УДК 621.391

АЛГОРИТМЫ КВАЗИОПТИМАЛЬНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ МНОГОЛУЧЕВЫХ СИГНАЛОВ НА ФОНЕ ИМПУЛЬСНЫХ ПОМЕХ

© Г.В. Романенко

Romanenko G.V. Algorithms of quasi-optimum filtering of polyray signals under pulse interference. On the basis of optimum filtering theory of continuous-impulse Markov random fields, the problem of contaminating signal reception is solved. As a result, a synthesis of the quasi-optimum receiver is obtained; the signal algorithm having impulse contaminating screening is reciprocally delayed.

В радиотехнике существует целый ряд задач, связанных с обработкой взаимозадержанных сигналов, например, пространственно-временная обработка сигналов, многопозиционный прием и прием многолучевых сигналов. Особенностью таких задач является то, что в состав случайных параметров сигнала входят взаимозадержанные копии этих параметров.

В работе [1] предложена методика обработки взаимозадержанных сигналов, состоящая в том, чтобы в каждый момент времени t оценивать не отдельные взаимозадержанные значения марковского процесса, а всю его реализацию на интервале от $t-T$ до T. Такую реализацию можно получить на выходах линии задержки с распределенными параметрами (РЛЗ), на вход которой воздействует марковский процесс $\lambda(t)$. Выходной сигнал РЛЗ

$$\lambda(t,\tau)=\lambda(t-\tau), \quad 0\le\tau\le T, \tag{1}$$

т. е. временную задержку τ можно представить как пространственную координату и свести вопрос к решению задачи фильтрации марковских случайных полей, что невозможно было сделать традиционными методами марковской теории.

Наряду с этим, до настоящего времени не было работ, которые в рамках методики, предложенной в [1], позволяли бы получать алгоритмы синтеза квазиоптимальных приемников взаимозадержанных сигналов, обладающих защитой от импульсных помех. Настоящая работа позволяет разрешить указанную проблему.

Рассмотрим вопрос о применении к данной задаче полученных в [2] уравнений квазиоптимальной фильтрации непрерывно-импульсных случайных полей, причем их импульсную составляющую будем понимать, как пространственно-распределенную импульсную помеху (ИП).

Для простоты рассмотрим сумму случайного поля и случайного процесса, под которым понимаем ИП.

Пусть поле наблюдений имеет вид

$$\xi(t,\tau)=S(t,\tau,\lambda\ (t,\tau))+\eta(t)+n(t,\tau), \tag{2}$$

где $n(t,\tau)$ – пространственно-временной белый шум, с нулевым математическим ожиданием и корреляционной функцией

$$Q(t_1,t_2,\tau_1,\tau_2)=N_0(\tau_1)\delta(\tau_2-\tau_1)\delta(t_2-t_1).$$

Сообщение рассматриваем как случайное поле $\lambda(t,\tau)$, удовлетворяющее условию (1), т. е.

$$\frac{\partial\ \lambda(t,\tau)}{\partial\ t}=-\frac{\partial\ \lambda(t,\tau)}{\partial\ \tau}, \tag{3}$$

с граничным условием

$$\lambda(t,0)=\lambda(t), \qquad t\ge 0, \tag{4}$$

и начальным условием

$$\lambda\ (0,\tau)=0, \qquad \tau\ge 0. \tag{5}$$

При этом модель сообщения задается уравнением

$$\frac{d\lambda(t)}{dt}=f(t,\lambda)+n_\lambda(t), \tag{6}$$

где $n_\lambda(t)$ – информационный белый шум с нулевым математическим ожиданием и корреляционной функцией

$$M\{n_\lambda(t_1)n_\lambda(t_2)\}=\frac{N_\lambda}{2}\delta(t_2-t_1).$$

Априорные данные для ИП $\eta(t)$ имеют вид

$$\frac{d\eta(t)}{dt}=0. \tag{7}$$

Интенсивности пуассоновских потоков появлений и исчезновений ИП положим соответственно равными α и β.

Кроме того, считаем, что $M\{\eta(t)\} = m_\eta$, и что множество амплитудных значений ИП является гауссовским с априорной дисперсией σ_η^2.

Уточним значения аналогов коэффициентов сноса и диффузии, входящих в уравнения, представленные в работе [2]. С учетом (3), (6) и (7) коэффициенты сноса:

$$a(t,\tau,\lambda(t,\tau)) = -\frac{\partial\lambda(t,\tau)}{\partial\tau}, \qquad a(t,\lambda(t)) = f(t,\lambda(t)),$$
$$a(t,\eta(t)) = 0;$$

коэффициенты диффузии:

$$b(t,\tau_1,\tau_2,\lambda(t,\tau)) = b(t,\eta(t)) = 0, \quad b(t,\lambda(t)) = \frac{N_\lambda}{2}.$$

Приведенные данные позволяют записать уравнения квазиоптимальной фильтрации сообщения при приеме на фоне ИП. Пусть $\hat{\lambda}^0(t,\tau)$ и $\hat{\lambda}^1(t,\tau)$ – оценки сообщения при отсутствии и наличии ИП соответственно. Тогда, согласно [2], уравнения формирования $\hat{\lambda}^1$ имеют вид

$$P_1(t)\frac{\partial\hat{\lambda}^1(t,\tau)}{\partial\, t} = -P_1(t)\frac{\partial\hat{\lambda}^1(t,\tau)}{\partial\,\tau} + \alpha P_0(t)[\hat{\lambda}^0(t,\tau) -$$
$$-\hat{\lambda}^1(t,\tau)] + P_1(t)\times$$
$$\times[\int_0^T [R_{1\lambda}(t,\tau,x)\frac{\delta\, F(t,\hat{\lambda}^1(t,\tau),\hat{\eta}(t,\tau))}{\delta\hat{\lambda}_t^1\ (x)} + \qquad (8)$$
$$+R_{1\lambda\eta}(t,\tau,x)\frac{\delta F(t,\hat{\lambda}^1(t,\tau),\hat{\eta}(t,\tau))}{\delta\hat{\eta}_t(x)}]dx.$$

$$P_1(t)\frac{d\hat{\lambda}^1(t)}{dt} = P_1(t)f(t,\hat{\lambda}^1(t)) + \alpha P_0(t)[\hat{\lambda}^o(t) -$$
$$-\hat{\lambda}^1(t)] + P_1(t)\times$$
$$\times\int_0^T [R_{1\lambda}(t,0.x)\frac{\delta\, F(t,\hat{\lambda}^1(t,\tau),\hat{\eta}(t))}{\delta\hat{\lambda}_t^1(x)} + \qquad (9)$$
$$+R_{1\lambda\eta}(t,0,x)\frac{\delta F(t,\hat{\lambda}^1(t,\tau)\hat{\eta}(t))}{\delta\hat{\eta}_t(x)}]dx.$$

С учетом того, что $\eta(t)$ – случайный процесс, можно положить, что

$$\eta(t,\tau) = \eta(t,0),$$

тогда

$$P_1(t)\frac{d}{dt}\hat{\eta}(t) = \alpha P_0(t)[m_\eta - \hat{\eta}(t)] +$$
$$+P_1(t)\int_0^T [R_{1\eta}(t,0,x)\times$$
$$\times\frac{\delta\ F(t,\hat{\lambda}^1(t,\tau),\hat{\eta}(t))}{\delta\,\hat{\eta}_t(x)} + \qquad (10)$$
$$+R_{1\lambda\eta}(t,0,x)\frac{\delta\ F(t,\hat{\lambda}^1(t,\tau),\hat{\eta}(t))}{\delta\,\hat{\lambda}_i(x)}]dx.$$

Здесь $R_{1\eta}$ и $R_{1\lambda}$ – апостериорные ошибки фильтрации ИП и сообщения соответственно. $R_{1\lambda\nu}$ – взаимная ошибка фильтрации (корреляционный момент между оценками непрерывной и импульсной составляющими поля). Уравнения для ошибок фильтрации при наличии ИП имеют вид

$$P_1(t)\frac{\partial}{\partial\ t}R_{ij}(t,\tau_1,\tau_2) = -P_1(t)[\frac{\partial}{\partial\ \tau_1}R_{ij}(t,\tau_1,\tau_2) +$$
$$+\frac{\partial}{\partial\ \tau_2}R_{ij}(t,\tau_1,\tau_2)] + \alpha P_0(t)[K_{ij}(t,\tau_1,\tau_2) - \qquad (11)$$
$$-R_{ij}(t,\tau_1,\tau_2)] + P_1(t)\sum_{p=1}^{2}\sum_{q=1}^{2}\int\int_0^T R_{ip}(t,\tau_1,x)\times$$
$$\times R_{qj}(t,y,\tau_2)\frac{\delta^2 F(t,\hat{\lambda}^1(t,\tau),\hat{\eta}(t))}{\delta\hat{\gamma}_\mu(x)\delta\hat{\gamma}_\nu(y)}dxdy,$$

где $R_{11} = R_{1\lambda}$, $R_{12} = R_{21} = R_{1\lambda\eta}$, $R_{22} = R_{1\eta}$,

$$\hat{\gamma}_1 = \hat{\lambda}_t^1, \quad \hat{\gamma}_2 = \hat{\eta}_t,$$

$$K_{ij} = \begin{cases} (m_\eta - \hat{\eta}(t))(\hat{\lambda}^0(t,\tau_j) - \hat{\lambda}^1(t,\tau_j)), & i \neq j, \\ \sigma_\eta^2 + m_\eta^2 - 2m_\eta\hat{\eta}(t) + \hat{\lambda}^1(t,\tau_1)\hat{\lambda}^1(t,\tau_2), & i = j = 2, \\ R_0 + (\hat{\lambda}^0(t,\tau_1) - \hat{\lambda}^1(t,\tau_1))(\hat{\lambda}^0(t,\tau_2) - \hat{\lambda}^1(t,\tau_2)) + \hat{\lambda}^1(t,\tau_1)\hat{\lambda}^1(t,\tau_2), & i = j = 1. \end{cases}$$

$$P_1(t)\frac{\partial}{\partial\ t}R_{ij}(t,\tau_1,0) = P_1(t)[-\frac{\partial}{\partial\ \tau_1}R_{ij}(t,\tau_1,0) +$$
$$+f_{ij}R_{ij}(t,\tau_1,0)] + \alpha P_0(t)[K_{ij}(t,\tau_1,0) - R_{ij}(t,\tau_1,0)] + \qquad (12)$$
$$+P_1(t)\sum_{\mu=1}^{2}\sum_{\nu=1}^{2}\int\int_0^T R_{i\mu}(t,\tau_1,x)R_{\nu j}(t,y,0)\frac{\delta^2 F(t,\hat{\lambda}^1(t,\tau),\hat{\eta}(t))}{\delta\hat{\gamma}_\mu(x)\delta\hat{\gamma}_\nu(y)}dxdy,$$

$$f_{11}=\frac{\partial\ f(t,\hat{\lambda}^1)}{\partial\hat{\lambda}^1},\ \ f_{12}=f_{21}=f_{22}=0\,.$$

$$P_1(t)\frac{d}{dt}R_{ij}(t,0,0)=P_1(t)\{[g_{ij}+f_{ij}]R_{ij}(t,0,0)+P_1(t)\times$$
$$\times\{\sum_{\mu=1}^{2}\sum_{\nu=1}^{2}\int_0^T\!\!\int R_{i\mu}(t,0,x)R_{\nu j}(t,y,0)\times \tag{13}$$
$$\times\frac{\delta^2F(t,\hat{\lambda}^1(t,\tau),\hat{\eta}(t))}{\delta\hat{\gamma}_\mu(x)\delta\hat{\gamma}_\nu(y)}dxdy$$

$$N_{ij}=N_\lambda,\quad i=j=1,\quad N_{ij}=0,\quad i,j\neq 1\,,$$

$$g_{12}=g_{21}=g_{11}=\frac{\partial\ f(t,\hat{\lambda}^1)}{\partial\hat{\lambda}^1},\ \ g_{22}=0\,.$$

Входящий в формулы (8)–(13) логарифм функционала правдоподобия определяется выражением

$$F(t,\lambda(t,\tau),\eta(t))=\frac{1}{2}\int_0^T N_0^{-1}(\tau)\{2\xi\ \ (t,\tau)[S(t,\tau,\lambda(t,\tau))+\eta(t)]-$$
$$-[S(t,\tau,\lambda(t,\tau))+\eta(t)][S(t.\tau,\lambda(t,\tau'))+\eta(t)]\}d\tau'. \tag{14}$$

Алгоритмы синтеза квазиоптимального приемника в случае отсутствия ИП аналогичны (8) – (13).

При решении задач квазиоптимального приема на фоне импульсных помех необходимо проводить и синтез обнаружителей ИП на основе уравнений для $P_0(t)$ и $P_1(t)$ ($P_0+P_1=1$). Такие уравнения получены в работе [3].

Обратимся к задаче приема многолучевого сигнала.

Уравнение наблюдения в этом случае имеет вид:

$$\xi(t)=\sum_{i=0}^{m}S((t-T_i\ \ ),\lambda(t-T_i\ \ ))+\eta(t)+n_0(t)=$$
$$=\sum_{i=0}^{m}S_i(t,\lambda_i\ \ (t))+\eta(t)+n_0(t), \tag{15}$$

где T_i , $i=\overline{0,m}$ – время задержки, связанное с многолучевым характером полученного сигнала S; $\eta(t)$ – ИП, являющаяся в данном случае случайным процессом.

Вычисляя вариационные производные от функционала правдоподобия *F*, получаем

$$\frac{\delta\ F(t,\hat{\lambda},\hat{\eta})}{\delta\hat{\lambda}_t(x)}=\frac{1}{N_0}[2\xi(t)\sum_{i=0}^{m}\frac{\partial S_i(t,\hat{\lambda}_i)}{\partial\hat{\lambda}_i}\delta(x-T_i)]\times$$
$$\times[\xi(t)-\hat{\eta}(t)-\sum_{j=0}^{m}S_j(t,\hat{\lambda}_j)],$$

$$\frac{\delta\ F(t,\hat{\lambda},\hat{\eta})}{\delta\hat{\eta}_t(x)}=\frac{2}{N_0}[\xi(t)-\eta(t)-\sum_{i=0}^{m}S_i(t,\lambda_i(t))]\delta(x).$$

$$\frac{\delta^2F(t,\hat{\lambda},\hat{\eta})}{\delta\hat{\lambda}_t(x)\delta\hat{\lambda}_t(y)}=\frac{2}{N_0}\{[\sum_{i=0}^{m}\frac{\partial^2S_i(t,\hat{\lambda}_i)}{\partial\hat{\lambda}_i^2}\delta(x-T_i\ \ )\delta(y-T_j\ \ )][\xi(t)-\hat{\eta}(t)-$$
$$-\sum_{i=0}^{m}S_i(t,\hat{\lambda}_i(t))]-\sum_{i=0}^{m}\sum_{j=0}^{m}\frac{\partial S_i(t,\hat{\lambda}_i(t))}{\partial\hat{\lambda}_i}\frac{\partial S_j(t,\hat{\lambda}_j(t))}{\partial\hat{\lambda}_j}\delta(x-T_i\ \ )\delta(y-T_j\ \ )]\}.$$

$$\frac{\delta^2F(t,\hat{\lambda},\hat{\eta})}{\delta\hat{\eta}_t(x)\delta\hat{\eta}_t(y)}=\frac{2}{N_0}\delta(x)\delta(y).$$

$$\frac{\delta^2F(t,\hat{\lambda},\hat{\eta})}{\delta\hat{\eta}_t(x)\delta\hat{\lambda}_t(y)}=-\frac{2}{N_0}\delta(x)\sum_{i=0}^{m}\frac{\partial S_j(t,\hat{\lambda}_i(t))}{\partial\hat{\lambda}_i}\delta(y-T_i).$$

С учетом гармонического характера функции S, выражения, содержащие вторые производные от этой функции, опустим. Тогда получим

$$\frac{\delta^2F(t,\hat{\lambda},\hat{\eta})}{\delta\hat{\lambda}_t(x)\delta\hat{\lambda}_t(y)}\cong-\frac{2}{N_0}\sum_{i=0}^{m}\sum_{j=0}^{m}\frac{\partial S_i(t,\hat{\lambda}_i(t))}{\partial\hat{\lambda}_i}\times\frac{\partial S_j(t,\hat{\lambda}_j(t))}{\partial\hat{\lambda}_j}\delta(x-T_i)\delta(x-T_j).$$

С учетом этих данных, (8) – (13) приобретут вид:

$$P_1(t)\frac{\partial\hat{\lambda}^1(t,\tau)}{\partial\ t}=-P_1(t)\frac{\partial\hat{\lambda}^1(t,\tau)}{\partial\ \tau}+\alpha P_0(t)\times$$
$$\times[\hat{\lambda}^0(t,\tau)-\hat{\lambda}^1(t,\tau)]+\frac{2}{N_0}\times$$
$$\times P_1(t)[\sum_{i=0}^{m}R_{1\lambda}(t,\tau,T_i\ \ )\frac{\partial S_i}{\delta\hat{\lambda}_i^1}+R_{\lambda\eta}(t,\tau,0)]\times \tag{16}$$
$$\times[\xi(t)-\hat{\eta}(t)-\sum_{j=0}^{m}S_j(t,\hat{\lambda}_j^1)];$$

$$P_1(t)\frac{d\hat{\lambda}^1(t)}{d\ t}=-P_1(t)f(t,\hat{\lambda}^1(t))+$$
$$+\alpha P_0(t)[\hat{\lambda}^0(t)-\hat{\lambda}^1(t)]+\frac{2}{N_0}\times$$
$$\times P_1(t)[\sum_{i=0}^{m}R_{1\lambda}(t,0,T_i\ \ )\frac{\partial S_i}{\delta\hat{\lambda}_i^1}+R_{\lambda\eta}(t)]\times \tag{17}$$
$$\times[\xi(t)-\hat{\eta}(t)-\sum_{j=0}^{m}S_j(t,\hat{\lambda}_j^1)];$$

$$\begin{aligned}
P_1(t)\frac{d\hat{\eta}(t)}{d\,t} &= \alpha P_0(t)[m_\eta - \hat{\eta}(t)] + \frac{2}{N_0}P_1(t)\times \\
&\times[\sum_{i=0}^{m} R_{\lambda\eta}(t,0,T_i)\frac{\partial S_i}{\delta\hat{\lambda}_i^1} + R_{1\eta}(t)]\times \\
&\times[\xi(t) - \hat{\eta}(t) - \sum_{j=0}^{m} S_j(t,\hat{\lambda}_j^1)];
\end{aligned} \tag{18}$$

$$\begin{aligned}
P_1(t)\frac{\partial}{\partial\,t}R_{1\lambda}(t,\tau_1,\tau_2) &= -P_1(t)[\frac{\partial}{\partial\,\tau_1}R_{1\lambda}(t,\tau_1,\tau_2) + \frac{\partial}{\partial\,\tau_2}R_{1\lambda}(t,\tau_1,\tau_2)] + \\
&+\alpha P_0(t)[K_{11}(t,\tau_1,\tau_2) - R_{1\lambda}(t,\tau_1,\tau_2)] + \frac{2}{N_0}P_1(t)[\sum_{i=0}^{m}\sum_{j=0}^{m}R_{1\lambda}(t,\tau_1,T_i)\times \\
&\times R_{1\lambda}(t,T_j,\tau_2)\frac{\partial S_i}{\partial\hat{\lambda}_i^1}\frac{\partial S_j}{\partial\hat{\lambda}_j^1} + R_{\lambda\eta}(t,\tau_1,0)\sum_{j=0}^{m}R_{1\lambda}(t,T_j,\tau_2)\times \\
&\times\frac{\partial S_j}{\partial\hat{\lambda}_j^1} + R_{\lambda\eta}(t,0,\tau_2)\sum_{i=0}^{m}R_{1\lambda}(t,\tau_1,T_i)\frac{\partial S_i}{\partial\hat{\lambda}_i^1} + R_{\lambda\eta}(t,0,\tau_2)R_{\lambda\eta}(t,\tau_1,0)];
\end{aligned} \tag{19}$$

$$\begin{aligned}
P_1(t)\frac{\partial}{\partial\,t}R_{1\lambda}(t,\tau_1,0) &= -P_1(t)\{\frac{\partial}{\partial\,\tau_1}R_{1\lambda}(t,\tau_1,0) + \frac{\partial\, f(t,\hat{\lambda}^1)}{\partial\hat{\lambda}^1}R_{1\lambda}(t,\tau_1,0)\} + \\
&+\alpha P_0(t)[K_{11}(t,\tau_1,0) - R_{1\lambda}(t,\tau_1,0)] + \frac{2}{N_0}P_1(t)[\sum_{i=0}^{m}\sum_{j=0}^{m}R_{1\lambda}(t,\tau_1,T_i)\times \\
&\times R_{1\lambda}(t,T_j,0)\frac{\partial S_i}{\partial\hat{\lambda}_i^1}\frac{\partial S_j}{\partial\hat{\lambda}_j^1} + R_{\lambda\eta}(t,\tau_1,0)\sum_{j=0}^{m}R_{1\lambda}(t,T_j,0)\frac{\partial S_j}{\partial\hat{\lambda}_j^1} + \\
&+R_{\lambda\eta}(t,0,0)\sum_{i=0}^{m}R_{1\lambda}(t,\tau_1,T_i)\frac{\partial S_i(t,\hat{\lambda}_i^1)}{\partial\hat{\lambda}_i^1} + R_{\lambda\eta}(t,0,\tau_2)R_{\lambda\eta}(t,\tau_1,0)];
\end{aligned} \tag{20}$$

$$\begin{aligned}
P_1(t)\frac{d}{d\,t}R_{1\lambda}(t,0,0) &= 2P_1(t)\frac{\partial\, f(t,\hat{\lambda}^1)}{\partial\hat{\lambda}^1}R_{1\lambda}(t,0,0) + \alpha P_0(t)[K_{11i}(t,0,0) - \\
&-R_{1\lambda}(t,0,0)] + \frac{2}{N_0}P_1(t)[\sum_{i=0}^{m}\sum_{j=0}^{m}R_{1\lambda}(t,0,T_i)R_{1\lambda}(t,T_j,0)\frac{\partial S_1}{\partial\hat{\lambda}_i^1}\times \\
&\times\frac{\partial S_j}{\partial\hat{\lambda}_j} + R_{\lambda\eta}(t,0,0)\sum_{j=0}^{m}R_{1\lambda}(t,T_j,0)\frac{\partial S^i}{\partial\hat{\lambda}} + R_{\lambda\eta}(t,0,0)] + P_1(t)\frac{N_\lambda}{2};
\end{aligned} \tag{21}$$

$$\begin{aligned}
P_1(t)\frac{\partial}{\partial\,t}R_{\lambda\eta}(t,\tau_1,\tau_2) &= -P_1(t)[\frac{\partial}{\partial\,\tau_1}R_{\lambda\eta}(t,\tau_1,\tau_2) + \frac{\partial}{\partial\,\tau_2}R_{\lambda\eta}(t,\tau_1,\tau_2)] + \\
&+\alpha P_0(t)[K_{12}(t,\tau_1,\tau_2) - R_{\lambda\eta}(t,\tau_1,\tau_2)] - \frac{2}{N_0}P_1(t)[\sum_{i=0}^{m}\sum_{j=0}^{m}R_{1\lambda}(t,\tau_1,T_i)\times \\
&\times R_{\lambda\eta}(t,T_j,\tau_2)\frac{\partial S_i}{\partial\hat{\lambda}_i^1}\frac{\partial S_j}{\partial\hat{\lambda}_j^1} + R_{1\eta}(t,0,\tau_2)\sum_{i=0}^{m}R_{1\lambda}(t,\tau_1,T_i)\frac{\partial S_i}{\partial\hat{\lambda}_i^1} + \\
&+R_{\lambda\eta}(t,\tau_1,0)\sum_{j=0}^{m}R_{\lambda\eta}(t,T_j,\tau_2)\frac{\partial S_j}{\partial\hat{\lambda}_j^1} + R_{1\eta}(t,0,\tau_2)R_{\lambda\eta}(t,\tau_1,0)];
\end{aligned} \tag{22}$$

$$\begin{aligned}
P_1(t)\frac{\partial}{\partial\,t}R_{\lambda\eta}(t,\tau_1,0) &= -P_1(t)\frac{\partial}{\partial\,\tau_1}R_{\lambda\eta}(t,\tau_1,0) + \alpha P_0(t)[K_{12}(t,\tau_1,0) - \\
&-R_{\lambda\eta}(t,\tau_1,0)] - \frac{2}{N_0}P_1(t)[\sum_{i=0}^{m}\sum_{j=0}^{m}R_{1\lambda}(t,\tau_1,T_i)R_{\lambda\eta}(t,T_j,0)\times \\
&\times\frac{\partial S_i}{\partial\hat{\lambda}_i^1}\frac{\partial S_j}{\partial\hat{\lambda}_j^1} + R_{1\eta}(t)\sum_{i=0}^{m}R_{1\lambda}(t,\tau_1,T_i)\frac{\partial S_i}{\partial\hat{\lambda}_i^1} + \\
&+R_{\lambda\eta}(t,\tau_1,0)\sum_{j=0}^{m}R_{\lambda\eta}(t,T_j,0)\frac{\partial S_j}{\partial\hat{\lambda}_j^1} + R_{1\eta}(t)R\lambda\eta(t,\tau_1,0)];
\end{aligned} \tag{23}$$

$$\begin{aligned}
P_1(t)\frac{d}{d\,t}R_{\lambda\eta}(t) &= P_1(t)\frac{\partial\, f(t,\hat{\lambda}^1)}{\partial\hat{\lambda}^1}R_{\lambda\eta}(t) + \alpha P_0(t)[K_{12}(t) - \\
&-R_{\lambda\eta}(t)] - \frac{2}{N_0}P_1(t)[\sum_{i=0}^{m}\sum_{j=0}^{m}R_{1\lambda}(t,0,T_i)R_{\lambda\eta}(t,T_j,0)\frac{\partial S_i}{\partial\hat{\lambda}_i^1}\times \\
&\times\frac{\partial S_j}{\partial\hat{\lambda}_j^1} + R_{1\eta}(t)\sum_{i=0}^{m}R_{1\lambda}(t,0,T_i)\frac{\partial S_i}{\partial\hat{\lambda}_i^1} + \\
&+R_{\lambda\eta}(t)\sum_{j=0}^{m}R_{\lambda\eta}(t,T_j,0)\frac{\partial S_j}{\partial\hat{\lambda}_j^1} + R_{1\eta}(t)R_{\lambda\eta}(t)];
\end{aligned} \tag{24}$$

$$\begin{aligned}
P_1(t)\frac{\partial}{\partial\,t}&R_{1\eta}(t,\tau_1,\tau_2) = \\
&= -P_1(t)[\frac{\partial}{\partial\,\tau_1}R_{1\eta}(t,\tau_1,\tau_2) + \frac{\partial}{\partial\,\tau_2}R_{1\eta}(t,\tau_1,\tau_2)] + \\
&+\alpha P_0(t)[K_{22}(t,\tau_1,\tau_2) - R_{1\eta}(t,\tau_1,\tau_2)] - \\
&-\frac{2}{N_0}P_1(t)[\sum_{i=0}^{m}\sum_{j=0}^{m}R_{\lambda\eta}(t,\tau_1,T_i)\times \\
&\times R_{\lambda\eta}(t,T_j,\tau_2)\frac{\partial S_i}{\partial\hat{\lambda}_i^1}\frac{\partial S_j}{\partial\hat{\lambda}_j^1} + \\
&+R_{1\eta}(t,0,\tau_2)\sum_{i=0}^{m}R_{\lambda\eta}(t,\tau_1,T_i)\frac{\partial S_i}{\partial\hat{\lambda}_i^1} + \\
&+R_{1\eta}(t,\tau_1,0)\sum_{j=0}^{m}R_{\lambda\eta}(t,T_j,\tau_2)\frac{\partial S_j(t,\hat{\lambda}_j^1)}{\partial\hat{\lambda}_j^1} + \\
&+R_{1\eta}(t,0,\tau_2)R_{1\eta}(t,\tau_1,0)];
\end{aligned} \tag{25}$$

$$
\begin{aligned}
&P_1(t)\frac{\partial}{\partial\ t}R_{1\eta}(t,\tau_1,0)=\\
&=-P_1(t)\frac{\partial}{\partial\ \tau_1}R_{1\eta}(t,\tau_1,0)+\alpha P_0(t)[K_{22}(t,\tau_1,0)-\\
&-R_{1\eta}(t,\tau_1,0)]-\frac{2}{N_0}P_1(t)[\sum_{i=0}^{m}\sum_{j=0}^{m}R_{\lambda\eta}(t,\tau_1,T_i)R_{\lambda\eta}(t,T_j,0)\times\\
&\times\frac{\partial S_i}{\partial\hat{\lambda}_i^1}\frac{\partial S_j}{\partial\hat{\lambda}_j^1}+R_{1\eta}(t,0,0)\sum_{i=0}^{m}R_{\lambda\eta}(t,\tau_1,T_i)\frac{\partial S_i}{\partial\hat{\lambda}_i^1}+\\
&+R_{1\eta}(t,\tau_1,0)\sum_{j=0}^{m}R_{\lambda\eta}(t,T_j,0)\frac{\partial S_j}{\partial\hat{\lambda}_j^1}+R_{1\eta}(t)R_{1\eta}(t,\tau_1,0)];
\end{aligned}
\tag{26}
$$

$$
\begin{aligned}
&P_1(t)\frac{d}{d\ t}R_{1\eta}(t)=\alpha P_0(t)[K_{22}(t)-R_{1\eta}(t)]-\\
&-\frac{2}{N_0}P_1(t)[\sum_{i=0}^{m}\sum_{j=0}^{m}R_{\lambda\eta}(t,0,T_i)\times\\
&\times R_{\lambda\eta}(t,T_j,0)\frac{\partial S_i}{\partial\hat{\lambda}_i^1}\frac{\partial S_j}{\partial\hat{\lambda}_j^1}+R_{1\eta}(t)\sum_{i=0}^{m}R_{\lambda\eta}(t,0,T_i)\frac{\partial S_i}{\partial\hat{\lambda}_i^1}+\\
&+R_{1\eta}(t)\sum_{j=0}^{m}R_{\lambda\eta}(t,T_j,0)\frac{\partial S_j}{\partial\hat{\lambda}_j^1}+R^2{}_{1\eta}(t)].
\end{aligned}
\tag{27}
$$

Это алгоритмы квазиоптимальной фильтрации многолучевого сигнала при наличии ИП.

Для простоты рассмотрим применение полученных алгоритмов для синтеза тракта приема двулучевого низкочастотного сигнала. Здесь

$$\xi(t)=\lambda(t-T_1)+\lambda(t-T_2)+\eta(t)+n_0(t).$$

При наличии ИП $\dfrac{\partial\ S(t,\hat{\lambda}_0^1)}{\partial\hat{\lambda}_0^1}=1$, $\dfrac{\partial S(t,\hat{\lambda}_1^1)}{\partial\hat{\lambda}_1^1}=1$,

$f(t,\hat{\lambda}^1)=-\gamma\hat{\lambda}^1$ (γ – полоса частот сообщения). Тогда алгоритмы фильтрации примут вид:

$$
\begin{aligned}
&P_1(t)\frac{\partial\hat{\lambda}^1(t,\tau)}{\partial\ t}=-P_1(t)\frac{\partial\hat{\lambda}^1(t,\tau)}{\partial\tau}+\alpha P_0(t)[\hat{\lambda}^0(t,\tau)-\hat{\lambda}^1(t,\tau)]+\\
&+\frac{2}{N_0}P_1(t)[R_{1\lambda}(t,\tau,T_1)+R_{1\lambda}(t,\tau,T_2)+R_{\lambda\eta}(t,\tau,0)]\times\\
&\times[\xi(t)-\hat{\eta}(t)-\hat{\lambda}^1(t-T_1)-\hat{\lambda}^1(t-T_2)];
\end{aligned}
\tag{28}
$$

$$
\begin{aligned}
&P_1(t)\frac{d\hat{\lambda}^1(t)}{d\ t}=-\gamma\hat{\lambda}^1(t)P_1(t)+\alpha P_0(t)[\hat{\lambda}^0(t)-\\
&-\hat{\lambda}^1(t)]+\frac{2}{N_0}P_1(t)\times[R_{1\lambda}(t,0,T_1)+\\
&+R_{1\lambda}(t,0,T_2)+R_{\lambda\eta}(t)][\xi(t)-\eta(t)-\hat{\lambda}^1(t-T_1)-\\
&-\hat{\lambda}^1(t-T_2)];
\end{aligned}
\tag{29}
$$

$$
\begin{aligned}
&P_1(t)\frac{d\hat{\eta}(t)}{d\ t}=\alpha P_0(t)[m_\eta-\hat{\eta}(t)]+\\
&+\frac{2}{N_0}P_1(t)[R_{\lambda\eta}(t,0,T_1)+R_{\lambda\eta}(t,0,T_2)+\\
&+R_{1\eta}(t)][\xi(t)-\hat{\eta}(t)-\hat{\lambda}^1(t-T_1)-\hat{\lambda}^1(t-T_2)];
\end{aligned}
\tag{30}
$$

$$
\begin{aligned}
&P_1(t)\frac{\partial}{\partial\ t}R_{1\lambda}(t,\tau_1,\tau_2)=-P_1(t)[\frac{\partial}{\partial\tau_1}R_{1\lambda}(t,\tau_1,\tau_2)+\frac{\partial}{\partial\tau_2}R_{1\lambda}(t,\tau_1,\tau_2)]+\\
&+\alpha P_0(t)[R_0(t,\tau_1,\tau_2)+\hat{\lambda}^1(t-\tau_1)\hat{\lambda}^1(t-\tau_2)+\hat{\lambda}^0(t-\tau_1)\hat{\lambda}^0(t-\tau_2)-\\
&-\hat{\lambda}^0(t-\tau_1)\hat{\lambda}^1(t-\tau_2)-\hat{\lambda}^1(t-\tau_1)\hat{\lambda}^0(t-\tau_2)-R_{1\lambda}(t,\tau_1,\tau_2)]-\frac{2}{N_0}\times\\
&\times P_1(t)\{R_{1\lambda}(t,\tau_1,T_1)R_{1\lambda}(t,T_2,\tau_2)+R_{1\lambda}(t,\tau_1,T_1)R_{1\lambda}(t,T_2,\tau_2)+\\
&+R_{1\lambda}(t,\tau_1,T_2)R_{1\lambda}(t,T_1,\tau_2)+R_{1\lambda}(t,\tau_1,T_2)R_{1\lambda}(t,T_2,\tau_2)+R_{\lambda\eta}(t,\tau_1,0)\times\\
&\times[R_{1\lambda}(t,T_1,\tau_2)+R_{1\lambda}(t,T_2,\tau_2)]+R_{\lambda\eta}(t,0,\tau_2)[R_{1\lambda}(t,\tau_1,T_1)+R_{1\lambda}(t,\tau_1,T_2)]+\\
&+R_{\lambda\eta}(t,0,\tau_2)R_{\lambda\eta}(t,\tau_1,0)\};
\end{aligned}
\tag{31}
$$

$$
\begin{aligned}
&P_1(t)\frac{\partial}{\partial\ t}R_{1\lambda}(t,\tau_1,0)=-P_1(t)[\frac{\partial}{\partial\tau_1}R_{1\lambda}(t,\tau_1,0)-\gamma R_{1\lambda}(t,\tau_1,0)]+\alpha P_0(t)[R_0(t,\tau_1,0)+\\
&+\hat{\lambda}^1(t-\tau_1)\hat{\lambda}^1(t)+\hat{\lambda}^0(t-\tau_1)\hat{\lambda}^0(t)-\hat{\lambda}^0(t-\tau_1)\hat{\lambda}^1(t)-\hat{\lambda}^1(t-\tau_1)\hat{\lambda}^0(t)-R_{1\lambda}(t,\tau_1,0)]-\\
&-\frac{2}{N_0}P_1(t)\{R_{1\lambda}(t,\tau_1,T_1)R_{1\lambda}(t,T_2,0)+R_{1\lambda}(t,\tau_1,T_1)R_{1\lambda}(t,T_2,0)+\\
&+P_1(t)\frac{d}{d\ t}R_{1\lambda}(t)=-2P_1(t)\gamma\ R_{1\lambda}(t)+\alpha P_0(t)[R_0(t)+(\hat{\lambda}^1(t)-\hat{\lambda}^0(t))^2]-\\
&-\frac{2}{N_0}P_1(t)\{R_{1\lambda}(t,0,T_1)R_{1\lambda}(t,T_2,0)+R_{1\lambda}(t,0,T_1)R_{1\lambda}(t,T_2,0)+\\
&+R_{1\lambda}(t,0,T_2)R_{1\lambda}(t,T_1,0)+R_{1\lambda}(t,0,T_2)R_{1\lambda}(t,T_2,0)+R_{\lambda\eta}(t)[R_{1\lambda}(t,T_1,0)+\\
&+R_{1\lambda}(t,T_2,0)]+R_{\lambda\eta}(t)[R_{1\lambda}(t,0,T_1)+R_{1\lambda}(t,0,T_2)]+R^2{}_{1\lambda}(t)\}+P_1(t)\frac{N_\lambda}{2};
\end{aligned}
\tag{32}
$$

$$
\begin{aligned}
&P_1(t)\frac{\partial}{\partial\ t}R_{\lambda\eta}(t,\tau_1,\tau_2)=-P_1(t)[\frac{\partial}{\partial\ \tau_1}R_{\lambda\eta}(t,\tau_1,\tau_2)+\frac{\partial}{\partial\ \tau_2}R_{\lambda\eta}(t,\tau_1,\tau_2)]+\\
&+\alpha P_0(t)[(m_\eta-\hat{\eta}(t))(\hat{\lambda}^0(t-\tau_2)-\hat{\lambda}^1(t-\tau_2))-R_{\lambda\eta}(t,\tau_1,\tau_2)]-\\
&-\frac{2}{N_0}P_1(t)\{[R_{1\lambda}(t,\tau_1,T_1)+R_{1\lambda}(t,\tau_1,T_2)][R_{\lambda\eta}(t,T_1,\tau_2)+R_{\lambda\eta}(t,T_2,\tau_2)]+\\
&+R_{1\eta}(t,0,\tau_2)[R_{1\lambda}(t,\tau_1,T_1)+R_{1\lambda}(t,\tau_1,T_2)]+R_{\lambda\eta}(t,\tau_1,0)[R_{\lambda\eta}(t,T_1,\tau_2)+\\
&+R_{\lambda\eta}(t,T_2,\tau_2)]+R_{1\eta}(t,0,\tau_2)R_{\lambda\eta}(t,\tau_1,0)\};
\end{aligned}
\tag{33}
$$

$$
\begin{aligned}
&P_1(t)\frac{\partial}{\partial\ t}R_{\lambda\eta}(t,\tau_1,0)=-P_1(t)\frac{\partial}{\partial\ \tau_1}R_{\lambda\eta}(t,\tau_1,0)+\\
&\alpha P_0(t)[(m_\eta-\hat{\eta}(t))\times(\hat{\lambda}^0(t)-\hat{\lambda}^1(t))-R_{\lambda\eta}(t,\tau_1,0)]-\\
&\frac{2}{N_0}P_1(t)\{[R_{1\lambda}(t,\tau_1,T_1)+R_{1\lambda}(t,\tau_1,T_2)]\times\\
&\times[R_{\lambda\eta}(t,T_1,0)+R_{\lambda\eta}(t,T_2,0)]+\\
&+R_{1\eta}(t)[R_{1\lambda}(t,\tau_1,T_1)+R_{1\lambda}(t,\tau_1,T_2)]+\\
&+R_{\lambda\eta}(t,\tau_1,0)[R_{\lambda\eta}(t,T_1,0)+R_{\lambda\eta}(t,T_2,0)]+R_{1\eta}(t)R_{\lambda\eta}(t,\tau_1,0)\};
\end{aligned}
\tag{34}
$$

$$
\begin{aligned}
&P_1(t)\frac{d}{d\ t}R_{\lambda\eta}(t)=P_1(t)\frac{\partial f(t,\hat{\lambda}^1)}{\partial\hat{\lambda}^1}R_{\lambda\eta}(t)+\alpha P_0(t)[(m_\eta-\hat{\eta}(t))\times\\
&\times(\hat{\lambda}^0(t)-\hat{\lambda}^1(t))-R_{\lambda\eta}(t)]-\frac{2}{N_0}P_1(t)\{[R_{1\lambda}(t,0,T_1)+R_{1\lambda}(t,0,T_2)]\times\\
&\times[R_{\lambda\eta}(t,T_1,0)+R_{\lambda\eta}(t,T_2,0)]++R_{1\eta}(t)[R_{1\lambda}(t,0,T_1)+R_{1\lambda}(t,0,T_2)]+\\
&+R_{\lambda\eta}(t)[R_{\lambda\eta}(t,T_1,0)+R_{\lambda\eta}(t,T_2,0)]+R_{1\eta}(t)R_{\lambda\eta}(t)\};
\end{aligned}
\tag{35}
$$

$$P_1(t)\frac{\partial}{\partial t}R_{1\eta}(t,\tau_1,\tau_2)=-P_1(t)[\frac{\partial}{\partial \tau_1}R_{1\eta}(t,\tau_1,\tau_2)+\frac{\partial}{\partial \tau_2}R_{1\eta}(t,\tau_1,\tau_2)]+$$
$$+\alpha P_0(t)[\sigma_\eta^2+m_\eta{}^2-2m_\eta\hat{\eta}(t)+\hat{\lambda}^1(t-\tau_1)\hat{\lambda}^1(t-\tau_2)-R_{1\eta}(t,\tau_1,\tau_2)]-$$
$$-\frac{2}{N_0}P_1(t)\{[R_{\lambda\eta}(t,\tau_1,T_1)+R_{\lambda\eta}(t,\tau_1,T_2)][R_{\lambda\eta}(t,T_1,\tau_2)+R_{\lambda\eta}(t,T_2,\tau_2)]+$$
$$+R_{1\eta}(t,0,\tau_2)[R_{\lambda\eta}(t,\tau_1,T_1)+R_{\lambda\eta}(t,\tau_1,T_2)]+R_{1\eta}(t,\tau_1,0)[R_{\lambda\eta}(t,T_1,\tau_2)+$$
$$+R_{\lambda\eta}(t,T_2,\tau_2)]+R_{1\eta}(t,0,\tau_2)R_{1\eta}(t,\tau_1,0)\}; \quad (36)$$

$$P_1(t)\frac{\partial}{\partial t}R_{1\eta}(t,\tau_1,0)=-P_1(t)\frac{\partial}{\partial \tau_1}R_{1\eta}(t,\tau_1,0)+$$
$$+\alpha P_0(t)[\sigma_\eta^2+m_\eta{}^2-2m_\eta\hat{\eta}(t)+\hat{\lambda}^1(t-\tau_1)\hat{\lambda}^1(t)-R_{1\eta}(t,\tau_1,0)]-$$
$$-\frac{2}{N_0}P_1(t)\{[R_{\lambda\eta}(t,\tau_1,T_1)+R_{\lambda\eta}(t,\tau_1,T_2)][R_{\lambda\eta}(t,T_1,0)+R_{\lambda\eta}(t,T_2,0)]+$$
$$+R_{1\eta}(t)[R_{\lambda\eta}(t,\tau_1,T_1)+R_{\lambda\eta}(t,\tau_1,T_2)]+R_{1\eta}(t,\tau_1,0)[R_{\lambda\eta}(t,T_1,0)+ \quad (37)$$
$$+R_{\lambda\eta}(t,T_2,0)]+R_{1\eta}(t)R_{1\eta}(t,\tau_1,0)\};$$

$$P_1(t)\frac{d}{d\,t}R_{1\eta}(t)=\alpha P_0(t)[\sigma_\eta^2+m_\eta{}^2-2m_\eta\hat{\eta}(t)+\hat{\lambda}^{1\,2}(t)-R_{1\eta}(t)]-$$
$$-\frac{2}{N_0}P_1(t)\{[R_{\lambda\eta}(t,0,T_1)+R_{\lambda\eta}(t,0,T_2)][R_{\lambda\eta}(t,T_1,0)+R_{\lambda\eta}(t,T_2,0)]+$$
$$+R_{1\eta}(t)[R_{\lambda\eta}(t,0,T_1)+R_{\lambda\eta}(t,0,T_2)]+R_{1\eta}(t)[R_{\lambda\eta}(t,T_1,0)+ \quad (38)$$
$$+R_{\lambda\eta}(t,T_2,0)]+R_{1\eta}{}^2(t)\}.$$

Получим алгоритм построения обнаружителя ИП.

Согласно [4], алгоритм синтеза оптимального обнаружителя ИП, перефразированный на случай решаемой задачи, имеет вид.

$$\frac{d}{dt}P_0(t)=-\alpha P_0(t)+\beta P_1(t)+$$
$$+P_0(t)[\int\limits_{\Lambda}F(t,\lambda(t,\tau),0)W_0(t,\lambda_t(\tau))D\lambda_t(\tau)-F(t)], \quad (39)$$

$$\frac{d}{dt}P_1(t)=\alpha P_0(t)-\beta P_1(t)+$$
$$+P_1(t)[\int\limits_{\Lambda}\int\limits_{\eta}F(t,\lambda(t,\tau),\eta(t))W_1(t,\lambda_t(\tau),\eta(t))D\lambda_t(\tau)d\eta- \quad (40)$$
$$-F(t)].$$

Здесь $\lambda_t(\tau)=\lambda(t,\tau)$ в момент t, а интеграл по области Λ – континуальный интеграл Фейнмана по реализациям $\lambda(t,\tau)$. При этом

$$P_1(t)+P_0(t)=1, \quad (41)$$

$$F(t)=\int\limits_{\Lambda}\int\limits_{\eta}F(t,\lambda_t(\tau),\eta(t))W(t,\tau,\lambda_t(\tau),\eta(t))D\lambda_t(\tau)d\eta. \quad (42)$$

Так как согласно [3]

$$W(t,\tau,\lambda_t(\tau),\eta(t))=P_0(t)W_0(t,\lambda_t(\tau))\delta(\eta(t))+$$
$$+P_1(t)W(t,\lambda_t(\tau),\eta(t)), \quad (43)$$

то, например, (39) можно переписать в виде

$$\frac{d}{dt}P_1(t)=\alpha P_0(t)-\beta P_1(t)+P_1(t)[(1-P_1(t))\times$$
$$\times\int\limits_{\Lambda}\int\limits_{\eta}F(t,\lambda(t,\tau),\eta(t))W_1(t,\lambda_t(\tau),\eta(t))D\lambda_t(\tau)d\eta-P_0(t)\times \quad (44)$$
$$\times\int\limits_{\eta}F(t,\lambda(t,\tau),0)W_0(t,\tau,\lambda_t(\tau))D\lambda_t(\tau)]$$

или

$$\frac{d}{dt}P_1(t)=\alpha P_0(t)-\beta P_1(t)+$$
$$+P_1(t)P_0(t))[\int\limits_{\Lambda}\int\limits_{\eta}F(t,\lambda(t,\tau),\eta(t))\times$$
$$\times W_1(t,\lambda_t(\tau),\eta(t))D\lambda_t(\tau)d\eta- \quad (45)$$
$$-\int\limits_{\eta}F(t,\lambda(t,\tau),0)W_0(t,\tau,\lambda_t(\tau))D\lambda_t(\tau)].$$

Это уравнение примем за основное для дальнейших выкладок, которые, как правило, можно удобнее доводить до реализуемых на практике уравнений в каждой конкретной задаче (с применением гауссовой аппроксимации имеющихся функционалов плотностей вероятности W_0 и W_1).

В дальнейшем учитываем:

$$\hat{\lambda}^1(t,\tau)=\int\limits_{\Lambda}\int\limits_{\eta}\lambda(t,\tau)W_1(t,\tau,\lambda_t(\tau),\eta(t))D\lambda_t(\tau)d\eta,$$

$$\hat{\eta}(t)=\int\limits_{\Lambda}\int\limits_{\eta}\eta(t)W_1(t,\tau,\lambda_t(\tau),\eta(t))D\lambda_t(\tau)d\eta,$$

$$\hat{\lambda}^0(t,\tau)=\int\limits_{\Lambda}\lambda(t,\tau)W_0(t,\tau,\lambda_t(\tau)D\lambda_t(\tau),$$

а также известные соотношения, справедливые для любых случайных величин X и Y

$M[X^2]=D_x+m_x^2$, $M[XY]=R_{xy}+m_x m_y$ (D_x – дисперсия, R_{xy} – корреляционный момент).

В нашей задаче

$$F(t,\lambda,\eta)=\frac{1}{N_0}\{2\xi(t)[\lambda(t-T_1)+\lambda(t-T_2)+\eta(t)]-$$
$$-[\lambda(t-T_1)+\lambda(t-T_2)+\eta(t)]^2\},$$

поэтому

$$\int\limits_{\Lambda}\int\limits_{\eta}F(t,\lambda,\eta)W_1(t,\tau,\lambda_t(\tau),\eta(t))D\lambda_t(\tau)d\eta=$$
$$=\frac{1}{N_0}\{2\xi(t)[\hat{\lambda}^1(t-T_1)+\hat{\lambda}^1(t-T_2)+\hat{\eta}(t)]-$$

$$-[\hat{\lambda}^{1\,2}(t-T_1)+\hat{\lambda}^{1\,2}(t-T_2)+\hat{\eta}^2(t)+$$
$$+R_{1\lambda}(t,T_1,0)+R_{1\lambda}(t,0,T_2)+R_{1\eta}(t)]-$$
$$-2[R_{1\lambda}(t,T_1,T_2)+\hat{\lambda}^1(t-T_1)\hat{\lambda}^1(t-T_2)+$$
$$+R_{\lambda\eta}(t,T_1,0)+\hat{\lambda}^1(t-T_1)\hat{\eta}(t)+$$
$$+R_{\lambda\eta}(t,0,T_2)+\hat{\lambda}^1(t-T_2)\eta(t)]\},$$

$$\int\limits_{\Lambda} F(t,\lambda,0)W_0(t,\tau,\lambda_t(\tau))D\lambda_t(\tau)=$$
$$=\frac{1}{N_0}\{2\xi(t)[\hat{\lambda}^0(t-T_1)+\hat{\lambda}^0(t-T_2)]-$$
$$-[\hat{\lambda}^{0\,2}(t-T_1)+\hat{\lambda}^{0\,2}(t-T_2)+$$
$$+R_0(t,T_1,0)+R_0(t,0,T_2)]-$$
$$-2[R_0(t,T_1,T_2)+\hat{\lambda}^0(t-T_1)\hat{\lambda}^0(t-T_2)]\}.$$

Окончательно, уравнение обнаружения ИП примет вид

$$\frac{d}{dt}P_1(t)=-\beta P_1(t)+\alpha P_0(t)+\frac{P_1(t)P_0(t)}{N_0}\times$$
$$\times\{2\xi(t)[\hat{\lambda}^1(t-T_1)+\hat{\lambda}^1(t-T_2)+\hat{\eta}(t)-$$
$$-\hat{\lambda}^0(t-T_1)-\hat{\lambda}^0(t-T_2)]-[\hat{\lambda}^{1\,2}(t-T_1)+$$
$$+\hat{\lambda}^{1\,2}(t-T_2)+\hat{\eta}^2(t)+R_{1\lambda}(t,T_1,0)+R_{1\lambda}(t,0,T_2)+$$
$$+R_{1\eta}(t)-\hat{\lambda}^0(t-T_1)-\hat{\lambda}^0(t-T_2)-$$
$$-R_0(t,T_1,0)-R_0(t,0,T_2)]-2[R_{1\lambda}(t,T_1,T_2)+$$
$$+\hat{\lambda}^1(t-T_1)\hat{\lambda}^1(t-T_2)+R_{\lambda\eta}(t,T_1,0)+ \tag{46}$$
$$+\hat{\lambda}^1(t-T_1)\hat{\eta}(t)+R_{\lambda\eta}(t,0,T_2)+$$
$$+\hat{\lambda}^1(t-T_2)\hat{\eta}(t)-\hat{\lambda}^0(t-T_1)\hat{\lambda}^0(t-T_2)-$$
$$-R_0(t,T_1,T_2)]\},$$

причем это уравнение необходимо решать совместно с (41).

Уравнения (28) – (41), (46) образуют алгоритм фильтрации двулучевого сигнала. Структура этого алгоритма говорит о том, что функциональная схема приемника может быть разделена на три основных блока: обнаружитель ИП, блок оценивания ИП и блок оценивания параметра. Следует отметить, что при больших отношениях ИП/сигнал алгоритмы существенно упрощаются и, как правило, отпадает необходимость отдельного построения фильтра при отсутствии ИП.

В заключение отметим, что предложенная методика может быть использована не только в радиотехнике, но и в любых других отраслях науки и техники в случаях наличия импульсных полей и процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ершов Л.А., Коренной А.В.* Квазиоптимальные алгоритмы фильтрации взаимозадержанных марковских процессов // Радиотехника. 1994. № 10.
2. *Коренной А.В., Романенко Г.В.* Квазиоптимальная фильтрация случайных полей при наличии пространственно-распределенных импульсных помех // Радио и волоконно-оптическая связь, локация и навигация: Материалы Всерос. науч.-технич. конф. Воронеж, 1997. Т. 2. С. 601-607.
3. *Бацунов В.П., Романенко Г.В.* Квазиоптимальная фильтрация импульсных случайных полей // Направления развития систем и средств радиосвязи: Материалы Всерос. науч.-технич. конф. Воронеж, 1996. Т. 1 С. 201-206.
4. *Коренной А.В., Романенко Г.В., Горев П.Г.* Совместная оптимальная фильтрация непрерывных и импульсных случайных полей // Информационные технологии и системы. Воронеж: МАИ (Воронеж. отдел.), 1996. № 1. С. 13-17.

Поступила в редакцию 22 июня 2000 г.