

01; 12

© 1991

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЛИ ШУМА В СИГНАЛЕ

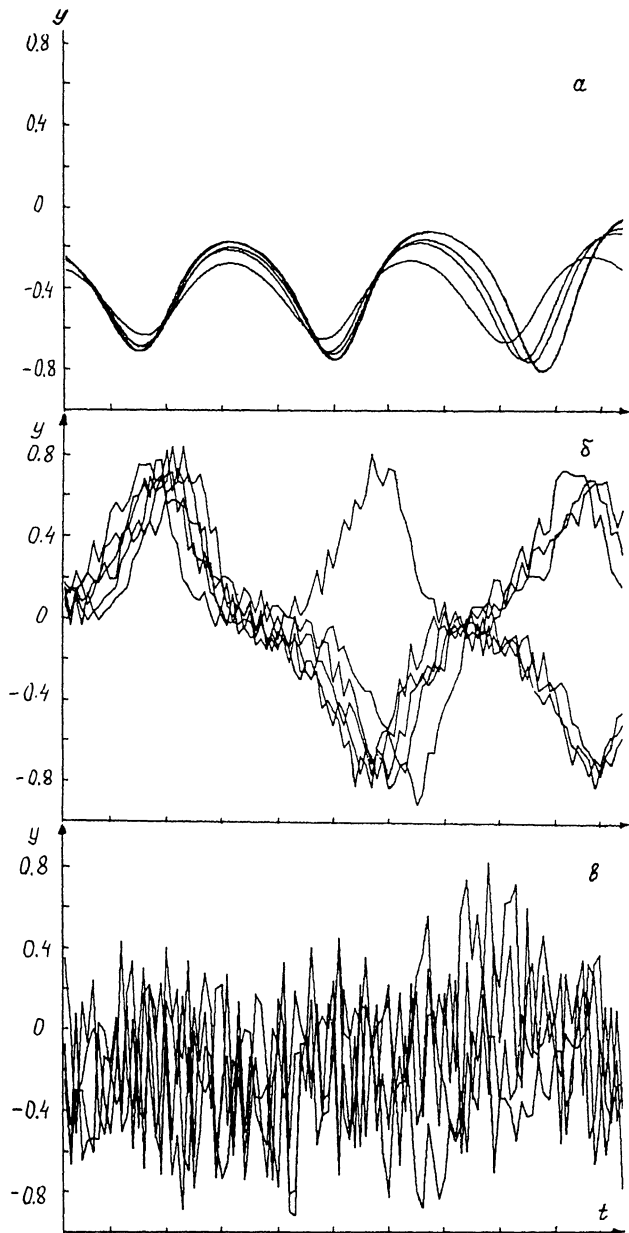
А.В. Тимашов, Н.Г. Тимашова

В физических системах могут возникать колебания трех типов: регулярные (т.е. периодические), детерминированно-нерегулярные (хаотические) и недетерминированно-нерегулярные (шумовые). Поскольку никакие из них не встречаются в эксперименте в чистом виде, то проблема различения и определения доли колебаний определенного типа представляет несомненный интерес.

Задача различения регулярных и нерегулярных колебаний решена для многих практически важных случаев. Однако задача различения шумовых и хаотических колебаний до сих пор представляет значительные трудности. В последние годы опубликовано множество работ в этом направлении (обзор их имеется в монографии [1]). При определении уровня шума в сигнале используются такие его количественные характеристики, как фрактальная размерность зашумленного аттрактора [2], собственные числа ковариационной матрицы [3-5], максимальный показатель Ляпунова [6] и т.д.

В настоящей работе предлагается синхронизировать сигнал с учетом количества степеней свободы его хаотической компоненты (предполагается, что спектр хаотической компоненты существенно уже спектра шума). Преимущества данного метода заключаются в том, что, во-первых, он работает при достаточно высоком содержании шума в сигнале (до 90%), во-вторых, прост в экспериментальной реализации.

Перейдем к краткому изложению предлагаемого метода. Пусть хаотическая компонента $x(t)$ зашумленного сигнала $y(t) = x(t) + z(t)$, где $z(t)$ - шум, имеет m степеней свободы, т.е. задание m ее характеристик в начальный момент времени полностью определяет ее поведение. Зафиксируем значения c_1, \dots, c_m m характеристик сигнала (отметим, что в численном эксперименте в качестве характеристики $c_i(t')$ сигнала в момент времени t' удобно брать сетку значений $y: c_i(t') = y(t' + (i-1) \cdot dt)$, $i=1, \dots, m$ с некоторым $dt > 0$; в физическом - фиксировать значения y и $(m-1)$ ее производных: $c_i(t') = y^{(i-1)}(t')$, $i=1, \dots, m$) и развернем (на экране осциллографа или на бумаге) пучок траекторий, каждая из которых начинается в такой момент времени t_s , что ее характеристики $c_i(t_s)$ отличаются от фиксированных характеристик c_i не более чем на $\varepsilon: |c_i - c_i(t_s)| \leq \varepsilon$, где ε - варьируемый радиус окна синхронизации. При уменьшении ε пучок траекторий упорядочивается, и при достаточно малом ε в начале пучка отчетливо



Синхронизация смешанного сигнала: 1 - шума нет; б - амплитуда шума 0.1; в - амплитуда шума 0.5.

видна полоса, высота которой и равна уровню шума. Отметим, что длина этой полосы составляет примерно $0.1/L_x$, где L_x — максимальный показатель Ляпунова хаотической части сигнала, и именно разница в значениях максимальных показателей Ляпунова хаотической (L_x) и шумовой (L_z) частей сигнала: $L_x \ll L_z$ — позволяет получить такую полосу, на которой имеет место разбегание траекторий под влиянием шумовой компоненты сигнала, но нет разбегания траекторий, обусловленного хаотической компонентой.

В целях иллюстрации предложенного способа был проведен численный эксперимент. В качестве хаотического сигнала мы взяли решение системы уравнений Лоренца (см., например, [1]), для получения шумового воспользовались стандартным генератором шума библиотеки [NAG]. Результаты синхронизации смеси хаотического сигнала с шумовым приведены на рисунке.

Экспериментальная проверка также подтвердила полученные выводы. Для ее проведения хаотический сигнал генератора, описанного в [7], суммировался с сигналом генератора шума и подавался на осциллограф. Синхронизация проводилась при $m=3$. При этом было получено согласие с теоретическими результатами с точностью 10 %.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Неймарк Ю.И., Ланда П.С. Стохастические и хаотические колебания. М.: Наука, 1987. 424 с.
- [2] Ben-Mizrachi A., Procaccia I., Grassberger P. // Phys. Rev. A. 1984. V. 29. N 2. P. 975-977.
- [3] Broomehead D.S., King G.P. // Physica D. 1986. V. 20. P. 217-236.
- [4] Ланда П.С., Розенблюм М.Г. // ЖТФ. 1989. Т. 59. № 1. С. 13-20.
- [5] Hediger T., Passamante A., Farrell M.E. // Phys. Rev. A. 1990. V. 41. N 10. P. 5325-5332.
- [6] Ильин А.В., Тимашова Н.Г. // ЖВМ и МФ. 1991. Т. 31. № 4. С. 625-629.
- [7] Мацумото Т. // ТИИЭР. 1987. Т. 75. № 8. С. 66-87.

Научно-исследовательский центр
по технологическим лазерам
АН СССР, Шатура

Поступило в Редакцию
12 августа 1991 г.