

С.Ю. Бутузов, Л.А. Сорокин
(Академия ГПС МЧС России; e-mail: l.40in@ya.ru)

МЕТОДИКА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ В МЕСТАХ МАССОВОГО ПРЕБЫВАНИЯ ЛЮДЕЙ

Анализируются вопросы обеспечения безопасности в местах массового пребывания людей. Разработана методика управления идентификацией и перехватом интересантов с учётом особенностей комплекса технических средств идентификации по изображению.

Ключевые слова: безопасность, распознавание личности, системы видеонаблюдения.

S.Yu. Butuzov, L.A. Sorokin **METHODS OF ENSURING SECURITY IN PLACES OF MASS STAY OF PEOPLE**

The questions of ensure security in places of mass stay of people were analyzed. A method for managing the identification and interception of wanted persons taking into account the features of the complex of technical means of identification by image was developed.

Key words: security, face recognition, video surveillance.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 23 апреля 2017 г.

Место массового пребывания людей является одним из основных для общественно-опасных преступных деяний криминальных структур и террористических группировок. В ходе анализа статистических данных выявлено, что количество зарегистрированных террористических актов в 2016 г., по сравнению с 2012 г., увеличилось более чем в 3,5 раза, экономический ущерб от пожара на объекте общественного назначения в среднем составляет 382,5 тыс. руб., а от теракта – 237,6 млн руб. Кроме того, современный мир столкнулся с угрозами нового типа, для реализации которых могут использоваться повседневные устройства техногенного характера. Свидетельством тому служат теракты в Ницце, Берлине, Лондоне, Стокгольме. Таким образом, в настоящее время задача обеспечения пожарной и криминальной безопасности мест массового пребывания людей остаётся актуальной.

В результате анализа определено, что защищённость мест массового пребывания людей при эффективном использовании сил и средств может быть повышена за счёт использования **комплекса технических средств (КТС)** идентификации по изображению для оповещения сотрудников службы безопасности о появлении разыскиваемых лиц (интересантов) на объекте, возникновении пожара, дыма и т.д. Кроме того данная система может использоваться для координации сил и средств охраны при прогнозировании, обнаружении и противодействии дестабилизирующим проявлениям интересантов.

Опишем методику обеспечения безопасности в местах массового пребывания людей.

Известно 0, что пространство состояний объекта управления (фазовое пространство управления) $\Theta(y, t)$ в общем случае является многомерным математическим (рис. 1), где $y \in Y$ и Y – множество возможных состояний объекта, а t – момент времени. Значение y зависит от управляющих воздействий на объект $u \in U$ и дестабилизирующих факторов внешней среды $x \in X$, при этом $y = G(u, x)$, где $G(u, x)$ – функция реакции объекта на воздействия.

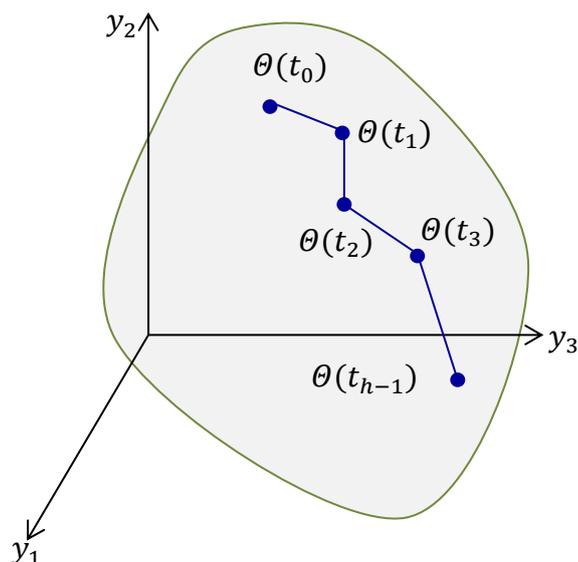


Рис. 1. Фазовое пространство управления для трёх переменных состояний

Таким образом, состояние безопасности можно описать уравнением вида $\Theta(t) = \Phi[Y(t), U(t), X(t), t]$. В результате управленческих воздействий $U(t)$ внешних факторов $X(t)$ при начальном условии $Y(t_0)$ в фазовом пространстве управления состояние объекта меняется, и решение уравнения имеет вид $Y(t, U(t), X(t), y(t_0))$. Каждому состоянию объекта (решению уравнения) соответствует определённая точка. Соединяющую эти точки линию называют траекторией движения объекта.

Предположим, что в области Θ можно выделить некоторую подобласть состояний Θ_c , которая является желательной. Тогда цель управления заключается в том, чтобы перевести объект из начального состояния $Y(t_0)$ в конечное состояние $Y(t_k)$, принадлежащее Θ_c . Задача управления заключается в том, чтобы в области допустимых управлений подобрать такое управляющие воздействие, при котором достигнута цель. То есть требуется отыскать такое допустимое управление $U(t)$, определённое на временном отрезке $[t_0, t_k]$, при котором уравнение объекта при заданном начальном состоянии и известном векторе $X(t)$ имеет решение $Y(t)$, удовлетворяющее ограничению $Y(t) \in \Theta(Y)$ при всех $t \in [t_0, t_k]$ и конечному условию $Y(t_k) \in \Theta_c$.

Тогда провести оценку эффективности взаимодействия КТС и оператора можно на основе метода совместного реагирования 0: необходимо построить функции оценки реагирования оператора $\theta_1(t)$ и оценки эффективности КТС $\theta_2(t)$.

Рассмотрим случайную величину θ_1 , равную времени реакции оператора на интересанта. На основании исследований 0 будем считать, что функция реагирования оператора имеет вид:

$$\theta_1 = a_0 y'_1{}^{l_0}(t) \dots y'_{n_3}{}^{d_0}(t) + \dots + a_{h-1} y'_1{}^{l_{h-1}}(t) \dots y'_{n_3}{}^{d_{h-1}}(t), \quad (1)$$

где $y'_1{}^{l_i}(t) \dots y'_{n_3}{}^{d_i}(t)$ – показатели (факторы) эффективности сотрудника (объекта управления), которые являются независимыми переменными (внимательность, скорость и т.д.);

a_0, \dots, a_{h-1} – коэффициенты регрессии, определяемые по результатам испытаний;

h – количество испытаний.

На основе регрессионного анализа (например, с использованием метода наименьших квадратов) *лицо, принимающее решение, (ЛПР)* может выбирать управляющие воздействия, а именно – менять показатели сотрудника, которые позволят повысить его эффективность:

- прогнозировать состояние сотрудника при ожидаемых сочетаниях показателей его эффективности;

- формировать управляющие воздействия по подконтрольным показателям с целью поддержания (или изменений по требуемому закону) состояния сотрудника в заданной области фазового пространства управления;

- находить экстремум функции реагирования θ_1 на множестве показателей эффективности сотрудника для определения наиболее благоприятных или опасных их сочетаний.

Аналогично рассмотрим случайную величину θ_2 , равную времени обнаружения интересанта КТС. На основании 0 можно получить выражение для θ_2 :

$$\theta_2(t) = k * (t_{\text{рег}} + t_{\text{ш}} + (a * m + b) * m + t_{\text{дет}}) + t_0, \quad (2)$$

где k – количество камер в сети видеоконтроля;

$t_{\text{рег}}$ – время регистрации интересанта;

$t_{\text{ш}}$ – время предобработки изображения;

a, b – константы, характеризующие БД;

m – количество анализируемых интересантов, информация о которых хранится в БД;

$t_{\text{дет}}$ – время детектирования;

t_0 – время получения изображения.

Случайным величинам θ_1 и θ_2 соответствует функция распределения:

$$F_{\theta_i}(t) = P\{\theta_i < t\}, \forall t \in R, i \in \{1, 2\}. \quad (3)$$

Будем считать, что случайные величины θ_1 и θ_2 независимы и имеют абсолютно непрерывное распределение, тогда существуют плотности f_{θ_i} :

$$F_{\theta_i}(t) = \int_{-\infty}^t f_{\theta_i}(\tau) d\tau, i \in \{1, 2\}. \quad (4)$$

Далее воспользуемся теоремой о свёртке независимых и абсолютно непрерывных случайных величин 0. Согласно данной теореме, сумма случайных величин θ_1 и θ_2 образуют абсолютно непрерывную случайную величину с функцией распределения

$$F_{\theta_1+\theta_2}(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} F_{\theta_1}(t-\tau) f_{\theta_2}(\tau) d\tau, \quad i \in \{1, 2\}. \quad (5)$$

Таким образом, вероятность того, что время реакции КТС и оператора на интересанта будет меньше времени покидания интересантом пространства обзора видеокамеры:

$$\begin{aligned} P\{\theta_1 + \theta_2 < \Delta t_{\text{и}}\} &= P\left\{\theta_1 + \theta_2 < \frac{\Delta x'}{v}\right\} = F_{\theta_1+\theta_2}\left(\frac{\Delta x'}{v}\right) = \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} F_{\theta_1}\left(\frac{\Delta x'}{v} - \tau\right) f_{\theta_2}(\tau) d\tau, \end{aligned} \quad (6)$$

где $\Delta t_{\text{и}}$ – время нахождения интересанта в пространстве обзора видеокамеры, $\Delta x'$ – отрезок маршрута движения интересанта, который попадает в обзор видеокамеры;

v – скорость движения интересанта.

Далее необходимо оценить вероятность обнаружения интересанта при перемещении по траектории из точки A в точку B (рис. 2). Для этого разделим траекторию движения на отрезки. Будем считать, что на данной траектории движения установлено множество видеокамер. При этом на одном отрезке маршрута его движения установлено не больше одной видеокамеры. Время обнаружения интересанта при его попадании в поле видимости одной камеры определяется выражением (6).

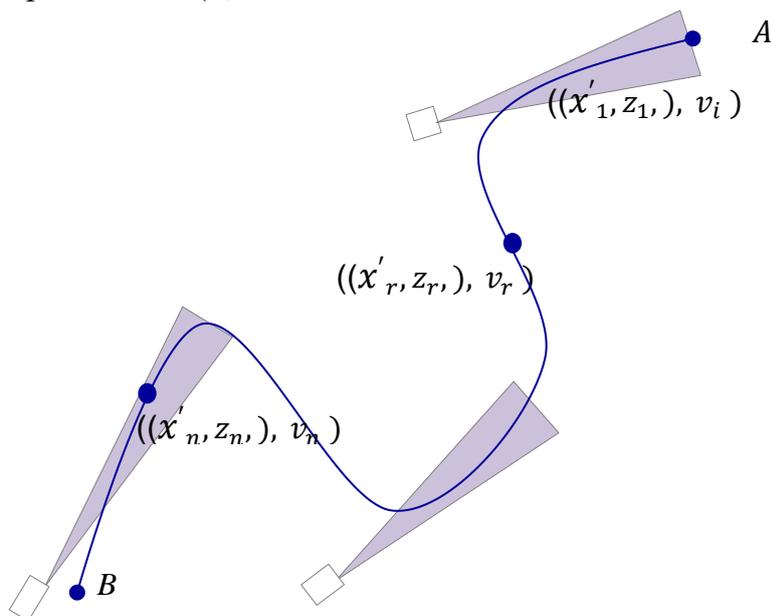


Рис. 2. Траектория движения интересанта

Построим следующее вероятностное пространство $(\Omega, \mathfrak{A}, P(\cdot))$:

- $w = (\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_{n_{отр}})$ – элементарное событие, где $\varepsilon_r \in \{0, 1\}$ – исход попытки обнаружения интересанта на r -м отрезке маршрута;
- $n_{отр}$ – количество отрезков, на которые разделён маршрут;
- $\Omega = \{w\}$ – пространство элементарных событий;
- $\mathfrak{A} = \rho(\Omega) = 2^\Omega$ – класс событий;
- вероятностная функция (определяется заданием вероятностей для всех элементарных событий: $P(\cdot) = \left\{ P\left\{ \varepsilon_1, \dots, \varepsilon_{n_{отр}} \right\} \mid \forall w = (\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_{n_{отр}}) \in \Omega \right\}$).

Рассмотрим событие $C_r^{\varepsilon_r} =$ "на r -м отрезке маршрута произошёл исход ε_r ". Оно определяется только результатом исхода попытки обнаружения интересанта на r -м отрезке маршрута. Следовательно, $C_1^{\varepsilon_1} \dots C_{n_{отр}}^{\varepsilon_{n_{отр}}}$ – независимые события и $w = (\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_{n_{отр}}) = C_1^{\varepsilon_1} \cap \dots \cap C_{n_{отр}}^{\varepsilon_{n_{отр}}}$, тогда:

$$P\left\{ (\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_{n_{отр}}) \right\} = P(C_1^{\varepsilon_1}) \dots P(C_{n_{отр}}^{\varepsilon_{n_{отр}}}). \quad (7)$$

Будем считать, что интересант обнаружен, если он обнаружен хотя бы на одном отрезке маршрута передвижения, то есть:

$$\begin{aligned} P_{\text{обн на } (A,B)} &= 1 - P\{(0, \dots, 0)\} = 1 - P(C_1^0) \dots P(C_{n_{отр}}^0) = \\ &= 1 - \left(1 - F_{\theta_1 + \theta_2} \left(\frac{\Delta x'_1}{v} \right) \right) * \dots * \left(1 - F_{\theta_1 + \theta_2} \left(\frac{\Delta x'_{n_{отр}}}{v} \right) \right) = \\ &= 1 - \prod_{\Delta x' \in (A,B)} \left(1 - F_{\theta_1 + \theta_2} \left(\frac{\Delta x'}{v} \right) \right). \end{aligned} \quad (8)$$

Окончательное выражение для определения вероятности обнаружения интересанта на маршруте следования из точки A в точку B :

$$P_{\text{обн на } (A,B)} = 1 - \prod_{\Delta x' \in (A,B)} \left(1 - \int_{-\infty}^{+\infty} F_{\theta_1} \left(\frac{\Delta x'}{v} - \tau \right) f_{\theta_2}(\tau) d\tau \right), \quad (9)$$

где (A, B) – траектория движения интересанта;

v_r – скорость движения интересанта на r -м участке маршрута;

$F_{\theta_1}(\cdot)$ – функция распределения случайной величины реакции оператора на интересанта;

$f_{\theta_2}(\cdot)$ – плотность случайной величины реакции КТС на интересанта.

Таким образом, будем считать, что вероятность обнаружения – это минимум из всех вероятностей обнаружения интересанта на множестве всех возможных траекториях его движения:

$$P_{\text{обн}} = \min_{(A,B)} \left(1 - \prod_{\Delta x' \in (A,B)} \left(1 - \int_{-\infty}^{+\infty} F_{\theta_1} \left(\frac{\Delta x'}{v} - \tau \right) f_{\theta_2}(\tau) d\tau \right) \right). \quad (10)$$

Согласно подходу, описанному в статье 0, временные случайные величины данного типа обладают нормальным законом распределения. Тогда плотность распределения будет определяться следующим образом:

$$f_{\theta_i}(t) = \begin{cases} 0, & \text{при } t \leq 0 \\ \frac{1}{\sigma_{\theta_i} \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} e^{-\frac{(t-M(\theta_i))^2}{2 \cdot \sigma_{\theta_i}^2}}, & \text{при } 0 < t < \infty \end{cases}, \quad i \in \{1, 2\}. \quad (11)$$

Воспользовавшись функцией Лапласа, получим:

$$F_{\theta_i}(t) = \Phi\left(\frac{t-M(\theta_i)}{\sigma_{\theta_i}}\right), \quad i \in \{1, 2\}, \quad (12)$$

где Φ – функция Лапласа.

Будем считать, что случайные величины θ_1 , θ_2 независимы и имеют нормальное распределение. Тогда на основе работы 0:

$$F_{\theta_1+\theta_2}(t) = \Phi\left(\frac{t-(M(\theta_1)+M(\theta_2))}{\sqrt{\sigma^2_{\theta_1}+\sigma^2_{\theta_2}}}\right). \quad (13)$$

Далее преобразуем выражение (8) с использованием формулы (13):

$$P_{\text{обн на } (A,B)} = 1 - \Pi_{\Delta x' \in (A,B)} \left(1 - \Phi\left(\frac{\frac{\Delta x'}{v} - (M(\theta_1)+M(\theta_2))}{\sqrt{\sigma^2_{\theta_1}+\sigma^2_{\theta_2}}}\right) \right). \quad (14)$$

Таким образом, критерием эффективности управления по обнаружению интересанта в местах массового пребывания людей является достижение такого уровня $P_{\text{обн}}$, который будет превышать установленный порог защиты $P_{\text{зп}}$:

$$\min_{(A,B)} \left(1 - \Pi_{\Delta x' \in (A,B)} \left(1 - \Phi\left(\frac{\frac{\Delta x'}{v} - (M(\theta_1)+M(\theta_2))}{\sqrt{\sigma^2_{\theta_1}+\sigma^2_{\theta_2}}}\right) \right) \right) > P_{\text{зп}}. \quad (15)$$

После того, как интересант обнаружен, может возникнуть задача его задержания. Однако месту массового пребывания людей свойственна большая площадь, так Олимпийский комплекс "Лужники" занимает более 153 гектаров 0. Данное обстоятельство может существенно осложнить задержание. Попросту интересант может скрыться, ни о чем не подозревая, в период с момента его обнаружения КТС до прибытия сотрудников безопасности.

В связи с этим авторами настоящей статьи предлагается подход, с использованием которого ЛПР может обоснованно определять расчёт и распределение сотрудников безопасности в местах массового пребывания людей, а также принимать решение о месте направления группы перехвата и её составе.

Рассмотрим следующий случайный процесс на фазовом пространстве E

$$\{\xi_n, n \in N\}, \quad (16)$$

где ξ_n – случайная величина, равная идентификатору камеры, которая зафиксировала интересанта на n -м шаге;

$E = \{1, \dots, m\}$ – фазовое пространство. Элементами данного множества являются идентификаторы камер.

Проверим, что случайный процесс, описанный в выражении (16), является *конечной однородной Марковской цепью (КОМЦ)*:

1) данный процесс является цепью, поскольку временное пространство $T = N$ – дискретно;

2) будем считать, что цепь, описанная в выражении (16), обладает Марковским свойством, то есть $\forall n \in N, \forall i, j, i_{n-1}, \dots, i_0 \in E$ верно равенство:

$$P\{\xi_{n+1} = j \mid \xi_n = i, \xi_{n-1} = i_{n-1}, \dots, \xi_0 = i_0\} = P\{\xi_{n+1} = j \mid \xi_n = i\} \quad (17)$$

Данное допущение вполне уместно, так как то, в поле видимости какой камеры окажется интересант в момент времени $n + 1$, зависит от того, где он был в момент времени n и куда направляется;

3) конечность Марковской цепи следует из того, что мощность фазового пространства E равна m ;

4) будем считать, что условные вероятности $P\{\xi_{n+1} = j \mid \xi_n = i\}$ не зависят от n , то есть $\forall n \in N, \forall i, j \in E$:

$$P\{\xi_{n+1} = j \mid \xi_n = i\} = \dots = P\{\xi_1 = j \mid \xi_0 = i\}. \quad (18)$$

Тогда случайный процесс, описанный в выражении (16), является однородным.

Далее предлагается задать матрицу переходных вероятностей экспертного оценивания на подготовительном этапе для разных моделей поведения интересантов (причинение ущерба имуществу и здоровью, совершение терактов, маскирование в толпе, скорейшее покидание объекта и т.д.):

$$P = \begin{pmatrix} p_{11} & \dots & p_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{m1} & \dots & p_{mm} \end{pmatrix}, \quad (19)$$

где p_{ij} – вероятность того, что интересант будет находиться в поле видимости камеры с идентификатором j при условии, что до этого он находился в поле видимости камеры с идентификатором i .

Таким образом, матрица (19) задаёт ориентированный граф переходов (вероятностный граф маршрутов). В качестве весов рёбер рассматриваются значения вероятности (p_{ij}) того, что интересант пришёл в конечную вершину (j) из начальной (i) (рис. 3).

и зоны размещения сотрудников службы безопасности

Можно доказать, что при обнаружении интересанта в поле видимости камеры k_0 распределение КОМЦ в момент времени n определяется строкой с номером k_0 матрицы переходных вероятностей:

$$\vec{p}_{k_0 n} = \Pi^{(n)}_{k_0}. \quad (20)$$

На основе данного подхода ЛПР получает информацию о распределении вероятностей местонахождения интересанта в будущие моменты времени. На основе данного распределения ЛПР может выбирать, куда и в каком составе направлять группы перехвата (рис. 3).

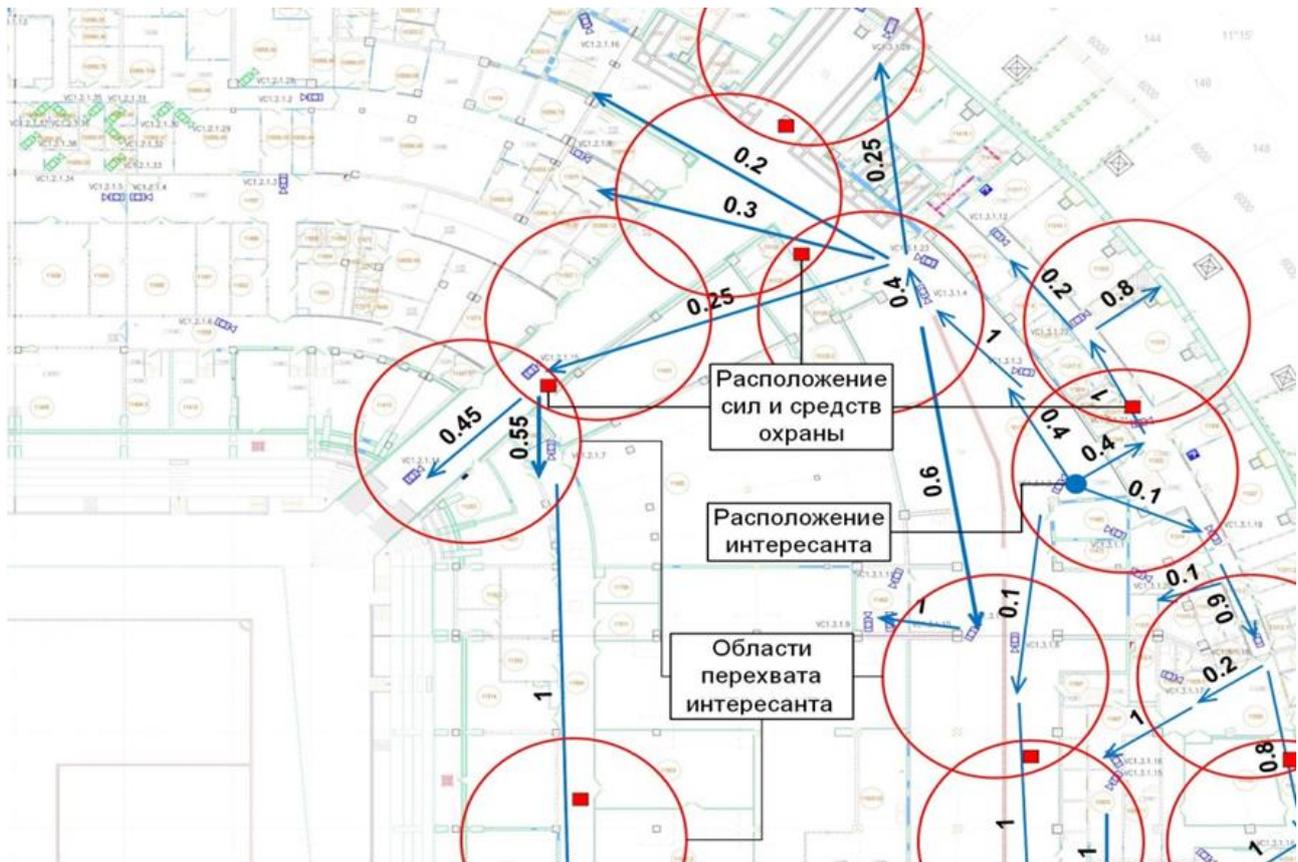


Рис. 3. Вероятностный граф маршрутов интересанта

Таким образом, полученное выражение (14) демонстрирует то, как реакция оператора, движение интересанта и параметры КТС влияют на эффективность обнаружения. Оно позволяет выбрать такие управляющие воздействия на значения описанных параметров, при которых обнаружение интересанта будет эффективно обеспечено.

После того, как интересанты обнаружены, может возникнуть задача управления задержанием. Выражение (20) определяет распределение вероятностей местоположения интересантов в текущие моменты времени, что позволяет обоснованно определять количество и распределение сотрудников безопасности в местах массового пребывания людей, а также принимать решения о местах направления групп перехвата и их составах.

Литература

1. Global Terrorism Index Report 2015 / Institute for Economics and Peace. www.economicsandpeace.org.
2. О проблемах межведомственного управления подразделениями при ликвидации чрезвычайных ситуаций / Бедило М. В., Бердашев Б. Ж., Бутузов С. Ю., Своеступов М. В. // Технологии техносферной безопасности. Вып. 3 (49). 2013. С. 137-141. <http://academygps.ru/ttb>.
3. Бутузов С. Ю., Сорокин Л. А. Оценка эффективности системы безопасности с возможностью распознавания и анализа личности // Технологии техносферной безопасности. Вып. 5 (69). 2016. С. 198-200. <http://academygps.ru/ttb>.
4. Вентцель Е. С. Теория вероятностей: учеб. для вузов. М.: Высш. шк., 1999. 576 с.
5. Справочник по теории вероятностей и математической статистике / Королюк В. С., Портенко Н. И., Скороход А. В., Турбин А. Ф. М.: Наука, 1985.
6. Мирошник И. В. Теория автоматического управления. Линейные системы: учеб. пос. для вузов. СПб.: Питер, 2005. 336 с.
7. Олимпийский Комплекс "Лужники". <http://www.luzhniki.ru/content/about/sports-complex/>
8. Пожары и пожарная безопасность в 2015 году: статистический сборник / Под общ. ред. А. В. Матюшина. М.: ВНИИПО МЧС России, 2016.
9. Портал правовой статистики. Генеральная прокуратура Российской Федерации. http://crimestat.ru/offenses_chart.
10. Таранцев А. А. Применение регрессионного анализа для построения анизотропных и гистерезисных моделей // Автоматика и телемеханика. 1998. Вып. 5. С. 185-188.

References

1. Global Terrorism Index Report 2015 / Institute for Economics and Peace. www.economicsandpeace.org.
2. O problemah mezhvedomstvennogo upravlenija podrazdelenijami pri likvidacii chrezvychajnyh situacij (About problems of interagency management of subdivision during liquidation of emergency situations) / Bedilo M. V., Berdashev B. Zh., Butuzov S. Ju., Svoestupov M. V. // Tehnologii tehnosfernoj bezopasnosti. Vyp. 3 (49). 2013. S. 137-141. <http://academygps.ru/ttb>.
3. Butuzov S. Ju., Sorokin L. A. Ocenka jeffektivnosti sistemy bezopasnosti s vozmozhnost'ju raspoznavanija i analiza lichnosti (Evaluation of the effectiveness of safety system with possibility of identification) // Tehnologii tehnosfernoj bezopasnosti. Vyp. 5 (69). 2016. S. 198-200. <http://academygps.ru/ttb>.
4. Ventcel' E. S. Teorija verojatnostej (Probability theory): ucheb. dlja vuzov. M.: Vyssh. shk., 1999. 576 s.
5. Spravochnik po teorii verojatnostej i matematicheskoj statistike (Handbook on probability theory and mathematical statistics) / Koroljuk V. S., Portenko N. I., Skorohod A. V., Turbin A. F. M.: Nauka, 1985.
6. Miroshnik I. V. Teorija avtomaticheskogo upravlenija. Linejnye sistemy (Theory of automatic control. Linear system): ucheb. pos. dlja vuzov. SPb.: Piter, 2005. 336 s.
7. Olimpijskij Kompleks "Luzhniki" (Olympic Complex "Luzhniki"). <http://www.luzhniki.ru/content/about/sports-complex/>
8. Pozhary i pozharnaja bezopasnost' v 2015 godu (Fires and fire safety in 2015): statisticheskij sbornik / Pod obshh. red. A. V. Matjushina. M.: VNIPO MChS Rossii, 2016.
9. Portal pravovoj statistiki. General'naja prokuratura Rossijskoj Federacii. http://crimestat.ru/offenses_chart.
10. Tarancev A. A. Primenenie regressionnogo analiza dlja postroenija anizotropnyh i gisterizisnyh modelej (The use of regression analysis to construct anisotropic and hysteretic models) // Avtomatika i telemehanika. 1998. Vyp. 5. S. 185-188.