УДК 004.67

В.Б. Ивкин, Е.А. Лопатин

Автоматизация ситуационного анализа обстановки в регионе на основе девиационной модели

Предложен подход, реализующий процедуру выбора и оценки признаков, характеризующих кризисную ситуацию. По результатам анализа формируется признаковое пространство, позволяющее идентифицировать назревающие кризисные ситуации.

Ключевые слова: обстановка, признаковое пространство, девиационная модель, ситуация, информативность признака, инкрементно-декрементный подход.

При анализе обстановки в регионе (ОР) используется понятие «ситуация», т.е. набор обстоятельств, которые в данное конкретное время и решающим образом влияют на состояние обстановки. Комплекс программно-технических средств, обеспечивающий информационно-аналитическую поддержку принятия решений, принято называть ситуационным центром (СЦ). Целями создания ситуационных центров являются: мониторинг состояния объекта управления, прогнозирование развития ситуации на основе анализа поступающей информации, моделирование последствий управленческих решений на базе использования информационно-аналитических систем, экспертная оценка принимаемых решений и их оптимизация, управление в кризисной ситуации. СЦ получили большое развитие и широко применяются в управлении производственными процессами, при добыче и транспортировке углеводородов, в электроэнергетике, в атомной промышленности, в военных, силовых, властных и других структурах [1].

Одной из наиболее сложных ситуаций по характеру взаимодействия вовлеченных субъектов, возможности прогнозирования начала и направления дальнейшего развития является кризисная ситуация и, как следствие, варианты ее разрешения. Повышение оперативности и снижение трудоемкости анализа обстановки обеспечивается за счет автоматизации части функций должностных лиц (ДЛ) органа управления.

Каждое событие отражается во множестве данных, преобразование которых позволяет выделить параметры $X^* = \{x_i\}_{i=1}^{N^*}$, прямо или косвенно характеризующие объекты наблюдения и источники информации. Однако признаками того или иного события будут не все возможные его характеристики, а только те $X = \{x_i\}_{i=1}^{N}$, при $X \le X^*$ и $N \le N^*$, наблюдение за которыми увеличивает знания о нем:

$$P(c_l / x_i) > P(c_l)\,. \tag{1}$$

При этом важным аспектом признакового пространства являются отношения значимости признаков. Данное свойство характеризуется тремя основными показателями: информативностью признаков; устойчивостью их проявления; степенью их зависимости между собой.

Из общего числа параметров $\{X^*\}$, характеризующих состояние объектов наблюдения, для дальнейшего анализа выбираются те $\{X'\}$, которые поддаются количественным или качественным измерениям имеющимися средствами.

Анализ особенностей проявления ситуаций целесообразно проводить с использованием имитационной модели ОР, построенной на основе статистических данных. Оценка признакового пространства осуществляется путем последующего выполнения нескольких этапов.

I. На первом этапе для каждого момента модельного времени фиксируется проявление тех или иных параметров, которые характеризуют состояние объектов наблюдения и источников информации в ходе их нормального (повседневного) режима функционирования:

1. Определяются параметры выборочного среднего и выборочной дисперсии для каждого признака x_i и формируются массивы $M_{X'} = \{m_{x_i}\}_{i=1}^{N'}$ и $\theta_{X'} = \{\sigma_{x_i}\}_{i=1}^{N'}$.

2. Для каждого x_i формируются массивы выборочного среднего $M_{X',l} = \{m_{x_{i,l}}\}_{i=1}^{N'}$ и выборочной дисперсии $\theta_{X',l} = \{\sigma_{x_{i,l}}\}_{i=1}^{N'}$, характеризующие пределы изменения признаков x_i в каждой из ситуаций c_l.

3. Учитывая стремление закона распределения значений параметров к нормальному, вычисляются $\delta_{x_i}^{\max}$ и $\delta_{x_i}^{\min}$ – пороговые величины отклонений значения параметра x_i от среднестатистического и заполняются массивы данных $\Theta^{\max} = \{\delta_i^{\max}\}_{i=1}^{N'}$ и $\Theta^{\min} = \{\delta_i^{\min}\}_{i=1}^{N'}$:

$$\delta_{x_i}^{\max} = m_{x_i} + 3\sigma_{x_i}, \tag{2}$$

$$\delta_{x_i}^{\min} = m_{x_i} - 3\sigma_{x_i}, \tag{3}$$

где ($\delta_{x_i}^{\max}, \delta_{x_i}^{\min}$) – интервал значений, к которому принадлежат возможные значения x_i в отсутствие изменений ОР.

4. Определяются параметры, значения которых меняются в связи с изменениями ОР, и формируется набор признаков в соответствии с условием

$$\delta_i^{\min} \geq m_{x_{i,l}} \geq \delta_i^{\max}. \tag{4}$$

По результатам анализа для каждой c_l строится вектор признаков $X'_l = \{x_{i,l}\}_{i=1}^{N'}$, принимающих значения $x_{i,l} = (0,1)$ и характеризующих рассматриваемую ситуацию. Признаку $x_{i,l}$ присваивается значение "1", если текущее значение $m_{x_{i,l}}$ выходит за пределы интервала ($\delta_{x_i}^{\max}, \delta_{x_i}^{\min}$), т.е. выполняется условие (4), и $x_{i,l} = 0$, если (4) не выполняется.

5. Определяется наличие индивидуального признака ситуации, для которого выполняется условие:

$$\frac{1}{\sum_{l=1}^{K} x_{i,l}} = 1. \tag{5}$$

II. На втором этапе проводится расчет информативности признаков наборов X'_l при $l = 1,...,K$:

1. Для каждого отдельного признака x_i определяется нормированное расстояние между объектами (событиями), представленными для распознавания:

$$\Delta m_{x_{i,l,s}} = \frac{\left| m_{x_{i,s}} - m_{x_{i,l}} \right|}{\max(x_{i,s}) - \min(x_{i,l})}, \tag{6}$$

где $\Delta m_{x_{i,l,s}}$ – нормированное расстояние между l-м и s-м событиями по i-му признаку; $x_{i,l}$, $x_{i,s}$ – параметры i-го признака, проявляющегося при возникновении l-го и s-го события ОР.

2. Рассчитывается абсолютный показатель информативности признака:

$$I_i^a = \frac{2}{k(k-1)} \cdot \sum_{s=1}^{k-1} \left(\sum_{l=s+1}^{k} \Delta m_{x_{i,l,s}} \right), \tag{7}$$

где k – количество объектов, представленных для распознавания в выборке; s и l – события.

3. Полученный результат (7) нормируется:

$$I_{i,l} = \frac{\left| I_i^a - \min(\Delta m_{x_{i,l,s}}) \right|}{\max(\Delta m_{x_{i,l,s}}) - \min(\Delta m_{x_{i,l,s}})}, \tag{8}$$

где $I_{i,l}$ – нормированный показатель информативности i-го признака в l-й ситуации.

III. На третьем этапе производится оценка устойчивости признака типового события c_l по факту зафиксированного проявления признака:

1. Формируется выборка реализаций и в соответствии с (4)

$$x_{i,l,j} = \begin{cases} 1, \text{ если в } j\text{-й реализации} \\ \text{ситуации } l \text{ (4) выполняется,} \\ 0, \text{ в противном случае.} \end{cases} \quad (9)$$

2. Рассчитывается устойчивость проявления признака:

$$P_{i,l} = \frac{\sum_{j=1}^{J} x_{i,l,j}}{J}, \quad (10)$$

где $P_{i,l}$ – вероятность проявления *i*-го признака при *l*-м событии; $x_{i,l,j}$ – значение *i*-го признака в *j*-й реализации аналогичного варианта *l*-го события при $j = \overline{1,J}$.

По результатам расчета информативности и устойчивости элементов признакового пространства из $X' = \{x_i\}_{i=1}^{N'}$ формируется $X = \{x_i\}_{i=1}^{N}$ и вектора $X_l = \{x_{l,i}\}_{i=1}^{N}$, при $N \le N'$.

IV. Существование системного эффекта, проявляющегося в процессе изменений ОР, обеспечивает дополнительные возможности для анализа. В качестве показателя оценки интегративных свойств ОР используется парный коэффициент корреляции между параметрами признаков. На основании ранее полученных результатов рассчитываются парные коэффициенты корреляции:

$$r_{i,g,l} = \frac{\sum_{m=1}^{M} (x_{i,l,m} - m_{x_{i,l}}) \cdot (x_{g,l,m} - m_{x_{g,l}})}{M \cdot \sigma_{x_{i,l}} \cdot \sigma_{x_{g,l}}}, \quad (11)$$

где $r_{i,g,l}$ – коэффициент корреляции между параметрами *i*-го и *g*-го признаков, проявляющихся при *l*-м событии; $x_{i,l,m}$, $x_{g,l,m}$ – значения *i*-го и *s*-го признаков, проявившихся при *l*-м событии в *m*-й реализации; $m_{x_{i,l}}$, $m_{x_{g,l}}$ – средние значения *i*-го и *g*-го признаков, проявившихся при *l*-м событии; $\sigma_{x_{i,l}}$, $\sigma_{x_{g,l}}$ – среднеквадратические отклонения параметров *i*-го и *g*-го признаков при *l*-м событии в ОР.

Таким образом, рассчитывается корреляционная матрица признаков для ситуации c_l размерностью $n \times n$.

В случае если зависимость выявлена, в признаковом пространстве включаются дополнительные признаки, выступающие в форме пара- или полипризнака. Выделение парапризнака осуществляется по правилу

$$X_{i,g} \in \{X\}, \text{ при } r_{i,g} > r_{\text{тр}}, \quad (12)$$

где $X_{i,g}$ – парапризнак, представляющий комбинацию *i*-го и *g*-го простых признаков; $\{X\}$ – множество признаков, образующее признаковое пространство; $r_{\text{тр}}$ – нормированное значение коэффициента парной корреляции.

Если зависимость выявлена для нескольких признаков, аналогичным образом в признаковое пространство включается полипризнак.

Следует отметить, что включение в признаковое пространство сложных признаков в какой-то мере дублирует простые. Однако с точки зрения информированности ДЛ частичное дублирование признаков не приводит к преднамеренному завышению информационных оценок относительно объекта распознавания.

Расчет всех представленных выше показателей осуществляется для статического режима функционирования системы. Получение динамических характеристик предполагает проведение подобных расчетов для каждого фиксированного интервала времени. Для получения непрерывной зависимости во времени совокупность фиксированных оценок аппроксимируется сплайном. В результате для данных показателей формируются их функциональные зависимости от периода протекания ситуации:

$$P_{i,l} = F^{P_{i,l}}(t), \quad (13)$$

$$I_{i,l} = F^{I_{i,l}}(t), \quad (14)$$

$$r_{i,g,l} = F^{r_{i,g,l}}(t). \quad (15)$$

В связи с тем, что в данном подходе анализ и выявление изменений ОР реализуются на основе отклонений текущих значений признаков от номинальных, целесообразно использование понятия «девиационная модель ситуации». Главной отличительной особенностью предлагаемого подхода является описание ситуаций в дискретном пространстве тенденций изменения значений признаков. Данная особенность проявления ситуаций ОР позволяет создавать базу знаний о реакциях объектов наблюдения. Определим направление приращений признаков в сторону отклонения от нормального состояния как инкрементное отклонение и, наоборот, в сторону возвращения к номинальным значениям как декрементное отклонение.

Используя инкрементно-декрементный подход, протекание тех или иных событий ОР будем считать инкрементным, если интенсивность их увеличивается, и декрементным, если интенсивность угасает.

Процедура анализа инициируется в определенные дискретные моменты времени t. Каждое измерение значений множества признаков $X = \{x_i\}_{i=1}^{N}$ фиксируется и записывается в дескрипторы:

$$DS_X^t = \{x_i(t)\}_{i=1}^{N}. \tag{16}$$

Дескрипторы содержат код текущей ситуации на указанный момент времени.

Вычисляются девиации:

$$T_i^1 = \begin{cases} T_{i^+}^1 & \text{если } \left|x_i^t - m_{x_i}\right| > \left|x_i^{t-\tau} - m_{x_i}\right| \\ T_{i^-}^1 & \text{если } \left|x_i^t - m_{x_i}\right| < \left|x_i^{t-\tau} - m_{x_i}\right| \\ T_{i^{\text{н}}}^1 & \text{если } \left|x_i^t - m_{x_i}\right| = \left|x_i^{t-\tau} - m_{x_i}\right| \end{cases}, \tag{17}$$

где m_{x_i} – выборочное среднее значение признака x_i.

Помимо факта отклонения значений признаков от номинальных показателей, необходимо оценить скорость этих тенденций:

$$\left|\Delta x_i^{t,t-\tau}\right| = \left|\Delta x_i^t\right| \Big/ \left|\Delta x_i^{t-\tau}\right|, \tag{18}$$

$$\Delta x_i^t = \frac{d\left|\Delta x_i^{t,t-\tau}\right|}{dt}. \tag{19}$$

При $T_i^1 = T_{i^{\text{н}}}^1$ вместо интенсивности проверяется соответствие x_i диапазону значений данного признака при l-м событии от $\delta_{i,l}^{\min}$ до $\delta_{i,l}^{\max}$.

Формируются массивы (матрицы), содержащие значения признаков, направление изменения и скорость изменения признаков:

$$DS_X = \begin{pmatrix} x_1^t, & x_2^t, & \ldots, & x_n^t \\ x_1^{t-\tau}, & x_2^{t-\tau}, & \ldots, & x_n^{t-\tau} \\ & \ldots & & \\ x_1^{t-m\tau}, & x_2^{t-m\tau}, & \ldots, & x_n^{t-m\tau} \end{pmatrix}, \tag{20}$$

$$T_X = \begin{pmatrix} T_1^t, & T_2^t, & \ldots, & T_n^t \\ T_1^{t-\tau}, & T_2^{t-\tau}, & \ldots, & T_n^{t-\tau} \\ & \ldots & & \\ T_1^{t-m\tau}, & T_2^{t-m\tau}, & \ldots, & T_n^{t-m\tau} \end{pmatrix}, \tag{21}$$

$$DS_{\Delta X} = \begin{pmatrix} \Delta x_1^t, & \Delta x_2^t, & ..., & \Delta x_n^t \\ \Delta x_1^{t-\tau}, & \Delta x_2^{t-\tau}, & ..., & \Delta x_n^{t-\tau} \\ & ... & & \\ \Delta x_1^{t-m\tau}, & \Delta x_2^{t-m\tau}, & ..., & \Delta x_n^{t-m\tau} \end{pmatrix}. \quad (22)$$

Промежуток времени τ определяется экспертным способом, с таким условием, что он не должен превышать половины длительности любой из рассматриваемого множества ситуаций.

Далее, для оценки обстановки, необходимо определить текущие события в политической, военной и экономической сферах, а также тенденции их развития. Для оценки целесообразно применить обобщенный коэффициент сходства, который будет учитывать информативность девиаций признаков, отличных от нуля:

$$k_l^{cx} = \frac{\sum_{i=1}^{N} (x_i^{Л} \cdot I_{i,l})}{N}, \quad (23)$$

где $I_{i,l}$ – показатель информативности i-го признака при l-м событии; $x_i^{Л}$ – логический признак:

$$x_i^{Л} = \begin{cases} +1, \text{ если } T_i \in T_{i^+}, \\ 0, \text{ если } T_i \in T_{i^н}, ; \\ -1, \text{ если } T_i \in T_{i^-}. \end{cases} \quad (24)$$

Данный показатель характеризует направление развития ситуации: положительный коэффициент сходства определяет направление развития ситуации ОР как активизирующейся. Отрицательный – говорит о нормализации отношений и переходе обстановки в повседневное состояние.

Матрица $DS_{\Delta X}$ характеризует активность действий ДЛ и интенсивность развития событий.

Упорядочение ситуаций по возрастанию k_l^{cx} k_l^{cx}, при этом правило выбора ситуации на множестве признаков:

$$F : c_{\text{наблюдаемая}} = \max \; k_l^{cx}. \quad (25)$$

Инкрементные тенденции говорят о развитии кризисной ситуации, а декрементные – о спаде активности и переходе к фазе разрешения конфликта. Расчет производится на основе матриц, содержащих логические значения событий: 1 – протекает, 0 – нет направления и скорости развития:

$$DS_C = \begin{pmatrix} c_1^t, & c_2^t, & ..., & c_k^t \\ c_1^{t-\tau}, & c_2^{t-\tau}, & ..., & c_k^{t-\tau} \\ & ... & & \\ c_1^{t-m\tau}, & c_2^{t-m\tau}, & ..., & c_k^{t-m\tau} \end{pmatrix}, \quad (26)$$

$$T_C = \begin{pmatrix} T_1^t, & T_2^t, & ..., & T_k^t \\ T_1^{t-\tau}, & T_2^{t-\tau}, & ..., & T_k^{t-\tau} \\ & ... & & \\ T_1^{t-m\tau}, & T_2^{t-m\tau}, & ..., & T_k^{t-m\tau} \end{pmatrix}, \quad (27)$$

$$DS_{\Delta C} = \begin{pmatrix} \Delta c_1^t, & \Delta c_2^t, & ..., & \Delta c_k^t \\ \Delta c_1^{t-\tau}, & \Delta c_2^{t-\tau}, & ..., & \Delta c_k^{t-\tau} \\ & ... & & \\ \Delta c_1^{t-m\tau}, & \Delta c_2^{t-m\tau}, & ..., & \Delta c_k^{t-m\tau} \end{pmatrix}, \quad (28)$$

где

$$\Delta c_l^t = \frac{\sum_{i=1}^{N} \Delta x_{i,l}^t}{N}. \qquad (29)$$

Расчет коэффициента сходства позволяет определить направление развития ОР и возможности назревания кризисной ситуации:

$$k_{\text{КС}}^{\text{сх}} = \frac{\sum_{l=1}^{K} \left(c_l^t \cdot \nu_l \right)}{K}, \qquad (30)$$

где ν_l – важность l-й ситуации и способность ее влияния на ОР определяется экспертным способом.

Приближение разделяющей способности правила к потенциальнодопустимому значению обеспечивается за счет коррекции словаря признаков и их количественных параметров, характеризующих эталонные описания объектов наблюдения.

Предлагаемый подход позволяет исследовать любую характеристику признакового пространства, которая может быть использована в качестве источника информации и позволяет оценивать:

– характеристики объекта распознавания не по вкладу, вносимому группой признаков в интегральный показатель вскрытия ситуации ОР, а по получению информации о разрешающей способности каждого признака, что, во-первых, повышает чувствительность оценки, во-вторых, конкретизирует результат оценки посредством определения весового коэффициента признака;

– степень зависимости между поведенческими характеристиками объектов наблюдения, источников информации и динамическими характеристиками признакового пространства.

На основе анализа ДЛ органа управления должен быть представлен конечный набор возможно складывающихся ситуаций и предложений по принятию решений. Таким образом, за счет предоставления возможности вскрытия неявных закономерностей, взаимозависимостей и факторов влияния в интересах задач анализа ОР система обеспечит выполнение части функций ДЛ органа управления.

В отличие от известных подходов, важной особенностью предложенного является чувствительность используемых оценок к изменению структуры ситуации и ее поведенческих характеристик, которая характеризуется показателем чувствительности $K_{\text{ч}}$, преимущество по которому составляет до семи процентов [2, 3].

Сравнительный анализ результатов эксперимента на учебно-тренировочных комплексах для предлагаемого подхода и существующих подходов [2–4] представлен на рис. 1.

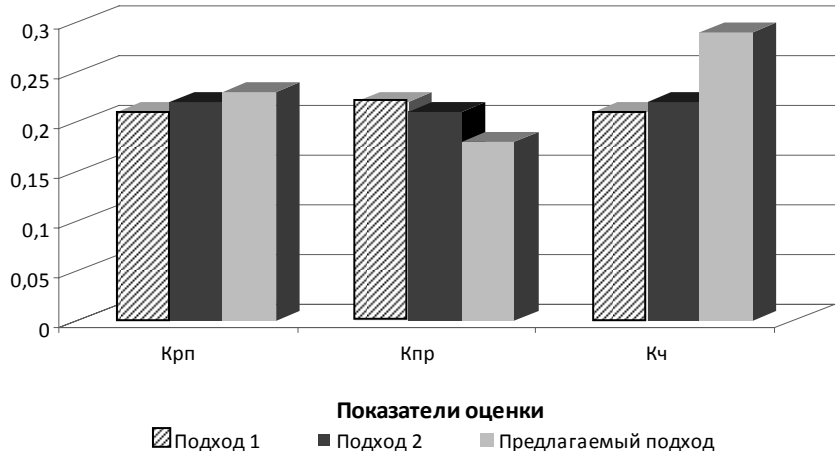

Рис. 1. Сравнительный анализ показателей эффективности существующих подходов к идентификации кризисных ситуаций

На рис. 1 $K_{\text{рп}}$ – коэффициент ресурсопотребления; $K_{\text{пр}}$ – коэффициент простоты реализации; $K_{\text{ч}}$ – коэффициент чувствительности.

Предложенный подход к автоматизации ситуационного анализа обстановки в регионе на основе девиационной модели обеспечивает эффективную оценку обстановки в регионе. Таким образом,

предлагаемый подход позволяет автоматизировать процессы обработки разнородных данных, выделить признаки изменения особенностей функционирования объектов наблюдения, а также построить модели событий в политической, военной и иных сферах гражданского общества с целью оценки их влияния на дальнейшее развитие обстановки в регионе.

Литература

1. Зыков Д.Д. Проблема информационной безопасности производства наноэлектроники / Д.Д. Зыков, С.С. Бондарчук, Р.В. Мещеряков // Доклады ТУСУРа. 2010. – № 1(21) – С. 93–94.

2. Тараскин М.М. Теоретические проблемы поддержки выработки решения при распознавании ситуации в автоматизированных информационных системах. – СПб.: ВУС, 2002. – 332 с.

3. Сергеенков В.Ю. Разработка аналитической модели ситуаций при анализе сложных динамических систем / В.Ю. Сергеенков, В.Л. Яковлев // Телекоммуникации. – 2009. – № 2. – С. 7–10.

4. Модели и методы оценки защищенности информации и информационной безопасности объекта / С.С. Ерохин, С.С. Бондарчук, Р.В. Мещеряков // Безопасность информационных технологий. – 2007. – № 4. – С. 39–46.

Ивкин Владимир Борисович
Канд. воен. наук, ЗАО «Современная сотовая связь», г. Москва
Тел.: (916) 519-55-76
Эл. почта: e_lopatin@inbox.ru

Лопатин Евгений Александрович
Канд. техн. наук, ЗАО «Современная сотовая связь», г. Москва
Тел.: (916) 519-55-76
Эл. почта: e_lopatin@inbox.ru

Ivkin V.B., Lopatin E.A.

Automated situational analysis of region's conditions changes based on the deviation model

The implementations approach of selection and assessment the signs that characterize the crisis situation. According to the analysis the feature space is formed thus permitting identify the brewing crisis.

Keywords: region condition changes, feature space, deviation model, situation, feature information value, incrementally-decremental approach.