

Моделирование подразделений МЧС на основе групповых объектов

Ю.В. Седельников

30 октября 2021 г.

Аннотация

В настоящее время для управления процессом ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций широко используются системы поддержки принятия решений на основе имитационного моделирования. Такие системы представляют собой специализированные приложения, которые позволяют работать с цифровыми картами местности путем нанесения обстановки, проведения расчетов, манипулирования объектами.

Одной из задач при построении моделей подобных систем является создание моделей подразделений МЧС. Особенности функционирования таких подразделений дают возможность представить их в виде групповых объектов. В общем случае с помощью группового объекта можно представить имитационную модель некоторой системы, состоящую из элементов и связей между ними, функционирующих в определенные дискретные моменты времени. Например, на его основе можно представить пожарный расчет, войска ГО, поисково-спасательную службу и т. д. При построении СППР ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций необходимо разработать следующие модели подразделений МЧС (рис. 1). Моделируемые подразделения МЧС имеют следующую структуру. Поисково-спасательная служба — это подразделения, которые должны выполнять функции по проведению поисково-спасательных операций в зоне ЧС. В СППР ее можно представить в виде информационной модели (рис. 2). Войска ГО должны обеспечивать функции эвакуации и поддержания жизнеобеспечения населения, восстановления поврежденных объектов и коммуникаций. Их информационная модель в СППР представлена на рис. 3. Пожарная охрана должна выполнять функции тушения пожаров и проведения первоочередных аварийноспасательных операций. На рис. 4 представлена ее информационная модель в СППР. Психологическая служба должна обеспечивать функции оказания экстренной психологической помощи пострадавшим. Ее модель представлена на рис. 5. «Центроспас» должен выполнять функции оперативного реагирования при возникновении ЧС, модель которых приведена на рис. 6.

Необходимость описания данных моделей в виде групповых объектов обусловлена тем, что в реальных системах, для которых строятся указанные имитационные модели, взаимодействие осуществляется не отдельными единицами, а объединенными группами. Соответственно рассмотрение и моделирование подобных систем должно осуществляться в контексте взаимодействия групповых объектов. В противном случае могут быть не учтены какие-либо важные и значимые свойства. Моделируемые единицы представляют собой элементы подразделений, участвующих в операциях. Это может быть колесная или гусеничная техника, летательные аппараты, стационарные единицы, расчеты и т. д. Каждый подобный элемент имеет ряд характеристик, в частности тип элемента, назначение элемента, функциональные возможности, технические характеристики, степень работоспособности и т. д. Элемент группового



Рис. 1: Моделируемые подразделения МЧС

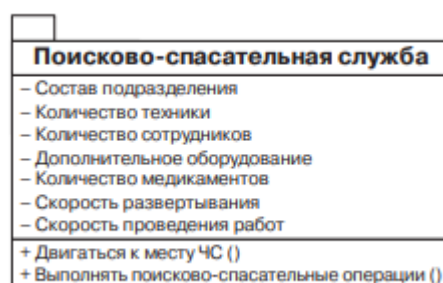


Рис. 2: Диаграмма модели поисково-спасательной службы

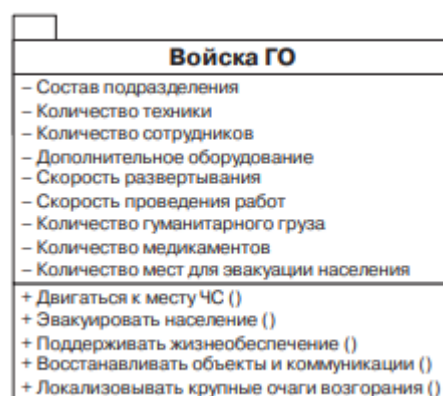


Рис. 3: Диаграмма модели войск ГО

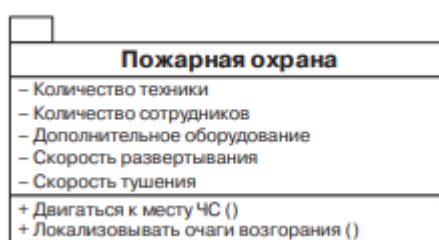


Рис. 4: Диаграмма модели пожарной охраны

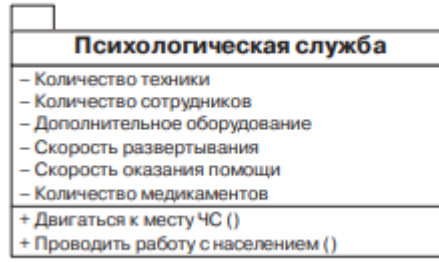


Рис. 5: Диаграмма модели психологической службы

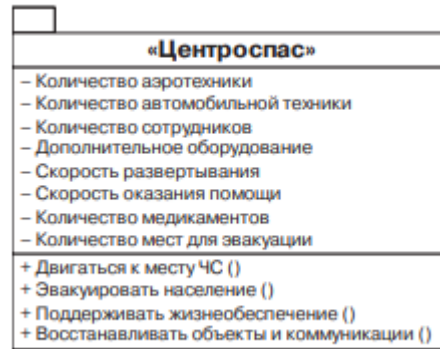


Рис. 6: Диаграмма модели «Центроспас»

объекта представляет собой модель физического объекта. В общем случае он может быть охарактеризован следующей совокупностью:

$$E_i = \langle X_i Y_i Z_i H_i G_i \rangle$$

где

$$X_i = \{x_j | j = \overline{1, NX}\}$$

— множество входных сигналов элемента;

$$Y_i = \{y_j | j = \overline{1, NY}\}$$

множество выходных сигналов элемента ;

$$Z_i = \{z_j | j = \overline{1, NZ}\}$$

— множество состояний элемента;

$$H_i = \{h_j | j = \overline{1, NH}\}$$

— множество параметров элемента (в соответствии с диаграммами);

$$G_i = \{g_j | j = \overline{1, NG}\}$$

— множество функций элемента. Очевидно, что построение моделей подразделений, состоящих из подобных элементов, связано с моделированием однотипных единиц, обладающих общими свойствами. Это дает возможность при построении моделей объединять элементы в групповые объекты, повышая эффективность создания и управления отдельными единицами. Групповой объект может быть охарактеризован как

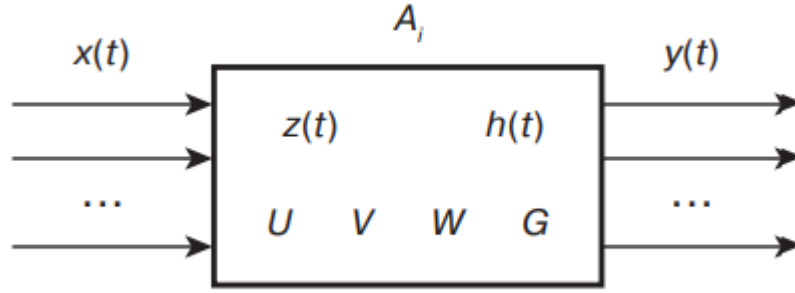


Рис. 7: Агрегат A_i

множество ГО независимо функционирующих однородных элементов E_i , связанных коммуникационной функцией F :

$$GO = \{E_i | i = \overline{1, N}\}$$

$$F \subset \left(\bigcup_{i=1}^N Y_i \right) \times \left(\bigcup_{i=1}^N X_i \right),$$

причем

$$\forall y \in \left(\bigcup_{i=1}^N Y_i \right), x \in \left(\bigcup_{i=1}^N X_i \right) : yFx$$

Функция F связывает элементы E_i между собой, обеспечивая передачу информации с выходов одних элементов на входы других. Групповой объект любой структуры и сложности может быть единообразно описан в виде агрегативной системы или А-схемы, агрегатами A_i (рис. 7) которой являются элементы E_i .

Функционирование агрегата в момент времени

$$t \in T \left(T = \{t_j | j = \overline{1, NT}\} \right)$$

описывается состоянием, входными сигналами, выходными откликами и внутренними параметрами:

$$z(t) \in Z, x(t) \in X, y(t) \in Y, h(t) \in H$$

Переход агрегата из состояния

$$z_j(t_i)$$

в состояние

$$z_k(t_{i+1}) (j \neq k)$$

зависит от $h(t)$ и $x(t)$, переход происходит за малый интервал времени

При поступлении сигнала x_m в момент времени t_m состояние агрегата определяется с помощью оператора V :

$$z(t_m + 0) = V[t_m, x_m, z(t_m)],$$

где

$$t = t_m + 0$$

момент времени t принадлежит бесконечно малому полуоткрытому интервалу

$$t \in (t_m, t_n].$$

Рассмотрим интервал времени $(t_m, t_m + 1)$. Если он не содержит моментов поступления сигналов, то для момента времени $t \in (t_m, t_m + 1)$ состояние агрегата определяется оператором U :

$$z(t) = U[t, t_m, z(t_m + 0)]$$

Особые состояния агрегата, возникающие в момент времени t_s при поступлении входных сигналов, обозначим через $z(t_s)[1]$. Смену состояний в моменты времени t_s обозначим через оператор W :

$$z(t_s + 0) = W[t_s, z(t_s)]$$

Выдача выходных откликов определяется с помощью оператора выхода J :

$$y(t_s) = J[t_s, z(t_s + 0)]$$

Таким образом, каждый агрегат A_i задается совокупностью вида

$$A_i = \langle X, H, Z, Y, U, V, W, J \rangle$$

За счет универсального описания применение А-схемы позволяет охарактеризовывать любые групповые объекты в отрыве от контекста их функционирования и использования. Формальное описание отдельных ¹ агрегатов может быть уточнено путем введения типовых математических схем, позволяющих конкретизировать функционирование элементов агрегативной системы. Наиболее эффективно функционирование агрегатов группового объекта описывается в виде конечного автомата или сети Петри.

Конечный автомат или F-схема типового агрегата задается конечными множествами $XF = \{x_0, x_1, x_2, x_3\}$ — множество входных воздействий (x_0 — работать в нормальном режиме; x_1 — останов; x_2 — работать в критическом режиме; x_3 — выход из строя), $YF \subseteq Y$ — множество выходных откликов, $AF = \{a_0, a_1, a_2, a_3\}$ — множество внутренних состояний (a_0 — функционирование в нормальном режиме; a_1 — останов; a_2 — функционирование в критическом режиме; a_3 — агрегат A_i выведен из строя).

Функционирование конечного автомата определяется следующими отображениями [2]: $\phi : XF \times AF \rightarrow AF$ — переходы автомата; $\psi : XF \times AF \rightarrow YF$ — выходы автомата. Таким образом, агрегат A_i представляется в виде совокупности:

$$FA = \langle XF, AF, YF, \phi, \psi \rangle$$

Поскольку в общем случае выдача выходных сигналов агрегатом может осуществляться не только при поступлении сигналов на вход, но и при изменении внутренних параметров. Рассмотрим F-автомат Мура агрегата A_i , для которого функция выходов определяется как $y(t) = \psi(z(t))$

Матрица соединений C и вектор выходов \vec{y} выглядят следующим образом:

$$C = \begin{pmatrix} 0 & x_0 & x_2 & x_3 \\ x_1 & x_0 & x_2 & x_3 \\ x_1 & x_0 & 0 & x_3 \\ x_0 & x_0 & x_0 & x_0 \end{pmatrix}$$

$$\vec{y} = \begin{pmatrix} y_0 \\ y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{pmatrix}$$

¹Тут могла быть ваша сноска

Таблица 1: Переходы F-автомата Мура типового агрегата A_i

	y_0	y_1	y_2	y_3
	a_0	a_1	a_2	a_3
x_0	a_0	-	a_1	-
x_1	-	a_0	a_0	-
x_2	a_2	a_2	-	-
x_3	a_3	a_3	a_3	-

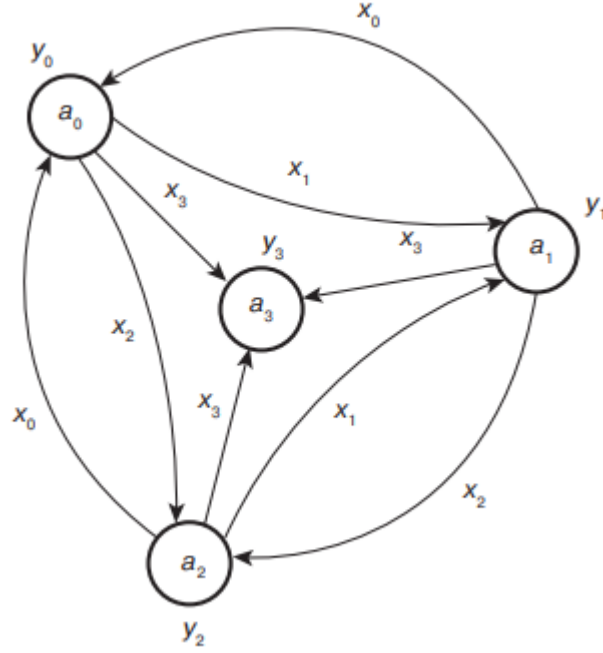


Рис. 8: Граф конечного автомата Мура типового агрегата A_i

На рис. 8 представлен граф переходов и выходов конечного автомата типового агрегата $A + i$.

Принимая во внимание наличие в системе процессов стохастического характера (например, выход из строя агрегата A_i), сигнал x_3 можно представить в виде случайной величины, определяемой вероятностью поломки агрегата A_i . Формализовать агрегат A_i допустимо также с помощью сети Петри или N-схемы. Сеть Петри агрегата A_i задается в виде совокупности $NA = \langle PN, DN, FN, MN \rangle$, где $PN = \{p_i | i = 0 \dots N_P N - 1\}$ множество мест (позиций) сети; $DN = \{d_i | i = 0 \dots N_D N - 1\}$ - множество переходов сети ($PN \cap DN = \emptyset$); $FN = (PN \times DN) \cup (DN \times PN)$ — отношения инцидентности сети (дуги графа)

$$((FN \neq \emptyset) \wedge (\forall \omega \in PN \cup DN, v \in PN \cup DN : \omega FN v \vee v FN \omega))$$

Кратность всех дуг сети равна 1; $MN : PN \rightarrow N$ — разметка сети Петри, где N — множество натуральных чисел. Число фишек (меток) в позиции p_i задается следующим образом:

$$\forall p \in PN, MN(p) = n.$$

Множество MN может быть задано в векторном виде:

$$MN = (MN(p_0), MN(p_1), ..., MN(p_{PN-1}))^T$$

Начальная разметка сети определяется следующим образом:

$$MN^{(0)} = (1, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0)^T$$

Позиции p_0, p_1, p_2, p_3 эквивалентны состояниям a_0, a_1, a_2, a_3 описанного выше конечного автомата. Позиции 3456 rrrr „, эквивалентны входным сигналам x_0, x_1, x_2, x_3 . Достоинством сети Петри является возможность проверить достижимость определенной разметки аналитическим способом. Двудольный граф сети Петри представлен на рис. 9. Получив формальное описание агрегатов, можно построить модель всей агрегативной системы (группового объекта). Для этого необходимо определить структуру А-схемы и характер взаимодействия агрегатов. Агрегативная система состоит из N агрегатов, называемых полюсами. В зависимости от конкретного группового объекта агрегаты могут являться входными, выходными или внутренними полюсами. Каждый агрегат A_i имеет как входные контакты, представленные множеством $X^{(i)}$, на которые подается входной алфавит, так и выходные — множество $Y^{(i)}$, с которых снимается выходной алфавит [3]. Поскольку взаимодействие между агрегативной системой и внешней средой также осуществляется посредством сигналов, внешняя среда может быть представлена в виде агрегата A_0 . Соответственно на входные контакты $X^{(0)}$ будут поступать выходные сигналы агрегативной системы, а с выходных контактов $Y^{(0)}$ данные будут идти на входные контакты системы. Взаимодействие агрегатов между собой осуществляется с помощью коммуникационной функции F . Приведенные реализации группового объекта с применением типовых математических схем аппарата имитационного моделирования положены в основу программных компонент, написанных на языке высокого уровня и представляющих собой интерфейсы и реализации базовых классов. Разработанные базовые классы представляют собой шаблоны, опираясь на которые можно задавать специализацию конкретных групповых объектов, проводя наследование и реализуя дополнительные функции и методы. В результате проведенных исследований разработана математическая модель группового объекта на основе А-схемы. Кроме того, формализована агрегативная система, состоящая из N элементов. Прделанная работа позволила также получить математическое описание отдельных агрегатов с использованием F- и N-схем. Разработанная модель группового объекта может служить основой для построения программных моделей для систем имитационного моделирования ликвидации последствий ЧС.