

О.В. Пьянков,
кандидат технических наук

А.Ф. Самороковский

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ПАРЕТО-ОПТИМАЛЬНОГО МНОЖЕСТВА НА ОСНОВЕ МАТРИЧНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СЕТЕЙ ПЕТРИ

CONSTRUCTION ALGORITHM OF PARETO-OPTIMUM SET BASED ON MATRIX PETRI NETWORKS REPRESENTATION

Рассматривается матричное представление сетей Петри, моделирующих действия органов управления и подразделений органов внутренних дел при возникновении чрезвычайных обстоятельств. Матричное представление используется для разработки алгоритма построения парето-оптимальных вариантов действий.

Petri networks matrix representation, modeling actions in law-enforcement bodies at force majeure occurrence is considered. Matrix representation is used for construction algorithm development of Pareto-optimum actions variants.

Действия органов управления и подразделений органов внутренних дел удобно моделировать с помощью сетей Петри [1], при этом возникает возможность рассмотрения всех возможных вариантов протекания моделируемой ситуации. Поскольку можно предположить, что при наличии нескольких критериев оценки данных вариантов одни варианты будут лучше других (в смысле выбранных критериев), то будет и существовать множество парето-оптимальных вариантов Ω_{Π} . Для построения Ω_{Π} будем использовать метод прямой волны [2].

Матричная форма определения сети Петри (P, T, D^-, D^+) позволяет дать определения в терминах векторов и матриц, где

P — множество позиций сети, $|P| = m$,

T — множество переходов, $|T| = n$,

$D^- [j, i] = \# (p_i, I(t_j))$ — прямоугольная матрица, которая определяет входы в переходы,

$D^+ [j, i] = \# (p_i, O(t_j))$ — прямоугольная матрица, которая определяет выходы из переходов.

Динамическим дополнением сети Петри является ее маркировка μ , определяющая количество «фишек» в каждой позиции [3] и представимая в виде m -вектора.

Пусть $e[j]$ — m -вектор, содержащий нули везде, за исключением j -й компоненты. Переход t_j представляется m -вектором $e[j]$. Переход t_j в маркировке μ разрешен, если $\mu \geq e[j] \cdot D^-$, а результат запуска перехода t_j в маркировке μ записывается как

$$\delta(\mu, t_j) = \mu + e[j] \cdot D,$$

где $D = D^+ - D^-$ — составная матрица изменений.

Тогда для последовательности запусков переходов $\sigma = t_{j1}t_{j2}...t_{jk}$ имеем $\delta(\mu, \sigma) = \delta(\mu, t_{j1}, t_{j2}, ...t_{jk}) = \mu + (e[j_1] + e[j_2] + ... + e[j_k]) \cdot D = \mu + f(\sigma) \cdot D$.

Вектор $f(\sigma) = e[j_1] + e[j_2] + \dots + e[j_k]$ называется вектором запусков последовательности $t_{j_1}t_{j_2}\dots t_{j_k}$. А $f(\sigma)_i$ (i -й элемент вектора $f(\sigma)$) — это число запусков перехода t_i в последовательности $t_{j_1}t_{j_2}\dots t_{j_k}$.

Матричная теория сетей Петри является инструментом для решения проблемы достижимости. Предположим, что при возникновении чрезвычайной ситуации состояние сил и средств ОВД соответствует маркировке μ . Для обеспечения безопасности жизни людей необходимо последовательно принимать управленческие решения для достижения маркировки μ' , в которой чрезвычайные обстоятельства ликвидированы. Таким образом, задача сводится к поиску неотрицательного целого решения $f(\sigma)$ следующего матричного уравнения для x :

$$\mu' = \mu + x \cdot D.$$

Решение $f(\sigma)$ и будет являться тем алгоритмом действий органов управления ОВД при возникновении чрезвычайных обстоятельств. Данный подход, однако, имеет ряд трудностей:

1. Решение может и не быть. Тогда потребуется построить множество маркировок $M' = \{\mu_1', \mu_2', \dots, \mu_N'\}$, которые были бы достижимы и в то же время отвечали состоянию, при котором задача из множества Z являлась решенной.

2. Решение может быть, но при этом являться невозможным, т.е. не соответствовать разрешенным переходам. В связи с этим требуется дополнительная проверка возможности существования решения.

3. Решение может быть неоднозначным, т.е. сводиться к множеству решений $F = \{f_1(\sigma), f_2(\sigma), \dots, f_s(\sigma)\}$, что потребует использования экспертных оценок для выбора наилучшего решения $f^*(\sigma)$.

4. Само решение $f^*(\sigma)$ не определяет однозначно последовательность действий органов управления σ , поскольку для одного и того же решения может быть несколько последовательностей запусков переходов $t_{j_1}t_{j_2}\dots t_{j_k}$, приводящих к требуемой маркировке μ' .

Тем не менее, учитывая специфику деятельности органов внутренних дел, использование матричного подхода для разработки алгоритмов построения парето-оптимального множества вариантов действий ОВД при возникновении чрезвычайных обстоятельств является целесообразным и перспективным.

Предложенный выше подход, однако, не учитывает возможность срабатывания всех переходов при данной маркировке. Поэтому предложим новый алгоритм метода прямой волны, основанный на матричном подходе для построения Ω_{Π} .

Пусть $e[j_1, j_2, \dots, j_f]$ — m -вектор, содержащий нули везде, за исключением компонент j_1, j_2, \dots, j_f . Тогда переходы $t_{j_1}, t_{j_2}, \dots, t_{j_f}$ представляются m -вектором $e[j_1, j_2, \dots, j_f]$. Переход t_j в маркировке μ разрешен, если $\mu \geq e[j_1, j_2, \dots, j_f] \cdot D^-$, а результат одновременного запуска переходов $t_{j_1}, t_{j_2}, \dots, t_{j_f}$ в маркировке μ записывается как

$$\delta(\mu, t_{j_1}, t_{j_2}, \dots, t_{j_f}) = \mu + e[j_1, j_2, \dots, j_f] \cdot D,$$

где $D = D^+ - D^-$ — составная матрица изменений.

Тогда для последовательности шагов

$$\sigma_w = [(t_{j_1}, t_{j_2}, \dots, t_{j_f})_1, (t_{j_1}, t_{j_2}, \dots, t_{j_f})_2, \dots, (t_{j_1}, t_{j_2}, \dots, t_{j_f})_w]$$

имеем

$$\delta(\mu, \sigma_w) = \mu + (e_1[j_1, j_2, \dots, j_f] + e_2[j_1, j_2, \dots, j_f] + \dots + e_w[j_1, j_2, \dots, j_f]) \cdot D,$$

или

$$\delta(\mu, \sigma_w) = \mu + f(\sigma_w) \cdot D. \quad (1)$$

Из (1) можно найти последовательности маркировок для k -го варианта действий органов внутренних дел:

$$\mu_{i+1}^k = \mu_i^k + e_i[j_1, j_2, \dots, j_f] \cdot D.$$

При этом вариант действий v_k можно представить не только в виде смены маркировок сети, но и в виде последовательности запусков переходов:

$$v_k = (e_1[j_1, \dots, j_f], e_2[j_1, \dots, j_t], \dots, e_w[j_1, \dots, j_u]). \quad (2)$$

Для разработки парето-оптимальных вариантов после выбора модели в виде сети Петри потребуется ввести значения условий, при которых происходит моделирование ситуации, т.е. заполнить массив U , указать расположение собственных сил с помощью маркировки μ_S и выбрать одну из стратегий действий преступников Str_i , т.е. задать начальную маркировку μ_C .

После этого происходит запуск сети в пошаговом режиме, при этом пользователь может изменять только маркировку μ_C , а в позиции $p_i \in P$ в соответствии со структурой сети помещаются метки, запуская при этом разрешенные переходы $t_{j1}, t_{j2}, \dots, t_{jf}$ на данном шаге. Одновременно происходит запись варианта v_k в виде (2). В соответствии с выбранной стратегией пользователь может менять маркировку μ_C на каком-либо шаге. Сеть работает до тех пор, пока в одной из конечных позиций p_i (например, ликвидация преступников) не появится метка.

Таким образом, в виде человеко-машинной процедуры происходит генерация первого варианта соответствующего выбранной стратегии $v_1(Str_i)$, после чего происходит расчет значений показателей оптимизации по формулам. Полученный вариант $v_1(Str_i)$ заносится в массив парето-оптимальных вариантов Ω_{Π} .

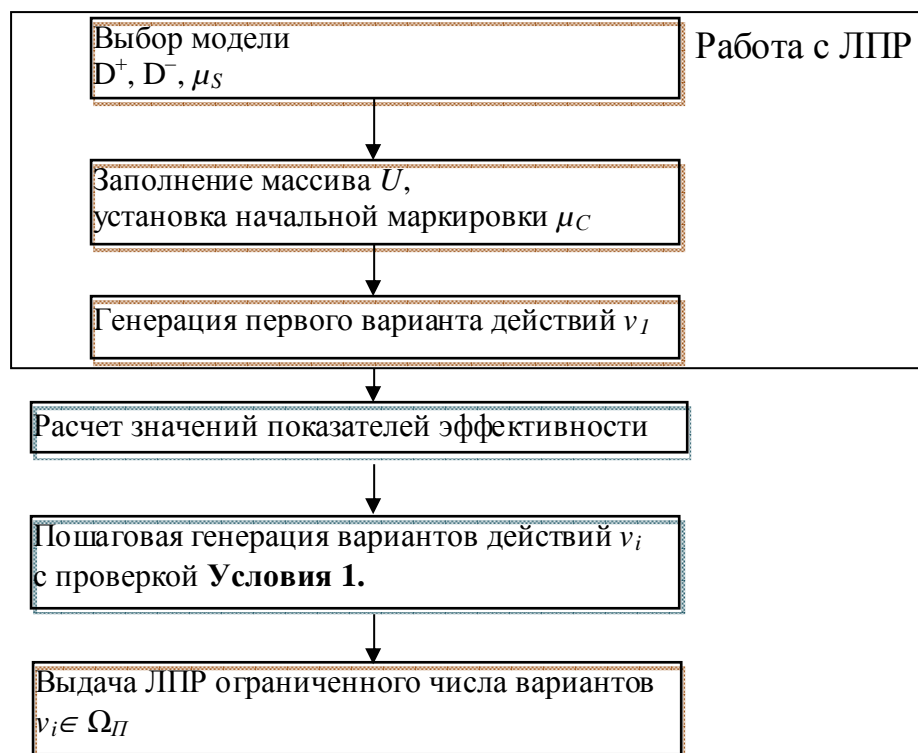
Для генерации второго и всех последующих вариантов $v_k(Str_i)$ используется пошаговая последовательность смены маркировки μ_C , записанная в первом варианте $v_1(Str_i)$. При этом на каждом i -м шаге происходит проверка следующего условия:

Условие 1. Если значения минимизируемых показателей эффективности больше, а максимизируемых меньше, чем значения показателей какого-либо варианта из Ω_{Π} , то такой вариант считается не парето-оптимальным и его генерация прекращается на данном шаге.

После получения Ω_{Π} пользователю может быть предложено наперед заданное их число.

Описанный выше алгоритм генерации множества парето-оптимальных вариантов удобно представить в виде блок-схемы (рисунки).

Моделирование и рассмотрение различных ситуаций чрезвычайного характера с целью разработки рациональных способов и методов их ликвидации позволит, с одной стороны, значительно уменьшить число потерь, как среди мирного населения, так и среди личного состава привлекаемого к операции. С другой стороны, появляется возможность заранее отработать научно обоснованный оперативный план действий и выработать навыки у лиц, принимающих решение, комплексный взгляд на решаемые задачи.



Генерация множества парето-оптимальных вариантов

Отсутствие правильной тактики действий сотрудников ОВД приводит к значительным потерям. Так, 23 октября 2002 г. произошел захват чеченскими террористами заложников в театральном центре на Дубровке («Норд-Ост») в Москве. 26 октября 2002 г. состоялся штурм театрального центра спецназом. Погибли все террористы. Из 117 погибших в ходе штурма заложников (63 мужчины и 54 женщины) один умер от огнестрельного ранения в голову. Все остальные погибли от последствий воздействия специального газа, примененного при штурме.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лунев Ю.С. Имитационное моделирование действий органов управления и подразделений ОВД с помощью сетей Петри / Ю.С. Лунев, А.Ф. Самороковский, В.В. Меньших // Актуальные вопросы совершенствования систем безопасности и связи в борьбе с преступностью: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции курсантов, слушателей, студентов, адъюнктов и молодых специалистов. — Воронеж: Воронежский институт МВД России, 2006. — С. 36—37.
2. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика / Д.А. Поспелов. — М.: Наука, 1986. — 388 с.
3. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем / Дж. Питерсон. — М.: Мир, 1984. — 264 с.