УДК 519.71

Развитие некоторых алгоритмов управления расположением агентов в мультиагентных системах

С.Э. Парсегов[1]

Аннотация – **In recent years, a new framework for systems to be handled appeared which is based on decentralized cooperative control using simple, identical, cooperating subsystems named agents. Such systems are referred to multi-agent systems. In this paper, some linear algorithms extending and generalizing known results for formation control are proposed. As the first step algorithms for a group of agents allocation on a segment are considered, stability criteria and some convergence analysis results are presented.**

Ключевые слова – **Мультиагентные системы, Управление формациями, Формообразование.**

I. Введение

Задачи управления мультиагентными системами можно условно разделить на две категории: управление формациями с приложением к мобильным роботам, беспилотным летательным аппаратам, подводным автономным устройствам, космическим аппаратам, и другие задачи, не связанные с образованием формаций, типа задач распределения, поиска, синхронизации и др.

В задачах кооперативного управления совместно используемая информация может иметь вид общих целей, общих алгоритмов управления, или информации об относительном положении агентов, полученной с их сенсоров. В свете изложенных положений в настоящее время особый интерес вызывают задачи построения геометрических образов (структур) на плоскости и в пространстве (т.н. задачи формообразования). В работах [7], [5] указывается, что задачи формообразования часто связаны с задачами консенсуса (задачи сходимости агентов к общему решению).

В [5], [6] подробно рассмотрен один из частных случаев задач консенсуса – алгоритм циклического преследования, и получено обобщение на случай, когда линия визирования каждого агента отклонена на некоторый угол α. В тех же работах определены условия, при которых группа агентов образует ту или иную формацию, и проведен анализ некоторых частных случаев обобщенного алгоритма циклического преследования с моделями в виде интеграторов второго порядка.

Помимо циклического преследования к задачам формообразования также относятся алгоритмы расположения агентов на отрезке. В [1] разработан и исследован алгоритм движения агентов, обеспечивающий их расположение в правильном порядке на заданном отрезке и на равном расстоянии друг от друга в одномерном и двумерном пространствах. Проблема формулируется в классе непрерывных систем, моделями агентов являются одиночные интеграторы. В [3] детально изучены похожие алгоритмы в классе дискретных систем.

В данной работе изучается обобщение алгоритма равномерного расположения точек на отрезке путем введения матрицы поворота, приводятся критерии устойчивости и оценки скорости сходимости. Более того, с помощью критерия устойчивости мультиагентных систем [2], [4], основанного на понятии Ω-области, исследуется случай алгоритма с моделями агентов второго порядка, формулируется и доказывается критерий устойчивости.

II. Постановка задачи

В работе [1] предлагается линейный закон перемещения агентов для их равномерного расположения на отрезке в одномерном и двумерном пространствах, границы которого либо фиксированы, либо изменяются в соответствии с известным законом. Закон управления предполагает наличие информации о расстояниях между агентом и двумя его ближайшими соседями. В рамках предложенной стратегии каждый агент движется в направлении середины отрезка, соединяющего его ближайших по номерам соседей. При этом первый и последний агенты стремятся занять положение между границами отрезка и ближайшими к ним по номерам соседями. Динамика каждого агента описывается одиночным интегратором – управление движением производится за счет изменения скорости агента.

При таком подходе система состоит из двух независимых подсистем, т.е. не учитывается возможное наличие связи между координатами каждого агента. Такая связь может иметь вид, к примеру, матрицы поворота [5], [6], когда в силу определенных ограничений, либо постановки задачи вектор скорости каждого агента отклоняется на некоторый угол. Кроме того, подход с моделями агентов в виде одиночных интеграторов подразумевает управление путем мгновенного изменения скорости каждого агента, что является идеализированной ситуацией. В связи с этим предлагаются алгоритмы, учитывающие как возможную связь между координатами каждого агента, так и опосредованное изменения скорости через ускорение, т.е. алгоритмы более высокого порядка. Обобщение алгоритма [1] построено следующим образом: сначала изучен алгоритм с наличием связи между координатами каждого агента в виде матрицы поворота, затем

[1]Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, ул. Профсоюзная, 65, Москва, 117997, РОССИЯ, E-mail: parsegov@ipu.ru

предложен алгоритм второго порядка для случая независимых координат, после чего разработан наиболее общий алгоритм – комбинация двух предыдущих. Формулируются и доказываются критерии устойчивости, строятся оценки скорости сходимости алгоритмов.

Предложенный обобщенный алгоритм второго порядка с матрицей поворота в трехмерном пространстве имеет вид:

$$
\begin{gathered}
\left(s^2+as\right)\xi=\left(A\otimes R(\alpha)\right)\xi+b^*,\\
A=\begin{pmatrix} -1 & 0.5 & 0 & \dots & 0\\ 0.5 & -1 & 0.5 & \dots & 0\\ \vdots & & & & \vdots\\ 0 & 0 & \dots & 0.5 & -1 \end{pmatrix}\in\mathbb{R}^{n\times n},\\
R(\alpha)=\begin{pmatrix} \cos\alpha & \sin\alpha & 0\\ -\sin\alpha & \cos\alpha & 0\\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},\\
b^*=\left(I_n\otimes R(\alpha)\right)\left(0.5\xi_b^T,\quad 0,\quad \dots,\quad 0.5\xi_e^T\right)^T\in\mathbb{R}^{3n},
\end{gathered}
\tag{1}
$$

где $s=d/dt$ – оператор дифференцирования, $a>0$ – некоторая константа, $R(\alpha)$ – матрица поворота, $\xi\in\mathbb{R}^{3n}$ – вектор координат всех агентов, $\xi_i=\left(x_i(t),y_i(t),z_i(t)\right)^T \in\mathbb{R}^3$, $i=1,2,\dots n$, ξ_b,ξ_e – координаты начала и конца отрезка соответственно.

В работе сформулирован и доказан следующий критерий устойчивости для системы (1).

Теорема

Система (1) устойчива тогда и только тогда, когда

$$\frac{a^2\cos\alpha}{\sin^2\alpha}>2\sin^2\frac{\pi n}{2(n+1)}.$$

Доказательство теоремы основано на важном понятии Ω-области на комплексной плоскости и связанным с ним критерием устойчивости мультиагентных систем [2], [4].

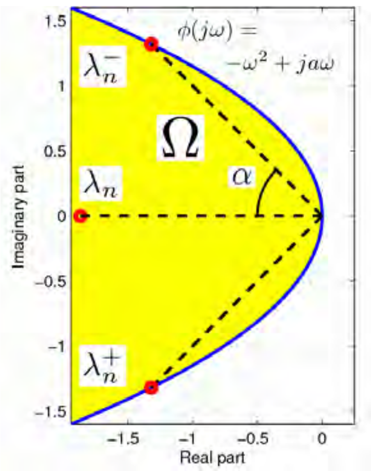

Рис.1. Расположение собственных чисел матрицы A на границе Ω-области

III. Заключение

В работе получены алгоритмы, обобщающие стратегию равномерного расположения агентов на отрезке, предложенную в [1]. Обобщение строилось следующим образом: предлагались алгоритмы первого порядка, учитывающие наличие связи между координатами каждого агента в виде матрицы поворота, затем был изучен алгоритм опосредованного изменения скорости через ускорение – алгоритм второго порядка, после чего изучена их комбинация, сочетающая как наличие матрицы поворота, так и второй порядок алгоритма. Для первых двух алгоритмов были получены условия устойчивости и оценки скорости сходимости, для более сложного обобщенного алгоритма – сформулирован и доказан критерий устойчивости.

Дальнейшее исследование предполагает получение оценки скорости сходимости для последнего случая, разработка иных алгоритмов второго порядка и их изучение, изучение других видов связи между координатами агента.

Список ссылок

[1] Петрикевич Я.И. Линейные алгоритмы управления геометрическим расположением объектов в многоагентной системе // Управление большими системами. Специальный выпуск 30.1 "Сетевые модели в управлении". -М.: ИПУ РАН. 2010. С.665-680.

[2] Поляк Б.Т., Цыпкин Я.З. Устойчивость и робастная устойчивость однотипных систем // Автоматика и телемеханика. 1996. №11. С.91-104.

[3] Щербаков П.С. Управление формациями: схема Ван Лоуна и другие алгоритмы // Управление большими системами. Специальный выпуск 30.1 "Сетевые модели в управлении". -М.: ИПУ РАН. 2010. С.681-696.

[4] Hara S., Hayakawa T., Sugata H. Stability Analysis of Linear Systems with Generalized Frequency Variables and Its Applications to Formation Control // Proc. Decision and Control Conf. 2007. Dec. P.1459-1466.

[5] Pavone M., Frazzoli E. Decentralized policies for geometric pattern formation and path coverage // ASME Journal on Dynamic Systems, Measurement, and Control. 2007. Vol.129. №5. P.633-643.

[6] Ramirez J.L., Pavone M., Frazzoli E. and Miller D.W. Distributed Control of Spacecraft Formations via Cyclic Pursuit: Theory and Experiments // AIAA Journal of Guidance, Control, and Dynamics. 2010. Vol.33. №5. Apr. P.1655-1669.

[7] Ren W., Beard R.W., Atkins E.M. A survey of consensus problems in multi-agent coordination // Proc. American Control Conf. 2005. Vol.3. Jun. P.1859-1864.