

УДК: 658.7

Темпоральные модели в интервальном движении

Temporal approach for solving logistics problems

Дубчак И.А., Руководитель дирекции новых проектов и технологий, РУТ,
E-mail: iri-dubchak@yandex.ru.д.т.н., Москва, Россия

Dubchak I.A., Head of the Directorate of New Projects and Technologies, Russian University of Transport,
E-mail: iri-dubchak@yandex.ru, Moscow, Russia



Аннотация

Цель работы - исследование темпорального подхода для случаев интервального движения. Раскрывается содержание темпоральных меток. Дана краткая систематика темпоральных моделей. Статья вводит ряд понятий ситуационный интервальный анализ, темпоральная импликация, точечное и интервальное движение, интервальная функция. Отмечена условность оптимизации на ограниченных выборках. Показано, что на дискретных ограниченных выборках оптимальное решение заменяется на рациональное или целесообразное решение. Рассмотрены прямоугольные и треугольные модели перевозок. Рассмотрены сплошные и разреженные ситуации перевозок. Описано множество интервалов, на котором производят дискретную оптимизацию. Отмечено связность реальных ситуаций на основе предложенных простых моделей.

Ключевые слова: интервальное движение, треугольные модели, временные метки, темпоральные модели, ситуационный интервальный анализ, временные интервалы, рациональное решение.

Abstract

The article explores the temporal approach applicable to solving logistics problems. Temporal models, temporal relations, temporal marks are considered. The article introduces the concept of "temporal analysis". A taxonomy of temporal models is given. Temporal analysis combines temporal logic and temporal modeling. Temporal cause-and-effect analysis is described as a development of temporal analysis. The content of the concept of temporary uncertainty is revealed. The connection between temporal models and situational models is shown. The features of the use of temporal methods in transport management are described. The features of the use of temporal models in the field of transport are described. The article provides an analysis of time intervals. The concept of local time interval and interval boundaries is introduced. The features of obtaining and using timestamps are described. A formalized description of temporal models is given. The connection of temporal intervals with situations and states of the object is shown. The article gives a formal description of near and distant intervals. Three temporal models of movement are given. The article reveals the content of temporal cause-and-effect analysis. The reasons for its appearance are shown. Methods for reducing temporal uncertainty are described.

Keywords: temporal approach, temporal models, time stamps, temporal cause-and-effect analysis, temporal relations, time intervals. >>>

Введение

Темпоральные модели и методы находят разнообразное применение. При этом они существенно отличаются, хотя название темпоральные является общим. Темпоральные методы чаще связывают с темпоральной логикой [1-3]. Темпоральную логику применяют для спецификации системы реального времени [4], что важно для скоростного движения и кибер-физических систем [5]. Линейную темпоральную логику применяют для сравнительных объяснений [6] и сравнительного анализа. Исследование проблемы моделей, характеризующих высокоуровневое поведение системы на основе трасс наблюдения приводит к проблеме изучения линейной темпоральной логики. (LTL) [7].

Системы управления, удовлетворяющие требованиям временной логики, становятся популярными благодаря их применимости к роботизированным системам и системам беспилотного управления. Однако многие существующие методы управления требуют больших вычислительных ресурсов, особенно когда размер задачи становится слишком большим. Решение такой задачи становится возможным для спецификаций временной логики сигнала [3]. Наряду с темпоральной логикой существуют темпоральные отношения, которые дополняют пространственные отношения при управлении транспортом.

Наряду с темпоральной логикой существуют независимо темпоральные модели. Темпоральные модели аргументом имеют время, но в особой форме. В силу этого большинство временных моделей к темпоральным не относится. Темпоральные модели (ТМ) применяют на транспорте и в логистике. В данной работе показано как их можно применять при организации перевозок и оптимизации перевозок.

Группы темпоральных моделей

Среди множества разнообразных ТМ выделяют следующие группы. Модели медленно меняющихся объектов. Это в первую очередь сооружения с медленными деформациями и осадками. Иногда в эту группу попадают пути с медленным смещением от проектных значений. Эту группу можно охарактеризовать как низко скоростные ТМ. Вторая группа ТМ характеризует быстрое изменение состояния природных объектов [8]. Примером могут служить сели, разливы жидкостей и динамика их распространения на море, динамика пожаров, динамика оползней и селей. Эту группу можно охарактеризовать как скоростные ТМ. Третья группа ТМ связана с управлением объектами транспорта [9, 10]. При этом рассматривается регулярное или штатное движение и не регулярное. Эту группу можно назвать мобильные ТМ.

Регулярное движение характеризуется гладкостью второй производной и неразрывностью траектории. Это группа мобильных ТМ. Их используют в беспилотном движении. Мобильные объекты сами по себе описываются динамическими моделями. Если учесть их ситуационность, то сложность описания возрастает. Внешняя среда

влияет на движение и получается сложная темпоральная картина. Сложность взаимодействия с внешней средой принуждает к применению многоцелевого движения [11, 12]. Темпоральные модели применяют в логистике [13] и в процессах перевозки грузов [14, 15]. Это группа логистических ТМ.

Применения темпоральных моделей происходит в ИТС, в интеллектуальных технологиях [16] и в геотехнических системах [17]. Применение ТМ на транспорте требует использования пространственной информации. Это влечет необходимость применения координатного обеспечения. Для наблюдения подвижных объектов применяют геоинформационный мониторинг [17, 18] и геотехнический мониторинг. Пространственный мониторинг формирует временные данные, которые потом переводят в темпоральные. Необходимо отметить, что многие временные данные, например геоданные, имеют другую структуру по сравнению с темпоральными данными. Главное отличие в наличии временных меток у темпоральных данных. ТМ используют при обновлении цифровых карт. ТМ относят к информационным ресурсам [20] транспорта.

Темпоральные модели хранят в темпоральных базах данных. Однако, в отличие от информации в обычных базах данных, моделирование темпоральных информационных конструкций [21] имеет свои особенности. Оно включает: проектирование темпоральных данных, разработку информационно математических моделей, описывающих изменяющиеся с течением времени объектами, моделирование темпоральных баз данных. Темпоральные базы данных [22] имеют специфику, в которой можно отметить множественность описаний и специальные запросы, Темпоральные модели вносят специфику в пространственные и логические отношения [23]. Существует темпоральная логика и термин «Темпоральная импликация». Ее истинность зависит от момента времени.

Ситуационный интервальный анализ

В практике движения существуют ситуации не точечного, а интервального движения [24]. Точечным называется движение, при котором функция зависит от точечного аргумента, например

$$Y=f(x). \quad (1)$$

Штатное движение подчиняется этой зависимости. Интервальное движение характеризуется не точечным значением, а интервалом значений.

$$Z=f(x_1, x_2). \quad (2)$$

В выражении (2) (x_1, x_2) границы интервала значений для функции Z . Такое движение возникает при задержке движения, когда транспортное средство прибывает не точно по времени, а в течении временного интервала. Например, очередь машин на техосмотр или в снегоплавильный комплекс.

Интервальная модель применяется также в задаче размещения. При этом интервал может быть четким с точными границами и нечетким с размытыми



границами. Рассмотрим четкие границы интервала. Такая задача встречается в управлении перевозками и в логистике. Логистика имеет много вариантов. Доминантой логистики является доставка грузов в требуемое время. При этом не оговаривают, что иногда под требуемым временем понимают допустимый временной интервал, а не точное значение времени.

Логистическая деятельность связана с дискретными потоками. В силу этого возникает задача дискретной оптимизации. Дискретная оптимизация [26] может иметь условный экстремум, отличающийся от глобального экстремума. Это сводит понятие оптимального решения к понятию рационального решения.

Выбор рационального маршрутов, например в условиях мегаполиса или объективной возможной задержки движения, сопряжен с интервальными моделями движения. На тех участках движения, где невозможно стационарное движение, возникает интервальное движение. Простой пример режим окна при ремонте железнодорожных путей. В России окном называют интервал прерывания движения, за рубежом, наоборот, это интервал допустимого движения. В мегаполисе при наличии нескольких пробок, локальных интервалов может быть несколько. Их совокупность создает общий интервал.

Дискретность или интервальность движения [26] возникает по причине того, что участки, по которым допустимо движение есть совокупность интервалов. При этом пространственные интервалы зависят от временных интервалов, то есть от скорости движения. скорость также становится интервальной характеристикой.

Движение в принципе равномерно, но помехи движению стохастические и непредсказуемы. Они делают равномерный поток дискретным и интервальным. В итоге реальная сеть городской доставки состоит из совокупности интервалов. Совокупность таких интервалов образует маршруты перевозки. Маршруты городской транспортной системы требуют рационализации. Эта оптимизация или рационализация использует интервальные функции. Рационализация или выбор рационального решения использует анализ возможных маршрутов.

Следует также иметь в виду, что критерии оптимизации бывают разными: по стоимости, по времени, по минимуму риска, по социальному значению. Кроме того, возможна ситуация учета разных критериев и нахождения компромиссов между ними. Условие оптимизации может быть разным. Это приводит к необходимости выбора разных целесообразных маршрутов для разных критериев оптимальности. Каждый маршрут можно рассмотреть, как информационную ситуацию. Это приводит к ситуационному анализу маршрутов перевозки и интервальной ситуации

Интервальная ситуация описывается через интервальные функции. Интервальные функции используют интервальные переменные. Интервальные функции графически отображают геометрические фигуры: треугольник, прямоугольник, трапеция. Чаще всего реальной ситуации соответствует прямоугольник.

Аналитическая функция описывает точку на плоскости согласно выражению (1). Для нее одному значению (x) соответствует одно значение (y). Эти два значения на плоскости XOY отображаются точкой P (x, y). Возможны

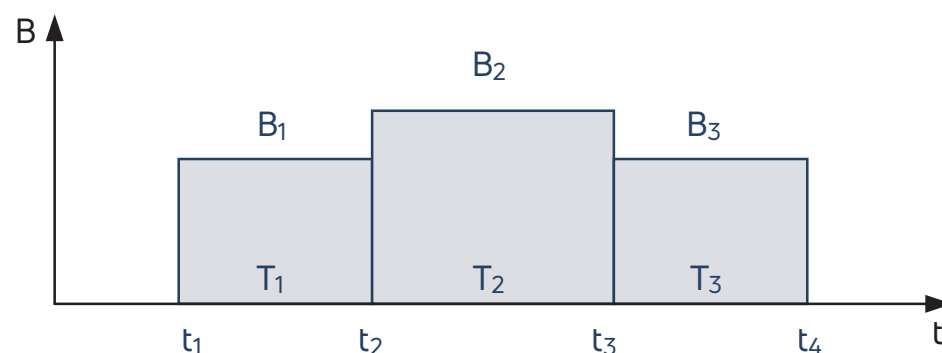


Рисунок 1. Интервальная ситуация

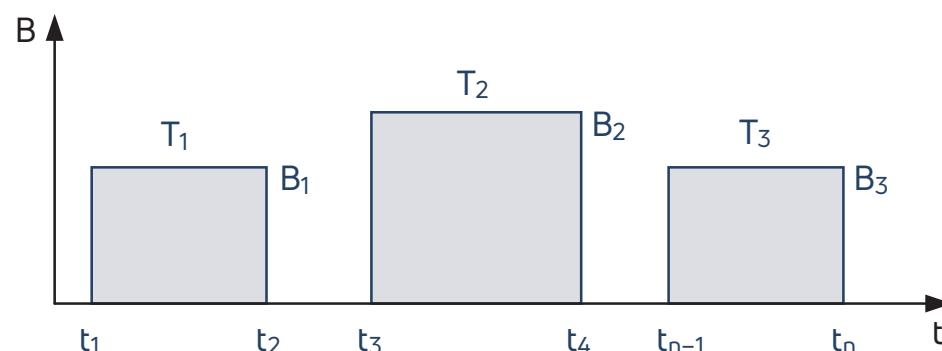


Рисунок 2. Разрывная ситуация движения

разные комбинации интервальных функций B. На рис.1 приведена простая интервальная ситуация. Назовем ее ситуационная модель 1.

Рис.1 показывает, что для прямоугольной модели движения множеству аргументов интервала соответствует одна интервальная функция. По горизонтальной оси отложено время. По вертикальной оси интенсивность перевозок B – количество перевозимого груза за единицу времени. На рисунке приведены три значения интервально функции B_1, B_2, B_3 . Приведенная интервальная функция является постоянной на заданном отрезке времени. Таких отрезков три: $t_1-t_2, t_2-t_3, t_3-t_4$. Для каждого отрезка задается темпоральная метка, которая обозначается большой буквой T_1, T_2, T_3 . Темпоральная метка есть отличительная особенность темпоральных данных. Она определяется как середина временного интервала. То есть

$$T_1=(t_2-t_1)/2; T_2=(t_3-t_2)/2; T_3=(t_4-t_3)/2. \quad (3)$$

Объем перевозок V за каждый интервал равен

$$V_1=B_1 \cdot (t_2-t_1); V_2=B_2 \cdot (t_3-t_2); V_3=B_3 \cdot (t_4-t_3). \quad (4)$$

Общий объем перевозок V_t определится как

$$V_t=B_1 \cdot (t_2-t_1) + B_2 \cdot (t_3-t_2) + B_3 \cdot (t_4-t_3). \quad (5)$$

Средний объем перевозок V_e определится как

$$V_e=[B_1 \cdot (t_2-t_1) + B_2 \cdot (t_3-t_2) + B_3 \cdot (t_4-t_3)] / (t_4-t_1). \quad (6)$$

Выражение (6) есть аналог среднего взвешенного. Общий и средний объем можно определить с использованием темпоральных меток

$$V_t=[B_1 \cdot (T_1-t_1) + B_2 \cdot (T_2-t_2) + B_3 \cdot (T_3-t_3)] \cdot 2, \quad (7)$$

$$V_e=2[B_1(T_1-t_1) + B_2(T_2-t_2) + B_3(T_3-t_3)] / (t_4-t_1). \quad (8)$$

Ситуация на рис.1 характеризует сплошную ступенчатую. Она может соответствовать перевозкам на железнодорожном транспорте на каком-то определенном участке железных дорог, на котором изменяют скоростной режим в разное время или по разным причинам. Возможная разрывная функция, которая показана на рис.2. Она соответствует перевозкам на каком-то определенном участке железных дорог, на котором останавливают движение на некие временные интервалы. Например, на ремонт путей. Назовем эту модель ситуационная модель 2. >>>

Для разрывной модели общий объем перевозок V_t определяется как

$$V_t = B_1(t_2 - t_1) + B_2(t_4 - t_3) + B_3(t_n - t_{n-1}). \quad (9)$$

Средний объем перевозок V_e определяется как

$$V_e = [B_1(t_2 - t_1) + B_2(t_4 - t_3) + B_3(t_n - t_{n-1})] / (t_n - t_1). \quad (11)$$

Общий и средний объем можно определить с использованием темпоральных меток

$$V_t = [B_1(T_1 - t_1) + B_2(T_2 - t_3) + B_3(T_{n-1} - t_{n-1})] \cdot 2, \quad (12)$$

$$V_e = 2[B_1(T_1 - t_1) + B_2(T_2 - t_3) + B_3(T_{n-1} - t_{n-1})] / (t_n - t_1). \quad (13)$$

Выражение (10) аналогично выражению (7) для непрерывной модели, а выражение (13) отличается от выражения (8) большим интервалом времени.

Для рассмотренных примеров можно ввести термин «интервальная информационная ситуация» (ИИС). Эту ситуацию задает совокупность интервальных функций и разрывы или отсутствие разрывов между ними

ИИС использует интервальные переменные. Они характеризуются принадлежностью к определенному интервалу.

$$x_p \in [x_{p1}, x_{p2}]; x_p \in U. \quad (14)$$

Выражение (14) говорит о том, что интервальные переменные принадлежат локальным интервалам $[x_{p1}, x_{p2}]$ и принадлежат множеству интервалов U . Для неразрывной совокупности множество интервалов равно сумме локальных интервалов. Для разрывной функции U больше, чем сумма локальных интервалов.

Рассмотренные случаи с прямоугольной моделью описывают некий средний участок железной дороги, где движение неизменно. На практике при начале движения по всей дороге прямоугольная модель неприемлема. В этом случае прямоугольная модель с постоянной интенсивностью заменяется на треугольную модель с возрастанием перевозок и последующим их падением. Такая ситуация дана на рис.3. Сразу для такой модели сложно построить формальные зависимости. Но если использовать прямоугольную модель, то по методу аналогий можно перейти к треугольной модели. На рис.3 те же обозначения, что на рис.1 и рис.2. T_1, T_2, T_3 – темпоральные метки. B – функции перевозки, которые не являются постоянными, а равномерно изменяют значения от нуля, до пиковых значений B_1, B_2, B_3 . Временные интервалы такие же как на рис.1. Назовем эту модель ситуационная модель 3.

Для ситуации на рис.3. объем перевозок V за каждый интервал равен

$$V_1 = B_1(t_2 - t_1)/2; V_2 = B_2(t_3 - t_2)/2; V_3 = B_3(t_4 - t_3)/2. \quad (15)$$

Общий объем перевозок V_t определяется как

$$V_t = [B_1(t_2 - t_1) + B_2(t_3 - t_2) + B_3(t_4 - t_3)]/2. \quad (16)$$

Средний объем перевозок V_e определяется как

$$V_e = [B_1(t_2 - t_1) + B_2(t_3 - t_2) + B_3(t_4 - t_3)]/2(t_4 - t_1). \quad (17)$$

Общий и средний объем перевозок можно определить с использованием темпоральных меток

$$V_t = [B_1(T_1 - t_1) + B_2(T_2 - t_2) + B_3(T_3 - t_3)], \quad (18)$$

$$V_e = [B_1(T_1 - t_1) + B_2(T_2 - t_2) + B_3(T_3 - t_3)] / (t_4 - t_1). \quad (19)$$

Существует треугольная модель разрывного движения. Треугольная модель относится к складу или заказчику перевозок. Прямоугольная модель относится к участку дороги. Модель разрывного движения приведена на рис.4. На ней больше границ интервалов чем на модели рис.3. Назовем эту модель ситуационная модель 4.

Для разрывной треугольной модели общий объем перевозок V_t определяется как

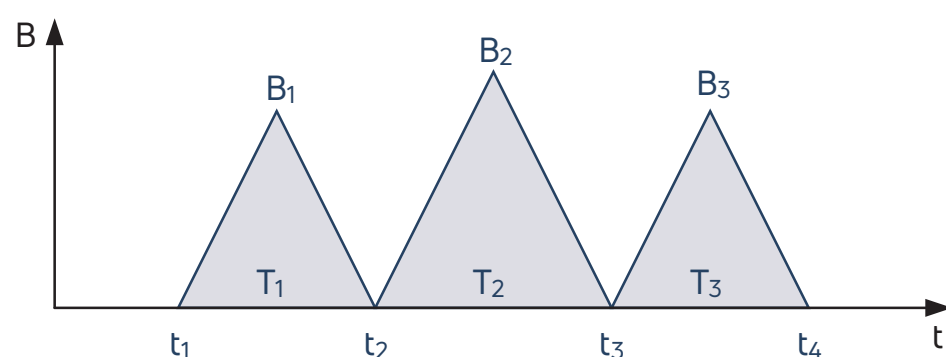


Рисунок 3. Ситуация с треугольной моделью

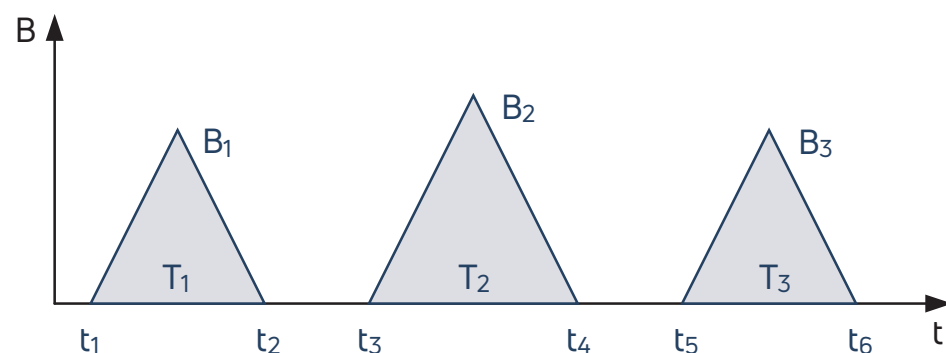


Рисунок 4. Треугольная модель ситуации перевозок

$$V_t = [B_1(t_2 - t_1) + B_2(t_4 - t_3) + B_3(t_n - t_{n-1})] / 2. \quad (20)$$

Средний объем перевозок V_e определяется как

$$V_e = [B_1(t_2 - t_1) + B_2(t_4 - t_3) + B_3(t_n - t_{n-1})] / 2 \cdot (t_n - t_1). \quad (21)$$

Общий и средний объем можно определить с использованием темпоральных меток

$$V_t = [B_1(T_1 - t_1) + B_2(T_2 - t_3) + B_3(T_{n-1} - t_{n-1})] \cdot 2, \quad (22)$$

$$V_e = [B_1(T_1 - t_1) + B_2(T_2 - t_3) + B_3(T_{n-1} - t_{n-1})] / (t_n - t_1). \quad (23)$$

На практике возможны комбинации ситуационных моделей M_1, M_2, M_3, M_4 . Реальный маршрут выглядит как сочетание таких моделей. При этом может быть множество моделей

$$M_1 \subset MM_1; M_2 \subset MM_2; M_3 \subset MM_3; M_4 \subset MM_4. \quad (24)$$

Для выбора оптимального или рационального маршрута необходима дискретная оптимизация на множествах MM_1, MM_2, MM_3, MM_4 . Эта оптимизация может быть эвристической, например с использованием теории предпочтений [27] или иной эвристической процедуры [28].

Результаты предпочтений или иной процедуры являются сравнительными. Они актуальны только для рассматриваемой выборки. По этой причине целесообразное или рациональное решение является уловным, только для данной выборки. Целесообразное или рациональное решение изменяется при изменении состава и структуры выборки.

Учет возможных погрешностей в оценке ситуации приводит к необходимости вместо одного рационального решения рассматривать множество близких решений. Выбор решения среди близких решений производится с учетом когнитивных и дополнительных факторов полезности или целесообразности. В этом случае применяют анализ, который можно назвать ситуационным рациональным анализом. Для ситуационного рационального анализа чистая аналитика не работает. Работает частично аналитика и методы рассуждений. Использование ситуационного рационального анализа позволяет выбрать целесообразное решение. Такой анализ также следует считать интервальным, поскольку он связан с интервальными функциями. >>>

Заключение

Применения темпоральных моделей традиционно используют в темпоральной логике. Однако темпоральные модели с темпоральными метками можно применять в организации и оптимизации перевозок. Применение темпоральных меток связывает задачу управления перевозками с темпоральной логикой и позволяет использовать темпоральную логику при организации перевозок для интервальных ситуаций. Для точечных моделей такой метод не нужен. Моделирование темпоральных структур является сложной задачей [29]. Ситуационный рациональный анализ является качественным и сравнительным. Ситуационный рациональный анализ требует определения пространственных и временных отношений. Это позволяет соединять темпоральную и пространственную логику. Ситуационный рациональный анализ имеет специфику, обусловленную работой с дискретными потоками грузов, а не с движением одиночных средств. Развитие применения темпоральных моделей является перспективным направлением и требует дальнейших исследований. ■

Список литературы

1. Haghighi I. et al. Control from signal temporal logic specifications with smooth cumulative quantitative semantics //2019 IEEE 58th Conference on Decision and Control (CDC). – IEEE, 2019. – С. 4361-4366.
2. Camacho A., McIlraith S. A. Learning interpretable models expressed in linear temporal logic //Proceedings of the International Conference on Automated Planning and Scheduling. – 2019. – Т. 29. – С. 621-630.
3. Lindemann L., Dimarogonas D. V. Robust control for signal temporal logic specifications using discrete average space robustness //Automatica. – 2019. – Т. 101. – С. 377-387.
4. Bellini P., Mattolini R., Nesi P. Temporal logics for real-time system specification //ACM Computing Surveys (CSUR). – 2000. – Т. 32. – №. 1. – С. 12-42.
5. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Киберфизические системы в управлении транспортом // Мир транспорта. – 2018. Т. 16. № 2 (75). – С. 138-145.
6. Kim, Joseph, Muise, Christian, Shah, Ankit Jayesh, Agarwal, Shubham and Shah, Julie A. 2019. "Bayesian Inference of Linear Temporal Logic Specifications for Contrastive Explanations." IJCAI International Joint Conference on Artificial Intelligence, 2019-August.
7. Camacho A., McIlraith S.A. Learning interpretable models expressed in linear temporal logic //Proceedings of the International Conference on Automated Planning and Scheduling. – 2019. – Т. 29. – С. 621-630.
8. Тарихазер С.А. Селевые процессы в Азербайджане и метеорологические факторы их формирования (на примере Большого Кавказа) //Устойчивое развитие горных территорий. – 2019. – Т. 11. – №. 1. – С. 44-54.
9. Козлов А.В., Матчин В.Т. Методы и алгоритмы управления группами подвижных объектов // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 3(15). – С.15-28.
10. Розенберг И.Н., Цветков В.Я., Романов И.А. Управление железной дорогой на основе спутниковых технологий // Государственный советник. – 2013. – №4. – С.43-50.
11. Бахарева Н.А. Информация в многоцелевом управлении // Славянский форум. -2020. – 4(30). -С. 7-15.
12. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Многоцелевое управление на железнодорожном транспорте // Наука и технологии железных дорог. 2021. Т. 5. №1 (17). – С.3-10.
13. Цветков В.Я. Интеллектуализация транспортной логистики // Железнодорожный транспорт. -2011. – №4. – С.38-40.
14. Еремеев А.П., Ковалев С.М. Темпоральные и нечетко-темпоральные модели в интеллектуальных системах управления перевозочными процессами.// ВЕСТНИК РГУПС. 2011, № 3. С.74- 82.
15. Яркин Е.К., Романенко В. Е., Мохов В. А. Оптимизация маршрутов грузовых мультимодальных перевозок //Тенденции развития науки и образования. – 2020. – №. 66-1. – С. 55-59.
16. Савиных В.П., Цветков В.Я. Развитие методов искусственного интеллекта в геоинформатике // Транспорт Российской Федерации. – 2010. – № 5. – С.41-43.
17. Цветков В.Я., Кужелев П.Д. Железная дорога как геотехническая система // Успехи современного естествознания. -2009. – №4. – С. 52.
18. Ознамец В. В. Геоинформационный мониторинг транспорта // Славянский форум. -2018. – 4 (22). – С.39-45.
19. Цветков В.Я. Геоинформационный мониторинг //Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2005. – №5. – С.151 -155.
20. Цветков В.Я. Информационные модели и информационные ресурсы //Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2005. – №3. – С.85-91.
21. Проскурин Д.К., Колыхалова Е.В. Методические основы моделирования темпоральных информационных структур //Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. – 2013. – №. 1. – С. 87-90.
22. Котиков П. Е. Варианты построения темпоральных баз данных в геоинформационных системах //Научный аспект. – 2014. – №. 4. – С. 118-120.
23. Гончарко О.Ю. Темпоральная импликация и временные модальности // Вестник СПбГУ. Сер. 6. 2012. Вып. 1. С.21-26.
24. Цветков В.Я. Интегральное управление высокоскоростной магистралью // Мир транспорта. – 2013. – № 5 (49). – С.6-9.
25. Рогов И.Е. Дискретная оптимизация и информационное моделирование // Славянский форум. 2022, 4(38). С. 57-66.
26. Рогов И.Е. Моделирование и дискретная оптимизация – Saarbrücken. LAP Lambert Academic Publising, 2020. –113 с. ISBN 978-620-0-53325-8.
27. Tsvetkov V. Ya. Not Transitive Method Preferences. // Journal of International Network Center for Fundamental and Applied Research. 2015. 1(3), – pp.34-42.
28. Яркин Е.К., Романенко В.Е., Мохов В.А. Оптимизация маршрутов грузовых мультимодальных перевозок //Тенденции развития науки и образования. – 2020. – №. 66-1. – С. 55-59.
29. Проскурин Д.К., Колыхалова Е.В. Методические основы моделирования темпоральных информационных структур //Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. – 2013. – №. 1. – С. 87-90.