

*Степанов И.С.,
студент магистратуры
МГТУ им. Н.Э. Баумана
Россия, г. Москва*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ БЫСТРОГО ОЦЕНИВАНИЯ ЧАСТОТЫ

***Аннотация:** Статья посвящена сравнительному анализу алгоритмов быстрого оценивания мгновенной частоты фазоманипулированного сигнала в условиях априорной неопределённости его несущей частоты и символьной скорости. Такие алгоритмы находят применение в первичной обработке в системах радиомониторинга. В статье приводятся результаты моделирования работы алгоритмов при широком диапазоне оцениваемого параметра и на разных интервалах анализа. По результатам сравнения сделан вывод о сравнительно низкой точности оценивания методом прямой оценки частоты, построенным на приближенном вычислении производной мгновенной фазы сигнала.*

***Ключевые слова:** цифровая обработка сигналов, фазовая манипуляция, оценка частоты.*

***Annotation:** This article focuses on comparative analysis of fast algorithms of estimation of phase-shift keying signal's carrier frequency. Such algorithms may be applied on signal preprocessing in radiomonitoring systems. In this article I have given simulation results over a wide range of estimated parameter. The comparison concludes that direct frequency estimation method, based on approximate derivative calculation is not accurate enough.*

***Key words:** digital signal processing, phase-shift keying, frequency estimation.*

При решении задач радиомониторинга возникает необходимость в получении оценок параметров принимаемого сигнала в условиях априорной неопределённости значительной их в режиме реального времени, то есть, с минимальными временными затратами. Одним из основных параметров радиосигнала является несущая частота. Рассмотрим модель фазоманипулированного сигнала, несущие частоты которого могут принимать значения из диапазона $\omega \in [0.25 \dots 0.75]\pi$, принимаемого устройством радиомониторинга на фоне аддитивного белого шума.

В общем случае, после переноса на нулевую частоту, аналого-цифрового преобразования и вычисления мнимой составляющей, на входе системы присутствует выборка квадратурных отсчётов ФМ сигнала с АБГШ:

$$x[i] = \dot{A}[i] = A[i] \exp(j(\omega \cdot t + \phi[i] + \phi_0)) + \eta[i],$$

где $\eta_\phi[\cdot]$ – отсчёты АБГШ,

ϕ_0 – начальная фаза, (1)

$\phi[i]$ – скачкообразное изменение фазы, обусловленное манипуляцией.

Домножив на отсчёт комплексно-сопряженного сигнала, получим:

$$x_d[i] = x[i] \cdot \bar{x}[i - 1]$$

$$= A[i]A[i - 1] \exp(j(\omega T_d + \Delta\phi[i] + \eta_\phi[i] - \eta_\phi[i - 1]))$$
 (2)

$$\psi_i = \arg(x_d[i]) = \omega T_d + \Delta\phi[i] + \eta_\phi[i] - \eta_\phi[i - 1]$$
 (3)

$$= \phi_i + \Delta\phi[i] + \eta_\phi[i] - \eta_\phi[i - 1]$$

где ϕ_i – набег фазы за один период дискретизации,

T_d – период дискретизации.

Задачу оценивания круговой частоты $\hat{\omega}$ можно решать субоптимальным алгоритмом на основе метода максимального правдоподобия. Предположим, что сигнал на входе блока оценки частоты имеет вид (3), а величина $\Delta\phi[i]$ – относительно редкий выбросовый случайный процесс. Грубое допущение состоит в том, что алгоритм оценивания строится при $\Delta\phi[i] = 0 \forall i$. Для случайного процесса вида:

$$\psi_i = \omega T_d + \eta_\phi[i] - \eta_\phi[i - 1] \quad (4)$$

оценка величины ω , линейно связанной с детерминированной функцией T_d на фоне аддитивного нормального шума с СПМ σ_η^2 определяется следующим образом [1, с. 585]:

$$s_M = \sum_{i=1}^M \frac{T_d}{\sigma_\eta^2} \cdot T_d = \frac{T_d^2}{\sigma_\eta^2} \cdot M; x_M = \sum_{i=1}^M \frac{T_d}{\sigma_\eta^2} \cdot \psi_i = \frac{T_d}{\sigma_\eta^2} \cdot \sum_{i=1}^M \psi_i, \quad (5)$$

$$\hat{\omega} = s_M^{-1} \cdot x_M = \frac{1}{T_d M} \cdot \sum_{i=1}^M \psi_i, \quad (6)$$

где M – ширина окна.

Альтернативой этому методу может служить метод прямой оценки частоты, построенный на приближенном вычислении производной мгновенной фазы поступающего дискретного комплексного сигнала x . Для непрерывного времени:

$$\hat{\omega} = \frac{d}{dt} [\arg(x)] = \frac{d}{dt} \left[\frac{\Re(x)}{\Im(x)} \right] = \frac{\Re(x) \cdot \frac{d}{dt} \Im(x) - \Im(x) \cdot \frac{d}{dt} \Re(x)}{|x|^2}. \quad (7)$$

Оценка производных мнимой и действительной составляющих может быть получена посредством цифрового дифференцирующего КИХ фильтра [2, с. 112]. Для рассматриваемой полосы относительных частот $\omega \in [0.25 \dots 0.75]\pi$ коэффициенты импульсной характеристики дифференцирующего КИХ фильтра $h_d(n)$ определяется выражением:

$$h_d(n) = \frac{1}{2\pi} \int_{\omega_N}^{\omega_B} \omega \sin(n\omega) d\omega = \frac{1}{2\pi n} \left(\omega_N \cos(n\omega_N) - \omega_B \cos(n\omega_B) + \frac{\sin(n\omega_B) - \sin(n\omega_N)}{n} \right) \quad (8)$$

$$h_d(0) = 0; h_d(-n) = -h_d(n)$$

Для повышения точности дифференцирования следует нейтрализовать эффект Гиббса, для чего отсчёты импульсной характеристики взвешиваются

окном Хэмминга. Частотные характеристики полученного фильтра (ширина окна равна 11 отсчётам) представлены на рисунке 1.

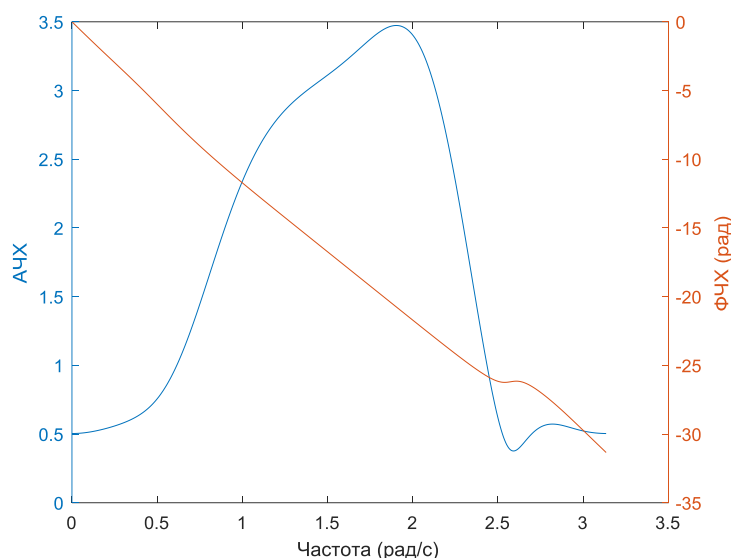


Рисунок 1. Фазочастотные характеристики дифференцирующего фильтра

Перейдя в формуле (7) к цифровым сигналам и добавив линии задержки, получим:

$$\hat{\omega}[i] = \frac{\Re(x[i]) \cdot \sum_{j=i-2N}^i h_d[j-N] * \Im(x[j]) - \Im(x[i]) \cdot \sum_{j=i-2N}^i h_d[j-N] * \Re(x[j])}{|x[i]|^2}, \quad (9)$$

где ширина окна равна $2N + 1$.

По результатам моделирования работы приведённых выше алгоритмов оценивания частоты (6) и (9) при ОСШ = 20дБ и различных длинах окон ($M=11$ и $M=41$), получены графики зависимости относительной ошибки оценки частоты от величины оцениваемого параметра, приведённые на рисунке 2.

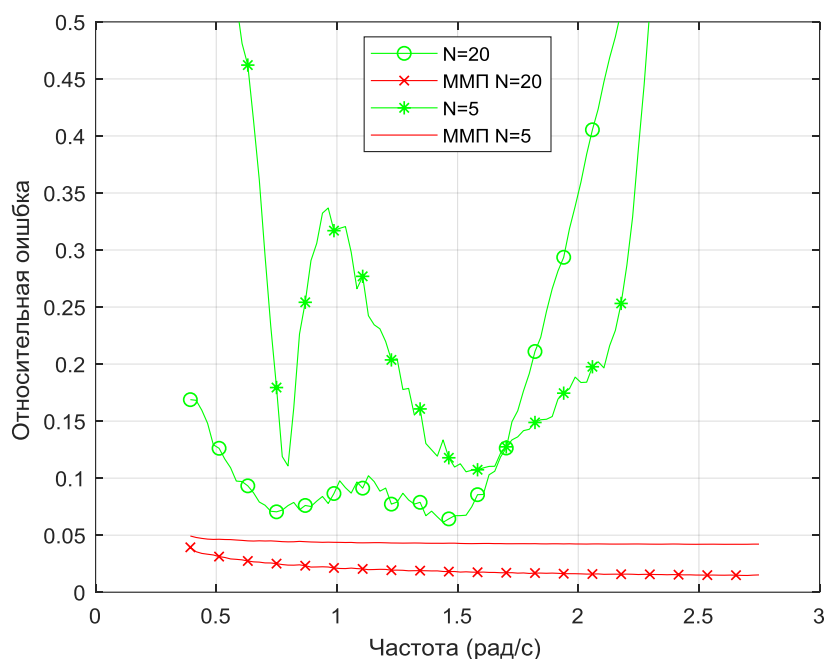


Рисунок 2. Сравнительные характеристики алгоритмов оценивания частоты

Сравнивая точность алгоритмов, можно сделать вывод, что в случае, когда оцениваемый параметр находится в достаточно широком диапазоне $\omega \in [0.25 \dots 0.75]\pi$, алгоритм (6) даёт значительно большие ошибки оценки частоты по сравнению с алгоритмом (9), что делает применение последнего нецелесообразным.

Использованные источники:

1. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Радио и связь, 1989. — 656 с.
2. Хемминг Р.В. Цифровые фильтры — Пер. С англ./ Под ред. А. М. Трахтмана — М.: Сов. Радио, 1980. — 224с., ил.