DOI: 10.25728/tas.2019.50.1.3

ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ТЕОРИИ ИЕРАРХИЧЕСКИХ ИГР

Ерешко Ф.И.
(*Вычислительный центр им. А.А. Дородницына ФИЦ ИУ РАН, Москва*)
fereshko@yandex.ru

Аннотация: в работе рассматривается проблема приложений методологии исследования операций и её одного из видов формализованного аппарата, иерархических игр, к анализу и синтезу информационно-вычислительных комплексов, в современных терминах, к проектированию цифровых платформ. Приводится описание математических моделей, вычислительных процедур и основных подходов к разработке математического обеспечения.

Ключевые слова: исследование операций, игры с правом первого хода, иерархические игры, математическая модель, вычислительные процедуры, проектирование, стандарты цифровой экономики.

1. Введение

Началом Теории иерархических игр можно считать публикацию: Гермейер Ю.Б. Об играх двух лиц с фиксированной последовательностью ходов . *Докл. АН СССР*, **198**:5 (1971), 1001–1004.

Хотя и в работах Курно, Штакельберга рассматривались неравноправные отношения активных участников, и в ставшей классической монографии фон Неймана, Моргенштерна обсуждались мажорантные и минорантные игры, но в этой работе была чётко сформулирована математическая конструкция игры с правом первого хода.

Затем последовал этап бурного развития теории и приложений учениками и сподвижниками, чему способствовала

творческая атмосфера, созданная Моисеевым Н.Н. и Гермейером Ю.Б. в Вычислительном Центре Академии наук и на кафедре Исследования операций ВМК МГУ им. Ломоносова М.В..

Существенным фактором в общем развитии теории иерархических игр явилось то, что к моменту начала исследований по этому направлению в теории игр ЮБ разработал общий методологический подход в исследовании операций, определив операцию, как совокупность целенаправленных действий, введя понятие оперирующей стороны и исследователя операций.

Гермейер Ю. Б. Введение в теорию исследования операций. — М.: Наука, 1971. — 384 с. — (Оптимизация и исследование операций). — 22 500 экз.

Свидетельством основательности и практичности методологии послужил внешний интерес и немецкий перевод: *Germeĭer J. B.* Einführung in die Theorie der Operationsforschung / Herausgegeben von Horst Hollatz. Übersetzt aus dem Russischen von Horst Weinert. — Berlin: Akademie-Verlag, 1974. — viii+302 c. — (Mathematische Lehrbücher und Monographien, I. Abteilung: Mathematische Lehrbücher, Band 26).

В рамках этих установок, естественным формальным инструментом стали игры при наличии выделенного игрока с правом первого хода.

В настоящей работе обосновывается тезис, что иерархическая структура математического обеспечения цифровых платформ, в современных условиях, по крайней мере, на данном этапе, тотальной цифровизации экономики и общества в целом, является следствием системного подхода к данной проблематике.

Как известно: «нет ничего практичнее хорошей теории» (или Роберт Кирхгоф или И.Кант).

Теории Ю.Б. Гермейера и Системы Гермейера (по терминологии Моисеева Н.Н.) вполне хороши для прикладных задач управления.

Следующим шагом в развитии теории стала монография, обобщающая результаты уже школы Гермейера к тому времени.

Гермейер Ю. Б. Игры с непротивоположными интересами / С предисловием Н. Н. Моисеева. — М.: Наука, 1976. — 328 с. — (Оптимизация и исследование операций). — 9700 экз.

Обратимся к переводу книги ЮБ, сделанному большим знатоком развития теории игр и вообще принятия решений и теории систем (США, Канада, Торонтский Университет) к тому времени (1983-1986).

Английский перевод: *Germeĭer, Yu. B.* Nonantagonistic games / Translated from the Russian and with a preface by Anatol Rapoport. — Dordrecht: D. Reidel Publishing Co., 1986. — xiv+331 c. — (Theory and Decision Library, 46). — ISBN 90-277-2023-1

В Предисловии к переводу книги проф. А.Б. Рапопорт пишет:

«The present …Outside the Soviet Union, analysis of this sort has been largely centred on bargaining processes, where the underlying game structures are, for the most part, rather elementary. In the work of Germeier and his disciples, the framework in which the process (including much more than bargaining) occurs has been greatly extended and diversified.

A topic of particular interest, one to which Soviet game theorists have devoted considerable attention, is that of so-called hierarchical games, which can be construed as models of a planned economy with varying degrees of **centralization or decentralization**».

« Сейчас…За пределами Советского Союза анализ такого сорта был в основном сосредоточен на процессах установления цены, где основные структуры игры, по большей части, **довольно элементарны.** В работе Germeier и его учеников, структура, в которой происходит процесс (включая намного больше, чем торговля), **была значительно расширена и разносторонне развита.**

Особенно интересной темой, одной, которой советские теоретики игры уделили значительное внимание, является тема так называемых **иерархических игр**, которые могут быть истолкованы как модели плановой экономики с различными степенями **централизации или децентрализации**».

Мне кажется, что эта оценка с одной стороны лестна, а с другой стороны сыграла отрицательную роль, испугав (озадачив) западных коллег-экономистов, слишком привязав теорию ЮБ к образу плановой экономики, имеющей в их глазах негативный характер (кроме, Дж. Стиглица).

В конце приводятся новые результаты по проблеме ЦvsДеЦ

Посмотрим на работы ЮБ на фоне теории контрактов, о чём упомянул проф. Рапопорт А.Б.

Вот теория контрактов, база институциональной экономики.

Контракт – это совокупность правил, структурирующих в пространстве и во времени обмен между двумя (и более) экономическими агентами посредством определения **обмениваемых прав и взятых обязательств** и определения **механизма их соблюдения. Контракты** представляют собой правила, «обслуживающие» (т.е. координирующие) различные обмены. Наиболее распространенной формой являются рыночные обмены, однако в целом разнообразие видов обменов гораздо шире.

По Конспекту лекций С. Гуриева.

«В асимметричной модели имеется **один принципал и один агент**. Предполагается следующая последовательность событий. Сначала агент узнает некоторую информацию (свой ≪тип≫). Принципал не обладает этой информацией и предлагает агенту набор контрактов. Агент выбирает один из предложенных вариантов или отказывается от всех. Контракт выполняется. По существу, задача заключается **в поиске равновесия по Штакельбергу**.

Рассмотрим простейшую модель с двумя типами агентов. В роли **принципала** выступает монополист, в роли **агента** — потребитель.

Контракт, предлагаемый производителем, имеет вид (t, q), где $q \geq 0$ количество продаваемого товара, а t — стоимость предлагаемого товара (всего товара, а не единицы).

Потребитель (A) получает полезность $V\,A = U(\theta, q) - t$. Монополист (P) получает прибыль $V\,P = t - cq$.

При прямолинейном методе решения, производитель решает задачу $E\theta\ [t(q(\theta)) - cq(\theta)] \rightarrow \max$ по $t(\cdot)$, где $q(\theta) \in \arg\max \{U(\theta,Q) - t(Q), 0\}$ *по* Q для всех θ.

Полезность агента от потребления товара равна $U(\theta, q)$. Параметр θ принимает два значения:

$\theta = \theta L$, с вероятностью π

$\theta = \theta H$, с вероятностью $1 - \pi$»

Приведенное описание – это типичная задача в постановке игры Γ_1. Игры типа Γ_2, Γ_3 не исследуются. Как отмечено, «контракты представляют собой правила, «обслуживающие» (т.е. координирующие) различные обмены. Наиболее распространенной формой являются рыночные обмены, однако в целом разнообразие видов обменов гораздо шире».

Поэтому, я воспринимаю теорию контрактов, как одно из приложений исследования операций, и у нас с Вателем И. А. в Брошюре эти направления называлось обменные операции.

Практична ли теория контрактов.

Ответ на этот вопрос и вообще зачем нужны формальные модели, в частности теория игр? дал Нобелевский комитет в пресс-релизе при выдаче премия 2016 года по экономике (по теории контрактов): «В современной экономике содержится неисчислимое число контрактов. Новые теоретические инструменты, созданные авторами (Hart и Holmström), ценны для понимания реальных контрактов и институтов, а также для учёта возможных подводных камней в разработке контрактов. Их анализ оптимальных контрактов закладывает **интеллектуальный фундамент для разработки стратегий и институтов во многих областях, от законодательства** о банкротстве до политических конституций».

Эти слова идеально подходят к теориям Ю.Б.

И вполне современно звучат оценки проф. А.Б.Рапопорта.

2. Прикладные проекты

Здесь приводится изложение реальных проектов, опыт создания которых автором породил установку, что подтверждает тезис об иерархичности математического обеспечения реальных проектов.

Учитывая реальный запрос общества в те времена, наши усилия были направлены на проектирование реальных систем, имеющих технико-экономическое направление и имеющих в основе иерархический каркас.

Как отмечается в [ ], иерархическая организация, конечно, не является исключительной особенностью природохозяйственных комплексов - такой подход к структурированию приложим к самым разнообразным системам - коммерческим предприятиям, комплексам вычислительных программ, социальному устройству, электронному оборудованию и т.п.

Объекты, принадлежащие каждому структурному уровню, могут рассматриваться и как системы, образованные из подсистем (объекты более низких уровней), и как подсистемы, входящие в состав некоторой системы (объект более высокого уровня).

Для иерархических систем характерны три важных свойства.

1. Каждый уровень иерархии имеет **свой собственный язык, свою систему концепций или принципов**. К примеру, понятия давления, объема и температуры, определяющие главные свойства жидкости и газа, утрачивают содержание на атомарном или молекулярном уровне, а понятия “производство продуктов животноводства”, “урожайность сельскохозяйственной культуры” практически лишены смысла на уровне клетки или органеллы.

2. На каждом уровне иерархии **происходит обобщение свойств объектов более низких уровней**. Закономерности, обнаруженные и описанные для последних, могут быть включены в объясняющую (функциональную) схему, обретая при этом связь с объектом высшего уровня. Таким образом, описание на уровне $\boldsymbol{i}$ способствует объяснению (пониманию) явлений, имеющих место на уровне $\boldsymbol{i} + \mathbf{1}$.

3. **Взаимосвязи** между уровнями **не симметричны**. Для нормального функционирования объектов высшего уровня необходимо, чтобы успешно “работали” объекты более низкого уровня, но не наоборот. Если стол превращается в деревянные обломки, он не может выполнять функции стола. Однако молекулярные связи при этом сохраняются.

В экономических системах верхние уровни располагают приоритетом в действиях, но не располагают полной информацией о нижних уровнях.

Естественно, что прикладные задачи реализовывались под несомненным влиянием идей Учителей НН и ЮБ.

Таковыми были системы, по крайней мере, в моём окружении: Проектирование боевых истребителей СУ, Проекты рационального использования водных ресурсов, аграрный Проект, нефтяной Проект и т.д.

Для проектирования истребителей СУ П.С. Краснощёков предложил подход к решению проблемы формирования облика самолёта, сочетающий приёмы реального конструирования с методами исследования операций. Проект самолёта должен обеспечить достижение заданных Тактико-Технических Характеристик (высота, скороподъёмность, маневренность, вооружённость и т.д.), за что отвечает функционирование отдельных подсистем.

Разработанные вычислительные комплексы позволили производить поиск Паретовских точек в пространстве критериев ТТХ, и Главный конструктор (оперирующая сторона) получил десятки эффективных наборов паретовских вариантов обликов, неулучшаемых по набору ТТХ с выбранной компоновочной схемой, и мог далее принимать решения на основе своих содержательных представлений.

Формально, он мог улучшать свои критерии на паретовском множестве отдельных критериев.

Водохозяйственная система - технико-экономическая система, а не техническая и проектировать её сложнее. Так же, как и техническая, она оценивается по многим показателям качества, но производственные и биологические процессы изучены хуже.

Водохозяйственная система принципиально иерархична, составляющие её подсистемы физически разнородны и управляются человеческими коллективами со своими интересами и своей информированностью.

Это вносит дополнительные трудности, которые отражаются в структуре математического обеспечения автоматизации проектирования.

При разработке сложных водных проектов (Генсхемы страны и региона, Схемы бассейна крупной реки) главный инженер проекта выполняет на верхнем уровне проектирования координирующую роль,- он распределяет плановые задания по выпуску продукции, назначает ограничения по ресурсам и ставит цели проектных проработок перед отделами, производящими

трудоемкие расчеты на нижних уровнях иерархии проектирования.

Имитационная диалоговая система проектирования –это полная модель детально описывающая объект управления (источники водных ресурсов, с аграрное производство, гидроэнергетика, рыбное хозяйство, судоходство и т.д.)

Её обслуживают упрощенные модели (буферный блок), на них проводятся поверочные расчёты для согласования отдельных частей с общей концепцией, модели второго уровня входят в буферный блок, и на их основе главный инженер проекта осуществляет завязку проекта.

Тем самым реализуется синтез иерархической структуры математического обеспечения.

Для иллюстрации.

Задачи поиска Парето-оптимальных решений ирригационно-энергетического комплекса имеют вид задачи типа Γ_1 *двух участников* (ирригация и энергетика) при условии благожелательности: построение эффективных точек в пространстве выпусков с/х продукции потребления $\boldsymbol{\alpha}$, кормов $\boldsymbol{\beta}$ и выработки электроэнергии $\boldsymbol{E}$ сводится к следующей задаче

$$E^{\text{opt}} = \max_{\{\lambda_t\}} \max_{x \in X(\lambda)} \max_{\{A_t, Q_t\}} E$$

$$\min_{x;\{A_t,Q_t\}} \sum_{t=0}^{T-1} \lambda_t A_t$$

$$Lx \le l, Px \ge \alpha, \ Bx \ge \beta,$$

$$V_t x \le A_t, \ t = 0,1,\ldots,T-1,$$

$$W_{t+1} = W_t + R_t - A_t - I_t,$$

$$W_{t+1} = W_t + R_t - A_t - Q_t - I_t,$$

$$A_t = V_t x,$$

$$W^- \le W_t \le W^+,$$

$$Q^- \le Q_t \le Q^+,$$

$$0 \le A_t \le A^+$$

где $\boldsymbol{x}$- вектор площадей под культурами, $\boldsymbol{A_t}$ - вектор подачи водных ресурсов для ирригации, матрица $\boldsymbol{L}$ определяется способом использования земель и их трансформацией, $\boldsymbol{l}$ - вектор ограничений на земли, $\boldsymbol{P}$, $\boldsymbol{B}$ – матрицы выхода продукции потребления и кормов с единицы площади, $\boldsymbol{V_t}$ - матрица поливных норм, $\boldsymbol{W_t}$ – текущий объем водохранилища, $\boldsymbol{\lambda_t}$ – коэффициенты свертки водопотребления, $\boldsymbol{Q_t}$ – попуски из водохранилища в момент времени $\boldsymbol{t}$, векторы ($\boldsymbol{\alpha}$, $\boldsymbol{\beta}$) – уровни обеспечения продукцией и

кормами, $X(\lambda)$ – множество решений задачи размещения при минимизации водопотребления.

Несмотря на разнородность исходных содержательных посылок, общим для сформулированных Проектов является иерархичность структуры системы моделей, входящих в математическое обеспечение. Это предопределило единство методического подхода исследования операций и математического аппарата, развитого в рамках информационной теории иерархических систем.

И влияние идей НН и ЮБ на методологию и на общую стратегию познания реальных объектов и организацию разработок было несомненным и существенным.

Таким образом, общий системный подход проявился в разработке теоретико-игровых математических моделей сложных систем с иерархической структурой, методов их анализа и способов использования на практике.

3. Современность. Блокчейн платформы

Во всех платформах Таблицы наличествует МОДЕЛЬ.

Это модель очевидно теоретико-игровая, всегда имеются участники, её построение и анализ дело исследователей операции.

Она иерархична, поскольку верхний уровень (центр) - это созидатель платформы, который формулирует и поддерживает правила игры (в чьих интересах ведёт разработку исследователь операций). Конструкция находится в полном соответствии с идеологией Ю.Б. Гермейера. И вообще с отечественной теорией проектирования

При классификации информационных систем принимаются во внимание следующие обстоятельства: Централизация vs Де-Централизация; публичная/приватная система (защита и доступ); облако или распределённые реестры.

И здесь теория ЮБ абсолютна и то, что говорил Рапопорт о сложности и глубине и децентрализации докатилось и до Западных исследователей и со стороны финансовых инструментов, денег и со стороны организации, что демонстрирует проект Ethereum (Эфириум).Если явление обменов в человеческом обществе

Сравнение платформ для построения блокчейн-сетей*

ДОМ РФ @BLOCKCHAINRF ТЕЛЕГРАМ-КАНАЛ

*На основе открытых источников

ethereum

Описание: Самый популярный проект в мире для создания публичных блокчейн-приложений. Работает глобальная сеть для создания решений, доступных во всем мире.

Целевая аудитория: создание **публичных** решений с открытыми данными.

Разработчики: Ethereum Foundation + большое открытое сообщество

Особенности: Самое большое сообщество разработчиков с высокой компетенцией по знанию платформы. Простота платформы. Смарт-контракты являются частью неизменной сети.

Модель сети: одноранговая сеть, все участники равны.

Подключение участников: любой может стать участником сети

Риски: риск получение контроля злоумышленником над всей сетью при достаточной мощности. Отсутствует контроль над списком участников. Обязательный майнинг. Ограничение на максимальную сложность логики смарт-контрактов.

Проекты:
1. Проект правительства Москвы «Активный гражданин»
2. Проект удаленной идентификации – IDChain (РосЕвроБанк, Microsoft)
3. Цифровой аккредитив (ВЭБ)
4. Проект по обмену реквизитами банков (банк «Открытие», банк «Ак Барк», Сбербанк, АФТ, ВТБ)
5. Факторинг. (М.Видео, Сбербанк)

Мастерчейн

Описание: Закрытая платформа на базе модификации протокола Ethereum, с доработками под законодательство РФ. ГОСТ шифрование.

Целевая аудитория: платформа для финансового сектора и коммерческих организаций, соответствует законодательству РФ.

Разработчики: Ассоциация ФинТех.

Особенности: ГОСТ подпись и шифрование (аттестация в 2018). Готовые и востребованные рынком ФинТех продукты по модели *As a Service*. Майнинг у ограниченных участников

Модель сети: одноранговая сеть с управляемым доступом.

Подключение участников: администратором сети.

Риски: Возможное отставание по версии, из-за необходимости получать обновлений от проекта Ethereum, в том числе, обновления безопасности. Закрытое развитие платформы. Обязательный майнинг. Ограничение на максимальную сложность логики смарт-контрактов.

Проекты:
1. Проект Электронная Закладная (децентрализованный депозитарный учет закладных) - Сбербанк, АФТ, АИЖК
2. Проект KYC (Know Your Customer) - Обмен информацией о физических лицах между участниками сети (Банк Открытие, АФТ)
3. Распределенный реестр цифровых банковских гарантий (ВТБ, АФТ)
4. Цифровой аккредитив (Альфа-Банк, АФТ)

HYPERLEDGER Fabric

Описание: Открытая платформа от мирового разработчика для организации коммерческих взаимодействий со строго регулируемым списком участников.

Целевая аудитория: коммерческий сектор. Ведение доверенных распределенных баз данных.

Разработчики: консорциум *Hyperledger*.

Особенности: Возможность настройки нескольких блокчейн - сетей, используя один клиент. Легкое обновление логики смарт-контрактов владельцем смарт-контрактов. Легкое администрирование списка участников сети через выдачу и отзыв сертификатов. Отсутствует майнинг. Гибкая балансировка нагрузки.

Модель сети: *многоролевая*: пользователи сети, администратор сети (УЦ); узлы – валидаторы операций над своей зоной ответственности (конкретные смарт-контракты, операции над конкретными сущностями в БД (акции, облигации, денежные переводы); обслуживающий сервис для снижения нагрузки на простых участников.

Подключение участников: через выдачу сертификатов удостоверяющим центром

Риски: низкая компетенция специалистов в РФ и малый размер сообщества.

Проекты:
1. Платформа по выпуску облигаций (НРД)
2. Системы дистанционного банковского обслуживания финансовых институтов (Сбербанк)

EXONUM

Описание: Открытый фреймворк, для разработки полноценных приложений с использованием распределенной БД.

Целевая аудитория: Для разработки публичных и частных сетей. С доработкой платформы под каждого заказчика.

Разработчики: компания BitFury.

Особенности: Гибкость в работе с внешними источниками данных. Позволяет создавать как публичные так и приватные решения. Контроль участников в сети через голосование. *Смарт-контракты* реализуются отдельно на каждом узле, в сети регистрируется описание смарт-контракта, условие для успешного выполнения контракта – идентичная реализация у большинства валидаторов. Отсутствует майнинг. Фиксация среза базы данных.

Модель сети: *многоролевая*: легкий клиент для удаленной работы с базой данных; полный клиент для хранения базы данных; ограниченная группа лиц, именуемые «узлы-валидаторы» для исполнения транзакций, контроля изменений в базе данных и контроля списка участников через голосование.

Подключение участников: методом голосования среди привилегированных участников сети.
Риски: Риск рассинхронизации версий клиента.

Проекты:
1. Проект ДДУ, взаимодействие Росреестр-Фонд(АИЖК)
2. Регистрация прав собственности (NAPR, Грузия)
3. Цифровой контракт (ВЭБ)
4. Третейская оговорка – прототип (Сбербанк)

corda

Описание: Платформа для обмена B2B сообщениями/уведомлениями для технической и юридической фиксации фактов в децентрализованной системе. Юридическая фиксация подкрепляется автоматическим созданием текстового договора и его подписанием юридически значимыми электронными подписями участников.

Целевая аудитория: участники финансового сектора, операции по учету активов, проведению финансовых сделок в закрытом канале.

Разработчики: консорциум R3: Консультанты: Barclays, Bank of America, HSBC, Citi, Royal bank of Canada и другие.

Особенности: Работа в формате утверждения фактов, а не в режиме базы данных. Содержание сообщений открываются только списку участников и, при необходимости, регулятору. При правильной работе формирует связи между созависимыми объектами. Высокая гибкость. Отсутствует майнинг.

Модель сети: *многоролевая*: *пользователи* сети, *пользователи*, подключаемые для выполнения разовой валидации, *оракулы* – узлы, ответственные за валидацию информации из внешней среды (курс валюты по ЦБ, мировое время и т.д.), *нотариусы* – необязательные участники сети, независимые валидаторы сети; администратор участников сети

Подключение участников: через выдачу сертификатов удостоверяющим центром

Риски: узконаправленность платформы: финансовый коммерческий сектор

Проекты: около 50 проектов
1. MarcoPolo для оптимизации торгового финансирования
2. HQLAx - биржа токенизации высоколиквидных активов

для западных коллег выросло до формирования направления «институциональной экономики», то для нас это было просто популяризация , популярное изложение сложных конструкций ясными, доходчивыми словами, с примерами интересных жизненных ситуаций. Брошюра: Ватель И.А., Ерешко Ф.И. «Математика конфликта и сотрудничества»,1973.

Во времена 1970-2016 гг. на Западе создаётся теория контрактов (процессах установления цены и мнение АБ Раппорта о школе Гермейера) и торжество с Нобелем в 2016, а в России уход ЮБ Гермейера и с 1991 г. отсутствие интереса к масштабным прикладным проектам.

Проект БИТКОИН Этот реальный проект приводится для иллюстрации иерархичности структур современных цифровых платформ.

Проект, по сути, – это организация экономической деятельности группы лиц, первоначально, в своей задумке создаваемый как вариант платёжной системы для группы частных лиц, действующих децентрализовано, преобразовался в своей последующей реализации в проект, ориентированной на увеличение богатства этих лиц путём производства цифрового продукта (биткоина), имеющего цену на мировом рынке.

В проекте биткоин принимает участие динамическая коалиция (члены приходят, уходят). Участники входят в коалицию, получая исходное программное обеспечение от Ядра биткоина, начинают его использовать автономно, принимая условия членства в сообществе Проекта Биткоин.

Проект состоит из следующих блоков.

Блок производства продукта (майнинг, proof-to-work). При этом решается задача поиска параметра *nonce* в неравенстве $h(block, nonce) \leq d$, где d задаётся алгоритмически по заданной известной всем формуле, h-криптографическая хэш-функция sha256, утверждённая Бюро стандартов США, *block* –заданная характеристика предыдущей записи участника.

Блок использования продукта (транзакции), задаётся процедурами обмена цифрового продукта на продукты и услуги участников Коалиции внешнего мира.

Блок хранения продукта и транзакций, процедура ведения криптографически защищённых распределённых реестров (технология блокчейн).

Для того, чтобы проиллюстрировать игровые задачи, которые там возникают, приведём выдержку из Принстон-лекций.

1. Власть у разработчиков ядра – они пишут правила и почти все пользуются их кодом.

2. Власть у майнеров – они пишут историю и решают, какие транзакции верны (валидны). Если майнеры решат следовать определённому своду правил, практически все будут вынуждены подчиниться.

3. Власть у инвесторов – они покупают и хранят биткоины, так что именно инвесторы решают, что у биткоина есть ценность. Можно даже сказать, что если разработчики контролируют консенсус правил, а майнеры – консенсус истории, то инвесторы контролируют консенсус ценности.

4. Власть у продавцов и покупателей – они формируют первичный спрос на биткоин.

5. Власть у платёжных операторов – именно они проводят транзакции.

Чтобы быть успешной, системе Биткоин необходимы все формы консенсуса – стабильная книга правил, написанная разработчиками, майнинговая мощность, инвестиции, участие покупателей и продавцов и платёжные сервисы, которые их поддерживают.

6. Фонд биткоина (The Bitcoin Foundation).

Есть лишь один игрок, напрямую отвечающий за управление биткоином – Фонд биткоина. Он был основан в 2012 в качестве некоммерческой организации и играет две основные роли – финансирование некоторых разработчиков ядра за счёт средств фонда, чтобы те могли работать полный рабочий день над разработкой ПО, и проведение переговоров с властями, особенно с правительством США, в качестве «голоса биткоина».

7. Группа – **Коинцентр (Coin Center)** была организована в сентябре 2014 г. со штаб-квартирой в городе Вашингтоне, и взяла на себя одну из ролей Фонда – а именно работу с властями. Коинцентр действует как научная организация.

4. Централизация vs Децентрализация

Актуальность проблематики децентрализации в связи с активным развитием цифровых платформ привлекла наше внимание к анализу этого вопроса с позиций исследования операций для группы участников, объединившихся для решения некоторой общей задачи.

Настоящие результаты возникли на основе идей Ю.Б. Гермейера и Н.Н. Моисеева, исследуется вопрос о целесообразности децентрализации управления в зависимости от объема доступной оперирующей стороне информации о «внешней среде». Эффективность управления оценивается максимальным гарантированным результатом оперирующей стороны.

Рассматривается следующая модель приятия решений в условиях неопределенности. Управление рассматриваемой системой осуществляется путем выбора управления w из множества W, на результат управления влияет значение неопределенного фактора α из множества A, выбор которого не контролируется лицом, принимающим решение. Целью управления является максимизация значения $g(w,\alpha)$ функции $g: W \times A \to \mathrm{R}$ (как обычно R – множество действительных чисел). Множество W может быть представлено, как декартово произведение $W = U \times V^1 \times V^2 \times ... \times V^n$.

Модель централизованного управления. Будем считать, что Центр может получать достоверную информацию о реализовавшемся значении неопределенного фактора α, но объем информации, которую он способен получить и своевременно обработать ограничен величиной l бит информации. Выбор содержания этой информации – это право Центра. Поскольку Центру доступны l бит информации, эта информация может быть закодирована словами $s = (s_1, s_2, ..., s_l)$, где каждый символ s_i, $i = 1, 2, ..., l$ принадлежит множеству $\{0,1\}$. Таким образом, все сообщения о значении неопределенного фактора, которые Центр может получить,

принадлежат множеству $S=\{0,1\}^l$ (декартовой степени множества $\{0,1\}$).

Максимальный гарантированный результат Центра может быть записан в виде

$$R_0 = \max_{(w_0,w_1...,w_{m-1})\in W^m} \min_{\alpha\in A} \max_{s=0,1,...,m-1} g(w_s,\alpha).$$

Модель децентрализованного управления. Рассмотрим иную схему управления той же системой. Предположим, что Центр передоверяет выбор управления $v^i \in V^i$ некоторому агенту, которого в дальнейшем будем называть агентом i ($i=1,2,...,n$). Согласно одному из предположений информационной теории иерархических систем (Гермейер Ю.Б, Моисеев Н.Н.) у такого агента при этом появятся собственные интересы. Интересы агента i описываются стремлением к максимизации функции $h^i(u,v^i,\alpha)$ (т.е. не зависят от выборов других агентов).

Право выбора управления $u\in U$ Центр оставляет за собой, и до окончательного выбора своего управления он может рассчитывать на получение l бит информации о неопределенном факторе, и содержание этой информации вправе выбирать он сам.

Если Центр выберет управление u_s, и реализуется значение неопределенного фактора α, то агент i может выбрать любое управление из множества

$$E^i(u_s,\alpha)=\left\{v^i \in V^i : h^i(u_s,v^i,\alpha)=\max_{\omega^i\in V^i} h^i(u_s,\omega^i,\alpha)\right\}$$

Максимальный гарантированный результат Центра в рассматриваемой модели равен

$$R_1 = \sup_{(u_0,u_1,...,u_{m-1})\in U^m} \min_{\alpha\in A} \max_{s=0,1,...,m-1} \min_{v^1\in E^1(u_s,\alpha)} ...$$

$$... \min_{v^n\in E^n(u_s,\alpha)} g(u_s,v^1,v^2,...,v^n,\alpha),$$

Сравнение двух способов управления. Заметим, что ответ существенным образом зависит от того, насколько хорошо интересы агентов согласованы с интересами Центра. Начнем

рассмотрение со случая, когда интересы Центра и агентов ``совпадают``, а именно $g(u,v^1,v^2,...,v^n,\alpha)=\sum_{i=1}^{n}h^i(u,v^i,\alpha)$.

В этом ***случае*** максимальный гарантированный результат Центра при децентрализованном способе управления равен

$$R_1=\max_{(u_0,u_1,...,u_{m-1})\in U^m}\min_{\alpha\in A}\max_{s=0,1,...,m-1}\max_{(v^1,v^2,...,v^n)\in V^1\times V^2\times...\times V^n}g(u_s,v^1,v^2,...,v^n,\alpha).$$

При этом в централизованном способе

$$R_0=\max_{(w_0,w_1...,w_{m-1})\in W^m}\min_{\alpha\in A}\max_{s=0,1,...,m-1}g(w_s,\alpha).$$

Когда интересы агентов и Центра ``противоположны``, т.е. $g(u,v^1,v^2,...,v^n,\alpha)=-\sum_{i=1}^{n}h^i(u,v^i,\alpha)$ ситуация обратная. В этом случае

$$R_1=\max_{(u_0,u_1,...,u_{m-1})\in U^m}\min_{\alpha\in A}\max_{s=0,1,...,m-1}\min_{(v^1,v^2,...,v^n)\in V^1\times V^2\times...\times V^n}g(u_s,v^1,v^2,...,v^n,\alpha).$$

$$R_0=\max_{(w_0,w_1...,w_{m-1})\in W^m}\min_{\alpha\in A}\max_{s=0,1,...,m-1}g(w_s,\alpha).$$

Будем обозначать максимальные гарантированные результаты Центра при централизованном и децентрализованном способах управления через $R_0(l)$ и $R_1(l)$ соответственно.

Сразу же можно отметить, что при увеличении l множество стратегий Центра (в обеих моделях) расширяется. Поэтому обе величины $R_0(l)$ и $R_1(l)$ с ростом l не убывают.

Сравнение этих величин удобно начать с рассмотрения ``предельного`` случая, когда Центр в момент выбора своего управления точно знает значение неопределенного фактора. В этом случае его максимальный гарантированный результат при централизованном способе управления равен

$$R_0(\infty)=\min_{\alpha\in A}\max_{u\in U}\max_{v^1\in V^1}\max_{v^2\in V^2}...\max_{v^n\in V^n}g(u,v^1,v^2,...,v^n),$$

а при децентрализованном составит

$$R_1(\infty)=\min_{\alpha\in A}\max_{u\in U}\min_{v^1\in E^1(u,\alpha)}\min_{v^2\in E^2(u,\alpha)}...\min_{v^n\in E^n(u,\alpha)}g(u,v^1,v^2,...,v^n).$$

Следовательно, $R_0(\infty) \geq R_1(\infty)$, и опять-таки в общем случае неравенство строгое.

Разумеется, при любом l справедливы неравенства $R_0(l) \leq R_0(\infty)$ и $R_1(l) \leq R_1(\infty)$.

Таким образом, если выполняется неравенство $R_0(\infty) > R_1(\infty)$, то при достаточно больших l будет справедливо неравенство $R_0(l) > R_1(l)$.

Аналогично рассмотрим случай , когда Центр не располагает информацией, т.е. l =0. Здесь реализуется случай $R_0(l) < R_1(l)$ при малых l.

Теорема. Если интересы агентов «плохо согласованы» с интересами Центра, то всегда выгоднее централизованное управление. Если же интересы Центра и агентов «хорошо согласованы», то при больших значениях l выгоднее централизация управления, а при малых значениях l предпочтительнее децентрализованное управление.

Литература

1. ГЕРМЕЙЕР Ю.Б. *Об играх двух лиц с фиксированной последовательностью ходов . Докл. АН СССР,* **198**:5 (1971), 1001–1004
2. ГЕРМЕЙЕР Ю.Б., МОИСЕЕВ Н.Н. *О некоторых задачах теории иерархических систем*. В кн.: Проблемы прикладной математики и механики. М., Наука, 1971. с. 30-43.
3. ГЕРМЕЙЕР Ю.Б. *Игры с непротивоположными интересами*. М.: Наука, 1976. – 328 с.
4. КУКУШКИН Н.С. *Роль взаимной информированности сторон в играх двух лиц с непротивоположными интересами*, ЖВМ и МФ, М., 1972, №4, с. 1029-1034
5. ВАТЕЛЬ И.А., ЕРЕШКО Ф.И. *Математика конфликта и сотрудничества*. М.: Знание, 1973. – 64
6. ВАТЕЛЬ И.А., ЕРЕШКО Ф.И. *Игры с иерархической структурой*, Математическая энциклопедия, т.2, М., 1979, с.478-482.

7. ВАТЕЛЬ И.А., МОИСЕЕВ Н.Н. О моделировании хозяйственных механизмов, Экономика и мат. методы, т.13, вып.I, 1977, с. 16-30.
8. ВАТЕЛЬ И.А., ЕРЕШКО Ф.И., КОНОНЕНКО А.Ф. *Игры с фиксированной последовательностью ходов и иерархические системы управления в экономике*. В сб. Методы оптимизации и их приложения. Иркутск, 1974, с. 86-99.
9. ЕРЕШКО Ф.И., ЗЛОБИН А.С. *Алгоритм централизованного распределения ресурсов между активными подсистемами*, Экономика и мат. методы, 1977, №4, с. 703-713.
10. ГЕРМЕЙЕР Ю.Б., ЕРЕШКО Ф.И. *Побочные платежи в играх с фиксированной последовательностью ходов*. ЖВМ и МФ, 1974, №6, с. 1439-1450.
11. ЕРЕШКО Ф.И. *Иерархические игры и их применение в экономических исследованиях*. В сб. Оптимизация 30 (47), Новосибирск, 1982, с. 71-74.
12. МОИСЕЕВ Н.Н. *Информационная теория иерархических систем* // Труды I Всесоюзн. конф. по исследованию операций. Минск: 1974. с. 95-99.
13. БУРКОВ В.Н. Основы математической теории активных систем. М.: Наука,1977. – 255 с.
14. НОВИКОВ Д.А. *Теория управления организационными системами*: Учебное пособие. М.: МПСИ, 2005. – 584 с.
15. ЕРЕШКО Ф.И. *Размышления на тему технологии блокчейн*. Цифровая экономика. 2018, №4. С. 24-30.
16. ANTONOPOULOS, ANDREAS M. (2014). *Mastering Bitcoin. Unlocking digital cryptocurrencies*, O'Reilly Media, Inc., – 272 p.
17. NARAYANAN A., BONNEAU J., FELTEN E., MILLER A., GOLDFEDER S.. *Bitcoin and cryptocurrency technologies : a comprehensive introduction*. Princeton : Princeton University Press, 2016. – 331 p.

https://en.wikipedia.org/wiki/Decentralization

19. ГОРЕЛОВ М.А. *Максимальный гарантированный результат в иерархических играх* // Управление большими системами. Вып. 67. М.: ИПУ РАН, 2017. С. 4 - 31.
20. ГОРЕЛОВ М.А., ЕРЕШКО Ф.И. О *моделях централизации и децентрализации управления в цифровом обществе*.

Монография "Контуры цифровой реальности. Гуманитарно-технологическая революция и выбор будущего"/Под ред. В.В. Иванова, Г.Г. Малинецкого, С.Н. Сиренко.- М.: Ленанд. 2018. - 344 с.. С. 187-202. ISBN 978-5-97105348-4

21. M.A. GORELOV AND F.I. ERESHKO, “*Awareness and Control Decentralization*,” Automation and Remote Control, 2019, vol. 80, issue. 6, pp. 1063–1076.