

ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ НА ОСНОВЕ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ ХАОТИЧЕСКИХ РАДИОИМПУЛЬСОВ

Ю. А. Дмитриев¹, А. В. Клецов², А. И. Панас²

¹ Московский физико-технический институт (Государственный университет)
141700, Московская обл., г. Долгопрудный, Институтский пер., д. 9

² Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН
125009, г. Москва, ул. Моховая, д. 11, корп. 7
e-mail: Yuri.Dmitriev@bk.ru, chaos@cplire.ru.

Аннотация — Рассматривается задача позиционирования с помощью сверхширокополосных хаотических радиоимпульсов. Предлагается и исследуется метод определения разности времен прихода сигнала на основе кросскорреляционной функции огибающей хаотических радиоимпульсов. Показывается, что такой подход обеспечивает точность оценки разности времен прихода, пропорциональную полосе частот огибающей радиоимпульса. Устойчивость метода по отношению к шумам растет с увеличением длительности хаотического радиоимпульса.

I. Введение

Задача определения расстояния с помощью радиосигналов приобрела в последнее время большое значение ввиду развития сетей локальной и персональной радиосвязи. По классическим представлениям точность определения расстояния между приемником и передатчиком или между приемопередатчиком и целью, в случае использования радиолокационного принципа, при прочих равных условиях, обратно-пропорциональна полосе частот. Однако при конкретной реализации той или иной схемы измерения расстояния нужно разработать конкретные приемы и методы реализации этих потенциальных возможностей.

В докладе рассматривается измерение расстояния между приемником и передатчиком, использующими в качестве носителя информации сверхширокополосные хаотические радиоимпульсы [1, 2]. В отличие от [3, 4] ниже для определения расстояния используется разность между временами распространения сигнала от одного передатчика до пары разнесенных в пространстве приемников (Differential Time of Arrival - DToA), а определение времени прихода хаотического радиоимпульса осуществляется на основе анализа кросскорреляционной функции огибающей приходящего хаотического радиоимпульса в разных приемниках. Показывается, что такой подход дает возможность в полной мере использовать как полосу частот импульса огибающей, так и базу исходного сигнала.

II. Определение разности времен прихода

На рис. 1 представлена схема обработки сигнала в приемном устройстве.

В каждом из приемников поступающий хаотический радиоимпульс, искаженный шумами в канале сначала усиливается, затем поступает на квадратичный детектор, проходит через фильтр нижних частот (ФНЧ) и оцифровывается с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Полученный на выходе АЦП сигнал сравнивается с выходным сигналом одного из других приемников.

Считается, что все приемники синхронизованы во времени. Нахождение разности времен прихода сигнала в двух приемниках осуществляется путем расчета кросскорреляционной функции двух выходных

сигналов и определения момента времени, когда в кросскорреляционной функции наблюдается максимальное значение (кросскорреляционный максимум).

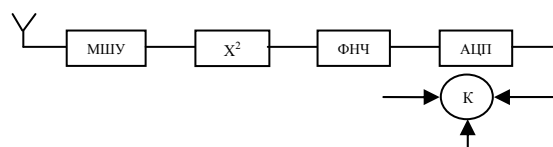


Рис. 1. Схема обработки сигнала в приемном устройстве: МШУ – малошумящий усилитель, X^2 – квадратичный детектор, ФНЧ – фильтр нижних частот, К – компьютер, АЦП – аналого-цифровой преобразователь.

Fig. 1. The signal processing diagram in the receiver: МШУ- low noise amplifier, X^2 - square-law detector, ФНЧ- low-pass filter, АЦП - analog-digital converter, К - computer

При рассматриваемом подходе определяющими параметрами являются длина хаотического радиоимпульса ΔT и полоса ФНЧ Δf . Эти параметры определяют базу сигнала на выходе приемника и задают точность определения момента прихода сигнала. Например, если полоса сигнала на выходе ФНЧ практически совпадает с полосой исходного хаотического радиоимпульса, то предельная точность измерения времени прихода примерно соответствует величине обратно пропорциональной $\Delta t = \frac{1}{\Delta F}$, где

ΔF – полоса хаотического сигнала. Если же полоса ФНЧ согласована с длиной принимаемого хаотического радиоимпульса и с длиной импульса огибающей на выходе приемника, то точность определения местоположения будет равна примерно половине длины хаотического радиоимпульса. Таким образом, можно ожидать, что точность измерения разности времен прихода будет меняться в широких пределах в зависимости от полосы ФНЧ приемника.

Чем шире полоса частот, тем более частыми должны быть отсчеты, получаемые на выходе АЦП. Если использовать всю полосу хаотического радиоимпульса, т.е. например 2 ГГц, отсчеты должны следовать через 0,25 нс. С другой стороны, когда полоса ФНЧ согласуется с длиной хаотического радиоимпульса, то частота отсчетов будет меньше. Так, например, при длине импульса 100 нс временные отсчеты могут следовать через интервалы времени ~50 нс. (20 МГц).

Первый случай труден для реализации, но обеспечил бы точность определения дальности ~ 7,5 см. Второй случай с технической точки зрения проще, но в нем точность ~15 м. Поэтому нужен разумный компромисс между двумя этими случаями.

Отметим также, что в рассматриваемой схеме при фиксированной полосе ФНЧ база (коэффициент про-

цессинга) сигнала – выходного импульса огибающей будет пропорциональна длине хаотического радиоимпульса. Поэтому с увеличением его длительности повышается помехоустойчивость системы определения дальности и тем самым эффективно используется вся энергия хаотического радиоимпульса.

III. Моделирование

Оценка разности времен прихода сигнала в два сверхширокополосных приемника производилось в среде моделирования Matlab.

В процессе моделирования хаотический радиоимпульс представлялся в виде последовательности отсчетов, расстояние между которыми в соответствии с теоремой Котельникова составляло

$$\frac{1}{2\Delta F},$$

где ΔF - полоса хаотического сигнала. В этом случае отсчеты можно считать независимыми. При той же полосе шумового сигнала, добавляемого к хаотическому сигналу, независимыми будут отсчеты шумового сигнала.

На рис. 2 представлены результаты моделирования поведения кросскорреляционной функции для скользящего среднего по трем точкам.

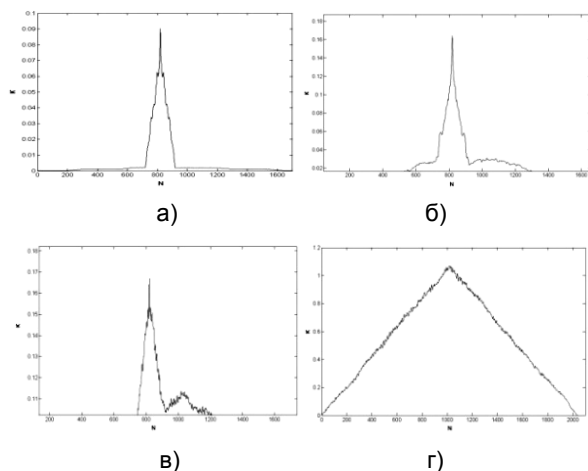


Рис. 2. Кросскорреляционная функция для усреднения по 3 точкам для разных уровней шума (D), K – кросскорреляционный коэффициент, N – количество отсчетов, $t=7,5 \cdot N$ нс., $D=0,1$ (а), $D=0,3$ (б), $D=0,5$ (в), $D=1$ (г).

Fig. 2. Crosscorrelation function for averaging 3 points for different levels of noise (D),

K - Crosscorrelation factor, N – counting-out number

Эта процедура эквивалентна процедуре пропускания сигнала через ФНЧ, с отличающейся в 3 раза частотой среза. Усреднение уменьшает базу сигнала в ~ 3 раза. Расчеты показывают, что точность в первом случае составляет ~ 3 отсчета без шума; ~ 4 отсчета при уровне дисперсии шума 0,1; 10 - для 0,3 и 25 для 0,5. При дисперсии шума $\sim 1,0$ корреляционный пик отсутствует. Качественно такая же картина наблюдается и при скользящем среднем по 9 точкам. Однако корреляционные пики в этом случае шире: 20-30 без шума; 40-50 при дисперсии шума 0,1; ~ 100 при дисперсии шума 0,3 – 0,5. В этом случае корреляционный пик практически отсутствует при дисперсии шума $\sim 1,0$.

IV. Заключение

Результаты, полученные при моделировании, подтверждают возможность определения разности времен прихода сигнала по оценке положения кросскорреляционного пика. При этом точность измерения определяется полосой ФНЧ, а устойчивость процедуры к шумам увеличивается с длиной используемых хаотических радиоимпульсов пропорционально росту их базы.

V. Список литературы

- [1] А. С. Дмитриев, Б. Е. Кяргинский, А. И. Панас, С. О. Старков, РЭ, 2001, Т. 46, № 2, 224-233.
- [2] Дмитриев А. С., Ефремова Е. В., Клецов А. В., и др., РЭ, 2008, т. 53, №10, с. 1278-1289.
- [3] Дмитриев А. А., РЭ, 2005, т. 50, №1, с. 54-61.
- [4] Клецов А. В. "Дистанционное управление, позиционирование объектов и беспроводные сенсорные сети на основе хаотических радиоимпульсов". Диссертация, к.ф.-м.н., 2009 г.

POSITIONING USING ULTRA-WIDEBAND CHAOTIC RADIO PULSES

Dmitriev Yu. A.¹, Kletsov A. V.², Panas A. I.²
¹ Moscow Institute of Physics and Technology
 (State University)

9, Institutskiy Lane., Dolgoprudny, 141700
 Moscow Region., Russia

² Institute of Radio-engineering and Electronics
 by the Russia Academy of Science

11, Bldg. 7, Mokhovaya Str., Moscow, 125009, Russia
 e-mail: Yuri.Dmitriev@bk.ru, chaos@cplire.ru.

Abstract — The problem of positioning using UWB chaotic radio pulses is considered. Differential time of arrival method based on cross-correlation function of chaotic radio pulse envelope signals is proposed and investigated. It is shown that the proposed approach provides accurate estimation of time difference of arrival, proportional to the envelope signal frequency bandwidth. Immunity of the proposed method to noise increases with the duration of chaotic radio pulse.

I. Introduction

In this report, time of arrival of chaotic radio pulse is estimated on the basis of the cross-correlation function analysis of an incoming chaotic radio pulse envelope obtained in different receivers. As it is shown, this approach allows using fully the bandwidth of the pulse envelope as well as of the initial signal.

II. Main Part

In Fig. 1 the signal processing scheme of the receiver is presented. In this scheme in the case of a fixed value of LPF bandwidth the output pulse signal base is proportional to the duration of chaotic radio pulse. So, with an increase of the duration of the original chaotic pulse the stability of the positioning system increases, thus the whole energy of the received chaotic radio pulse is effectively used.

Differential time of arrival in two different receivers was estimated with MatLab software.

In Fig 2 simulated behavior of a cross-correlation function (sliding average over three points) is given.

Simulation results confirm possibility of determining time difference of signal arrival by estimation of correlation peak position. Positioning accuracy is determined by the bandwidth of LPF, and the procedure immunity to noise is increased with the duration of the used chaotic radio pulses in proportion to their base.