

Рязанская государственная радиотехническая академия
390001, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1
Тел.: (0912) 72 05 53, Факс: (0912) 72 22 15
E-mail: parshin@rgta.ryazan.ru

На основе оценочно-корреляционно-компенсационного подхода синтезирован алгоритм оптимальной обработки сигналов совместно с оценкой параметров пространственного кодирования и пространственной структуры приема-передающего тракта. Связь получаемых пространственных структур с характером флуктуаций канала учитывается при синтезе оптимальных пространственных структур методом максимального правдоподобия.

1. Введение

Характеристики приема-передающего тракта во многом определяют пропускную способность канала связи. Вид замираний сигнала, расположение приемных и передающих антенн, обработка сигнала в передающем устройстве – эти факторы влияют на эффективность радиосистемы не меньше, чем оптимизация обработки сигнала на приемной стороне. Вместе с тем, часто эти вопросы рассматривают изолированно, что не позволяет получить предельную эффективность. Предлагается оптимизацию пространственной структуры проводить с учетом всех факторов, характеризующих сигнально-помеховую обстановку и условия работы системы, путем формирования максимально правдоподобных оценок расширенного вектора параметров.

Синтез оптимального алгоритма приема полезного сигнала проводится совместно с вычислением максимально правдоподобной оценки расширенного вектора параметров, включающего координаты элементов приемной и передающей антенной решетки, а также коэффициенты матрицы пространственного кодирования. Многие задачи обработки сигналов ориентированы на использование радиосигналов, поэтому в дальнейшем наблюдаемое поле в общем случае будем характеризовать его комплексной огибающей. Положим, что наблюдаемое скалярное поле представляет собой сумму комплексных огибающих полезного сигнала и помехи:

$$Z_t = HF X_t + \Xi_t, \quad t \in [0, T],$$

где H - $N \times M$ матрица комплексных коэффициентов распространения сигнала от каждой передающей антенны к каждой приемной антенне, F - $M \times K$ комплексная матрица пространственного кодирования передаваемых сигналов, X_t - K -мерный вектор полезных сигналов, каждый из которых представляет собой независимый гауссовский процесс. Ξ_t - N -мерный вектор независимых белых гауссовских шумов с матрицей интенсивностей $M \{ \Xi \Xi^H \} = \frac{N_0}{2} I$, X_{tx}, X_{rx} - координаты передающих и приемных антенн, определяющие пространственную структуру системы. Отметим, что координаты X_{tx}, X_{rx} существенно влияют на матрицу канальных коэффициентов: $H = H(X_{tx}, X_{rx})$; в дальнейшем для простоты записи зависимость от координат в явном виде может не указываться.

Следуя представлениям работ [2-4], положим, что параметры матрицы F , а также векторов координат X_{tx}, X_{rx} могут быть приняты как неизвестные параметры оцениваемого сигнала, а их оценки получены методом максимального правдоподобия совместно с фильтрационной оценкой полезного сигнала X_t . Таким образом, в результате решения задачи оценивания неизвестных параметров определяется оптимальная пространственная структура, оптимальная матрица пространственного кодирования и проводится фильтрация полезного сигнала.

2. Синтез алгоритма оптимального приема сигналов с оптимизацией приема-передающего тракта

Пусть случайный процесс X_t формируется из D -мерного вектора состояний V_t , заданного дифференциальным уравнением [6]:

$$X_t = BV_t, \quad \frac{dV_t}{dt} = AV_t + GE_t$$

где коэффициенты A, B, G - комплексные матрицы, E_t - вектор независимых белых гауссовских шумов, имеющих действительную неотрицательно-определенную симметричную корреляционную матрицу Q и $M\{EE^T\} = 0$ [6], B - $K \times D$ формирующая матрица, элементы которой принимают значения 0 или 1.

Оценка неизвестных параметров $W = \{X_{ix}, X_{ix}, F\}$ полезного сигнала по критерию максимального правдоподобия совместно с фильтрацией полезного сигнала получаются в результате решения экстремальной задачи:

$$\mathcal{W} = \arg \sup_W \lambda(W)$$

а логарифм условного отношения правдоподобия $\lambda(W)$ определяется оценочно-корреляционно-компенсационным методом [1]:

$$\lambda(W) = \frac{1}{N_0} \operatorname{Re} \left\{ \int_0^T HF \mathcal{X}_t Y_t dt - \frac{1}{2} \int_0^T HF \mathcal{X}_t^H \mathcal{X}_t F^H H^H dt \right\}$$

где $\mathcal{X}_t = M\{X_t / Z_0^t, W\}$ - условная среднеквадратическая оценка процесса по наблюдаемым данным $Z_0^t = \{Z_\tau, 0 < \tau < t\}$, измеряемым при значении координат \mathcal{W} , индекс H обозначает эрмитово сопряжение матриц.

Условная среднеквадратическая оценка полезного сигнала X_t равна $\mathcal{X}_t = A \mathcal{F}_t(\mathcal{W})$, где \mathcal{F}_t определяется при оптимальном значении параметров пространственной структуры \mathcal{W} уравнением:

$$\frac{d\mathcal{F}_t}{dt} = A \mathcal{F}_t + K_t B^H \frac{1}{N_0} (Z_t - HFB \mathcal{F}_t),$$

где матрица K_t апостериорных дисперсий вектора состояний задана нелинейным дифференциальным уравнением [6]:

$$\frac{dK_t}{dt} = AK_t + K_t A^H - K_t B^H B K_t + GQG^H.$$

3. Компенсация внутрисистемных помех в системе с оптимизацией приемо-передающего тракта

При одновременной передаче сигналов двум приемникам возникают внутрисистемные помехи, уровень которых зависит от уровня мешающего сигнала, передаваемого другому приемнику. В этом случае оптимизация пространственной структуры приемо-передающего тракта совместно с пространственным кодированием дает принципиальную возможность одновременной работы двух станций.

Наблюдаемый процесс в каждом из приемников имеет вид, аналогичный (1):

$$Z_t^{(i)} = H^{(i)} F X_t + \Xi_t^{(i)}, \quad t \in [0, T], \quad i = 1, 2$$

$X_t = [X_t^{(1)}; X_t^{(2)}] = [B^{(1)}; B^{(2)}] \times V_t$ - вектор полезных сигналов, передаваемых 1-му и 2-му приемникам.

Логарифм отношения правдоподобия при наблюдении сигналов в одном из приемников имеет вид:

$$\lambda_i(W) = \frac{1}{N_0} \operatorname{Re} \left\{ \int_0^T H^{(i)} F (\mathcal{X}_t^{(1,i)} + \mathcal{X}_t^{(2,i)}) Z_t^{(i)} dt - \frac{1}{2} \int_0^T H^{(i)} F (\mathcal{X}_t^{(1,i)} + \mathcal{X}_t^{(2,i)})^H (\mathcal{X}_t^{(1,i)} + \mathcal{X}_t^{(2,i)}) F^H H^{(i)H} dt \right\},$$

где $F = [F^{(1)}; F^{(2)}]$, $F^{(i)}$ - матрицы пространственного кодирования сигналов для каждого из приемников, $H^{(i)}$ - матрица канальных коэффициентов для i -го приемника, $X_t^{(ji)}$ - оценка сигнала, передаваемого j -му приемнику по результатам наблюдений i -го приемника.

Для оценки полезного сигнала при действии мешающего сигнала используется алгоритм совместной фильтрации всего вектора по наблюдаемым данным i -го приемника:

$$\frac{d\mathcal{E}_i^{(i)}}{dt} = A\mathcal{E}_i^{(i)} + K_i B^H \frac{1}{N_0} \left(Z_i^{(i)} - H^{(i)} F^{(i)} B^{(i)} \mathcal{E}_i^{(i)} - H^{(i)} F^{(j)} B^{(j)} \mathcal{E}_i^{(i)} \right), \quad i \neq j.$$

Как следует из выражения (8), в результате совместной фильтрации сигналов обеспечивается подавление мешающего сигнала при выделении полезного сигнала.

4. Заключение

Решение задачи оптимизации пространственной структуры приемо-передающего тракта методом максимального правдоподобия позволяет сформулировать единый алгоритм приема полезных сигналов в присутствии вектора неинформационных параметров, в который включены координаты приемных и передающих антенн, а также элементы матрицы пространственного кодирования. Совместная оптимизация этих параметров позволит ослабить ограничения технической реализации: число передающих и приемных антенн, скорость изменения подстраиваемых параметров по сравнению со скоростью флуктуаций канальных коэффициентов.

Работа выполнялась при поддержке гранта Т00-2.4-2257 Министерства образования Российской Федерации.

Библиография

1. Сосулин Ю.Г, Паршин Ю.Н. Оценочно - корреляционно-компенсационная обработка многомерных сигналов // Радиотехника и электроника, 1981, т.26, № 8, с.1635-1643.
2. Паршин Ю.Н., Гусев С.И. Синтез пространственной структуры системы оценочно-корреляционной обработки сигналов // 1-я Международная конференция "Цифровая обработка сигналов и ее применения". Доклады, т. III. - М.: МЦНТИ, 1998. - С.29-36.
3. Паршин Ю.Н., Гусев С.И. Оптимальный прием дискретных сообщений системой обработки с оптимальной пространственной структурой // Радиотехника и электроника. - 2000. - Т. 45, №3. – С. 305-312 .
4. Паршин Ю.Н., Гусев С.И. Регуляризованный алгоритм синтеза робастных пространственных структур радиосистем // 3-я Международ. конф. "Цифровая обработка сигналов и ее применение". Доклады, т.2 . - М.: РНТОРЭС, 2000. - С. 26-29 .
5. Монзинго Р.А., Миллер Т.У. Адаптивные антенные решетки.-М.:Радио и связь, 1986.
6. Сейдж Э., Мелс Дж. Теория оценивания и ее применение в связи и управлении. - М.: Связь, 1976.

SYNTHESIS OF OPTIMUM SPATIAL STRUCTURES RECEIVER-TRANSMITTING PATH OF RADIOSYSTEMS

Parshin Yu.

Ryazan State Radioengineering Academy
Gagarin St., 59 / 1, Ryazan, Russia, 390005
Tel.: (+7-0912) 72 99 14, E-mail: parshin@rgrta.ryazan.ru

On a basis of estimation-correlation-compensation approach the algorithm of optimum processing of signals together with an estimation of parameters of spatial coding and spatial structure of a receiver-transmitting path is synthesized. The connection of received spatial structures with character of the channel fading is taken into account at synthesis of optimum spatial structures by a method of the maximum-likelihood ratio.

The characteristics of a receiver-transmitting path in many respects define throughput of the channel of communication. A kind of a signal fading, arrangement of reception and transmitting aerials, processing of a signal in the transmitting device - these factors influence efficiency of radiosystem not less, than optimization of processing of a signal on the reception party. At the same time, frequently these questions examine is isolated, that does not allow to receive a marginal efficiency. It is offered optimization of spatial structure to carry out in view of all factors describing signal-interference conditions and a condition of work of system, by formation of maximum-likelihood estimations of the extended vector of parameters. The synthesis of optimum algorithm of reception of a useful signal will be carried out together with calculation of a maximum-likelihood estimation of the extended vector of parameters including coordinates of elements by the reception and transmitting antennas array, and also factors of a matrix of spatial coding. Many tasks of processing of signals are focused on use of radiosignals, therefore in the further observable field generally we shall characterize by its complex bending around.

Let's assume, that the observable scalar field represents the sum complex envelope of a useful signal and noise: $Z_t = HF X_t + \Xi_t$, $t \in [0, T]$, where H - matrix of complex factors of propagation of a signal from each transmitting antennas to each reception antennas, $F - M \times K$ a complex matrix of spatial coding of transmitted signals, X_t - vector of useful signals, each of which represents independent gaussian process. Ξ_t - a vector independent white gaussian noise with a spectral density matrix N_0 , X_{tx}, X_{rx} - coordinate of transmitting and reception aerials determining spatial structure of system. Let's note, that the coordinates X_{tx}, X_{rx} essentially influence a matrix of channel factors: $H = H(X_{tx}, X_{rx})$. The parameters of a matrix F , and also vectors of coordinates X_{tx}, X_{rx} can be accepted as unknown parameters of an estimated signal, and their estimations are received by a maximum-likelihood method together with an estimation of a useful signal X_t . Thus, as a result of the decision of a estimation problem of unknown parameters the optimum spatial structure is derived, the optimum matrix of spatial coding and will be carried out a filtration of a useful signal. An estimation of unknown parameters $W = \{X_{tx}, X_{rx}, F\}$ of a useful signal by criterion of the maximum likelihood together with a filtration of a useful signal it turn out. The logarithm of the likelihood ratio is obtained by estimation-correlation-compensation method. By simultaneous transmit of signals to two receivers arise interior interference, which level depends on a level of an interfering signal transmitted to other receiver. In this case optimization of spatial structure of a receiver-transmitting path in common and spatial coding gives a basic opportunity of simultaneous work of two stations.

The decision of a task of optimization of spatial structure of a receiver-transmitting path by a maximal-likelihood method allows to formulate uniform algorithm of reception of useful signals at the presence of a vector of not information parameters, in which the coordinates of reception and transmitting arrays, and also elements of a matrix of spatial coding are included. The joint optimization of these parameters will allow to eliminate restrictions of technical realization: number of transmitting and reception arrays, speed of change of arranged parameters in comparison with speed fading of channel coefficients.

The work was fulfilled at support of the grant T00-2.4-2257 of Ministry of education of Russian Federation.