УДК 621.396.96.629

ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ ЧАСТОТЫ ПРИНИМАЕМЫХ СИГНАЛОВ НЕИЗВЕСТНОЙ ФОРМЫ

И. В. Перетягин, С. В. Меремьянин

г. Белгород, ЗАО НПП «СПЕЦ-РАДИО»

В. А. Симаков

г. Белгород, Белгородский государственный университет

Полученный в [1] алгоритм оптимальной обработки сигналов источников радиоизлучения в условиях априорной неопределенности требует дальнейшего анализа. При решении поставленной задачи идентификации параметров, принимаемых колебаний, наиболее ответственным ее этапом является получение оценок частоты F_v на каждом из стробированных участков интервала наблюдения (0,T). В этой связи актуальной является задача оценки точности указанной частоты, характеризуемой дисперсией σ_F^2 или среднеквадратичным значением ошибки σ_F определения F_v. В качестве исходного для решения этой задачи примем корреляционный интеграл (КИ) (14) из [1]:

$$\dot{Z}_V(F) = \int\limits_{(v-1)\Delta t}^{vdt} \dot{Y}(t)\Psi_V(t)e^{-j2\pi Ft}dt = \int\limits_{(v-1)\Delta t}^{v\Delta t} \dot{Y}_V(t)\Psi_V(t)e^{-j2\pi Ft}dt. \qquad (1)$$

Здесь $Y_v(t)$ – принимаемое колебание на v-ом участке интервала наблюдения (0,T). Заменяя приближенно огибающую принимаемого сигнала на этом участке прямоугольной функцией $\psi_v(t)$, выражение для $Y_v(t)$ можно записать в виде

$$Y_v(t) = \tilde{b}_v \Psi_v(t)e^{j2\pi \tilde{F} t} + N(t), \qquad (2)$$

где знак "~" означает принадлежность параметров b_v и F_v к истинным значениям.

Как показано в [2], среднеквадратическая ошибка (СКО) измерения частоты σ_{F_v} определяется соотношением

$$\sigma_{F_v} = 1 / q_v \tau_э . \qquad (3)$$

где $q_v^2 = (P_c / P_П)_{вых}$ – отношение сигнал/шум по мощности на выходе устройства вычисления КИ $Z_v(F)$ в точке $F = \tilde{F}$, $\tau_э^2$ – эффективная длительность сигнала. Значение q_v^2 определим, подставляя (2) в (1) и выделяя сигнальную $Z_{vc}(F)$ и помеховую $Z_{vП}(F)$ части КИ $Z_v(F)$:

$$Z_v(F) = Z_{vc}(F) + Z_{vП}(F),$$

где

$$Z_{vc}(F) = \tilde{b} \int\limits_{(v-1)\Delta t}^{v\Delta t} \Psi_v^2(t)e^{-j2\pi(F-\tilde{F})t}dt,$$

$$Z_{vП}(F) = \int\limits_{(v-1)\Delta t}^{v\Delta t} N_v(t)\Psi_v(t)e^{-j2\pi Ft}dt.$$

Полагая $F = \tilde{F}$ и обозначая

$Э_0 = \frac{1}{2}\int\limits_{(v-1)\Delta t}^{v\Delta t} \Psi_v^2 dt$, найдем мощность сигнала

$$P_c = Z_{vc} Z_{vc}^* = \hat{b}_v^2 (2Э_0)^2.$$

Мощность помехи рассчитывается по соотношению

$$P_П = \overline{Z_{vП} Z_{vП}^* / 2} = \iint\limits_{(v-1)\Delta t}^{v\Delta t} \overline{N_v(t) N_v^*(s) /} / 2\Psi_v(t)\Psi_v(s)e^{-j2\pi F(t-s)}dtds .$$

где черта „ — " означает операцию математического ожидания. Полагая шум дельта-коррелированным со спектральной мощностью N_0, получим

$$\overline{N_v(t) N_v^*(s) / 2} = N_0\delta(t-s), \qquad (4)$$

поэтому $P_П = N_0 2Э_0$. В результате получаем

$$q_{\nu}^{2} = \tilde{b}_{\nu}^{2}\, 2Э_0/N_0. \qquad (5)$$

Выражение для $\tau_Э$ в случае прямоугольного импульса длительностью Δt имеет вид [2]

$$\tau_Э = \pi\Delta t/\sqrt{3} \approx 0{,}55/\Delta t. \qquad (6)$$

В результате среднеквадратическую ошибку измерения частоты (3) можно вычислять по соотношению

$$\sigma_{F\nu} = 0{,}55/q_{\nu}\Delta t. \qquad (7)$$

Отметим далее, что текущие оценки частоты F_{ν} помимо измерения закона частотной модуляции (манипуляции) можно также использовать для оценки средней несущей частоты принимаемого сигнала $\overline{F}$. При наличии оценки длительности сигнала $\hat{\tau}_{и} \approx n\Delta t$ значение $\overline{F}$ можно оценить, вычисляя среднее арифметическое

$$\overline{F} = \frac{1}{n}\sum_{\nu=1}^{n} \hat{F}_{\nu}\, . \qquad (8)$$

При этом СКО оценки $\overline{F}$ при независимых оценках $\hat{F}_{\nu}$ и одинаковых СКО $\sigma_{F\nu}$ определится соотношением

$$\sigma_{\overline{F}} = \sigma_{F\nu} / \sqrt{n}\, , \qquad (9)$$

или после подстановки $\sigma_{F\nu}$ (6)

$$\sigma_{F\nu} = 0{,}55/q_{\nu}\Delta t\sqrt{n}\, . \qquad (10)$$

На основе (10) легко устанавливается связь между СКО $\sigma_{\overline{F}}$ и СКО $\sigma_{F} = 0{,}55/q\tau_{и}$, соответствующей оценке средней частоты по когерентному сигналу длительностью $\tau_{и}$. При регулярных измерениях F_{ν} можно принять, что $q_{\nu} = q/\sqrt{n}$, где q – соответствующее отношение сигнал/шум для когерентного сигнала длительностью $\tau_{и}$. Подставляя далее в (10) значение $\Delta t = \tau_{и}/n$, получим

$$\sigma_{\overline{F}} = 0{,}55\, n / q\tau_{и} = n\sigma_{F}\, . \qquad (11)$$

Из (11) видно, что СКО $\sigma_{\overline{F}}$ примерно в n раз превосходит СКО σ_F. Вместе с тем, точность измерения несущей частоты F сигнала с неизвестной структурой можно повысить, если несколько видоизменить алгоритм получения оценки $\hat{F}$ по сравнению с (8). Для этого, прежде всего, необходимо найти оценки коэффициентов b_{ν} (16) из [1] и длительности сигнала $\hat{\tau} = n\Delta t$, а затем использовать их для получения оценки комплексной огибающей сигнала

$$\hat{X}(t) = \sum_{\nu=1}^{n} \hat{b}_{\nu}\, \Psi_{\nu}(t)$$ длительностью $\tau_{и}$.

Далее по этой оценке находится оценка $\hat{F}$ по известной методике, используемой для сигналов с известной структурой. Более подробно указанный вопрос рассматривается в следующей статье [2].

Библиографический список

1. Перетягин И. В. Оптимальная обработка сигналов источников радиоизлучения в условиях априорной неопределенности. В настоящем сб

2. Ширман Я. Д., Манжос В. Н. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. –М.: Сов. радио, 1981.

УДК 621.396.96·629

ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ ЧАСТОТЫ ПРИНИМАЕМЫХ СИГНАЛОВ НЕИЗВЕСТНОЙ ФОРМЫ НА ОСНОВЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ КОМПЛЕКСНОЙ ОГИБАЮЩЕЙ ОПОРНОГО СИГНАЛА

И В. Перетягин, В.В. Серых

г. Белгород, ЗАО НПП «СПЕЦ-РАДИО»

Р.К. Давлеткалиев, А.И. Яникеев

г. Белгород, Белгородский государственный университет

Полагаем, что на основе анализа принимаемого сигнала с неизвестной структурой предварительно получены коэффициенты комплексной огибающей сигнала b_{ν} [1]. Используя эти коэффициенты, можно запи-