

МИНИМИЗАЦИЯ ВРЕМЕНИ ОЦЕНИВАНИЯ КОМПЛЕКСНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕДАЧИ КАНАЛОВ РАДИОТРАКТА

Ю.Н. Паршин, П.В. Жариков

ГОУВПО «Рязанский государственный радиотехнический университет»
rtu@rgta.ryazan.ru

Проведен синтез оптимального по критерию максимального правдоподобия алгоритма оценивания комплексного коэффициента передачи канала радиотракта относительно опорного канала, выполнено численное моделирование. Получены зависимости дисперсии ошибки оценивания от количества гармоник в спектре тестового сигнала и нормированного времени наблюдения от нормированной ширины спектра тестового сигнала. Сделан вывод о наличии оптимального значения ширины спектра тестового сигнала, при котором время оценивания минимально.

Задача контроля комплексного коэффициента передачи каналов радиотракта является актуальной при разработке многоканальных радиотехнических систем – антенных решеток [1 – 5], ММО-систем [6], радиометрических систем [7]. Использование информации о текущем значении комплексного коэффициента передачи позволяет повысить помехоустойчивость пространственной обработки сигналов. Вместе с тем этап тестирования занимает часть временного ресурса системы, что снижает ее информационную эффективность. Совмещение во времени процесса контроля с рабочим режимом приводит к необходимости уменьшать мощность тестового сигнала [1], либо выбирать его таким образом, чтобы он был минимально коррелирован с рабочим сигналом [5]. При разделении во времени процесса контроля и рабочего режима [3] актуальной является задача сокращения времени, затрачиваемого на процесс контроля.

Целью данной работы является рассмотрение оптимального алгоритма оценивания комплексного коэффициента передачи канала радиотракта при помощи случайного тестового сигнала, а также определение характеристик тестового сигнала, позволяющих минимизировать время, затрачиваемое на этап контроля.

Структурная схема рассматриваемой системы формирования канальных сигналов и оценивания параметра радиотракта представлена на рис. 1. На вход рабочего и опорного канала подается тестовый сигнал с комплексной огибающей $x(t)$, представляющий собой квазибелый гауссовский процесс с ограниченной полосой частот F и дисперсией D_x . В рабочем канале производится умножение тестового сигнала на комплексный коэффициент передачи a , подлежащий оценке. Кроме того, в опорном и рабочем канале действуют аддитивные квазибелые шумы со спектральной плотностью мощности (СПМ) N_0 и комплексной огибающей $v_1'(t)$ и $v_2'(t)$ соответственно, отражающего воздействие тепловых шумов радиотракта.

Выходные сигналы обоих каналов подвергаются фильтрации в идеальных полосовых фильтрах (ПФ) с полосой пропускания F , что позволяет ограничить дисперсию шумов $v_1'(t)$, $v_2'(t)$ величиной $D_v = N_0 F$.

Отфильтрованный сигнал преобразуется в аналого-цифровых преобразователях (АЦП),

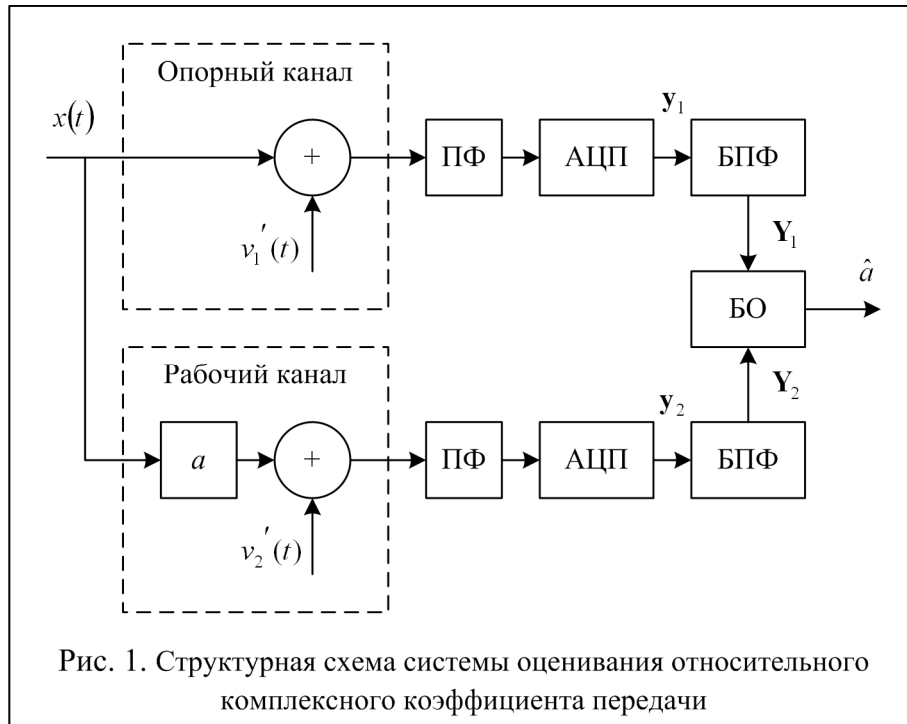
$$\begin{aligned}y_{1i} &= x_i + v_{1i}, \\y_{2i} &= ax_i + v_{2i},\end{aligned}$$

причем шаг дискретизации выбирается из условия $\Delta t = 1/F$, что обеспечивает статистическую независимость отсчетов. При фиксированном времени наблюдения процессов T количество отсчетов после дискретизации равно $N = TF$. Векторы-столбцы $\mathbf{y}_1 = \{y_{1i}, i = 1, \dots, N\}$ и $\mathbf{y}_2 = \{y_{2i}, i = 1, \dots, N\}$ содержат N отсчетов комплексной огибающей отфильтрованных выходных сигналов опорного и рабочего канала соответственно. Разрядность АЦП принимается дос-

таточно большой, что позволяет на данном этапе пренебречь шумами квантования по сравнению с тепловыми шумами радиотракта.

Поскольку цель исследования затрагивает спектральные свойства тестового сигнала, осуществлен переход в спектральную область при помощи быстрого преобразования Фурье (БПФ): $y_1 \Leftrightarrow Y_1$, $y_2 \Leftrightarrow Y_2$, где векторы-столбцы Y_1 и Y_2 содержат N комплексных значений гармоник спектра сигналов y_1 и y_2 соответственно.

Блок обработки (БО) формирует оценку комплексного коэффициента передачи рабочего канала относительно опорного \hat{a} .



Модель сигнала, поступающего на БО, имеет следующий вид:

$$\begin{cases} Y_1 = X + V_1, \\ Y_2 = aX + V_2, \end{cases}$$

где X – вектор-столбец комплексных значений гармоник спектра тестового сигнала; V_1 и V_2 – векторы-столбцы комплексных значений гармоник спектра шума приемного тракта, прошедшего через ПФ, в первом и втором канале соответственно.

Оптимальная оценка комплексного коэффициента передачи рабочего канала относительно опорного может быть получена методом максимального правдоподобия, при этом логарифм функции правдоподобия может быть записан в виде

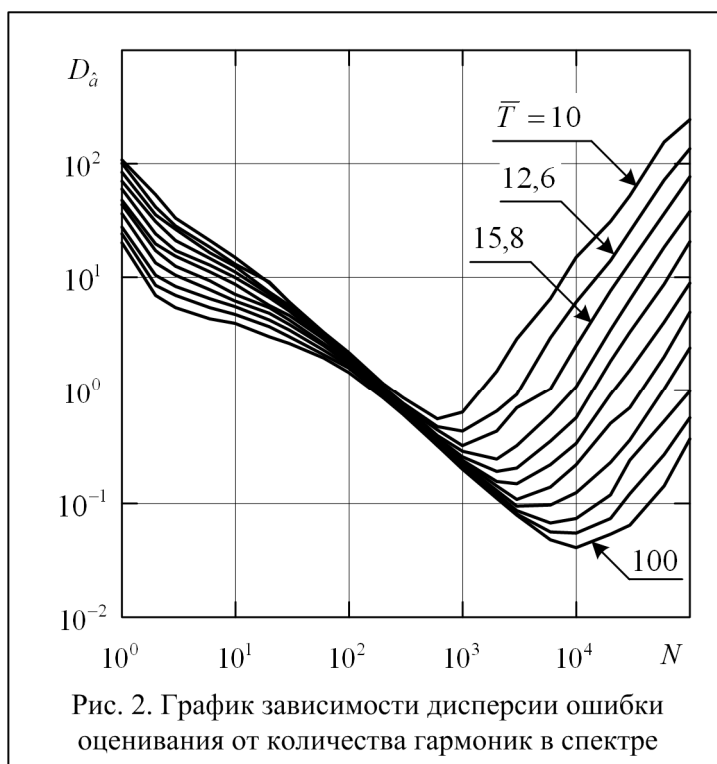
$$\begin{aligned} \Lambda(Y_1, Y_2 | a) = & -N \ln \left\{ \frac{4\pi^2 D_v [(|a|^2 + 1)D_x + D_v]}{N^2} \right\} - \\ & - \frac{N}{2D_v [(|a|^2 + 1)D_x + D_v]} \left[(|a|^2 D_x + D_v) Y_1^H Y_1 + \right. \\ & \left. + (D_x + D_v) Y_2^H Y_2 - a D_x (Y_1^H Y_2)^* - a^* D_x Y_1^H Y_2 \right], \end{aligned}$$

а сама оценка определяется следующим выражением:

$$\hat{a} = \arg \max_{a \in A} \Lambda(\mathbf{Y}_1, \mathbf{Y}_2 | a),$$

где A – множество допустимых значений параметра a .

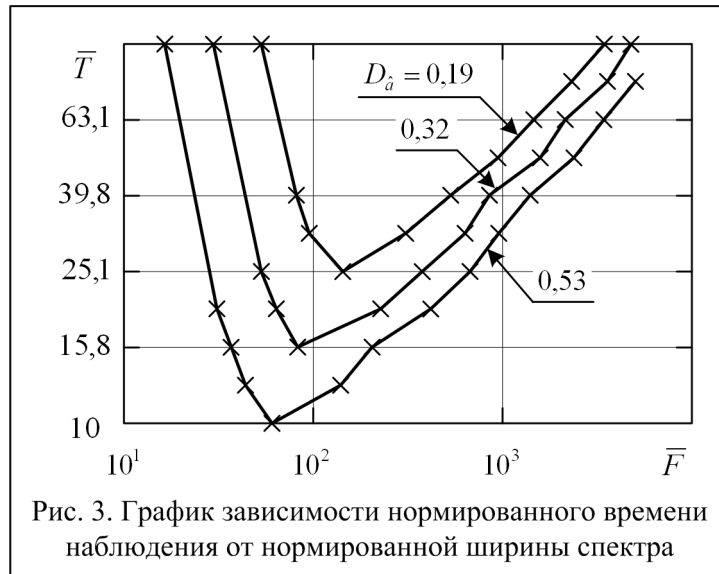
Методом численного моделирования в среде MATLAB проведено исследование оптимального алгоритма оценивания комплексного коэффициента передачи каналов радиотракта. На рис. 2 приведен график зависимости дисперсии ошибки оптимального оценивания действительной части комплексного коэффициента передачи $D_{\hat{a}}$ от количества гармоник N в спектре комплексной огибающей наблюдаемых процессов при разных значениях нормированного времени наблюдения $\bar{T} = TD_x/N_0$ (изменение величины \bar{T} производится в диапазоне $[10, 100]$ по экспоненциальному закону), представляющего собой отношение сигнал/шум на входе БО при $N=1$. Вычисление каждой точки графика произведено по результатам усреднения 10000 экспериментов оценивания при случайных значениях a , равномерно распределенных на интервале $[-50, 50]$.



Характерной особенностью графика является наличие минимума дисперсии ошибки оценивания при некотором значении N . Данный эффект объясняется наличием двух факторов, различно влияющих на точность оценивания:

- 1) увеличение количества гармоник N в спектре комплексной огибающей соответствует увеличению количества статистически независимых внутри каждого канала отсчетов случайного сигнала, что позволяет повысить качество усреднения и как следствие точность оценивания;
- 2) увеличение количества гармоник согласно выражению $N = TF$ при постоянном значении T приводит к расширению спектра анализируемого сигнала, что в свою очередь ухудшает отношение сигнал/шум и снижает точность оценивания.

На основании данных вычислительного эксперимента (рис. 2) получена зависимость (рис. 3) нормированного времени наблюдения \bar{T} от величины нормированной ширины спектра $\bar{F} = N_0F/D_x$ при разных значениях дисперсии ошибки оценивания $D_{\hat{a}}$.



Анализируя графики (рис. 3), можно сделать вывод о наличии некоторого оптимального значения ширины спектра $\bar{F}_{\text{нб}}$ случайного тестового сигнала, при котором получается минимальное время оценивания $\bar{T}_{\text{иет}}$ при заданной величине дисперсии ошибки оценивания коэффициента $D_{\hat{a}}$. Таким образом, появляется возможность существенно повысить оперативность дистанционного тестирования каналов радиотракта с использованием случайных тестовых сигналов за счет уменьшения времени тестирования при прочих равных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Галустов Г.Г., Бровченко С.П., Сидько И.В., Мирвода Д.В., Кравец А.В. Особенности схемотехнического построения многоканальных приемных устройств со встроенным контролем параметров их высокочастотных трактов // Антенны. – 2008. – № 11. – С. 93 – 98.
2. Жариков П.В. Программно-аппаратный комплекс для экспериментального исследования алгоритмов пространственной обработки радиосигналов // Новые информационные технологии в научных исследованиях и в образовании: Материалы XIII Всероссийской НТК студентов, молодых ученых и специалистов. Часть II. – Рязань: РГРТУ, 2008. – С. 111 – 112.
3. Слюсар В.И. Коррекция характеристик приемных каналов цифровой антенной решетки по контрольному источнику в ближней зоне // Радиоэлектроника. – 2003. – № 1. – С. 44 – 52. (Изв. вузов).
4. Kapil R. Dandekar, Hao Ling, Guanghan Xu. Smart Antenna Array Calibration Procedure Including Amplitude and Phase Mismatch and Mutual Coupling Effects // Proc. IEEE International Conference on Personal Wireless Communications, Hyderabad, India. – December 2000. – P. 293 – 297.
5. Mun Geon Kyeong, Hyung Geun Park, Hyun Seo Oh, Jae Ho Jung. Array Calibration for CDMA Smart Antenna Systems // ETRI Journal. – December 2004. – Vol. 26. – No. 6. – P. 605 – 614.
6. Yaoqing Yang, Guanghan Xu, Hao Ling. Wideband MIMO Measurements of Outdoor NLOS Channels // Microwave and Optical Technology Letters. – February 2006. – Vol. 48. – No. 2. – P. 216 – 218.
7. Брагин И.В., Сгибнев В.П., Морозов А.А., Каменков М.Б., Шевалдыкина Т.Б., Брагин С.И., Маслова Н.С. Метод калибровки радиометрической системы по «холодному космосу» // Информационно-телекоммуникационные технологии. Тезисы докладов. – М.: Издательство МЭИ, 2004. – С. 38 – 40.