УДК 007.52:004.896+004.75

С.Г. Капустян, Л.Ж. Усачев

МОДЕЛЬ КОЛЛЕКТИВНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ЗАДАЧЕ ГРУППОВОГО УПРАВЛЕНИЯ РОБОТАМИ В УСЛОВИЯХ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ

Введение

Роботы используются во многих областях науки, техники и промышленности, в первую очередь там, где жизнедеятельность человека либо затруднена, либо вообще невозможна, например, в зонах радиоактивного или химического загрязнения, в условиях боевых действий, при проведении подводных или космических исследований и т.п.

В то же время понятно, что одиночный робот, каким бы интеллектуальным он ни был, может использоваться только для решения некоторых частных задач либо выполнения довольно простых операций, поскольку он, как правило, обладает сравнительно малыми возможностями для выполнения поставленной задачи (небольшой радиус действия, ограниченный бортовым энергоресурсом; небольшое число выполняемых функций, ограниченное набором исполнительных устройств, невысокая вероятность выполнения поставленной задачи при функционировании в экстремальных ситуациях, поскольку выход из строя одиночного робота ведет к невыполнимости его миссии и т.п.).

Очевидным решением указанных выше проблем является применение при решении сложных задач сразу нескольких роботов, т. е. групп роботов. Преимущества группового применения роботов очевидны. Это и больший радиус действия, достигаемый за счет возможности рассредоточения роботов, и расширенный набор выполняемых функций, достигаемый за счет установки на каждый робот индивидуальных исполнительных устройств; и, наконец, более высокая вероятность выполнения целевой задачи, достигаемая за счет возможности перераспределения функций между роботами группы в случае выхода из строя некоторых из них. Поэтому такие сложные задачи как, например, масштабное исследование и зондирование поверхности других планет, сборка сложных конструкций в космосе и под водой, участие в боевых и обеспечивающих операциях, разминирование территорий и т.п., могут быть эффективно решены роботами только при их взаимодействии в составе групп.

Задача управления в группах роботов значительно усложняется в условиях организованного противодействия. Примерами такого рода задач являются ведение группами роботов боевых действий или игра роботов в футбол, и для решения этих задач предлагается использовать метод коллективного управления [1-4]. Рассмотрим модель коллективного взаимодействия роботов при решении задачи группового управления в условиях организованного противодействия со стороны другой группы роботов на примере ведения боевых действий.

Формальная постановка задачи управления группами роботов в боевых условиях

Будем предполагать, что в боевых действиях участвуют две неоднородные группы роботов, каждая из которых включает в свой состав боевые и обеспечивающие роботы различных типов, таких как безэкипажные (роботизированные) танки, боевые машины пехоты (БМП), самоходные артиллерийские установки (САУ) и т.д.

Каждая боевая единица характеризуется набором параметров, например, таким как: огневая мощь, скорострельность, дальнобойность, подвижность и т.д.

Кроме того, каждая боевая единица характеризуется некоторым обобщенным параметром, который будем в дальнейшем называть ее боевым потенциалом. Цель функционирования каждого из подразделений, участвующих в боевых действиях, состоит в нанесении максимального урона противнику при допустимом уровне собственных потерь.

Формально задачу коллективного управления в смешанном подразделении на поле боя можно представить следующим образом. Предположим, что в боевых действиях участвуют две группы – $\mathfrak{R}^B = \left\{R_j^B,\, j = \overline{1, N}\right\}$ (условно "наша"), содержащая N боевых единиц, и группа роботов противника $\mathfrak{R}^C = \left\{R_i^C, i = \overline{1, M}\right\}$, содержащая M боевых единиц. Будем считать, что состояние каждой боевой единицы описывается некоторым вектором параметров

$$\mathbf{R}_j^B =< r_{1,j}^B, r_{2,j}^B, ..., r_{v,j}^B > \quad j = \overline{1, N} \tag{1}$$

или

$$\mathbf{R}_i^C =< r_{1,i}^C, r_{2,i}^C, ..., r_{v,i}^C >, \quad i = \overline{1, M}\ , \tag{2}$$

таких как, например, скорость, боекомплект, подвижность, огневая мощь, дальнобойность, координаты местоположения и т.п. Состояния каждой боевой единицы (1) и (2) в процессе боя могут изменяться, причем эти изменения зависят от действий

$$\mathbf{A}_j^B =< a_{1,j}^B, a_{2,j}^B, ..., a_{w,j}^B >, \quad j = \overline{1, N}\ ,$$
$$\mathbf{A}_i^C =< a_{1,i}^C, a_{2,i}^C, ..., a_{w,i}^C >, \quad i = \overline{1, M}\ ,$$

реализуемых боевыми единицами подразделения $\mathfrak{R}^B$ и подразделения $\mathfrak{R}^C$ соответственно. Примерами таких действий могут быть, например, изменения координат местоположения боевой единицы на поле боя (если, конечно, она не стационарна) в пределах зоны своей подвижности либо нанесение удара по объекту противника в пределах зоны своей дальнобойности и текущего боекомплекта.

В общем виде изменения состояний роботов, участвующих в бою, под влиянием действий роботов описываются системами уравнений вида:

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{R}}_j^B &= f_{B_j}\left(\mathfrak{R}^B, \mathfrak{R}^C, \mathbf{A}^B, \mathbf{A}^C\right), \quad j = \overline{1, N}, \\ \dot{\mathbf{R}}_i^C &= f_{C_i}\left(\mathfrak{R}^B, \mathfrak{R}^C, \mathbf{A}^B, \mathbf{A}^C\right), \quad i = \overline{1, M}\ , \end{aligned} \tag{3}$$

где

$$\mathbf{A}^B = \left\{\mathbf{A}_j^B\right\}, \quad j = \overline{1, N}\ ; \ \mathbf{A}^C = \left\{\mathbf{A}_i^C\right\}, \quad i = \overline{1, M}\ .$$

Понятно, что на действия боевых единиц (1) и (2) в текущей ситуации могут налагаться некоторые ограничения. Например, робот R_j^B не может нанести удар по роботу R_i^C , если последний находится вне зоны досягаемости его вооружения, или робот R_j^B не может переместиться в участок поля боя, занятый другим роботом, и т.п. В общем виде эти ограничения можно представить в виде системы неравенств

$$\mathbf{A}_j^B \in \{\mathbf{A}_j^B\}^p,\ \mathbf{A}_i^C \in \{\mathbf{A}_i^C\}^p,\ \mathbf{R}_j^B \in \{\mathbf{R}_j^B\}^p,\ \mathbf{R}_i^C \in \{\mathbf{R}_i^C\}^p, \qquad (4)$$

то есть действия роботов и их состояния должны быть допустимыми.

Кроме того, как отмечалось выше, каждая боевая единица, участвующая в бою, характеризуется боевым потенциалом. Боевой потенциал обозначается как $P_{R_j^B}$ или $P_{R_i^C}$ и зависит от параметров текущего состояния данной боевой единицы, т.е.

$$\begin{aligned} \mathbf{P}_{R_j^B} &= F\left(r_{1j}^B, r_{2j}^B, \ldots, r_{vj}^B\right), \quad j = \overline{1,N}, \\ \mathbf{P}_{R_i^C} &= F\left(r_{1i}^C, r_{2i}^C, \ldots, r_{vi}^C\right), \quad i = \overline{1,M}\,. \end{aligned} \qquad (5)$$

Заметим, что в процессе боя потенциал $P_{R_j^B}$, $j = \overline{1,N}$ и $P_{R_i^C}$, $i = \overline{1,M}$ (5) может только уменьшаться, причем если $P_{R_j^B} = 0$ или $P_{R_i^C} = 0$, то это означает, что соответствующий объект уничтожен.

С учетом вышеизложенного задача, стоящая перед "нашей" группой, боевых роботов $\mathfrak{R}^B$ состоит в определении таких действий $\mathbf{A}_j^B(t)$, $j = \overline{1,N}$, в результате выполнения которых с учетом связей (3) и ограничений (4) достигается максимум целевого функционала

$$\mathbf{Y} = K_1 \cdot \mathbf{P}_{\mathfrak{R}^B} - K_2 \cdot \mathbf{P}_{\mathfrak{R}^C}, \qquad (6)$$

где $\mathbf{P}_{\mathfrak{R}^B} = \sum_{j=1}^{N} P_{R_j^B}$ – суммарный боевой потенциал группы $\mathfrak{R}^B$; $\mathbf{P}_{\mathfrak{R}^C} = \sum_{i=1}^{M} P_{R_i^C}$ – суммарный боевой потенциал группы $\mathfrak{R}^C$; K_1 и K_2 – стратегические коэффициенты.

Модель коллективного взаимодействия роботов в группах в условиях боестолкновения

Сформулированная выше задача управления группой роботов может быть решена с помощью метода коллективного управления и алгоритмов коллективного распределения целей, реализующих этот метод и основанных на итерационной процедуре оптимизации коллективных действий. Для этого в $(k+1)$-м итерационном цикле робот $R_j^B \in \mathfrak{R}^B$, $j = \overline{1,N}$ группы должен выбирать в качестве текущего такое действие $\mathbf{A}_j^B(k+1)$, в результате выполнения которого достигается максимум величины приращения целевого функционала (6), т.е.

$$\begin{aligned} \Delta\mathbf{Y}_c &= \mathbf{Y}_c(k+1) - \mathbf{Y}_c(k) = \left(K_1 \cdot \mathbf{P}_{\mathfrak{R}^B}(k+1) - K_2 \cdot \mathbf{P}_{\mathfrak{R}^C}(k+1)\right) - \\ &- \left(K_1 \cdot \mathbf{P}_{\mathfrak{R}^B}(k) - K_2 \cdot \mathbf{P}_{\mathfrak{R}^C}(k)\right) = \\ &= K_1 \cdot \left(\mathbf{P}_{\mathfrak{R}^B}(k+1) - \mathbf{P}_{\mathfrak{R}^B}(k)\right) - K_2\left(\mathbf{P}_{\mathfrak{R}^C}(k+1) - \mathbf{P}_{\mathfrak{R}^C}(k)\right) = \\ &= K_1 \cdot \sum_{j=1}^{N}\left(P_{R_j^B}(k+1) - P_{R_j^B}(k)\right) - K_2 \cdot \sum_{i=1}^{M}\left(P_{R_j^C}(k+1) - P_{R_j^C}(k)\right). \end{aligned}$$

С учетом (5) последнее выражение можно переписать следующим образом:

$$\Delta\mathbf{Y}_c = K_1\sum_{j=1}^{N}\Big(F\Big(\mathbf{R}_j^B(k+1)\Big)-F\Big(\mathbf{R}_j^B(k)\Big)\Big)-K_2\sum_{i=1}^{M}\Big(F\Big(\mathbf{R}_i^C(k+1)\Big)-F\Big(\mathbf{R}_i^C(k)\Big)\Big)=$$
$$=K_1\sum_{j=1}^{N}\Big(F\Big(\mathbf{R}_j^B(k+1)+\Delta\mathbf{R}_j^B\Big)-F\Big(\mathbf{R}_j^B(k)\Big)\Big)- \tag{7}$$
$$-K_2\sum_{i=1}^{M}\Big(F\Big(\mathbf{R}_i^C(k+1)+\Delta\mathbf{R}_i^C\Big)-F\Big(\mathbf{R}_i^C(k)\Big)\Big).$$

Если в (5) функция F линейна, то выражение (7) принимает вид

$$\Delta\mathbf{Y}_c = K_1\sum_{j=1}^{N}F\Big(\Delta\mathbf{R}_j^B\Big)-K_2\sum_{i=1}^{M}F\Big(\Delta\mathbf{R}_i^C\Big). \tag{8}$$

В свою очередь значения $\Delta\mathbf{R}_j^B$ и $\Delta\mathbf{R}_i^C$ могут быть определены из (3) путем замены их на разностные уравнения при $\Delta t=1$, т.е.

$$\Delta\mathbf{R}_j^B = f_{B_j}\Big(\mathfrak{R}_{\text{т}}^B,\mathfrak{R}_{\text{т}}^C,\mathbf{A}_{\text{т}}^C,\mathbf{A}^B(k+1)\Big),\quad j=\overline{1,N}$$
$$\Delta\mathbf{R}_i^C = f_{C_i}\Big(\mathfrak{R}_{\text{т}}^B,\mathfrak{R}_{\text{т}}^C,\mathbf{A}_{\text{т}}^C,\mathbf{A}^B(k+1)\Big)\quad i=\overline{1,M}\ , \tag{9}$$

где $\mathfrak{R}_{\text{т}}^B=\Big\{\mathbf{R}_{j,\text{т}}^B\Big\}$ $j=\overline{1,N}$; $\mathfrak{R}_{\text{т}}^C=\Big\{\mathbf{R}_{i,\text{т}}^C\Big\}$ $i=\overline{1,M}$; $\mathbf{A}_{\text{т}}^C=\Big\{\mathbf{A}_{i,\text{т}}^C\Big\}$ $i=\overline{1,M}$.

Здесь $\mathbf{R}_{j,\text{т}}^B$ и $\mathbf{R}_{i,\text{т}}^C$ – текущие состояния роботов R_j^B, $j=\overline{1,N}$ и R_i^C, $i=\overline{1,M}$; $\mathbf{A}_{i,\text{т}}^C$ – текущее действие робота R_i^C, $i\in[1,M]$; $\mathbf{A}^B(k+1)=[\mathbf{A}_1^B(k),\ldots,\mathbf{A}_{j-1}^B(k),\mathbf{A}_j^B(k+1),\mathbf{A}_j^B(k),\ldots,\mathbf{A}_N^B(k)]$ (в этом выражении $\mathbf{A}_l^B(k)$, $l=\overline{1,N},\quad l\neq j$ – действие, выбранное роботом R_l^B в k-м цикле итерации; $\mathbf{A}_j^B(k+1)$ – действие, выбираемое роботом R_j^B в $(k+1)$-м цикле итерации).

Тогда, подставляя (9) в (8), получаем

$$\Delta\mathbf{Y}_c = K_1\sum_{j=1}^{N}f_{B_j}\Big(\mathfrak{R}_{\text{т}}^B,\mathfrak{R}_{\text{т}}^C,\mathbf{A}_{\text{т}}^C,\mathbf{A}^B(k+1)\Big)-K_2\sum_{i=1}^{M}f_{C_i}\Big(\mathfrak{R}_{\text{т}}^B,\mathfrak{R}_{\text{т}}^C,\mathbf{A}_{\text{т}}^C,\mathbf{A}^B(k+1)\Big). \tag{10}$$

При этом в $(k+1)$-м цикле итерационной процедуры оптимизации коллективного управления j-й робот "нашего" подразделения должен выбирать такое действие $\mathbf{A}_j^B(k+1)$, которое удовлетворяет ограничениям:

$$\mathfrak{R}_{\text{т}}^B\in\{\mathfrak{R}^B\}^p,\quad \mathfrak{R}_{\text{т}}^C\in\{\mathfrak{R}^C\}^p,\quad \mathbf{A}_{\text{т}}^C\in\{\mathbf{A}^C\}^p,\quad \mathbf{A}^B(k+1)\in\{\mathbf{A}^B\}^p\ , \tag{11}$$

где $\{\mathfrak{R}^B\}^p,\{\mathfrak{R}^C\}^p,\{\mathbf{A}^C\}^p,\{\mathbf{A}^B\}^p$ – допустимые состояния и допустимые действия подразделений $\mathfrak{R}_{\text{т}}^B$ и $\mathfrak{R}_{\text{т}}^C$, соответственно, и даёт максимальное значение величины (10).

Выражения для функций f_{B_j} и f_{C_i} из (10), а также общая сложность задачи (9) – (11) будет зависеть от того, что понимается под действиями роботов на поле боя. Пусть, например, под действием $\mathbf{A}_j^B(k+1)$ понимается перемещение робота R_j^B в некоторую точку поля боя и нанесение удара из этой точки по роботу R_i^C определенным количеством боеприпасов, что иллюстрируется на рис. 1.

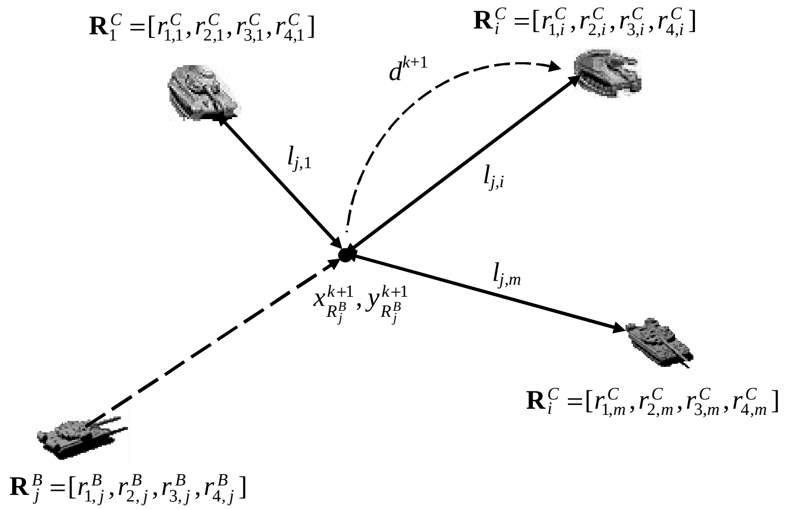

Рис. 1. Действие $\mathbf{A}_j^B(k+1)$ *робота* R_j^B

Это действие описывается формулой

$$\mathbf{A}_j^B(k+1) = < x_{R_j^B}^{k+1}, y_{R_j^B}^{k+1}, i^{k+1}, d^{k+1} >,$$

где $x_{R_j^B}^{k+1}, y_{R_j^B}^{k+1}$ – координаты целевого положения робота R_j^B; i^{k+1} – номер целевого робота R_i^C подразделения противника; d^{k+1} – количество боеприпасов, выделяемых для поражения объекта R_i^C.

Тогда выражения для функций f_{B_j} и f_{C_i} можно представить следующим образом (см. рис. 1):

$$f_{C_i} = r_{1,i}^C - \gamma_{j,i} \cdot r_{2,j}^B \cdot d^{k+1}, \qquad (12)$$

где $r_{1,i}^C$ – параметр состояния робота R_i^C, характеризующий его живучесть (защищенность); $r_{2,j}^B$ – параметр состояния робота R_j^B, характеризующий огневую мощь его вооружения; d^{k+1} – количество боеприпасов, выделяемых роботом R_j^B для поражения робота R_i^C.

Функция γ_{ji} из выражения (12) определяется выражением

$$\gamma_{j,i} = \begin{cases} 1 - \dfrac{l_{j,i}}{r_{3,j}^B}, & \text{если} \quad l_{j,i} \le r_{3,j}^B, \\ 0, & \text{если} \quad l_{j,i} > r_{3,j}^B, \end{cases} \tag{13}$$

где $l_{j,i} = \sqrt{(x_{R_j^B}^{k+1} - x_{R_i^C})^2 + (y_{R_j^B}^{k+1} - y_{R_i^C})^2}$ – расстояние между целевым положением робота R_j^B и положением робота R_i^C; $r_{3,j}^B$ – параметр состояния робота R_j^B, характеризующий его дальнобойность;

$$f_{B_j} = r_{1,j}^B - \gamma_{j,i}^{cp} \cdot r_{2,i}^{C^{cp}} \cdot r_{4,i}^{C^{cp}}, \tag{14}$$

где $r_{1,j}^B$ – параметр состояния робота R_j^B, характеризующий его живучесть (защищенность);

$$\gamma_{j,i}^{cp} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{M} l_i^*}{M}; \quad l_i^* = \begin{cases} \dfrac{l_{j,i}}{r_{3,i}^C}, & \text{если } l_{j,i} \le r_{3,i}^C, \\ 0, & \text{если } l_{j,i} > r_{3,i}^C, \end{cases} \tag{15}$$

$r_{3,i}^C$ – параметр состояния робота R_i^C, характеризующий его дальнобойность;

$$r_{2,i}^{C^{cp}} = \frac{\sum_{i=1}^{M} r_{2,i}^{C*}}{M}; \qquad r_{2,i}^{C*} = \begin{cases} r_{2,i}^C, & \text{если } l_{j,i} \le r_{2,i}^C, \\ 0, & \text{если } l_{j,i} > r_{2,i}^C, \end{cases}$$

$r_{2,i}^C$ – параметр состояния робота R_i^C, характеризующий его огневую мощь;

$$r_{4,i}^{C^{cp}} = \frac{\sum_{i=1}^{M} r_{4,i}^{C*}}{M}; \quad r_{4,i}^{C*} = \begin{cases} r_{4,i}^C, & \text{если } l_{j,i} \le r_{4,i}^C, \\ 0, & \text{если } l_{j,i} > r_{4,i}^C, \end{cases}$$

$r_{4,i}^C$ – параметр состояния робота R_i^C, характеризующий его боезапас.

Заметим, что выражение (12) для функции f_{C_i} определяет, в принципе, величину ущерба, наносимого роботу R_i^C роботом R_j^B в случае перемещения последнего в точку $x_{R_j^B}^{k+1}$, $y_{R_j^B}^{k+1}$ и нанесения удара по роботу R_i^C с помощью d^{k+1}

боеприпасов. В то же время выражение (14) для функции f_{B_j} определяет среднее значение ущерба, который может быть нанесен противником роботу R_j^B в случае его перемещения в точку с координатами $x_{R_j^B}^{k+1}$, $y_{R_j^B}^{k+1}$ (рис. 1).

Для того, чтобы определить действие $\mathbf{A}_j^B(k+1) =< a_{1,j}^B(k+1),...,a_{w,j}^B(k+1) >$, дающее максимум выражения (12), необходимо, в принципе, перебрать все возможные варианты наборов параметров $a_{1,j}^B,...,a_{w,j}^B$. Если эти параметры имеют конечное число значений, то осуществить такой набор не представляет особого труда. В противном случае, когда некоторые параметры $a_{s,j}^B$ имеют бесконечное число значений, (как например, координаты $x_{R_j^B}, y_{R_j^B}$ положения робота R_j^B на поле боя), то эти параметры должны быть предварительно дискретизированы, чтобы число анализируемых вариантов стало конечным.

Задачу выбора текущих действий робота группы можно существенно упростить, если разбить её на две составляющие: задачу выбора цели для нанесения удара и задачу выбора цели для движения. Тогда действия боевых роботов R_j^B, ($j=\overline{1,N}$) подразделения $\mathfrak{R}^B$ также можно разделить на два типа – выбор роботов R_i^C подразделения противника в качестве целей с последующим их поражением и выбор наиболее выгодной для поражения объектов противника позиции в качестве цели движения.

Сначала каждый робот R_j^B, ($j=\overline{1,N}$) оценивает эффективность нанесения удара по целям, т. е. по роботам противника R_i^C, ($i=\overline{1,M}$) в соответствии с выражением

$$d_{j,i} = \frac{\Delta\mathbf{Y}_j}{\Delta\mathbf{Y}_j^{\max}} = \frac{K_1 \cdot f_{B_j} - K_2 \cdot f_{C_i}}{\Delta\mathbf{Y}_j^{\max}}, \quad i=\overline{1,M} \tag{16}$$

для своего текущего положения, то есть при значениях $\gamma_{j,i}$ и $\gamma_{j,i}^{cp}$, вычисленных по формулам (13) и (15) с учетом значений

$$l_{j,i} = \sqrt{(x_{R_j^B}^{\text{т}} - x_{R_i^C})^2 + (y_{R_j^B}^{\text{т}} - y_{R_i^C})^2},$$

где $x_{R_j^B}^{\text{т}}$ и $y_{R_j^B}^{\text{т}}$ – координаты текущего положения робота R_j^B.

В выражении (16) $\Delta\mathbf{Y}_j^{\max}$ – максимально возможное значение приращения целевого функционала (5.10), обеспечиваемое действиями робота R_j^B. Наличие значений $d_{j,i} > 0$ свидетельствует о возможности нанесения удара по целям, для которых получены данные значения, из текущего положения, в противном случае нанесение удара из текущего положения не целесообразно.

Затем каждый робот R_j^B ($j = \overline{1, N}$) оценивает эффективность перемещения из текущего положения в другие точки для нанесения удара по объектам противника в соответствии с (16). При этом параметры $\gamma_{j,i}$ и $\gamma_{j,i}^{cp}$ вычисляются в соответствии с выражениями (13) и (15). Выбор того или иного действия (нанесение удара или перемещение в целевую точку) осуществляется с использованием одного из алгоритмов распределения целей. При этом должны учитываться следующие ограничения:

- один и тот же объект противника в качестве цели может выбрать несколько роботов подразделения $\mathfrak{R}^B$, причем число роботов, выбравших цель определяется как параметрами роботов подразделения $\mathfrak{R}^B$ (количеством боезапаса, дальнобойностью, поражающей способностью и т.п.), так и параметрами самой цели (уровнем защиты, уровнем приоритета, дальнобойностью и т.п.);
- одну целевую точку для перемещения может выбрать только один робот подразделения $\mathfrak{R}^B$.

Таким образом, решение задачи коллективного управления роботами в условиях боестолкновения может быть сведено к многократному решению задачи коллективного распределения целей, с учетом изменения ситуации. Наиболее эффективными для этого являются ускоренные алгоритмы решения задачи коллективного распределения целей, дающие если не оптимальное, то близкое к нему решение в условиях дефицита времени.

Программная модель коллективного управления группами роботов на поле боя

Для экспериментальной проверки работоспособности предложенных алгоритмов была разработана программная модель, имитирующая действия на поле боя групп роботов двух противоборствующих сторон, каждая из которых стремиться нанести максимально возможные потери противнику при некотором допустимом уровне собственных потерь [3,4]. При этом каждая из сторон располагает различными типами роботизированной боевой техники, имеющими определенные характеристики, основными из которых являются обобщенные параметры, характеризующие силу атаки, защиту, максимальную скорость перемещения и т.д.

Программная модель подсистемы управления взаимодействием боевых роботов позволяет как моделировать бой, так и создавать сценарии боевых действий. Пользовательский интерфейс программы обеспечивает отображение всей необходимой информации и результатов моделирования.

Предусмотрены три "стратегии" действий:

- атака;
- активная оборона;
- пассивная защита.

"Атака" – агрессивная стратегия (высокий уровень допустимых собственных потерь и возможность превышения собственных потерь над потерями противника).

"Активная оборона" – агрессивная стратегия, но более осторожные действия (более низкий уровень допустимых собственных потерь и локального превышения собственных потерь над потерями противника).

"Пассивная защита" – обороняющаяся сторона не выполняет целераспределения, а лишь отвечает на атакующие действия противника.

Программа может работать как в автоматическом, так и в "ручном" режиме.

"Ручной" режим используется для управления действиями боевых роботов человеком-оператором. В этом режиме на экране монитора появляется графическая информация, как показано на рис. 2. Оператор получает возможность выбрать цели для всех или только для части роботов.

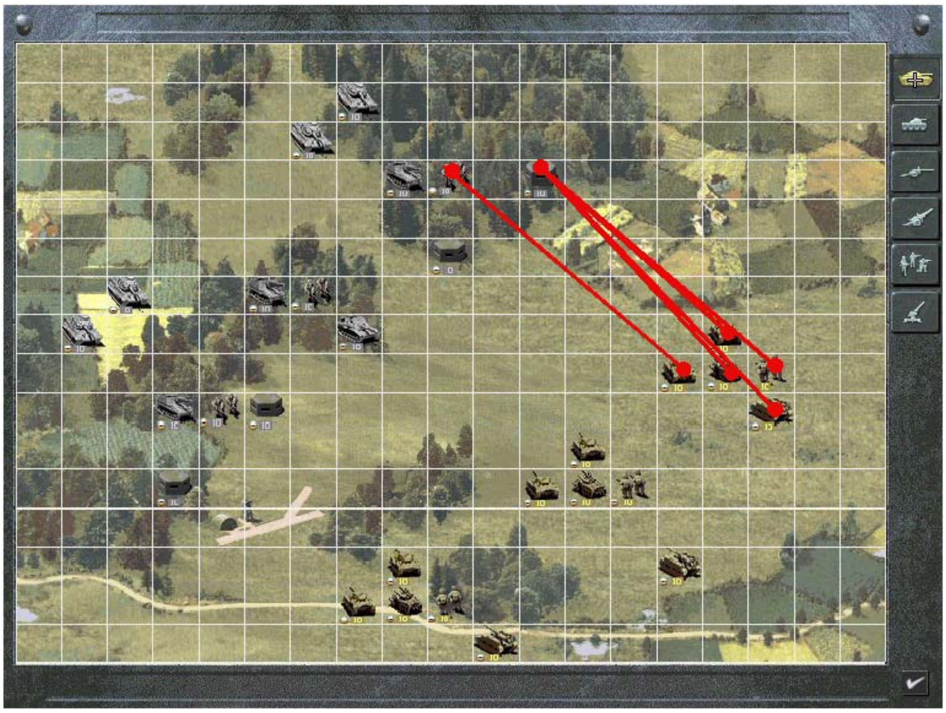

Рис. 2. Задание целей для роботов в "ручном режиме"

После того, как для всех или для части роботов оператором будут назначены цели, запускается автоматический режим, в котором боевые роботы распределяют между собой оставшиеся цели в соответствии с алгоритмом, реализующим итерационную процедуру оптимизации коллективных действий. Результат решения задачи целераспределения в смешанном подразделении представлен на рис. 3.

Моделирование боя может осуществляться как в непрерывном, так и в пошаговом режиме.

В автоматическом режиме (он возможен только в случае, когда задачи распределения целей для обеих сторон решаются с помощью ЭВМ) непрерывно реализуются две процедуры: 1) выбор и оптимизация коллективных действий (коллективное распределение целей) одной или обеими сторонами; 2) моделирование боевых действий, соответствующих полученному распределению целей. Последовательная реализация этих процедур продолжается до тех пор, пока не будут уничтожены все боевые единицы одной из противоборствующих сторон.

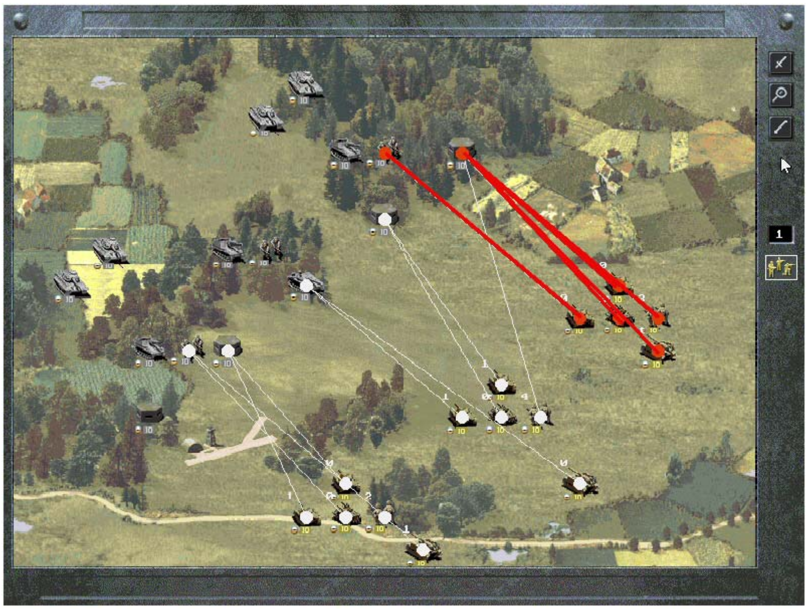

Рис. 3. Результат распределения целей в группе боевых роботов

В пошаговом режиме после завершения очередной процедуры выбора и оптимизации действий на экран монитора отображается результат распределения целей (рис. 3) и осуществляется ожидание команды пользователя на продолжение работы.

По окончании боя в обоих режимах на экран выводятся итоговые таблицы используемых средств и сохраненного боевого потенциала противоборствующих сторон (рис. 4).

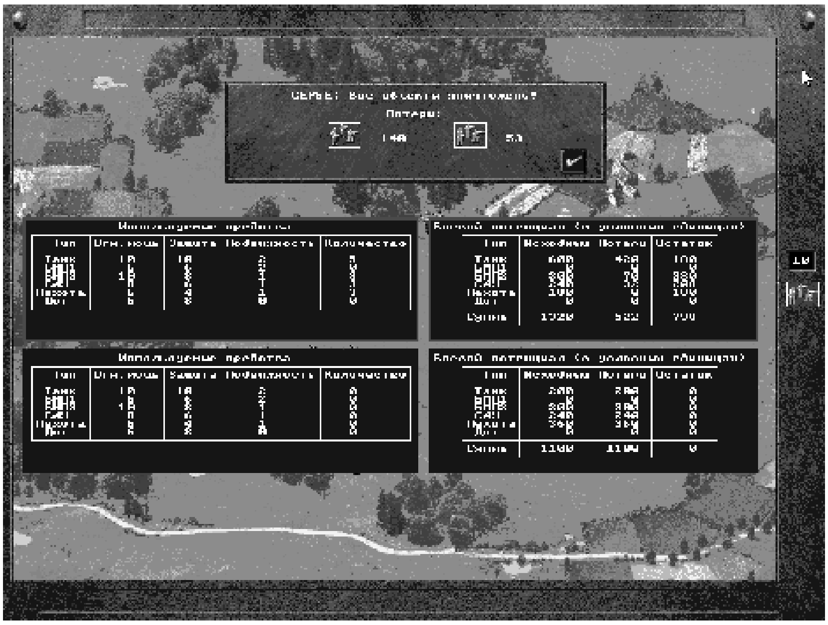

Рис. 4. Итоговые таблицы

Рассмотренная программная модель была использована для исследования эффективности предложенного метода коллективного планирования действий. Для различных исходных сценариев проводилось моделирование боевых действий. За "зеленых" задача выбора действий решалась на ЭВМ с помощью одного из алгоритмов коллективного распределения целей, реализующего итерационную процедуру оптимизации коллективных действий, а за "серых" эту задачу решал либо человек, либо ЭВМ (но с помощью других алгоритмов). При 16-ти боевых единицах с каждой стороны реализация алгоритма распределения целей, основанного на методе коллективного управления, занимает не более 0,5 с. Человеку для решения этой задачи (со значительно худшим результатом) требуется более 30 с. Применение других алгоритмов приводит к существенному росту времени принятия решения. Эффективность метода коллективного управления при решении задач выбора действий боевых роботов, подтверждается и тем, что более чем в 75% случаев "зеленые" побеждают (в оставшихся 25% случаях проигрыш "зеленых" обусловлен, в основном, их невыгодной исходной позицией).

Заключение

Анализ функционирования программной модели показал, что автоматическое решение задачи распределения целей в подразделении, состоящем из роботов, осуществляется, как минимум, на порядок быстрее, чем эту задачу решает человек. Причем чем больше роботов в подразделении, тем выше эффект автоматического распределения. При управлении смешанными подразделениями, состоящими из роботов и обычных средств ВВТ, автоматическое решение задачи целераспределения может быть использовано для формирования подсказки экипажу обычного ВВТ по выбору цели. При этом окончательное решение должно принадлежать экипажу, поскольку, как бы не были совершенны технические средства систем управления и как бы не был высок уровень их интеллекта, они не могут заменить опыт и навыки, которыми обладают люди.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г.* Распределенные системы планирования действий коллективов роботов. – М.: Янус-К, 2002. – 292 с.
2. *Капустян С.Г., Усачев Л.Ж., Стоянов С.В.* Метод оптимального распределения целей в коллективе роботов // Информационные технологии. –М.: Машиностроение. – №4. 1998. – С. 29–34.
3. *Капустян С.Г., Усачев Л.Ж.* Моделирование функционирования мобильных роботов в виртуальной среде на ПЭВМ // Известия ТРТУ. – 2002, – №1 (24). – С.52–53.
4. *Капустян С.Г., Усачев Л.Ж.* Способ и программная модель динамического распределения целей в задаче группового применения мобильных роботов // Интеллектуальные и многопроцессорные системы – 2003. Материалы Международной научно-технической конференции. Т.2. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2003. – С. 203–205.