

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОРЕВНОВАТЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА СТИМУЛИРОВАНИЯ В СРЕДЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА RDS

М.Х. Дорри

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: dorrimax@lab49.ru

А.В. Щепкин

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: sch@ipu.ru

Ключевые слова: моделирование, соревнование, премия, затраты, фонд стимулирования, вклад в общий результат.

Аннотация: Приводится описание имитационных экспериментов, иллюстрирующих функционирование системы «Руководитель-исполнители». Исполнители выполняют свою работу в течение некоторого времени. Все работы выполняются последовательно. Руководитель заинтересован в сокращении времени выполнения работ. Он располагает фондом стимулирования стимулирует каждого исполнителя премией из этого фонда за сокращение времени выполнения его работы. Эксперименты, с помощью программного комплекса RDS, позволяют проверить теоретический анализ функционирования модели и наглядно, в режиме онлайн, проиллюстрировать действия руководителя и исполнителей.

1. Введение

Для оценки эффективности механизмов управления, разрабатываемых в рамках теории активных систем [1], широко используются игровые имитационные эксперименты – деловые и имитационные игры [2]. Первые подобные игровые эксперименты начали проводиться в семидесятих годах прошлого века [3]. При этом большинство из них проводились в «ручном» варианте, с использованием мела, доски, листа бумаги и ручки. В настоящее время, по мере развития информационных технологий подобные эксперименты проводятся с использованием вычислительной техники. При этом, использование компьютеров позволяет участникам не только оперативно обмениваться информацией а ведущему игры анализировать полученную информацию, быстро и наглядно обрабатывать результаты игровых экспериментов.

В настоящее время существует различные стандарты для структурного анализа бизнес-систем на основе DFD-нотации, однако нельзя считать завершенным процесс создания программных комплексов для имитации бизнес-процессов.

Ряд свойств программного комплекса РДС (Расчет Динамических Систем) [4] с открытой архитектурой, построенного, прежде всего, как инструмент для разработки систем

управления сложных объектов, позволяет в ряде случаев достаточно удобно решать задачи, возникающие в сложнейшей области изучения организационных систем.

К этим свойствам относятся:

- 1) Групповое изменение характеристик блоков (удобно для внесения изменений в идентичные модели при рассмотрении многомерных задач).
- 2) Наличие видимых и невидимых слоев и конфигураций, помогающих выводить на экран монитора только необходимую для анализа информацию.
- 3) Удобные средства введения различных характеристик объектов и отображения их состояний.
- 4) В РДС разработаны различные алгоритмы позволяющие:
 - рассчитывать направления потоков информации в различных участках блок-схем;
 - находить и отображать на схемах пути между связанными по сети объектами;
 - находить узлы, выход из строя которых наиболее критично может сказаться на целевых функциях процесса и т.п.

Возможности, предоставляемые программным комплексом RDS для проведения игровых экспериментов, проиллюстрируем на примере оценки эффективности соревновательного механизма стимулирования.

2. Соревновательный механизм стимулирования

Применение этого механизма рассматривается на примере функционирования модели «Руководитель-исполнители». Модель представляет собой двухуровневую систему, состоящую из Центра (руководитель) и n агентов (исполнителей) нижнего уровня.

Агенты выполняют общее задание, причем каждый агент выполняет свою работу в рамках этого задания в течение некоторого времени. Предполагается, что все работы выполняются последовательно. Центр заинтересован в сокращении времени выполнения всего задания. Он располагает фондом стимулирования агентов в размере R и стимулирует каждого агента премией из фонда R за сокращение времени выполнения его работы.

Предполагается, что, агенты характеризуются коэффициентами затрат h_i , $i=1,2,\dots,n$, отражающими их затраты на сокращение времени выполнения работы.

Обозначим:

- t_i – время сокращения выполнения своей работы i -м агентом, $i=1,2,\dots,n$;
- r_i – премия i -го агента, $i=1,2,\dots,n$;
- d_i – вклад i -го агента в общий результат $i=1,2,\dots,n$.

Премия агентов рассчитывается следующим образом $r_i=d_iR$, $i=1,2,\dots,n$.

Разница между премией r_i и затратами агента z_i определяет целевую функцию i -го агента.

В модели предполагается, что функции затрат агентов линейны: $z_i(t_i, h_i) = h_it_i$, и, соответственно, целевую функцию i -го агента можно записать в виде

$$f_i=d_iR - h_it_i, \quad i=1,2,\dots,n.$$

Исследование модели должно ответить на вопрос. Насколько Центр сможет сократить время выполнения всего задания, если будет распределять фонд стимулирования R на основе вклада каждого агента в общий результат? Естественно, что ответ на этот вопрос необходимо рассматривать в некоторой устойчивой или стационарной ситуации. В данном случае это будет ситуация равновесия по Нэшу.

Рассматривается случай, когда фонд остается неизменным на протяжении нескольких периодов функционирования.

Очевидный и достаточно естественный способ определения вклада агентов в общее время сокращения работ - это отношение t_i - времени сокращения работы i -м агентом к общему времени сокращения

$$d_i = t_i / \sum_{j=1}^n t_j, \quad i=1,2,\dots,n.$$

Нетрудно рассчитать, что в ситуации равновесия по Нэшу агенты сокращают время выполнения работ на величину

$$(1) \quad t_i^* = R \left[\sum_{j=1}^n h_j - h_i (n-1) \right] (n-1) / \left(\sum_{j=1}^n h_j \right)^2, \quad i=1,2,\dots,n.$$

Соответственно, общее время сокращения работы равно

$$(2) \quad \sum_{j=1}^n t_j^* = R (n-1) / \sum_{j=1}^n h_j.$$

Нетрудно заметить, что (1), а, следовательно, и (2) справедливы, только если

$$(3) \quad \max_i \{h_i\} \leq \sum_{j \neq i}^n h_j / (n-2).$$

Повысить эффективность использования средств фонда R можно путем организации соревнования между агентами. А именно, вклад в общий результат каждого агента определять в соответствии с процедурой

$$y_i = \begin{cases} 0, & \text{если } t_i \leq \beta \left(\sum_{j \neq i}^n t_j \right) / (n-1) \\ t_i - \beta \left(\sum_{j \neq i}^n t_j \right) / (n-1), & \text{если } t_i > \beta \left(\sum_{j \neq i}^n t_j \right) / (n-1) \end{cases}, \quad i=1,2,\dots,n.$$

Именно это показатель включает элемент состязательности среди агентов. Действительно, если время сокращения работы i -го агента будет меньше чем произведение коэффициента β , установленного Центром, и среднего арифметического времени сокращения работы других агентов, то показатель деятельности i -го агента будет равен нулю. А это соответствует тому, что в этом случае вклад этого агента равен нулю. И, как следствие, он не получает премию из фонда стимулирования R .

В этом случае в ситуации равновесия по Нэшу агенты сокращают время выполнения работ на величину

$$t_i^* = R \left(\sum_{j=1}^n h_j - h_i (n-1) \right) (n + \beta - 1) / \left[(1 - \beta) \left(\sum_{j=1}^n h_j \right)^2 \right], \quad i=1,2,\dots,n.$$

Соответственно, общее время сокращения работы равно

$$(4) \quad \sum_{j=1}^n t_j^* = \frac{n + \beta - 1}{(1 - \beta) \sum_{j=1}^n h_j} R.$$

Очевидно, здесь также должно выполняться условие (3).

Так как стоит задача максимизировать общее время сокращения работы, то из (4) следует, что Центру надо выбирать значение коэффициента β близкое к 1. Но в ситуации равновесия по Нэшу целевые функции агентов принимают следующие значения

$$f_i = \left[1 - h_i(n-1) / \sum_{j=1}^n h_j \right] \left(1 - h_i(n+\beta-1) / \left[(1-\beta) \sum_{j=1}^n h_j \right] \right) R, i=1,2,\dots,n.$$

Легко видеть, что $f_i \geq 0$, если справедливо (3) и выполняется неравенство

$$\beta \leq 1 - \max_i \left\{ h_i n / \left(\sum_{j=1}^n h_j + h_i \right) \right\}.$$

Очевидно, что разница в коэффициентах затрат ставит агентов в неодинаковое положение, поэтому простейший способ проиллюстрировать особенности соревновательного механизма стимулирования – это рассмотреть функционирование однородного коллектива исполнителей работ, состоящего из двух агентов, то есть проанализировать случай $h_1=h_2=h$. При этом ограничение на β имеет вид $\beta \leq 1/3$.

3. Имитационные эксперименты

При проведении имитационных экспериментов с моделью соревновательного механизма стимулирования на игровом комплексе, реализованном в среде РДС, организатору эксперимента, прежде всего, предлагается описание всех процессов, протекающих при функционировании модели «Руководитель - исполнители» рис. 1.

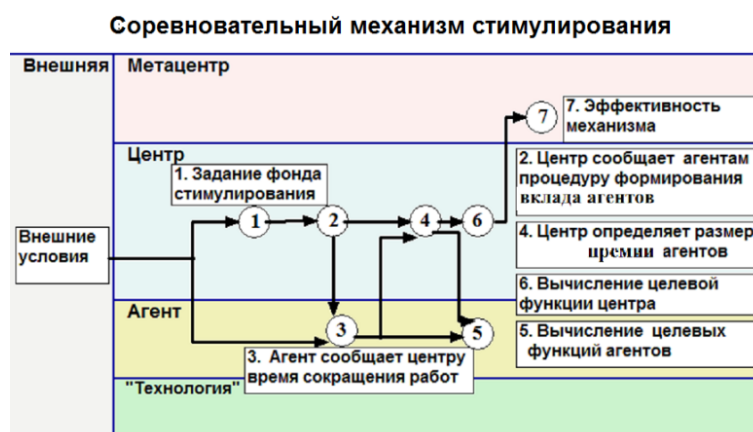


Рис. 1. Последовательность процессов при анализе соревновательного механизма стимулирования.

Отметим здесь, что данный комплекс позволяет расширить модель, подключая блок «Внешняя среда» – изменение внешних условий функционирования, блок «Метацентр» – библиотека механизмов управления и блок «Технология» – моделирование производственных процессов.

Применение игрового комплекса для анализа механизмов функционирования предполагает участие в нем трех типов пользователей – организатора эксперимента, Центра и агентов. Перед проведением анализа соревновательного механизма стимулирования организатор эксперимента формирует внешние условия – задает количество агентов нижнего уровня (здесь в качестве примера описывается случай двух агентов) и значения коэффициентов затрат агентов. Сам анализ начинается с действий Центра по определению размера фонда стимулирования R и значения коэффициента β . Зная размер распределяемого фонда, процедуры определения вкладов агентов в общий результат и расчета премий агенты определяют время сокращения работ, стремясь максимизировать значения своих

целевых функций (рис. 2). Ситуация проигрывается в течение нескольких итераций – партий игры, до тех пор, пока агенты не сойдутся в ситуацию равновесия по Нэшу. Действия агентов и значения их целевых функций выводятся в виде гистограмм. Синтез соревновательного механизма стимулирования – выбор условий, при которых распределение фонда стимулирования обеспечивает максимальное время сокращения работ в ситуации равновесия по Нэшу, осуществляется подбором значений коэффициента β (рис. 3).

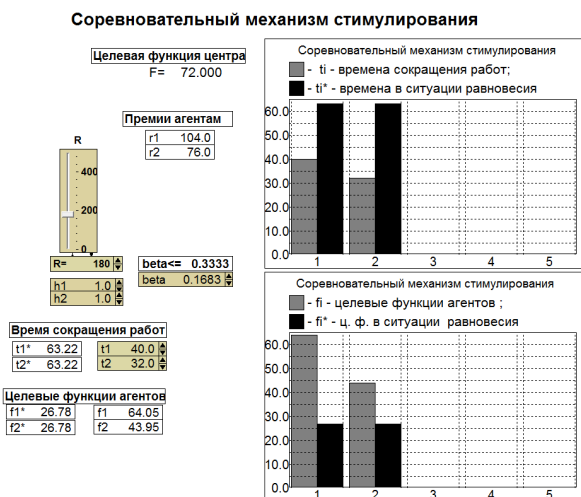


Рис. 2. Анализ соревновательного механизма стимулирования.

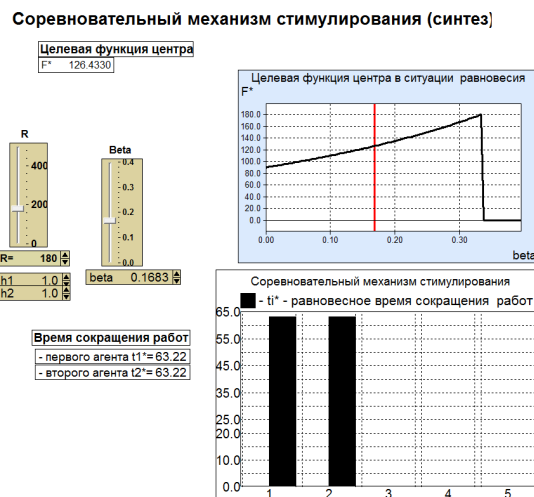


Рис. 3. Синтез соревновательного механизма стимулирования.

При этом на гистограммах (рис. 2.) показаны времена сокращения работ агентов, выбранные самими агентами и, для сравнения, времена сокращения работ в ситуации равновесия по Нэшу. Кроме того, здесь же показаны гистограммы изменений целевых функций агентов в зависимости от их выбора, и в ситуации равновесия. На рис. 3 показано изменение целевой функции Центра – суммарное время сокращения работ агентами в ситуации равновесия по Нэшу в зависимости от выбранного Центром значения коэффициента β . Изменяя значение коэффициента β , Центр наблюдает как меняется суммарное время сокращения работ агентами в ситуации равновесия. Кроме того, здесь показаны гистограммы времени сокращения работ агентами в ситуации равновесия по Нэшу.

В заключении отметим, что проведенный анализ соревновательного механизма показал, что максимально можно сократить время выполнения всего задания в

$\sum_{j=1}^n h_j / \left[(n-1) \max_i h_i \right]$ раза, а из экспериментов следует, что организация соревнования привело к сокращению времени выполнения задания в два раза.

Список литературы

1. Бурков В.Н. Основы математической теории активных систем. М.: Наука, 1977. 256 с.
2. Бабкин В.Ф., Баркалов С.А., Щепкин А.В. Издательство Ассоциации строительных вузов (АСВ), 2004. 256 с.
3. Бурков В.Н., Ивановский А.Г., Немцева А.Н., Щепкин А.В. Организация и проведение деловых игр (методические материалы). М.: ИПУ РАН, 1975. 52 с.
4. Дорри М.Х., Рощин А.А. Программный комплекс для моделирования и исследования систем управления «Расчет динамических систем» РДС: Справочное руководство. Ч. 1: Устройство РДС и редактирование схем. М.: ЛЕНАНД, 2017. 344 с.