

5. Пономарев В. А., Пономарева О. В. Модификация дискретного преобразования Фурье для решения задач интерполяции и свертки функций // Радиотехника и электроника. – 1984. – Т. 29, № 8. – С. 1561–1570.

6. Рытов С. М. Введение в статистическую радиофизику. – М. : Наука. 1976. – Ч. 1. Случайные процессы. – 496 с.

7. Левин Б. П. Теоретические основы статистической радиотехники. – М. : Совет. радио, 1969. – Т. 1. – 752 с.

8. Артоболевский И. И., Бобровицкий Ю. И., Генкин М. Д. Введение в акустическую динамику машин. – М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1979. – 296 с.

* * *

O. V. Ponomareva, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Izhevsk State Technical University

Stochastic Properties of Spectral Estimations Received by Parametrical Discrete Fourier Transformation

The statistical stability of estimations of a power spectrum of the casual discrete process calculated by a method of parametrical discrete Fourier transformation is considered. Discrete processes with the latent periodicity are also regarded.

Keywords: statistical stability, power spectrum, discrete process, parametrical discrete Fourier transformation

Получено 12.10.10

УДК 519.866

Л. В. Степанов, кандидат технических наук
Институт менеджмента, маркетинга и финансов, г. Воронеж

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЫНОЧНЫХ БАРЬЕРОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДОЛОГИИ ИСКУССТВЕННЫХ ИММУННЫХ СИСТЕМ

Выявленное подобие между биологическими и экономическими системами позволило адаптировать принципы функционирования иммунитета к моделированию рыночных барьеров. Предложенная совокупность математических моделей не только формирует искусственную иммунную систему рынка, но и близко повторяет процессы в биологических системах.

Ключевые слова: рынок, рыночные барьеры, иммунитет, искусственная иммунная система

Введение

Базовыми признаками, лежащими в основе классификации конкурентных структур, являются количество производителей на рынке, количество покупателей, тип продукта, рыночные барьеры.

Первые два признака заданы для любого сформировавшегося рынка и могут изменяться только по истечении определенного времени. Протяженность этого периода нельзя установить заранее. Она зависит от реальной экономической ситуации на рынке. Третий признак вообще предопределен для каждой рыночной системы. Таким образом, единственным регулируемым признаком из названных являются рыночные барьеры.

Рыночным барьером будем называть совокупность независимых экономических мер, источниками которых являются предприятия, присутствующие на рынке, направленных на изоляцию других участников данного рынка.

Иммунитет как защитная функция биологических и экономических систем

Иммунитет есть способ защиты организма от всех чужеродных веществ как экзогенной (наружной), так и эндогенной (внутренней) природы. Главная цель при этом – обеспечение стабильности существования и развития организма как генетически уникальной особи, способной передать свой уникальный генотип другому поколению [1, 2].

Иммунитет, являясь одной из древнейших защитных систем, сформировавшихся в живых организмах, имеет крайне сложную структуру и не до конца изученные механизмы функционирования [2].

На основе обобщения механизмов и принципов функционирования, изложенных в [1, 2], предлагается следующий принципиальный алгоритм действия иммунной системы:

1. Проникновение чужеродного агента в организм;
2. Проявление чужеродного характера через антигены;
3. Иммунный ответ:

а) Распознавание антигена специфически реагирующими лимфоцитами (большие гранулярные клетки, распознающие инфекционный агент по антигену) и их активация;

б) Эффекторная фаза – лимфоциты осуществляют свою координирующую функцию в устранении источника чужеродных антигенов из организма;

в) Фагоцитоз – поглощение и переваривание растворимых инфекционных агентов и чужеродных или структурно измененных собственных клеток;

4. Вывод из организма продуктов деятельности иммунной системы.

Основная роль иммунной системы заключается в распознавании всех клеток (или молекул) организма и классификации их как «своих» или «чужих». Чужеродные клетки подвергаются дальнейшей классификации с целью стимуляции защитного механизма соответствующего типа. Именно эта роль иммунитета является главной предпосылкой для адаптации биологических процессов к рыночной экономике.

Введем определение. *Искусственная иммунная система* – комплекс математических методов, моделирующих основные функции иммунитета человека и используемых для определения параметров и (или) их значений, способных минимизировать влияние некоторых факторов (внешних или внутренних) на какой-либо объект.

Большинство научных трудов принадлежат зарубежным авторам и посвящены вопросам безопасности и надежности в технических системах. Примеров применения принципов функционирования иммунитета к небиологическим и нетехническим системам крайне мало.

Данные обстоятельства отражают высокую научную новизну адаптации принципиального алгоритма действия иммунной системы к рынку в условиях конкуренции (табл.).

Математическая модель распознавания антигенов нового конкурента

Признаком, по которому иммунная система отличает чужеродного агента, является антиген – любая молекула, которую могут распознать клеточные элементы иммунитета (в частности, лимфоциты) с помощью специфически чувствительных

рецепторов. Другими словами, антиген является отдельным показателем, отличающим чужеродного агента.

Таблица. Аналогия деятельности иммунитета и рыночных барьеров

Иммунная система		Рынок
Проникновение чужеродного агента в организм		Появление на рынке производителя (конкурента), выпускающего товары или услуги, необходимые потребителям данного рынка (для потребителя наоборот)
Проявление антигена		Характеристики товара, услуги или самого предприятия-конкурента
Иммунный ответ:		Реакция рынка:
	Распознавание антигена	Распознавание возможности изменения конкурентных преимуществ, сложившихся у предприятий, уже существовавших на рынке
	Эффекторная фаза	Выявление параметров, по которым товары или услуги нового конкурента опережают аналогичную продукцию, уже имеющуюся на рынке
	Фагоцитоз	Выработка мер по сохранению прежних конкурентных преимуществ или формирование параметров товара или услуги с учетом новых условий на рынке
Вывод результатов деятельности из организма		Нет аналогии, так как товар или услуга не будут востребованы и, следовательно, конкурент не будет получать прибыль и сам покинет рынок

В условиях конкуренции под антигеном будем понимать любую характеристику товара или его производителя, имеющую значения на данном рынке.

Введем обозначение: a_s – s -й антиген представляет собой некоторый экономический показатель, характеризующий нового конкурента (или его продукцию), вступающего на рынок.

Тогда весь чужеродный агент может быть представлен:

$$A = \{a_s\}, s = \overline{1, c}, \quad (1)$$

где c – число антигенов (характеристик) чужеродного агента (нового конкурента).

Антитела (иммуноглобулины) представляют собой антигенсвязывающие рецепторы лимфоцитов, но в свободной, растворимой форме. Антитело имеет два конца, один из которых подходит для присоединения к антигену, а другой для соединения с фагоцитом (клеточным элементом иммунной системы, способным поглощать и разрушать чужеродный агент). Другими словами, антитела особым образом связываются с антигенами, делая их видимыми для клеток иммунной системы.

В условиях рынка антитело представляет собой некоторый экономический показатель, но характеризующий предприятие, уже существующее на рынке. Используем обозначение

$$H = \{h_j^y\}, y = \overline{1, w_j}, \quad (2)$$

где H – лимфоцит; h_j^y – антитело (y -я характеристика j -го производителя /или его товара/); w_j – количество антител (характеристик j -го производителя).

В отличие от нервной системы, деятельностью которой управляет головной мозг, элементами иммунитета ничто не руководит. Клетки действуют абсолютно

независимо, одновременно реагируя на «поведение» друг друга и изменение условий в организме. В связи с этим, для более адекватного отражения реальных процессов, будем считать, что каждое предприятие, реагирующее на появление нового конкурента, также независимо. Следовательно, все процессы иммунного ответа нужно рассматривать независимо для каждой пары «предприятие – новый конкурент» на рынке.

В этих условиях лимфоцит может быть описан как

$$H = \{h^y\}, \quad y = \overline{1, w}, \quad (3)$$

где

$$\forall h^y \mid h^y \in C \vee h^y \in NC, \quad (4)$$

где C – количественные характеристики предприятия (товара или услуги); NC – качественные характеристики.

Замечание 1. Каждое из предприятий на рынке характеризуется теми же (но не обязательно всеми) признаками, что и вновь появившийся конкурент. Причем они могут не совпадать по значению.

Таким образом, процесс распознавания антигенов и чужеродного агента в целом сводится к сравнению H (3) и A (1).

Аффинностью (или сродством) антител к антигену называют силу их взаимодействия (прочность связи), результирующую силы притяжения и отталкивания между ними [2]. При этом степень прочности связи оценивается коэффициентом аффинности:

$$K = \frac{[H \cdot A]}{[H] \cdot [A]}, \quad (5)$$

где $[]$ обозначают концентрацию антител и антигенов.

Выражение (5) получено на основе закона действующих масс и верно только для иммунных систем живых организмов.

Применительно к рынку и с учетом замечания 1 предлагается определять степень прочности связи как отношения числа совпавших антигенов и антител к их общему числу антигенов, т. е.

$$K = \frac{|H \cap A|}{c}, \quad (6)$$

где $|H \cap A|$ – количество совпавших антител и антигенов по значению.

Как видно из (6), чем больше характеристик нового конкурента и предприятия, уже находившегося на рынке, совпало, тем больше K , т. е.:

1. При $K \rightarrow 1$ – предприятие с характеристиками A следует считать чужеродным агентом. Это условие является необходимым, но не является достаточным;

2. При $K = 0$ – новый конкурент не несет «угрозы» состоянию предприятия.

Кроме коэффициента аффинности сродство антитела к антигену можно оценить силой нековалентной связи F [2]. При контакте антител с антигеном между аминокислотными остатками антигенсвязывающего центра и антигеном образуются многочисленные нековалентные связи. По сравнению с ковалентными (силы межатомного взаимодействия), силы нековалентной (межмолекулярного взаимодействия) связи (водородные связи, электростатические, вандерваальсовы и гидрофобные взаимодействия) по отдельности весьма слабы. Однако при большом числе слабых

взаимодействий суммарная энергия связывания получается значительной. В биологической системе она зависит от расстояния d между взаимодействующими химическими группами антител и антигенов. При электростатических взаимодействиях она обратно пропорциональна d^2 , а при вандерваальсовых – d^7 , т. е. становится значительной только при тесном сближении молекул [2]. В то же время при перекрытии электронных оболочек молекул антигена и антитела между ними возникают силы отталкивания, величина которых обратно пропорциональна d^{12} .

Водородные связи и гидрофобные взаимодействия в силу специфичности математически формализовать нельзя. Кроме того, электростатические и вандерваальсовы силы носят наиболее определяющий характер [2]. В связи с этим силу нековалентной связи определяют как их сумму.

При $d \rightarrow 0$ функция $F \rightarrow \infty$, а при $d \rightarrow \infty$ функция $F \rightarrow 0$. Это означает, что такой вариант рассмотрения взаимодействия можно использовать, если значения антигена и антитела близки, а именно когда $d < 1$. В других случаях такой способ определения значения функции связи использовать нельзя.

Применительно к рассматриваемой задаче расстояние d предлагается определить как разность:

$$d = a - h, \quad (7)$$

где a и h – значения совпавших характеристик конкурента и производителя соответственно.

Замечание 2. Значения d могут быть рассчитаны только для совпавших параметров предприятия и нового конкурента.

Это условие является обязательным для сохранения подобия в деятельности иммунитета биологической и искусственной систем. На данном этапе иммунная система может реагировать только на антигены, для распознавания которых у клеток иммунитета есть рецепторы. Именно наличие рецепторов моделируется замечанием 2 о совпадении параметров предприятия и нового конкурента.

При условии малой разницы ($d < 1$) между параметрами нового конкурента и предприятия сила связи будут определяться как

$$F_{ys} = \begin{cases} \frac{1}{d^2} + \frac{1}{d^7} = \frac{d^7 + d^2}{d^9}, & \text{при } 1 \geq d > 0, \\ -\frac{1}{d^{12}}, & \text{при } -1 \leq d < 0, \\ 0, & \text{при } d = 0, \end{cases} \quad (8)$$

где F_{ys} – сила связи y -го антитела и s -го антигена.

При условии большой разницы ($d \geq 1$) между параметрами нового конкурента и предприятия силу связи предлагается определять:

$$F_{ys} = \begin{cases} d, & \text{при } d \geq 1, \\ -d, & \text{при } d < -1, \\ 0, & \text{при } d = 0. \end{cases} \quad (9)$$

Первый способ (8) определения значения функции связи наиболее чувствителен к незначительным отклонениям a и h в отличие от второго (9).

С учетом экономической сущности решаемой задачи значение силы связи позволяет точно охарактеризовать нового конкурента:

1. $F_{ys} > 0$ – предприятие следует считать чужеродным агентом;
2. $F_{ys} \leq 0$ – новый конкурент не несет «угрозы» состоянию предприятия.

Важно отметить, что параметры конкурента и предприятия заданы в разных шкалах, и необходимо выполнить их предварительную нормализацию. Для определения силы связи при использовании качественных характеристик антигенов и антител необходима их предварительная формализация и представление в числовой форме.

Определение коэффициента аффинности (сродства) и силы связи между всеми антигенами и антителами позволяет точно определить, является ли объект чужеродным агентом, т. е. несет ли новый конкурент в условиях рынка «угрозу» предприятиям на данном рынке.

Математическая модель эффекторной фазы иммунного ответа рынка

Как следует из (6) и (8), только при $K = 1$ и $\forall F \leq 0$ иммунный ответ не требуется, т. е. предприятие не нарушает сложившегося на рынке распределения конкурентных преимуществ. Однако значение функции F рассчитывается для каждого из совпавших антигенов и антител. При этом для некоторых пар функция может быть больше, а для некоторых – меньше нуля. Это означает, что по некоторым позициям вновь появившийся конкурент может опережать другие предприятия, а по некоторым – уступать им. Кроме того, при $K \neq 1$ остаются антигены, не связанные с антителами. В этом случае, даже если $\forall F \leq 0$ предприятие, появившееся на рынке, относить к категории «неконкурент» нельзя. Это подтверждает необходимость проверки двух условий (6) и (8) при распознавании антигенов и доказывает важность эффекторной фазы.

Обязательным условием перехода к эффекторной фазе является $K > 0$, т. е. характеристики нового конкурента и предприятия, с позиции которого анализируется проникновение на рынок, пересекаются. При этом результат этапа распознавания антигенов может быть проиллюстрирован следующим образом (рис. 1).



Рис. 1. Исходное состояние эффекторной фазы

Новое предприятие имеет пять антигенов, три из которых совпали с антителами. При этом коэффициент аффинности (6) будет равен 0,6. Это означает, что данное предприятие следует рассматривать как нового конкурента. Определив d (7), можно найти значения силы связи (8), которые по второму и пятому антигенам больше нуля. На первый и четвертый антигены у предприятия, уже существовавшего на рынке, вообще отсутствуют рецепторы. Это подтверждает, что новое предприятие является конкурентом (чужеродный агент).

С позиции иммунной системы низкое значение коэффициента аффинности требует повышения концентрации антител. С позиции же экономического смысла решаемой задачи антитела представляют собой вполне определенные характеристики товара (производителя) и являются уникальными (неповторяющимися) у данного товара (производителя). Поэтому компенсировать наличие несвязанных антигенов перераспределением их значений по связанным или каким-либо другим способом нельзя. Единственной возможностью моделирования эффекторной фазы в таких условиях является реализация механизма разнообразия антигенраспознающих структур [2].

Одними из способов реализации разнообразия являются соматические рекомбинации и вставка (синтез) добавочных нуклеотидов [2]. Сущность этих способов сводится к дополнению уже существовавшей структуры антитела добавочными нуклеотидами, кодирующими дополнительные аминокислотные остатки. Применительно к экономике множество антител предприятия, существовавшего на рынке, необходимо дополнить антителом для каждого антигена нового конкурента. Экономически рекомбинация обосновывается тем, что предприятие, проникающее на рынок, стремится предложить потребителям товар с новыми свойствами и характеристиками. При этом другие предприятия могут лишь воспроизвести (синтезировать) эти же параметры в своем товаре с целью выравнивания позиций с новым конкурентом (рис. 2). На рис. 1 элементами синтеза являются характеристики антигенов a_1 и a_4 . Важно отметить, что наличие у предприятия несвязанных антител (h_2) является проявлением естественных (уже имеющихся) барьеров.

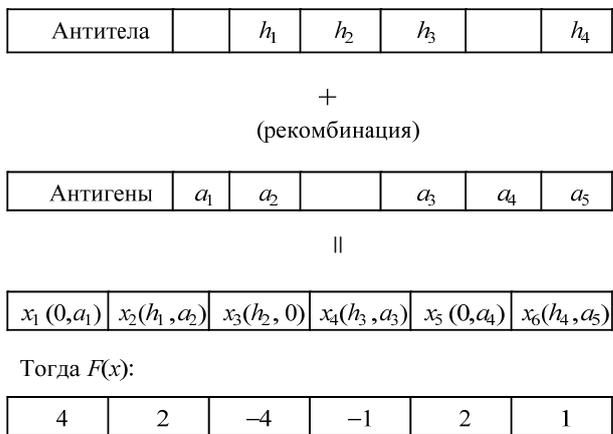


Рис. 2. Рекомбинация антигенов и антител

В заключение эффекторной фазы предлагается определить суммарное значение силы связи антигенов и антител:

$$F_{\Sigma} = \sum_{x \in X} F(x). \quad (10)$$

Для рассматриваемого примера:

$$F_{\Sigma} = 4. \quad F_{\Sigma} > 0. \quad (11)$$

Следовательно, предприятие, появившееся на рынке, является новым конкурентом и несет угрозу распределению конкурентных преимуществ, уже сложившемуся на данном рынке.

Моделирование фагоцитоза в искусственной иммунной системе

Фактически необходимо скорректировать значения антител из H , чтобы обеспечить выполнение условия:

$$F_{\Sigma}^i = 0. \quad (12)$$

С биологической точки зрения [1, 2] антитела реализуют свой эффект, действуя в качестве веществ, усиливающих поглощение чужеродных агентов фагоцитами. Связавшись с чужеродным агентом, фагоцитарная клетка поглощает его. Агент оказывается заключенным в фагосому и перерабатывается внутри нее. Существуют различные виды фагоцитов, которые действуют по-разному, но независимо от этого, их деятельность направлена на разрушение чужеродного агента.

С учетом экономической специфики рассматриваемой задачи, предлагается следующая модель фагоцитоза применительно к новому конкуренту на рынке. Предприятие, появившееся на рынке и рассматриваемое как чужеродный агент (новый конкурент), должно обладать какими-либо опережающими характеристиками (собственными и характеристиками товара). При этом задача данного этапа состоит в «растворении» этих отличающихся параметров среди значений характеристик, которыми обладает предприятие, уже существовавшее на рынке. С учетом того, что при рекомбинации множества антигенов A и антител H становятся одинаковыми, а состав этих множеств уникален (в биологии определяется генотипом) для каждой пары «предприятие – новый конкурент» предлагается реализовать механизм «растворения» антигенов в антителах на основе генетического алгоритма [3].

Применение базовых принципов генетического алгоритма не требует практически никаких уточнений в данной задаче.

Исходная популяция формируется на основе всего лишь одной пары хромосом:

$$\langle \{x_s^H(h, a)\}; \{x_s^A(h, a)\} \rangle, \quad s = \overline{1, c}, \quad (13)$$

где x^H, x^A – множества рекомбинированных характеристик предприятия и нового конкурента, соответственно.

Следует заметить, что если при рекомбинации какая-либо характеристика отсутствовала у одной из сторон процесса (или у предприятия, или у нового конкурента), то ее значение принимается равной 0. Именно благодаря этому количество генов в хромосомах у обоих участников рынка будут равно.

В переходе от фенотипа к генотипу (в замене реальных числовых значений бинарным кодом), как и в рассмотренных выше моделях, нет необходимости. Однако в случае различия шкал требуется, как и выше, нормализация значений хромосом.

Существуют различия только в условии остановки алгоритма. В качестве данного условия предлагается использовать

$$F_{\Sigma} \leq 0. \quad (14)$$

При достижении этого условия конкурент перестает нести «угрозу» распределению конкурентных преимуществ между участниками рынка.

В результате применения генетического алгоритма можно определить значения характеристик предприятия, которые будут доминировать над параметрами нового конкурента:

$$H^{\text{opt}} = \{x_s^H(h, a)\}. \quad (15)$$

Выводы

Реализация значений (15) характеристик в деятельности предприятия и (или) в выпускаемом товаре будет формировать барьер для вступления нового конкурента на рынок.

Совокупность предложенных моделей формирует искусственную иммунную систему, позволяющую реагировать на изменение состава участников конкуренции (как внешней среды предприятия), что является принципиально новым подходом к рассмотрению рынка и процессов на нем.

В данной ситуации новизна формируется из нескольких аспектов. Во-первых, предпринята попытка и предложены математические модели рыночных барьеров как важной составляющей рынка. Во-вторых, для их моделирования предложена искусственная иммунная система. И, в-третьих, эти модели повторяют с высокой степенью приближения процессы в биологических системах.

Список литературы

1. Галактионов В. Г. Иммунология : учеб. для студентов вузов. – 3-е изд., испр. и доп. – М. : Академия, 2004. – 528 с. – (Высш. проф. образование).
2. Ройт А., Бростофф Дж., Мейл Д. Иммунология / пер. с англ. В. И. Кандрора и др. – М. : Мир, 2000. – 592 с.
3. Рутковская Д., Пилинский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / пер. с пол. И. Д. Рудинского. – М. : Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с.

* * *

L. V. Stepanov, Candidate of Technical Sciences, Institute of Management, Marketing and Finance, Voronezh

Modeling of Market Barriers Based on the Methodology of Artificial Immune Systems

The similarity between biological and economic systems was detected. It allows adaptation of immunity principles to modeling of market barriers. The proposed set of mathematical models not only forms the artificial market immune system but duplicates the processes of biological systems.

Keywords: a market, market barriers, immunity, artificial immune system

Получено 08.11.10