ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ. МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ ПРИ КРИТИЧЕСКОМ ПЕРЕХОДЕ: УСКОРЕНИЕ - ЗАМЕДЛЕНИЕ

Daniela Todorova[1)], Petar Kolev[2)]

ABSTRACT
Sustainable transport development is closely linked with the development and implementation of a number of investment decisions aimed at increasing efficiency and improving transport activity. Intelligent transport systems use a combination of information technology and communication systems to improve the management of vehicles, as part of transport systems. The article offers a logical modeling of inertial transport processes in which the principal place in management decision related to the critical transition of acceleration - delay flow.

Key words: I*ntelligent transport systems, logical modeling, transport network, traffic flows.*

АБСТРАКТЕН
Устойчивое развитие транспорта находится в тесной связи с разработкой и внедрением ряда инвестиционных решений, направленных на повышение эффективности и улучшение транспортной деятельности. Интеллектуальные транспортные системы базируются на сочетании информационных технологий и коммуникационных систем в целях улучшения управления транспортными средствами в качестве элементов транспортных систем. В статье предлагается подход к логическому моделированию инерционных транспортных процессов, в котором центральное место занимает управленческое решение, связанное с критическим переходом ускорение – замедление потока.

[1]) Daniela Todorova, Associate professor, PhD - “Todor Kableshkov” University of Transport, 158 Geo Milev Str., Sofia, Bulgaria, tel.: +359 2 9709 335, mobile tel:+359 884 216 370 , fax:+359 2 9709 242, daniela_dt@abv.bg

[2]) Petar Kolev, Professor, DSc, ing. mat. - Todor Kableshkov” University of Transport, 158 Geo Milev Str., Sofia, Bulgaria, tel.: +359 2 9709 241, mobile tel:+359 887 926 348 , fax:+359 2 9709 242, petarkolev@abv.bg

Ключевые слова: Интеллектуальные транспортные системы, логическое моделирование, транспортная сеть, транспортные потоки.

1 ВВЕДЕНИЕ

Европа – один из наиболее урбанизированных континентов в мире. В большинстве городов мобильность становится все более сложной и соответственно неэффективной ввиду огромных пробок, растущих годовых расходов, дорожно-транспортных происшествий, шумового и экологического загрязнения.

Переход к устойчивому транспорту, представляющему собой часть стратегической политики ЕС, требует реализации трех основных стратегий: [3]

- Снижение необходимости в индивидуальном пассажирском транспорте.
- Переход к более устойчивым транспортным средствам, особенно общественного транспорта.
- Повышение эффективности транспортных средств и транспортных потоков.

В целях создания эффективной устойчивой транспортной системы принимаются различные меры, при этом сравнительно быстро идет процесс интегрирования интеллектуальных транспортных систем.

2 ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

Информационные и коммуникационные технологии находят во всех видах транспорта все более широкое применение, которое обеспечивает повышение эффективности транспорта и способствует развитию интеллектуальных транспортных средств и инфраструктуры.

Интеллектуальные транспортные системы в значительной степени способствуют уменьшению расходов и устойчивому развитию транспорта. Они являются важным инструментом достижения бóльшей степени безопасности и уменьшения пробок.

Интегрирование интеллектуальных транспортных систем благоприятствует решению ряда проблем, связанных с охраной окружающей среды и изменением климата. Путем улучшения энергетической эффективности, более эффективного использования инфраструктуры, а также грузоподъемности и вместимости транспортных средств дается возможность выбора наиболее эффективного вида транспорта на заданном маршруте. [4]

Внедрение интеллектуальных транспортных систем имеет своей целью постепенное облегчение движения, а основные преимущества, которые являются следствием достижения этого эффекта, это экономия топлива и повышение скорости оборачиваемости услуг, а также охрана окружающей среды.

---

[3] Болгария приняла дополнительные европейские правила об "интеллектуальном транспорте" http://www.investor.bg/ikonomika-i-politika/332/a/bylgariia-prie-dopylnitelni-evropeiski-pravila-za-inteligenten-transport,146069/

[4] Commissions of the European Communities. Communication from the Commission: Action Plan for the deployment of Intelligent Transport Systems in Europe. Brussels, SEC (2008) 3083

Интеллектуальные транспортные системы базируются на сочетании информационных технологий и коммуникационных систем в целях улучшения управления транспортными средствами в качестве элементов транспортных систем. Их применение обеспечило бы бóльшую степень надежности на дорогах, уменьшение пробок, а, следовательно, и меньшее загрязнение. [5]

В условиях кризиса, охватившего транспортную отрасль, ведутся поиски различных возможностей экономической поддержки, способов и направлений ее реализации, которые позволили бы отыскать наиболее эффективный и устойчивый результат и повысить окупаемость транспортной услуги.

Необходимость принятия таких мер вызвана важным значением транспорта и выполняемой им социальной ролью.

Обязательным условием функционирования эффективной транспортной системы является развитие инфраструктуры.

Очень важно при планировании и усвоении инвестиций соблюдать схему: инфраструктура – транспортные средства – услуга.

Развитие инфраструктуры зависит в большой степени от структуры инвестиций в модернизацию, реконструкцию и новое строительство. Здесь особую роль играют именно инвестиции в интеллектуальные транспортные системы. Этот инвестиционный процесс оказывает влияние на качество и конкурентоспособность транспортной услуги.

Интеллектуальные транспортные системы имеют огромное значение для повышения доступности транспортных услуг и эффективности транспортного процесса. Они являются частью социально-экономических эффектов от инвестиционных инфраструктурных мероприятий в области интеллектуальных транспортных систем.

Эти эффекты играют особую роль в условиях экономического кризиса, так как способствуют достижению ускоренного развития не только транспортной отрасли, но и экономики в целом. [6]

Транспортные процессы зависят в основном от эффективности и организации работы. Учитывая актуальность развития транспортных процессов и систем, предлагается логическое моделирование их исполнения.

3 ЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНЕРЦИОННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ОБЪЕКТОВ

Набор транспортных операций достаточен тогда, когда позволяет выполнение произвольных технологических операций при моделировании различных транспортных процессов.

Рассмотренными в (1) операторами можно дефинировать маршрут транспортного потока и квазистатическое управление объекта, где размер зон по дефиниции определяется в соответствии с размером объекта G_i.

[5] Интелигентен транспорт 2020год.
http://ladyzone.bg/article/bulgaria/inteligenten-transport-shche-ni-vozi-sled-2020-g.html

[6] Тодорова Д. Кирова А., и колектив, Проект „Създаване на изследователски център „Интелигентни транспортни системи“, ВТУ „Тодор Каблешков”, 2014г.

Движение потока, однако, развивается во времени, и время передвижения от точек S_i до точек S_j маршрута имеет особое значение. Этот процесс динамический, и можно сказать, что транспортные процессы являются инерционными.

При анализе движения транспортных объектов необходимо учитывать их инертность, баланс энергии и условия, в которых осуществляется движение. Все это при самой простой механико-математической модели дается в основном уравнении динамики.

(1) $m\dfrac{d^2\vec{r}}{dt^2} = \vec{F}$, где $\vec{r}$ [m] - закон движения, m [kg] - масса объекта, $\vec{F}$ [N]- движущая сила и t [s] - независимая переменная.

Спроектировав это уравнение на подвижный триэдр Френе, связанный с линией маршрута движения, получаем:

(2) $m\dfrac{d^2S}{dt^2} = F_\tau$ откуда следует, что $\dfrac{dS}{dt} \Rightarrow v = wt + v_0 \quad w = \dfrac{F_\tau}{m}$,

где криволинейной абсциссой $S = S(t)$ представлен закон движения (перемещения) объектов потока.

С учетом динамики процесса зоны транспортной сети могут быть определены как *фиксированные* или *переменные.*

Транспортную сеть с *фиксированными зонами* имеем, когда $\dfrac{d^2S}{dt^2} = 0 \Rightarrow \dfrac{dS}{dt} = const$ *т.е. скоростта* $v = const$.

Перемещение объекта из зоны в зону осуществляется за одно и то же время с постоянной скоростью, следовательно, длина зоны не изменяется.

Транспортную сеть с *переменными зонами* имеем, когда $\dfrac{d^2S}{dt^2} \neq 0 \Rightarrow \dfrac{dS}{dt} \neq const$ *т.е. скоростта* $v \neq const$. Размеры зон пропорциональны заданной начальной зоне и средней скорости избранного интервала времени.

Транспортную сеть с *совмещенными зонами* имеем, когда процесс развивается в обладающих свойствами описанных выше сетей временных интервалах.

С тем, чтобы стало возможным применение подхода моделирования, описанного в (1), учитывая динамику процесса, необходимо представить движение элементов потока и изменение зон посредством конечных разностей. Для этого мы разложим функцию $S(t)$ в ряд Тейлора:

(3) $$S(t+\Delta t) = S(t) + \Delta t.\dot{S}(t) + \frac{1}{2}(\Delta t)^2.\ddot{S}(t) + \frac{1}{3}(\Delta t)^3.w\dddot{S}(t) + \ldots..$$

С точностью до членов второго порядка для развития в положительном и отрицательном направлениях получаем:

(4) $$\begin{aligned} S(t+\Delta t) &= S(t) + \Delta t.v(t) + \frac{1}{2}(\Delta t)^2.w(t) \\ S(t-\Delta t) &= S(t) - \Delta t.v(t) + \frac{1}{2}(\Delta t)^2.w(t) \end{aligned}$$

Если обозначить $S(t)$ как зону S_i то можно принять, что $v(t) = v_i$ - средняя скорость в этой зоне. Тогда условия (4) принимают следующий вид:

$$(5)\quad \begin{aligned} S_{i+1} &= S_i + \Delta t.v_i + \frac{1}{2}(\Delta t)^2.w \\ S_{i-1} &= S_i - \Delta t.v_i + \frac{1}{2}(\Delta t)^2.w \end{aligned}$$

Первое условие мы будем использовать для определения зон транспортной сети

$$(6)\quad S_{i+1} = S_i + \Delta t.v_i + \frac{1}{2}(\Delta t)^2.w \quad \text{за} \quad (i = 0,1,2,3\ldots n),$$

а если сложить оба уравнения, то можно получить условие проверки

$$(7)\quad S_{i+1} + S_{i-1} - 2S_i = (\Delta t)^2.w$$

<u>Определим зоны динамической одномерной транспортной сети для конкретных характеристик потока</u>

А) Мы приняли, что для i= 1….5 осуществляется ускорение процесса.

От (2) имеем, что ускорение $w = \frac{F_\tau}{m}$ в соответствии с параметрами элементов потока. Пусть

(8) $w = 10\frac{m}{s^2}$; $\Delta t = 1s$; $v_0 = 0$; $v_i = w.i.\Delta t + v_0 = 10i$. Начальная зона принимается равной размеру элемента потока $S_0 = \tilde{G} = 20[m]$.

Определим размеры и скорость переноса в некоторых динамических зонах, где имеем ускорение, равномерное движение или замедление потока.

- **для i=0 от (6) и (8) получаем**

  $v_1 = 0\frac{m}{s} \qquad S_1 - S_0 = 0 + \frac{1}{2}.1.10 \quad \Rightarrow S_1 = 25m$

- **для i=1 от (6), (7) и (8) получаем**

  $v_1 = 10\frac{m}{s} \qquad S_2 - S_1 = 10 + \frac{1}{2}.1.10 \quad \Rightarrow S_2 = 40m$

  $S_{i+1} + S_{i-1} - 2S_i = ?(\Delta t)^2.w \quad \Rightarrow 40 + 20 - 50 = ?10 \Rightarrow \quad 10 = 10$

- **для i=2**
-

  $v_2 = 20\frac{m}{s} \qquad S_3 - S_2 = 20 + \frac{1}{2}.1.10 \quad \Rightarrow S_3 = 65m$

  $S_{i+1} + S_{i-1} - 2S_i = ?(\Delta t)^2.w \quad \Rightarrow 65 + 25 - 80 = ?10 \Rightarrow \quad 10 = 10$

- **для i=3**
-

  $v_3 = 30\frac{m}{s} \qquad S_4 - S_3 = 30 + \frac{1}{2}.1.10 \quad \Rightarrow S_4 = 100m$

  $S_{i+1} + S_{i-1} - 2S_i = ?(\Delta t)^2.w \quad \Rightarrow 100 + 40 - 130 = ?10 \Rightarrow \quad 10 = 10$

- **для i=4**
-

  $v_4 = 40\frac{m}{s} \qquad S_5 - S_4 = 40 + \frac{1}{2}.1.10 \quad \Rightarrow S_5 = 145m$

  $S_{i+1} + S_{i-1} - 2S_i = ?(\Delta t)^2.w \quad \Rightarrow 145 + 65 - 200 = ?10 \Rightarrow \quad 10 = 10$

- **для i=5**
-

$v_5 = 50\frac{m}{s}$ $\quad S_6 - S_5 = 50 + \frac{1}{2}.1.10 \quad \Rightarrow S_6 = 200m$

$S_{i+1} + S_{i-1} - 2S_i = ?(\Delta t)^2.w \quad \Rightarrow 200 + 100 - 290 = ?10 \Rightarrow \quad 10 = 10$

Б) Пусть от i=6…..16 процесс протекает равномерно, т.е

- $v_i = 50\frac{m}{s}$ $\quad w = 0\frac{m}{s^2}$. Тогда от (6) получаем

(9) $S_{i+1} = S_i + \Delta t.v_i \quad за \quad (i = 6,7,8.....16),$

Тогда:

- **для i=6** $v_6 = 50\frac{m}{s}$: $\quad S_7 - S_6 = 50 \Rightarrow S_7 = 250m$
- **для i=7** $v_7 = 50\frac{m}{s}$: $\quad S_8 - S_7 = 50 \quad \Rightarrow S_8 = 300m$
- **для i=8** $v_8 = 50\frac{m}{s}$: $\quad S_9 - S_8 = 50 \quad \Rightarrow S_9 = 350m$
- **для i=9** $v_8 = 50\frac{m}{s}$: $\quad S_{10} - S_9 = 50 \quad \Rightarrow S_{10} = 400m$.

По методу математической индукции получаем:

(10) $S_k = S_6 + 50(i-6)$

- **для i=16** $v_{16} = 50\frac{m}{s}$: $\quad S_{16} = S_6 + 50(16-6) \quad \Rightarrow S_{17} = 700m$

Очевидно, что если условия позволяют в этом интервале рассматривать процесс как квазистатический, т.е. имеем перенос из зоны в зону без учета скорости, т.е $v_i \approx 0$, то зоны от … для i=6……16 будут одинаковыми и равными 200m.

В) Пусть процесс от i=16 до остановки протекает с замедлением, т.е

(10) $w = -10\frac{m}{s^2}$; $\Delta t = 1s$; $v_{16} = 50\frac{m}{s}$; $v_i = w.i.\Delta t + v_{16} = 50 - 10(i-16)$.

Тогда от (6) и (7) для i=17…. получаем:

- **для i=17**

$v_{17} = 40\frac{m}{s}$ $\quad S_{18} - S_{17} = 40 - \frac{1}{2}.1.10 \quad \Rightarrow S_{18} = 735m$

- **для i=18**
- $v_{18} = 30\frac{m}{s}$ $\quad S_{19} - S_{18} = 30 - \frac{1}{2}.1.10 \quad \Rightarrow S_{19} = 750m$
- **для i=19**
- $v_{19} = 20\frac{m}{s}$ $\quad S_{20} - S_{19} = 20 - \frac{1}{2}.1.10 \quad \Rightarrow S_{20} = 765m$

$S_{i+1} + S_{i-1} - 2S_i = ?(\Delta t)^2.w \quad \Rightarrow 765 + 735 - 1500 = ?-10 \Rightarrow -10 = -10$

- **для i=20**
-

$v_{20} = 10\frac{m}{s}$ $\quad S_{21} - S_{20} = 10 - \frac{1}{2}.1.10 \quad \Rightarrow S_{21} = 770m$

$S_{i+1} + S_{i-1} - 2S_i = ?(\Delta t)^2.w \quad \Rightarrow 770 + 750 - 1530 = ? - 10 \Rightarrow -10 = -10$

- **для i=21**
-

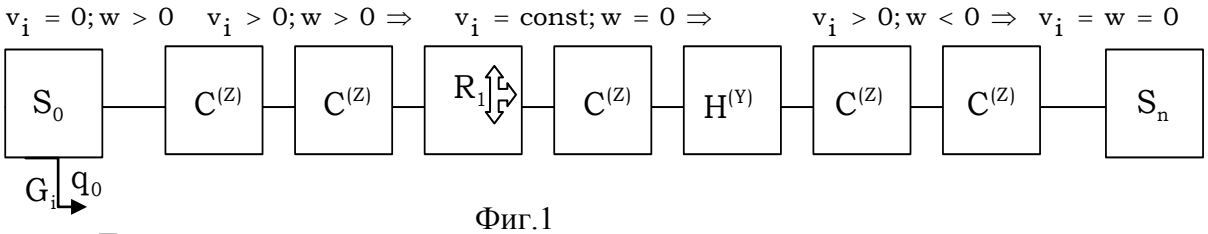
В этом случае скорость равна нулю и чтобы не реализовать движение назад ускорение тоже принимается равным нулю.

$$v_{21} = 0\frac{m}{s} \qquad S_{22} - S_{21} = 0 - \frac{1}{2}.1.0 \quad \Rightarrow S_{22} = S_{21} = 770$$

$$S_{i+1} + S_{i-1} - 2S_i = ?(\Delta t)^2 .w \quad \Rightarrow 770 + 770 - 1540 = ?\ 0 \Rightarrow 0 = 0$$

Проверка подтверждает полученный результат.

Если транспортная сеть одномерная, ее также можно представить как в [4] [7] с той разницей, что здесь зоны имеют разные размеры и перенос осуществляется с разными скоростями. Здесь она имеет только качественный характер, количественные соотношения не соблюдены. Они даются в вычислениях, приведенных выше.



Фиг.1

Где:

S_0 - адрес, в случае начальный

$C^{(Z)}$ - незанятая зона

$H^{(Y)}$ - зона управления дальнейшим передвижением

R_1 - возможное ответвление от линейной сети

P_0 - препятствие

Перемещение объекта G_i осуществляется устройством q_j, которое обладает свойствами ориентации и управления. Это выражается при помощи следующих выражений:

(1) $G_i(q_j)C^{(Z)}K_S G_i(q_k)$; $G_i(q_j)C^{(Z)}K_R G_i(q_k)$; $G_i(q_j)C^{(Z)}K_L G_i(q_k)$

$G_i(q_j)P_0 K_R G_i(q_k)$; $G_i(q_j)H^{(Y)}K_S G_i(q_k)$; $G_i(q_j)C^{(Z)}K_\Pi G_i(q_k)$ и други.

Здесь первые три знака определяют возможное событие, а остальные три - реакцию оператора. Такие выражения можно использовать для управления транспортным процессом на каждом шагу его развития.

Знаками К дефинируются команды:

K_S - команда перемещения на один шаг вперед

K_R - команда изменения направления перемещения вправо

K_L - команда изменения направления перемещения влево

K_Π - команда простоя

K_{OX} - команда обратного хода.

[7] Тодорова Д., Колев П., „Новаторство в технологиите на транспортните потоци**”,** Международна научна конференция „Технологии и наука за устойчиво морско развитие”, Варна 2015

4 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Устойчивое развитие транспорта находится в тесной связи с разработкой и внедрением ряда инвестиционных решений, направленных на повышение эффективности и улучшение транспортной деятельности.

Основной задачей процесса устойчивого развития транспорта является непрерывная модернизация транспортной инфраструктуры и транспортных средств.

Инвестиционные решения приводят в разной степени к повышению надежности перевозок и уменьшению числа происшествий путем внедрения современных систем и технологий.

В результате применения в области пассажирских и грузовых перевозок новых технологий и технических нововведений, в частности интеллектуальных транспортных систем, транспортная отрасль определяется как устойчивая и интенсивно развивающаяся отрасль экономики.

Применение интеллектуальных транспортных систем и адекватное управление, которое базируется логических связях между движением их элементов, имеет существенное значение для эффективной реализации транспортных потоков.

Моделирование динамических, а не квазистатических транспортных процессов дает возможность описать и учесть развитие процессов, зоны транспортной сети, а также – преодолеть критический переход от его ускорения к замедлению при движении потока.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] България прие допълнителни европейски правила за "интелигентен транспорт"
http://www.investor.bg/ikonomika-i-politika/332/a/bylgariia-prie-dopylnitelni-evropeiski-pravila-za-inteligenten-transport,146069/

[2] Интелигентен транспорт и енергийна ефективност – икономични автомобили
http://www.sportal.bg/news.php?news=499911

[3] Интелигентен транспорт 2020год.
http://ladyzone.bg/article/bulgaria/inteligenten-transport-shche-ni-vozi-sled-2020-g.html

[4] Тодорова Д., Колев П., „Новаторство в технологиите на транспортните потоци**”,** Международна научна конференция „Технологии и наука за устойчиво морско развитие”, Варна 2015

[5] Тодорова Д. Кирова А., и колектив, Проект „Създаване на изследователски център „Интелигентни транспортни системи“, ВТУ „Тодор Каблешков”, 2014г.

[6] Commissions of the European Communities. Communication from the Commission: Action Plan for the deployment of Intelligent Transport Systems in Europe. Brussels, SEC (2008) 3083

Článok recenzovali dvaja nezávislí recenzenti.