

Модель балансирования на грани и программа её имитационного исследования

Г.А. Угольницкий, В.Е. Черняховская

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: Тематика балансирования на грани чрезвычайно актуальна в современных условиях вполне реальной угрозы ядерной войны. Представлена теоретико-игровая модель, описывающая процесс балансирования на грани на примере Карибского кризиса. Результаты исследования по таким моделям и, соответственно, рекомендации для лиц, принимающих решения, существенно зависят от конкретных числовых значений выигрышей игроков и вероятностей наступления определённых событий. Поэтому целесообразна разработка программного комплекса, позволяющего задавать различные значения указанных параметров и проводить имитационное моделирование по различным сценариям управления. В статье предложена программа реализации этого подхода.

Ключевые слова: балансирование на грани, игры в развёрнутой форме, имитационное моделирование.

Введение

Концепция балансирования на грани детально рассмотрена в [1] на примере Карибского (кубинского) кризиса. Содержательному анализу Карибского кризиса посвящён ряд очень интересных монографий, в т.ч. на русском языке [2,3]. В качестве базовой модели балансирования на грани используется игра в развёрнутой форме. Теории игр посвящены работы [4-7].

Основная идея настоящей статьи заключается в том, что получение точных числовых оценок параметров теоретико-игровых моделей невозможно. Поэтому предлагается разработка программного комплекса, позволяющего варьировать различные значения параметров. А поскольку число возможных сочетаний значений параметров бесконечно, то важно выбрать сравнительно небольшое число сценариев управления, достаточно хороших с точки зрения поддержки решений, характеризующих возможные варианты развития ситуации. Здесь используется общая методология имитационного моделирования [8]. Авторский метод качественно репрезентативных сценариев компьютерной имитации описан в статье [9].

Пример анализа игры в развёрнутой форме на основе сценариев имитационного моделирования приведён в статье [10].

Модель балансирования на грани (на примере Карибского кризиса)

Модель представляет собой игру в развёрнутой форме (рис. 1).

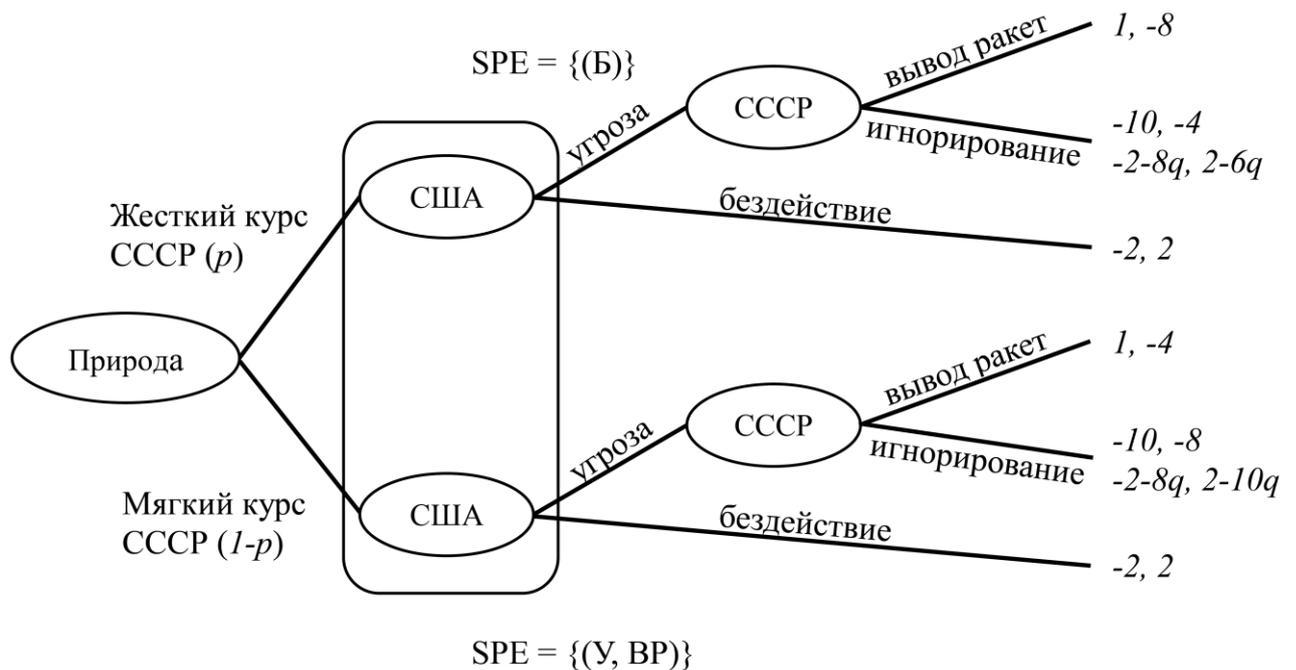


Рис. 1. Модель балансирования на грани

В игре участвуют два игрока: США и СССР. США делают первый ход, предъявляя СССР угрозу или ничего не делая. В случае бездействия игра заканчивается с вектором выигрышей $(-2, 2)$. При предъявлении угрозы ход делает СССР, выводя ракеты с Кубы или игнорируя угрозу (что приводит к ядерной войне). Выигрыш США равен 1 при выводе ракет и -10 в случае войны. Выигрыш СССР зависит от проводимого военно-политического курса. Если курс мягкий, то выигрыш равен -4 при выводе ракет (что означает политическое поражение) и -8 при войне. Если курс жёсткий, то наоборот, поражение даёт наибольший проигрыш -8, а война только -4. СССР точно знает свой тип (проводимый курс), а США - только с вероятностью p .

Тогда ожидаемый выигрыш США равен $-10p + 1(1-p) = 1 - 11p$ при угрозе и -2 при бездействии. Сравнение приводит к условию приемлемости угрозы для США: $p < 3/11 \approx 0.27$. Заметим, что тогдашний президент США Джон Кеннеди оценивал эту вероятность на практике, как $1/3 \leq p \leq 1/2$.

Теперь введём риск начала ядерной войны (вероятностную угрозу этого события) q . Тогда выигрыш США при игнорировании угрозы Советским Союзом становится равным: $-10q - 2(1-q) = -2 - 8q$. Выигрыш СССР в этой вершине вновь зависит от его типа. Если курс жёсткий, то выигрыш равен: $-4q + 2(1-q) = 2 - 6q$. Заметим, что в этом случае всегда $2 - 6q > -8$, т.е. СССР будет игнорировать угрозу США. Если курс мягкий, то выигрыш равен: $-8q + 2(1-q) = 2 - 10q$. Сравнение этого значения с выигрышем при выводе ракет -4 даёт важное условие эффективности угрозы США $q > 0.6$.

Теперь можно вычислить ожидаемый выигрыш США при предъявлении угрозы с учётом риска войны: $(-2 - 8q)p + 1(1-p) = 1 - 3p - 8pq$. Сравнение этого выражения с выигрышем при бездействии -2 даёт условие приемлемости угрозы с учётом риска: $q < 3(1-p)/(8p)$.

Данные для дальнейшего анализа представлены на рис. 2. Прямая $q = 0.6$ задаёт нижний предел (условие эффективности угрозы). Кривая $q = 3(1-p)/(8p)$ определяет верхний предел (условие приемлемости угрозы). В зоне с одинарной штриховкой выполняются оба условия. Зона с двойной штриховкой, определяемая оценкой Кеннеди, задаёт возможности для балансирования на грани. В целом, ситуация с точки зрения США выглядит следующим образом. Если $p < 0.27$, то США могут смело угрожать СССР, и ему придётся согласиться на вывод ракет (что и произошло на самом деле). Если $0.27 \leq p \leq 0.375$, то США балансируют на грани. Это выражается в том,

что они постепенно повышают риск на интервале $0.6 < q < 3(1-p)/(8p)$. Если $p > 0.375$, то США должны уступить.



Рис. 2. Данные для анализа балансирования на грани

Прямая $q = 0.6$ задаёт нижний предел (условие эффективности угрозы). Кривая $q = 3(1-p)/(8p)$ определяет верхний предел (условие приемлемости угрозы). В зоне с одинарной штриховкой выполняются оба условия. Зона с двойной штриховкой, определяемая оценкой Кеннеди, задаёт возможности для балансирования на грани. В целом, ситуация с точки зрения США выглядит следующим образом. Если $p < 0.27$, то США могут смело угрожать СССР, и ему придётся согласиться на вывод ракет (что и произошло на самом деле). Если $0.27 \leq p \leq 0.375$, то США балансируют на грани. Это выражается в том, что они постепенно повышают риск на интервале $0.6 < q < 3(1-p)/(8p)$. Если $p > 0.375$, то США должны уступить.

Программа имитационного исследования модели

Как ясно видно из предыдущего изложения, результаты исследования теоретико-игровой модели балансирования на грани существенно зависят от

числовых значений параметров, задающих выигрыши игроков и вероятности наступления определённых событий: в рассмотренном примере типа второго игрока (жёсткий или мягкий курс СССР) и риска начала войны.

Подчеркнём, что точное определение числовых значений модельных параметров принципиально невозможно: слишком сложно взаимодействие всех участников конфликта и высок уровень неопределённости. Поэтому целесообразно построение программного комплекса, позволяющего задавать различные значения указанных параметров и проводить исследование в имитационном режиме по различным сценариям управления.

Реализация данного подхода включает два этапа. Первый этап - создание программного комплекса для решения игры в развёрнутой форме (рис. 1) с учётом риска войны методом обратной индукции [7] при произвольных значениях параметров. К этим параметрам относятся вероятности: p и q и векторы выигрышей $(a_1, a_2), (b_1, b_2), (c_1, c_2)$ в финальных вершинах дерева игры. Заметим, что всегда $a_1 > c_1 > b_1$ и $c_2 > a_2, c_2 > b_2$, а вот соотношение между a_2 и b_2 зависит от типа второго игрока (жёсткий или мягкий курс). Заметим также, что без учёта вероятностей p, q абсолютные величины выигрышей не имеют значения (важен только порядок). Однако, уже при учёте вероятности p , это не так: например, решение неравенства $b_1 p + a_1(1 - p) > c_1$ для сравнения выгоды угрозы и бездействия зависит от величин a_1, b_1, c_1 .

Второй этап - исследование модели в имитационном режиме - гораздо сложнее. Дело в том, что допустимо бесконечное количество сочетаний значений указанных параметров. Поэтому главную роль играет планирование вычислительных экспериментов [8], задача которого состоит в определении сравнительно небольшого числа таких сочетаний, в совокупности дающих достаточно представительную картину возможных на практике ситуаций.

Два таких примера для выигрышей приведены в тексте. По-видимому, целесообразно разбить второй этап ещё на две части: сначала выделить обозримое множество сочетаний значений выигрышей $(a_1, a_2), (b_1, b_2), (c_1, c_2)$, соотношение которых имеет содержательную интерпретацию, а затем изменять значения вероятностей p, q в соответствии с описанной в [1] методикой. В масштабе рассматриваемого примера величины выигрышей - целые числа, а значения вероятностей можно варьировать с шагом 0.1, при необходимости измельчая его далее, на важных для содержательного анализа участках отрезка $[0,1]$.

Заключение

В основе описания процесса балансирования на грани лежит теоретико-игровая модель игры в развёрнутой форме. Результаты исследования моделей этого класса существенно зависят от конкретных числовых значений выигрышей игроков и вероятностей наступления определённых событий. Точное определение этих числовых значений крайне затруднительно даже при ретроспективном анализе, а в режиме реального времени при принятии решений совершенно невозможно. Между тем, принимаемые решения имеют чрезвычайно высокую важность, поскольку в контексте рассматриваемых в работе ситуаций связаны с риском начала ядерной войны.

Поэтому представляется целесообразной разработка программного комплекса поддержки указанных решений, позволяющего задавать различные правдоподобные значения модельных параметров и проводить анализ в имитационном режиме для различных сценариев управления. План разработки такого программного комплекса представлен в статье. В дальнейшем планируется его апробация на ретроспективных данных по Карибскому кризису [1] и на экспертных данных по Украинскому кризису.

Отметим, что подход балансирования на грани применим к целому ряду иных практически важных ситуаций конфликтного взаимодействия. Естественно, что при этом дерево игры может измениться.

Статья подготовлена в рамках проекта ЮФУ «Цифровой атлас политических и социально-экономических угроз и рисков развития Южнороссийского приграничья: национальный и региональный контекст («Цифровой Юг»)). Программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030» № СП-14-22-06».

Литература

1. Диксит А., Скит С., Рейли Д. Стратегические игры. Доступный учебник по теории игр. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2017. С. 880.
2. Аллисон Г. Сущность решения: Объяснение кубинского ракетного кризиса. М.: 1971. 528 с.
3. Микоян С.А. Анатомия Карибского кризиса. М.: Academia, 2006. 1071 с.
4. Nisan N., Roughgarden T., Tardos E., Vazirani V. Algorithmic Game Theory. Ed. By Cambridge University Press, 2007. P. 754.
5. Basar T., Olsder G.J. Dynamic Noncooperative Game Theory. Philadelphia, 1999. P. 506.
6. Laffont J.-J., Martimort D. The Theory of Incentives: The Principal-Agent Model. Princeton University Press, 2002. P. 421.
7. Narahari Y. Game Theory and Mechanism Design. World Scientific, 2014. P. 533.
8. Кельтон Д.В., Лоу А.М. Имитационное моделирование. СПб., 2004. 847 с.
9. Ougolnitsky G.A., Usov A.B. Computer Simulations as a Solution Method for Differential Games // Computer Simulations: Advances in Research



and Applications. Eds. M.D. Pfeffer and E. Bachmaier. - N.Y.: Nova Science Publishers, 2018. pp. 63-106.

10. Мальсагов М.Х., Угольницкий Г.А., Усов А.Б. Динамическая модель оценивания при коррупции // Управление большими системами. Вып.87. М.: ИПУ РАН, 2020. С. 86-100.

References

1. Dixit A., Skit S., Reiley D. Strategicheskie igry. Dostupnyy uchebnik po teorii igr [Strategic games. An accessible game theory textbook]. Moskva: Mann, Ivanov i Ferber, 2017. P. 880.

2. Allison G. Sushchnost' resheniya: Ob"yasnenie kubinskogo raketnogo krizisa [Essence of the Solution: Explaining the Cuban Missile Crisis]. Moskva. 1999. 528 p.

3. Mikoyan S.A. Anatomiya Karibskogo krizisa [Anatomy of the Caribbean Crisis]. Moskva. Academia, 2006. 1071 p.

4. Nisan N., Roughgarden T., Tardos E., Vazirani V. Algorithmic Game Theory. Ed. By Cambridge University Press, 2007. P. 754.

5. Basar T., Olsder G.J. Dynamic Noncooperative Game Theory. Philadelphia, 1999. P. 506.

6. Laffont J.-J., Martimort D. The Theory of Incentives: The Principal-Agent Model. Princeton University Press, 2002. P. 421.

7. Narahari Y. Game Theory and Mechanism Design. World Scientific, 2014. P. 533.

8. Kel'ton D.V., Lou A.M. Imitatsionnoe modelirovanie [Simulation]. Saint Petersburg, 2004. 847 p.

9. Ougolnitsky G.A., Usov A.B. Computer Simulations: Advances in Research and Applications. Eds. M.D. Pfeffer and E. Bachmaier. N.Y.: Nova Science Publishers, 2018. pp. 63-106.



10. Mal'sagov M.Kh, Ougolnitsky G.A., Usov A.B. Upravlenie bol'shimi sistemami. Vyp.87. Moskva: IPU RAN, 2020. pp. 86-100.