

УДК 62-52

Ф.Б. Рогальский, Д.А. Бражник

ОПТИМИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕХАНИЗМА ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА

У статті розглянуто опис інформаційно-керуючих систем в інформаційному просторі як систем взаємодіючих інформаційних потоків. Дано визначення ефективності інформаційно-керуючих систем, розглянуто питання динаміки і проблему оптимального управління в інформаційно-керуючих системах.

Введение. Информационно-управляющие системы (ИУС) предназначены решать определенный набор бизнес-заданий предприятия. Как известно, деятельность предприятия предполагает наличие различных составляющих, таких, как объекты управления, органы принятия решений и управления, внешние объекты и др. Информационное отображение физических объектов или процессов представляет собой информационный объект, а их совокупность, которая информационно отображает свойства системы и протекающие в ней процессы, образует информационное пространство [1, 2].

ИУС отличается значительными объемами информации, перерабатываемой системой в процессе принятия управленческих решений. Такие системы характеризуются высоким уровнем использования технических средств хранения, обработки и представления информации. Важной тенденцией в их развитии является снижение влияния случайных факторов на работу информационного контура системы, что позволяет считать определяющей динамику технической части системы [3]. Однако анализ систем данного класса остаётся сложной задачей из-за неоднозначности учёта и анализа потоков информации в системе.

В работе предпринято попытку рассмотреть особенности оптимизации информационно-управляющих систем с использованием механизма информационного пространства.

Решение задачи. Функционирование объектов, составляющих предприятие, характеризуется разнообразными параметрами. Так на уровне технологического процесса такими параметрами являются: температура, скорость, давление, количество, качественные и количественные показатели и т.д. Датчики, установленные на объекте, преобразуют параметры в сигналы. Таким образом, пространство отдельного информационного объекта состоит из таких компонентов, как пространство первичных сообщений, выделяемых источниками полезных сигналов; пространство вторичных сообщений, определяемых по первичным сообщениям; пространство полезных сигналов воздействия на объект, формируемое источниками сигналов обратной связи и др. Пространство объекта взаимодействует с пространствами других объектов через физическую среду обмена сообщениями. Сигналы от датчиков образуют пространство сигналов от объекта, как компонент информационного пространства. Это позволяет получить пространство образов, а уже затем происходит процесс принятия решения. Пространство органов принятия решений взаимодействует со всеми пространствами, включая пространства внешних источников информации.

В дальнейшем под информационным пространством будем понимать множество оценок количества информации элементов пространства состояния информационного объекта, причем на множестве оценок информации определены операции и алгебра – правила композиции этих операций, а также норма и метрика [4]. Собственно это обыкновенное нормированное метрическое пространство, отличающееся только тем, что оно сопряжено с пространством состояний системы.

Существенной особенностью данного подхода является предположение первичности информации, как причины действия, что позволяет рассматривать не только вероятностные, но и детерминированные компоненты пространства состояний [5].

Рассматривая детерминированную модель динамики системы в виде формы Коши

$$\dot{\mathbf{x}} = \varphi(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}}, \mathbf{u}), \quad (1)$$

и интегральный критерий качества системы как функционал вида

$$J = \int_{t_0}^{t_1} f(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}}, \mathbf{u}, t) dt; \quad (2)$$
$$\left. \begin{aligned} \mathbf{x}(t_0) &= \mathbf{x}_0 \\ \mathbf{x}(t_1) &= \mathbf{x}_1 \end{aligned} \right\}$$

построим норму в информационном пространстве, используя предположение аналитичности критерия $J=J(\mathbf{I})$, где информация определяется вектором $\mathbf{I}$:

$$\mathbf{I} = \begin{bmatrix} I_1 \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Для этого, следуя [2], представим критерий качества системы степенным рядом

$$J = J_{|\mathbf{I}^*} + \frac{1}{1!} \frac{\partial J}{\partial \mathbf{I}}_{|\mathbf{I}^*} \Delta \mathbf{I} + \frac{1}{2!} \Delta \mathbf{I}^T A_{|\mathbf{I}^*} \Delta \mathbf{I} + \dots + R. \quad (4)$$

Предположим, что чувствительности функционала по компонентам вектора информации не зависят от времени и остальных факторов, что предполагает линейную зависимость информации от функционала оценки качества системы

$$\frac{\partial J}{\partial \mathbf{I}} = \mathbf{\alpha}, \quad \mathbf{\alpha} = \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \vdots \\ \alpha_n \end{bmatrix}, \quad (5)$$

что дает для определения нормы информации систему уравнений:

$$\left. \begin{array}{l} \frac{\partial J}{\partial I_1} = \alpha_1 \\ \vdots \\ \frac{\partial J}{\partial I_n} = \alpha_n \end{array} \right\} \rightarrow \left. \begin{array}{l} I_1 = \frac{1}{\alpha_1} J \\ \vdots \\ I_n = \frac{1}{\alpha_n} J \end{array} \right\}. \quad (6)$$

Следовательно, из (6) можно записать связь между функционалом цели в задаче и информацией в виде

$$\left. \begin{array}{l} \alpha_1 I_1 = J \\ \vdots \\ \alpha_n I_n = J \end{array} \right\}. \quad (7)$$

Таким образом, исходя из выражения (7), для суммы компонентов вектора информации можем записать:

$$nJ = \sum_1^n \alpha_i I_i \rightarrow J = \frac{1}{n} \sum_1^n \alpha_i I_i. \quad (8)$$

Определив α_i как чувствительность по количеству реализаций компонента информационного вектора p_i , то есть $\alpha_i = p_i$, получаем:

$$J = \sum_1^n \frac{n_i}{n} I_i. \quad (9)$$

Рассматривая отношение n_i/n как оценку вероятности реализации компонента вектора $P_i = n_i/n$ информации и учитывая полноту вектора информации, можем записать:

$$J = \sum_1^n P_i I_i = M\{I\} = H_J. \quad (10)$$

Следовательно, при принятых условиях связи информации с функционалом качества системы, задача оптимального управления может трактоваться как задача минимизации энтропии системы. Действительно для задачи

$$\begin{aligned} \mathbf{x}^*, \mathbf{u}^* &\rightarrow \min J; \\ J &= \int_{t_0}^{t_1} f(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}}, \mathbf{u}, t) dt; \\ \dot{\mathbf{x}} &= \varphi(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}}, \mathbf{u}); \\ \left. \begin{aligned} \mathbf{x}(t_0) &= \mathbf{x}_0 \\ \mathbf{x}(t_1) &= \mathbf{x}_1 \end{aligned} \right\}. \end{aligned} \quad (11)$$

Справедливо, в силу (10), утверждение, что в задаче (11) оптимальное управление на оптимальной траектории доставляет минимум энтропии системы:

$$\mathbf{x}^*, \mathbf{u}^* \rightarrow \min H_J. \quad (12)$$

Следовательно, для представления системы в информационном пространстве задача оптимального управления в качестве функционала цели имеет энтропию системы.

Решение задачи оптимального управления рассмотрим в предположении выпуклости задачи, что позволяет рассматривать прямую и двойственную задачи. Так для функции Гамильтона, которую для удобства и небезосновательно, обозначим L , что позволяет разделить ее обозначение от энтропии:

$$L = \lambda_0 f + \sum_1^n \lambda_i \varphi_i. \quad (13)$$

В этом случае каноническая система уравнений Лагранжа Эйлера принимает вид

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial \mathbf{x}} &= -\frac{d\mathbf{\lambda}}{dt}; \\ \frac{\partial L}{\partial \mathbf{\lambda}} &= \frac{d\mathbf{x}}{dt}; \\ \frac{\partial L}{\partial \mathbf{u}} &= \mathbf{0}. \end{aligned} \quad (14)$$

Учитывая, что множитель Лагранжа зависит от управления $\lambda = \lambda(\mathbf{u})$, выразим управление через множитель Лагранжа и подставив в условия Кунна-Такера получим прямую и двойственную задачи:

$$\begin{aligned} \mathbf{x}^* &\xrightarrow[\substack{\lambda = \lambda^*(\mathbf{u}) \\ \mathbf{u} = \mathbf{u}^*}]{} \min L; \\ \mathbf{u}^* &\xrightarrow[\substack{\lambda = \lambda^*(\mathbf{u}) \\ \mathbf{x} = \mathbf{x}^*}]{} \max L. \end{aligned} \quad (15)$$

Учитывая, что в информационно-управляющей системе управление формируется на основе условной информации между моделью и системой

$$\mathbf{u} = \mathbf{u}(\mathbf{I}_{y/y^*}), \quad (16)$$

тогда принцип максимума принимает вид

$$\mathbf{I}_{y/y^*}^* \xrightarrow[\substack{\lambda = \lambda^*(\mathbf{u}) \\ \mathbf{x} = \mathbf{x}^* \\ \mathbf{u} = \mathbf{u}^*(\mathbf{I}_{y/y^*})}]{} \max L = 0. \quad (17)$$

Так же условие стационарности по управлению можно записать относительно взаимной информации в виде

$$\frac{\partial L}{\partial \mathbf{I}_{y/y^*}} = \mathbf{0}. \quad (18)$$

Таким образом, решение задачи оптимального управления для информационно-управляющих систем допускает использование принципа максимума, причём связь функционала цели и энтропии (10) позволяет дополнить условия оптимальности требованием минимальности энтропии. Естественно, если строить метрику информационного пространства, основываясь на свойстве сходимости условной информации, получаем:

$$J(\mathbf{I}_{y/y^*}) \rightarrow \min \Leftrightarrow H_J \rightarrow \min. \quad (19)$$

Так как, исходя из связи (4), получаем норму в информационном пространстве, то для получения метрики, предназначенной для определения адекватности управляющих решений модели поведения системы, целесообразно воспользоваться связями (15) и (17) и определить условную информацию через управление системой

$$\mathbf{u} = \mathbf{u}|_{\mathbf{I}_{y/y^*}} + \frac{1}{1!} \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial \mathbf{I}_{y/y^*}} \Delta \mathbf{I}_{y/y^*} + \dots + R. \quad (20)$$

Связь взаимной информации и управления находим, определив свойства тензора чувствительности управления к условной информации. Предположив, для простоты, постоянство частных чувствительностей, получаем матричное уравнение

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial \mathbf{I}_{y/y^*}} = C, \quad (21)$$

откуда получаем возможность оценки расстояния между информацией модели и системы в виде

$$I_{y/y^*}^{i,j} = \frac{1}{C_{i,j}} u_i. \quad (22)$$

Поскольку величина управления в системе наблюдаема и измеряема можно легко контролировать движения в информационном пространстве. Причём это позволяет определить норму и метрику этого пространства:

$$\begin{aligned} \|I_i\| &= \frac{1}{C_i} J; \\ a(I_i, I_j) &= I_{y/y^*}^{i,j} = \frac{1}{C_{i,j}} u_i. \end{aligned} \quad (23)$$

Естественно, так же, как в выражении (10), можно связать затраты управления с взаимной энтропией модели и системы

$$\bar{\mathbf{u}} = \sum_1^n u_i = \sum_1^n \sum_1^n \frac{n_{i,j}}{n} I_{y/y^*}^{i,j} = H_{y/y^*}. \quad (24)$$

При этом управление, не противоречащее модели поведения системы, минимально в силу минимальности условной энтропии.

Выводы. Для принятия эффективных управляющих решений необходимо формировать информационное пространство, которое определяет взаимодействие потоков информации и информационных технологий, реализующих ее получение, хранение и обработку. Описание информационно-управляющей системы в информационном пространстве позволяет оценить не только качество управления технической частью системы, но и эффективность информационного контура управления. Информационное пространство имеет норму и метрику, рассчитываемые по наблюдаемым параметрам системы. При гипотезе постоянства чувствительности функционала цели и управления к информации при сходимости переходного процесса в системе энтропия системы стремится к нулю. При

оптимальном управлении принцип максимума может быть сформирован в информационном пространстве. Относя оценки информации к объёму информации, оцениваемому привычными битами и байтами, получаем возможность оценить эффективность затрат на функционирование контура информационного управления системой. Активное использование информационного пространства предоставляет органам принятия решений дополнительные преимущества.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Королев М.А., Мишенин А.И., Хотяшов Э.Н. Теория экономических информационных систем. – М.: Финансы и статистика, 1984. – 223 с
2. Белов В.С. Информационно-аналитические системы. Основы проектирования и применения: Учебное пособие, руководство, практикум. – М : МГУЭСИ, 2005. – 111 с.
3. Марасанов В.В. Идентификация модели передаточной функции экономической системы / В.В.Марасанов, О.И.Забытовская, Е.В. Шербина // Вестник Херсонского национального технического университета . – 2010. – №2(38). – С. 47-51.
4. Бражник Д.А. Информационная модель инвариантной системы распознавания / Д.А. Бражник, Ф.Б. Рогальский, В.А. Ткач // Проблеми інформаційних технологій. – 2009. – № 01(005). – С. 31-37.
5. Бражник Д.А. Использование метода компенсации информационных потоков в задачах анализа сцен / Д.А. Бражник // Вестник Херсонского национального технического университета . – 2006. – №2(25). – С. 90-95.

РОГАЛЬСКИЙ Франц Борисович – к.т.н. профессор, зав. кафедрой информатики и компьютерных технологий Херсонского национального технического университета, первый проректор Херсонского национального технического университета.

Научные интересы:

– информационные технологии и системы обработки данных.

БРАЖНИК Дмитрий Александрович – старший преподаватель кафедры технической кибернетики Херсонского национального технического университета.

Научные интересы:

– системы распознавания образов.