны үшін OFDM технологиясын анықтайды.

Сымсыз технологиялы 802.11 локалды жүйесінің негізгі бәсекелесі болуды көздейтін HiperLAN2 (High Performance Radio LAN) технологиясын өңдеу американдық стандарттарды құрудың еуропалық «жауабы» болып табылады. Сонымен қатар 802.11a стандарты сияқты HiperLAN2 стандарты 5 ГГц диапазонында жұмыс істеуге бағытталған және де 54 Мбит/с дейінгі жылдамдықпен мәліметтерді беруді қамтамасыз етуге қабілетті. Модуляцияның ұқсас әдістері жиілікті ортогоналды бөлумен (OFDM) мультиплексерленген негізіндегі екі стандарттада қолданылады, бірақ MAC ортасына кірудің әр түрлі спецификалық ережелеріне ие. Егер 802.11a үшін Ethernet ол аналогты, онда HiperLAN2да ATM көбірек ескеріледі. HiperLAN2 от 802.11a-дан HiperLAN2-ың басқа да айырмашылығы мультимедиа және QoS (802.11a негізінен мәліметтерді беруге бағытталған) трафиктерін қолдау болып табылады. ETSI ақпараттары бойынша, стандарттарды өңдеу 802.11a жүйесі мен қондырғының үйлесімділігі есебінен жүргізіледі [6].

Аудио-, бейнеақпарат, телефония, мәліметтерді берудің барлық арналарын өзіне қосатын, тіршілікті қамтамасыз ету жүйесі және телеметрия қауіпсіздік жүйесі келешекте HomeRF американдық технология «үйдің мультимедиалық ортасын» құруға бағытталған. Сонымен қатар технология интернет желісіне жоғары жылдамдықпен шығуға көмектеседі. Осыдан технология талаптарын көрсететін: төмен баға, аз энергия қолдану (әсіресе портативті құрылғылар үшін), габариттердің төмендеуі, бағдарламалық және техникалық инсталляцияның қарапайымдылығы. HomeRF технологиясы бойынша құрылған үйдің мультимедиалық желісі құрылымы төмендегі суретте көрсетілген. Мобильді терминалдар ретінде дербес компьютерлер, сымсыз телефон трубкалары, гарнитура қарастырылады. Кіру нүктесі (төмендегі суретте базалық станция ретінде көрсетілген) интернеттен сымды байланысты қамтамасыз етеді.



Сурет. HomeRF технологиясы бойынша құрылған желі құрылымы

Технология 2,4 ГГц жұмыс жиілік диапазонында, секундына 50–100 тербеліс санымен адаптацияланған FHSS қолданылады. Стандарттың бірінші нұсқасы мәлімет берудің пиктік жылдамдығын 1,6 Мбит/с дейін және байланыстың қашықтығын 5 м дейін жеткізді. HomeRF 2.0 екінші буыны мәліметтерді 10 Мбит/с дейінгі жылдамдықпен бере алады. TCP/IP («on line» режимінде 10 мВт аз) ережелері бойынша байланыстың бар болуы кезіндегі күту режимінде абоненттік терминалдың қуатын аз қолдану қазіргі уақытта екі нұсқада көрсетілген. Технологияның үшінші буыны мәліметтерді 20 Мбит/с дейінгі жылдамдықпен беруді қамтамасыз етеді.

Қорытынды

Мақалада көрсетілген BlueTooth, Wi-Fi және ZigBee мәліметтерді берудің сымсыз технологиясына қысқаша шолу техникалық құжаттарға негізделген тек осы немесе басқа технологияның артықшылықтарын көрсету тәжірибелері бар әзірлеушілер үшін де қиынға соғатынын көрсетті. Сондықтан таңдау жолдары бірнеше параметрлерді кешенді талдауда негізделуі қажет. Технологияның салыстырмалы сипаттамалары көрсетілген. Мәліметтерді берудің сымсыз технологиясын таңдау кезінде дұрыс шешім қабылдауға осы ақпараттар көмектеседі.

Әдебиеттер тізімі

- 1 *Vijay K. Garg.* Wireless communications and networking. — Morgan Kaufmann Publishers, 2007.
- 2 *Wireless technology. Protocols, Standards, and Techniques.* — CRC Press LLC, 2002.
- 3 *Вишневецкий В.М. и др.* Широкополосные беспроводные сети передачи информации. — М.: Техносфера, 2005.
- 4 *Jyh-Chen Chen, Tao Zhang.* IP-Based Next-Generation Wireless Networks. — John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2004.
- 5 *Лукин М.* Стандарты беспроводной связи // Современная электроника. — 2005. — № 1. — С. 10–12.
- 6 *Григорьев В.А., Лагутенко О.И., Распопов Ю.А.* Сети и системы беспроводного доступа. — М.: Экотрендз, 2005.

Г.П.Амочаева, Г.И.Омарбекова, Г.С.Сейсенбаева, Б.А.Оналбай

Технологии беспроводной передачи данных

Беспроводная передача данных в настоящее время переживает своеобразный бум. Если с речевым обменом все в достаточной степени понятно, он нужен всем, везде и всегда, то в области беспроводной передачи данных ситуация не столь однозначна. В статье приведен краткий обзор технологий беспроводной передачи данных. Показано, что подход к выбору типа технологии беспроводной связи должен основываться на комплексном анализе нескольких параметров. Приведены сравнительные характеристики технологий BlueTooth, Wi-Fi и ZigBee.

G.P.Amochaeva, G.I.Omarbekova, G.S.Seysenbaeva, B.A.Onalbai

Wireless data transmission technology

Wireless data transmission is currently experiencing a kind of boom. If all voice communications are sufficiently clear, it is necessary for all, everywhere and always, in the field of wireless data situation is not so clear. The article gives a brief overview of wireless data transmission. It is shown that the approach to the choice of wireless technology must be based on a comprehensive analysis of several parameters. Comparative characteristics of the technology BlueTooth, Wi-Fi and ZigBee.

References

- 1 Vijay K. Garg. *Wireless communications and networking*, Morgan Kaufmann Publishers, 2007.
- 2 *Wireless technology. Protocols, Standards, and Techniques*, CRC Press LLC, 2002.
- 3 Vishnevskiy V.M. et al. *Broadband wireless network information*, Moscow: Technosphaera, 2005.
- 4 Jyh-Chen Chen, Tao Zhang. *IP-Based Next-Generation Wireless Networks*, John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2004.
- 5 Lukin M. *Modern electronics*, 2005, 1, p. 10–12.
- 6 Grigoriev V.A., Lagutenko O.I., Raspopov Yu.A. *Network and wireless access systems*, Moscow: Ekotrendz, 2005.