

УДК 621.396.98

# Анализ влияния априорной неопределённости частоты и задержки на характеристики поиска

© Авторы, 2014

© ЗАО «Издательство «Радиотехника», 2014

**И.В. Липа** – аспирант, Радиотехнический факультет, Национальный исследовательский университет «МЭИ»

**Е.Н. Болденков** – к.т.н., доцент каф. радиотехнических систем, Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Рассмотрено влияние размера зоны неопределённости на характеристики блока поиска навигационного радиосигнала, поскольку в задачах восстановления слежения априорная информация сужает зону поиска сигнала.

**Ключевые слова:** радионавигация, поиск сигналов.

In situation of signal reacquisition a lot of a-priory information about signal parameters is available. The article is focused on the signal acquisition performance analysis with respect to this a-priory information.

**Keywords:** radionavigation, signal acquisition.

## Введение

Важной характеристикой аппаратуры потребителей (АП) спутниковых радионавигационных систем (СРНС) является чувствительность поиска. В существующей АП СРНС возможно слежение за сигналом вплоть до уровня отношения мощности сигнала к спектральной плотности шума 10 дБГц, тогда как поиск сигнала в полном диапазоне частоты и задержки ограничен снизу величиной 25 дБГц. Таким образом, в случае потери слежения в диапазоне 10–25 дБГц повторный захват с использованием полного поиска невозможен. В реальной АП СРНС для увеличения чувствительности учитывается ограниченность диапазона неопределённости частоты и задержки при потере слежения на небольшой промежуток времени. В работе анализируется влияние априорной неопределённости частоты и задержки на чувствительность режима поиска навигационного сигнала.

**Ц е л ь р а б о т ы** – исследование зависимости чувствительности поиска сигнала от учета априорной информации о распределении случайных параметров сигнала.

## Постановка задачи

Имеется наблюдение вида

$$y = \theta \cdot A \cdot G_{\text{ДК}}(t - \tau) \cdot G_{\text{НС}}(t - \tau) \cdot \cos(\omega t + \omega_{\text{доп}} t + \varphi) + n(t), \quad (1)$$

где  $n(t)$  – белый гауссовский шум;  $A$  – амплитуда сигнала;  $\theta$  – параметр, определяющий наличие или отсутствие сигнала,  $\theta \in \{0, 1\}$ ;  $\tau, \omega_{\text{доп}}, \varphi$  – задержка, доплеровское смещение частоты и фаза сигнала;  $G_{\text{ДК}}(t)$  – дальномерный код;  $G_{\text{НС}}(t)$  – навигационное сообщение.

Положим, что на интервале наблюдения  $t \in [0, T]$  навигационное сообщение не меняется, тогда  $y = \theta \cdot A \cdot G_{\text{ДК}}(t - \tau) \cdot \cos(\omega t + \omega_{\text{доп}} t + \varphi) + n(t)$ . Амплитуду будем считать известной, задержку и смещение частоты случайными информативными параметрами, а фазу – случайным неинформативным параметром, распределенным равномерно в диапазоне  $[0; 2\pi]$ .

Обычно в задаче полного поиска задержку и частоту полагают равномерно распределенными во всем возможном интервале неопределенности параметров. Ситуацию, когда известно априорное распределение частоты и задержки, существенно сужающее диапазон неопределённости, далее будем именовать допоиском сигнала.

## Полный поиск

Задачей поиска является определение  $\theta, \omega_{\text{доп}}, \tau$ , а определение одного лишь параметра  $\theta$  называется обнаружением.

Из теории оптимального приема сигналов следует, что для решения о наличии сигнала в принимаемой реализации следует сравнить апостериорную плотность вероятности (АПВ) с порогом. По формуле Байеса АПВ параметра  $\lambda$  может быть представлена в виде:

$$p_{\text{апст}}(\lambda | Y_0^T) = k p_{\text{апр}}(\lambda) p(Y_0^T | \lambda), \quad (2)$$

где  $p_{\text{дет}}(\lambda | Y_0^T)$  – АПВ после наблюдений сигнала на интервале времени  $t \in [0, T]$ ,  $p_{\text{ап}}(\lambda)$  – априорная плотность вероятности параметра  $\lambda$ ,  $p(Y_0^T | \lambda)$  – функция правдоподобия,  $k$  – нормировочный коэффициент.

Если априорная информация о параметрах сигнала отсутствует и плотность вероятности параметров полагается равномерной, алгоритм обнаружения сводится к методу максимального правдоподобия.

Доказано [1], что для наблюдения вида (1) функция правдоподобия, усредненная по неизвестной начальной фазе, может быть представлена в виде:

$$p(\omega_{\text{доп}}, \tau | Y_0^T) = \exp\left(-\frac{E}{N_0}\right) I_0\left(\frac{2A}{N_0} X(T)\right),$$

где  $X(T)$  –гибающая сигнала, вычисляемая в соответствии с выражениями:

$$X = \sqrt{X_C^2 + X_S^2}, \quad X_C = \int_0^T y(t) A G_{\text{ДК}}(t - \tau) \cos(\omega t + \omega_{\text{дт}} + \varphi) dt, \quad X_S = \int_0^T y(t) A G_{\text{ДК}}(t - \tau) \sin(\omega t + \omega_{\text{дт}} + \varphi) dt$$

В силу монотонности функции правдоподобия можно взять логарифм и сравнивать с порогом  $h$  значениегибающей  $X \gg h$ .

Для определения частоты и задержки данные параметры сигнала необходимо разбить на поле из фиксированных значений. Для каждой пары вычисляется функция правдоподобия и те значения частоты и задержки, при которых функция максимальна, принимаются за истинные.

Чем больше поле поиска, тем больше вероятность ложной тревоги при неизменном пороге. Согласно применяемому в большинстве случаев критерию Неймана–Пирсона, вероятность ложной тревоги фиксируется, а вероятность верного обнаружения максимизируется. Задачу поиска по частоте и задержке можно интерпретировать как решение задачи обнаружения во множестве ячеек поля поиска. Ложная тревога в одной из ячеек рассматривается как ложная тревога во всей процедуре поиска в целом. Учитывая то, что опорные сигналы в разных ячейках близки к ортогональным, результаты сравнения в разных ячейках можно рассматривать как независимые. В этом случае вероятность ложной тревоги во всей процедуре поиска  $P_F$  можно связать с вероятностью ложной тревоги в отдельной ячейке  $P_{F0}$  с помощью формулы Бернулли:

$$P_F = 1 - (1 - P_{F0})^{(1/N)}. \tag{3}$$

где  $N$  – количество комбинаций частота-задержка.

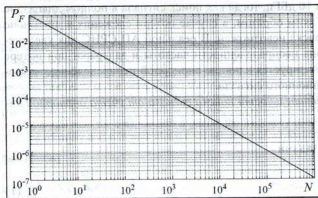


Рис. 1

На рис. 1 приведена зависимость вероятности ложной тревоги в одной ячейке от числа комбинаций частота-задержка.

С увеличением неопределенности параметров сигнала растет поле поиска и в соответствии с (3) уменьшается вероятность  $P_{F0}$ , что требует увеличения порога. На выходе коррелятора увеличение порога приводит к уменьшению вероятности верного обнаружения.

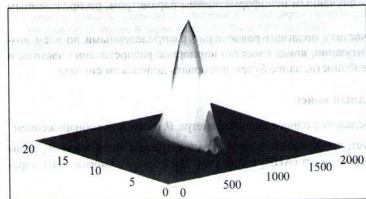


Рис. 2

Таким образом, увеличение зоны неопределенности по частоте и задержке приводит к ухудшению статистических характеристик поиска.

### Допоиск

В ряде задач, таких как восстановление сигнала после его кратковременной потери, имеется априорная информация о частоте и задержке сигнала, позволяющая существенно сузить зону допояска и улучшить его вероятностные характеристики.

В режиме допояска строится двумерная АПВ частоты и задержки. В момент потери слежения плотность вероятности имеет вид одиночного пика в той ячейке, которой соответствовали параметры сигнала (рис. 2).

С течением времени неопределенность нарастает и пик расширяется, в пределе принимая вид равномерной плотности вероятности, что соответствует режиму полного поиска.

Учитывая то, что плотности вероятности положительны и монотонны, можно взять логарифм от выражения (2):

$$\log(p(\omega_{\text{доп}}, \tau | Y_0^T)) = X(T) + \log(p_{\text{апр}}(\omega_{\text{доп}}, \tau)).$$

Таким образом, к полученной корреляционной функции необходимо прибавить логарифм априорной плотности вероятности и сравнить результат с порогом.

### Результаты моделирования

Проведено имитационное моделирование обнаружения сигнала в режиме полного поиска и в режиме допоиска с различной априорной информацией о сигнале. На рис. 3 представлены потери отношения сигнал/шум от числа комбинаций частота – задержка.

Моделирование выполнено двумя методами – аналитическим расчетом кривых обнаружения с расчетом порога через формулу Бернулли (кривая 1) и моделированием коррелятора (кривая 2).

Видно, что предельный выигрыш допоиска относительно поиска сигнала GPS L1 CA с поиском по частоте +/-10 кГц и шагом 1 кГц и поиском по задержке на периоде ПСП составляет 5,5 дБ.

Если потребитель передвигается на автомобиле по городу и отсутствует поддержка от инерциального датчика, то после срыва слежения за сигналом частота и задержка будут случайным образом изменяться.

Максимальную скорость автомобиля можно принять равной 25 м/с, что накладывает ограничение на уход как частоты, так и задержки сигнала. Зависимость размера поля поиска от времени изображена на рис. 4.

Зависимость выигрыша чувствительности допоиска сигнала GPS L1 CA относительно полного поиска с временем накопления 20 мс и диапазоном +/-10 кГц приведена на рис. 5.

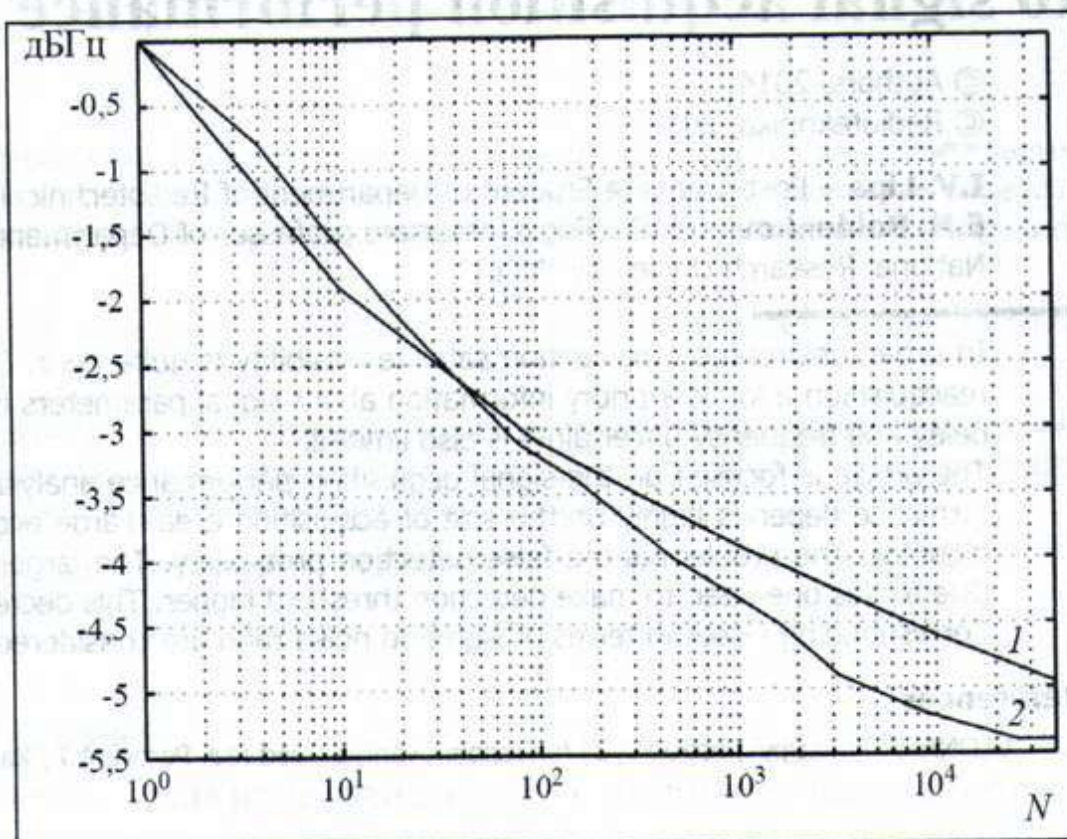


Рис. 3

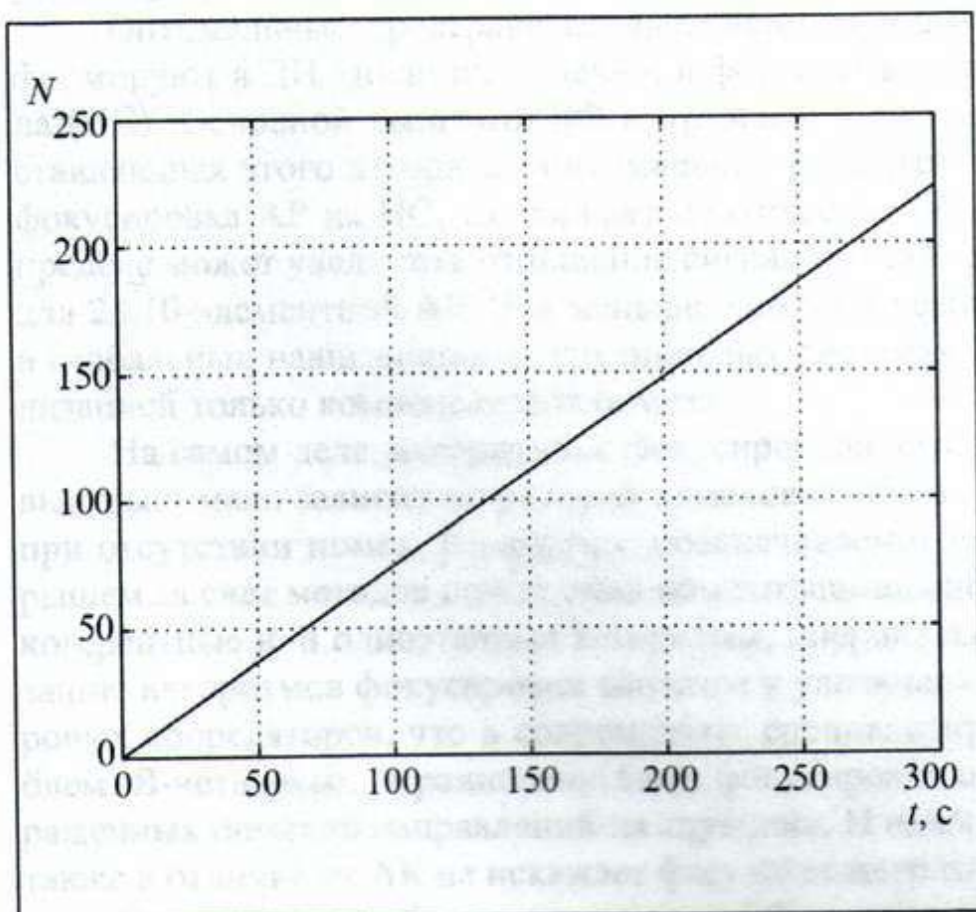


Рис. 4

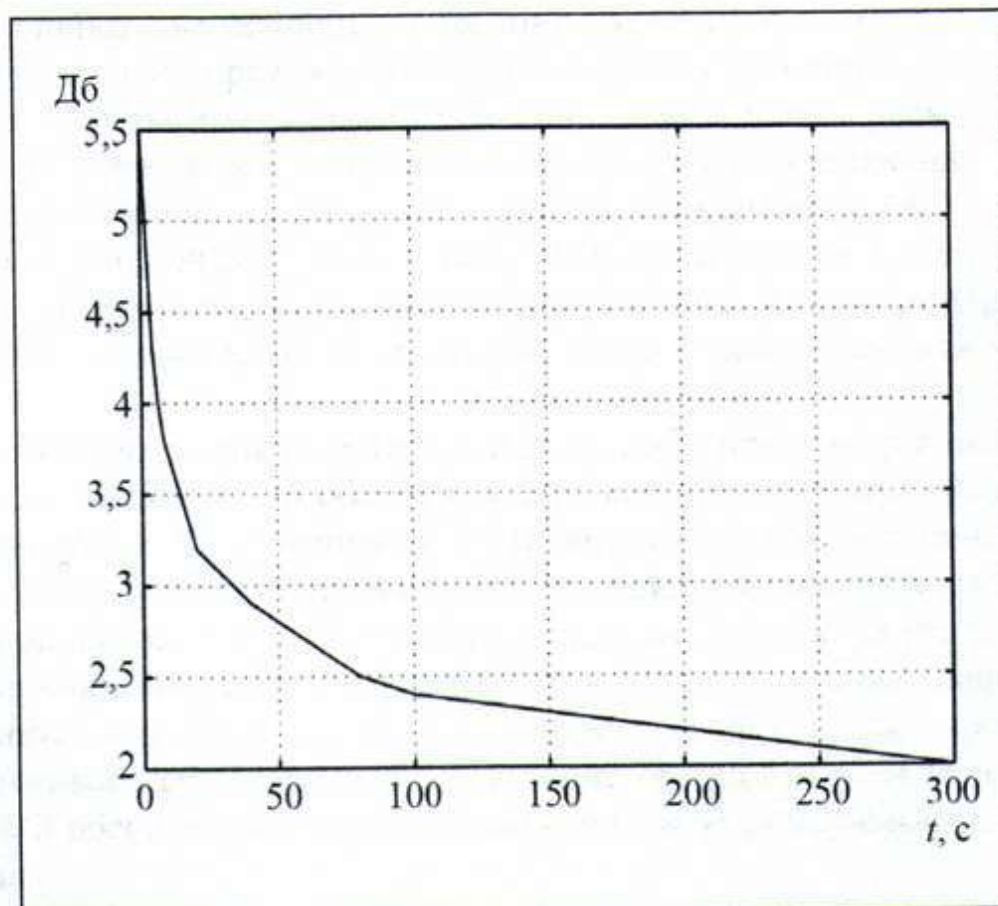


Рис. 5

Видно, что в линейном масштабе времени выигрыш чувствительности быстро спадает и поиск сигналов уровне 20...22 дБГц возможен только при кратковременной потере сигнала.

**Литература**

1. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / под ред. Перова А.И., Харисова В.Н. Изд. 4-е, переработанное. М.:Радиотехника, 2010.

Поступила 3 июля 2014 г.

# Analysis of a-priori information affect to signal acquisition performance

© Authors, 2014  
© Radiotekhnika, 2014

**I.V. Lipa** – Post-graduate Student of Department of Radiotechnical Systems, National Research University "MPET"  
**E.N. Boldenkov** – Ph.D. (Eng.), associate professor of Department of Radiotechnical Systems, National Research University "MPET"

In urban environment navigation satellites visibility is quite poor. Due to this fact tracking losses are frequent. In situation of signal reacquisition a lot of a-priori information about signal parameters is available. Maximum user velocity in the city is limited. Therefore delay and frequency uncertainty is also limited.

The article is focused on the signal acquisition performance analysis with respect to this a-priori information. Signal acquisition performance depends highly on the size of acquisition area. Large acquisition area requires a lot of parallel acquisition channels to implement. The problem is the false detection probability. The larger is the number of parallel channels the more is false probability. Due to this one need to make detection threshold higher. This decreases true detection probability, Corresponding losses in terms of signal to noise ratio are considered in the article.

**References**

1. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / под ред. Перова А.И., Харисова В.Н. Изд. 4-е, переработанное. М.:Радиотехника, 2010.

