УДК 621. 396. 677.49

МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ В ЛИНИЯХ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ

А.Г. Малицкий
(представил д.т.н., проф. В.В. Поповский)

Рассматривается алгоритм управления в линиях подвижной радиосвязи, сводящийся к синтезу управления наблюдением. Даны практические рекомендации по организации этого управления. Показано, что адаптивный компенсатор помех Уидроу является разновидностью управления наблюдением.

В линиях подвижной радиосвязи (ЛПС), к которым относятся линии профессиональной связи (милиции, скорой и др.), сотовые, транкинговые и т.д., сигнально - помеховая обстановка достаточно сложна и слабо прогнозируема. Поэтому практически во всех системах подвижной связи (СПС) предусматриваются возможности управления параметрами при изменении состояния связи: управление мощностью передатчиков, частотой, антенными характеристиками (так называемые "интеллектуальные антенны") и др.

Сигнально - помеховая обстановка характеризуется состоянием $(\vec{x}(t))^T = (x_1, x_2, ..., x_n)$, где n - число параметров, описывающих это состояние. При этом можно синтезировать управление как функцию состояния

$$\vec{u}(t) = \varphi(\vec{x}(t)). \quad (1)$$

В самом общем случае $\vec{x}(t)$ должен учитывать все состояния элементов СПС, приемников и передатчиков. Однако, при таком управлении между указанными элементами должны быть обеспечены соответствующие линии связи, по которым передается само управление $\vec{u}(t)$. Очевидно, организация сети дополнительных линий связи специально для управления в массовых системах невозможна как с точки зрения большого расхода материальных средств, так и значительного расхода частотного и других ресурсов, а также из - за усложнения проблемы электромагнитной совместимости в системе. Более перспективным является управление параметрами наблюдения полезного сигнала, не требующего дополнительных каналов [1, 2]. Наблюдение в линейных системах представляется в виде

$$\mathbf{y(t) = H(t)\ X(t) + \xi\ (t)}, \tag{2}$$

где $\mathbf{H(t)}$ - матрица наблюдения, показывающая во сколько раз необходимоусилить или ослабить сигнал $\mathbf{X(t)}$;

$\boldsymbol{\xi}\ \mathbf{(t)}$ - помехи по наблюдению.

Размерность матрицы $\mathbf{H(t)}$ имеет такое же значение, которое имеет и базис нашего наблюдения. Таким образом, управление наблюдением сводится к управлению базисом наблюдения (частотным, временным, пространственным или поляризационным).

При таком подходе влияние управления $\mathbf{\vec{u}\,(t)}$ проявится через изменение апостериорной информации, через апостериорное распределение вероятностей $\mathbf{p(\hat{x}/y)}$, где $\mathbf{\hat{x}(t)}$ - оценка состояния системы по выбранному критерию

$$\mathbf{Z} = \left\{\mathbf{Z_i}\boldsymbol{\phi}\left(\mathbf{\vec{x}} - \mathbf{\hat{x}}\right) \le \boldsymbol{\varepsilon}\right\}, \tag{3}$$

где критериальная область $\boldsymbol{\phi}\left(\mathbf{\vec{x}} - \mathbf{\hat{x}}\right)$ может иметь форму шара

$$\boldsymbol{\phi}\left(\mathbf{\vec{x}} - \mathbf{\hat{x}}\right) = \left\{\left(\mathbf{\vec{x}} - \mathbf{\hat{x}}\right)^{\mathbf{T}} \cdot \left(\mathbf{\vec{x}} - \mathbf{\hat{x}}\right)\right\}^{\mathbf{1/2}} \text{ или куба } \boldsymbol{\phi}\left(\mathbf{\vec{x}} - \mathbf{\hat{x}}\right) = \max_{\mathbf{j}}\left(\mathbf{\vec{x}_j} - \mathbf{\hat{x}_j}\right),$$

где $\mathbf{j = 1, 2, 3, \ldots n}$.

При этом величина ошибки $\mathbf{\Delta\vec{x}} = \left(\mathbf{\vec{x}} - \mathbf{\hat{x}}\right) \le \boldsymbol{\varepsilon}$ - допустимое малое число.

Для линейной системы и линейных наблюдений часто выбирают критерий минимума среднего квадрата ошибки $\mathbf{\Delta\vec{x}}$,что приводит к алгоритму Калмана:

$$\frac{\mathbf{d\vec{x}(t)}}{\mathbf{dt}} = \mathbf{F(t)\hat{x}(t) + K(t)}\left[\mathbf{Y(t) - H(t)\hat{x}(t)}\right], \tag{4}$$

$$\mathbf{K}\left(\mathbf{t}\right) = \mathbf{V_x}\left(\mathbf{t}\right)\mathbf{H^T}\left(\mathbf{t}\right)\mathbf{N_x^{-1}}\left(\mathbf{t}\right),$$

где $\mathbf{V_x}\left(\mathbf{t}\right)$ - апостериорная ошибка оценки

$$\begin{aligned}\frac{\mathbf{dV_x}\left(\mathbf{t}\right)}{\mathbf{dt}} &= \mathbf{F}\left(\mathbf{t}\right)\mathbf{V_x}\left(\mathbf{t}\right) + \mathbf{V_x}\left(\mathbf{t}\right)\mathbf{F^T}\left(\mathbf{t}\right) - \\ &- \mathbf{V_x}\left(\mathbf{t}\right)\mathbf{H^T}\left(\mathbf{t}\right)\mathbf{N_\xi^{-1}}\left(\mathbf{t}\right)\mathbf{H}\left(\mathbf{t}\right)\mathbf{V_x}\left(\mathbf{t}\right) + \mathbf{G}\left(\mathbf{t}\right)\mathbf{N_n}\left(\mathbf{t}\right)\mathbf{G^T}\left(\mathbf{t}\right)\ ,\end{aligned} \tag{5}$$

где $\mathbf{N_\xi}\left(\mathbf{t}\right), \mathbf{N_n}\left(\mathbf{t}\right)$ - соответственно, значение спектральных плотностей мощности шумов наблюдения и модели.

Уравнение наблюдения при этом приобретает несколько иной, чем (2) вид

$$\mathbf{Y}\left(\mathbf{t}\right) = \mathbf{H}\left(\mathbf{t}\right)\mathbf{\hat{x}}\left(\mathbf{t}\right) + \mathbf{D}\left(\mathbf{t}\right)\mathbf{\vec{u}}\left(\mathbf{t}\right) + \boldsymbol{\vec{\xi}}\left(\mathbf{t}\right), \tag{6}$$

где $\mathbf{\vec{u}(t)} = \boldsymbol{\varphi}\left(\mathbf{\hat{x}(t)}\right)$ - управление системой наблюдения, взвешенное в соответствии с матричным коэффициентом $\mathbf{D(t)}$.

Результаты наблюдения (6) могут быть как стандартными (при наличии одной антенны) или векторными (при $\mathbf{n}$ антеннах). Вместе с тем, само наблюдение можно организовать в любом сечении приемного тракта. Так, в задачах адаптивной компенсации помех (АКП) наблюдают сигнал на выходе общего сумматора, где как раз и осуществляется процедура компенсации

$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{H}_1 \mathbf{x}_1(t) + \mathbf{H}_2 \mathbf{x}_2(t) + \xi(t), \qquad (7)$$

где $\mathbf{x}_1(t)$ - наблюдаемая реализация в основном канале; $\mathbf{x}_2(t)$ - в опорном канале; $\mathbf{H}_1$, $\mathbf{H}_2$ - управляемые коэффициенты в каналах наблюдения, образующие вектор $\vec{\mathbf{H}}^T(t) = (\mathbf{H}_1; \mathbf{H}_2)$.

Наблюдение **y(t)** остается при этом скалярным. Именно эти составляющие и подлежат оценке в процедуре (4). Переобозначая вектор весовых коэффициентов $\vec{\mathbf{H}}^T(t)$ традиционно как $\vec{\mathbf{W}}(t)$, получаем уравнение

$$\frac{d\hat{\mathbf{W}}(t)}{dt} = \mathbf{F}(t)\hat{\mathbf{W}}(t) + \mathbf{K}(t)\left[\mathbf{y}(t) - \hat{\mathbf{W}}(t)\vec{\mathbf{x}}(t)\right]. \qquad (8)$$

Отметим, что без первого слагаемого в правой части формула (8) преобразуется в классическое уравнение Уидроу. Данное слагаемое $\mathbf{F}(t)\hat{\mathbf{W}}(t) = 0$ в том случае, когда сигнально - помеховая обстановка остается неизменной и базис наблюдения, определяемый $\vec{\mathbf{H}}(t) \equiv \vec{\mathbf{W}}(t)$ - неизменен. В общем же случае матрица коэффициентов **F(t)** определяет скорость изменения базиса наблюдения.

Полученный алгоритм (8) позволяет решать и другие задачи управления, если он реализуется как управление процессом наблюдения. К ним можно отнести управление частотой, мощностью и др. с едины позиций. Управление процессом наблюдения является мощным рычагом, позволяющим адаптироваться в сложных, изменяющихся условиях приема полезных сигналов к обстановке, типичной для СПС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карлов В.И., Красильщиков М.Н., Малышев В.В. Управление процессом наблюдения в условиях статистической неопределенности // Изв. АН СССР "Техническая кибернетика" - 1989. - № 2 - С. 39 – 55.

2. Родимов А.П., Поповский В.В. Статистическая теория поляризационно - временной обработки сигналов и помех в линиях связи. - М.: Радио и связь, 1984. - 285 с.