

Темірбаев Ә.Ә.,
Иманбаева А.К., Капурнова С.,
Оралбаева Д.

**Серпинский үшбұрышына
негізделген фракталдық
антеннаны сымсыз байланыс
технологияларында қолдануды
зерттеу**

Қазіргі таңда көпдиапазонды және аса кең жолақты антенналардың дамуының негізгі беталысы фракталдық пішіндерді қолдануға негізделген. Себебі фракталдық пішін антенна алатын кеңістікті дәстүрлі антеннамен салыстырғанда тиімдірек әдіспен толтыра алады. Бұл шешім антенна өлшемдерін сақтай отырып, энергияны тиімді жіберуге алып келеді. Бұл жұмыста Серпинский фракталына негізделіп жасалған фракталдық антенна және оның модификацияланған түрі жасалынды, фракталдық антенна Ansoft HFSS программалық пакетінде алдын ала модельденді. Фракталдық антеннаның дәстүрлі бұдырлы антеннадан артықшылықтары анықталды. Атап айтқанда, мәлімет жіберу жылдамдығы, мәліметтерді тарату қашықтығы сияқты сипаттамалары жағынан фракталдық антенналар өздерінің бәсекелі екендігін көрсетті.

Түйін сөздер: фракталдық антенна, Серпинский фракталы, бағытталу диаграммасы, Wi-Fi.

Temirbayev A.A.,
Imanbayeva A.K., Kapurnova S.,
Uralbayeva D.

**Investigation of fractal antenna
on the base of the Sierpinski
triangle to apply in wireless
technologies**

Now a special attention is paid to multi-band and high-frequency antennas based on fractal structures. Antennas with fractal structure due to their geometrical shape compared to conventional antennas do have some advantages. Fractal Antenna based Sierpinski fractal and its modified form were designed. Fractal antennas have previously been modeled in the package Ansoft HFSS. The features of these antennas as compared with the whip antenna are determined. According to indicators such as speed and distance data fractal antenna showed its competitiveness.

Key words: fractal antennas, Sierpinski triangle (fractal), radiation pattern, Wi-Fi.

Темирбаев А.А.,
Иманбаева А.К., Капурнова С.,
Уралбаева Д.

**Исследование фрактальной
антенны на основе салфетки
Серпинского для применения
в технологиях беспроводной
связи**

В настоящее время особое внимание уделяется многодиапазонным и высокочастотным антеннам на основе фрактальных структур. Антенны с фрактальной структурой за счет их геометрической формы по сравнению с традиционными антеннами имеют некоторые преимущества. В данной работе были сконструированы фрактальная антенна на основе салфетки Серпинского и её модифицированный вид. Фрактальные антенны предварительно были смоделированы в пакете Ansoft HFSS. Были определены особенности этих антенн от традиционной штыревой антенны. По таким показателям, как скорость передачи и дальность передачи данных фрактальные антенны показали свою конкурентоспособность.

Ключевые слова: фрактальная антенна, фрактал Серпинского, диаграмма направленности, Wi-Fi.

**СЕРПИНСКИЙ
ҮШБҰРЫШЫНА
НЕГІЗДЕЛГЕН
ФРАКТАЛДЫҚ
АНТЕННАНЫ СЫМСЫЗ
БАЙЛАНЫС
ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫНДА
ҚОЛДАНУДЫ ЗЕРТТЕУ**

Кіріспе

Антенналық құрылғылар кез келген байланыс жүйесінің ажырамас бөлігі болып табылады. Сымсыз байланыс жүйелерінің дамуына байланысты бүгінгі күнде антенналарға қойылатын басты талаптар мыналар: антенналардың кең жолақты және аса кең жолақты болуы, бағытталу диаграммаларының барынша кең және өлшемдерінің кіші болуы. Сымсыз жүйелердің дамуының қазіргі кезеңінде видеомәліметтерді тасымалдау, абонеттің орналасуын анықтау, сондай-ақ, көптеген мобилдік қосымшаларды жүктей отырып, барынша көп пайдаланушыларға қызмет ету басты мәселелердің бірі. Дегенмен, бұл мәселелерді шешу спектр және қуат сияқты негізгі ресурстардың шектелген жағдайында дамуда. Сымсыз байланыс технологияларының күн санап арта түсуі жақын болашақта спектрдің шамадан тыс жүктелуіне алып келеді, яғни әртүрлі сымсыз технологиялардың бір уақытта жұмыс жасауы қиындайды.

Осы мәселердің барлығы жұмыс жиілігіне сәйкес қажетті сипаттамаларды қамтамасыз ете алатын эффективті антенналарды жасауды талап етуде. Бұл шарттарды қанағаттандыратын антенналар ретінде өлшемдері кіші және көпдиапазонды болып келетін фракталдық антенналарды айтсақ болады. Дегенмен, қазіргі кезде фракталдық антенналардың теориясы толығымен дамымаған, сондықтан антенналарды жасау барысында да көп мәселелер туындайдыны анық. Фракталдық антенналарды синтездеу теориясының негізінде кез келген масштабта қайталанатын құрылымды сәулелендіру сипаттамаларын жүзеге асыру идеясы жатыр. Соған қоса, фракталдық объектілердің көптүрлілігі антенналарды жобалауда қосымша құрылымдық және электродинамикалық мүмкіндіктер ашады.

Бұл жұмыстың мақсаты Серпинский фракталына негізделіп жасалынған фракталдық антеннаны модельдеу және оны экспериментте зерттеу болып табылады. Жасалынған фракталдық антенналардың екі түрі ең кең тараған Wi-Fi сымсыз технологиясына сәйкес келетін жиіліктік диапазонда тестіден өткізілді және өздерін бәсекеге қабілетті екендіктерін көрсетті.

Фракталдық антеннаны жасау этаптары

Бүгінгі таңда фракталдық антенналардың теориясы толық жасалып бітпегендіктен, ғалымдар мұндай антенналарды жасау барысында әртүрлі инженерлік программаларды пайдаланып келеді. Қазіргі кезде солардың ішіндегі өзін көрсете білген программалық орталар Microwave Office және Ansoft HFSS болып саналады [1-3]. Жұмыс барысында Ansoft HFSS программасы арқылы алдымен Серпинский үшбұрышының өлшемдері анықталды. Берілген кілемшенің аралық қабаттарының ұзындығын анықтау үшін төмендегі өрнек пайдаланылды [4]:

$$\delta = \frac{h_n}{h_{n+1}} \quad (1)$$

Серпинский кілемшесінің негізінде жасалған монополярлық антеннаның жұмыс істеу жиіліктерін анықтау үшін келесі өрнек қолданылды [3]:

$$f_k = k \frac{c}{h} \cos(\alpha / 2) (\delta)^n \quad (2)$$

мұндағы c – жарық жылдамдығы, h – монополярлық биіктігі, α – бұрыш, δ – масштаб коэффициенті, n – жолақ саны, k – тұрақты параметр.

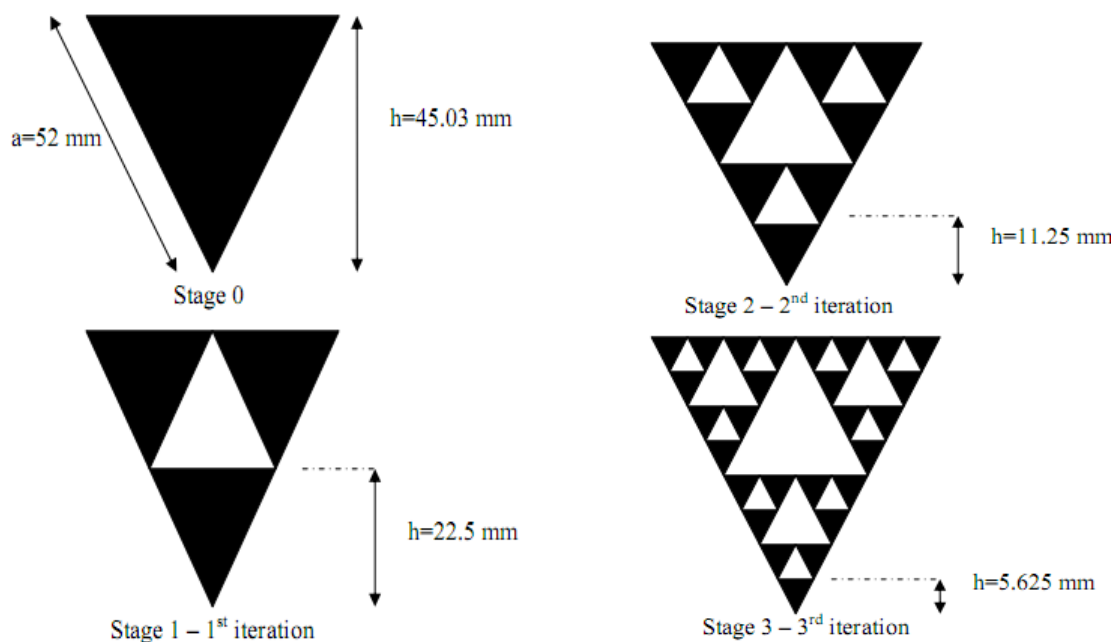
1-суретте Серпинский төсенішінің 3 итерациясы көрсетілген. Антеннаның жоғарғы аралық

қабаттары резонанстық жиілік арқылы анықталады. Жиілік диапазоңдарының әртүрлі болуына байланысты масштаб ықпалын өзгерте отырып, аралық қабаттарын айқын көруге болады.

Жарқыл бұрышы – үшбұрыштың ішкі бөлігінің бұрышы. Бұл жобада жарқыл бұрышы 60° болатындай етіп аламыз. (2) өрнегіндегі k тұрақты шамасы 0,152 тең және диэлектриктің түріне және өлшенетін қалыңдыққа байланысты. Жұмыста фракталдық антеннаны жасауда FR4 типті материал қолданылды. Материалдың бұл типінің таңдалу себебі ол 10 ГГц жиілігінде де жұмыс жасай береді, диэлектриктің қалыңдығы – 1,6 мм және тангенс шығыны 0,019-ға тең.

Фракталдық антеннаны жасау – қажетті жиіліктік диапазоңды анықтау, керекті текстолитті (ламинатты) таңдау, тең бүйірлі үшбұрыштың қабырға ұзындығын анықтау, әртүрлі итерациядағы антеннаны жасау сияқты этаптарды қамтиды.

Жалпы жұмыс барысында екі фракталдық антенна жасалынды. Оның біріншісі белгілі Серпинский фракталы негізіндегі антенна болса, ал екіншісі сол антеннаның артқы жағына метал шашыратқыш (рефлектор) орналастыру арқылы жасалынған фракталдық антеннаның жаңа модификацияланған түрі.



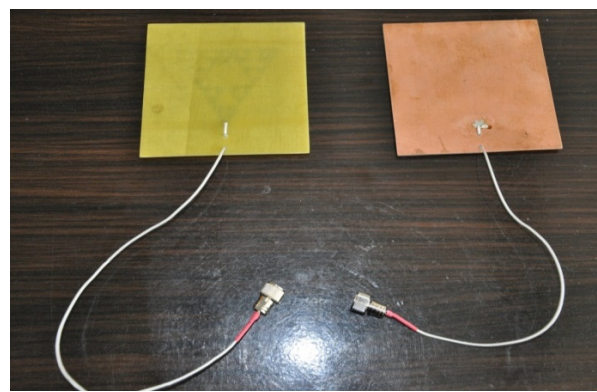
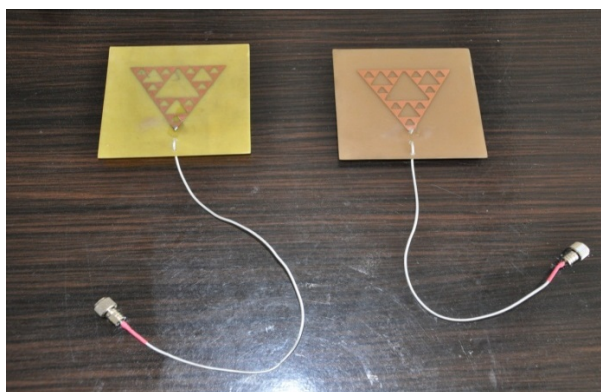
1-сурет – Серпинский төсенішін жасаудың жолдары (3-итерация көрсетілген)

Эксперимент нәтижелері

Бұл бөлімде Серпинский үшбұрышының негізінде жасалынған екі түрлі фракталдық антеннаны эксперименттік зерттеудің нәтижелері көрсетілген. Фракталдық антенналардың сыртқы көрінісі 2-суретте көрсетілген. Екі антенна да 802.11g стандартында алғаш рет тестіден өткізілді және олардың 2,4 ГГц жиілігінде жақсы жұмыс істейтіндігі көрсетілді. Эксперименттік нәтижелер жасалынған фракталдық антенналарды Wi-Fi роутерінің дәстүрлі бұдырлы антеннасымен толығымен ауыстыруға болатындығын көрсетті.

Көріп тұрғанымыздай, антенналардың біреуінің (оң жақтағы сурет) қарама-қарсы бетінде шағылдырғыш экран жасалынған. Алғашында бұл экран сигналды күшейтуге септігін

тигізеді деп болжанған болатын, бірақ эксперимент нәтижелері шағылдырғыш экраны бар антеннаның шығыс қуатының аз болуы және мәліметтерді тасымалдау уақытының ұзақ болуы сияқты сипаттамалары жағынан шағылдырғыш экраны жоқ фракталдық антеннадан төмен екендігін көрсетті. Егер жасалынған фракталдық антенналардың өлшемдерін дәстүрлі бұдырлы антеннамен салыстыратын болсақ, онда олардың биіктігі бұдырлы антеннадан екі еседей кіші екенін көруге болады (3-сурет). Эксперименттер барысында фракталдық антенналардың және дәстүрлі бұдырлы антенналардың кейбір физикалық қасиеттері анықталды. Атап айтсақ, олардың шығыс қуат спектрлері, мәліметтерді тасымалдау уақыты және тасымалдау қашықтығы сияқты сипаттамалары толығымен зерттелді.



2-сурет – Екі түрлі фракталдық антеннаның (сол жақтағысы Серпинский фракталына негізделіп жасалынған, ал оң жақтағысы оның модификацияланған түрі) сыртқы көріністері

Зерттеулер барысында Wi-Fi роутері ретінде TP-LINK фирмасының TL-WR743ND типтегі моделі пайдаланылды (4-сурет).

5-суретте антенналарды зерттеуге арналған эксперименттік қондырғының көрінісі көрсетілген. Эксперименттік қондырғы қабылдаушы антеннадан, спектр талдаушы құрылғыдан, екі ноутбуктен тұрады. Қабылдаушы антенна ретінде асакеңжолақты антенна, ал қуат спектрлерін өлшеу үшін Agilent фирмасының Agilent CSA Spectrum Analyzer құрылғысы пайдаланылды.

Эксперименттер мынадай әдіспен жасалынды: Екі компьютер (ноутбук) арасында сымсыз локальды желі жасалынды. Эксперимент жасалынған бөлмеде орналасқан ноутбук арқылы 500 Мбит көлеміндегі информация көрші бөлмеде орналасқан екінші ноутбукке жіберілді. Ин-

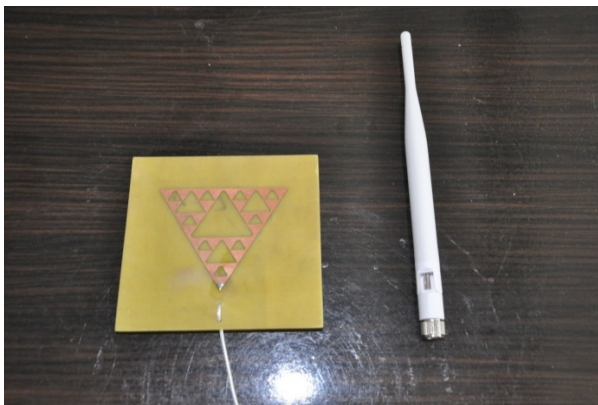
формация жіберілу барысында антенналардан шыққан сигналдардың қуат спектрі өлшенді, информацияны тасымалдау уақыты анықталды. Осы әдістің негізінде екі фракталдық антеннаның және дәстүрлі бұдырлы антеннаның сипаттамалары салыстырылды. Эксперименттерді жасау барысы 5-суретте көрсетілген.

Мәліметтерді тасымалдау уақыты бойынша алынған нәтижелер 1-кестеде көрсетілген. Кестеден көріп тұрғанымыздай, бірінші фракталдық антеннаның көрсеткіштері ең жоғары болып тұр. Ал экрандалған фракталдық антеннаның көрсеткіштері ең төмен екендігін көруге болады. Оның себебі, экрандалған фракталдық антеннаны жасау кезінде 50 Ом-дық кабельдің сигнал жүретін бөлігі антеннаға, ал экрандалған бөлігі антеннаның артқы жағындағы экранға дәнекерленген бола-

тын. Мұндай жағдайда антеннаның өзі бір беті фракталдық антеннадан, ал бір беті экрандалған беттен тұратын жазық конденсатор сияқты болып қалады. Антеннаның сыйымдылығы өлшенді, ол шамамен 100 пФ құрады, сәйкес есептеулерден кейін бұл конструкцияның сигналды шунттап қоятындығы, сондықтан экрандалған фракталдық антеннаның біз зерттеген жиіліктік диапазонда тиімсіз екендігі анықталды.

1-кесте – Антенналардың мәліметтерді тасымалдау уақыты

Антеннаның типі	Мәліметті беру уақыты
Дәстүрлі бұдырлы антенна	9,20 мин
Фракталдық антенна	8,40 мин
Экрандалған фракталдық антенна	11,35 мин



3-сурет – Фракталдық және дәстүрлі бұдырлы антенналардың көріністері



4-сурет – Фракталдық антеннаны Wi-Fi антенна ретінде зерттеу процесі

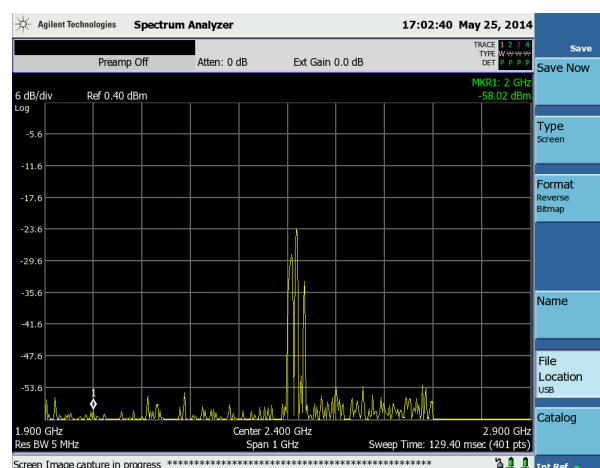
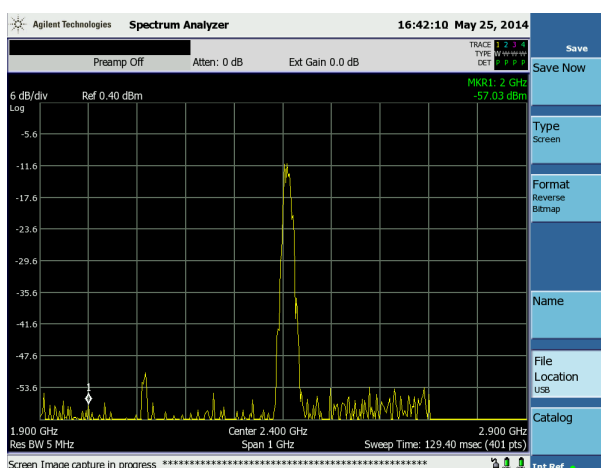


5-сурет – Эксперименттік қондырғының көрінісі

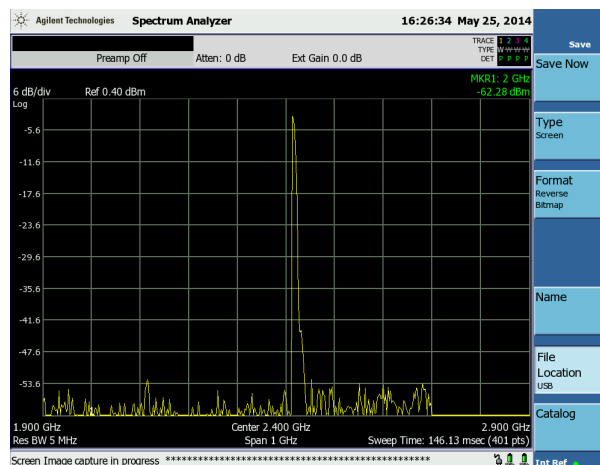
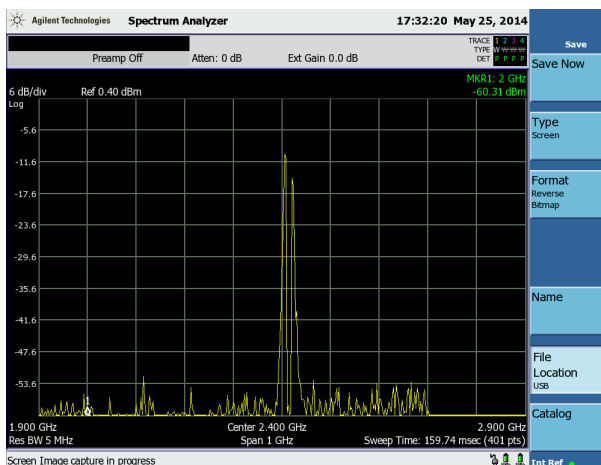
Келесі эксперименттер тек экрандалмаған фракталдық антеннамен жүргізілді. Ең алдымен фракталдық антеннаның бағытталу диаграммасы анықталды. 6-суретте фракталдық антеннаны тура және оған қарама-қарсы бағытта тұрған кездегі қуат спектрлері көрсетілген. Суреттен көріп тұрғанымыздай, сигналдың тура бағыттағы қуат спектрі қарама-қарсы бағытқа қарағанда шамамен 2 есе көп, яғни фракталдық антеннаның бағытталу диаграммасы шеңбер тәрізді емес екендігін көруге болады.

Эксперименттер барысында фракталдық антенна әр түрлі кеңістіктік жағдайларда тестіден

өткізілді. Сондай-ақ, антеннаны тік орналастыру, оны көлденең түрде орналастырумен салыстырғанда тиімсіз екендігі анықталды. Көлденең орналасқан антеннаны тестіден өткізу барысында одан шыққан сигналдардың қуат спектрлері, дәстүрлі бұдырлы антеннадан шыққан сигналдардың қуат спектрінен шамамен 2 есе жоғары екендігі анықталды (7-сурет). Суреттен көріп тұрғанымыздай, бұдырлы антеннаның шығыс сигналының қуат спектрі шамамен – 11,6 дБ, ал фракталдық антеннаның шығыс сигналының қуат спектрі – 5,6 дБ құрайды, яғни шамамен 2 есе жоғары.



6-сурет – Фракталдық антеннаның тура бағытта (сол жақта) және оған қарама-қарсы бағытта (180 градус, оң жақта) жұмыс істеу кезіндегі сигналдың қуат спектрлері



7-сурет – Дәстүрлі бұдырлы антеннаның (сол жақта) және фракталдық антеннаның шығыс сигналының (оң жақта) қуат спектрлері

Эксперименттер барысында алынған тағы да бір сипаттама антенналардың мәліметті қанша қашықтыққа дейін жіберуіне байланысты болды. Бұл экспериментте де дәл сондай көлемдегі мәліметті әртүрлі қашықтыққа жіберу бойынша жұмыстар жүргізілді. Зерттеу нәтижелері дәстүрлі бұдырлы антеннаның мәліметті небәрі 100 метрге дейін, ал фракталдық антеннаның 150 метрге дейін жібере алуы анықталды.

Қорытынды

Зерттеу нәтижелерін қорыта келе, фракталдық антеннаның бәсекеге қабілетті екенін айтуға болады. Фракталдық антенна тарататын сигналдардың қуат спектрі дәстүрлі бұдырлы антенна тарататын сигналдардың қуат спектрлерінен екі есе жоғары екендігі, сондай-ақ, мәліметтерді жіберу қашықтығының ұзақтығы фракталдық антенналардың болашағы зор екендігін көрсетеді.

Фракталдық антенналарды ұялы телефондар, LTE 4G, WIMAX сияқты басқа да сымсыз технологияларға пайдалануға болады. Әрине оларды жасау барысында сол технологиялар жұмыс жасайтын жиіліктік диапазон, сәйкес сымсыз технологиялардың өзіндік ерекшеліктері ескерілуі тиіс.

Жұмыста зерттелген фракталдық антеннаның қасиеттері антеннаның көлденең орналасқан жағдайында жоғары болуы, оның басты ерекшелігі болып табылады, себебі осындай антеннаның негізінде Wi-Fi роутері жасалса, біріншіден, оның өлшемдері ықшам болады, қосымша антеннаны орнатудың қажеттілігі болмайды, фракталдық антеннаны сол роутердің қорабының бетіне орналастыруымызға болады, екіншіден сымсыз желінің жұмыс жасау радиусы артады.

Фракталдық антенналардың кеңжолақты екендігін ескерсек, болашақта бір антеннаның көмегімен әртүрлі сымсыз технологияларды қамти алатын құрылғылардың пайда болуы әбден мүмкін.

References

- 1 Kumar R., Sawant K.K. On the Design of Circular Fractal Antenna with U-Shape Slot in CPW-Feed // *Wireless Engineering and Technology*. – 2010. – Vol. 1. – P. 81-87.
- 2 Azari A. A New Fractal Antenna for Super Wideband Applications // *Progress In Electromagnetics Research Symposium Proceedings*. – 2010. – Vol. 2. – P. 885-888.
- 3 Gianvittorio J.P. Fractals, MEMS, and FSS electromagnetic devices miniaturization and multiple resonances // *Dissertation*, University of California, Los Angeles, 2003.
- 4 Fractal Design of Multiband Antenna Arrays. – *Elec. Eng. Dept. Univ. Illinois, Urbana-Champaign, ECE 477 term project*, Dec.1993.