УДК 340.6+681.387+681.5.015

Д.В. Ландэ, В.Н. Фурашев

Моделирование электоральных процессов на основе концепции клеточных автоматов

Проблемы моделирования социальных процессов

В настоящее время математическое моделирование широко применяется в естественнах науках, однако его применение для решения проблем в социальных науках, остается ограниченным. Причина этого заключается прежде всего в сложности формализации основных понятий социологии, и в частности, в теории и практике избирательного процесса. Глобальным социальным явлениям присущи многоуровневость, разномасштабность, многопараметричность, при том, что параметры зачастую на практике не поддаются формализации. Следует заметить, что, существенные трудности при моделировании вызывает также необходимость учета социально-психологических факторов.

Попытки детального учета такого типа параметров настолько усложняют модели, что они редко оказываются успешными. Вместе с тем, известно, что очень часто небольшие изменения параметров могут привести к настолько значительным изменениям выходных значений, что полностью дискредитируют всю модель.

Таким образом, сегодня при моделировании социальных явлений, каковыми являются электоральные процессы, наибольший интерес представляют модели, не претендующие на детальное описание особенностей каждого конкретного случая, а позволяющие обобщать и вместе с тем учитывать некоторую социальную конкретику. Конечно, многие процессы, близкие к электоральным, можно моделировать достаточно точно, если четко параметризовать и установить их граничные параметры. К таким процессам, можно отнести, например, информационные потоки электронных СМИ (в частности, в Интернет), сопутствующих выборным процессам [1]. Однако, по-видимому, на данном этапе в области моделирования более сложных социальных процессов успех может быть достигнут только путем синтеза достаточно простых алгоритмов и концепций.

Так или иначе, сегодня достигнуты определенные успехи в моделировании социальных процессов, которые базируются на таких уже традиционных в этой области методах, как теория нелинейных дифференциальных уравнений, теория игр и математическая статистика.

Наряду с этим, по-видимому, следует признать перспективными в этой области и методы дискретной математики, к которым можно отнести и теорию клеточных автоматов, впервые предложенную более тридцадти лет тому назад Дж. фон Нейманом [2].

Клеточные автоматы

Клеточный автомат представляет собой дискретную динамическую систему, совокупность одинаковых клеток, образом соединенных между собой. Все клетки образуют сеть (решетку) клеточных автоматов. Состояние каждой клетки определяются состоянием клеток, входящих в ее локальную окрестность и называемых ближайшими соседями [3]. Окрестностью конечного автомата с номером j называется множество его ближайших соседей. Состояние j-го клеточного автомата в момент времени $t + 1$, таким образом, определяется следующим образом:

$y_j(t+1) = F(y_j(t), O(j), t)$,

где F – некоторое правило, которое можно выразить, например, языком булевой алгебры. Во многих задачах, считается, что сам элемент относится к своим ближайшим соседям, т.е. $y_j \in O(j)$, в этом случае формула упрощается: $y_j(t+1) = F(O(j), t)$. Клеточные автоматы в традиционном понимании удовлетворяют таким правилам:

- изменение значений всех клеток происходит одновременно (единица измерения – такт);
- сеть клеточных автоматов является однородной, т.е. правила изменения состояний для всех клеток одинаковы;
- на клетку могут повлиять лишь клетки из ее локальной окрестности;
- множество состояний клетки конечно.

Теоретически клеточные автоматы могут иметь любую размерность, однако чаще всего рассматривают одномерные и двумерные системы клеточных автоматов.

Предлагаемая авторам в данной статье модель является двумерной, поэтому дальнейший формализм будет относиться к этому случаю. В двумерном клеточном автомате решетка реализуется двумерным массивом. Поэтому в этом случае удобно перейти к двум индексам, что вполне корректно для конечных (и даже счетных) решеток.

В случае двумерной решетки, элементами которых являются квадраты, ближайшими соседями, входящими в окрестность элемента $y_{i,j}$ можно считать или только элементы, расположенные вверх-вниз и налево-направо от него (т.н. окресность фон Неймана: $y_{i-1,j}$, $y_{i,j-1}$, $y_{i,j}$, $y_{i,j+1}$, $y_{i+1,j}$), либо добавленные к ним еще и диагональные элементы (окресность Мура: $y_{i-1,j-1}$, $y_{i-1,j}$, $y_{i-1,j+1}$, $y_{i,j-1}$, $y_{i,j}$, $y_{i,j+1}$, $y_{i+1,j-1}$, $y_{i+1,j}$, $y_{i+1,j+1}$). В модели Мура каждая клетка имеет восемь соседей. Для устранения краевых эффектов решетка топологически «натягивается на сферу», т.е. первая строка считается продолжением последней, а последняя – предшествующей первой. То же самое относится и к столбцам. Это позволяет определять общее соотношение значения клетки на шаге t + 1 по сравнению с шагом t [4]:

$y_{i,j}(t) = F(y_{i-1,j-1}(t), y_{i-1,j}(t), y_{i-1,j+1}(t), y_{i,j-1}(t), y_{i,j}(t), y_{i,j+1}(t), y_{i+1,j-1}(t), y_{i+1,j}(t), y_{i+1,j+1}(t))$.

С. Вольфрам, классифицируя различные клеточные автоматовы [5] выделил те, динамика которых существенно зависит от начального состояния. Подбирая различные начальные состояния, можно получать самые разнообразные конфигурации и типы поведения. Именно к таким системам относится классический пример - игра "Жизнь", изобретенная Дж. Конвеем и известная широкому кругу читателей благодаря публикации в книге М. Гарднера [6].

Некоторые примеры клеточных автоматов, применяемых в задачах социологии приведены в [3]. В частности, описывается модель процесса расовой сегрегации при выборе места жительства [7]. В рассматриваемом примере предполагается, что каждая расовая группа предпочитает иметь определенный процент соседей с тем же цветом кожи. Если это условие не выполняется, то семья перебирается в ближайший дом, где процентный состав соседей является приемлемым. В [7] использовалась модель конечных автоматов с простыми правилами и окрестностью Мура. Постоенная модель вполне реалистично описала процесс разделения региона на несколько расово-однородных областей.

Клеточные автоматы с успехом применяются и при моделировании процессов распространения новостей, инноваций [8]. Подобная модель функционирует по следующим правилам: каждый индивид соответствует одной клетке, которая может находиться в двух состояниях: 1 - новинка принята; 0 - новинка не принята. Предполагается, что автомат, приняв новинку один раз, остается в состоянии 1 навсегда. Автомат принимает решение о принятии новинки, ориентируясь на мнение ближайших соседей (используется окрестность Мура), т.е. если в окрестности данной клетки имеется *m* сторонников новинки и, *p* - вероятность принятия новинки (генерируется по ходу работы модели), то при *pm превышающем некоторое* пороговое значение клетка воспринимает нововведение (принимает значение 1). По мнению авторов этой модели, клеточное моделирование позволяет строить значительно более реалистические модели рынка инноваций, чем традиционные подходы к исследованию распространения инноваций. В статье Т. Брауна [9] рассматривается модель электорального процесса. Он считает (с чем вполне солидарны авторы), что избирательные предпочтения индивида определяются установками его ближайшего окружения. В одной из моделей предполагается, что индивид принимает решение голосовать в момент *t* + 1 за республиканцев или демократов в соответствии с правилом простого большинства. Учитываются взгляды индивида и четырех его ближайших соседей в момент *t* (окрестность фон Неймана). Модель исследовалась на большом временном горизонте - до 20 000 тактов. Оказалось, что партийная борьба приводит к очень сложным конфигурациям, существенно зависящим от исходного распределения.

Описание модели

Авторами рассматривалось обобщение модели Брауна на случай, когда учитываются взгляды индивида и восьми его ближайших соседей (окрестность Мура). При этом электорат делится не на 2, как у Брауна, а на 4 части: нейтральный (40% - белые клетки) и симпатизирующий трем партиям (30% - черные клетки, 20% - серые клетки и 10% - светло серые клетки), т.е. клетки могут принимать 4 значения. Именно поведение нейтральной части электората принципиально отличает эту модель от других и позволяет приблизиться к реалиям избирательной кампании в условиях многопартийности.

Онлайн-вариант модели, разработанной авторами и размещенной по адресу http://edu.infostream.ua/vyb1.pl, позволяет наблюдать за решеткой 40 х 40 клеток. На начальном этапе клетки случайным образом распределяются по решетке (рис. 1). На каждом следующем такте модели клетки перекрашиваются в цвет, соответствующий цвету большей части клеток из окрестности (включая ее саму), кроме одного случая - исключения. Если клетка цветная, то она не может перекрашиваться в белый цвет, а перекрашивается в цвет, соответствующий цвету большинства «окрашенных» соседей. Это исключение соответствует тому факту, что в реальной жизни безразличные к политическим процессам люди редко переубеждают симпатиков той или иной партии. Формально эти правила можно записать следующим образом:

$$y_{i,j}(t+1) = \begin{cases} \arg\max\limits_{k=1,3} C(k,O(i,j),t), & if\ \ y_{i,j}(t) \neq 0; \\ \arg\max\limits_{k=0,3} C(k,O(i,j),t), & if\ \ y_{i,j}(t) = 0, \end{cases}$$

Здесь O(i,j) – окресность клетки с индексами i, j,

C(k, O(i,j), t) – количество элементов со значением k в окрестности O(i,j) в момент времени t.

Авторами были выполнены исследования модели, которые вполне может повторить читатель, которые свидетельствуют о том, что процесс достаточно быстро стабилизируется (10-40 тактов), принимая разнообразные конечные состояния (рис. 2).

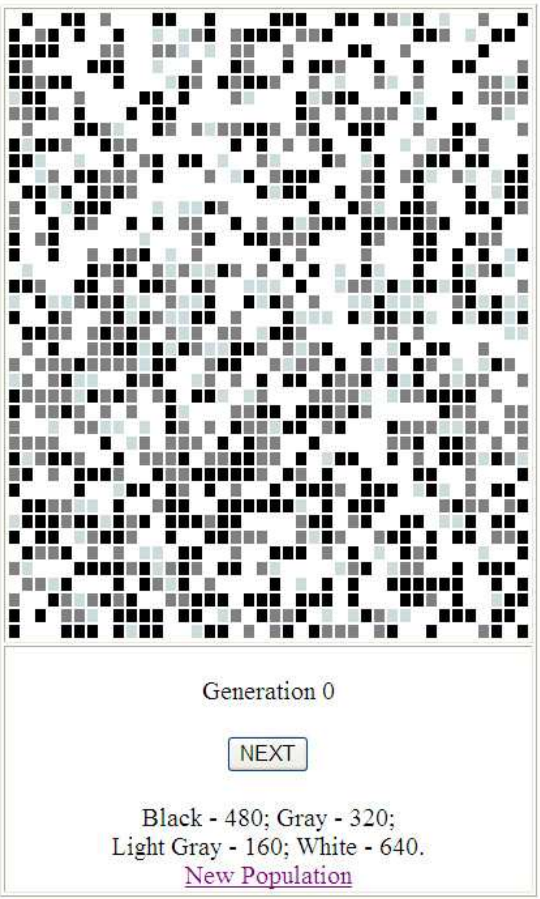

Рис.1. Вариант исходного состояния таблицы клеточных автоматов

На рис. 3 приведена динамика эволюционных предпочтений электората в рамках предложенной модели, которая позволила сделать некоторые выводы, оказавшиеся вполне реалистичными.

Островки электората, относящегося к малым партиям чаще всего гибнут, оставаясь существовать лишь в двух случаях: когда их конфигурация стабильна (в нашем случае, образует, например квадрат со срезанными углами), либо когда они находятся в непосредственной близости к электорату других партияй, которые взаимно компенсируют свое влияние.

Рассмотренная модель позволила выявить некоторые общие свойства, которые вполне могут применяться к прогнозной практике реальных избирательных кампаний:

- высокая сходимость - полная стабилизация происходит за 10 – 40 тактов;
- при стабилизации процент электората лидирующей партии возрастает с 30% до 55-65%;
- доля симпатиков партии с минимальным электоратом незначительно снижается до 5-8%;
- доля второй по числу электората партии остается стабильной;
- основной прирост сторонников лидирующей партий происходит за счет нейтральнй части электората.

Рис. 2. Варианты конечного стабильного состояния клеточных автоматов

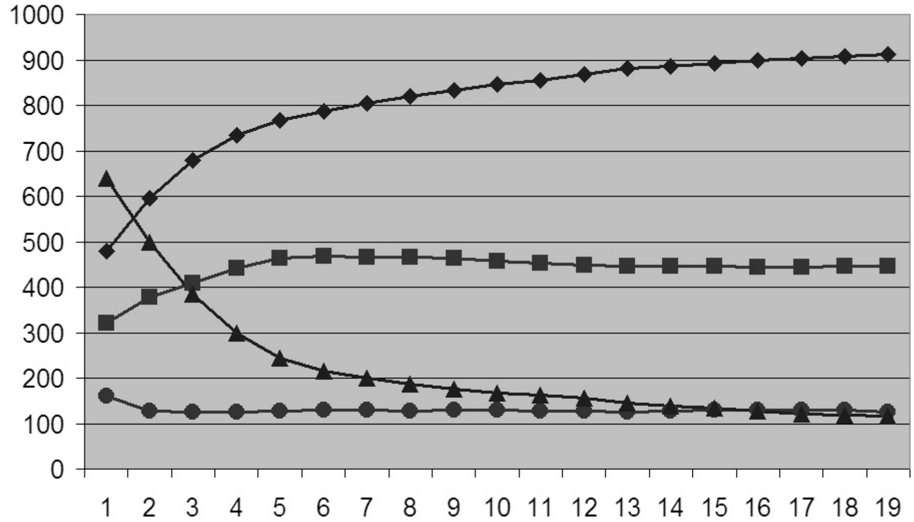

Рис.3. Динамика эволюциипредпочтений электората (ось X – такты модели, ось Y – количество клеток, соответствующих электоратам): ♦ - черные, ∆ - белые, - серые, о *– светло серые клетки*

Список литературы

[1] Ландэ Д.В., Фурашев В.Н., Брайчевский С.М., Григорьев А.Н. Основы моделирования и оценки электронных информационных потоков - К.: Инжиниринг, 2006. - 176 с.

[2] Нейман Дж. Теория самовоспроизводящихся автоматов - М.: Мир, 1971. – 382 с.

[3] Плотинский Ю.М. Модели социальных процессов. – Изд. 2-е. –М.: Логос, 2001. – 296 с.

[4] Лоскутов А.Ю., Михайлов А.С. Введение в синергетику. М.: Наука, 1990. - 272 с.

[5] S.Wolfram ed. Theory and Applications of Cellular Automats. Singapore:World Scientific. 1986.

[6] Гарднер М. Математические досуги. – М.: Мир, 1972.

[7] Casti J.L. Searching for Certainty. N.Y.: W.Morrow, 1990.

[8] Bhargava et al. A Stochastic Cellular Automata. Model of Innovation Diffusion // Technological Forecasting and Social Change. 1993. Vol. 44. № 1. P. 87-97.

[9] Brown T.A. Nonlinear Politics // Chaos Theory in the Social Sciences / Eds. L.D.Kiel, E.Elliot. Ann Arbor.: The Univ. Of Michigan Press. 1996. P. 119-137.