

Событийное моделирование развития популяции *RANA ESCULENTA COMPLEX*

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

Введение

Наиболее существенную роль компьютеры в научных исследованиях играют там, где требуется огромное количество численных расчетов или задачи не могут быть решены простыми аналитическими методами, в частности задачи многих тел. Так, описание поведения твердых и жидких тел – одна из наиболее трудных задач.

В реальных телах частицы (молекулы и атомы) связаны друг с другом силами различной величины и природы: с помощью химической связи, межмолекулярных водородных и других взаимодействий, электростатических и электромагнитных сил. Потенциалы взаимодействия сложным образом зависят от расстояния и направления. Очевидно, в таком общем виде понять и описать свойства тела невозможно или чрезвычайно трудно, нужны существенные упрощения.

Основные вопросы: какие взаимодействия качественно определяют поведение и свойства молекулярных систем и что можно было бы выбрать за базовую простейшую модель, усложняя которую далее, можно было бы приблизиться к описанию биомакромолекул и реальных тел.

Благодаря стремительному развитию вычислительной техники методы компьютерного моделирования позволяют получить детальные количественные сведения о поведении сложных молекулярных систем, известных в природе или, что важнее, еще только планируемых к созданию. Сопоставляя результаты вычислений с опытными данными, можно выявить наиболее важные факторы и закономерности, отвечающие за те или иные свойства реальных молекул.

Постановка задачи

Рассмотрим задачу имитационного моделирования биологических систем, с помощью которой можно проследить за эволюцией численности и состава данной популяционной системы. В качестве иллюстрации исследуем модель биологической системы, основанной на дискретном представлении составляющих его особей гибридогенного комплекса средневропейских зеленых лягушек (*Rana esculenta complex*). Основной целью исследования является определение численности популяции в зависимости от входных данных, состава и времени жизни.

Данная задача являлась основной в работе [2]. Предложенный в этой работе математический аппарат для анализа изменений состояний популяционной системы показал свою эффективность. Составной частью подхода авторов является построение функций переходов состояний мультиагента, моделирующего популяционную систему.

Однако вопрос об обоснованности выбора таких параметров, как объем выборки, вероятности событий, объем финальной выборки и некоторых других, остается открытым.

В данной работе основное внимание уделено обоснованию выбора указанных параметров.

Решение поставленной задачи

Для реализации поставленной задачи предлагается использовать дискретно событийный подход, детально описанный в [3]. Особи зеленых лягушек рассматриваются как агенты. Каждое столкновение агентов представляет собой событие, однозначно связанное с некоторым числом – моментом времени наступления события. Каждый агент – это структура (запись), основными полями которой являются координаты x , y центра агента, координаты вектора скорости, время жизни, пол, радиус, геном. Объемы самки, характеризующие её привлекательность, определяются радиусом агента (чем больше радиус, тем самка привлекательней). Агрессивность самца зависит от его скорости (чем больше скорость, тем агрессивней самец). Кроме того, вводится дополнительное поле, характеризующее состояние агента, а именно состояние, при котором особь является неполовозрелой, - 1, состояние, при котором особь является половозрелой и готова размножаться, - 2, состояние непосредственного размножения - 3 и состояние «смерть» - 4. Изначально лягушка находится в состоянии 1, по достижении половозрелости (через 3 года) она меняет состояние на 2. Если состояние особи 2 и наступило время нереститься, то при столкновении особей противоположных полов возникает событие «размножение», вследствие чего появляются новые особи.

Вероятности событий, характерных для рассматриваемой задачи, являются результатами статистической обработки множества событий того или иного вида. В то же время в предлагаемом методе можно обойтись без непосредственного вычисления этих вероятностей. Действительно, достаточно рассмотреть каждое из событий индивидуально с учетом функций переходов состояний отдельных особей, приведенных в работе [2]. При этом отдельная особь моделируется как автомат Мура [4].

У среднеевропейских зеленых лягушек есть два основных типа геномов. Обозначение «R» соответствует геному *Rana ridibunda*, а обозначение «L» — геному *Rana lessonae*. Индекс «x» соответствует женскому геному, а индекс «y» — мужскому. Особь, имеющая два женских генома, является самкой (♀), а имеющая мужской и женский геномы — самцом (♂). Каждый из четырех основных типов генома может быть как обычным (рекомбинируемым), так и клональным (переходящим в половые клетки как единое целое).

Для удобства работы названные геномы обозначены кодами. Мужским геномам соответствуют нечетные коды, женским – четные. В соответствии с кодами геномов генотипы диплоидных лягушек кодируются двузначными цифрами.

Для особей возникают следующие события: рождение, размножение, смерть, пересечение границ подсистемы, взаимодействие с другим агентом. Событие «рождение» возникает после столкновения особей, находящихся в состоянии 3. Определение генотипа потомка описано в табл.2.

Таблица 2

Сочетания пар геномов женского и мужского пола		12	18	27	34
		$R^X R^Y$ $R^X R^Y$	$(L^X)R^Y$ (L^X)	$R^X(L^Y)$ (L^Y)	$L^X L^Y$ $L^X L^Y$
22	$R^X R^X$ R^X	$R^X R^X R^X R^Y$ 22 12	$R^X(L^X)$ 28	$R^X(L^Y)$ 27	$R^X(L^Y) R^X(L^X)$ 27 28
28	$R^X(L^X)$ (L^X)	$(L^X)R^Y R^X(L^X)$ 18 28	$L^X L^X$ 44	$L^X L^Y$ 34	$L^X L^Y L^X L^X$ 34 44
44	$L^X L^X$ L^X	$(L^X)R^Y R^X(L^X)$ 18 28	$L^X L^X$ 44	$L^X L^Y$ 34	$L^X L^Y L^X L^X$ 34 44
46	$(R^X)L^X$ (R^X)	$R^X R^X R^X R^Y$ 22 12	$(R^X)(L^X)$ 68	$(R^X)(L^Y)$ 67	$(R^X)L^Y (R^X)L^X$ 36 46
68	$(R^X)(L^X)$ $(R^X)(L^X)$	$R^X R^X R^X R^Y$ 22 12 $(L^X)R^Y R^X(L^X)$ 18 28	$(R^X)(L^X)$ $L^X L^X$ 68 44	$(R^X)(L^Y) L^X L^Y$ 67 34	$L^X L^Y L^X L^X$ 34 44 $(R^X)L^Y (R^X)L^X$ 36 46
		36	45	58	67
		$(R^X)L^Y$ (R^X)	$L^X(R^Y)$ (R^Y)	$(L^X)(R^Y)$ $(L^X)(R^Y)$	$(R^X)(L^Y)$ $(R^X)(L^Y)$
22	$R^X R^X$ R^X	$R^X R^X$ 22	$R^X R^Y$ 12	$R^X R^Y R^X(L^X)$ 12 28	$R^X R^X R^X(L^Y)$ 22 27
28	$R^X(L^X)$ (L^X)	$(R^X)(L^X)$ 68	$(L^X)(R^Y)$ 58	$(L^X)(R^Y) L^X L^X$ 58 44	$(R^X)(L^X) L^X L^Y$ 68 34
44	$L^X L^X$ L^X	$(R^X)L^X$ 46	$L^X(R^Y)$ 45	$L^X(R^Y) L^X L^X$ 45 44	$(R^X)L^X L^X L^Y$ 46 34
46	$(R^X)L^X$ (R^X)	$R^X R^X$ 22	$R^X R^Y$ 12	$R^X R^Y (R^X)(L^X)$ 12 68	$(R^X)(L^Y) R^X R^X$ 67 22
68	$(R^X)(L^X)$ $(R^X)(L^X)$	$R^X R^X (R^X)(L^X)$ 22 68	$R^X R^Y$ $(L^X)(R^Y)$ 12 58	$R^X R^Y (R^X)(L^X)$ 12 68 $(L^X)(R^Y) L^X L^X$ 58 44	$(R^X)(L^Y)(R^X)(L^X)$ 67 68 $L^X L^Y R^X R^X$ 34 22

Событие «смерть» определяется продолжительностью жизни каждой особи.

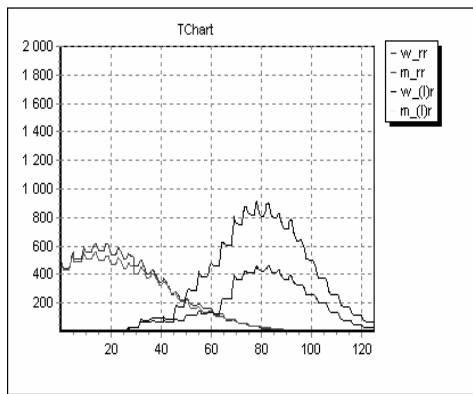
Предлагаемый алгоритм является детерминированным, поскольку обработка каждого события основывается на приведенных выше закономерностях. Событийный подход, оптимизированный по времени обработки событий, позволяет рассматривать большое количество отдельных событий.

Результаты расчетов

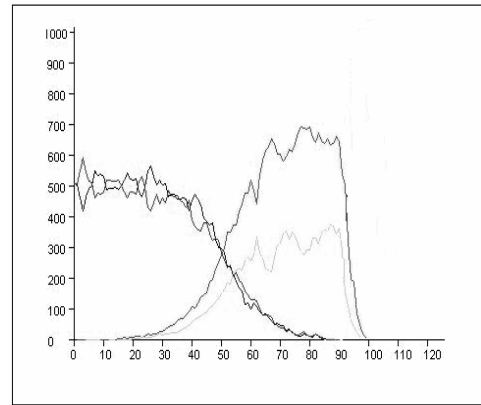
В представленной работе был проведен следующий эксперимент.

К чистой популяции *Rana ridibunda* (R – тип), состоящей из 500 особей женского пола ($R^X R^X$) и 500 особей мужского пола ($R^X R^Y$), в первый год добавляется одна самка гибрид ($R^X(L^X)$) с клональным геномом L.

В результате получены графики зависимости количества особей каждого вида и пола от времени (рис. 1, а, б). На рис. 1, а показана динамика развития численности популяций в зависимости от видового состава, полученная по предложенной модели. Для сравнения на рис. 1, б приведены аналогичные параметры модели, описанной в работе [2].



а



б

Рис.1. Динамика развития численности популяций в зависимости от видового состава

Как видно из графиков, через определенное время после введения в популяцию одного гибрида количество особей чистого R-типа начинает уменьшаться и в конечном итоге они исчезают. Это связано с тем, что гибриды рождаются чаще, исходя из функций переходов внутренних состояний. Поэтому сначала доля гибридов в популяции неуклонно растет. Но в силу отсутствия особей чистого R-типа и накапливаемых в клональном геноме вредных наследственных факторов гибриды также начинают вымирать.

Выводы

Дискретно-событийное описание коллектива биологических объектов позволяет дополнить информацию об особенностях поведения отдельных объектов адекватным описанием частот наступления отдельных событий. Полученные результаты соответствуют данным, полученным ранее на основе хорошо обоснованной теории, описанной в работах [1, 2]. Однако применение подхода, приведенного в данной работе, расширяет возможности моделирования коллективов объектов.

Список литературы

1. Изучение популяционных систем зеленых лягушек (*Rana Esculenta*) в Харьковской области: история, современное состояние и перспективы / Д.А. Шабанов, А.И. Зиненко, А.В. Коршунов и др. // Біологія та валеологія. – Вип. 3. –Х.: ХДПУ, 2006. – С. 208–219.
2. Исследование целостных свойств биосистем на примере имитационного моделирования гибридогенных популяционных систем зеленых лягушек / А. А. Луцик, М.В. Владимирова, Д.А. Шабанов, Г.Н. Жолткевич // Вісник Харківського національного університету. – №780, – Х.: ХНУ, 2007. – С. 61-70
3. Чернышев Ю.К. Решение задач имитационного моделирования поведения большого количества модельных частиц / Ю.К. Чернышев. – Х. : НАКУ “ХАИ”, 2006. – 58 с.
4. Карпов Ю.Г. Теория автоматов / Ю.Г. Карпов– СПб.: Питер, 2000. – 224 с.
Рецензент: к-т техн. наук, доцент. Ю.К. Чернышев, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”, Харьков.