

УДК 004.02

Е.В. Саломатина

Ресурсный подход к понятию «умный город»

Проблемы эффективного распределения ресурсов требуют своего решения в различных сферах деятельности человека. Увеличение численности и размеров городских агломераций, выявление и решение возникающих при этом проблем обуславливают необходимость рационального управления городской системой. В концепции умного города можно выделить несколько ключевых моментов, одним из которых является оптимальное распределение ресурсов на базе инфраструктуры информационно-коммуникационных технологий. В работе приводится содержательная постановка прикладной задачи и строится общая математическая модель проблемы распределения ресурсов в иерархической системе.

Ключевые слова: инфраструктура информационно-коммуникационных технологий, умный город, социотехническая система, умные ресурсы, Интернет вещей, оптимальное распределение ресурсов.

doi: 10.21293/1818-0442-2016-19-3-115-120

Глобальным трендом нашего времени является продолжающаяся во всём мире миграция населения из сельской местности в города. Особенно быстрые темпы урбанизации характерны для стран с низким и средним уровнем дохода. По данным Департамента ООН по экономическим и социальным вопросам, чуть более половины населения мира живёт в городах, и эта цифра, как ожидается, увеличится до двух третей к 2050 г. [1] (рис. 1). Увеличение численности и размеров городских агломераций, выявление и решение возникающих при этом проблем обуславливают необходимость рационального управления городской системой.

Город является сложной социально-экономической системой, в которой должен быть сохранен баланс интересов и жителей, и городских властей, и управляющих, и ресурсоснабжающих организаций.

Благодаря преимуществам, предоставляемым совместным использованием разнообразных инфраструктур (информационной, транспортной, социальной, экономической и др.), города развиваются в экономическом и социальном плане. Но с каждым годом развитие городов порождает громадное количество проблем: обеспечение водой, электроэнергией, питанием, жильём, транспортом и др. Многие страны ставят перед собой задачи реализации проектов умных городов (цифровой город, интеллектуальный город, Smart City, Data-driven city). Но не существует единого подхода к понятию «умного» города. В основе каждого лежат ключевые показатели эффективности, которые выдвигаются самими городами: забота об окружающей среде, энергоэффективность, безопасность, удобство, имидж, всеобщая автоматизация и т.д.

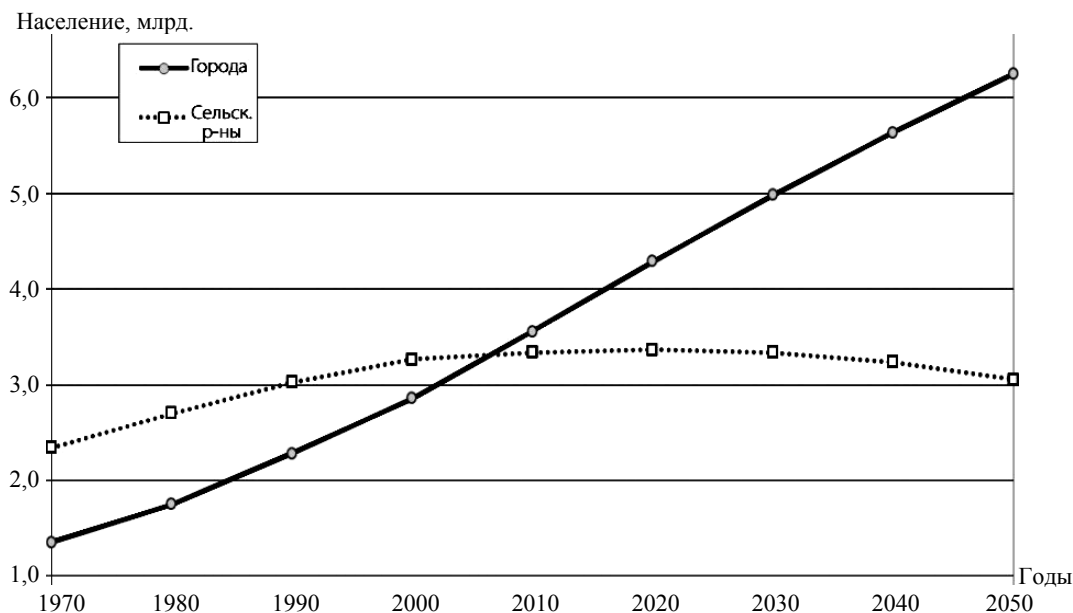


Рис. 1. Оценочная численность городского и сельского населения, 1970–2050 годы.

Источник: ООН, мировая демографическая ситуация, 2014

European Innovation Partnership on Smart Cities and Communities предлагает умные города рассматривать как системы людей, взаимодействующих и

использующих потоки энергии, материалов, услуг и финансов для стимулирования устойчивого экономического развития, обеспечения высокого качества

жизни. В процессе городского планирования и управления потоки и их взаимодействия становятся интеллектуальными путем стратегического использования информационно-коммуникационной инфраструктуры и услуг, которые в свою очередь реагируют на социальные и экономические потребности общества [2].

В отчете Smart cities (Preliminary Report 2014) Технического комитета ISO/IEC JTC 1 приводятся несколько определений умного города [3]:

- это новая концепция и новая модель, которая применяет новое поколение информационных технологий, таких как Интернет вещей, облачные вычисления, Большие данные и географические информационные системы, в целях содействия планированию, строительству, управлению и умным услугам городов;

- это термин, обозначающий эффективную интеграцию физических, цифровых и человеческих систем в искусственной среде для обеспечения устойчивого, процветающего и инклюзивного будущего для своих граждан;

- это инновационный город, который использует информационные и коммуникационные технологии (ИКТ), а также другие средства, чтобы улучшить качество жизни, эффективность городской эксплуатации и услуг, а также конкурентоспособность, гарантируя, что удовлетворяет потребности нынешнего и будущих поколений относительно экономических, социальных и экологических аспектов.

Умный город является динамической системой, использующей большое количество разнообразных ресурсов (человеческих, социальных, технических и др.). Виктор Чернышёв в своём докладе определил умный город как «комплекс программно-технических решений и организационных мероприятий, направленных на эффективное использование всех видов ресурсов (электричество, вода, газ/тепло, пространство, время...) и создающих условия для удобного пребывания в городе, комфортного проживания и ведения бизнеса» [4]. В европейских проектах умных городов подчёркивается важность социального и человеческого капитала, в том числе уровня и качества образования людей, творческого потенциала, наукоемких рабочих мест, сотрудничества между заинтересованными сторонами [5, 6].

Инфраструктура умного города

Более 80% мирового ВВП производится в городах. Городская инфраструктура является основой для существования и развития города. Состояние городской среды в умном городе определяется не просто наличием инфраструктуры, а оптимальным распределением разнообразных ресурсов на ее базе. Умный город как социотехническая система состоит из небольших, автономных, неуклонно повышающих свой интеллектуальный уровень систем (ЖКХ, транспорт, здравоохранение, государственные услуги и др.). Системы умного города взаимосвязаны и взаимозависимы, различные функциональные компоненты могут одновременно использоваться во

многих подсистемах. Общий интеллект города равен сумме интеллектов, составляющих ее систем, умноженной на синергетический эффект.

К. Майнцер называет систему «умной», если она в состоянии эффективно и самостоятельно решать более или менее сложные задачи. Степень интеллекта обуславливают измеряемые, не зависящие от деятельности человека величины: а) степень самостоятельности (автономии) системы; б) степень эффективности метода решения проблемы и в) степень сложности проблемы [7].

Достижения в области информационных и коммуникационных технологий (ИКТ) открывают окно возможностей для решения огромных проблем, с которыми сталкиваются современные города. Ключевым моментом умного города являются умные технологии, которые позволяют эффективно управлять ресурсами. Умный город использует информационно-коммуникационные технологии, чтобы сделать важнейшие компоненты городской инфраструктуры и его услуги более интерактивными и эффективными. Инфраструктура ИКТ связывает различные инфраструктурные уровни и обеспечивает обмен информацией между ними, оказывает поддержку в продвижении инноваций многим разновидностям инфраструктур, хотя в основном независимо друг от друга. Инфраструктура умного города состоит из физической, цифровой и коммуникационной составляющих. Актуальным является вопрос о возможности интеграции этих инфраструктур на базе использования существующих «умных» ресурсов. Отдельно взятый ресурс невозможно назвать умным, только коллективные взаимодействия ресурсов и их соединения при наличии определенных благоприятных условий порождают умное состояние. Такой подход признает взаимозависимость между городскими системами. Каждый из ресурсов играет двойную роль: с одной стороны, он является вкладом, а с другой – результатом использования. Создается своеобразный непрерывный цикл, который при эффективном использовании ресурсов направлен на развитие городских систем и инфраструктур завтрашнего дня и в конечном итоге обеспечивает повышение качества жизни жителей [8].

Основу ресурсного подхода составляет сбор и анализ данных из источников, внедрённых в физической среде, а также данных, предоставляемых самим гражданами непосредственно, а также косвенно через их поведенческие модели [9–11]. В работе [12] умный город определяется через эффективность, достигаемую на основе интеллектуального управления и интегрированных ИКТ, а также активного участия граждан в развитии города. На сегодняшний день менее 1% от вещей в нашем окружении подключено к Интернету; это составляет около 10 миллиардов из потенциальных 1,5 триллиона вещей. Сложные системы нуждаются в механизмах контроля, чтобы находить баланс. Благодаря технологии Интернет вещей (IoT), городская среда становится более взаимосвязанной и контролируемой. Системы

управления, встроенные в современные технические устройства и состоящие из множества сенсоров и исполняющих устройств, невозможно однозначно отнести к объектам физического или виртуального мира. Технология Интернета вещей интегрирует окружающие предметы с датчиками, которые получают информацию о свойствах предмета или параметрах среды вокруг предмета, преобразуют получаемую информацию к машиночитаемому виду. В дальнейшем эта информация может использоваться для межмашинного или человеко-машинного взаимодействия. IoT путем сбора, обработки и анализа данных, полученных с помощью разнообразных датчиков, обеспечивает систему мониторинга и контроля физического мира [13]. С помощью полученной информации можно автоматически контролировать потоки ресурсов и приспосабливаться к изменениям. Данные могут обрабатываться в режиме реального времени и дополнять традиционные виды информации, что повышает оперативность и качество принятия решений.

Оптимальная модель распределения ресурсов

Задачи распределения ресурсов в сложных системах занимают особое место среди прикладных задач линейного программирования. Поиск эффективных алгоритмов их решения обусловлен важной особенностью моделируемых объектов – большой размерностью. Значимость проблемы определяется также ограниченностью ресурсов и тем, что понятие эффективности ресурсов может быть различным. То есть общая эффективность функционирования сложной иерархической системы зависит как от количества ресурсов, так и от их распределения. Исследование проблем распределения ресурсов проводилось в трудах таких выдающихся ученых, как Е.Г. Гольштейн [14], Л.В. Канторович [15], Д.Б. Юдин [16], В.М. Полтерович [17] и др.

Рассматривается управляемая система, которая под влиянием управляющих воздействий меняет свое начальное состояние. В системе присутствует m элементов (участников) с выпуклыми функциями полезности $f_k(x_k)$, $k = 1, 2, \dots, m$. Участники представлены с различным соотношением ресурсов n и находятся во взаимодействии друг с другом. Состояниями системы будем называть $n \times m$ -мерные векторы $x = (x_1, \dots, x_k, \dots, x_m)$. Из всего множества элементов выделяется группа контролируемых участников α . Процессы перераспределения ресурсов будут допускаться между всевозможными группами по Θ или меньше субъектов, количество одновременно взаимодействующих участников не превосходит некоторого фиксированного числа, меньшего числа всех участников $2 \leq \Theta < m$. Ресурсы в процессе обмена должны переходить к тем субъектам, которые могут их использовать более эффективно. Под эффективным будем подразумевать использование ресурсов именно в необходимых количествах, без формирования излишков. Процесс перераспределения ресурсов представляет некоторое преобразование, пере-

водящее систему из состояния $x^{s-1} = (x_1^{s-1}, \dots, x_k^{s-1}, \dots, x_m^{s-1})$

в состояние $x^s = (x_1^s, \dots, x_k^s, \dots, x_m^s)$ такое, что ресурсы участников, не входящих во множество α , остаются без изменения. В момент времени $s = 0, 1, \dots$ участник обладает набором ресурсов x_k^s , в начальный момент – $x_k^s = x_k^0$. Суммарное количество ресурсов

ограничено и неизменно $\sum_{k=1}^m x_k^s = \sum_{k=1}^m x_k^0$. В результате

решения задачи распределение ресурсов должно соответствовать эффективной схеме функционирования системы при условии выполнения всех ограничений. Среди ограничений задачи могут присутствовать ограничения ресурсного, технологического и/или организационного типа. В иерархических системах ресурсные ограничения накладываются на элементы системы, их связи и на суммарные объемы ресурсов [18].

Вильфредо Парето предложил считать распределение ресурсов экономически эффективным, если ни одно перераспределение не может быть улучшено без ухудшения его у другого участника. Целью данной работы является обобщение результатов [17] на случай, когда перераспределение ресурсов обеспечивает каждому k -му участнику значение целевой функции не меньшее, чем $f_k(x_k^0)$ и хотя бы одному – большее.

Изменение ресурсов для k -го субъекта, участвующего в обмене в момент времени s , соответствует вектору $x_k^s - x_k^{s-1}$. В процессе перераспределения принимается во внимание только информация об ее участниках. Таким образом, в момент $s = 1$ выбирается некоторое множество α_1 участников и совершается сделка, в результате которой система переходит из состояния x^0 в состояние x^1 . Затем выбирается новая группа участников α_2 и осуществляется переход в состояние x^2 и т.д. в результате сделки группа участников α_s перераспределяет свои ресурсы так, чтобы максимизировать сумму полезностей. Ресурсы других участников не изменяются.

Рассматривается задача

$$\left. \begin{aligned} \sum_{k \in \alpha_s} f_k(x_k) &\rightarrow \max, \\ \sum_{k \in \alpha_s} x_k &= \sum_{k \in \alpha_s} x_k^{s-1}, \\ x_k &\geq 0, \quad k \in \alpha_s, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

и x_k^s , $k \in \alpha_s$ является ее решением. В результате обмена сумма полезностей группы участников α_s должна быть максимальной.

В работе [19] показано, что при обмене одним ресурсом решение задачи возможно путем парных сделок. За счет повторения случайных последовательностей парных сделок вида (1) можно добиться оптимального распределения одного ресурса между

всеми участниками. Но при наличии двух ресурсов оптимизирующая последовательность парных сделок уже может не существовать. Пусть имеется два ресурса (u, v) и три участника. Через u_k и v_k обозначим количество ресурсов у k -участника. Вектор \mathbf{x}_k содержит две компоненты $\mathbf{x}_k = (u_k; v_k)$. Предположим, что начальное распределение ресурсов характеризуется табл. 1.

Т а б л и ц а 1
Начальное распределение ресурсов

	1	2	3
f_k	$\min(u_1; v_1)$	$0,4u_2$	$0,4v_3$
u_k	0	1	0
v_k	0	0	1

Видно, что никакие парные обмены в этой ситуации не приводят к увеличению суммарной полезности. Но при одновременной передаче обоих ресурсов первому участнику суммарная полезность возрастает до 1. Таким образом, несмотря на то, что функции полезностей отдельных участников уменьшились, суммарное значение функций полезностей участников увеличилось.

Задачи оптимального распределения ресурсов характеризуются неопределённостью параметров моделей этих задач. Разным моделям могут соответствовать ресурсы различной природы (временные, трудовые, энергетические и др.). Основной причиной неопределённости является случайный характер величин, количественно характеризующих эффективность использования ресурсов. При каких условиях участники обмена рассмотренного выше примера должны согласиться на перераспределение ресурсов, уменьшающее функции полезностей у некоторых участников? Можно предположить, что функции полезностей выражены в одинаковых единицах (например, денежных) и одновременно с процессом обмена производятся денежные расчеты.

Перед сделкой ценность имеющегося у k -го участника количества ресурсов x_k^0 равна $f_k(x_k^0)$, и требуется, чтобы после обмена суммарная ценность выручки была не менее этой величины. Если k -й участник передаёт l -му часть своих ресурсов, то l -й обязывается выплатить ему некоторую часть денег. Пусть $\mathbf{x}_k^0, \mathbf{x}_l^0$ и $\mathbf{x}_k^1, \mathbf{x}_l^1$ – векторы ресурсов соответственно до и после сделки. Уменьшение функции полезности одного из участников перекрывается увеличением функции полезности другого:

$$f_k(\mathbf{x}_k^1) + f_l(\mathbf{x}_l^1) \geq f_k(\mathbf{x}_k^0) + f_l(\mathbf{x}_l^0).$$

Для участников из группы α необходимым и достаточным условием существования решения задачи является следующее неравенство:

$$\sum_{k \in \alpha} f_k(\mathbf{x}_k^1) \geq \sum_{k \in \alpha} f_k(\mathbf{x}_k^0). \quad (2)$$

В результате сделки суммарная полезность возрастает на величину $\sum_{k \in \alpha} f_k(\mathbf{x}_k^1) - \sum_{k \in \alpha} f_k(\mathbf{x}_k^0)$ и может

быть распределена пропорционально заранее заданным коэффициентам $a_k > 0, \sum_{k \in \alpha} a_k = 1$.

В результате в распоряжении l -го участника оказывается суммарный выигрыш:

$$a_l \left[\sum_{k \in \alpha} f_k(\mathbf{x}_k^1) - \sum_{k \in \alpha} f_k(\mathbf{x}_k^0) \right]. \quad (3)$$

Другой способ организации платежей основан на использовании цен. В этом случае l -й участник в результате сделки приобретает право на получение денег в количестве

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i (x_{il}^0 - x_{il}^1). \quad (4)$$

Здесь λ_i – цена i -го ресурса, $i = 1, 2, \dots, n$; x_{il}^0, x_{il}^1 – количества i -го ресурса у l -го участника соответственно до и после сделки. Для того чтобы сделка была выгодна всем участникам, выбор цен λ_i должен обеспечивать выполнение неравенства

$$f_l(x_l^1) + \sum_{i=1}^n \lambda_i (x_{il}^0 - x_{il}^1) \geq f_l(x_l^0) \quad (5)$$

для всех $l=1, 2, \dots, m$. В качестве λ_i можно использовать множители Лагранжа задачи (1).

Сформулируем условия, при которых из любого начального состояния с помощью последовательностей обменов ресурсами вида (1) между Θ участниками можно прийти к оптимуму, дающему решение задачи и максимизирующему сумму полезностей всех участников. Распределение ресурсов, когда ни одна из сделок не даёт положительного приращения суммарной полезности, будем считать тупиковым. Распределение оптимальное в смысле Парето является тупиковым. Однако из рассмотрения примера (табл. 1) следует, что тупиковая точка может и не быть оптимальной. Это обстоятельство связано с дифференциальными свойствами функций $f_k(x_k)$. Дифференцируемость функций $f_k(x_k)$ в точке $x_k^0 = (x_{1k}^0, \dots, x_{ik}^0, \dots, x_{nk}^0)$ означает, что малое приращение Δ_i каждого i -ресурса не зависит от приращений,

получаемых остальными ресурсами, и равна $\frac{df_k}{dx_{ik}} \Delta_i$,

частная производная $\frac{df_k}{dx_{ik}}$ в точке x_k^0 выполняет

роль внутренней цены i -го ресурса для k -участника. В общем случае для каждого фиксированного состояния множество ресурсов образует группы, так что ценность малого приращения каждого ресурса для данного участника зависит от приращения других ресурсов из той же группы и не зависит от приращений остальных ресурсов. Группа ресурсов, обладающая данным свойством, называется комплектом. Если функция полезности определяется как $\min(u; v)$ и $u = v$, то оба ресурса образуют комплект, так как ценность приращения одного из них зависит от того, какое приращение получил другой. Если же

$u = 1, v = 2$, то ценность малого приращения каждого ресурса определяется независимо от приращения другого: увеличение первого ресурса увеличивает на такую же величину функцию полезности; малое изменение ресурса v на величину $\min(u,v)$ не влияет. Поэтому в точке $u = 1, v = 2$ пара ресурсов не образует комплекта. Если все функции полезности дифференцируемы в рассматриваемой точке, то каждый отдельный ресурс составляет комплект.

Предположим, что ни в одной точке максимальное число ресурсов, образующих комплект, не превосходит некоторого числа τ . Очевидно, что $1 \leq \tau \leq n$ (n – число всех ресурсов). Оказывается, что если любая сделка, включающая $\tau + 1$ участника, допустима, то любая тупиковая точка является оптимальной. Отсюда следует возможность оптимально перераспределить ресурсы за счет цепочки взаимодействий, в каждом из которых участвует не более $\tau + 1$ субъекта. В частности, если все функции полезности дифференцируемы, то $\tau = 1$ и для достижения оптимума достаточно парных сделок. Аналогичный вывод имеет место для случая одного ресурса и без условия дифференцируемости.

Оптимум Парето должен выбираться так, чтобы ни одна из функций полезности не убывала, но найдется ли для произвольного начального состояния последовательность сделок, обеспечивающая достижение оптимума Парето для всех участников? Оказывается, что если на каждом шаге допустимы сделки между не более чем $n - 1$ участником, то такая последовательность может не существовать даже при линейных функциях полезности. В качестве примера рассмотрим табл. 2.

Таблица 2

Начальное распределение ресурсов			
	1	2	3
f_k	$u_1 + v_1$	$v_2 + w_2$	$0,2w_3 + u_3$
u_k	1	0	0
v_k	0	2	1
w_k	0	0	3

Видно, что любой парный обмен обязательно ухудшает состояние одного из участников. Например, передача ресурса w от третьего участника второму хотя и увеличивает сумму полезностей, но уменьшает функцию полезностей третьего участника. Второй участник не может компенсировать третьему это уменьшение: единственное, что он может предложить взамен, ресурс v бесполезен для третьего участника. Но путем сделки между тремя участниками можно одновременно улучшить состояние всех, если первый передаст весь свой ресурс третьему, третий – второму, а второй – первому, если в начальном состоянии функции полезности имели вид

$$\begin{aligned} u_1 + v_1 &= 1, \\ v_2 + w_2 &= 2, \\ 0,2w_3 + u_3 &= 0,6. \end{aligned}$$

После сделки функции полезности участников примут вид

$$\begin{aligned} u_1 + v_1 &= 2, \\ v_2 + w_2 &= 3, \\ 0,2w_3 + u_3 &= 1. \end{aligned}$$

Для формирования оптимизирующей последовательности сделок достаточно на каждом шаге выбирать допустимую сделку, которая дает наибольшее приращение суммарной полезности. Такой перебор требует централизованной информации. Очень часто передача всей информации в один центр невозможна или нерациональна, и выделяется специальный участник («центр»), через которого осуществляется координация, при этом непосредственные контакты между участниками отсутствуют.

Выводы

Устойчивая урбанизация требует, чтобы города расширяли необходимую инфраструктуру для водоснабжения и санитарии, энергетики, транспорта, информации и связи; обеспечивали равный доступ к услугам; сохраняли природные активы в пределах города и прилегающих районов. Комплексный подход к городскому планированию и управлению реализуется в рамках концепции умного города, главной целью которой является повышение качества жизни населения не только городов, но и сельских районов. Город рассматривается как единый организм, осуществляющий оптимальное распределение ресурсов на базе взаимосвязанных и взаимозависимых ИКТ-систем. Благодаря технологиям Big Data и IoT городская среда становится более взаимосвязанной и контролируемой. На базе использования существующих «умных» ресурсов возможна интеграция физической, цифровой и коммуникационной составляющих инфраструктуры умного города.

Эффективность функционирования сложной иерархической системы зависит как от количества ресурсов, так и от их распределения. За счет повторения случайных последовательностей парных сделок вида

$$\left. \begin{aligned} \sum_{k \in \alpha_s} f_k(x_k) &\rightarrow \max; \\ \sum_{k \in \alpha_s} x_k &= \sum_{k \in \alpha_s} x_k^{s-1}; \\ x_k &\geq 0, \quad k \in \alpha_s \end{aligned} \right\}$$

можно добиться оптимального распределения ресурсов между всеми участниками. Ресурсы в процессе обмена должны переходить к тем участникам, которые могут их использовать более эффективно.

Необходимое и достаточное условие «осуществимости» сделки можно записать в виде неравенства

$$\sum_{k \in \alpha} f_k(x_k^1) \geq \sum_{k \in \alpha} f_k(x_k^0).$$

Если все функции полезности дифференцируемы в рассматриваемой точке, то каждый отдельный ресурс составляет комплект.

Распределение ресурсов считается целесообразным, если в результате происходит увеличение функции полезности хотя бы одного из участников и

ни для одного из них полезность не уменьшается. Также такое распределение является оптимальным в смысле Парето.

Для существования оптимизирующей последовательности сделок достаточно на каждом шаге выбирать такую допустимую сделку, которая дает наибольшее приращение суммарной полезности.

Благодарности

Выражаю глубокую благодарность своему научному руководителю – академику Национальной академии наук Республики Армения, заслуженному работнику связи РФ, д.т.н. Вильяму Карповичу Сарьяну, за идею и помощь в подготовке данной статьи.

Литература

1. Мировая демографическая ситуация, 2014 год (краткий доклад) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.un.org/en/development/desa/population/publications>, свободный (дата обращения: 03.09.2016).
2. European Innovation Partnership on Smart Cities and Communities – Strategic Implementation Plan, 2013 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ec.europa.eu/eip/smartcities>, свободный (дата обращения: 03.09.2016).
3. ISO/IEC JTC 1 – Smart cities. Preliminary Report 2014 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.iso.org/iso/publication_item.html?pid=PUB100363, свободный (дата обращения: 03.09.2016).
4. Чернышёв В. Умный город: рождение детальной концепции. Презентации участников круглого стола «Умный город 2013: задачи–решения–результаты». Инфраструктура «Умного города» – оптимальные решения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.cnews.ru/articles/umnyy_gorod_rozhdnie_detalnoy_koncepcii, свободный (дата обращения: 03.09.2016).
5. Smart cities in perspective – A comparative European study by means of self-organizing maps / K. Kourtiti, P. Nijkamp, D. Arribas // *Innovation (Abingdon)*. – 2012. – Vol. 25, No. 2. – P. 229–246.
6. Smart cities in Europe / A. Caragliu; C. Del Bo, P. Nijkamp // *Journal of urban technology*. – 2011. – Vol. 18, No. 2. – P. 65–82.
7. Maimor K. KI – Künstliche Intelligenz. Grundlagen intelligenter Systeme. – Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 2003. – 296 С.
8. Саломатина Е.В. Ресурсное взаимодействие // Всерос. науч. конф. «Актуальные проблемы фундаментальных и прикладных наук в современном информационном обществе»; труды 56-й науч. конф. МФТИ. – М.: МФТИ, 2013. – 157 с.
9. Сарьян В.К. Массовые информационно-управленческие сети – основа инфокоммуникационной среды будущего // IV Междунар. отраслевая науч.-техн. конф. «Технологии информационного общества»: Программа научно-технических секций. – М.: МТУСИ, 2010. – С. 6.
10. Назаренко А.П. Способ повышения предсказательного потенциала существующих систем мониторинга и исследование природных ресурсов и промышленных объектов / А.П. Назаренко, В.К. Сарьян, Е.В. Саломатина // II Междунар. конф. «Инжиниринг & телекоммуникации En&T–2015». 18–19 ноября, 2015 г. – М.: МФТИ, 2015. – С. 40–41.
11. Сарьян В.К. Перспективы использования больших данных для определения показателей развития ИКТ / В.К. Сарьян, Н.А. Сущенко // *Труды НИИР*. – 2012. – № 4. – С. 30–35.
12. Pero, ¿Qué es una Smart City? / G. Seisdedos. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.coit.es/archivo-bit/marzo-2012/el-camino-hacia-las-smart-cities-pero-que-es-una-smart-city>, свободный (дата обращения: 03.09.2016).
13. Бутенко В.В. IoT – новая точка развития ИКТ и средство кардинального повышения адаптивных возможностей человека при взаимодействии с ухудшающейся антропогенной средой / В.В. Бутенко, А.П. Назаренко, В.К. Сарьян // Труды 54-й науч. конф. МФТИ: «Радиотехника и кибернетика». 10–30 ноября, 2011 г. – М.: МФТИ, 2011. – С. 11–12.
14. Гольштейн Е.Г. Задачи линейного программирования транспортного типа // Е.Г. Гольштейн, Д.Б. Юдин. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1969. – 324 с.
15. Канторович Л.В. Экономический расчет наилучшего использования ресурсов. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – 345 с.
16. Юдин Д.Б. Экстремальные модели в экономике // Д.Б. Юдин, А.Д. Юдин. – М.: Экономика, 1979. – 288 с.
17. Полтерович В.М. Математические модели перераспределения ресурсов. – М.: АН СССР ЦЭМИ, 1970. – 108 с.
18. Прилуцкий М.Х. Распределение ресурсов в иерархических системах транспортного типа: учеб.-метод. матер. по программе повышения квалификации «Новые подходы в исследованиях и разработках информационно-телекоммуникационных систем и технологий» / М.Х. Прилуцкий, Л.Г. Афраймович. – Нижний Новгород, 2007. – 80 с.
19. Тенисберг Ю.Д. Некоторые модели коллективного поведения в динамических процессах формирования рыночных цен // *Автоматика и телемеханика*. – 1969. – № 7. – С. 137–147.

Саломатина Елена Васильевна

Аспирант каф. электромагнитной совместимости и управления радиочастотным спектром (ЭСЦУРС) Московского технического университета связи и информатики (МТУСИ)
Тел.: +3 737-782-61-81
Эл. почта: salolew@spsu.ru

Salomatina E.V.

Resource approach to the concept of «Smart City»

Problems of efficient allocation of resources need to be addressed in the various spheres of human activity. The increasing in the number and size of urban agglomerations, identifying and resolving arising problems necessitates a rational urban system management. In the concept of smart city there are several key points, one of which is the optimal allocation of resources based on the infrastructure of information and communication technologies. The paper presents a meaningful staging applications as well as describes how a general mathematical model of resource allocation problems in a hierarchical system is built.

Keywords: infrastructure of information and communication technologies, smart city, socio-technical systems, smart resources, Internet of things, the optimal allocation of resources.