

СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА МЕТОДИТЕ НА ХАОТИЧНА СИНХРОНИЗАЦИЯ В РАДИОКОМУНИКАЦИОННИ СИСТЕМИ С ДИНАМИЧЕН ХАОС

Елена Димкина
elena.dimkina@abv.bg

ВТУ "Тодор Каблешков"
София, 1574, ул. "Гео Милев" 158,
БЪЛГАРИЯ

Ключови думи: хаотични сигнали, хаотична синхронизация, защита на информацията

Резюме: В настоящата работа е направен сравнителен анализ на различните видове хаотична синхронизация по отношение на защита на предаваната информация и са направени изводи относно техните предимствата и недостатъци.

1. Увод

Феноменът „хаотична синхронизация” е фундаментално нелинейно явление, което намира широко приложение в различни области – физика, химия, биомедицина [1,2,3].

В литературата са известни няколко определения за хаотичната синхронизация. Едно от тях [5] се отнася за установяване на периодичен режим в автоколебателни системи под влияние на външно хармонично въздействие. Това е принудителна синхронизация.

Друг аспект е синхронизацията между взаимодействащи си хаотични системи. За първи път в [1] са разгледани две системи, които приспособяват динамиката си една към друга посредством подходящо подбрана връзка между тях. Едната система е „управляваща” (водеща), а другата е „подчинена” (водена) [1,2]. Подчинената система може да се разглежда като система – наблюдател, която повтаря състоянието на управляващата система. Тогава целта на синхронизацията е подчиняване динамиката на подчинената система към тази на управляващата. Този аспект на хаотичната синхронизация се използва в радиокомуникационните системи с динамичен хаос и се свързва главно със защита на предаваната информация.

Терминът хаотична синхронизация определя няколко различни метода за синхронизиране на хаотичните сигнали: честотна, фазова, синхронизация със закъснение (lag-синхронизация), обобщена, пълна синхронизация. Всеки от изброените методи има своите предимства и недостатъци, поради които изискванията за конфиденциалност на предаваната информация се изпълняват в определена степен.

В настоящата работа е направен сравнителен анализ на различните видове хаотична синхронизация по отношение на защита на предаваната информация и са направени изводи относно предимствата на обобщената синхронизация.

2. Методи на хаотична синхронизация

При изграждане на комуникационни системи с динамичен хаос управляващата хаотична система се разполага в предавателя, а подчинената - в приемника, фиг.1. Процесът на наслагване на информационното колебание върху хаотичното може да се осъществи чрез различни методи.

Методът на пълната синхронизация [3] означава пълно съвпадение на векторите на състоянието на двете системи:

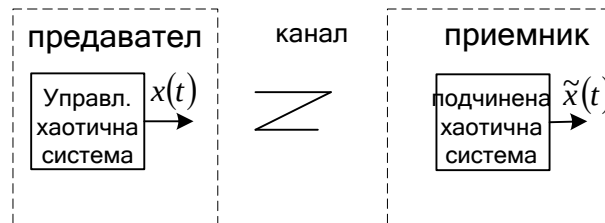
$$(1) \quad x^{(1)}(\mathbf{x}, t) = x^{(2)}(\tilde{\mathbf{x}}, t),$$

където $\tilde{\mathbf{x}}, \mathbf{x} \in R^n$ са съответно векторите на състоянието на двете системи, t - време.

Двете хаотични системи са идентично синхронизирани, ако се изпълнява условието:

$$(2) \quad \lim_{t \rightarrow \infty} [x(t) - \tilde{x}(t)] = 0.$$

Тогава във всеки момент от времето процесите $x^{(1)}$ и $x^{(2)}$ ще преминават през една и съща точка на хаотичния атрактор.



Фиг.1

Това е в случай на пълна идентичност на управляващите параметри. Ако управляващите параметри малко се различават, е възможно да възникне режим на синхронизация със закъснение. Тогава векторите на състоянието на двете хаотични системи се изравняват след определен период от време τ , т.е.

$$(3) \quad x^{(1)}(\mathbf{x}, t) = x^{(2)}(\tilde{\mathbf{x}}, t + \tau).$$

След известно време се стреми към нула и режима на синхронизация със закъснение преминава към пълна синхронизация.

За определяне на пълна синхронизация е достатъчно да направим сравнение между векторите на състоянията на взаимодействащите системи $x(t)$ и $\tilde{x}(t)$. Количествен показател е грешка при синхронизация:

$$(4) \quad \langle e \rangle = \int_0^{\infty} \|x(t) - \tilde{x}(t)\| dt.$$

Фазовата синхронизация е свързана с изравняване („захващане“) на фазите на хаотичните сигнали, докато амплитудите им остават несвързани. Тя се установява чрез анализ на разликата в моментните фази на синхронизираниите сигнали $\theta_1(t)$ и $\theta_2(t)$, която трябва да е ограничена по време, т.е.

$$(4) \quad |\theta_1(t) - \theta_2(t)| \leq const.$$

Естествено развитие на пълната синхронизация се явява обобщената синхронизация, при която между сигналите, генерирани от двете системи, съществува детерминирана функционална зависимост F , при която е изпълнено:

$$(5) \ x^{(2)}(\tilde{x}, t) = F[x^{(1)}(x, t)].$$

В този случай проблемът за синхронизация между две системи, генериращи хаотични сигнали $x_1(t)$ и $x_2(t)$, може да се постави във вида: да се намери функционална зависимост F , при която за $t \rightarrow \infty$ е изпълнено:

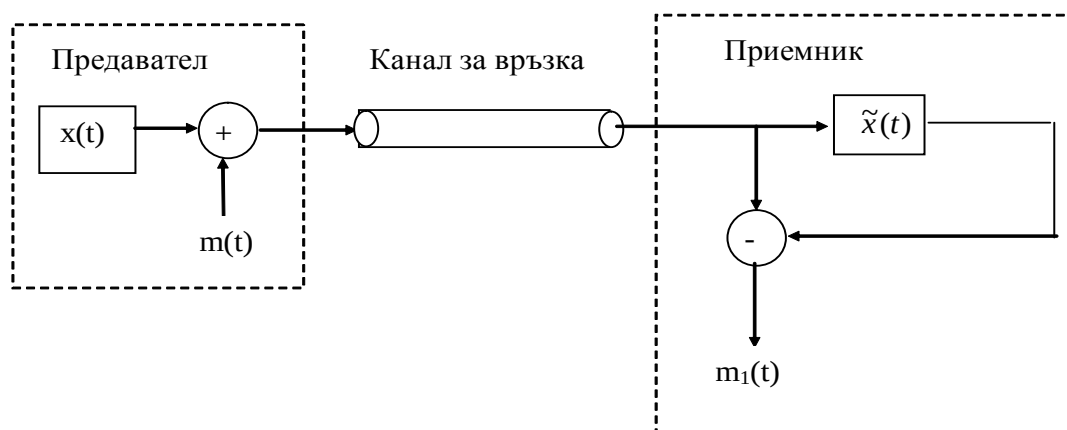
$$(6) \ x^{(2)}(\tilde{x}, t) \rightarrow x^{(1)}(x, t).$$

Частен случай на обобщената синхронизация е противофазната синхронизация [6], която може да се опише с уравнението:

$$(7) \ x^{(1)}(x, t) = -x^{(2)}(\tilde{x}, t).$$

3. Приложение на методите на хаотична синхронизация в комуникационни схеми с динамичен хаос

Един от най-простите принципи за изграждане на комуникационни схеми с динамичен хаос, който се базира на пълната синхронизация, е известен като хаотична маскировка [4], (фиг.2). В предавателя информационният сигнал $m(t)$ се сумира със сигнала $x(t)$, генериран от управляващата хаотична система и се предава по канала за връзка. В приемника подчинената система генерира хаотичен сигнал $\tilde{x}(t)$. Вследствие на пълна синхронизация между двете системи, т.е. съвпадане на динамиката на $x(t)$ и $\tilde{x}(t)$, се извлича информационния сигнал $m_1(t)$ като разлика между приетия сигнал и синхронизирания отклик на генератора на хаос в приемника.



Фиг.2

Тази схема работи достатъчно ефективно при отсъствие на шум в канала за връзка и в случаите когато сигнала, генериран в предавателната система превишава мощността на информационния сигнал. Въвеждането на шум в канала за връзка рязко намалява качеството на предаваната информация. Следователно, схемата е работоспособна само при високо отношение сигнал/шум, което е недостатък. Освен това, дори между идентични хаотични системи, възникват смущения от десинхронизация, които допълнително влошават качеството на предаване. Не на последно място съществува и възможност за детектиране на информационния сигнал от трета страна, което намалява конфиденциалността на предаваната информация.

Методът на обобщената синхронизация [2] може да се реализира чрез въвеждане на спомагателна система $v(t)$, идентична на водената система $u(t)$ (фиг.3).

Началните условия на спомагателната система $v(t_0)$ се избират различни от началните условия на водената система $u(t_0)$. При отсъствие на режим на обобщена

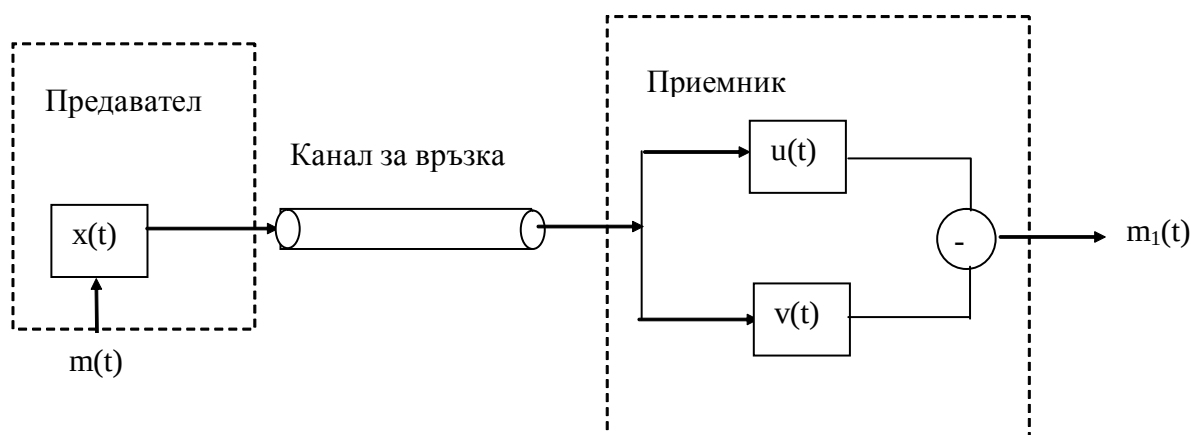
синхронизация векторните състояния на водената $u(t)$ и спомагателната система $v(t)$ принадлежат на един и същ атрактор. В случай на режим на обобщена синхронизация, след завършване на преходния процес, състоянията на водената и спомагателната система стават идентични, т.е. $u(t) = v(t)$. Тъй като е в сила е съотношението

$$(8) u(t) = F[x(t)],$$

където $x(t)$ е хаотичният сигнал, генериран от управляващата система следва че

$$(9) v(t) = F[x(t)].$$

В този случай, еквивалентните състояния на водената и спомагателната система след преходния процес, се явяват критерий за наличие на обобщена синхронизация между водещия и водения генератор.



Фиг.3

В схемата от фиг.3 информационният сигнал $m(t)$ се кодира във вид на бинарен код. Управляващия параметър на $x(t)$ се модулира с бинарния код като модулацията се осъществява така, че в зависимост от предадения бинарен бит 0(1) съществува (отсъства) обобщена синхронизация. Например, обобщена синхронизация ще се наблюдава в случай на предаване на бинарния код "0" и обратно ще се предава 1, при отсъствие на обобщена синхронизация.

Предимство на разглежданата схема е, че не е необходимо генераторите в различните страни на канала за връзка да бъдат еднакви. Това опростява техническата реализация на схемата.

Друго съществено предимство е, че сигналите, генерирани в приемника винаги ще бъдат еднакви, даже при наличие на смущения в канала за връзка. Следователно шумът не оказва съществено влияние на прага на възникване на обобщената синхронизация. Тази особеност ни дава основание да смятаме, че комуникационна схема, реализирана чрез метода на обобщена синхронизация, се характеризира с по-висока устойчивост срещу смущения.

Фазовата синхронизация е реализуема за хаотични системи със сравнително проста структура на атрактора [7]. Пример за комуникационна схема, реализирана чрез фазова синхронизация, е разгледан в [8], където хаотичните генератори в предавателя и приемника са вериги за фазова автоматична донастройка на честотата. Там съществуват допълнителни затруднения при техническата реализация, но съществено предимство е по-добрата устойчивост срещу смущения

4. Изводи

В настоящата работа е направен обзор на видовете хаотична синхронизация, използвани в системите за предаване на информация с динамичен хаос. Въз основа на

направеното сравнение по отношение на реализация и устойчивост срещу смущения, може да се направят следните изводи.

Изпълнението на комуникационни схеми с пълна синхронизация изисква висока степен на идентичност на генераторите в предавателя и приемника. Но дори и еднакви, тези хаотични системи реално не могат да стартират от едни и същи начални условия, а следователно и колебанията им трудно могат да бъдат напълно идентични. Това води до влошаване на качеството на предаване и по-ниска шумоустойчивост на системата.

По-висока устойчивост срещу смущения се наблюдава при схемите с фазова синхронизация, причина за което е, че управляващият параметър (фазата) не е енергиен.

Най-удобен за приложение в радиокомуникационните системи с динамичен хаос е методът на обобщената синхронизация. Неговите предимства могат да се обобщят в следното:

1. Функционалната зависимост между състоянията на синхронизираните хаотични системи може да бъде достатъчно сложна, което увеличава степента на защита на предаваната информация.

2. Обобщената синхронизация е технически по-лесна за реализация.

3. Възникването на обобщена синхронизация е възможно и при много малко изменение на управляващия параметър на хаотичната система.

4. Смущенията в канала за връзка влияят слабо върху обобщената синхронизация.

5. Обобщената синхронизация е осъществима и между различни взаимодействащи си динамични системи.

5. Източници

1. Pecora L M and Carroll T L. Synchronization in chaotic systems, Phys. Rev. Lett., 64, p. 821-823; 1990

2. Pecora, L. M. & Carroll, T. L. Driving systems with chaotic signals," Phys. Rev. Lett., A44, 2374-2383. 1991

3. Rosenblum, M. G., Pikovsky, A. S. & Kurths, J. Phase synchronization in driven and coupled chaotic oscillators, IEEE Trans. Circuits Syst.-I 44, 874-881. 1997

4. Kolumban G., M.P. Kennedy, L.O. Chua., The role of synchronisation in digital communications using chaos - part II : Chaotic modulation and chaotic synchronisation, IEEE Transactions on Circuits and Systems - I : fundamental theory and applications, Vol. 45, No. 11, 1998

5. Blekhman I .Synchronization in Science and Technology. New York: ASME Press, 1988

6. Астахов В.В., А.В. Шабунин, Противофазная синхронизация и формирование мультистабильности в симметрично связанных бистабильных системах. Известия вузов. прикладная нелинейная динамика, 2006, т.14.

7. Чернева Г. Формиране на хаотични процеси в системи за фазова автоматична донастройка на честотата. Механика Транспорт Комуникации. Бр.3.2011, стр.VIII-8-VIII-12

8. Чернева Г. Приложение на схема за фазова автоматична донастройка на честотата в системи за предаване на информация с хаотични сигнали. Годишник на Технически университет-София, т.62, кн.1, 2012, стр.247-252.