

23. Accorsi R., Stocker T. Discovering workow changes with time-based trace clustering. *Data-Driven Process Discovery and Analysis, volume 116 of Lecture Notes in Business Information Processing*, Springer Berlin Heidelberg, 2012, pp.154-168. doi: 10.1007/978-3-642-34044-4.
24. Mirko Polato, Alessandro Sperduti, Andrea Burattin, Massimiliano de Leoni Data-Aware Remaining Time Prediction of Business Process Instances. *International Joint Conference on Neural Networks (IEEE WCCI IJCNN 2014)*, 2014, pp. 816-823.

Received 20.07.2017

УДК: 004.056.5; 681.142.342

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФУНКЦИОНАЛА ОЖИДАЕМОЙ ПОЛЕЗНОСТИ

Маслов О.Н., Фролова М.А.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ
E-mail: ritam2003@mail.ru

Представлены результаты анализа и моделирования функционала ожидаемой полезности сложных систем в интересах оценки их сравнительной эффективности.

Ключевые слова: управление сложными системами, принятие решений, моделирование ожидаемой полезности, функционал ожидаемой полезности

Введение

Теоретические принципы моделирования, состав и структура функционала ожидаемой полезности (ФОП), необходимые для его применения при управлении сложными системами (СС) организационно-технического типа, представлены в [1-2]. Было показано, что сочетание объективных и субъективных компонентов ФОП, основанных на теориях управления и ожидаемой полезности СС, методах сценариев и функционально-стоимостного анализа СС, включая компьютерный вариант метода Монте-Карло (ММК), открывает новые возможности для применения статистического имитационного моделирования (СИМ) по версии метода Димова-Маслова (МДМ) в интересах управления СС [3].

В практическом плане ФОП является удобным рабочим «инструментом» – критерием выбора решений при помощи СИМ по МДМ, к которому не относятся критические указания на то, что лица, принимающие решения (ЛПР), часто действуют вопреки рациональным правилам (известным аксиомам и эвристикам) принятия решений и, даже получив информацию об этом, не отменяют их. В то же время ФОП лишь «подсказывает», как именно, с объективной точки зрения, ЛПР следует поступить в том или ином конкретном случае, – а право окончательного выбора всегда остается за каждым из них.

Возможности СИМ по МДМ (обусловленные «разыгрыванием» значений случайных числовых величин – далее СЧВ, при помощи технологии ММК) позволяют устранить недостатки такого способа управления, связанные с неопределенностью знаний ЛПР о состоянии и поведении, параметрах и характеристиках рассматриваемых СС [4-5]. Важно также, что многоэлементные (многофакторные, многопараметрические) сложные альтернативы решений ЛПР способны субъективно сравнивать лишь по выбранным (доступным им лично) отдельным частям, тогда как ФОП позволяет это сделать в целом, реализуя комплексный (холистический, лексикографический), а не покомпонентный подход.

Наряду с продолжением рассмотрения теоретических аспектов моделирования ФОП целью настоящей статьи является анализ двух предложенных конкретных моделей, реализованных средствами ММК и предназначенных для управления СС с применением СИМ по МДМ.

Кибернетический подход к процессу исследования СС

Согласно определению, кибернетика (от греч. *kibernetike* – искусство управления) представляет собой науку о закономерностях процессов управления и передачи информации в СС [6]. В

соответствии с этим кибернетический подход к исследованию СС состоит в том, что всякое целенаправленное поведение ЛПР рассматривается как управление [7]. Область применения данного подхода постоянно расширяется – ограничимся в качестве примера новейшей гипотезой инопланетного происхождения *homo sapiens*, в рамках которой он появился после генетического эксперимента с первозданным биоматериалом, присутствовавшим на Земле.

Заложенная извне программа позволяла первым людям жить одинаково долго (по библейским сведениям, Адам прожил 930 лет, Сиф – 912 лет, Енос – 905 лет, Каинан – 910 лет, и т.д.), но по мере роста численности населения нашей планеты и в порядке управления данным процессом указанные сроки были сокращены на порядок и более. Причем собственные усилия человечества в противоположном направлении, как известно, сколько-нибудь похожего результата не дали. Кибернетический подход при переходе от тематики Ветхого завета к нынешним дням позволяет провести определенные параллели и аналогии. Он показывает, например, что сегодня не только ЛПР, но и рядовые пользователи Internet в формируемой ими виртуальной среде то и дело ведут себя немотивированно и своевольно – по видимому, полагая себя подобными Создателю. Попытки истолковать и смоделировать эти реалии XXI века приводят ученых к необходимости формировать ключевые теории в двух вариантах: объективном и субъективном, по принципу «Как это должно быть» и «Как это бывает». Причем круг задач, решаемых методами и средствами именно субъективных теорий: вероятностей, эффективности, безопасности, риска, ожидаемой полезности и т.п., постоянно растет.

С точки зрения теории СС, наблюдаемая тенденция закономерна, особенно если речь идет о так называемых нерелекторных системах [8], неотъемлемой частью которых является «человеческий фактор» – в виде самих ЛПР, а также их партнеров, клиентов, абонентов, конкурентов, злоумышленников и т.д. В релекторных (преимущественно технического типа) СС реакция на воздействия и возмущения (внешние и внутренние, детерминированные и случайные, естественные и искусственного происхождения, в том числе связанные с управлением) является однозначной, поэтому изучение процессов управления может быть сведено к задачам оптимизации на основе принципа максимума Л.С. Понтрягина без учета особенностей поведения звеньев (подсистем, элементов), входящих в состав СС [8].

В данной части предметной области успешно «работают» объективные варианты вышеперечисленных научных теорий.

Изучение нерелекторных СС (преимущественно организационно-технического типа, в том числе социально-экономических, экологических, военных, специального назначения и т.п.), напротив, требует от ЛПР введения собственных гипотез относительно поведения указанных подсистем и элементов при наличии воздействий и возмущений – поскольку они способны максимизировать свои функционалы качества самостоятельно (например, ввиду делегирования полномочий «сверху – вниз» при децентрализованном управлении), что ведет к невозможности использовать принцип максимума и конфликтным ситуациям. Напомним, что иерархичность и нерелекторность возникают в организационно-технических СС естественным путем – по мере роста, развития и усложнения практически любой системы [3; 5].

Случайные воздействия и возмущения можно рассматривать как фактор неопределенности знаний ЛПР о свойствах, состоянии и поведении СС [4], которая осложняет его действия – из-за отсутствия необходимой информации, присутствия помех, наличия неоднозначных целей и неясности намерений самого ЛПР, а также противодействия ему со стороны конкурентов или злоумышленников, отсутствия взаимодействия с партнерами. Напомним, что знания ЛПР могут быть как объективными верифицированными, так и субъективными аксиологическими [3], причем последние представляют наибольший интерес для организации управления нерелекторными СС, так как ЛПР при выдвижении гипотез о поведении звеньев зачастую руководствуются именно ими.

В зависимости от характера данных гипотез важнейшими из соответствующих им задач теории управления СС являются:

– игра с противоположными интересами – антагонистическая игра Дж. фон Неймана [9] (в условиях конкуренции и рыночной борьбы, противодействия злоумышленнику), где выигрыш одного из игроков означает проигрыш другого;

– игра с непротивоположными интересами Ю.Б. Гермейера [10] – возникающая в условиях партнерства и сотрудничества ЛПР при достижении общих корпоративных целей, когда действия ЛПР имеют согласованный системный характер.

В соответствии с изложенным, данная часть рассматриваемой предметной области базируется на сочетании объективных и субъективных вариантов

указанных научных теорий. Методы определения качественной и количественной субъективной вероятности (метод прямой оценки и метод отношений), представляющие наибольший интерес при анализе и моделировании ФОП, кратко рассмотрены в [2].

Многофакторная модель ФОП

Согласно [1-2], в качестве ФОП при оценке эффективности k -го сценария реализации СС выбрана расчетная величина

$$Q_k = p_k (p_F F_k - p_G G_k), \quad (1)$$

где $k [1; K]$; K – общее число возможных сценариев; F_k – позитивный эффект (выигрыш, прибыль, доход и т.п.), прогнозируемый ЛПР S_n , принадлежащим совокупности $n [1; N]$, при затратах ресурсов, равных G_k , которые могут быть обеспечены им с вероятностью p_G . Значение p_F учитывает меру правильности прогноза S_n получить на выходе проекта по k -му сценарию выигрыш F_k , а значение вероятности p_k – шансы ЛПР на разрешение (одобрение) «сверху» выполнения проекта по данному сценарию.

Формально простой по составу («предполагаемые доходы» минус «расходы ресурсов») ФОП (1) на деле сам оказывается СС с достаточно разнообразной (объективной и субъективной, детерминированной и стохастической, статической и динамической и т.д.) структурой. Для сравнительного анализа ФОП при создании новых СС в [1-2] было предложено принимать за основу некий «нулевой» (базовый) сценарий, соответствующий параметрам G_0 и F_0 в (1), относительно которого реализуется стратегия «синтеза через анализ» рассматриваемой СС (проектируемой, инновационной, разведанной), для уменьшения неопределенности знаний ЛПР о свойствах которой используются возможности СИМ по МДМ.

В нормированном относительно базового значения G_0 виде ФОП представляет собой

$$Q_k / G_0 = Z_k [1 - \exp(-\alpha X_k)] \exp(-\beta Z_k) \times \{ X_k \exp[\beta (Z_k - X_k)] - 1 \}, \quad (2)$$

где $Z_k = G_k / G_0$ – детерминированная переменная; $X_k = F_k / G_k$ – ее стохастический аналог; α и β – вторичные параметры неопределенности, призванные «регулировать» зависимость ФОП от Z_k и X_k .

Модель (1) - (2) – для краткости будем именовать ее однофакторной СИМ-моделью ФОП – обладает существенным недостатком: при оценке эффективности k -го сценария согласно (1) значения G_k и F_k должны быть определены в одних и

тех же единицах (денежных или условных – неважно, но в одинаковых). Переход к форме (2) устраняет зависимость от абсолютных единиц, но существа оценки не меняет: поскольку способ формирования максимума ФОП (относительные «доходы» по максимуму минус относительные «расходы» по минимуму) остается прежним.

В то же время в реальности G_k и F_k являются многофакторными (многопараметрическими) характеристиками СС, единицы измерения компонентов которых могут быть самыми разными. Это тем более верно, если вспомнить, что при определении и оценке параметров компонентов ФОП наряду с объективными верифицированными знаниями могут использоваться субъективные аксиологические знания ЛПР.

Поэтому вернемся к форме (1) и адаптируем ФОП к процедуре выявления сценария, наилучшего относительно базового «нулевого», установив идентичность двух правил:

– наилучшим является сценарий, у которого относительный выигрыш $F_k / F_0 = F_k / G_0$ будет наибольшим (с учетом того, что для базового сценария $F_0 = G_0$); относительный расход ресурсов G_k / G_0 – наименьшим, а их разность Q_k / G_0 – наибольшей по сравнению с другими сценариями, где F_k ; G_k и G_0 выражены в одинаковых абсолютных единицах;

– наилучшим является сценарий, у которого относительный выигрыш F_k / F_0 будет наибольшим; относительная экономия ресурсов G_0 / G_k – наибольшей, а их сумма $F_k / F_0 + G_0 / G_k$ – также наибольшей по сравнению с другими сценариями.

Если идентичность приведенных правил у ЛПР сомнений не вызывает, критерий оценки эффективности k -го сценария реализации СС вида

$$Q_k / Q_0 = P_k (P_{Fk} F_k / F_0 + P_{Gk} G_0 / G_k) \quad (3)$$

представляет собой альтернативу (2.4), причем компоненты F_k ; F_0 и G_k ; G_0 здесь могут быть выражены в разных единицах, так как Q_k / Q_0 реализует структуру ФОП типа «предполагаемые доходы плюс экономия расхода ресурсов» и использует его компоненты в безразмерном виде.

Больше того: декомпозиция слагаемых в правой части позволяет обобщить (3) на случай многофакторных G_k и F_k , также с разными единицами измерения. Если, например, необходимо оценить предполагаемый эколого-эргономический риск и другие факторы, определяющие эффективность проекта, имеет место

$$Q_k / Q_0 = P_k (P_{Fk} F_k / F_0 + P_{Gk} G_0 / G_k + P_{Rk} R_0 / R_k + \dots), \quad (4)$$

где R_k и R_0 – значения риска, соответственно, для k -го и базового сценариев; P_{Rk} – вероятность прогнозируемого изменения риска. По аналогии с однофакторной моделью (2), экономию ресурсов можно считать детерминированной величиной вида $Y_k = G_0 / G_k$ при $P_{Gk} = 1$, а также ввести вторую стохастическую переменную $V_k = R_0 / R_k$ и соответствующую ей вероятность $P_R = \exp(-\beta V_k)$.

Тогда, полагая, что теперь вероятности $P_k = 1 - \exp(-\alpha X_k Y_k V_k)$ и $P_{Fk} = \exp(-\gamma X_k)$ согласно [1-2], с учетом прежних обозначений сначала получим

$$Q_k = [1 - \exp(-\alpha X_k Y_k V_k)] \times [X_k \exp(-\gamma X_k) + Y_k + V_k \exp(-\beta V_k)]. \quad (5)$$

Калибровка (5) при $X_0 = Y_0 = V_0 = 1$ дает

$$Q_0 = [1 - \exp(-\alpha)] \times [\exp(-\gamma) + 1 + \exp(-\beta)] = 1,$$

откуда $\alpha = -\ln \{[\exp(-\gamma) + \exp(-\beta)] / [\exp(-\gamma) + 1 + \exp(-\beta)]\}$, и в итоге

$$Q_k / Q_0 = (1 - \{[\exp(-\beta) + \exp(-\gamma)] / [\exp(-\beta) + \exp(-\gamma) + 1]\}^{X_k Y_k V_k}) \times [X_k \exp(-\gamma X_k) + Y_k + V_k \exp(-\beta V_k)]. \quad (6)$$

Таким образом, в отличие от однофакторной СИМ-модели, в данном случае ФОП наряду с детерминированной переменной Y_k включает две взаимно независимые стохастические переменные: X_k , которая оценивает сравнительную привлекательность проекта по k -му сценарию, и V_k , ориентирующая ЛПР на выбор наиболее безопасного (по фактору риска R_k) сценария.

Каждый из этих факторов, во-первых, при выборе наилучшего варианта максимизируется, а во-вторых, может быть и дальше разложен (декомпозирован) на все необходимые компоненты с использованием тех единиц измерения, которые представляются ЛПР наиболее подходящими и доступными, – поскольку в состав ФОП (4) все они входят в безразмерном относительном виде.

Для выбора наилучшего по сравнению с другими проектами в условиях неопределенности объективных и субъективных знаний ЛПР о свойствах будущей СС двухфакторная модель (4) – (6) представляется если и не единственным в теоретическом отношении, то наиболее целесообразным в практическом плане критерием выбора.

Результаты статистического исследования однофакторной СИМ-модели ФОП

При исследовании однофакторной СИМ-модели ФОП (2) фиксируются значения детерминированной

переменной Z_k , после чего задаются пределы изменения случайной переменной $X_k [X_{kMIN}; X_{kMAX}]$, а также параметров $\alpha [\alpha_{MIN}; \alpha_{MAX}]$ и $\beta [\beta_{MIN}; \beta_{MAX}]$. Отметим, что таким же образом при исследовании двухфакторной модели ФОП задаются пределы изменения случайных переменных $X_k [X_{kMIN}; X_{kMAX}]$ и $V_k [V_{kMIN}; V_{kMAX}]$, а также параметров $\beta [\beta_{MIN}; \beta_{MAX}]$ и $\gamma [\gamma_{MIN}; \gamma_{MAX}]$, характеризующих неопределенность знаний разных ЛПР. Поэтому в обоих случаях важное значение имеют диапазоны изменения переменных и параметров СИМ, в которых они подлежат «разыгрыванию» по технологии ММК.

В отношении диапазонов переменных $X_k [X_{kMIN}; X_{kMAX}]$ и $V_k [V_{kMIN}; V_{kMAX}]$ можно сказать, что никакими другими методами, кроме экспертных (эвристических); их найти невозможно. Однако о диапазонах параметров неопределенности $\alpha [\alpha_{MIN}; \alpha_{MAX}]$; $\beta [\beta_{MIN}; \beta_{MAX}]$ и $\gamma [\gamma_{MIN}; \gamma_{MAX}]$ даже этого сказать нельзя, поскольку оценить неоднозначность моделирования неопределенности своих знаний ЛПР вряд ли способны. Вместе с тем определить соотношение между границами указанных диапазонов возможно, если оговорить, что они должны соответствовать доверительному интервалу 0,90 по значениям $P(X)$ интегральных функций распределения (ИФР), которые для однофакторной СИМ-модели ФОП есть

$$P_k = 1 - \exp(-\alpha X_k); \quad P_{Gk} = \exp(-\beta G_k / G_0). \quad (7)$$

Границы доверительного интервала, равные $P_1 = 0,05$ и $P_2 = 0,95$; соответствуют $\alpha_{1,2}$ для P_k и $\beta_{1,2}$ для P_{Gk} , поэтому, подставляя их в (7), после логарифмирования получаем

$$\alpha_2 = \alpha_1 [\ln(1 - P_2) / \ln(1 - P_1)] = 60 \alpha_1; \quad \beta_2 = \beta_1 (\ln P_2 / \ln P_1) = 0,017 \beta_1. \quad (8)$$

Аналогичным образом для двухфакторной модели имеет место

$$\beta_2 = 60 \beta_1; \quad \gamma_2 = 0,017 \gamma_1. \quad (9)$$

В обоих случаях равновероятные (в соответствии с принципом безразличия) значения случайных переменных и параметров «разыгрываются» на ЭВМ при помощи ММК в указанных конечных пределах по стандартной программе, число экспериментов («разыгрываний») $N_p \gg 1 (10^3 \dots 10^5)$.

По результатам статистической обработки N_p значений ФОП строятся гистограммы и определяются оценки среднего значения и дисперсии ФОП, а также границы доверительного интервала по вероятности 0,90 (превышаемые с вероятностями 0,95 и 0,05). При построении гистограмм число столбцов N_c , соответствующих интервалам разбиения на оси

абсцисс, определяется автоматически по формуле Стерджеса $N_c = 1 + 3,322 \lg N_p \approx 11$ для $N_p = 10^3$.

Для тестирования однофакторной модели ФОП представим (2) в более удобном виде

$$Q_k / G_0 = Z_k [1 - \exp(-\alpha X_k)] \times [X_k \exp(-\beta X_k)] - \exp(-\beta Z_k). \quad (10)$$

Отсюда видно, что при $\beta \approx 0$ имеет место $Q_k / G_0 \approx Z_k [1 - \exp(-\alpha X_k)](X_k - 1)$, то есть при $X_k \approx 1$ значения $Q_k / G_0 \approx 0$ вне зависимости от Z_k и α .

Результаты тестирования, подтверждающие работоспособность однофакторной СИМ-модели ФОП, представлены на рис. 1.

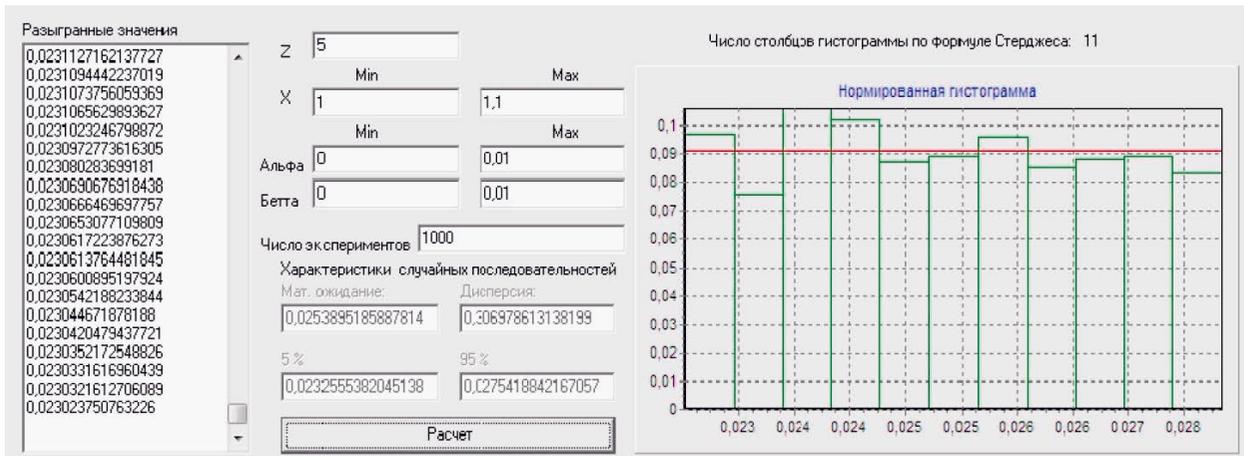


Рис. 1. Гистограммы Q_k / Q_0 и параметры тестирования однофакторной СИМ-модели ФОП: $Z_k = 5; X_k [1; 1,1]; \alpha [0; 0,01]; \beta [0; 0,01]; N_p = 10^3$

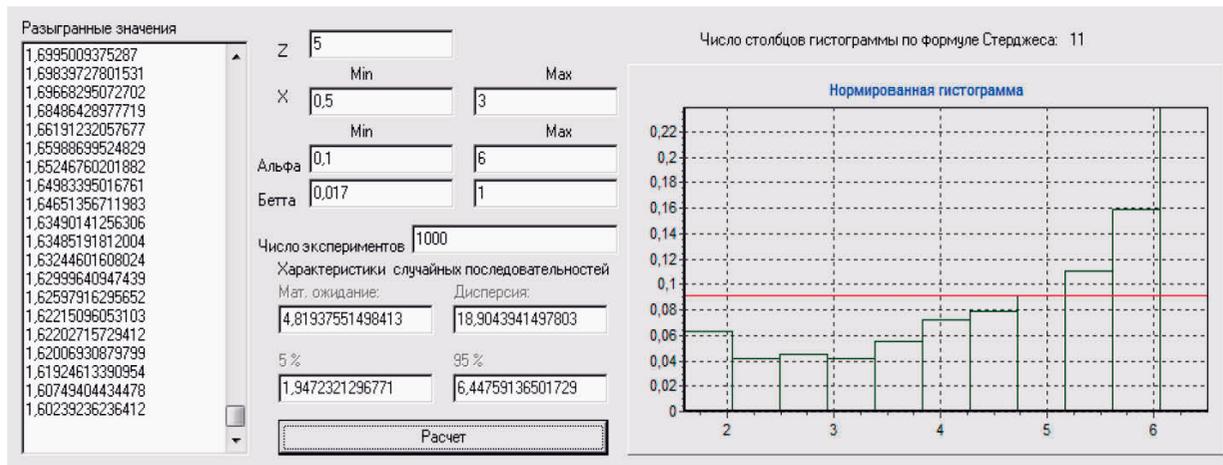


Рис. 2. Гистограммы Q_k / Q_0 и параметры однофакторной СИМ-модели ФОП при $Z_k = 5; X_k [0,5; 3]; \alpha [0,1; 6]; \beta [0,017; 1]; N_p = 10^3$

Данные рис. 2 отражают результаты моделирования ФОП с параметрами, соответствующими (9). По вертикальной оси на графиках гистограмм отложены значения частоты $P(\Delta Q_n)$ попадания ФОП в одинаковые по ширине интервалы ΔQ_n , номера которых $n [1; N_c]$, указанные на горизонтальной оси, определены по формуле $P(\Delta Q_n) = N(\Delta Q_n) / N_p$, где $N(\Delta Q_n)$ – число значений Q_k / G_0 , найденных согласно (2), попадающих в интервал ΔQ_n с номером n .

Ширину интервалов $\Delta Q_n = \Delta Q$ компьютер в процессе обработки результатов СИМ определя-

ет автоматически по формуле $\Delta Q = [(Q_k / G_0)_{MAX} - (Q_k / G_0)_{MIN}] / N_c$, где $(Q_k / G_0)_{MAX}$ и $(Q_k / G_0)_{MIN}$ – соответственно, максимальное и минимальное значения ФОП, найденные по итогам ММК; $N_c = 11$. В левой части изображений на рис. 1-2 видны текущие значения ФОП, необходимые для контроля хода процесса моделирования.

Результаты тестирования однофакторной СИМ-модели ФОП показали, однако, недостаток первоначально выбранного варианта ее программной реализации, связанный с разбросом результатов СИМ при проведении многократных

серий экспериментов. Поэтому программное обеспечение для двухфакторной СИМ-модели ФОП было доработано с целью устранения выявленного недостатка.

Результаты статистического исследования двухфакторной СИМ-модели ФОП

Двухфакторная модель ФОП (6), в отличие от однофакторной модели (2), наряду с детерминированной переменной Y_k включает две «равноправные» и независимые друг от друга стохастические переменные: X_k , которая оценивает сравнительную привлекательность проекта по k -му сценарию, и V_k , ориентирующая ЛПР на выбор наиболее безопасного (например по фактору эколого-эргономического риска) сценария. Два вторичных параметра β [β_{MIN} ; β_{MAX}] и γ [γ_{MIN} ; γ_{MAX}] учитывают неопре-

деленность знаний разных ЛПР, соответственно, о реальности получения выигрыша при выполнении проекта и о возможности снижения эколого-эргономического риска – в обоих случаях по сравнению с базовым вариантом, для которого $Q_k/Q_0 = 1$. Переменные и параметры (6) разыгрываются по равномерному закону в конечных пределах, указанных в предыдущем разделе.

Таким образом, каждому сочетанию этих четырех параметров соответствует одно значение ФОП, а после N_p -кратного повторения данной процедуры формируется массив из $N_p \gg 1$ значений ФОП. Этот массив подвергается стандартной статистической обработке, аналогичной случаю исследования однофакторной модели: строится гистограмма в пределах $(Q_k/G_0)_{MAX}$; $(Q_k/G_0)_{MIN}$ для $N_c = 11$ интервалов; определяются среднее значение, дисперсия и границы 90%-го доверительного интервала.

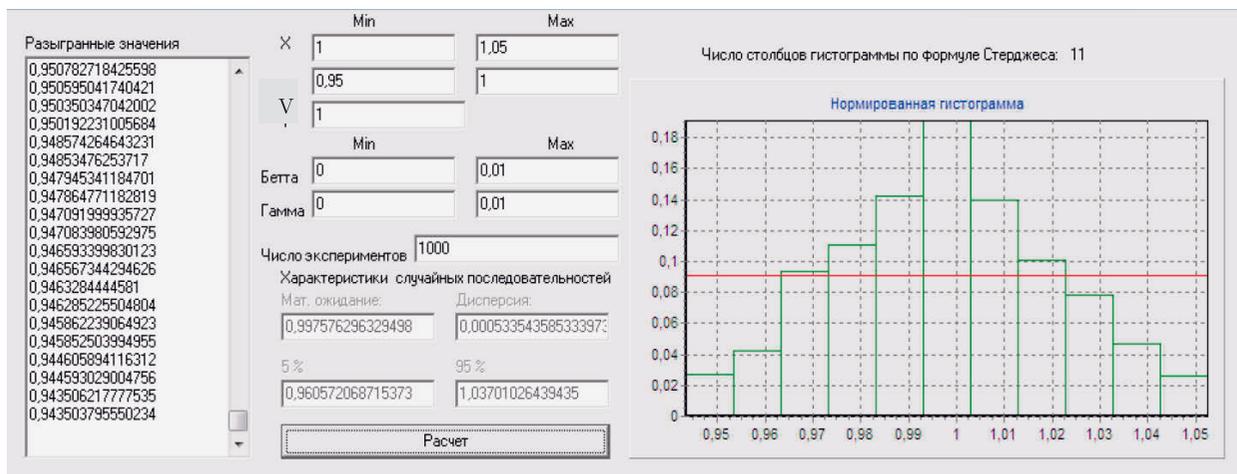


Рис. 3. Гистограммы Q_k/Q_0 и параметры тестирования двухфакторной СИМ-модели ФОП: $Y_k = 1$; X_k [1; 1,05]; V_k [0,95; 1]; β [0; 0,01], γ [0; 0,01]; $N_p = 10^3$

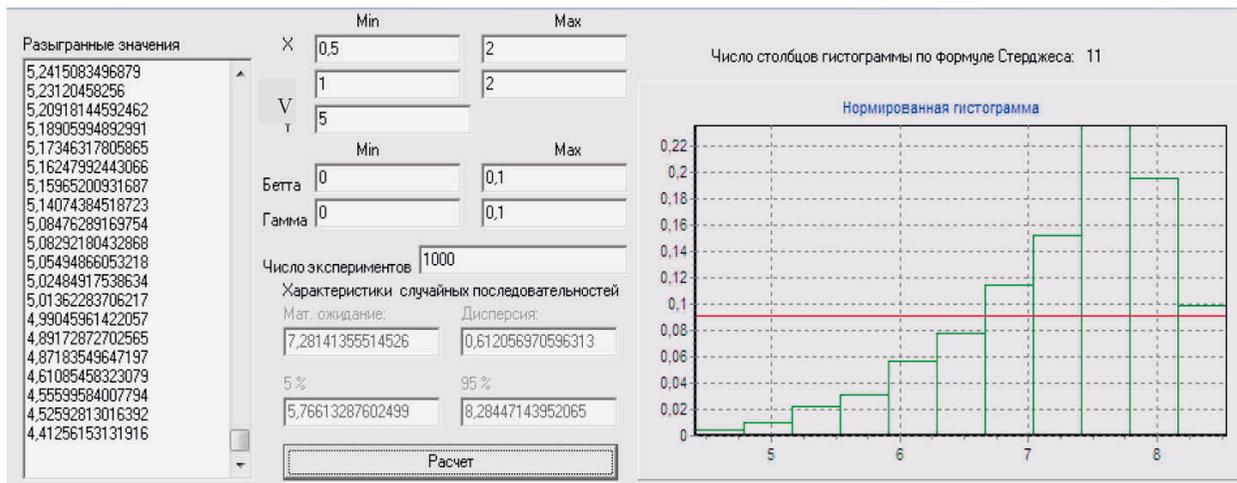


Рис. 4. Гистограммы Q_k/Q_0 и параметры двухфакторной СИМ-модели ФОП при $Y_k = 5$; X_k [0,5; 2]; V_k [1; 2]; β [0; 0,1], γ [0; 0,1]; $N_p = 10^3$

По сравнению с (2) модель (6) является более сложной, поскольку, наряду с детерминированной переменной Y_k включает две стохастические переменные: X_k и V_k , а также два вторичных параметра неопределенности β и γ . Основным преимуществом двухфакторной СИМ-модели ФОР является возможность решать с ее помощью значительно более широкий круг актуальных и значимых практических задач. Доработка программного обеспечения для двухфакторной СИМ-модели ФОР позволила существенно улучшить стабильность получаемых с ее помощью результатов при проведении многократных серий экспериментов по сравнению с однофакторной моделью.

Рис. 3 иллюстрирует итоги тестирования двухфакторной СИМ-модели при $Y_0 = 1$; X_0 [1; 1,05]; V_0 [0,95; 1]; β [0; 0,01]; γ [0; 0,01] – видно, что условие калибровки $Q_k/Q_0 = 1$ для базового варианта выполняется достаточно хорошо. Данные рис. 4 соответствуют «сверхэкономичному» сценарию реализации проекта: $Y_k = 5$ при умеренных значениях прогнозируемого риска V_k [1; 2] и ожидаемого выигрыша X_k [0,5; 2]. Видно, что в этом случае по критерию ФОР проект является весьма эффективным.

Формируя исходные данные с использованием любой доступной информации о проекте, ЛПР может обращаться к ЭВМ и получать ответ на все интересующие вопросы. Поскольку рассматриваемые фрагменты СИМ-моделей являются открытыми системами и работают в диалоговом режиме, перед ЛПР открывается широкое поле деятельности по виртуальному исследованию эффективности самых разных вариантов реализаций проекта. Возможность выбора исходных значений параметров β и γ , которые оценивают наиболее трудный для анализа фактор неопределенности знаний, позволяет ЛПР задавать их близкими к нулю (по аналогии с рис. 1 и рис. 3), а затем варьировать в нужных пределах, проверяя реакцию ФОР на их динамику. При этом следует помнить, что в любом случае СИМ-модель – это «прибор» в руках ЛПР, который выполняет за него значительную часть работы, но полностью заменить не способен.

Заключение

Приведенные данные характеризуют программный продукт, ориентированный на непосредственное применение при проек-

тировании СС: ЛПР может исследовать характеристики однофакторного и двухфакторного ФОР, соответствующих разным сценариям действий разработчиков и пользователей будущей СС с тем, чтобы выбрать вариант ее исполнения, наилучший по критерию ожидаемой полезности [1-2; 15]. При этом ЛПР должен вводить в компьютер результаты экспертной оценки прогнозируемых пределов изменения переменных и параметров неопределенности для каждого варианта реализации проекта, найти которые гораздо проще, чем достоверно и точно задать сами эти переменные и параметры.

В отличие от расчета по детерминированным формулам, в критерий выбора таким образом заранее заложен учет влияния неизбежных ошибок, неточностей, погрешностей и неадекватностей, обусловленных неопределенностью знаний ЛПР об условиях работы и характеристиках будущей СС. Если речь идет о виртуальном объекте (проектируемом, инновационном, разведанном) [3-4; 11-12], исследовать его каким-либо другим способом реальной возможности нет.

Кроме того, предложенные модели позволяют оценить влияние неопределенности знаний разных ЛПР на результаты СИМ: поскольку из их анализа видно, например, в какой мере области параметров β [β_{MIN} ; β_{MAX}] и γ [γ_{MIN} ; γ_{MAX}] влияют на форму гистограмм ФОР (6) вида Q_k/Q_0 , и степень этого влияния при необходимости можно подробно исследовать. Возможности СИМ позволяют определять важнейшие числовые характеристики ФОР: математическое ожидание и дисперсию, а также границы доверительного интервала, соответствующего вероятности 90%, однако при необходимости аналогичным образом могут быть найдены оценки асимметрии, эксцесса, а также любых начальных моментов распределения ФОР, если они представляют интерес для ЛПР. Путем аппроксимации гистограмм и с учетом результатов их статистической обработки ЛПР может выдвинуть гипотезы о возможном законе распределения ФОР в рассматриваемых ситуациях.

Доработка программного обеспечения для двухфакторной СИМ-модели ФОР показала возможность обеспечения приемлемых показателей стабильности получаемых с ее помощью результатов СИМ. В обе модели ФОР заложена возможность расширения и совершенствования в соответствии с динами-

кой внешней среды и ростом объема знаний ЛПР. Они естественным образом стыкуются с методикой проведения СИМ по МДМ на ее завершающем этапе, когда ЛПР необходимо выбрать наилучшее решение из числа исследованных и оцененных вариантов.

Возможны четыре подхода к практическому применению ФОП [2]:

- в описательных целях – для исследования процессов принятия решений в СС;
- в предсказательных (позитивистских) целях – для прогнозирования будущих состояний СС организационно-технического типа;
- для объяснения имеющихся данных о состоянии СС и оценки степени оптимальности управленческих действий ЛПР;
- с целью определения нормативной модели поведения ЛПР в интересах повышения эффективности функционирования СС.

Помимо применения в учебно-производственных целях [1] двухфакторная модель ФОП предназначена для решения широкого круга задач, связанных с обеспечением комплексной безопасности СС различного назначения [11-15].

Литература

1. Маслов О.Н., Фролова М.А. Функционал ожидаемой полезности: принципы моделирования и практического применения // Инфокоммуникационные технологии. Т. 13, №3, 2015. – С. 291-297. doi: 10.18469/ikt.2015.13.3.09
2. Маслов О.Н., Фролова М.А. Функционал ожидаемой полезности в задачах управления сложными системами организационно-технического типа // Инфокоммуникационные технологии. Т. 14, №2, 2016. – С. 168-178. doi: 10.18469/ikt.2016.14.2.09.
3. Ануфриев Д.П., Димов Э.М., Маслов О.Н., Трошин Ю.В. Статистическое имитационное моделирование и управление бизнес-процессами в социально-экономических системах. Астрахань: Изд-во АстИСИ, 2015. – 366 с.
4. Маслов О.Н. Моделирование неопределенностей // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. №9, 2014. – С. 79-84.
5. Димов Э.М., Маслов О.Н., Трошин Ю.В. Снижение неопределенности выбора управленческих решений с помощью метода статистического имитационного моделирования // Информационные технологии. №6, 2014. – С. 51-57.
6. Словарь иностранных слов. М.: Русский язык, 1982. – 608 с.
7. Алгазинов Э.К., Сирота А.А. Анализ и компьютерное моделирование информационных процессов и систем. М.: Изд-во Диалог-МИФИ, 2009. – 416 с.
8. Моисеев Н.Н. Элементы теории оптимальных систем. М.: Наука, 1975. – 526 с.
9. Нейман Дж. фон, Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение. Пер. с англ. М.: Наука, 1970. – 708 с.
10. Гермейер Ю.Б. Игры с противоположными интересами. М.: Изд-во МГУ, 1976. – 327 с.
11. Маслов О.Н. Безопасность корпорации: моделирование и прогнозирование внутренних угроз методом риска. Самара: Изд-во ПГУТИ-АЭРОПРИНТ, 2013. – 170 с.
12. Димов Э.М., Маслов О.Н., Раков А.С. Управление информационной безопасностью корпорации с применением критериев риска и ожидаемой полезности // Информационные технологии. Т.22, №8, 2016. – С. 620-627.
13. Маслов О.Н. Принципы моделирования систем защиты информации от утечки через случайные антенны // Специальная техника. №6, 2016. – С. 45-55.
14. Маслов О.Н. Защита распределенной случайной антенны от утечки информации по каналу ВЧ навязывания // Специальная техника. №2, 2017. – С. 38-48.
15. Маслов О.Н., Фролова М.А. Анализ проекта системы технической защиты информации с применением функционала ожидаемой полезности // Защита информации. Инсайд. №2, 2017. – С. 68-72.

Получено 10.05.2017

Маслов Олег Николаевич, д.т.н., профессор, заведующий Кафедрой прикладной информатики (ПИ) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел. 8-902-371-06-24. E-mail: maslov@psati.ru

Фролова Маргарита Александровна, инженер Кафедры ПИ ПГУТИ. Тел (8-846) 228-00-36; 8-903-302-40-10. E-mail: ritam2003@mail.ru

MODELING OF EXPECTED UTILITY FUNCTIONAL OF ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL TYPE SYSTEMS

Maslov O.N., Frolova M.A.

Povolzhskiy State University of Telecommunication and Informatics, Samara, Russian Federation

E-mail: ritam2003@mail.ru

The article deals with the results of computer simulation of expected utility functional, which is used as a selection criterion in the management of complex systems (SS) of organizational and technical type. The one-factor and two-factor model of expected utility functional, designed for a wide range of applications, are presented in the article. The one-factor model of expected utility functional is used to predict the effectiveness of economic projects. This model has two variables: deterministic and stochastic, and two undetermined parameters. The two-factor model is needed to solve problems in which the components of expected utility functional are expressed in unequal relative terms: for example, in monetary units and points. This model has two stochastic variables and two undetermined parameters. Both models are focused on the management of complex systems, using the statistical simulation modeling by the Dimov-Maslov method and a computer version of the Monte Carlo method. The article presents the results of the test study of both models of expected utility functional by the statistical simulation modeling.

Keywords: complex systems control, decision-making, expected utility modelling, expected utility functional

DOI: 10.18469/ikt.2017.15.4.10

Maslov Oleg Nikolayevich, Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moscovskoe shosse, Samara 443090, Russian Federation; the Head of Department of Applied Informatics, Doctor of Technical Science, Professor. Tel.: +79023710624. E-mail: maslov@psati.ru.

Frolova Margarita Aleksandrovna, Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moscovskoe shosse, Samara 443090, Russian Federation; engineer of the Department of Applied Informatics. Tel.: +78462280036; +79033024010. E-mail: ritam2003@mail.ru.

References

1. Maslov O.N., Frolova M.A. Funkcional ozhidaemoj poleznosti: principy modelirovaniya i prakticheskogo primeneniya [Functional of expected utility: principles of modeling and application]. *Infokommunikacionnye tehnologii*, vol. 13, no. 3, 2015, pp. 291-297. doi: 10.18469/ikt.2015.13.3.09
2. Maslov O.N., Frolova M.A. Funkcional ozhidaemoj poleznosti v zadachah upravleniya slozhnyimi sistemami organizacionno-tehnicheskogo tipa [Functional of expected utility: principles of modeling and application]. *Infokommunikacionnye tehnologii*, 2016, vol. 14, no. 2, pp. 168-178. doi: 10.18469/ikt.2016.14.2.09
3. Anufriev D.P., Dimov E.M., Maslov O.N., Troshin Ju.V. *Statisticheskoe imitacionnoe modelirovanie i upravlenie biznes-processami v social'no-jekonomicheskikh sistemah* [Statistical simulation modeling and business process management in the socio-economic systems]. Astrahan, AstISI Publ., 2015. 366 p.
4. Maslov O.N. Modelirovanie neopredelennostej [Modelling of uncertainty]. *Nejrokomputernyye razrabotka, primeneniye*, 2014, no. 9, pp. 79-84.
5. Dimov E.M., Maslov O.N., Troshin Ju.V. Snizhenie neopredelennosti vybora upravlencheskikh peshenij s pomoshh'yu metoda statisticheskogo imitacionnogo modelirovaniya [Reducing Uncertainty in a Choice of Management Decisions Using Statistical Simulation]. *Informacionnye tehnologii*, 2014, no. 6, pp. 51-57.
6. Slovar' inostrannykh slov [Dictionary of foreign words]. Moscow, Russkij yazyk Publ., 1982. 608 p.
7. Algazinov Eh.K., Sirota A.A. *Analiz i komp'yuternoe modelirovanie informacionnykh processov i system* [Analysis and computer modeling of information processes and systems]. Moscow, Dialog-MIFI Publ., 2009. 416 s.
8. Moiseev N.N. *Ehlementy teorii optimal'nykh system* [Elements of the theory of optimal systems]. Moscow, Nauka Publ., 1975. 526 p.
9. John von Neumann, O. Morgenstern. *Theory of games and economic behavior*. Princeton Univ. Press, 1953. (Russ. ed.: Nejman Dzh. fon, Morgenshtern O. Teoriya igr i jekonomicheskoe povedenie, Moscow, Nauka Publ., 1970. 708 p.).
10. Germejer Yu.B. *Igry s neprotivopolozhnyimi interesami* [Games with non-conflicting interests]. Moscow, MGU Publ., 1976. 327 p.

11. Maslov O.N. *Bezopasnost' korporacii: modelirovanie i prognozirovanie vnutrennih ugroz metodom riska* [Corporate security: modeling and forecasting of internal threats by the method of risk]. Samara, PGUTI-AEHROPRINT Publ., 2013. 170 p.
12. Dimov E.M., Maslov O.N., Rakov A.S. Upravlenie informacionnoj bezopasnost'yu korporacii s primeneniem kriteriev riska i ozhidaemoj poleznosti [Managing the information security of a corporation using risk criteria and expected utility]. *Informacionnye tekhnologii*, 2016, vol. 22, no. 8, pp. 620-627.
13. Maslov O.N. Principy modelirovaniya sistem zashchity informacii ot utechki cherez sluchajnye anteny [Principles of modeling information protection systems against leakage through random antennas]. *Special'naya tekhnika*, 2016, no. 6, pp. 45-55.
14. Maslov O.N. Zashchita raspredelennoj sluchajnoj anteny ot utechki informacii po kanalu VCH navyazyvaniya [Protection of a distributed random antenna from information leakage through the RF imposition channel]. *Special'naya tekhnika*, 2017, no. 2, pp. 38-48.
15. Maslov O.N., Frolova M.A. Analiz proekta sistemy tekhnicheskoy zashchity informacii s primeneniem funkционала ozhidaemoj poleznosti [Analysis of the project of the system of technical protection of information using the expected utility functionality]. *Zashchita informacii. Insajd*, 2017, no. 2, pp. 68-72.

Received 10.05.2017

УДК 004.932.2

СЕГМЕНТАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ КЛАСТЕРИЗАЦИИ

Лошкарев А.С.

*Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ
E-mail: lozhkarev-as@mail.ru*

Рассмотрены вопросы сегментации изображений, полученных при помощи систем телевизионной регистрации. В качестве объектов исследования выступают алгоритмы: метод Otsu, Adaptive Threshold, Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique. Приводится математическое описание исследуемых методов, проведено тестирование на изображениях, которые могут быть получены с их применением. Сделан вывод о том, что при необходимости оценочной сегментации пригоден метод Otsu, тогда как в других случаях нужно использовать алгоритмы, которые показывают более точные результаты.

Ключевые слова: Otsu, Adaptive threshold, ISODATA, сегментация, бинаризация, телевизионная регистрация, система технического зрения (СТЗ), обнаружение объектов

Введение

В настоящее время большое внимание уделяется внедрению информационных технологий во все отрасли деятельности современного человека. Помимо ставших привычными баз данных, позволяющих хранить и обрабатывать большие потоки информации различных типов, на многих предприятиях внедряются системы телевизионной регистрации движущихся объектов. Они достаточно эффективно позволяют отслеживать наличие людей в кадре, автомобилей, деталей на конвейере и другие. Такие системы позволяют осуществлять мониторинг охраняемых зон, предупреждать оператора станка в случае обнаружения дефекта детали. Несмотря на кажущуюся простоту, подобные системы работают по сложным алгоритмам, состоящим из нескольких этапов.

Если говорить о наиболее сложных из них, то следует обратить внимание на алгоритмы сег-

ментации входной информации. Их основной задачей является выделение на входящем изображении участков, которые представляют ценность для исследования либо проведения операций над ними. Принимая во внимание популярность подобных систем, следует отметить, что исследование, оптимизация и улучшение работы алгоритмов, решающих подобные задачи, является достаточно актуальным вопросом в настоящее время.

Рассматривая существующие методы сегментации изображений, можно обратить внимание на то, что некоторые из них являются более популярными, а другие нет. В настоящее время наиболее часто используется сегментация методами Otsu, Adaptive Treshold, ISODATA [1]. Данные методы получили широкое распространение за счет своей универсальности, а также простоты своей реализации на ЭВМ. Наиболее простым из исследуемых является метод кластеризации Otsu.