

Լ.Ն. ԳՐԻԳՐՅԱՆ

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ЭФИРНОЙ РАДИОЛИНИИ И ВЫБОР РАБОЧЕГО ЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА ДЛЯ СЕТЕЙ ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ

Проанализированы особенности распространения миллиметровых радиоволн и факторы, влияющие на их распространение. Приведены зависимости значений коэффициента затухания радиоволн в атмосфере от длины волны и интенсивности осадков. Учитывая занятость радиочастотного спектра и параметры затухания, предложены частотные полосы, подходящие для применения.

Ключевые слова: миллиметровый диапазон волн, 5G, распространение радиоволн, затухания, затенение.

L.N. GRIGORYAN

ANALYSYS OF THE AIR CHANNEL PROPAGATION PARAMETERS AND FREQUENCY RANGE SELECTION FOR THE FIFTH GENERATION NETWORKS

The propagation features of mmwaves, and the factors influencing their propagation are analyzed. The dependencies of the radio wave attenuation in the atmosphere on the wavelength and the intensity of precipitation are given. Taking into account the occupation of the frequency spectrum and the attenuation parameters, frequency bands suitable for application are proposed.

Keywords: millimeter wave, 5G, wave propagation, transmission loss, shadowing.

ՀՏԴ 621.391

Ա.Գ. ԳՐԻԳՐՅԱՆ

ՈԱԴԻՈՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԱԶԴԱՆՇԱՆՆԵՐԻ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ ՖՈՒՐՅԵ ՇԱՐՔԵՐՈՎ ԵՎ ՎԵՅՎԼԵՏ-ՖՈՒՆԿՑԻԱՆԵՐՈՎ

Դիտարկվել են Ֆուրյե և վեյվլետ-ձևափոխության հիմունքները, նշվել են վեյվլետ-ֆունկցիաների և Ֆուրյե շարքերի հիմնական առավելությունները և թերությունները: MATLAB R2013a ծրագրի կիրառմամբ կատարվել է միաչափ ազդանշանների վերլուծություն ծրագրային ռեժիմում: Բերվել են Ֆուրյե և վեյվլետ- սպեկտրագրերի հետազոտության արդյունքները:

Առանցքային բառեր. արագ ձևափոխություն, բազիսային ֆունկցիա, տեղային առանձնահատկություններ, վեյվլետ-գործակիցներ, դեկոմպոզիցիա:

Ներածություն: Դարեր շարունակ մաթեմատիկներին, իսկ հետո նաև տեխնիկական ոլորտի ներկայացուցիչներին հուզում էր բարդ ֆունկցիաների և

ազդանշանների հնարավորինս պարզ և միօրինակ ներկայացման խնդիրը: Այն բավականին արդյունավետ լուծվեց Ֆուրյե շարքերով և դրանց հիման վրա ստեղծված ձևափոխության մեթոդներով: Սակայն վերջին տերիներին ակնհայտ դարձավ, որ Ֆուրյե շարքերով ներկայացման ավանդական ապարատը արդյունավետ չէ տեղային առանձնահատկություններ պարունակող ժամանակակից տեխնիկայում լայն կիրառում ստացած իմպուլսային և թվային ազդանշանների և պատկերների մշակման դեպքում: Դա պայմանավորված է նրանով, որ Ֆուրյե շարքերի բազիսային ֆունկցիա հանդիսացող սինուսոիդը որոշված է տարածության ամբողջ միջակայքում $(+\infty; -\infty)$ և իր բնույթով ողորկ և խիստ պարբերական ֆունկցիա է, որի ինտեգրալը ցանկացած պարբերության ընթացքում հավասար է զրոյի: Ուստի, սինուսոիդը սկզբունքորեն ունակ չէ նկարագրելով կամայական ազդանշաններ և ֆունկցիաներ, հատկապես Ֆուրյե շարքի հարմոնիկների թվի սահմանափակման պայմաններում: Սակայն վեյվլետների բացահայտումը թույլ տվեց լուծել ոչ ստացիոնար ազդանշանների վերլուծության բարդ և արդիական այս խնդիրը: Խնդրի լուծման հիմք հանդիսացավ սկզբունքորեն նոր բազիսային ֆունկցիաների մշակումը, որոնք կիրառվում են բարդ ազդանշանների տրոհման և վերականգնման համար: Համապատասխանաբար ստեղծվեց նաև դրանց ներկայացման նոր ապարատ, իսկ վերջերս՝ դրա իրականացման գործիքային և ծրագրային միջոցներ, որոնց մեջ թերևս ամենահզորը MATLAB ծրագիրն է՝ իր Wavelet Toolbox փաթեթով:

Խնդրի դրվածքը: Ֆուրյե շարքերը և ձևափոխությունները, անկախ իրենց ակնհայտ թերություններից, այժմ էլ ընկած են գիտության և տեխնիկայի նոր և առաջատար բազմաթիվ ոլորտների հիմքում՝ սկսած տարբեր կարգի դիֆերենցիալ հավասարումների լուծումներից, ժամանակակից էլեկտրատեխնիկայի, ռադիոտեխնիկայի և կապի միջոցների տեսական հիմունքների ստեղծումից և վերջացրած դրանց հիմքով ստեղծված բազմաթիվ ֆիզիկական և չափիչ գործիքներով:

Ֆուրյե շարքը, ընդհանուր առմամբ, կարելի է ներկայացնել հետևյալ կերպ [1].

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} [a_k \cos k\omega t + b_k \sin k\omega t], \quad (1)$$

կամ՝ կոմպլեքս տեսքով.

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} \left[a_k \frac{e^{ik\omega t} + e^{-ik\omega t}}{2} + b_k \frac{e^{ik\omega t} - e^{-ik\omega t}}{2} \right] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k e^{ik\omega t}, \quad (2)$$

որտեղ a_k, b_k, c_k -ն Ֆուրյե շարքի հարմոնիկների վերլուծման գործակիցներն են.

$$a_k = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \cos k\omega t dt \quad (k = 0, 1, 2, 3, \dots), \quad (3)$$

$$b_k = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \sin k\omega t dt \quad (k = 1, 2, 3, \dots), \quad (4)$$

$$c_k = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) e^{-ik\omega t} dt \quad (k = 0, 1, 2, \dots), \quad (5)$$

որտեղ k -ն Ֆուրյե եռանկյունաչափական շարքի հարմոնիկների թիվն է:

Ընդ որում, հենց այս հարմոնիկներում պարունակվում հայտնի T պարբերությամբ $x(t)$ ֆունկցիայի վերաբերյալ ամբողջ տեղեկությունը: Ուստի, կատարել ազդանշանի Ֆուրյե-վերլուծություն նշանակում է հաշվարկել վերոհիշյալ գործակիցները, ինչը ընկած է ազդանշանների սպեկտրալ վերլուծության հիմքում: Պարզ է դառնում, որ ազդանշանի ճշգրիտ վերականգման (կամ սպեկտրալ սինթեզի) համար անհրաժեշտ է հաշվարկել մեծ քանակությամբ հարմոնիկներ: Դա հանգեցնում է հաշվարկային ժամանակի մեծացմանը, ինչը անընդունելի է ժամանակակից արագագործ համակարգերում:

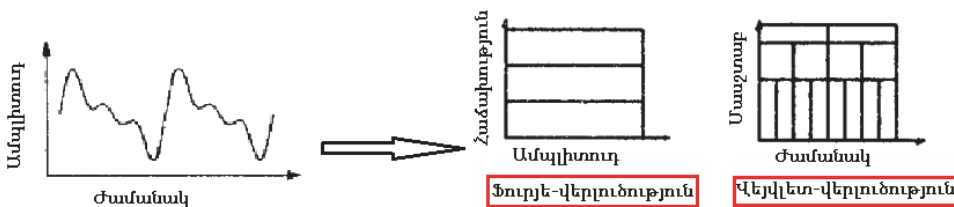
Հաշվարկային ժամանակի կրճատման տեսանկյունից առավել արդյունավետ է համարվում Ֆուրյե-արագ ձևափոխությունը (ՖԱՁ), որի հիմքում ընկած է հաճախականային հարմոնիկների նոսրացման բրգաձև ալգորիթմը [2], որը բացառում է եռանկյունաչափական Ֆուրյե շարքի պարբերական կրկնվող անդամների կրկնակի հաշվարկը: Ալգորիթմն իրականացվում է $\sim N \log N$ քանակությամբ գործողությունների ընթացքում [2], որտեղ N -ը ընդհատուն ազդանշանի հաշվանքների քանակն է: ՖԱՁ-ն առավել արդյունավետ է ստացվում, եթե ֆունկցիայի հաշվանքների թիվը պատիկ է ամբողջական ցուցիչով 2-ի: Եթե հաշվանքների քանակն ավելի քիչ է, ապա այն հավասարեցնում են ամբողջական ցուցիչով 2-ին պատիկ թվին՝ պարզապես ավելացնելով զրոյական հաշվանքներ:

Ֆուրյե-ձևափոխությունը պատկերացում է տալիս ազդանշանի մասին միայն հաճախականային տիրույթում, քանզի ազդանշանը ներկայացվում է հարմոնիկ տատանումների գումարի տեսքով: Եթե ժամանակի որոշակի պահին ազդանշանը փոխվի թռիչքաձև, կամ դրան ավելանա մեկ այլ ազդանշան, կամ կատարվի որևէ այլ փոփոխություն, որը դժվար կլինի մոտարկել եռանկյունաչափական ֆունկցիայով, ապա վերլուծության համար առաջանում է այլ տեսակի ֆունկցիաների անհրաժեշտություն:

Վեյվլետ-վերլուծության հիմքում ընկած է ազդանշանի տրոհումը հենց այդպիսի ֆունկցիաների, որոնք տեղայնացված են ինչպես ժամանակի, այնպես

Էլ տարածության մեջ, ինչը թույլ է տալիս բավականին արդյունավետ հայտնաբերել ոչ պարբերական ազդանշանների տարբեր առանձնահատկությունները: Վեյվլետների բազիսային ֆունկցիաները ներկայացնում են իմպուլսներով մոդուլացված սինուսոիդներ, մակարդակի թռիչքով ֆունկցիաներ և այլ տեսակի տատանումներ, որոնք արտաքննապես ոչ մի ընդհանրություն չունեն սինուսոիդի հետ: Գրեթե ոչ մի վեյվլետ-ֆունկցիա չունի անալիտիկ ներկայացում մեկ բանաձևի տեսքով, ինչը դժվարացնում է դրանց մաթեմատիկական ներկայացումը և հաշվարկը [3]: Դա վեյվլետների էական թերությունն է՝ դրանք հասկանալու և պատկերացնելու տեսանկյունից: Այդ իսկ պատճառով վեյվլետ-ֆունկցիաները հաճախ տրվում են բազմակրկնվող (խտերացիոն) արտահայտություններով, որոնք հեշտությամբ հաշվարկվում են համակարգչային ծրագրերով:

Ինչպես Ֆուրյե-վերլուծության ժամանակ ազդանշանը տրոհվում էր տարբեր հաճախություններով հարմոնիկ ֆունկցիաների, այնպես էլ վեյվլետ-վերլուծության դեպքում ազդանշանը ներկայացվում է մասշտաբավորված և ժամանակի առանցքով շեղված $\psi(t)$ ֆունկցիաներով: Այդ դեպքում ազդանշանը ներկայացվում է մասշտաբ-ժամանակ տարածության մեջ, մինչդեռ Ֆուրյե-ձևափոխության դեպքում՝ ամպլիտուդա-հաճախականային տարածության մեջ (նկ.1):



Նկ. 1. Ազդանշանի ներկայացումը տարբեր տիրույթներում Ֆուրյե և վեյվլետ-վերլուծության դեպքում

Դժվար չէ նկատել, որ վեյվլետ-ձևափոխությունը տարբերվում է ազդանշանի ներկայացման ավելի բարդ և ճկուն կառուցվածքով, ինչը թույլ է տալիս բացահայտել ազդանշանի նուրբ առանձնահատկությունները:

Վեյվլետ-գործակիցները, ընդհանուր առմամբ, որոշվում են հետևյալ կերպ [1].

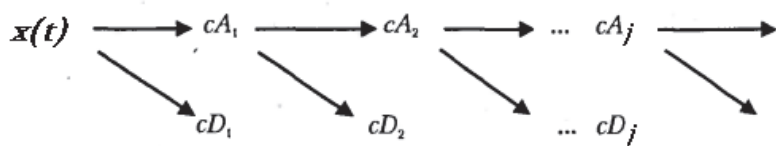
$$C(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt, \quad (6)$$

որտեղ a -ն փոփոխական է, որը որոշում է մասշտաբի փոփոխությունը ժամանակի առանցքով, b -ն՝ փոփոխական, որը շեղում է վեյվլետը ժամանակի առանցքով:

Ինչպես Ֆուրյե, այնպես էլ վեյվլետ-արագ ձևափոխության (ՎԱՁ) ընթացքում ազդանշանը աստիճանաբար տրոհվում է տարբեր մակարդակների, ընդ որում, որպես դեկոմպոզիցիայի զրոյական մակարդակ ընդունում է սկզբնական ազդանշանը, իսկ դեկոմպոզիցիայի մակարդակները կազմում են վայրընթաց վեյվլետ-ժառ (նկ.2): ՎԱՁ-ի հիմքում ընկած են Մալլատի բրգածն ալգորիթմը և վեյվլետների հաճախականային սպեկտրի կրկնակի նոսրացումը, ինչը նույնպես թույլ է տալիս զգալիորեն կրճատել հաշվարկային ժամանակը [3]:

Ազդանշանի ներկայացումը, այսպես կոչված, cA_j ապրոքսիմացնող և cD_j մանրամասնող վեյվլետ-գործակիցների տրոհման միջոցով կոչվում է j -րդ մակարդակի դեկոմպոզիցիա: Այդ դեպքում $x(t)$ ազդանշանի տրոհումը (կամ վերականգնումը) յուրաքանչյուր մակարդակում, ընդհանուր առմամբ, կարելի է ներկայացնել հետևյալ կերպ [4].

$$x(t) = cA_1 + cD_1 = cA_2 + cD_2 + cD_1 = cA_3 + cD_3 + cD_2 + cD_1 = \dots = cA_j + \sum cD_j; \quad (7)$$

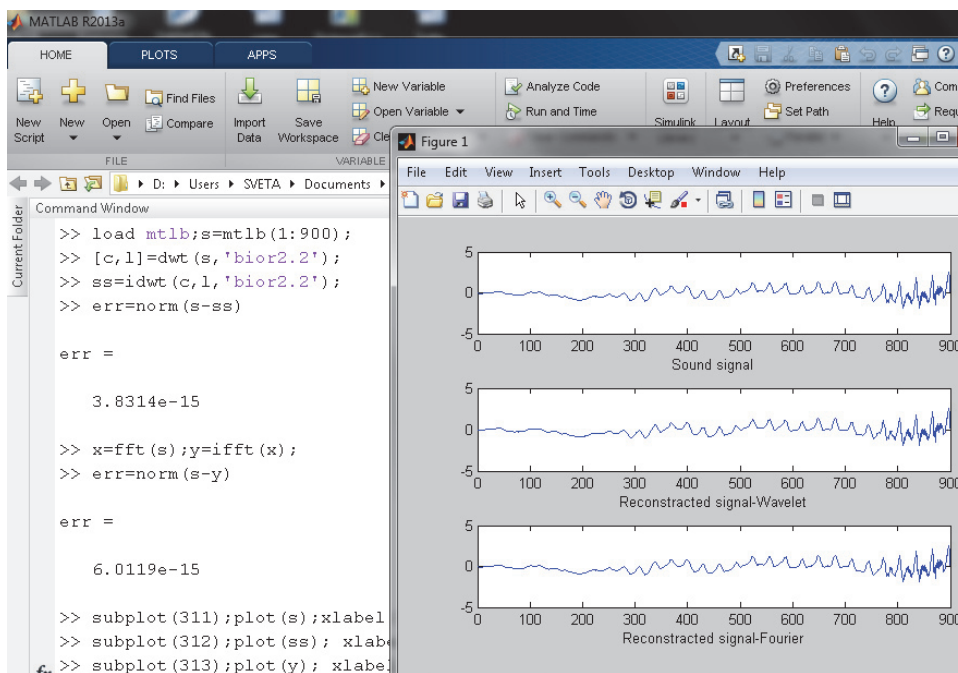


Նկ. 2. Մալլատի տրոհման բրգածն ալգորիթմը

Հետազոտության արդյունքները: Հետազոտություններն իրականացնելու համար օգտագործվել է MATLAB R2013a ծրագիրը, որն ունի նորագույն և հզոր գործիքակազմ ազդանշանների և պատկերների մշակման համար: Աշխատանքի նպատակն է պարզել՝ 1) որքան արդյունավետ են Ֆուրյե և վեյվլետ-արագ ձևափոխությունները ազդանշանի վերականգնման համար, 2) որքան արդյունավետ են Ֆուրյե-շարքերը և վեյվլետ-ֆունկցիաները ազդանշանի տեղային առանձնահատկությունները բացահայտելու դեպքում: Հետազոտություններն իրականացվել են ծրագրային ռեժիմում, կազմվել են անհրաժեշտ ծրագրեր, և կառուցվել են դրանց համապատասխան գրաֆիկները՝ արդյունքները տեսանելի դարձնելու նպատակով:

1) Որպես հետազոտվող ազդանշան դիտարկվել է 900 հաշվանքներով իրական ձայնային ազդանշանը, որը ներբեռնվել է mtlb ֆայլից: Իրականացվել է միաչափ ընդհատուն վեյվլետ-վերլուծություն, որի հիմնական առավելությունն է արագ վեյվլետ-ձևափոխության արդյունավետ ալգորիթմների առկայությունը,

ինչը թույլ է տալիս վերլուծել մեծ քանակությամբ հաշվանքներ բավականին կարճ ժամանակում: Միաջափ վեյվլետ-տրոհման և վերականգնման ֆունկցիաներն են համապատասխանաբար՝ `dwt` և `idwt`: Վերլուծության համար կիրառվել է `bior2.2` բիօրթոգոնալ վեյվլետը: Արդյունքում՝ ծրագիրը համեմատել է նախնական (`s`) և վերականգնված (`ss`) ազդանշանները ու գնահատել է ազդանշանի վերականգնման սխալանքը: Սխալանքի չափազանց փոքր արժեքը վկայում է նախնական ազդանշանի ճշգրիտ վերականգնման մասին: Նույն կարգի արժեքներ են ստացվում նաև ուղիղ և հակառակ Ֆուրյե-արագ ձևափոխության արդյունքում (նկ.3)՝ համապատասխանաբար `fft` և `ifft` ֆունկցիաների կիրառմամբ: Սակայն այստեղ պետք է նշել այն հանգամանքը, որ ծրագրում չի տրվում Ֆուրյե շարքի հարմոնիկների քանակի սահմանափակում, ինչը իրականացվում է գործնական հաշվարկների ժամանակ՝ հաշվարկային ժամանակը կրճատելու նպատակով: Այդ դեպքում ազդանշանի աղավաղումները ավելի զգալի են ստացվում:

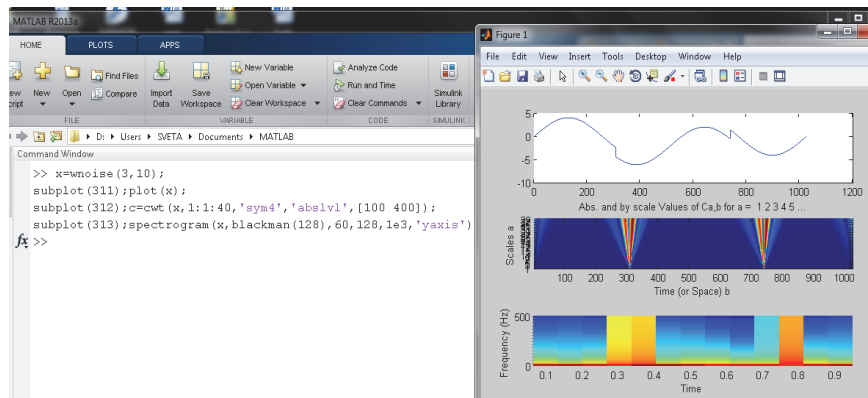


Նկ. 3. Ազդանշանի վերականգնում վեյվլետ և Ֆուրյե արագ ձևափոխությամբ

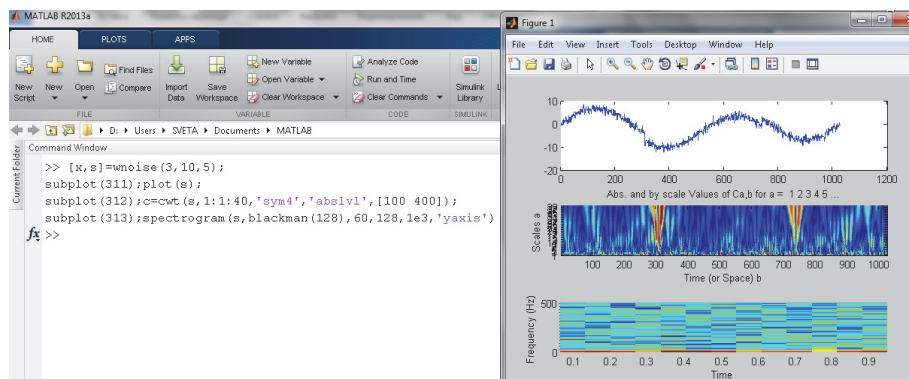
Պարզելու համար, թե որքան արդյունավետ են Ֆուրյե շարքերը և վեյվլետ-ֆունկցիաները ազդանշանի տեղային առանձնահատկությունները բացահայտելու հարցում, դիտարկենք վեյվլետ և Ֆուրյե սպեկտրագրերը: Որպես փորձնական

ազդանշան օգտագործվել է երկու խզումներ պարունակող սինուսոիդը: Կազմված ծրագիրը կառուցում է վեյվլետ-սպեկտրագիր՝ վեյվլետ-անընդհատ ձևափոխության դեպքում, sym4 վեյվլետի կիրառմամբ, և Ֆուրյե-սպեկտրագիր՝ Ֆուրյե-կարճատև ձևափոխության դեպքում (նկ.4):

Նկարից երևում է, որ արդյունքները երկու դեպքում էլ բավարար են սինուսորդի խզումները բացահայտելու համար: Սակայն պատկերը փոխվում է, երբ ազդանշանին վերադրվում են աղմուկներ (նկ.5), և Ֆուրյե-սպեկտրագրի վրա այլևս չեն դիտվում ազդանշանի առանձնահատկությունները, միջդեռ վեյվլետ-սպեկտրագիրը, անկախ ազդանշանի խիստ աղավաղումներից, հստակ ցուցադրում է երկու խզումների առկայությունը: Սպեկտրագրի ներքևի հատվածում հստակ երևում է նաև աղմուկների վեյվլետ-սպեկտրի բավականին բարդ կառուցվածքը: Տվյալ օրինակը վեյվլետների բարձր լուծաչափող հատկությունների ակնառու ապացույց է:



Նկ. 4. Խզումներով սինուսոիդի վեյվլետը և Ֆուրյե-սպեկտրագրերը



Նկ. 5. Աղմկային ազդանշանի վեյվլետը և Ֆուրյե-սպեկտրագրերը

Եզրակացություն: Կատարված տեսական ուսումնասիրություններն ու փորձնական հետազոտությունները ցույց են տալիս, որ վեյվլետ-ձևափոխությունները ամեննախն էլ չեն զիջում ավանդական Ֆուրյե-ձևափոխության տարատեսակ ազդանշանները վերլուծելիս և նույնիսկ ավելի շահավետ են՝ հաշվարկային ժամանակի կրճատման տեսանկյունից: Անվիճելի է նաև դրանց կարողությունը բարդ ազդանշանների նուրբ առանձնահատկությունները բացահայտելու հարցում, քանզի դրանց ժամանակի և տարածության մեջ տեղայնացված բազիսային ֆունկցիաները ոչ մի ընդհանրություն չունեն Ֆուրյե-շարքերի բազիսային ֆունկցիայի՝ սինուսոիդի հետ, որն իր վերոհիշյալ թերությունների պատճառով չի կարող ներկայացնել ազդանշաններն իրենց բոլոր մանրամասնություններով:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Павлейно М.А., Ромаданов В.М.** Спектральные преобразования в MATLAB: Учебно-методическое пособие.-СПб., 2007.-160с.
2. **Дьяконов В.П.** От теории к практике. Вейвлеты. -М.: Солон-Р, 2002. - 448 с.
3. **Смоленцев Н.К.** Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB.-М.: ДМК Пресс, 2005.-304с.
4. **Hans-Georg Stark.** Wavelets and Signal Processing. An Application-Based Introduction.-Netherlands: Springer Berlin Heidelberg, 2005.-150p.

Տ.Գ. ԳՈՄՇՅԱՆ

АНАЛИЗ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ РЯДАМИ ФУРЬЕ И ВЕЙВЛЕТ-ФУНКЦИЯМИ

Рассмотрены теоретические основы Фурье и вейвлет-преобразований, отмечены основные преимущества и недостатки рядов Фурье и вейвлет-функций. При помощи программы MATLAB R2013a осуществлен анализ одномерных сигналов в командном режиме, приведены результаты исследований вейвлет и Фурье-спектрограмм.

Ключевые слова: быстрое преобразование, базисная функция, локальные особенности, вейвлет-коэффициенты, декомпозиция.

S.G. GOMTSYAN

**ANALYSIS OF RADIOTECHNICAL SIGNALS BY THE FOURIER
SERIES AND WAVELET FUNCTIONS**

The theoretical bases of the Fourier and wavelet transforms are considered, the main advantages and disadvantages of the Fourier series and wavelet functions are mentioned using the program MATLAB R2013a, the analysis of one-dimensional signals in the command mode are realized, the results of investigations of the wavelet and Fourier spectrograms are presented.

Keywords: fast transform, basic function, local features, wavelet coefficients, decomposition.

UDC 621.396.933.22

A.R. KHACHATRYAN, A.S. SARGSYAN

**INVESTIGATING THE IMPACT OF MECHANICAL DEFORMATIONS
ON THE FIELD DISTRIBUTION IN THE ANTENNA APPERTURE FOR
THE ROT-54/2.6 RADIO TELESCOPE**

A telescope is never perfect because of mechanical, gravitational, temperature and wind-induced deformations of its structure, because of production imperfections and because of accidental small misalignments of constrictive elements. The resulting degrading effect on the beam pattern is negligible if the corresponding deformation of the reflector and the misalignment of the constructive elements (main reflector, sub reflector, receiver) is small compared to the wavelength of observation, i.e smaller than $\lambda/16$. The degradation becomes noticeable and disturbing if the corresponding deformation is larger than $\lambda/10$ [1].

In our work we examined the influence of mechanical deformations on the field distribution in the antenna aperture for the ROT-54/2.6 Radio Optical Telescope.

Keywords: antenna, deformations, radio telescope.

Introduction. Antennae used for Radio Telescopes usually have large dimensions and are generally composed by a set of surface panels with supported structure (also known as a backup structure) [2]. So far, the Arecibo Observatory Radio Telescope located on the island Puerto Rico has the largest in the world spherical multi-reflector antenna. The main collecting dish is 305 m in diameter constructed inside the depression and the backup structure of it is the network of steel cables strung across the underlying karst sinkhole [3]. The only Radio Optical Telescope in the world ROT-54/2.6 located in Armenia on mountain Aragats has the