

ДИНАМИКА ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

УДК 62-52

ЛУБЯНЫЙ Виктор Захарович

д.т.н., профессор кафедры информационных технологий Херсонского национального технического университета.

Научные интересы: автоматизация процессов управления.

БРАЖНИК Дмитрий Александрович

старший преподаватель кафедры технической кибернетики Херсонского национального технического университета.

Научные интересы: информационные технологии.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие и совершенствование современных производственных комплексов требует развития методов управления сложными организационно-техническими системами. Для описания сложных организационно - технических систем используется понятие информационно-управляющая система [1, 2], как взаимосвязанная совокупность средств, методов и персонала, используемых для хранения, обработки выдачи информации в интересах поставленной цели. Однако сложность связей и разнородность объектов усложняет анализ и синтез данных систем.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассматривая информационно-управляющую систему, в узком смысле, как систему управление в которой формируется на основе обработки информации, определяем ее структурные особенности и динамические свойства.

Цель статьи. Основываясь на понятии информационного пространства и свойствах технической части системы, ставится задача анализа структурных и динамических свойств информационно-управляющей системы.

ИНФОРМАЦИОННОЕ ПРОСТРАНСТВО

Собственно само установившееся название данного класса систем определяет интерес к информации

как основе функционирования системы. Однако следует обратить внимание на явное несоответствие ожидаемых возлагаемых на информационный подход и результатов. Само определение количества информации вызывает трудности, так количество информации измеряют различными мерами вплоть до количества бумажек плодородных отделами и службами предприятий.

Возвращаясь к предложенной Хартли мере информации [3], видим, что в основе меры измерения информации лежат предположения о зависимости вероятности от информации $P=P(I)$ и пропорциональности скорости изменения вероятности по информации от текущей вероятности. Как следствие получаем уравнение органического роста с экспоненциальным решением и логарифмическую зависимость информации от вероятности [4].

Таким образом, основой рассуждения явилась аналитичность функции описывающей вероятность в зависимости от информации

$$P = P_0 + \frac{1}{1!} \frac{dP}{dI} \Big|_{I=I^*} \Delta I + \frac{1}{2!} \frac{d^2 P}{dI^2} \Big|_{I=I^*} \Delta I^2 + \dots R \quad (1)$$

Для закона органического роста

$$\frac{\partial P}{\partial I} = \lambda P. \quad (2)$$

Откуда можно определить связь вероятности и информации интегрированием уравнения (2), что дает известную меру Хартли

$$\lambda = \frac{1}{\log_a e};$$

$$I = -\log_a P. \quad (3)$$

Собственно мы получили ответ на вопрос почему мера Хартли годится только для случая когда справедливо предположение о органическом росте, действительно в других случаях эта гипотеза не выполняется.

Из приведённых рассуждений следует, что информация является по сути дела причиной событий и информационное пространство определено на множестве событий. Естественно определять свойства информационного пространства через свойства пространства событий.

Предположим, что для множества событий X существует линейное нормированное метрическое пространство с нормой $\|x\|$ и метрикой $a(x_1, x_2)$. Предположим существование линейного отображения элемента y из пространства Y в пространство X с элементами x

$$\Gamma : y \rightarrow x. \quad (4)$$

При этом элемент из пространства X измеряем. В этом случае для не отрицательного y на основе связи (4) справедливо

$$\Gamma : \|y\| \rightarrow \|x\|. \quad (5)$$

Для взаимно однозначного отображения Γ (5), существует обратное отображение Γ^{-1} и следовательно норму для пространства Y возможно выразить через норму в пространстве X для которого имеется возможность измерения

$$\Gamma^{-1} : \|x\| \rightarrow \|y\|. \quad (6)$$

В таком случае отображение (6) должно удовлетворять условиям не отрицательности

$$\Gamma^{-1} : \|x\| \geq 0. \quad (7)$$

И в силу линейности преобразования (5) можно записать умножение на константу

$$\alpha = const, \quad \Gamma^{-1} : \|\alpha x\| \rightarrow \frac{1}{|\alpha|} \|y\| \quad (8)$$

И из условия треугольника следует что условие треугольника справедливо и для обратного преобразования

$$\Gamma^{-1} : \|x_1 + x_2\| \leq \Gamma^{-1} \|x_1\| + \Gamma^{-1} \|x_2\| \quad (9)$$

Аналогично определяется метрика в пространстве Y из пространства X .

Естественно при умножении на константу (8) в силу линейности имеем

$$\Gamma^{-1} : \|a_1 x_1 + a_2 x_2\| = \frac{1}{|a_1|} \|y_1\| + \frac{1}{|a_2|} \|y_2\| \quad (10)$$

Тогда для пар x_1, y_1 и x_2, y_2 для метрики порождённой нормой

$$a(y_2, y_1) = \|y_2 - y_1\|, \quad (11)$$

существует метрика в пространстве Y

$$\Gamma^{-1} : a(x_2, x_1) \rightarrow a(y_2, y_1). \quad (12)$$

Метрика (12) удовлетворяет аксиомам метрики

$$\Gamma^{-1} : a(x_2, x_1) \rightarrow a(y_2, y_1).$$

$$\Gamma^{-1} : a(x_2, x_1) \rightarrow a(y_2, y_1) = 0 \Leftrightarrow$$

$$\Gamma^{-1} : a(x_2, x_1) = \Gamma^{-1} : a(x_1, x_2) \quad (13)$$

$$\Gamma^{-1} : a(x_1, x_3) \leq \Gamma^{-1} : a(x_1, x_2) +$$

При этом используя предположение о аддитивности, получаем

$$\|x_1 - x_2\| = a(x_1, x_2). \quad (14)$$

В этом случае, для обратного преобразования (7), получаем

$$\Gamma^{-1} \|x_1 - x_2\| = a(y_1, y_2). \quad (15)$$

Таким образом может быть введено в рассмотрение, нормированное метрическое информационное пространство. Так для стохастического процесса имеем норму и метрику

$$\|\omega_i\|_I = -\log_a P_i = I(\omega_i); \quad (16)$$

$$\alpha(\omega_i, \omega_j)_I = -\log_a P(\omega_j / \omega_i) = I(\omega_j / \omega_i).$$

Однако в задаче управления существует реальный критерий J оценивающий качество системы, зависящий от значительного количества параметров, вектора состояния, возмущений, управлений и так далее. С

другой стороны, исходя из связи информации и движения в системе, можно записать ряд (1) в виде

$$J = J_0 + \frac{1}{1!} \frac{dJ}{dI} \Big|_{I=I^*} \Delta I + \frac{1}{2!} \frac{d^2 J}{dI^2} \Big|_{I=I^*} \Delta I^2 + \dots R \quad (17)$$

Тогда оператор связи (2) может быть определен в виде

$$\frac{dJ}{dI} = f(\lambda, J, I). \quad (18)$$

В простейшем, но существенном, случае постоянства чувствительности функции цели к информации при $J=0$ при $I=0$ получаем

$$\frac{dJ}{dI} = C. \quad (19)$$

Тогда связь между информацией и критерием качества принимает вид

$$I = \frac{1}{C} J. \quad (20)$$

Собственно в данном случае постулируется простое утверждение - если нет реакции на действие то данное действие, указание, управление и т.д. не содержит информации. Спорить с данным утверждением можно но, только не ознакомившись с практикой управления организационными структурами.

С другой стороны при допущении (1) мы просто переходим от оценки информативности к оценке полезности, что не лишено смысла, однако в информационном пространстве управление является результатом принятия решения.

Таким образом, мы получили множество оценок информации, как вполне определенных элементов с известным способом измерения величины элемента и расстояния между элементами.

Говоря о структуре данного множества, определяющей свойства информационного пространства, определим свойства операций необходимых для процедуры принятия решения.

Сохранение нуля в информационном пространстве, свойство определяющее причинно-следственные связи между пространством событий и информационным пространством

$$I = \frac{1}{C} J; \quad (21)$$

$$I = 0 \leftrightarrow J = 0.$$

Условие (8) определяет потерю информативности постоянным сообщением, свойство определяющее снижение ценности неизменного сообщения

$$J = const;$$

$$J \leftrightarrow I; \quad (22)$$

$$\frac{1}{C} \sum_1^n J = \frac{n}{C} J \rightarrow \frac{1}{n} I.$$

1. Накопление информации при накоплении сигнала при выполнении условия сходимости в среднем для информационного пространства

$$\frac{1}{C} \sum_1^n J_i \rightarrow H = \sum_1^k P_i I_i. \quad (23)$$

2. Сохранение накопленной информации при постоянном сообщении, свойство, связанное с обучением и накоплением информации повторение полученного сообщения не увеличивает ожидаемой информации

$$H = \sum_1^n \frac{1}{n} I = I. \quad (24)$$

3. Определение взаимной информации как критерия адекватности информации модели информации во внешней среде

$$I_{\Delta y} = \frac{1}{C} (J_y - J_{y^*}); \quad (25)$$

$$I_{\Delta y} = 0 \leftrightarrow J_y = J_{y^*}.$$

4. Нормирование информации естественно связано с особенностями решаемой задачи, так для безразмерной оценки информации константа определяется как максимальный модуль критерия

$$C = \max |J|. \quad (26)$$

При оценке объёма входной информации V_i в битах получаем при нормировании $C=1/V_i$ удобную оценку информативности сообщения, что позволяет оптимизировать фильтрацию входных сообщений. Естественно возможно использование рисков при нормировании.

Естественно при многомерной системе критерий может быть вектором, что при линейности не усложняет задачу.

СТРУКТУРА ІНФОРМАЦІОННО УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

Исходя из описания динамической части системы и ее линеаризации

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{u} + \mathbf{D}\mathbf{g}; \quad (27)$$

Однако информация является обобщённой характеристикой и позволяет выделить наиболее общие закономерности в системе.

Рассмотрим структуру замкнутой информационно управляющей системы, рис. 1, выделив связи форми-

рующие контур принятия управляющего решения. В этом контуре выделим информацию поступающую из внешней среды I_g , информацию генерируемую контуром управления системой I_{ω}^* , на основе накопленной в модели информации о ранее принятых решениях I_U , информации оценки отклонения входной информации и информации генерируемой системой $I_{\Delta y}$, информации о состоянии системы I_y , информации от эталонной модели и о отклонении состояния от желаемого состояния $I_{\Delta y}$ и оценку отклонения входной информации от управляющей информации I_{ϵ} .

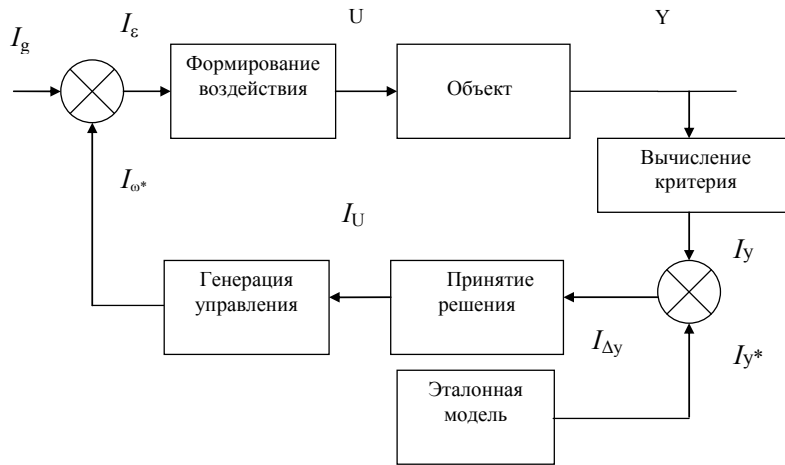


Рисунок 1 – Структура замкнутой информационно управляющей системы

Множествами, на которых определяется информация, является множество воздействий внешней среды G , состояний X , управлений U и выходов Y системы. Элементы данных множеств могут быть измерены.

Учитывая, что принятие решения происходит с определенным запаздыванием τ , получаем модель системы, управление в технической части которой, формируется на основе информации.

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}\mathbf{u}(t - \tau, I_{\Delta y}) + \mathbf{D}\mathbf{g}(t); \quad (28)$$

А управление в информационном контуре системы формируется как принятие решения о адекватности информации порождаемой технической частью системы и информации о внешней среде информации порождаемой моделью системы.

$$I_{\omega} \rightarrow \min I_{\Delta y} \quad (29)$$

При этом система из за задержек в принятии управляющих решений, переходит в класс систем с распределёнными параметрами [5].

Таким образом, получаем модель динамики функционирования системы с организационной и аппаратной частью, причем динамика всей системы определяется моделью динамики аппаратной части с включением в неё запаздывания по управлению, возникающее в организационной части системы.

Так как теперь система принятия решения включена в контур управления на неё распространяются требования широко известные в теории систем управления, а именно система принятия решения должна содержать контур анализа прошлого – сглаживание, канал управления по текущему состоянию – фильтрация и канал прогноза будущего состояния. Второй особенностью информационной системы является необходимость компенсации задержки в системе принятия решения, что требует включения в состав системы упредителя.

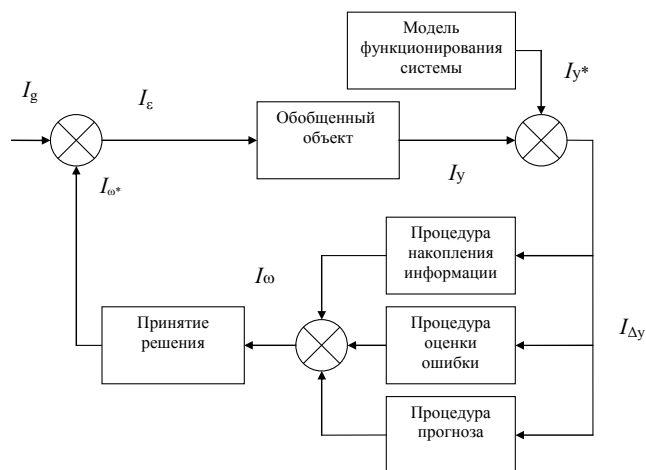


Рисунок 2 – Структура каналов информационной системы управления

Таким образом, управление формируется на основе взаимной информации между возмущениями внешней среды и управлениями, и управление снимается при нулевой взаимной информации. В контуре управления формируется задержка, которую необходимо компенсировать, контур управления содержит попросту ПИД регулятор.

Следовательно при синтезе системы решаются следующие задачи:

1. Формализация устранения ошибки статизма в информационных системах – идентификация модели. В данном случае ошибка статизма появляется как недостаточность информации в контуре принятия решения или не точность модели

$$I_{y*}(H, I_y) \rightarrow \min I_{\Delta y}. \quad (30)$$

2. Оптимальное управление информационными системами с технической частью и критерием J

$$\begin{aligned} u^*, I_{\omega}^* &\rightarrow \min J; \\ J &= J(y, u); \\ \dot{x} &= \phi(x, \dot{x}, u, g). \end{aligned} \quad (31)$$

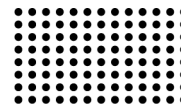
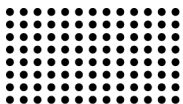
3. Прогноз и компенсация запаздываний в информационных системах как задача накопления информации в контуре обратной связи, достаточной для точного прогноза поведения системы на интервале $t+\tau$

$$H^* \rightarrow \min I_{\Delta y}(t + \tau). \quad (32)$$

Использование информационного пространства для описания информационно-управляющей системы позволяет сформировать необходимые условия инвариантности системы как структурное требование замкнутости информационного контура и параметрическое условие как достаточность информационной мощности канала обратной связи для компенсации входного потока информации.

ВЫВОДЫ

1. Информация является причиной действия.
2. Информационная мера может быть построена по отношению к любому аналитическому критерию.
3. Информационная мера зависит от закона распределения или чувствительности выбранного критерия к информации.
4. Не существует единого метода определения информации для любого случая.
5. Многократное повторение сигнала несущего информацию снижает полученную системой информацию.
6. Динамика информационно-управляющей системы зависит от запаздывания в принятии решения.
7. Система информационного управления должна содержать ПИД регулятор и при значительных запаздываниях должна иметь упредитель.



ЛИТЕРАТУРА:

1. Степанова А.С. Анализ развития информационно-управляющих систем с использованием научно-технологического форсайта /А.С. Степанова, Д.Ю. Муромцев //Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2009. – Т.11, №5 (2). – С.354-375.
2. Семенов М.И. Автоматизированные информационные технологии в экономике: учеб. для вузов /М.И. Семенов, И.Т. Трубилин, В.И. Лойко, Т.П. Баратовская; Под. общ. ред. И.Т. Трубилина. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 416 с.
3. Симанков В.С. Адаптивное управление сложными системами на основе теории распознавания образов /В.С. Симанков, Е.В. Луценко. – Краснодар: Техн. ун-т Кубан. гос. технол. ун-та, 1999. – 318 с.
4. Дмитриев В.И. Прикладная теория информации: Учеб. для студ. вузов по специальности «Автоматизированные системы обработки информации и управления». – М.: Высш. шк., 1989. – 320 с.
5. У. Рей Методы управления технологическими процессами: Пер. с англ. /Рей У. – М.: Мир, 1983. – 368 с.