

## ПЕРСПЕКТИВИ ЗА ИЗПОЛЗУВАНЕТО НА ХАОТИЧНИ И ФРАКТАЛОПОДОБНИ СИГНАЛИ В РАДИОСВЪРЗОЧНИТЕ И РАДИОЛОКАЦИОННИТЕ СИСТЕМИ

Стилиян Луков

*Институт за космически изследвания – БАН*

### PROSPECTS OF CHAOTIC AND FRACTAL-LIKE SIGNALS APPLICATION IN RADIOCOMMUNICATION AND RADIOLOCATION SYSTEMS

Stiliyan Lukov

*Space Research Institute – Bulgarian Academy of Sciences  
e-mail: slukov@space.bas.bg*

**Keywords:** *complex signals, nonlinear dynamic systems, chaos, fractals, radiocommunication and radiolocation systems*

**Abstract:** *The paper considers the prospects of chaotic and fractal-like signals application in radiocommunication and radiolocation systems. These signals constitute a new class of signals in modern radio engineering. Their properties are very interesting but not enough investigated. The paper considers the relation between chaotic and fractal-like signals and other types of signals and their possible applications in radiocommunication and radiolocation systems.*

#### 1. Въведение

От началото на откриване на методите за предаване на информация посредством електромагнитни (радио-) сигнали съществува тенденция за непрекъснато усъвършенстване на тези методи чрез откриване на нови типове сигнали, разработване на нови устройства за генериране, предаване, приемане и обработка на сигналите и пр. Днес сме свидетели на прилагането на редица нови типове сигнали, които значително се отличават по своята структура и свойства от “традиционните” и широко използвани сигнали. Такива са хаотичните и фракталоподобни сигнали, които бяха предложени в края на миналия и началото на настоящия век веднага след появата на теориите на хаоса и на фракталите. Веднага ще отбележим, че изследването на свойствата и на методите за използване на новите типове сигнали се намира в съвсем начален стадий на развитие. Възниква проблема за намиране на връзката на хаотичните и фракталоподобните сигнали с другите типове известни сигнали, а също така за изясняване на методите за генерация, за въвеждане и снемане на информацията от тях и пр. През последните години този въпрос все по-настойчиво се обсъжда в литературата.

Така, в работа [1] са представени резултатите от практическата разработка на система за радиосвързка с използване на хаотични сигнали, привеждат се също така и някои данни за най-важните качествени характеристики на системата и за свойствата на самите хаотични сигнали като преносители на информация. Оказва се, че тези методи могат да бъдат приложени не само в радиосвързочните, но и в радиолокационните системи, а също така и в радиолокационните системи с активен отговор.

В настоящия доклад ние разглеждаме тези възможности, както по отношение на хаотичните сигнали (ХС), така и по отношение на фракталоподобните сигнали (ФПС), които имат много общи свойства с хаотичните сигнали и в същото време се отличават от тях. Предварително в доклада се дава кратка характеристика на разглежданите сигнали и се посочва тяхната връзка с останалите типове известни сигнали.

#### 2. Характеристика на хаотичните и на фракталоподобните сигнали

Тук под хаотични сигнали ще разбираме сигналите, при които за предаване на информацията се използват източници (генератори) на хаос, т.е. на електрически величини – напрежение, ток, напрегнатост на поле и пр., изменящи се във времето по закона на динамичния хаос. С това тези

сигнали съществено се отличават от традиционните сигнали, използващи хармонични или квазихармонични колебания. От друга страна хаотичните сигнали са близки до известните шумови или псевдошумови сигнали, при които се използват източници на шумови (случайни) колебания, но в същото време се отличават от тях, предвид специфичните отличия на динамичния хаос от случайните времеви функции [2].

Аналогично можем да определим фракталоподобните сигнали (ФПС) като сигнали, при които за предаване на информация се използват времеви функции с фрактални (фракталоподобни) свойства. С термина “фракталоподобен” ние отличаваме реалните фрактали, имащи краен брой мащаби от идеалните, притежаващи безкрайно много мащаби [3]. В това отношение ФПС са сродни с ХС, тъй като един хаотичен сигнал също притежава самоподобни свойства [2]. В същото време, обаче ФПС съществено се отличават от ХС най-вече по това, че ФПС притежават строго определен закон на генериране и следователно могат да бъдат възпроизведени. Това дава съществени предимства при обработката на тези сигнали, която може по принцип да бъде кохерентна, в отличие от обработката на ХС. Следва да отбележим, че за практическо приложение ХС и ФПС трябва да бъдат в областта на ВЧ и СВЧ.

Важна характеристика на ХС и ФПС е тяхната свръхширококолентовост, т.е. по същество те спадат към свръхширококолентовите (СШЛ) сигнали, за които относителната ширина на честотната лента отговаря на условието [4].

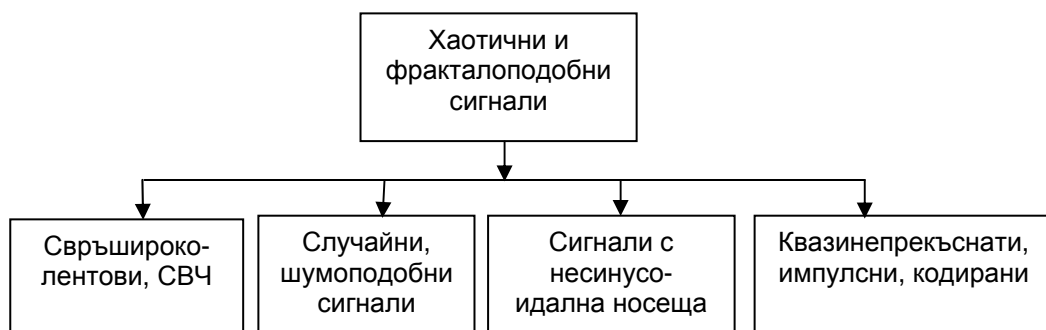
$$(1) \quad 2\Delta F = \frac{F_U - F_L}{2(F_U + F_L)} \geq 2,$$

където  $F_U$ ,  $F_L$  - съответно, най-висока и най-ниска честоти в спектъра на сигнала.

Както е известно, към СШЛ сигнали спадат сигналите без носеща – например в РЛС, работещи с много краткотрайни видеоимпулси, характеризиращи се с много широк спектър. Същевременно обаче, спектралното разпределение на тези сигнали се отличава от СШЛ сигнала. Това на ХС и ФПС и е групирани в областта на ниските честоти, което създава трудности при излъчване и приемане на тези сигнали [4, 5].

Следователно, обобщавайки можем накратко да характеризираме ХС и ФПС като свръхширококолентови, свръхвисокочестотни сигнали с квазинепрекъснат спектър с близка до равномерната спектрална плътност.

От друга страна, очевидно ХС и ФПС могат да бъдат характеризирани като “сложни” сигнали, т.е. сигнали със сложна структура. При това може да бъде проследена определена връзка на тези сигнали с останалите типове сложни сигнали. Тази връзка е посочена накратко на фиг.1.



Фиг.1. Връзка на хаотичните сигнали с други типове сложни сигнали

Близостта на свойствата на ХС и ФПС говори за тясната взаимовръзка между тях. Това дава основание тези сигнали да се разглеждат като две разновидности на един общ клас сложни сигнали с динамично-нелинейна структура.

### 3. Приложение на хаотичните и фракталоподобните сигнали

#### а) хаотични сигнали

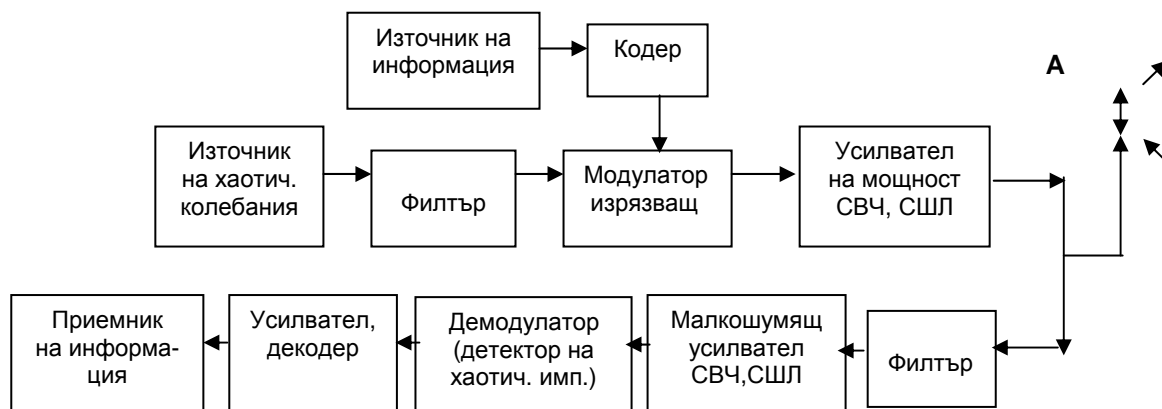
Тук ще разгледаме накратко перспективите за приложение на разглежданите типове сигнали в два вида системи – радиосвързочни и радиолокационни. Както се отбелязва в [1], приложението на хаотичните сигнали включва три главни момента: генериране на хаос (т.е. на хаотично напрежение,

ток и т.н.), въвеждане на информацията в хаотичния сигнал и, на трето място, извличане на информацията от този сигнал. Тези три момента са валидни също и за приложението на фракталоподобните сигнали. Съществуват, обаче, определени особености, които ще разгледаме накратко по-нататък.

В [1] са представени резултати от разработката и изследването на предложената по-рано от авторите [6] т.н. “прякохаотична” радиосвързочна система. В нея като източник на хаос се използва транзисторен СВЧ генератор, работещ в специален режим на хаотични колебания. За въвеждане на информацията в хаотичния сигнал се използва формирането на поток от хаотични импулси (отрязъци от хаотичното напрежение), които се модулират по съответен начин (например, по положение на импулсите) от информационния сигнал.

В приемната страна тези импулси се демодулират (детектират), което сменя полезната информация от хаотичния сигнал. Същественото тук е, че не се използва преобразуване на сигнала по честота.

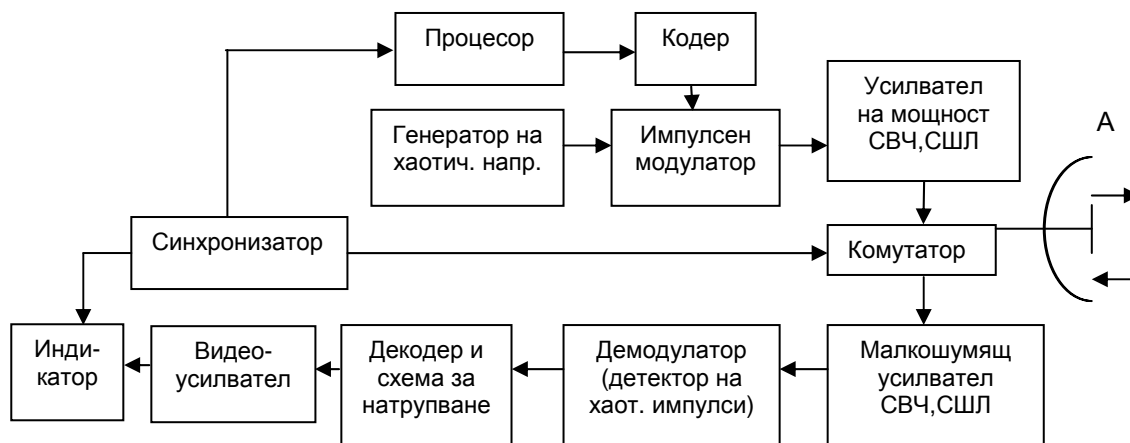
Могат да бъдат изтъкнати някои недостатъци на тази схема – например, малката далечина на действие, което се отбелязва от авторите на [1]. На второ място, съгласно структурната схема, системата е пригодена за работа с отделни антени на предаване и приемане, което създава определени неудобства. Приложението на този метод за случая на дуплексна радиосвързка чрез много висока честота на превключване и нахъсване на полезния сигнал може да се окаже затруднено или невъзможно поради импулсния характер на самия хаотичен сигнал. По принцип, обаче, тук би могло да се приложи разделяне по спектър на каналите на излъчване и приемане. За тази цел с помощта на съответни филтри от общия спектър на хаотичния сигнал се изрязват два неприпокриващи се “подспектъра” – долен  $\Delta F_L$  и горен  $\Delta F_U$ , в които се разполагат съответно каналите на излъчване и на приемане. За абонента тези подспектри са разменени. В такъв случай структурната схема на системата за прякохаотична радиосвързка добива вида, показан на фиг.2.



**Фиг. 2.** Структурна схема на прякохаотична система за радиосвързка, работеща със съвместна антена на излъчване и приемане

Приложението на пряко-хаотичната схема в типично радиолокационни системи, обаче, е свързано с някои особености, които ще отбележим накратко тук. Така използването на прости хаотични импулси – изрязъци от хаотичен процес за радиолокационно наблюдение на обекти е явно нецелесъобразно, предвид необходимостта тези импулси да имат достатъчно голяма амплитуда за осигуряване на необходимата далечина на действие на РЛС. Освен това единичните хаотични импулси губят важното предимство на непрекъснатия или квазинепрекъснат хаотичен сигнал – неговата скритност. Ето защо от тази гледна точка използването на прякохаотичната схема е целесъобразно в радиолокационни системи, работещи с дълги сложно-съставни импулси.

В съответствие с горното, структурната схема, например на РЛС, работеща със сложно-съставни хаотични импулси с натрупване, има следния вид (фиг.3)



Фиг. 3. Структурна схема на прякохаотична РЛС, работеща с дълги сложно-съставни хаотични импулси с натрупване

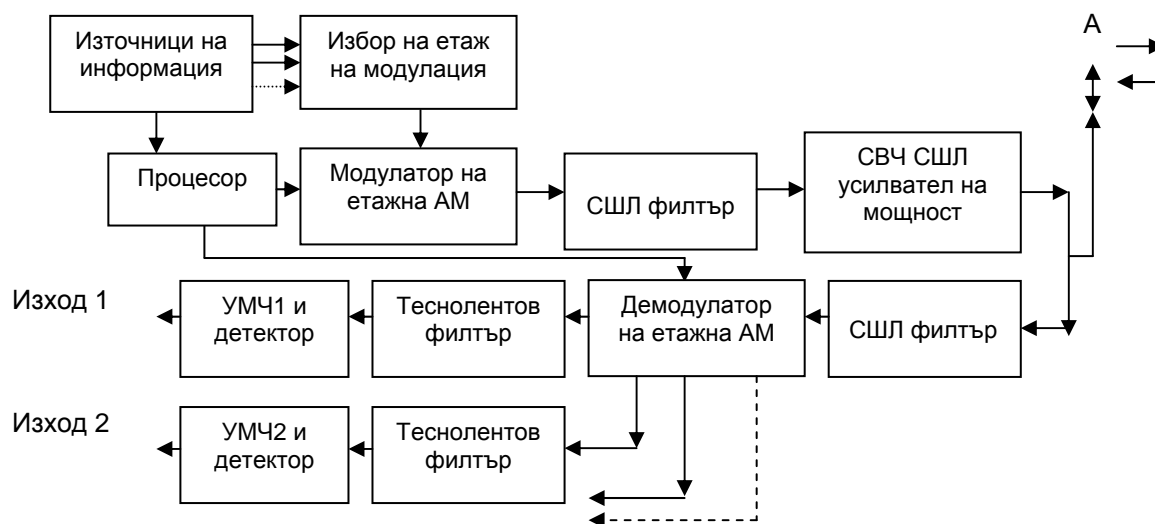
### б) фракталоподобни сигнали

По принцип са възможни множество разновидности на тези сигнали – например, в зависимост от закона, по който се генерират: ФПС със сложно-съставна амплитудна, честотна, фазова, импулсна и пр. модулация, сигнали със сложно-съставно кодиране и др.

В съответствие с казаното по-горе, генерацията на ФПС от даден тип може да стане по програмен път (чрез бърз микропроцесор). Въвеждането на информацията в сигнала става по програмен път – на определен “етаж” в същото устройство, което генерира ФПС. За извличане на полезната информация от приетия сигнал отново се използва бърз програмируем микропроцесорен преобразувател на спектъра. При това, началният спектър на сигнала по принцип може да се измести като се демодулират съответните етажи на сложно-съставната модулация. Това ще доведе до времева модулация (“накъсване”) на сигнала, от който след усилване и обикновена амплитудна демодулация се сменя полезната (например, речева) информация. За разлика от пряко-хаотичната система, тук измествения надолу и стеснен по спектър сигнал може да се усилва с обикновени лентови междинно-честотни усилватели, което повишава многократно чувствителността на системата.

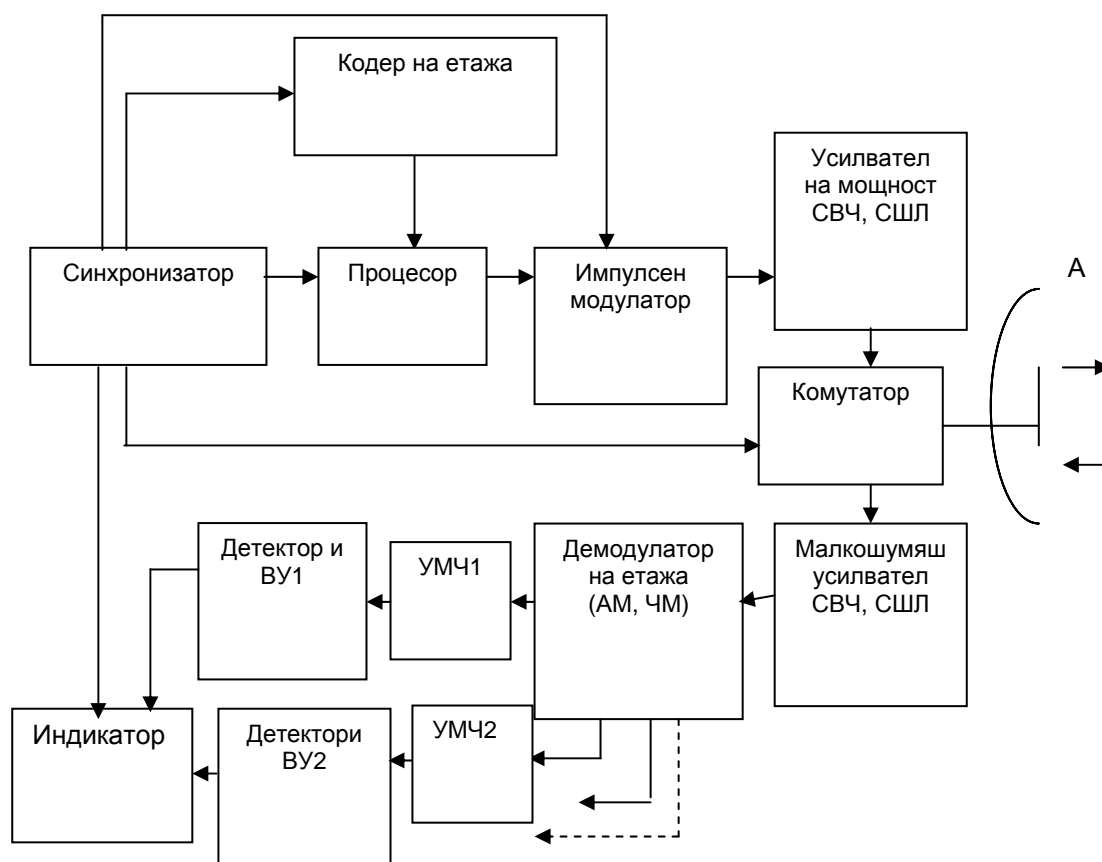
Имайки предвид горепосоченото, можем да съставим структурната схема на примерна система за радиосвързка с ФПС. Тази схема е представена на фиг.4.

Аналогично може да бъде построена и структурната схема на радиолокационната система с активен отговор, използваща ФПС. Главно отличие на РЛС с ФПС е многоетажната структура на сондиращите сигнали, която по принцип дава възможност за многоканална обработка на приетите сигнали. В това отношение РЛС с ФПС са подобни на многоканалните РЛС с честотно, времево или кодово разделение на каналите [7].



Фиг. 4. Структурна схема на система за радиосвързка с ФПС на базата на многоетажна АМ

На базата на посоченото можем да построим структурната схема на примерна многоканална РЛС със сложни сондиращи сигнали с ФП структура с разделяне на каналите след съответна процесорна обработка и свиване на приетите импулси в съответни компресионни филтри (фиг.5).



**Фиг. 5.** Структурна схема на РЛС със сложни сондиращи импулси с фракталоподобна вътрешноимпулсна модулация

#### 4. Заключение

Направения анализ на най характерните свойства на новия клас сигнали – хаотичните и фракталоподобни сигнали дава възможност да се направят следните изводи:

- 1) Хаотичните и фракталоподобните сигнали се явяват нов тип сложни сигнали, които съчетават в себе си едновременно свойствата свръхширококоленост, свръхвисококачественост, квазинепрекъснатост на спектъра и пр. Това осигурява съответни качества на тези сигнали – висока защитеност срещу смущения, скритност, висока информативност и пр.
- 2) Посочените примерни структурни схеми на радиосвързочни и радиолокационни системи показва принципната възможност за реализация на системите с използване на хаотични и фракталоподобни сигнали. Тези системи биха могли да намерят приложение там, където техните най-съществени качества – висока защитеност на информацията, многоканалност и пр. са от най-голямо значение.

#### Литература:

1. Д м и т р и е в А.С., А.В. К л е ц о в, А.М. Л а к т ю ш к и н, А.И. П а н а с, С.О. С т а р к о в. Сверхширокополосная беспроводная связь на основе динамического хаоса, Радиотехника и электроника, 2006, том 51, №10, с.1193-1209.
2. Ш у с т е р Г. Детерминированный хаос, пер. с англ. под ред. А.П. Гапонова - Грехова, Москва, "Мир", 1988, 226 с.

3. П о т а п о в А.А. Фракталы в радиофизике и радиолокации: Топология выборки. Изд. 2-е, перераб. И доп. - Москва, "Университетская книга", 2005. – 848 с.
4. А с т а н и н Ю., А.А. К о с т ы л е в. Основы сверхширокополосных радиолокационных измерений, Москва, "Радио и связь", 1989, 190 с.
5. Х а р м у т Х.Ф. Несинусоидальные волны в радиолокации и радиосвязи, пер. с англ. Г.С. Колмогорова, В.Г. Лабунца, под ред. А.П. Мальцева, Москва, "Радио и связь", 1985, 375 с.
6. Д м и т р и е в А.С., Б.Е. К я р г и н с к и й, Н.А. М а к с и м о в и др. //Радиотехника, 2000, №3, с. 9.
7. Ф и н к е л ь ш т е й н М.И. Основы радиолокации, Москва, "Сов. Радио", 1973, 480 с.