

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 004.51+681.51

УПРАВЛЕНИЕ КОЛЛЕКТИВОМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ СТАЙНЫХ ПРИНЦИПОВ

© 2005 г. Член-корреспондент РАН И.А. Каляев¹, А.Р. Гайдук², С.Г. Капустян¹

Статья посвящена решению проблемы управления коллективом интеллектуальных объектов с использованием стайных принципов. В статье дается определение и формальная постановка задачи стайного управления, исследуются подходы к ее решению. Экспериментальные исследования компьютерной модели показали эффективность использования стайных принципов, обеспечивающих быструю адаптацию коллектива интеллектуальных объектов к изменениям ситуации и оптимизацию коллективного поведения.

СТРАТЕГИИ УПРАВЛЕНИЯ КОЛЛЕКТИВАМИ

В работе рассматривается проблема управления группами или коллективами некоторых активных интеллектуальных объектов. Коллективом называется образование, состоящее из нескольких активных объектов, действия которых направлены на достижение общей цели [1–3].

Преимущества использования коллектива объектов очевидны. Это и больший радиус действия, и расширенный набор выполняемых функций, и более высокая вероятность выполнения задания, достигаемые за счет перераспределения подцелей между объектами коллектива в случае выхода из строя некоторых из них.

Для достижения поставленной цели в коллективах независимо от их природы используются некоторые стратегии коллективного управления. Анализируя их, можно выделить стратегии централизованного и децентрализованного управления (рис. 1) [3]. В свою очередь стратегия централизованного управления коллективом объектов включает единоначальное и иерархическое управление.

К преимуществам централизованного единоначального управления можно отнести простоту его организации и алгоритмизации. Однако такое управление коллективом объектов

$O_i, i = \overline{1, N}$ (рис. 2) предполагает значительную определенность условий решения задачи и длительный период ее решения. Поэтому при использовании этой стратегии решение задачи коллективного управления стремятся получить заранее, до начала действий. Затем спланированные действия реализуются по принципу программного управления без учета заранее непредвиденных изменений в среде (как, например, в промышленных автоматизированных производствах).

Частично указанный недостаток устраняется при использовании иерархического коллективного управления (рис. 3). Здесь ЦУУ (командир 1-го уровня) управляет небольшим количеством подчиненных, которые в свою очередь являются командирами второго уровня, в подчинение каждого из которых входит своя подгруппа объектов и т.д.

В отличие от единоначального коллективного управления при иерархическом управлении существенно снижается сложность задачи, решаемой отдельным командиром, что в свою очередь повышает уровень оперативности принятия решений. Однако, с другой стороны, усложнение структуры управления может приводить к значительным задержкам (и даже сбоям) в передаче команд от верхнего до нижнего уровня.

Существенным недостатком всех систем управления, использующих централизованную стратегию, является их низкая живучесть. Действительно, выход из строя центрального управляющего устройства (или командира) приводит к

¹ НИИ Многопроцессорных вычислительных систем Таганрогского государственного радиотехнического университета, г. Таганрог.

² Таганрогский государственный радиотехнический университет, г. Таганрог.

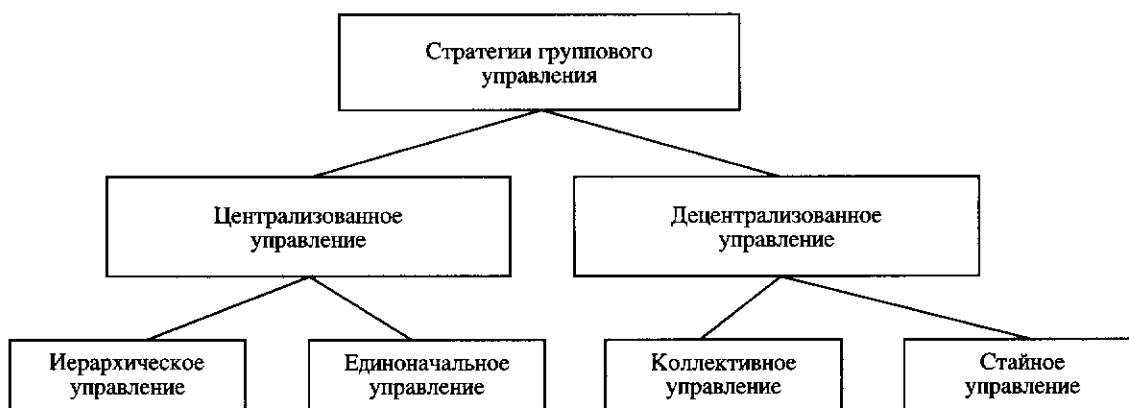


Рис. 1. Стратегии коллективного управления

выходу из строя всей системы в целом или ее части (в случае иерархической организации системы).

Указанных недостатков лишены системы коллективного управления, использующие стратегию децентрализованного управления (см. рис. 1). Суть этой стратегии заключается в том, что каждый член коллектива самостоятельно принимает решение о своих действиях, пытаясь при этом внести максимально возможный вклад в достижение общей, коллективной цели.

Преимущества децентрализованной стратегии коллективного управления определяются следующими факторами. Во-первых, задача, решаемая каждым членом коллектива, будет не сложной, поскольку он решает задачу оптимизации только своих действий в составе коллектива, не пытаясь оптимизировать действия всего коллектива в целом. Во-вторых, системы с децентрализованным коллективным управлением обладают высокой живучестью. Действительно, поскольку в них нет ЦУУ или командира, то все члены коллектива равны, поэтому выход из строя или уничтожение любого из них не приводит к выходу из строя всего коллектива в целом. Причем высокая живучесть системы достигается без каких-либо дополнительных затрат, а только лишь за счет самой децентрализованной организации системы управления.

К недостаткам стратегии децентрализованного коллективного управления следует отнести сложность ее алгоритмизации, поскольку каждый член коллектива должен четко понимать коллективную задачу и уметь соответственно выбирать такие свои действия, которые приводят к наилучшему ее решению с точки зрения всего коллектива.

Можно выделить два типа систем, использующих децентрализованную стратегию коллектив-

ного управления: системы с коллективным управлением и системы со стайным управлением [3, 4]. Коллективное управление подразумевает, что объекты, входящие в коллектив, имеют возможность обмениваться через канал связи друг с другом информацией с целью оптимизации коллективных действий (рис. 4).

К преимуществам систем, использующих стратегию коллективного управления, следует отнести возможность оптимизации коллективных действий. Но, с другой стороны, такая организация системы требует наличия высоконадежного канала связи, причем выход этого канала из строя приводит к потере возможности коллективного взаимодействия.

В этом плане наиболее живучими системами коллективного управления являются системы, использующие стратегию стайного управления (рис. 5).

Стайная стратегия управления подразумевает, что каждый объект, входящий в коллектив, не имеет прямой информационной связи с другими объектами и более того – у него нет информации ни о том, сколько объектов входят в коллектив, ни о том, каковы их характеристики, ни о том, какие действия они совершали ранее и ка-

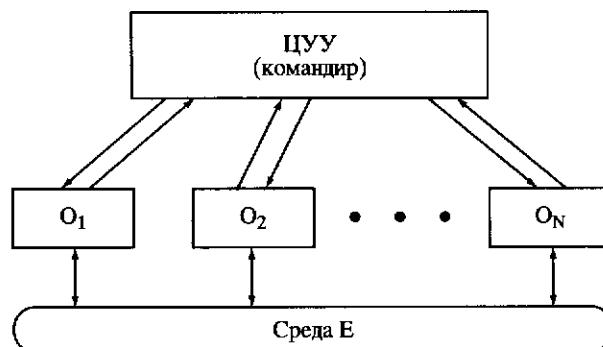


Рис. 2. Централизованное единоначальное управление

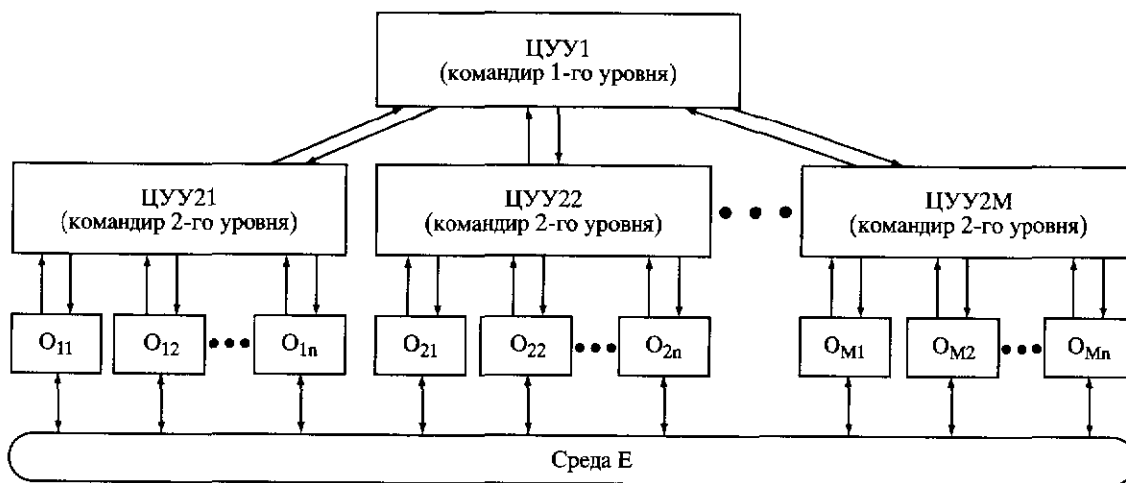


Рис. 3. Централизованное иерархическое управление

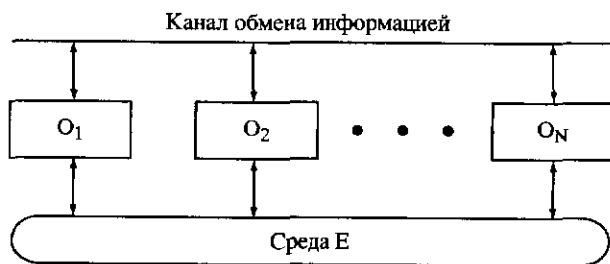


Рис. 4. Децентрализованное коллективное управление

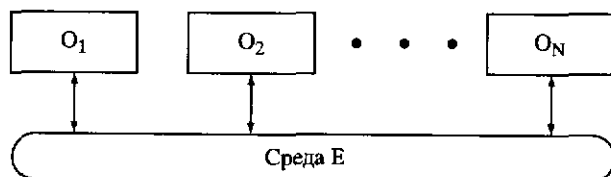


Рис. 5. Децентрализованное стайное управление

кие действия они планируют совершить в ближайшее время. Тем не менее, очевидно, что для того чтобы совместными усилиями достичь общей коллективной цели, каждый объект должен согласовывать свои действия с действиями всех остальных объектов коллектива.

Стайные принципы поведения широко используются в живой природе. Наглядным примером являются действия муравьев, мелких рыб и птиц. Примером естественной формы стайного поведения является также поведение животных, охотящихся стаей: волков, гиен и т.п.

Стайная стратегия поведения издавна используется в вооруженных конфликтах. В древние времена так действовали племена кочевников, в

частности, татаро-монголы. Некоторые авторы [4] считают, что стайный принцип будет наиболее эффективным принципом действий в вооруженных конфликтах будущего.

ЗАДАЧА СТАЙНОГО УПРАВЛЕНИЯ

В общем случае задачу управления коллективом интеллектуальных объектов можно сформулировать следующим образом. Предположим, что некоторый коллектив, состоящий из N объектов O_j , ($j = \overline{1, N}$), воздействует на некоторую среду E (являющуюся объектом управления для коллектива) в условиях заранее неизвестной ситуации в среде. Будем считать, что состояние каждого объекта O_j описывается вектором $S_j(t) = \langle s_1^j, s_2^j, \dots, s_m^j \rangle$ ($j = \overline{1, N}$), а состояние сре-

ды – вектором $E(t) = \langle e_1, e_2, \dots, e_w \rangle$. Пусть кроме

того каждый объект O_j ($j = \overline{1, N}$) может выполнять некоторые свои действия, описываемые вектором $A_j(t) = \langle a_1^j, a_2^j, \dots, a_{\mu}^j \rangle$ ($j = \overline{1, N}$), с помощью которых он может изменять как состояние среды, так и состояния других объектов коллектива. В общем случае эти изменения определяются системами вида:

$$\frac{dS_j}{dt} = F_j(S_1, A_1, \dots, S_N, A_N, E), \quad j = \overline{1, N}, \quad (1)$$

$$\frac{dE}{dt} = F(S_1, A_1, \dots, S_N, A_N, E). \quad (2)$$

На состояния объектов и среды, а также на

действия объектов в конкретных ситуациях могут налагаться некоторые ограничения, в общем случае определяемые системами неравенств:

$$G(S_1, S_2, \dots, S_N, E) \leq 0, \quad (3)$$

$$D(S_1, A_1, \dots, S_N, A_N, E) \leq 0, \quad (4)$$

которым должны удовлетворять допустимые состояния объектов коллектива и их действия. Целью действий коллектива объектов является преобразование среды из исходного (текущего) состояния E^0 в некоторое целевое состояние E^* оптимальным образом, например, за минимальное время [3].

Задачей синтеза стайного управления является разработка алгоритма выбора каждым объектом своих действий для достижения в условиях неопределенности поставленной перед коллективом цели. Неопределенность заключается в отсутствии у каждого объекта прямой информации о наличии и действиях других объектов коллектива. В то же время он располагает информацией о своих индивидуальных возможностях по трансформации своего состояния S_i и среды E за счет своих индивидуальных действий. Иными словами, каждый объект O_i , входящий в стаю, не имеет выражений (1)–(4), описывающих возможности всей стаи в целом и его действительное влияние на среду в составе стаи, а имеет (в начальный момент времени) только “усеченные” выражения:

$$\frac{dS_i}{dt} = f_i(S_i, A_i, E), \quad (5)$$

$$\frac{dE}{dt} = f'_i(S_i, A_i, E), \quad (6)$$

$$g_i(S_i, E) \leq 0, \quad d_i(S_i, A_i, E) \leq 0, \quad (7)$$

которые описывают его исходное “представление” о возможностях его индивидуального влияния на среду.

Правые части дифференциальных уравнений (1), (2) и (5), (6) – некоторые, в общем случае нелинейные функции, при которых существует единственное решение этих уравнений с учетом ограничений (3), (4) и (7).

Перейдем к построению алгоритма выбора объектом O_i своего очередного действия A_i^0 таким образом, чтобы оптимальным образом с точки зрения всей стаи пытаться достичь цели.

СИНТЕЗ СТАЙНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Поскольку объект O_i имеет лишь выражения (5)–(7), а не выражения (1)–(4), то он должен

как-то “подстраивать” свои действия под действия всей стаи. Очевидно, что в условиях неопределенности это можно осуществить только на основе информации о реакции среды на действия всех объектов, входящих в стаю.

Поскольку объект O_i до начала действий не имеет никакой информации о других объектах, входящих в стаю, то свое первое действие он может выбирать, исходя из соображений оптимального преобразования ситуации E^0 в целевую ситуацию E^* только за счет своих действий на основе своей “индивидуальной” модели (5)–(7). Иными словами объект O_i должен решить следующую задачу.

Задача 1. Определить действие $A_i^0 = A_i(t_0)$, преобразующее текущую ситуацию E^0 в целевую E^* оптимальным образом и удовлетворяющее ограничениям (7) и системам связи (5) и (6).

В результате выполнения полученного таким образом действия A_i^0 в течение достаточно малого интервала времени Δt объект O_i рассчитывает на основании выражений (5), (6), что ситуация в среде преобразуется из E_i^0 в E_i^1 , где

$$E_i^1 = E_i^0 + \Delta E_i \approx E_i^0 + f'_i(S_i^0, A_i^0, E_i^0) \Delta t, \quad (8)$$

а сам объект O_i перейдет из состояния S_i^0 в состояние S_i^1 , где

$$S_i^1 = S_i^0 + \Delta S_i \approx S_i^0 + f_i(S_i^0, A_i^0, E_i^0) \Delta t, \quad (9)$$

где S_i^0 – текущее состояние объекта O_i .

Однако в результате неизвестных объекту O_i действий других объектов стаи среда в реальности (согласно (2)) переходит не в состояние E^1 , а в состояние E^{1*} , где

$$E^{1*} \approx E^0 + F(S_1^0, A_1^0, \dots, S_N^0, A_N^0, E^0) \Delta t,$$

а сам объект O_i (согласно (1)) переходит не в состояние S_i^1 , а в состояние S_i^{1*}

$$S_i^{1*} \approx S_i^0 + F_i(S_1^0, A_1^0, \dots, S_N^0, A_N^0, E^0) \Delta t.$$

Чтобы “подстроиться” под действия остальной стаи объект O_i изменяет свою “индивидуальную” модель (5), (6) следующим образом.

Поскольку объект O_i располагает информацией о своем текущем состоянии и состоянии среды, то влияние остальных объектов коллектива он может оценить выражениями:

$$\Delta E_i = (E_i^{1*} - E_i^1) / \Delta t, \quad \Delta S_i = (S_i^{1*} - S_i^1) / \Delta t. \quad (10)$$

Здесь E_i^1, S_i^1 – состояния среды и объекта O_i , сложившиеся после выполнения очередных действий всеми объектами коллектива и полученные сенсорной системой объекта O_i ; E_i^1, S_i^1 – расчетные состояния среды и объекта O_i , после выполнения им своего очередного действия, полученные системой управления объекта O_i по выражениям (8), (9).

Полагая, что влияние других объектов на следующем интервале управления изменится незначительно, приходим к следующей, скорректированной модели влияния объекта O_i на среду и свое состояние:

$$\begin{aligned} \frac{dE_i}{dt} &= F_i^1(S_i, A_i, E_i) + \gamma_{ei} \Delta E_i, \\ \frac{dS_i}{dt} &= F_i(S_i, A_i, E_i) + \gamma_{si} \Delta S_i. \end{aligned} \quad (11)$$

Здесь γ_{si}, γ_{ei} – векторы индивидуальных коэффициентов прогноза.

Далее, объект O_i на основании информации о новом текущем состоянии среды $E_i^0 = E_i^1$ и сво-

ем новом текущем состоянии $S_i^0 = S_i^1$, используя новую модель своих возможностей (9) (учитывающую и возможности всей стаи), вновь решает задачу 1 и определяет свое новое текущее действие A_i^0 , направленное на достижение стайной цели. После отработки этого действия объект O_i снова уточняет по (8)–(10) свою модель (11). В результате новая форма выражений (9) будет в большей мере учитывать возможности всей стаи, чем предыдущая. Данный процесс подстройки индивидуальных моделей фактически является “самообучением”, или адаптацией.

ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ТЕЛА КОЛЛЕКТИВОМ ОБЪЕКТОВ

Рассмотрим модельную задачу перемещения твердого тела коллективом объектов по горизонтальной плоскости.

Предположим, что положение пассивного круглого (плоского) тела M с известной массой m , радиусом r и моментом инерции J описывается тремя параметрами: координатами x и y его центра тяжести на плоскости в правой системе координат [5] (рис. 6), а также углом ψ . Это может быть угол, например, между осью X

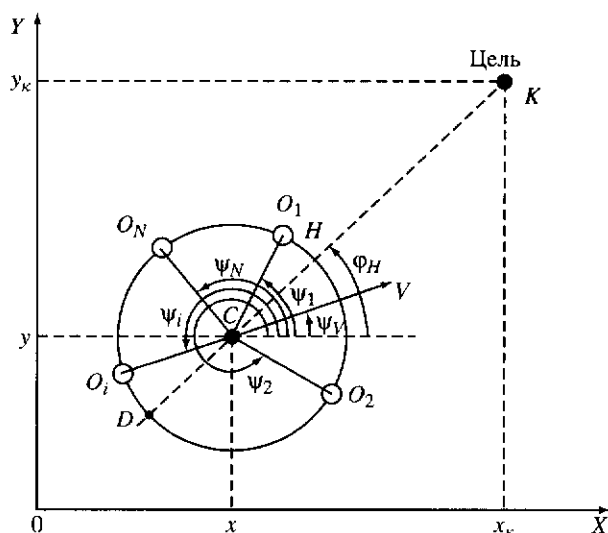


Рис. 6. Координатная система

и некоторым фиксированным диаметром тела. Тело M располагается на горизонтальной плоскости и при перемещениях испытывает влияние сил трения.

В произвольных точках периметра тела M располагаются активные объекты $O_i (i = \overline{1, N})$. Расположение объекта O_i на периметре тела M определяется углом ψ_i (рис. 6 и 7). Каждый объект O_i может изменять положение тела M с помощью некоторой силы тяги P_i , действующей под углом ϕ_i к оси X (см. рис. 7). Иными словами, действие A_i объекта O_i описывается вектором

$A_i = \langle a_1^i, a_2^i \rangle$, где $a_1^i = P_i$, $a_2^i = \phi_i$, причем

$$\phi_i = \phi_{i\mu} = \psi_i \pm \mu \frac{\pi}{2}, \quad \mu = 0, 1, 2. \quad (12)$$

Цель действий стаи объектов $O_i (i = \overline{1, N})$ заключается в перемещении с заданной скоростью тела M из точки C исходного положения с координатами $\langle x_0, y_0 \rangle$ к точке K конечного (целевого) положения с координатами $\langle x_k, y_k \rangle$ (см. рис. 6) при ограничениях (12) и $P_i \leq P_m$.

Будем также считать, что объекты O_i действуют циклически, т.е. действие-управление A_{ik} , формируемое объектом O_i , остается постоянным в течение некоторого времени Δt , а затем меняется на новое $A_{i,k+1}$. Период Δt – постоянная величина одинаковая для всех объектов.

Расчет действия-управления $A_{i,k+1}$ производит каждый объект самостоятельно в течении одного k -го достаточно малого периода Δt , так что уравнения движения тела можно считать не-

прерывными. Объекты используют информацию об изменениях лишь собственного положения, т.е. число других объектов и их расположение каждому из объектов O_i неизвестны. Координаты цели и параметры тела M не меняются и известны всем объектам $O_i (i = \overline{1, N})$. Тело совершает плоские горизонтальные перемещения и вращательное движение [6], поэтому на тело со стороны плоскости XY действует сила трения и момент сопротивления.

Рассмотрим рис. 8. Здесь P_i – сила тяги, развиваемая объектом O_i , направленная под некоторым углом φ_i . Отрезок CM_i – перпендикуляр, опущенный из точки C на направление силы P_i . Этот отрезок является плечом силы P_i , причем его длина l_i из треугольника O_iCM_i равна $l_i = r \sin \alpha_i$, где r – радиус тела. Из того же треугольника O_iCM_i находим: $\alpha_i = \psi_i - \varphi_i$. Следовательно,

$$l_i = r \sin(\psi_i - \varphi_i). \quad (13)$$

Согласно рисункам 7 и 8, уравнения, задающие движение центра масс тела M в зависимости от действий всех объектов стаи $O_i (i = \overline{1, N})$, имеют [6] вид:

$$m\ddot{x} = \sum_{i=1}^N P_i \cos \varphi_i - w_c \dot{x} |\dot{x}|, \quad (14)$$

$$m\ddot{y} = \sum_{i=1}^N P_i \sin \varphi_i - w_c \dot{y} |\dot{y}|, \quad (15)$$

$$J\ddot{\psi} = - \sum_{i=1}^N P_i r \sin(\psi_i - \varphi_i) - w_r \dot{\psi} |\dot{\psi}|, \quad (16)$$

где w_c , w_r – коэффициенты вязкого трения сопротивления продольному и вращательному движению тела.

Угловая скорость тела $\omega = \dot{\psi}$ всегда направлена по вертикальной оси, так как движение тела плоское. Величина линейной скорости $V = \langle \dot{x}, \dot{y} \rangle$ и ее направление φ_v (см. рис. 7) определяются по формулам

$$V = \sqrt{(\dot{x})^2 + (\dot{y})^2}, \quad \varphi_v = \arg(\dot{x} + j\dot{y}), \quad (17)$$

где $\arg(\cdot)$ – аргумент комплексного числа $\bar{v} = \dot{x} + j\dot{y}$.

Соотнося рассматриваемую задачу по перемещению тела M с общей постановкой задачи стайного управления коллективом объектов, отметим следующее. Средой E , на которую воздей-

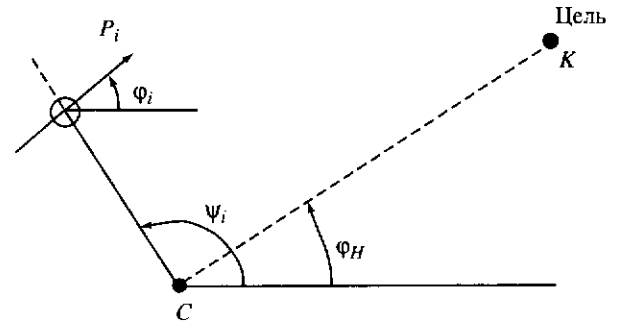


Рис. 7. Углы ориентации объекта

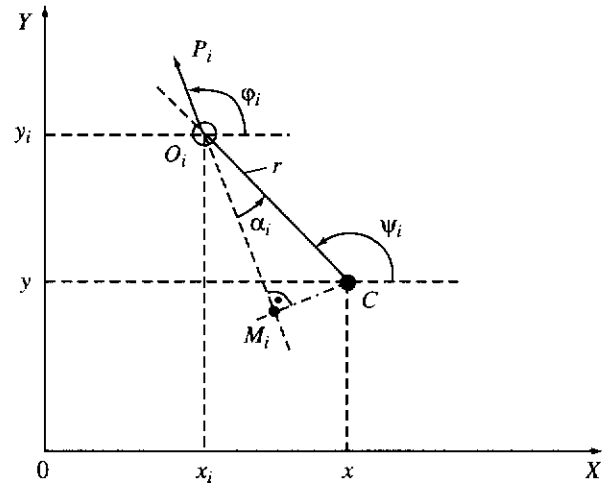


Рис. 8. Определение плеча силы тяги объекта

вуют объекты стаи, в данном случае является тело M . Поэтому вектор состояния среды здесь имеет вид $E = \langle x, y, \psi, \dot{x}, \dot{y}, \dot{\psi} \rangle$. При этом исходное (начальное) состояние среды описывается вектором $E^0 = \langle x_0, y_0, \psi_0, 0, 0, 0 \rangle$, а целевое (конечное) состояние среды – вектором $E^k = \langle x, y, \psi, 0, 0, 0 \rangle$ причем $\sqrt{(x_k - x)^2 + (y_k - y)^2} \leq \alpha_k r$, где α_k – некоторое положительное число.

Выражения, описывающие изменения состояния среды, т.е. состояния тела под действием всех объектов $O_i (i = \overline{1, N})$, входящих в стаю (соответствующие выражениям (1) и (2) в общей постановке задачи), здесь согласно (14)–(17) имеют вид:

$$\dot{x} = V_x, \quad \dot{V}_x = m^{-1} \left(\sum_{i=1}^N P_i \cos \varphi_i(t) - w_c |V_x| V_x \right), \quad (18)$$

$$\dot{y} = V_y, \quad \dot{V}_y = m^{-1} \left(\sum_{i=1}^N P_i \sin \varphi_i - w_c |V_y| V_y \right), \quad (19)$$

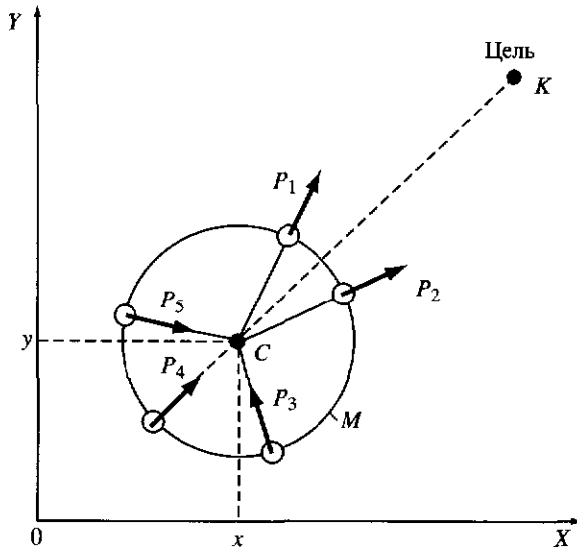


Рис. 9. Симметричное расположение объектов

$$\dot{\psi} = \omega,$$

$$\dot{\omega} = J^{-1} \left(-\sum_{i=1}^N P_i r \sin(\psi_i - \varphi_i) - w_r |\omega| \omega \right). \quad (20)$$

Индивидуальная модель объекта O_i с учетом ее адаптации по (11) описывается равенствами:

$$\dot{x}_i = V_{xi}, \dot{V}_{xi} = m^{-1}(P_i \cos \varphi_i - w_c |V_{xi}| V_{xi}) + \gamma_{xi} \Delta \dot{V}_{xi}, \quad (21)$$

$$\dot{y}_i = V_{yi}, \dot{V}_{yi} = m^{-1}(P_i \sin \varphi_i - w_c |V_{yi}| V_{yi}) + \gamma_{yi} \Delta \dot{V}_{yi}, \quad (22)$$

$$\dot{\psi}_i = \omega_i, \dot{\omega}_i =$$

$$= J^{-1}(-P_i r \sin(\psi_i - \varphi_i) - w_r |\omega_i| \omega_i) + \gamma_{\omega i} \Delta \dot{\omega}_i. \quad (23)$$

$$\text{Здесь } \Delta \dot{\omega}_i(t) = [\tilde{\omega}_i(t + \Delta t) - \tilde{\omega}_i(t)] / \Delta t - \dot{\omega}_i(t),$$

причем $\tilde{\omega}_i(t)$ – измеренное объектом O_i значение угловой скорости тела, а $\dot{\omega}_i(t)$ – расчетное значение ускорения, вычисленное системой управления объекта O_i , причем $\dot{\omega}_i(0) = 0$. Осталь-

ные поправки адаптации $\Delta \dot{V}_x$ и $\Delta \dot{V}_y$ определяются аналогично.

Таким образом, задача стайного управления объектами $O_i (i = \overline{1, N})$ в данном случае заключается в выборе [2] каждым объектом O_i величины силы тяги $P_i \in [0, P_m]$ и ее направления φ_i согласно (12), (17). В данной работе эта задача решается на основе следующих предпосылок.

Если скорость V тела M в каждый момент времени t направлена на цель и равна заданной V_3 , т.е. (см. рис. 9)

$$\varphi_V(t) = \varphi_H(t), \quad t \geq t_1, \quad V(t) = V_3, \quad (24)$$

то тело переместится к цели за время, близкое к заданному, т.е. цель управления будет достигнута. В общем случае при наличии некоторого числа $N > 2$ объектов O_i равенство (24) выполняется при следующих условиях:

$$\begin{aligned} \omega(t_1) &= 0, \quad \varphi_V(t_1) = \varphi_H(t_1), \\ V(t_1) &= V_3, \quad l(t_1) > \alpha_k r, \end{aligned} \quad (25)$$

где $l(t) = \sqrt{(x_k - x)^2 + (y_k - y)^2}$ – расстояние между целью и телом в момент времени t .

Первые два условия (25) выполняются при сколь угодно малом t_1 , если только все объекты O_i расположены симметрично относительно линии направления на цель, как показано на рис. 9, где $N = 5$.

Поскольку, как отмечалось выше, допускается произвольное (не симметричное) расположение объектов $O_i (i = \overline{1, N})$, то соотношения (25) рассматриваются объектами как некоторая текущая цель, совместное достижение и поддержание которой обеспечит выполнение основной задачи управления – перемещения тела к цели. Эти “естественные” условия играют роль указанной выше объективной оценки состояния среды и используются для согласования действий объектов O_i , не связанных друг с другом информационными каналами.

Общая идея построения предлагаемого алгоритма стайного управления объектом O_i при перемещении тела M из исходной в целевую точку заключается в следующем.

В начальный момент, когда скорость тела M равна нулю, каждый объект O_i , как отмечалось выше, решает Задачу 1, которая в данном случае заключается в выборе величины силы тяги и ее направления, исходя из общей цели – перемещения тела к точке K . В соответствии с этим каждый объект выбирает свое первое действие $A_i^0 = \langle P_{i0}, \varphi_{i0} \rangle$ так, чтобы максимизировать ускорение тела в направлении цели K , т.е. проекцию своей тяги на направление к цели:

$$P_i = \gamma_{pi} P_{\max}; \quad P_i \cos(\varphi_H - \varphi_i) \rightarrow \max, \quad i = \overline{1, N}, \quad (26)$$

где $\gamma_{pi} = \gamma_{pi}(0)$ – коэффициент тяги.

Если скорость тела через Δt остается равной нулю, то все объекты увеличивают тягу на 10% до тех пор, пока тело не придет в движение. Тем самым осуществляется трогание тела.

Через некоторое число тактов m_1 , когда тело M будет иметь скорость $V \geq V_n$, ситуация изменится. Теперь объекты выбирают свои действия так, чтобы согласно (24) скорость V оказалась направленной на цель, а ее величина стремилась к заданному значению. Для поддержания скорости, равной заданному значению, наиболее подходящими являются, очевидно, объекты, расположенные в окрестности линии СК (см. рис. 9), в то время как наилучшие условия по изменению ее направления имеют объекты O_{ii} , расположенные в окрестности нормали к этой линии. Именно эти факты используют объекты, выбирая свои действия при решении задачи перемещения тела M .

Так как, общее количество объектов и их расположение каждому объекту O_i неизвестно, то в процессе перемещения тела M объекты обучаются, адаптируя к складывающейся ситуации свои алгоритмы формирования тяги P_i и ее направления ϕ_i в соответствии с выражениями (21)–(23).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный в данной работе метод стайного управления коллективом объектов, функционирующих в заранее неизвестной динамической среде, строится с учетом следующих требований и принципов:

– объекты, входящие в состав коллектива, обладают достаточным уровнем интеллекта, позволяющим распознавать текущую ситуацию;

– объекты не связаны прямыми информационными каналами;

– каждый объект располагает информацией о состоянии среды, получаемой им в результате измерений, а также информацией о цели, поставленной перед коллективом;

– каждый объект располагает адаптивной моделью индивидуального влияния на среду;

– адаптация индивидуальных моделей влияния на среду осуществляется объектами на основе анализа результатов индивидуальных измерений реакции среды на совместные действия стаи.

Как показали исследования с использованием компьютерного моделирования, данные принципы стайного управления обеспечивают малое время принятия решений каждым объектом стаи, т.к. решения принимаются только о своих действиях. При этом каждый объект выбирает возможно не самое лучшее с точки зрения оптимального достижения общей цели действие, но оптимальное в рамках имеющейся у него на данный момент информации о сложившейся ситуации. Проведенные исследования с использованием компьютерного моделирования подтверждают работоспособность предложенных принципов и алгоритма стайного управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Робототехника* / Под ред. Е.П. Попова и Е.И. Юревича. М.: Машиностроение, 1984. 288 с.
2. *Каляев И.А., Гайдук А.Р.* Однородные нейрореподобные структуры в системах выбора действий интеллектуальных роботов. М.: Изд-во "Янус-К", 2000. 279 с.
3. *Каляев И.А., Гайдук А.Р.* //Мехатроника, автоматизация, управление, 2004. № 12. С. 29–33.
4. *Попов И.М.* "Боевые стаи" выходят на тропу войны //Военное обозрение. 2004. № 2. С. 8.
5. Краткий физико-технический справочник. Т. 2 Общая механика, сопротивление материалов /Под общ. ред. К.П. Яковлева. М.: Физматгиз, 1962. 419 с.

CONTROL OF INTELLECTUAL OBJECTS COLLECTIVE ON THE BASIS OF GREGARIOUS PRINCIPLES

Member-Corresponding of RAS I.A. Kaliev, A.R. Gaiduk, S.G. Kapustjan

Article is devoted to the decision of a problem of control by intellectual objects collective with use of gregarious principles. In article definition and formal statement of gregarious control problem are given, approaches to its decision are investigated. Experimental researches of computer model have shown efficiency of use of the gregarious principles providing fast adaptation of intellectual objects collective to changes of a situation and optimization of collective behavior.

REFERENCES

1. Popov E.P., Yurevich E.I. (Eds). 1984. *Robototekhnika. [Robotics]*. Moscow, "Mashinostroenie" Publ.: 288 p. (In Russian).
2. Kalyaev I.A., Gayduk A.R. 2000. *Odnorodnye neyropodobnye struktury v sistemakh vybora deystviy intellektual'nykh robotov. [Homogeneous neural structure in the systems of choice actions of intelligent robots]*. Moscow, "Yanus-K" Publ.: 279 p. (In Russian).
3. Kalyaev I.A., Gayduk A.R. 2004. *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie*. (12): 29–33. (In Russian).
4. Popov I.M. 2004. *Voennoe obozrenie*. (2): 8. (In Russian).
5. Yakovlev K.P. 1962. *Kratkiy fiziko-tekhicheskiy spravochnik. T. 2: Obshchaya mekhanika, soprotivlenie materialov. [Quick reference physical and technical. Vol. 2: General mechanics, strength of materials]*. Moscow, Fizmatgiz Publ.: 419 p. (In Russian).