

АГЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ДИНАМИЧЕСКИ ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ СРЕДЕ

А. Д. Пашкевич

Белорусский государственный университет, г. Минск

angelinapd98@gmail.com

науч. рук. – О. А. Лаврова, канд. физ.-мат. наук

В данной статье строятся и изучаются агентные модели движения птиц в стае с глобальным и локальным контролем агентами динамически изменяющейся среды. Одна из моделей реализуется на основе комбинации агентного подхода для описания движения птиц и численного решения краевой задачи для задания градиентного поля в среде агентной модели. Предложены две агентные модели, основанные на использовании агентами-птицами только локальной информации из своей области видимости в среде. Новизна результатов состоит в добавлении в среду агентной модели препятствий, положение которых изменяется со временем, и агента-лидера, ведущего агентов-птиц на облет препятствий. Результаты статьи могут быть использованы для дальнейшего изучения механизмов адаптации в мультиагентных автономных системах.

Ключевые слова: агентное моделирование; локальные правила поведения; динамически изменяющаяся среда; градиентное поле.

Агентное моделирование систем основано на описании локальных правил поведения участников системы (агентов) и последующей эмуляции этих поведений на микроуровне для получения закономерностей поведения исходной системы на макроуровне. Кроме локальных правил поведения агентов в модели может быть определено глобальное управление с помощью градиентного поля для моделирования поведения системы в динамически изменяющейся среде [1].

В статье изучаются агентные модели движения птиц в стае. В классической модели каждая птица является агентом, регулирующим свое движение в направлении других агентов, находящихся в области видимости исходного агента. В частности, для классической модели определены следующие локальные правила поведения, общие для всех агентов: разделение (избегание столкновений с агентами-соседями), выравнивание (ориентация движения на среднее направление агентов-соседей), сплоченность (ориентация на среднюю позицию агентов-соседей) [2].

АГЕНТНАЯ МОДЕЛЬ С ГЛОБАЛЬНЫМ КОНТРОЛЕМ СРЕДЫ

Модель движения стаи птиц в среде с препятствиями является усложнением классической модели. В среде новой агентной модели создаются области-препятствия, столкновения с которыми агенты должны избегать.

Градиентное поле, описывающее среду, можно построить, решив задачу Дирихле для уравнения Лапласа в области среды Ω :

$$\begin{cases} \Delta u = 0, \\ u|_{\partial\Omega} = 0, \\ u|_{\partial\Omega^{(1)}(t) \cup \partial\Omega^{(2)}(t)} = 1, \end{cases} \quad (1)$$

где области $\Omega^{(1)}(t)$ и $\Omega^{(2)}(t)$ представляют собой препятствия, расположенные внутри среды Ω и изменяющие свое положение в зависимости от времени t . Краевая задача **Ошибка! Источник ссылки не найден.** в каждый момент времени t численно решается с помощью метода конечных элементов средствами библиотеки FEniCS в **Python** [3]. Расчетная сетка при некотором значении времени t представлена на рис. 1. Численно полученное градиентное поле приведено на рис. 2. Таким образом, если агент находится в точке, где значения градиента от функции $u(x, y)$ увеличивается, то агент близок к препятствию и, возможно, движется в его направлении.

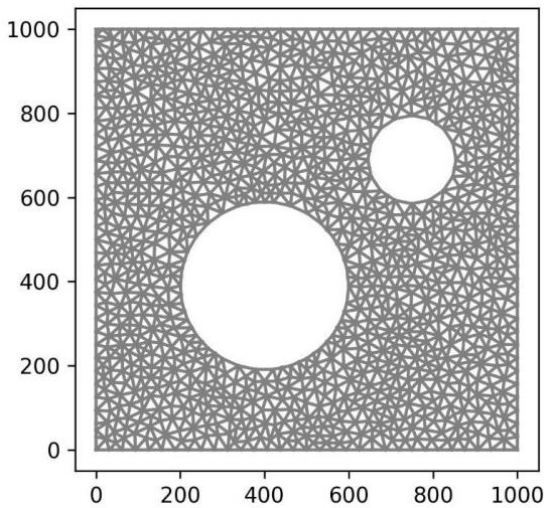


Рис. 1. Расчетная сетка для численного решения задачи **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

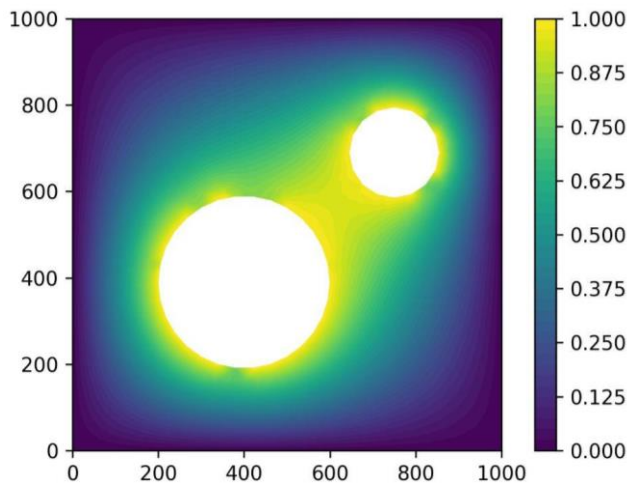


Рис. 2. Градиентное поле решения задачи **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

Каждый агент в соответствии с правилами локального поведения классической модели регулирует направление своего движения. Если же дополнительно агент расположен вблизи препятствия, то его направление пересчитывается по правилу предотвращения столкновения:

1. вычисляется вектор градиентного поля $grad(x, y)$ в точке (x, y) расположения агента, и нормируется: $\vartheta = (\vartheta_x, \vartheta_y) := \frac{grad(x, y)}{\|grad(x, y)\|}$;
2. вычисляются два касательных направления к препятствию в точке, где расположен агент: $tangent_1 := (\vartheta_y, -\vartheta_x)$, $tangent_2 := (-\vartheta_y, \vartheta_x)$;

3. пусть $heading$ является вектором направления, выбранным по правилам локального поведения; тогда из двух направлений касательных выбирается то, которое составляет наименьший угол с подсчитанным направлением: если $\langle tangent_1, \frac{heading}{||heading||} \rangle \geq \langle tangent_2, \frac{heading}{||heading||} \rangle$, то $tangent := tangent_1$, иначе $tangent := tangent_2$;

4. вычисляется новый вектор направления агента $heading := 0,9tangent - 0,1 \frac{grad(x,y)}{||grad(x,y)||}$ для избегания захождения в область препятствия при высокой скорости.

Расчеты с градиентным полем требуют больших вычислительных затрат, так как на каждом временном шаге необходимо решать краевую задачу **Ошибка! Источник ссылки не найден.** с новыми условиями. Под новыми условиями понимается изменение положений областей-препятствий, на которых задаются граничные условия.

АГЕНТНАЯ МОДЕЛЬ С ЛОКАЛЬНЫМ КОНТРОЛЕМ СРЕДЫ

В агентной модели с локальным контролем среды у агентов сохраняются правила поведения из классической модели и добавляется новое правило предотвращения столкновения с препятствием. Локальные правила поведения позволяют агенту выбрать направление движения без последующего столкновения на основании локальной информацией о расположении агентов-соседей и о наличии препятствий в области видимости. Таким образом, после выбора направления движения в соответствии с правилами локального поведения агент выполняет следующие действия:

1. агент-птица анализирует, есть ли препятствия в области его видимости; если препятствий нету, то направление движения, вычисленное по классическим локальным правилам поведения, не изменяется;

2. если в зоне видимости агента-птицы обнаружено препятствие, то вычисляется вектор между координатой центра препятствия (bx, by) и координатой (x, y) , в которой находится агент-птица, и нормируется: $\vartheta = (\vartheta_x, \vartheta_y) := \frac{(dx, dy)}{||(dx, dy)||}$, где $dx = bx - x, dy = by - y$;

3. вычисляется нормальное направление к полученному в п. 2 вектору и нормируется: $norm := \frac{(-\vartheta_y, \vartheta_x)}{||(-\vartheta_y, \vartheta_x)||}$;

4. пусть $heading$ является вектором направления, выбранным по правилам локального поведения; вычисляется новый вектор направления

агента $heading := 0,03heading + (1 - 0,03)norm$ для избегания попадания в область препятствия при высокой скорости; новый вектор направления нормируется.

АГЕНТНАЯ МОДЕЛЬ С ЛОКАЛЬНЫМ КОНТРОЛЕМ СРЕДЫ И АГЕНТОМ-ЛИДЕРОМ

В новой агентной модели контроль среды производится на локальном уровне и появляется агент-лидер. У агентов-птиц сохраняются правила поведения из классической модели и модели с локальным контролем. При этом добавляется правило ориентации на агента-лидера, которое позволяет агенту следовать за агентом-лидером, если он находится в зоне его видимости. После выбора направления движения в соответствии с правилами локального поведения агент выполняет следующие действия:

1. агент-птица анализирует, есть ли агент-лидер в области его видимости; если агента-лидера нету, то вычисленное ранее направление движения не изменяется;

2. если в зоне видимости агента-птицы обнаружен агент-лидер, то вводится декартова система координат на плоскости с началом координат в точке расположения агента-лидера и направлением оси абсцисс, совпадающим с направлением вектора скорости агента-лидера;

3. если во введенной системе координат агент-птица имеет координату (x, y) и расположен позади агента-лидера, т.е. $y < 0$, то скорость агента-птицы уменьшается и:

1. если $x > 0$, то угол направления изменяется на значение $+\frac{\pi}{2}$,
2. если $x < 0$, то угол направления изменяется на значение $-\frac{\pi}{2}$;

4. если во введенной системе координат агент-птица идет наравне с агентом-лидером или обгоняет его, т.е. у агента-птицы координата $y \geq 0$, то угол направления движения агента-птицы полагается равным соответствующему углу агента-лидера;

5. если скорость агента-лидера больше скорости агента-птицы, то скорость агента-птицы увеличивается, иначе уменьшается по правилу: $v := (1 + \alpha)v$, где $\alpha = -0,06$, если скорость нужно уменьшить, и $\alpha = 0,06$, если скорость нужно увеличить.

Далее агент-птица выполняет действия по правилам предотвращения столкновения с препятствием, описанным в предыдущем разделе.

Добавление в систему агента-лидера является дополнительным механизмом для адаптивного поведения агентной системы. Агент-лидер может быть использован для моделирования задач целевого поведения системы, таких как облет препятствий, преследование объектов или достижение системой заданного положения в пространстве.

Библиографические ссылки

1. *Goldenstein S.* Scalable dynamical systems for multi-agent steering and simulation / S. Goldenstein [et al.] // Proceedings 2001 ICRA. IEEE International Conference on Robotics and Automation (Seoul, South Korea, May 21–26 2001), 2001. Vol. 4. P. 3973–3980.
DOI: 10.1109/ROBOT.2001.933237.
2. *Reynolds C. W.* Flocks, herds and schools: a distributed behavioral model // Computer Graphics. 1987. Vol. 21. P. 25–34. DOI: 10.1145/37402.37406.
3. *Alnaes M. S.* The FEniCS Project Version 1.5 / M. S. Alnaes [et al.] // Archive of Numerical Software. 2015. Vol. 3, № 100. P. 9–23. DOI: 10.11588/ans.2015.100.20553.