

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 $(\vec{x}(t))^T = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, 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

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

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

$\xi(t)$ - 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 $\bar{\mathbf{u}}(t)$ проявится через изменение апостериорной информации, через апостериорное распределение вероятностей $\mathbf{p}(\bar{\mathbf{x}}/\mathbf{y})$, где $\bar{\mathbf{x}}(t)$ - оценка состояния системы по выбранному критерию

$$\mathbf{Z} = \{Z_i \phi(\bar{\mathbf{x}} - \hat{\mathbf{x}}) \leq \varepsilon\}, \quad (3)$$

где критериальная область $\phi(\bar{\mathbf{x}} - \hat{\mathbf{x}})$ может иметь форму шара

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

где $j = 1, 2, 3, \dots, n$.

При этом величина ошибки $\Delta \bar{\mathbf{x}} = (\bar{\mathbf{x}} - \hat{\mathbf{x}}) \leq \varepsilon$ - допустимое малое число.

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

$$\frac{d\bar{\mathbf{x}}(t)}{dt} = \mathbf{F}(t)\bar{\mathbf{x}}(t) + \mathbf{K}(t)[\mathbf{Y}(t) - \mathbf{H}(t)\bar{\mathbf{x}}(t)], \quad (4)$$

$$\mathbf{K}(t) = \mathbf{V}_x(t)\mathbf{H}^T(t)\mathbf{N}_x^{-1}(t),$$

где $\mathbf{V}_x(t)$ - апостериорная ошибка оценки

$$\begin{aligned} \frac{d\mathbf{V}_x(t)}{dt} = & \mathbf{F}(t)\mathbf{V}_x(t) + \mathbf{V}_x(t)\mathbf{F}^T(t) - \\ & - \mathbf{V}_x(t)\mathbf{H}^T(t)\mathbf{N}_x^{-1}(t)\mathbf{H}(t)\mathbf{V}_x(t) + \mathbf{G}(t)\mathbf{N}_n(t)\mathbf{G}^T(t), \end{aligned} \quad (5)$$

где $\mathbf{N}_x(t), \mathbf{N}_n(t)$ - соответственно, значение спектральных плотностей мощности шумов наблюдения и модели.

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

$$\mathbf{Y}(t) = \mathbf{H}(t)\bar{\mathbf{x}}(t) + \mathbf{D}(t)\bar{\mathbf{u}}(t) + \bar{\xi}(t), \quad (6)$$

где $\bar{\mathbf{u}}(t) = \phi(\bar{\mathbf{x}}(t))$ - 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 n антеннах). Вместе с тем, само наблюдение можно организовать в любом сечении приемного

тракта. Так, в задачах адаптивной компенсации помех (АКП) наблюдаются сигнал на выходе общего сумматора, где как раз и осуществляется процедура компенсации

$$y(t) = \mathbf{H}_1 x_1(t) + \mathbf{H}_2 x_2(t) + \xi(t), \quad (7)$$

где $x_1(t)$ - наблюдаемая реализация в основном канале; $x_2(t)$ - в опорном канале; $\mathbf{H}_1, \mathbf{H}_2$ - управляемые коэффициенты в каналах наблюдения, образующие вектор $\bar{\mathbf{H}}^T(t) = (\mathbf{H}_1; \mathbf{H}_2)$.

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

$$\frac{d\bar{\mathbf{W}}(t)}{dt} = \mathbf{F}(t)\bar{\mathbf{W}}(t) + \mathbf{K}(t)[y(t) - \bar{\mathbf{W}}(t)\bar{x}(t)]. \quad (8)$$

Отметим, что без первого слагаемого в правой части формула (8) преобразуется в классическое уравнение Уидроу. Данное слагаемое $\mathbf{F}(t)\bar{\mathbf{W}}(t) = \mathbf{0}$ в том случае, когда сигнально - помеховая обстановка остается неизменной и базис наблюдения, определяемый $\bar{\mathbf{H}}(t) \equiv \bar{\mathbf{W}}(t)$ - неизменен. В общем же случае матрица коэффициентов $\mathbf{F}(t)$ 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 единых 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 поляризованно - временной обработки сигналов и помех в линиях связи. - М.: Радио и связь, 1984. - 285 с.