

УДК 519.71, 007.52

**ПОДХОД К ФОРМАЛИЗАЦИИ ТАКТИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ ГРУППЫ
НАЗЕМНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ
ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**AN APPROACH TO FORMALIZATION OF MISSION PLAN FOR
GROUP OF MILITARY UNMANNED GROUND VEHICLES**

А.А. Максимов¹, канд. техн. наук А.А. Тачков¹, А.Ю. Малыхин¹, д-р техн. наук Н.А. Рудянов²

A.A. Maksimov, PhD A.A. Tachkov, A.Yu. Malyhin, DPhil N.A. Rudianov

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, ²ЦНИИ Минобороны России

В работе рассмотрен оригинальный подход к формализации тактических задач для группы наземных робототехнических комплексов военного назначения (НРТК ВН), основанный на совместном использовании технологии электронных топографических карт и математического аппарата сетей Петри. Приведен обзор существующих способов формализации тактических задач для группы НРТК ВН. Приводятся принятые допущения для описания совместной работы роботов в группе. Предлагаемое решение рассмотрено на методическом примере. Приведены основные требования к программной реализации решения, базирующегося на использовании геоинформационной системы.

Ключевые слова: тактическая задача, сеть Петри, наземный робототехнический комплекс военного назначения, НРТК ВН, геоинформационная система, условный тактический знак, конечно-автоматная управляющая сеть.

An original approach to formalization of mission plan for group of military unmanned ground vehicles (MUGV) based on sharing of technology of electronic topographic maps and Petri nets is considered. The review of existing ways of formalization of mission plans for MUGV's group is provided. The proposed solution is considered on a methodical example. The main requirements to program implementation of the decision which is based on use of a geographic information system are provided.

Keywords: mission, Petri net, military unmanned ground vehicle, geographic information system, conventional tactical sign, finite state control net.

Введение

Одной из актуальных проблем военной робототехники является необходимость повышения автономности разрабатываемых наземных робототехнических комплексов военного назначения (НРТК ВН) [1]. Под термином «автономность» понимается возможность целенаправленного перемещения НРТК ВН в неструктурированной среде и выполнения с помощью своего оборудования задач, определенных в соответствии с целевой установкой, без непосредственного участия человека [2]. В работах

[2–4] показано, что целесообразное использование автономных НРТК ВН возможно лишь при условии их группового применения и распределения решаемых задач между роботами в группе. Однако вопрос взаимодействия оператора и группы робототехнических средств в этих работах не был поставлен. Хотя, по мнению авторов настоящей работы, при групповом управлении он первичен, так как оператор группы НРТК ВН в этом случае фактически выполняет функции общевойсковой командира. К таким функциям, в частности, относится основная составляющая управления войсками — непосредственное

руководство подчиненными подразделениями в ходе боя (НРПБ), суть которого заключается в согласовании усилий и направлении их на наиболее целесообразное применение имеющихся боевых возможностей и успешное выполнение боевой задачи в складывающейся тактической и боевой обстановке [5]. В работе [5] также отмечается, что «...в условиях современного «сетевидного» боя алгоритм работы командира по НРПБ будет значительно короче «классического», а именно: контроль над действиями подчиненных — оценка складывающейся тактической обстановки с учетом новых сведений по боевой обстановке — определение замысла операции (порядка последующих действий) — уточнение боевых (тактических) задач подчиненным. И все это — в течение минут, а иногда и секунд для командиров подразделений от командиров отделений до командиров рот включительно». Приведенный алгоритм в полной мере распространяется и на оператора НРТК ВН, поэтому для доведения замысла оператора до группы требуется, во-первых, формализованное представление тактической задачи (операции), а во-вторых, средство для формирования и редактирования плана операции. При этом основным показателем качества подобного средства будет являться время, затрачиваемое на составление и доведение плана операции до группы НРТК ВН. Численное значение показателя в большинстве случаев не должно превышать нескольких десятков секунд.

Формальное представление тактических задач в военной робототехнике

Отметим, что проблема формализации тактических задач — в настоящее время весьма актуальна. Это подтверждает анонсирование DARPA программы OFFSET (Offensive Swarm-Enabled Tactics — наступательная тактика для стай), одной из целей которой является разработка интерфейса взаимодействия оператора с группой роботов, аналогичного по своей концепции схемам игры (рисование тактики действий игроков на макете поля), которые используют тренеры в хоккее и баскетболе [6].

В настоящее время существует ряд способов задания сценария действий в операции для подразделений, в том числе и группы НРТК ВН:

- с использованием топографической (в том числе и электронной) карты в виде условных тактических знаков [7];

- с использованием специального скриптового языка типа «языка распределенных сценариев» [8, 9] или BML (Battle Management Language, «язык управления боем») [10, 11];

- с использованием ориентированных ациклических графов и сетей Петри [12, 13];

- комбинированный подход [14].

Топографическая карта с оперативной обстановкой является одним из основных инструментов работы командиров подразделений [15]. Для командира любого уровня наиболее ценна графическая информация — карта обстановки, на которой отображены положение противника и вероятный характер его действий, положение своих войск, задача, поставленная командиру старшим начальником, включая объекты и цели для огневого поражения противника [16]. Таким образом, карта является универсальным средством для графического отображения решения командира и привязки этого решения к конкретному району действий на местности. Дополнительно к графической части решения оформляется и текстовая часть, имеющая вполне унифицированную структуру, например для тактической команды: состав, направление, рубеж, способ и порядок действий, исполнительная команда (сигнал) [5].

Унификация текстовой части тактической задачи нашла отражение в зарубежных работах, в частности, по разработке языка BML [10]. Язык BML используется в автоматизированных системах управления класса С2 по классификации НАТО и позволяет в текстовом виде формально составлять задание для подразделений, в том числе и для подразделений, оснащенных роботизированными средствами [11].

Ориентированные графы и сети Петри нашли широкое применение при описании параллельной работы дискретных событийных систем, работающих в реальном времени, в том числе транспортных и робототехнических [12].

Следует отметить, что по отдельности каждый из подходов полностью не решает проблемы формализации задания для группы НРТК ВН. Так, графическая информация, нанесенная на карту, наглядна и понятна командиру, но требует трансляции в язык, понятный НРТК ВН. Сценарий,

выполненный на языке BML, хотя и является отлично структурированным и понятным как человеку, так и НРТК ВН, но требует, например, указания координат, объектов и рубежей, оперативно задать которые можно только с помощью карты. Наконец, сети Петри представляют собой удобный формализм как для разработчика систем группового управления, так и для оператора, поскольку, благодаря использованию маркеров (меток), сети Петри позволяют описывать не только последовательность действий группы НРТК ВН, но и наглядно представлять ее состояние в ходе выполнения задачи. Поэтому, учитывая достоинства рассмотренных способов, авторами предлагается комбинированный подход к формализации тактической задачи, включающий совместное использование электронной топографической карты и сети Петри.

1. Постановка задачи исследования

Как отмечается в работе [5]: «тактическое содержание действий любого из «участников» боя, в принципе одинаковое. Они выполняют каждый свою боевую задачу, действуя в определенном составе, в указанном направлении, для выхода

(овладения) на определенный рубеж, позицию, в определенный район, применяя для этого определенный способ и порядок действий. И все это — к строго определенному сроку». Количество таких действий для групп НРТК ВН — конечно. Примерами действий или элементарных групповых задач, из которых складывается тактическая задача, могут служить следующие: «инициализация группы», «объединение нескольких подгрупп в группу», «перемещение в составе подгруппы», «патрулирование», «отход» и т.п.

Типовая тактическая задача [17] *Task* представляет собой комбинацию подобных действий (элементарных групповых задач), включая параллельную работу подгрупп. Задача *Task* для группы НРТК ВН формируется оператором на основе задачи INF^* , полученной от вышестоящего начальника (рис. 1). Координаты рубежа, тип строя, порядок следования, время выполнения задачи представляют собой параметры элементарной групповой задачи. Формально сказанное можно представить следующим образом.

Пусть задано множество формируемых оператором графических отображений элементарных групповых задач НРТК ВН

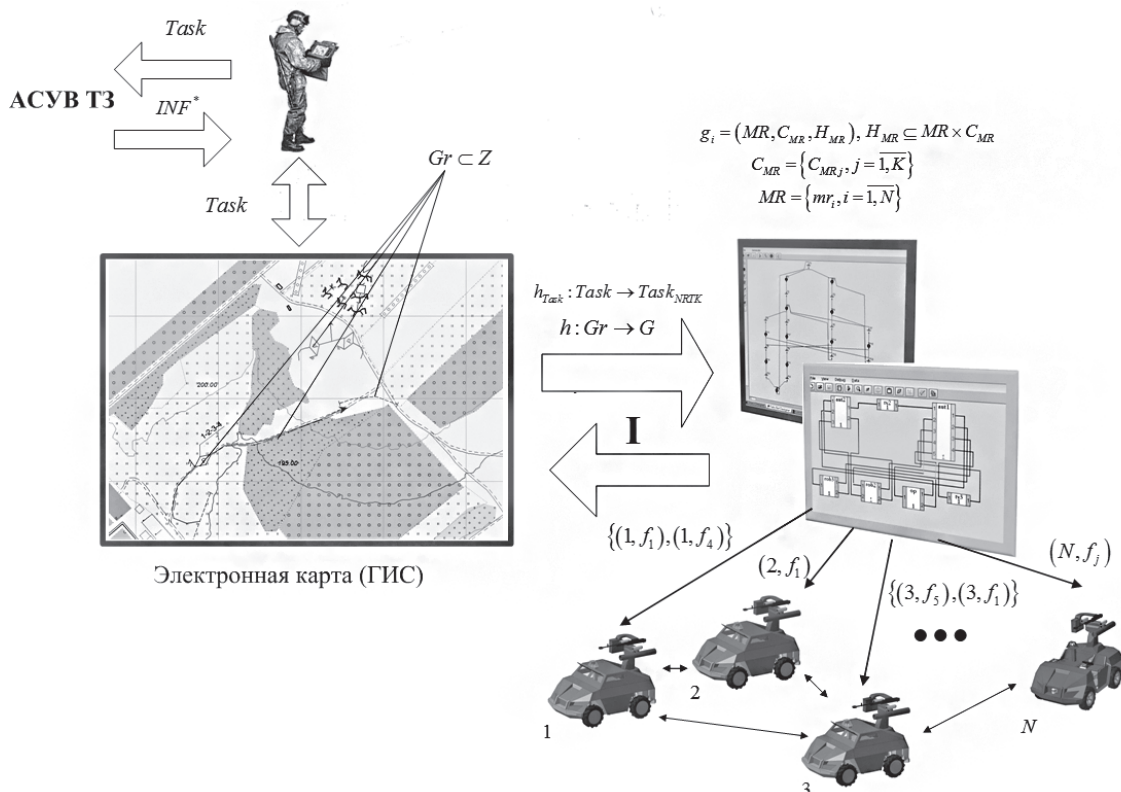


Рис. 1. Графическое пояснение к постановке задачи

$$Gr = \{gr_i, i = \overline{1, n}\},$$

где n — количество нанесенных на карту элементарных групповых задач. Множество Gr связано с множеством условных тактических знаков Z соответствием $S : S \subseteq Z \times Gr$. Соответствие S — сюръективно, так как выполняется равенство $Pr_2 S = Gr$.

Каждая i -я задача характеризуется множеством параметров $Par_G^{(i)}$:

$$Par_G^{(i)} = \{par_{Gj}^{(i)}, j = \overline{1, k^{(i)}}\},$$

где $k^{(i)}$ — количество параметров i -й задачи.

Множество всех входных параметров задач gr_1, gr_2, \dots, gr_n равно

$$P_G = \bigcup_{i=1}^n Par_G^{(i)}.$$

Тогда, тактическую задачу $Task$ можно определить в виде ориентированного графа

$$Task = (Gr, Par), \quad Par \subset Gr \times Gr.$$

Считаем, что отображение $h : Gr \rightarrow G$ изоморфно, где G — множество групповых задач НРТК ВН в понятной им форме.

Пусть $MR = \{mr_i, i = \overline{1, N}\}$ — множество всех НРТК ВН, которые могут использоваться для решения тактической задачи, N — доступное оператору количество НРТК ВН. Задано множество элементарных действий $F = \{f_i, i = \overline{1, m}\}$, которые могут выполнять НРТК ВН. Каждое i -е действие характеризуется множеством параметров $P_i^{(i)} : P_i^{(i)} = \{p_{lj}^{(i)}, j = \overline{1, l^{(i)}}\}$, $l^{(i)}$ — количество параметров i -го действия. Множество всех параметров действий

$$F - P_i = \bigcup_{i=1}^m P_i^{(i)}.$$

Соответствие между каждым НРТК ВН и действиями задается в виде $e = (MR, F, E)$, $E \subseteq MR \times F$.

Множество групповых задач НРТК ВН представлено как $G = \{g_i, i = \overline{1, n}\}$, где

$$g_i = (MR, C_{MR}, H_{MR}), \quad H_{MR} \subseteq MR \times C_{MR},$$

$$C_{MR} = \{C_{MRj}, j = \overline{1, K}\}$$

— множество групповых алгоритмов.

Так как отображение $h : Gr \rightarrow G$ — изоморфно, то и отображение тактической задачи $Task$ из графической формы в форму, понятную НРТК ВН, также изоморфно ($h_{Task} : Task \rightarrow Task_{NRTK}$).

Действия $\{F\}$ реализуются бортовыми системами управления НРТК ВН и зависят от логики работы группы, что является предметом отдельной статьи. Множество Z используется для передачи оформленной задачи в АСУВ ТЗ (автоматизированная система управления войсками тактического звена) вышестоящему командиру, а также соседним подразделениям.

В процессе выполнения задания группой НРТК ВН оператору поступают от нее сообщения I с интенсивностью λ . С некоторой вероятностью P_B может поступить сообщение, которое требует от оператора оперативного вмешательства путем корректировки начальной задачи. В качестве показателя качества процесса формирования задания принимается затрачиваемое на это время t_ϕ . Эффективность определяется критерием пригодности: суммарное время, затрачиваемое на формирование $Task$ и его преобразование в $Task_{NRTK}$ должно быть меньше времени непосредственного формирования задачи $Task_{NRTK}$ оператором вручную или не превышать нормативного показателя.

Необходимо обосновать основные требования к алгоритму формирования $Task$ и преобразования $h_{Task} : Task \rightarrow Task_{NRTK}$ с учетом возможного появления новых задач от оператора в ходе выполнения задания группой.

2. Геоинформационная система как графическое средство формирования тактической задачи

Поставленную задачу можно разделить на три взаимосвязанные частные задачи:

— графическое представление тактической задачи с помощью условных тактических знаков, понятных любому общевойсковому командиру;

— трансляция графического представления в сеть Петри;

– синтез управляющих конечных автоматов по моделям объектов управления НРТК ВН и полученной сети Петри [18].

Решение первой частной задачи базируется на применении геоинформационной системы (ГИС) типа ГИС «Оператор» [19] и дополнительного программного обеспечения в виде динамически подключаемых библиотек, реализующих технологии MAPAPI и PANAPI [20]. Указанная ГИС принята на снабжение ВС РФ и представляет собой систему сбора, хранения и анализа и графической визуализации пространственных данных: топографические данные, отображение 3D моделей местности, условные знаки оперативной обстановки и т.п.

Каждая элементарная групповая задача G кодируется своим условным тактическим знаком из множества Z . Длина алфавита при таком способе кодирования тактической задачи может составлять до 1000 знаков [21]. Условные знаки используются для вывода визуальной информации на пользовательскую электронную векторную карту. ГИС поддерживает одну основную карту — топографическую основу и 63 пользовательские карты, послойно подключаемые к основной. Условные тактические знаки вместе с описанием хранятся в пользовательском классификаторе, связанном с пользовательской картой. К каждой пользовательской карте подключается только один пользовательский классификатор. Пользовательский классификатор для формирования тактической задачи разработан авторами по аналогии с классификатором, описанным в работе [22]. Параметры групповой задачи Pa_g авторами предлагается связать с семантическими характеристиками условного знака, которые в процессе формирования тактической задачи заполняются оператором. На рис. 2 приведены примеры разработанных тактических знаков. На рис. 2, а показано, что на экран выводятся две

заполненные семантические характеристики: «порядок построения» (1–2–3–4) и «средняя скорость движения» (40 км/ч).

Для ускорения нанесения на карту типовых задач в ГИС предусмотрена возможность встраивания пользовательского программного обеспечения в виде динамически подключаемых библиотек. В библиотеке реализуется диалоговый режим работы с оператором, когда последнему только требуется интерактивно указать привязку графического изображения к карте (технология PANAPI) и заполнить необходимые семантические характеристики (MAPAPI).

После нанесения задачи на карту оператор вызывает диалог трансляции графического отображения в эквивалентную ему сеть Петри. Разработка такого транслятора является второй частной задачей, решение которой будет рассмотрено в отдельной статье.

3. Представление работы группы НРТК ВН в виде конечных автоматов и сети Петри

Представление сетью Петри алгоритма совместного функционирования объектов, выполняющих общее задание, хорошо известно [12, 18].

В данном случае в качестве объекта управления, следуя обозначениям работы [18], рассматривается группа НРТК ВН, каждая подгруппа которой может быть задана конечным автоматом

$$A_i = \langle U_i, X_i, Z_i, \varphi_i, h_i, x_0^i \in X_i \rangle, i = 1, \dots, m,$$

где U_i — входной алфавит i -го автомата; X_i — множество состояний i -го автомата; Z_i — выходной алфавит i -го автомата; $\varphi_i: U_i \times X_i \rightarrow 2^{X_i}$ — функция переходов; $h_i: U_i \times X_i \rightarrow 2^{Z_i}$ — функция выходов, x_0^i — начальное состояние автомата; m — количество подгрупп.

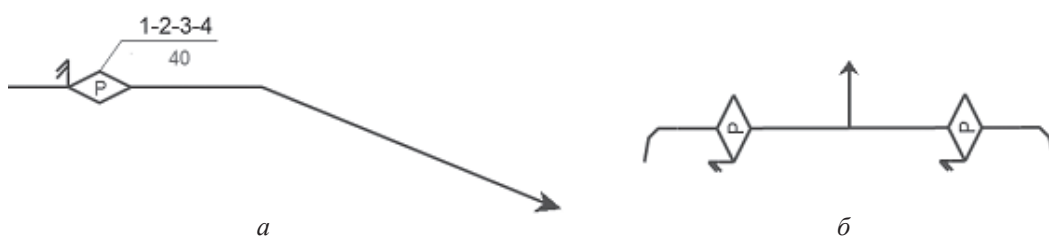


Рис. 2. Условные тактические знаки элементарных групповых задач:
а — движение в колонне НРТК ВН; б — положение НРТК ВН в наступлении

Логика совместного функционирования конечных автоматов A_i задана маркированной сетью Петри с использованием функций привязки параметров управляемых автоматов к параметрам сети Петри

$$C = \langle P, T, I, O, \mu \rangle,$$

где P — множество позиций, T — множество переходов, I — входная функция, O — выходная функция, μ — функции маркировки.

Функция привязки позиций сети Петри к состояниям управляемых автоматов выглядит следующим образом

$$\Phi: P \rightarrow \bigcup_{i=1}^N X_i.$$

Привязка переходов сети Петри к парам (входной символ, выходной символ) управляемых автоматов

$$\Psi: T \rightarrow \bigcup_{i=1}^N U_i \times Z_i.$$

Функции I , O сети Петри и функции ϕ_i и h_i управляемых автоматов должны быть согласованы, т.е. последовательность срабатывания переходов множества T сети Петри должна соответствовать последовательности переходов управляемых автоматов из состояния в состояние.

Группа автоматов и закон функционирования являются исходными данными для построения управляющей сети. Алгоритм построения такой сети в общем случае носит переборный характер и включает ряд этапов:

- выбор структуры автоматной сети;
- построение функций переходов и выходов управляющих автоматов;
- оценка сложности сети по некоторому критерию, например, учитывающему размерность, неопределенность и информационно-структурные ограничения [18].

Выбор структуры автоматной сети тесно связан с разбиением переходов множества T на подмножества. Каждый переход сети Петри $t \in T$ связан посредством функции привязки Ψ с переходом конкретного управляемого автомата из состояния в состояние и может быть поручен

«одному» из управляющих автоматов. Разбивая множество T на подмножества, ставя в соответствие этим подмножествам свои управляющие автоматы и определяя связи между ними, мы тем самым задаем структуру управляющей сети.

Необходимо также отметить, что при формировании плана многоэтапной операции существует особенность: оператор как командир, во-первых, управляет ресурсами (НРТК ВН рассматриваются как ресурсы для выполнения тактической задачи), во-вторых, на каждом этапе операции он должен прогнозировать и задавать допустимые потери.

Постулируем также следующие положения. Группа под управлением оператора может быть только одна. Группа в ходе выполнения операции может быть разделена оператором на подгруппы. Подгруппа существует, пока в ней есть хотя бы одно наземное робототехническое средство. Если несколько подгрупп были логически объединены между собой, но на данном этапе выполнения существуют еще подгруппы, то объединение остается подгруппой. Если при объединении других подгрупп нет, то объединение становится группой.

Для каждого этапа операции оператор должен задать оперативные показатели для подгруппы: показатель, характеризующий цель выполнения этапа (например, координаты рубежа, который необходимо занять), время выполнения этапа и допустимое число потерь в подгруппе на данном этапе. Переход от этапа к этапу операции происходит не мгновенно, то есть переход не является примитивным событием. В этом случае может быть предусмотрена различная логика работы перехода. Например, логика работы может быть следующей.

Переход активируется после завершения текущего этапа первым, определившим этот факт робототехническим комплексом, который оповещает остальных в подгруппе. При этом начинается отсчет времени таймаута первым НРТК до закрытия перехода. Таймаут рассчитывается, исходя из типа задачи и количества роботов в подгруппе. Критерием завершения текущего этапа операции первым НРТК является одновременно выполнение двух условий:

- достижения значения показателя, характеризующего цель выполнения этапа;
- фактическое время достижения целевого показателя не должно превышать значения, заданного оператором.

Одним из возможных исходов завершения перехода первым НРТК может являться, например, следующая ситуация: когда после получения первым подтверждением от последнего, завершившего этап, НРТК (последний в подгруппе, успевший до таймаута), первый уведомляет всех о том, что переход завершился. Комплексы, не успевшие к завершению перехода, автоматически удаляются из состава подгруппы, переходя в состояние «свободных» комплексов (отставших). Все отставшие машины на конкретном этапе операции считаются потерями ресурса и переходят в состояние «свободных» роботов. В подгруппе подсчитывается число комплексов, приписанных к «потерям», и корректируется численный состав в подгруппе на число отставших (которыми могут являться, в том числе, и вышедшие из строя машины).

Если потери превышают допустимое число для данного этапа, то подгруппа переходит в состояние «свободных» комплексов (свободного для повторного использования оператором

ресурса). Комплексы, находящиеся в состоянии «свободных», прекращают выполнение последующих этапов операции до повторного их использования оператором.

Методический пример

Поясним приведенные выше рассуждения на следующем примере. Рассматривается задача занятия двумя подгруппами НРТК ВН двух рубежей (рис. 3). По замыслу оператора операция организуется следующим образом.

Группа НРТК ВН в составе четырех роботов производит построение на исходном рубеже 1, далее следует в составе колонны 2 со средней скоростью 40 км/ч. На рубеже регулирования 3 производится разделение группы на две подгруппы и осуществляется перестроение роботов. Далее, подгруппа, состоящая из роботов «1 и 4», со средней скоростью 30 км/ч движется в колонне в направлении рубежа 5 (этап 4.1), а подгруппа «2 и 3» со скоростью 25 км/ч — в

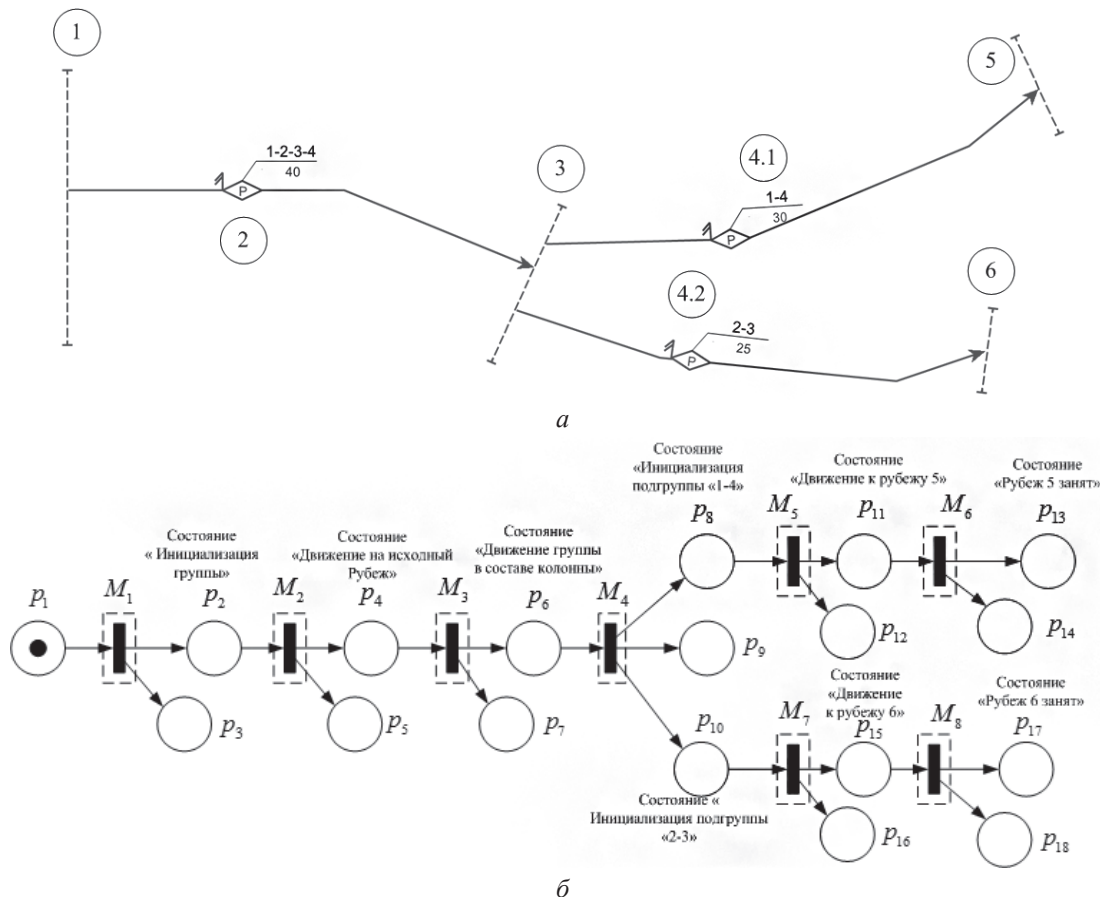


Рис. 3. Тактическая задача по занятию подгруппами НРТК ВН двух рубежей в графическом виде: а — в виде условных тактических знаков; б — в виде сети Петри

направлении рубежа 6. Рубежи 5 и 6 являются исходными для продолжения операции. Данную задачу оператор с помощью условных знаков наносит на электронную карту (рис. 3, а). Часть семантических характеристик, в том числе и прогнозируемые потери, не показана.

На рис. 3, б приведено представление данной задачи в виде сети Петри. Позиции $p_1, p_2, p_4, p_6, p_8, p_{11}, p_{13}, p_{10}, p_{15}, p_{17}$ обозначают нормальный ход течения операции. Привязка позиций сети осуществляется к состояниям управляемых автоматов НРТК ВН, входящих в подгруппу, указанную оператором в соответствующей семантической характеристике. Поскольку при планировании операции оператором закладываются потери, то сеть также имеет поглощающие состояния $p_3, p_5, p_7, p_9, p_{12}, p_{14}, p_{16}, p_{18}$, в которые группа (подгруппа) может попасть при невозможности ведения операции из-за превышения допустимого уровня потерь.

Переходы $M_1 - M_8$ — не примитивные и привязаны к парам (входной символ, выходной символ) управляемых автоматов тех НРТК ВН, которые входят в указанную оператором подгруппу. В развернутом виде M_i переход представлен на рис. 4.

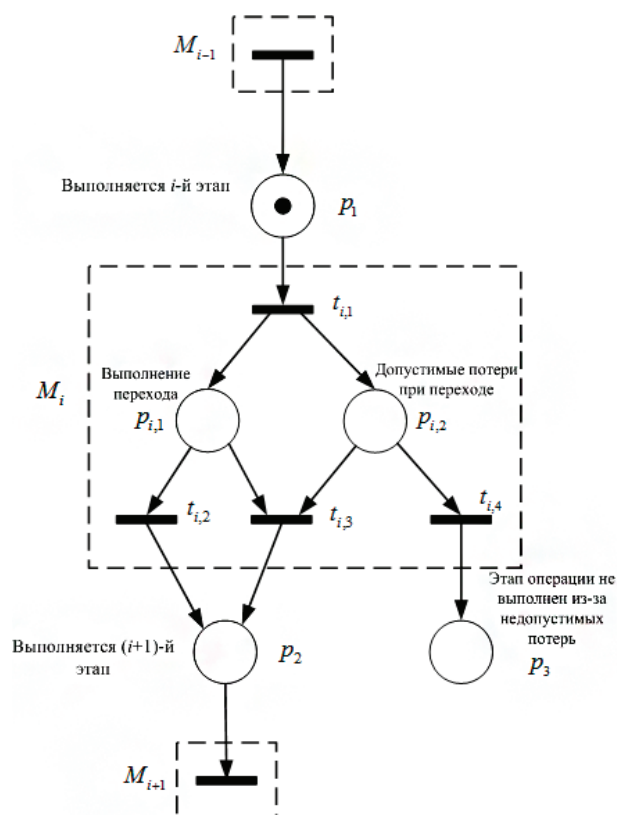


Рис. 4. Сложный переход от одного этапа операции к другому

Здесь в соответствии с описанием логики работы перехода, приведенной в предыдущем разделе, при срабатывании перехода $t_{i,1}$ метка переходит в позиции $p_{i,1}$ и $p_{i,2}$, которые соответствуют состояниям «выполнение перехода» и «ожидаемым допустимым потерям» при выполнении перехода.

Вне зависимости от того, какой переход сработал до истечения таймута $t_{i,2}$ или $t_{i,3}$, одна метка всегда перейдет в позицию p_2 , а одна метка может остаться в позиции $p_{i,2}$ в случае возникновения «допустимых потерь» при осуществлении перехода от этапа к этапу. По истечении таймута и фиксации подгруппой недопустимых потерь метка переходит в позицию p_3 , указывая на то, что операция прервана и подгруппа перешла в подгруппу «свободных роботов». Тем самым применение сети Петри позволяет наглядно контролировать, в каких состояниях находится каждая подгруппа НРТК ВН. После перехода НРТК ВН любой из подгрупп в состояние «свободный» оператор может вновь использовать его в операции.

Заключение

Предлагаемый подход к формализации тактической задачи для группы наземных робототехнических комплексов военного назначения представлен в сокращенном варианте и не содержит окончательного перечня обоснованных требований к алгоритму формирования тактической задачи в графической форме *Task*. Однако целесообразно привести промежуточные выводы работы.

Во-первых, способ задания тактической задачи должен базироваться на ее графическом представлении в ГИС, быть привязанным к карте, а трансляция задачи — осуществляться в изоморфную ей сеть Петри.

Во-вторых, для формализации тактической задачи требуется классификатор карты, включающий специальные электронные условные тактические знаки с заполняемыми семантическими характеристиками, которые являются параметрами групповой тактической задачи НРТК ВН.

В-третьих, оператор как командир в рамках решения тактической задачи управляет ресурсами (средствами), поэтому управление должно строиться на уровне объединений НРТК ВН в подгруппы, и каждый робот должен иметь модель логического управления в рамках разбиения группы на подгруппы.

Литература

1. Лапшов В.С., Носков В.П., Рубцов И.В., Рудианов Н.А. Перспективы разработки автономных наземных робототехнических комплексов специального назначения // Известия ЮФУ. Технические науки. 201. № 1. С. 156–168.
2. Шеремет И.А., Шеремет И.Б., Ишук В.А. К вопросу о системной оценке эффективности робототехнических комплексов военного назначения с использованием инновационных технологий на базе моделирования военных действий // Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России. 2014. № 4. С. 21–26.
3. Шеремет И.Б., Рудианов Н.А., Рябов А.В., Хрущев В.С. О необходимости разработки концепции построения и применения автономных робототехнических комплексов военного назначения // Экстремальная робототехника. 2016. Т. 1. С. 35–39.
4. Акименко Т.А., Аршалян А.А., Рудианов Н.А. Управление группами роботизированных платформ // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2015. № 8. С. 200–208.
5. Бабич В.В. О некоторых проблемах в формировании единого информационного пространства в тактическом звене // Вестник Академии военных наук. 2011. № 4 (37). С. 68–76.
6. OFFSET Envisions Swarm Capabilities for Small Urban Ground Units [Электронный ресурс]. 07.12.2016 URL: <http://www.darpa.mil/news-events/2016-12-07> (дата обращения 31.12.2016)
7. Gregory T.G., Kovach J.B., Winkler R.P., Winslow C.H. UGS, UGV, and MAV in the 2007 C4ISR OTM Experiment / Technical Final Report. Army Research Lab, Adelphi, MD. 2007. 36 p.
8. Сапаты П.С., Морозов А.А., Клименко В.П. Распределенная технология глобального управления // Математические машины и системы. 2010. № 4. С. 3–17.
9. Sapaty P.S. Military robotics: latest trends and spatial grasp solutions // International Journal of Advanced Research in Artificial Intelligence, Vol. 4. № 4. 2015. P. 9–18.
10. Hieb M.R., Schade U. Formalizing command intent through development of a command and control grammar // Proc. 12th International Command and Control Research and Technology Symposium (ICCRTS, 19–21 June. 2007. Newport, RI). P. 1–20.
11. Remmersmann T., Schade U., Tiderko A. Commanding heterogeneous multi-robot teams // Proc. of 19th International Command and Control Research and Technology Symposium (ICCRTS, 16–19 June. 2014. Alexandria, the USA). P. 32.
12. Амбарцумян А.А. Сетецентрическое управление на сетях Петри в структурированной дискретно-событийной системе // Управление большими системами: сб. трудов. — М.: Изд-во «ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН». 2010. № 30–1. С. 506–535.
13. Лазарев И.В., Сухорослов О.В. Использование workflow-методологии для описания процесса распределенных вычислений // Труды ИСА РАН. 2005. Т. 14. С. 26–70.
14. A framework for integrating command and control systems, geographic information systems and simulations / Hieb R. and etc. // Proc. of Euro Simulation Interoperability Conference (June 18–20. 2007. — Genoa, Italy). P. 12.
15. Основные направления применения геоинформационных технологий в военном деле [Электронный ресурс] / М.М. Корж, В.В. Беленков // Информ. технологии и компьютерная инженерия. 2006. № 3 (7) URL: <http://www.gisinfo.ru/item/41.htm> (дата обращения 9.01.2017)
16. АСУВ: вопросы без ответов (часть 2) [Электронный ресурс] 3.09.2013 URL: <https://topwar.ru/32684-asuv-voprosy-bez-otvetov-chast-2.html> (дата обращения 9.01.2017)
17. Громов С.П., Корнилов В.И., Соколенко В.Н., Пантелеев А.Л., Наумов В.Н. Испытания наземных робототехнических комплексов военного назначения за рубежом // Труды НАМИ. 2015. Вып. 264. С. 79–91.
18. Максимов А.А. Один подход к построению конечноавтоматной управляющей сети // Инженерный журнал: наука и инновации. 2012. № 6. С. 14–28. (DOI: 10.18698/2308-6033-2012-6-244)
19. Демиденко Р.А. Опыт реализации сетевцентрической системы управления с использованием ГИС «Оператор» // Геопрофи. 2013. № 1. С. 8–11.
20. Геоинформационная система «КАРТА 2011». Руководство программиста // ЗАО КБ «Панорама» [Электронный ресурс]. URL: <http://gistoolkit.ru/download/doc/mapapi.pdf> (дата обращения 09.01.2017).
21. Справочник по инженерной психологии / под ред. Б.Ф. Ломова. — М.: Машиностроение. 1982. 368 с.
22. Войцеховский С.В., Девяткин А.М., Котенок А.А., Обухов А.В. Особенности создания пользовательского классификатора для отображения обстановки на электронной карте // Программные продукты и системы. 2014. № 3 (107). С. 44–47.