ОБ ИНФОРМАЦИОННОМ ПРОСТРАНСТВЕ

УДК 6.21.377.037

СОКОЛОВ Андрей Евгеньевич
к.т.н. доцент кафедры информационных технологий Херсонского национального технического университета.
Научные интересы: компьютеризованные системы обучения.

БРАЖНИК Александр Михайлович
к.т.н. доцент кафедры технической кибернетики Херсонского национального технического университета.
Научные интересы: информационные системы распознавания.

БРАЖНИК Дмитрий Александрович
к.т.н. доцент кафедры технической кибернетики.
Научные интересы: информационные системы распознавания.

ВВЕДЕНИЕ

Массовое использования вычислительной техники и вызываемое этим развитие технических средств и программного обеспечения информационных систем обуславливает интерес к проблемам развития и совершенствования элементов теории информации, к проблемам развития основ системологического анализа управлениям информационными системами и происходящими в них информационными процессами, как основам методологии построения моделей систем и процессов, передачи, обработки и хранения информации.

СУЩЕСТВУЮЩИЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Современное состояние и развитие теории информации, связанное с трудами Р. Хартли, А.Н. Колмогорова, К. Шеннона, А.Я. Хинчина, В.А. Котельникова, В.Д. Гопы, А.М. Яглома и многих других специалистов [1-10] к сегодняшнему дню сформировалось в законченную теорию, обеспечивающую решение многих задач. Однако в некоторых случаях чувствуется недостаток в проработке информационных процессов, процессов формализации и указание на информационную составляющую связано не с использованием теории информации для построения моделей систем и процессов, а с разработанностью методов формализации и наследованием пониманий терминологии.

Цель работы состоит в некотором дополнении и побуждении исследователей и дальнейшему изучению систематических подходов и формализации к построению моделей процессов передачи, обработки и хранения информации, происходящих в информационном пространстве. Построение математической модели реального процесса происходит в определенном информационном пространстве, что включает описание множества составляющих, алгебру с ее сигнатурой и норму с метрикой, как средств оценки элементов и различия между ними. Однако при эвристическом подходе можно создать меру и если это соответствует правилам построения моделей и, если они показывают результат, объяснить смысл найденной меры. Здесь как при аппроксимации – если базовая функция истинна, получаем прогноз, если нет то нашим данным можно верить только в интервале измерений. Таким образом, с целью упрощения методов построения моделей информационных систем и процессов, рассмотрим совокупность поля объектов, пространства событий, вероятностного пространства и связанного с ними информационного пространства.

Мы касаемся такого понятия, термина как информационное пространство. Термин этот значительно моложе термина информация. Достаточно указать на то, что в энциклопедии кибернетики, изданной в 1975г., упоминания о нем мы не находим [11]. Под термином информационное пространство в данной работе понимается совокупность результатов человеческой деятельности. Информационным пространством, например, может считаться совокупность:

– баз и банков данных;

– технологий их применения;

– информационных коммуникационных систем, которые

– функционируют на базе общих принципов и обеспечивают информационное взаимодействие различного ранга пользователей и удовлетворение их информационных потребностей.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Множество объектов Ω, с алгеброй ζ (здесь это подразумеваем в соответствии с трактовкой и определением Колмогорова) связано с множеством событий введением времени или отношения следования событие Ωt1⟶Ωt2. Сигнатура алгебры событий ζt содержит определения действий над объектами, и аксиомы алгебры. Поле объектов, с его алгеброй множеств позволяет создавать абстрактные моделей, но для описания событий нам необходимо индуцировать над полем объектов поле событий с алгеброй событий, формально близкой к алгебре множеств, но существенным различием является введение причинно – следственных отношений – рассматриваем событие как результат или соответствие перехода из одного состояния в другое.

Собственно для детерминированных связей определяются соответствия, отображения, функции и весь аппарат анализа. Для стохастических связей, оценкой величины события, вводится норма, над полем событий. Этой нормой, принято [2, 3] считать вероятность события Pi=P(ωi). Естественно выполнение условий невырожденности, однородности и правила треугольника:

$$\begin{aligned}
&\|\omega\| = P(\omega) \ge 0 \quad \Leftrightarrow \quad \|x\| \ge 0;\\
&\omega = \varnothing \quad \Leftrightarrow \quad P(\omega) = 0;\\
&\lambda = \mathrm{const} \quad \Leftrightarrow \quad P(\lambda) = 1 \quad \Leftrightarrow \quad P(\lambda \cap \omega) = 1 \cdot P(\omega) \quad \Leftrightarrow \quad \|\lambda x\| = |\lambda| \|x\|;\\
&P(\omega_1 \cup \omega_2) \le P(\omega_1) + P(\omega_2) \quad \Leftrightarrow \quad \|x_1 + x_2\| \le \|x_1\| + \|x_2\|.
\end{aligned} \tag{1}$$

Таким образом с нормой (1) формируется нормированное вероятностное пространство, причем во многих работах можно найти проверку условий нормы по отношению к вероятности [2, 6, 7], хотя встречаются и определения вероятности как нормы в вероятностном пространстве [6].

Но кроме нормы для решения задач распознавания, диагностики, принятия решений и т.д. необходимо определить различие между событиями, по сути необходима метрика [7].

В отличии от нормы метрика вероятностного пространства определяется различными способами [3, 7]. Наиболее просто определить метрику естественным образом как норму события, определяемого как разность множеств, тогда

$$\rho = \|x_2 - x_1\| \quad \to \quad \rho_\Omega = P(\omega_1 \setminus \omega_2) = P(\omega_1)(1 - P(\omega_2 / \omega_1)) \tag{2}$$

Естественно для метрики (2) должны выполняться аксиома тождества, аксиома симметрии и аксиома треугольника. Аксиома неотрицательности и аксиома тождества, для естественной метрики выполняются

$$\begin{aligned}
&\rho = \|x_2 - x_1\| \quad \to \quad \rho_\Omega = P(\omega_1 \setminus \omega_2) = P(\omega_1)(1 - P(\omega_2 / \omega_1))\\
&\omega_1 \ne \varnothing \quad \to \quad \rho_\Omega = P(\omega_1)(1 - P(\omega_2 / \omega_1)) \ge 0 \quad \leftrightarrow \quad \rho(x_1, x_2) \ge 0;\\
&\omega_1 = \omega_2 = \omega \quad \to \quad \rho_\Omega = P(\omega)(1 - P(\omega / \omega)) = 0 \quad \leftrightarrow \quad \rho(x, x) = 0.
\end{aligned} \tag{3}$$

Но при этом аксиома симметрии выполняется только в случае

$$\frac{P(\omega_1)}{P(\omega_2)} = \frac{P(\overline{\omega}_2 / \omega_1)}{P(\overline{\omega}_1 / \omega_2)} \tag{4}$$

С учетом (4), для сохранения общности необходимо переходить к симметричной метрике, на норме это не сказывается так как ω+ω=ω. Следовательно для симметричной метрики условие симметрии выполняется

$$\tilde{\rho}_\Omega(\omega_1,\omega_2) = P(\omega_1 \setminus \omega_2 + \omega_2 \setminus \omega_1) \quad \Leftrightarrow \quad \tilde{\rho}_\Omega(\omega_1,\omega_2) = \tilde{\rho}_\Omega(\omega_2,\omega_1). \qquad (5)$$

Условие треугольника выполняются и для несимметричной метрики, так рассмотрим три события и расстояния между ними

$$\begin{aligned} &\rho_\Omega(\omega_1,\omega_2) = P(\omega_1 \setminus \omega_2) = P(\omega_1\overline{\omega}_2);\\ &\rho_\Omega(\omega_2,\omega_3) = P(\omega_2 \setminus \omega_3) = P(\omega_2\overline{\omega}_3);\\ &\rho_\Omega(\omega_1,\omega_3) = P(\omega_1 \setminus \omega_3) = P(\omega_1\overline{\omega}_3). \end{aligned} \qquad (6)$$

Так как событий (6) можем записать вероятность суммы событий

$$P(\omega_1\overline{\omega}_2) + P(\omega_2\overline{\omega}_3) - P(\omega_1\overline{\omega}_2\omega_2\overline{\omega}_3) = P(\omega_1\overline{\omega}_2 + \omega_2\overline{\omega}_3). \qquad (7)$$

Но из выражения (7) следует, что

$$P(\omega_1\overline{\omega}_2\omega_2\overline{\omega}_3) = P(\varnothing) = 0. \qquad (8)$$

Следовательно с учетом (8) выражение (7) может быть записано в виде

$$P(\omega_1\overline{\omega}_2) + P(\omega_2\overline{\omega}_3) = P(\omega_1\overline{\omega}_2 + \omega_2\overline{\omega}_3). \qquad (9)$$

Преобразовав аргумент в правой части (9), получаем

$$\omega_1\overline{\omega}_2 + \omega_2\overline{\omega}_3 = \omega_1\overline{\omega}_2\omega_3 + \omega_1\overline{\omega}_2\overline{\omega}_3 + \omega_1\omega_2\overline{\omega}_3 + \overline{\omega}_1\omega_2\overline{\omega}_3 = (\omega_1\overline{\omega}_2\omega_3 + \overline{\omega}_1\omega_2\overline{\omega}_3) + \omega_1\overline{\omega}_3 \qquad (10)$$

Следовательно с учетом (10) правая часть выражение (9) принимает вид

$$P(\omega_1\overline{\omega}_2 + \omega_2\overline{\omega}_3). = P((\omega_1\overline{\omega}_2\omega_3 + \overline{\omega}_1\omega_2\overline{\omega}_3) + \omega_1\overline{\omega}_3). \qquad (11)$$

Используя формулу вероятности суммы событий запишем (11) в виде

$$P((\omega_1\overline{\omega}_2\omega_3 + \overline{\omega}_1\omega_2\overline{\omega}_3) + \omega_1\overline{\omega}_3) = P(\omega_1\overline{\omega}_2\omega_3 + \overline{\omega}_1\omega_2\overline{\omega}_3) + P(\omega_1\overline{\omega}_3) - P((\omega_1\overline{\omega}_2\omega_3 + \overline{\omega}_1\omega_2\overline{\omega}_3)(\omega_1\overline{\omega}_3)). \qquad (12)$$

После преобразования (12) выделяем компонент с нулевой вероятностью

$$P((\omega_1\overline{\omega}_2\omega_3 + \overline{\omega}_1\omega_2\overline{\omega}_3)(\omega_1\overline{\omega}_3)) = P(\omega_1\overline{\omega}_2\omega_3\omega_1\overline{\omega}_3 + \overline{\omega}_1\omega_2\overline{\omega}_3\omega_1\overline{\omega}_3) = P(\varnothing) = 0. \qquad (13)$$

Следовательно выражение (7) принимает вид

$$P(\omega_1\overline{\omega}_2) + P(\omega_2\overline{\omega}_3) = P(\omega_1\overline{\omega}_2\omega_3 + \overline{\omega}_1\omega_2\overline{\omega}_3) + P(\omega_1\overline{\omega}_3). \qquad (14)$$

Так как вероятность по определению неотрицательна учтем в (14) условие неотрицательности

$$P(\omega_1\overline{\omega}_2\omega_3 + \overline{\omega}_1\omega_2\overline{\omega}_3) \ge 0, \qquad (15)$$

следовательно можно утверждать, что для метрики выполняется неравенство треугольника

$$P(\omega_1\overline{\omega}_2) + P(\omega_2\overline{\omega}_3) \ge P(\omega_1\overline{\omega}_3) \quad \rightarrow \quad \rho_\Omega(\omega_1,\omega_2) + \rho_\Omega(\omega_2,\omega_3) \ge \rho_\Omega(\omega_1,\omega_3). \qquad (16)$$

Таким образом для выражения (2) выполняются условия нормы и вероятностное пространство это нормированное метрическое пространство с нормой и несимметричной метрикой, где не выполняется условие симметрии

$$\begin{aligned} &\|\omega\| = P(\omega);\\ &\rho_\Omega(\omega_1,\omega_2) = \|\omega_2 \setminus \omega_1\| \quad \rightarrow \quad \rho_\Omega = P(\omega_1 \setminus \omega_2) = P(\omega_1)P(\overline{\omega}_2 / \omega_1) = P(\omega_1)(1 - P(\omega_2 / \omega_1)). \end{aligned} \qquad (17)$$

Или с симметрическими нормой и метрикой, где условие симметрии выполняется

$$\begin{aligned} &\|\tilde{\omega}\| = P(\omega \vee \omega);\\ &\tilde{\rho}_\Omega(\omega_1,\omega_2) = \|\omega_2 \setminus \omega_1 \vee \omega_1 \setminus \omega_2\|. \end{aligned} \qquad (18)$$

Собственно используя (18) теперь можно «измерить» событие и «расстояние» между событиями.

При этом если норма общепринята, то метрика игнорировалась и заменялась различными мерами, а это далеко не одно и тоже. Но главное появляется вероятностное пространство и можно – создавать математические модели, учитывающие стохастические связи между событиями.

Но есть вопрос – а чем связано пространство событий и пространство объектов? Здесь ответ простой между объектами и событиями имеется причинно – следственная связь. Таким образом над вероятностным пространством индуцируется новое пространство, норма и метрика которого связаны с оценкой значимости причинно – следственных связей в паре множество объектов Ω и множество событий Ωt.

Эта оценка известна достаточно давно, это информация по Хартли [1]

$$I(\omega) = -\log_a P(\omega). \quad (19)$$

Проверим выполнение условий нормы для (19). Условие неотрицательности выполняется по определению

$$P(\omega_a) \in [0,1] \quad \to \quad \|p_a\| = -\log_a(P(\omega_a)) \geq 0, \quad (20)$$

при этом справедливо и условие неотрицательности для обратного события

$$P(\overline{\omega}_a) \in [0,1] \quad \to \quad \|p_a\| = -\log_a(P(\overline{\omega}_a)) \geq 0, \quad (21)$$

условие невырожденности для традиционной формулы (19) Хартли не выполняются

$$\omega = \varnothing \quad \to \quad P(\varnothing) = 0 \quad \to \quad \|p_\varnothing\| = -\log_a(0) = \infty. \quad (22)$$

Но для обратного события условие невырожденности (22) выполняется

$$\omega = \varnothing \quad \to \quad P(\overline{\varnothing}) = 1 \quad \to \quad \|p_1\| = -\log_a(1) = 0. \quad (23)$$

Условие однородности выполняются и для (19) и для (23). Так для события

$$\begin{aligned} &\alpha = const \quad \to \quad P(\alpha) = 1 \quad \to \quad \|\alpha p_a\| = -\log_a(P(\alpha)P(\omega_a/\alpha)) = -\log_a(P(\omega_a)); \\ &\to \quad \|\alpha p_a\| = 1 \cdot \|p_a\| \end{aligned} \quad (24)$$

так и для обратного события.

$$\begin{aligned} &\alpha = const \quad \to \quad P(\alpha) = 1 \quad \to \quad \|\alpha p_{\bar{a}}\| = -\log_a(P(\alpha)P(\overline{\omega}_a/\alpha)) = -\log_a(P(\overline{\omega}_a)); \\ &\to \quad \|\alpha p_{\bar{a}}\| = 1 \cdot \|p_{\bar{a}}\| \end{aligned} \quad (25)$$

Неравенство треугольника так же выполняется как для (19) так и для (23).

$$\|p_a + p_b\| \leq \|p_a\| + \|p_b\| \quad \to \quad -\log_a(P(\omega_a + \omega_b)) \leq -\log_a(P(\omega_a)) - \log_a(P(\omega_b)). \quad (26)$$

Или после преобразования соотношение (26) можем записать в виде

$$-\log_a(P(\omega_a + \omega_b)) \leq -\log_a(P(\omega_a)P(\omega_b)) \quad \to \quad \log_a\left(\frac{P(\omega_a + \omega_b)}{P(\omega_a)P(\omega_b)}\right) \geq 0. \quad (27)$$

Преобразуем вероятность суммы событий в выражении (27)

$$\log_a\left(\frac{P(\omega_a) + P(\omega_b) - P(\omega_a)P(\omega_b)}{P(\omega_a)P(\omega_b)}\right) = \log_a\left(\frac{1}{P(\omega_b)} + \frac{1}{P(\omega_a)} - 1\right) \geq 0. \quad (28)$$

Так как вероятности по определению неотрицательны, можем записать

$$\frac{1}{P(\omega_a)} \in [1,\infty]; \qquad \frac{1}{P(\omega_b)} \in [1,\infty] \quad \to \quad \left(\frac{1}{P(\omega_b)} + \frac{1}{P(\omega_a)} - 1\right) \in [1,\infty]. \quad (29)$$

Следовательно выполняется и неравенство треугольника (26), аналогично можно показать, что это условие выполняется и для нормы построенной для обратных событий

$$\left\|p_{\bar{a}}+p_{\bar{b}}\right\| \le \left\|p_{\bar{a}}\right\|+\left\|p_{\bar{b}}\right\| \quad \to \quad \log_\alpha\left(\frac{P(\omega_{\bar{a}}+\omega_{\bar{b}})}{P(\omega_{\bar{a}})P(\omega_{\bar{b}})}\right) \ge 0. \tag{30}$$

Следовательно

$$\begin{gathered} \log_\alpha\left(\frac{1}{P(\omega_{\bar{b}})}+\frac{1}{P(\omega_{\bar{a}})}-1\right) \ge 0; \\ \frac{1}{P(\omega_{\bar{a}})} \in [1,\infty]; \qquad \frac{1}{P(\omega_{\bar{b}})} \in [1,\infty] \quad \to \quad \left(\frac{1}{P(\omega_{\bar{b}})}+\frac{1}{P(\omega_{\bar{a}})}-1\right) \in [1,\infty]. \end{gathered} \tag{31}$$

И выполняется неравенство треугольника (30) для обратных событий

$$\left\|p_{\bar{a}}+p_{\bar{b}}\right\| \le \left\|p_{\bar{a}}\right\|+\left\|p_{\bar{b}}\right\|. \tag{32}$$

Таким образом всем условиям нормы отвечает формула Хартли построенная для обратных событий

$$\left\|p_{\bar{\omega}}\right\| = I(\bar{\omega}) \quad \to \quad I(\bar{\omega}) = -\log_a P(\bar{\omega}), \tag{33}$$

Следовательно норма оценивает не причину события которое может случиться, а ту связь, которая вызывает отсутствие события.

Построим естественную метрику с использованием полученной нормы. Здесь сразу необходимо учесть однонаправленность информации – причина прежде следствия и поэтому аксиома симметрии и аксиома треугольника выполняться не будут. Вернее можно получить две метрики – левую для направления источник приемник и правую для смены направления передачи.

Таким образом, для естественной левой метрики, с учетом определения естественной нормы, можем записать

$$d(p_a,p_b) = \left\|p_a \setminus p_b\right\| = -\log_a P(\overline{p_a \setminus p_b}). \tag{34}$$

Условие неотрицательности для метрики (34) выполняется по определению

$$-\log_a P(\overline{p_a \setminus p_b}) \ge 0 \quad \Leftrightarrow \quad P(\overline{p_a \setminus p_b}) \in [0{,}1] \quad \to \quad d(p_a,p_b) \ge 0. \tag{35}$$

Аксиома тождества для данной метрики выполняется. Так как для (34) справедливо

$$-\log_a P(\overline{p_a \setminus p_b}) = -\log_a P(\overline{p_a \bar{p}_b}) = -\log_a P(\bar{p}_a + p_b). \tag{36}$$

Получаем, что метрика (34) имеет ноль только при условии равенства событий

$$p_a = p_b = p \quad \to \quad -\log_a P(\bar{p}+p) = 0 \quad \to \quad d(p,p) = 0. \tag{37}$$

Аксиома симметрии выполняются только для объединения левой и правой метрик – симметрической метрики

$$\tilde{d}(p_a,p_b) = \left\|p_a \setminus p_b + p_b \setminus p_a\right\| = -\log_a P(\overline{p_a \setminus p_b + p_b \setminus p_a}). \tag{38}$$

Использование объединенной метрики связано с процессами не имеющими накопления информации и помех. Проверим выполнение аксиом метрики для симметричной метрики. Аксиома тождества для метрики требует

$$\tilde{d}(p_a, p_b) = 0 \quad \Leftrightarrow \quad p_a = p_b = p. \tag{39}$$

В этом случае аксиома тождества выполняется

$$\tilde{d}(p, p) = \|p \setminus p + p \setminus p\| = -\log_a P(\overline{p \setminus p + p \setminus p}) = -\log_a P((p + \overline{p})(p + \overline{p})) = 0. \tag{40}$$

Условие неотрицательности выполняется по определению. Аксиома симметрии

$$\tilde{d}(p_a, p_b) = \tilde{d}(p_b, p_a), \tag{41}$$

выполняется в силу симметрии метрики

$$\tilde{d}(p_a, p_b) = \|p_a \setminus p_b + p_b \setminus p_a\| = \|p_b \setminus p_a + p_a \setminus p_b\| = \tilde{d}(p_b, p_a). \tag{42}$$

Покажем, что аксиома треугольника выполняется для симметричной, так и для несимметричной меры

$$\tilde{d}(p_a, p_c) \le \tilde{d}(p_a, p_b) + \tilde{d}(p_b, p_c). \tag{43}$$

Для удобства записи переобозначим

$$p_a = a, \qquad p_b = b, \qquad p_c = c. \tag{44}$$

Тогда можем записать

$$\tilde{d}(a, c) \le \tilde{d}(a, b) + \tilde{d}(b, c). \tag{45}$$

Для естественной нормы

$$\|c \setminus a\| \le \|b \setminus a\| + \|c \setminus b\| \quad \Leftrightarrow \quad -\log_\alpha P(\overline{c \setminus a}) \le -\log_\alpha P(\overline{b \setminus a}) - \log_\alpha P(\overline{c \setminus b}). \tag{46}$$

Преобразуем выражение (46)

$$-\log_\alpha P(\overline{c \setminus a}) \le -\log_\alpha \left(P(\overline{b \setminus a})P(\overline{c \setminus b})\right) \quad \Leftrightarrow \quad \log_\alpha \left(\frac{P(\overline{c \setminus a})}{P(\overline{b \setminus a})P(\overline{c \setminus b})}\right) \ge 0. \tag{47}$$

Следовательно

$$\frac{P(\overline{c \setminus a})}{P(\overline{b \setminus a})P(\overline{c \setminus b})} \ge 1 \quad \Leftrightarrow \quad P(\overline{c \setminus a}) \ge P(\overline{b \setminus a})P(\overline{c \setminus b}). \tag{48}$$

Или

$$1 \ge P(\overline{b \setminus a})P(\overline{c \setminus b}) + P(c \setminus a). \tag{49}$$

После преобразований получаем

$$p(a\overline{b} + ab) + P(\overline{b}\overline{c} + bc) + P(c\overline{a} + a\overline{c}) - P(a\overline{b} + ab + \overline{b}\overline{c} + bc) \le 1. \tag{50}$$

Так как на гиперкубе abc справедливо

$$p(a\overline{b} + ab) + P(\overline{b}\overline{c} + bc) + P(c\overline{a} + a\overline{c}) \le 1; \quad P(a\overline{b} + ab + \overline{b}\overline{c} + bc) \le 1, \tag{51}$$

то выполняется условие (51) и следовательно выполняется аксиома треугольника.

Таким образом задачи, связанные с моделированием информационных систем, опираются на вероятностное пространство и построенное над ним информационное пространство.

Как показано, информационное пространство – это нормированное метрическое пространство, где открывается возможность системного использования оптимизационных и динамических моделей поведения информационных систем.

ВЫВОДЫ

В результате выполненных исследований получено следующее:

1. Информационное пространство это нормированное метрическое пространство над вероятностным пространством.

2. Традиционная мера Хартли не обеспечивает выполнения аксиомы симметрии, что отражает особенности информационных процессов.

3. Норма построенная на основе меры Хартли для обратного события отвечает всем требованиям нормы.

4. Естественная метрика, построенная на основе меры Хартли для нормы симметричных разностей, отвечает всем требованиям метрики.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Shennon K Raboty po teorii informatsii y kybernetike / K Shennon, M. : Inostrannaia literatura. 1963 g. -830 s.
2. Hartley R. V. L. Transmission of information / Hartley R. V. L. // Bell System Technical Journal – 7. – 1928. – C. 535 -563.
3. Kolmohorov A.N. Osnovnye poniatia teorii veroiatnostei / A.N. Kolmohorov, Seryia «Teoria veroiatnostei i matematicheskaia statistika», M. : 1977 g. – 120 s.
4. Kolmohorov A.N. Teoria informatsii i teoria alhoritmov / A.N. Kolmohorov, M. : Nauka 1987 g. – 304 s.
5. Fetler V. Vvedenie v teoriu veroiatnostei i ee prilozhenia / V. Fetler, M. : Myr, 1964. – 484 s.
6. Iahlom A.M. Veroiatnost i informatsia / A.M. Iahlom, I.N. Iahlom. Izd. 5-e stereotipnoe. –M. : KomKniga. 2007.-512 s.
7. Goppa V.D. Vedenie v algebraicheskuiu teoriu informatsii \ Goppa V.D. M. : Nauka Fizmatlit. 1995. – 112s.
8. Temnikov F.E., Informatika, Izvestia vuzov, "Elektrotekhnika", 1963, №11
9. Temnykov F.E., Teoreticheskie osnovy informatsionnoi tekhniki M. "Energia", 1971.
10. Kotelnikov V.A., O propusknoi sposobnosti efira i provoloki v elektrosviazi, Izdatelstvo Vsesoiuznogo energeticheskogo yn-ta, MGU 1933.
11. Entsiklopedia kibernetiki, v dvukh tomakh, Izdatelstvo redaktsii ukrainskoi entsiklopedii – K.: 1975.

Рецензент: д.т.н., проф. Ходаков В.Е.
Херсонский национальный технический университет