

Модель прозрачной рыночной экономики¹

Редько В.Г., Сохова З.Б.

Научно-исследовательский институт системных исследований РАН, Москва

Построена многоагентная модель прозрачной рыночной экономики, и приводятся результаты компьютерного эксперимента. Модель основана на подходе работ [1,2], в которых использовались легкие агенты-посланники (аналоги искусственных муравьев) для оптимизации работы производственного цеха и движения автомобилей в городе. В настоящей работе легкие агенты (агенты-разведчики и агенты намерений) используются для оптимизации функционирования сообщества инвесторов и производителей.

1. Описание модели

В работе рассматривается экономическое сообщество, состоящее из инвесторов и производителей, экономические характеристики которых открыты для всего сообщества. То есть инвесторы и производители предоставляют всему сообществу информацию о собственном текущем капитале и получаемой прибыли.

Сообщество состоит из N инвесторов и M производителей, каждый из которых имеет определенный капитал K_{inv} и K_{pro} . Время t дискретно. Имеются периоды функционирования сообщества инвесторов и производителей. Например, каждый период T может быть равен одному году; T – номер периода.

В начале каждого периода T отдельный инвестор делает вклад в m производителей. В конце периода производитель возвращает каждому инвестору капитал, вложенный инвестором, а также распределяет часть полученной им прибыли между инвесторами пропорционально их вкладам.

В конце периода T каждый инвестор принимает решение: какой капитал вложить в того или иного производителя в следующий период $T+1$. Для принятия решения организуется описанный ниже итеративный процесс.

Если капитал инвестора или производителя стал меньше определенного малого порога Th_{min_inv} или Th_{min_pro} , то инвестор или производитель прекращает свою деятельность. Если же капитал инвестора или производителя стал больше высокого порога Th_{max_inv} или Th_{max_pro} , то такой инвестор или производитель порождает «потомка», при этом «родитель» отдает потомку половину своего капитала.

Функционирование производителей и инвесторов. Считаем, что перед началом периода T i -й производитель имеет собственный исходный капитал C_{i0} . Будем полагать, что производитель вкладывает в производство весь имеющийся у него к началу периода капитал C_i , включающий в себя вклады инвесторов:

$$C_i = C_{i0} + \sum_{j=1}^N C_{ij} \quad (1)$$

где C_{ij} – капитал, вложенный j -м инвестором в i -го производителя в начале периода. Считаем, что зависимость прибыли производителя от его текущего капитала нелинейная $Pr_i(C_i)$: прибыль мала при малом капитале C_i и достигает насыщения или очень медленно возрастает при большом C_i : $Pr_i(C_i) = k_i F(C_i)$, где функция F одинакова для всех производителей, а коэффициент k_i характеризует эффективность производства i -го производителя. Величины k_i в конце каждого периода случайно варьируются. При

компьютерном моделировании считалось, что функция $F(x)$ имеет вид $F(x) = \frac{x^2}{x^2 + a^2}$.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 13-01-00399.

В конце периода T производитель возвращает инвесторам вложенный ими капитал и выплачивает инвесторам часть полученной им прибыли. Причем j -му инвестору отдается часть прибыли, пропорциональная сделанному им вкладу в данного производителя:

$$Pr_{ij} = k_{\text{выпл}} Pr_i(C_i) \frac{C_{ij}}{\sum_{l=1}^N C_{il}}, \quad (2)$$

где C_i – текущий капитал (в начале периода) i -го производителя, $k_{\text{выпл}}$ – параметр, характеризующий долю выплат прибыли инвесторам, $0 < k_{\text{выпл}} < 1$. Сам производитель получит остальную часть своей прибыли Pr_i , равную:

$$Pr_i = (1 - k_{\text{выпл}}) Pr_i(C_i). \quad (3)$$

Схема итеративного процесса принятия решения инвесторами. Итеративный процесс, в течение которого определяются вклады инвесторов в производителей, состоит в следующем.

На первой итерации инвесторы рассылают агентов-разведчиков по всем производителям и определяют, какой капитал имеется у каждого производителя в данный момент времени. Причем на первой итерации не учитываются вклады других инвесторов в производителей. j -й инвестор оценивает величину A_{ij} , характеризующую прибыль P_{ij} , ожидаемую от i -го производителя в течение следующего $T+1$ -го периода. Величина A_{ij} равна:

$$A_{ij} = k_{\text{dist}} Pr_{ij} = k_{\text{dist}} k_{\text{выпл}} k_i F(C'_{i0}) \frac{C_{ij}}{\sum_{l=1}^N C_{il}}, \quad (4)$$

где C_{il} – капитал, вложенный l -м инвестором в i -го производителя, C'_{i0} – предполагаемый исходный капитал i -го производителя в начале следующего периода (пока без учета вкладов инвесторов), $k_{\text{dist}} = k_+$ либо k_- , $k_+ > k_-$. Положительные параметры k_+ , k_- определяют степень доверия инвестора производителю, т.е. полагается, что степень доверия инвестора к проверенному и непроверенному производителю равна k_+ и k_- , соответственно. Эти параметры учитывают то, что инвестор предпочитает проверенных им производителей. При моделировании полагалось $k_+ = 1$, $k_- = 0.5$.

Затем инвестор ранжирует всех производителей в соответствии с величинами A_{ij} и выбирает m наиболее выгодных производителей, т.е. тех производителей, которым соответствуют большие величины A_{ij} . Далее j -й инвестор формирует намерение распределить весь свой капитал $K_{\text{inv } j}$ по всем выбранным производителям, пропорционально полученным оценкам A_{ij} (для невыбранных производителей формально полагалось $A_{ij} = 0$). А именно, намечается, что вклад j -го инвестора в i -го производителя C_{ij} будет равен:

$$C_{ij} = K_{\text{inv } j} \frac{A_{ij}}{\sum_{i=1}^M A_{ij}}. \quad (5)$$

На второй итерации каждый инвестор с помощью агентов намерений оповещает тех производителей, которых он выбрал для инвестиций, о величине капитала, который он намеревается вложить в каждого из производителей.

На основе этих данных производители оценивают свой новый исходный капитал C'_{i0} , который они ожидают после получения капитала от всех инвесторов, т.е. у производителя

формируется оценка суммы $\sum_{l=1}^N C_{il}$ и новая оценка своего капитала в соответствии с выражением (1).

Затем инвесторы снова высылают агентов-разведчиков всем производителям и оценивают новый капитал производителей C'_{i0} с учетом намерений других инвесторов. Делаются оценки величин A_{ij} согласно выражению (4). Далее производители ранжируются, и капитал инвестора снова предварительно распределяется пропорционально новым полученным оценкам A_{ij} . Инвесторы снова рассылают агентов намерений, для того чтобы сообщить производителям намеченные величины вкладов.

Делается достаточно большое число таких итераций, после чего итерации заканчиваются, и инвестор принимает окончательное решение, какие вложения сделать на следующий период $T+1$. Окончательные вклады равны величинам C_{ij} , полученным инвесторами на последней итерации.

В конце каждого периода T капиталы производителей пересчитываются с учетом амортизации (например, это может быть, амортизация оборудования производителя) $K_{pro}(T+1) = k_{amr}K_{pro}(T)$, где k_{amr} – коэффициент амортизации ($0 < k_{amr} \leq 1$). Аналогично учитываются расходы инвесторов (для удобства соответствующие величины будем называть коэффициентами инфляции) и пересчитывается капитал инвесторов $K_{inv}(T+1) = k_{inf} K_{inv}(T)$, где k_{inf} – коэффициент инфляции ($0 < k_{inf} \leq 1$).

2. Результаты компьютерного моделирования

Описанная выше модель была реализована в виде компьютерной программы. Использовались следующие параметры расчетов: количество итераций $k_{iter} = 20$; пороги $Th_{max\ pro} = 1$, $Th_{max\ inv} = 1$, $Th_{min\ pro} = 0.01$, $Th_{min\ inv} = 0.01$; максимальное количество производителей и инвесторов $N_{pro\ max} = 100$, $N_{inv\ max} = 100$; начальное количество производителей и инвесторов $N_{pro\ initial} = 50$, $N_{inv\ initial} = 50$; $m = 100$; $k_{выпл} = 0.3$; характерная величина случайной вариации коэффициентов k_i , определяющих эффективность i -го производителя, равна $\Delta k = 0.5$; параметр функции $F(x)$, определяющей величину прибыли, был равен $a = 1$ или $a = 10$.

Величины k_i , характеризующие эффективность производителей, исходно (в начале расчета) были случайными, равномерно распределенными в интервале $[0, 1]$.

Начальные капиталы инвесторов и производителей исходно были случайными, они были равномерно распределены в интервале $[0, 1]$.

Предварительно была проверена зависимость конечного суммарного капитала производителей для типичных расчетов от числа итераций в каждом периоде. Было показано, что итеративный процесс сходится в течение 10-20 итераций. С учетом этого полагалось, что число итераций равно 20.

Основной расчет. Приведем результаты для расчета, в котором нет амортизации и инфляции: $k_{amr} = 1$, $k_{inf} = 1$ (рис. 1).

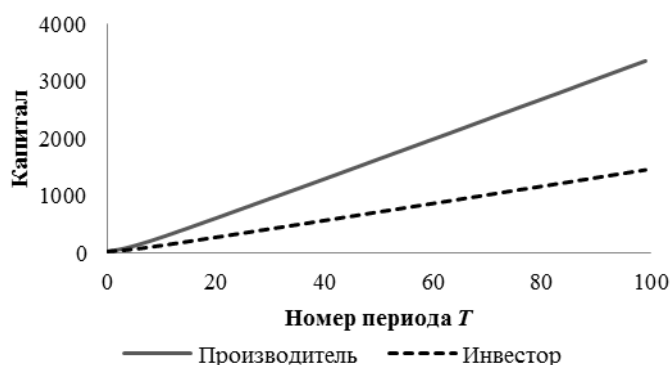


Рис. 1. Зависимость капитала инвесторов и производителей от времени (номера периода). Идеальная экономическая среда: $k_{amr} = 1$, $k_{inf} = 1$

Видно, что суммарный капитал инвесторов и производителей со временем растет.

Влияние амортизации капитала производителей и инфляции на моделируемые процессы. При умеренной амортизации и инфляции суммарный капитал производителей и инвесторов становится постоянным (рис. 2).

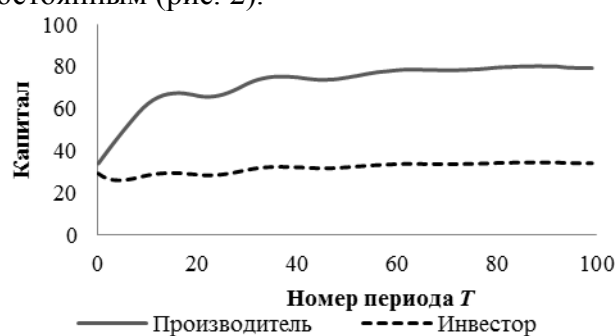


Рис. 2. Зависимость капитала инвесторов и производителей от времени. Умеренная инфляция и амортизация, $k_{amr} = 0.8$, $k_{inf} = 0.8$

При высокой инфляции или амортизации капитал производителей и инвесторов уменьшается, и они погибают (рис. 3).

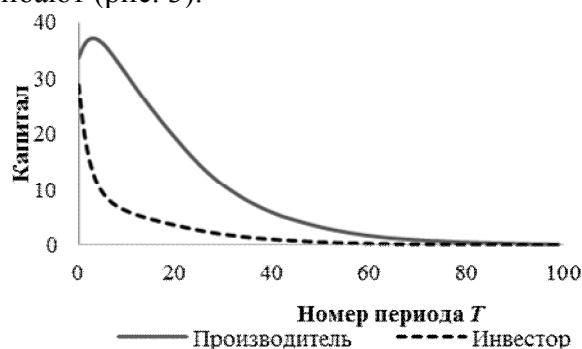


Рис. 3. Зависимость капитала инвесторов и производителей от времени, $k_{amr} = 0.8$, $k_{inf} = 0.6$

Таким образом, построена многоагентная модель прозрачной экономики. Продемонстрирована работоспособность модели и получены первые результаты компьютерных экспериментов. Построенная модель может служить опорной моделью широкого класса близких экономических процессов.

Авторы благодарны О.В. Редько за помощь в проведении компьютерных расчетов.

Литература

1. Holvoet T., Valckenaers P. Exploiting the environment for coordinating agent intentions // Environments for Multi-Agent Systems III, Lecture Notes in Artificial Intelligence. Berlin et al.: Springer. Vol. 4389, 2007. P. 51-66.
2. Claes R., Holvoet T., Weyns D. A decentralized approach for anticipatory vehicle routing using delegate multiagent systems // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2011. Vol. 12. P. 364-373.