

# ЗАМЕТКА О КЛАССИФИКАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Д. А. Митченко

Новосибирский государственный университет,  
630090, Новосибирск, Россия

---

УДК 004.942

В работе описывается процесс классификации транспортных систем города как подготовительный этап к построению общей математической модели транспортной сети мегаполиса.

**Ключевые слова:** транспортный узел, транспортный коридор, нечеткое множество, нечеткая переменная.

In this study the classification of a city transport system is described. This is a preparatory stage of the city transport system model construction.

**Key words:** transport node, transport edge, fuzzy set, fuzzy variables.

**Введение.** В настоящее время проблемы оптимизации транспортных потоков крайне актуальны. По данному вопросу написано множество работ и построены целые теории, однако, по мнению автора, всем данным работам не хватает одной существенной детали, а именно — комплексного подхода. Транспортная система современного мегаполиса — это сложный „организм“, состоящий из взаимодействия множества подсистем, каждая из которых оказывает влияние на все остальные, все это зависит от множества факторов, учесть абсолютно все из них, видимо, не представляется возможным. Но для построения адекватной и достаточно общей модели нужно выделить основные компоненты данной системы, ее, так сказать, „препарировать“. Лишь подробно изучив структуру данной системы, можно строить ее математическую модель. Итак, здесь пойдет речь о классификации транспортной системы города как о первом и необходимом шаге в процессе моделирования.

Для начала необходимо формально определить понятие транспортной системы. Транспортная система — транспортная инфраструктура, транспортные предприятия, транспортные средства и управление в совокупности, транспортные узлы и транспортные коридоры. На данном этапе рассмотрим классификацию транспортных коридоров и транспортных узлов, оставив инфраструктуру и средства управления до этапа моделирования.

## **Транспортные узлы и транспортные коридоры.**

*Транспортным узлом* называется комплекс транспортных устройств в пункте стыка нескольких видов транспорта, совместно выполняющих операции по обслуживанию транзитных, местных и городских перевозок грузов и пассажиров.

*Транспортные коридоры* — это совокупность магистральных транспортных коммуникаций различных видов транспорта с необходимыми обустройствами, обеспечивающих перевозки пассажиров и грузов между различными странами на направлениях их концентрации.

Транспортные узлы часто рассматриваются в государственных и международных масштабах, например, город — транспортный узел, в рамках данной работы будут рассмотрены внутригородские транспортные узлы (остановки общественного транспорта, станции метро и т. д.). Каждый транспортный узел может соединять несколько различных транспортных коридоров и для каждого из них классифицируется по следующим критериям: 1) Промежуточный или конечный транспортный узел. 2) Внутренний (используется только для городского транспорта), внешний (используется только для междугороднего и международных перевозок), либо внешне-внутренний. 3) Грузовой, пассажирский, грузо-пассажирский.

Общим по отношению ко всем транспортным коридорам служит такой критерий, как местоположение — подземное, наземное, воздушное.

Транспортные коридоры подразделяются по четырем критериям: 1) Местоположение — подземный, наземный, надземный, надводный, подводный. 2) Носитель — воздух, дорожное полотно, рельсы, монорельсы, канаты, поверхность воды, подводные транспортные коридоры, магнитные рельсовые пути, струнные рельсы, туннели (трубы), конвейер. 3) Наличие внешнего источника энергии, подаваемой, например, по проводам. 4) Объект перевозки — грузы, пассажиры, смешанные транспортные коридоры.

Получившиеся виды транспортных коридоров рассмотрим с точки зрения применимости в городских условиях. Для этого каждый из них оценим по следующим критериям.

1. Возможность реализации: а) невозможные, например надводный транспорт, летающий в воздухе, либо неоправданно усложненные; б) технически сложные, например, так называемый hyperloop, представляющий собой капсулы, передвигающиеся по трубам, внутри которых поддерживается низкое давление (почти вакуум); в) возможные (существующие).

2. Актуальность (перспективность): а) неактуальные, так как, например, устарели; б) актуальные, уже раскрывшие свой потенциал (автомобильные дороги); в) актуальные перспективные — например, магнитные рельсовые пути.

3. Вред окружающей среде: а) очень высокий (паровоз); б) высокий (автомагистрали); в) средний (трамвайные пути); г) малый (транспортные коридоры, основанные на ветровой или солнечной энергии).

4. Среда использования: а) городская; б) внегородская.

5. Стоимость постройки и обслуживания: а) очень высокая (hyperloop); б) высокая (магнитные рельсовые пути); в) средняя (рельсовые пути, автомагистрали); г) малая (речные пути — не требуют построения полотна).

6. Организация движения: а) дискретная (по транспортному коридору движутся отдельные транспортные средства, большое их скопление может вызвать затор, например, автомобильная дорога); б) смешанная (отдельные транспортные средства движутся с остановками по определенному маршруту, не мешая друг другу — метро); в) непрерывная (организовано непрерывное движение — конвейер).

7. Распространение: а) повсеместно; б) специфический вид; в) пока не получил широкого распространения.

**Классификация транспортных систем и нечеткие множества.** Получившиеся транспортные коридоры будем рассматривать с точки зрения вероятности появления в городе. Будем считать, что чем „лучше“ транспортный коридор удовлетворяет вышеприведенным критериям, тем более он вероятен. Для формального описания данного процесса воспользуемся базовыми понятиями нечеткой логики.

**Определение.** Пусть  $X$  — некоторое множество, называемое универсальным множеством. Нечеткое множество  $A = \{(x, \mu(x)) : x \in X\}$  — множество упорядоченных пар  $(x, \mu(x))$ , где  $x \in X$ ,  $\mu : X \rightarrow [0, 1]$  — функция принадлежности элемента  $x$  множеству  $A$ . Другими словами, функция  $\mu$  характеризует, насколько элемент принадлежит множеству. Нечетким подмножеством универсального множества  $X$  будем называть нечеткое множество  $B = \{(y, \mu(y)) : y \in Y\}$ , где  $Y \subset X$ .

**Определение.** Нечеткая переменная характеризуется тройкой  $(X, U, R(X, u))$ , где  $X$  — название переменной,  $U$  — универсальное множество,  $u$  — общее название элементов множества  $U$ , представляющее собой нечеткое ограничение на значения переменной  $u$ , обусловленное  $x$ . Так называемое уравнение назначения имеет вид  $x = u : R(X)$  и отражает то, что элементу  $x$  назначается значение  $u$  с учетом ограничения  $R(x)$ . Ту степень, с которой удовлетворяется это равенство, будем называть совместимостью значения  $u$  с  $R(x)$  и обозначать  $s(u)$ ,  $s(u) = \mu_{R(X)}(u)$ ,  $u \in U$ , где  $\mu_{R(X)}(u)$  — степень принадлежности  $u$  ограничению  $R(X)$ .

Таким образом, имеем семь нечетких переменных — Возможность, Актуальность, Вред окружающей среде, Среда использования, Стоимость постройки, Организация движения, Распределение. Значениями каждой из них являются конкретные значения соответствующих критериев.

Конкретные значения переменных, принадлежащих универсальному множеству, — данные эмпирические и вычисляются статистически. Пусть каждая нечеткая переменная имеет следующие значения: 1. Возможность —  $P$ : а) невозможные  $\mu(x) = P_1 = 0$ ; б) сложные  $\mu(x) = P_2$ ; в) возможные  $\mu(x) = P_3 = 1$ . 2. Актуальность —  $A$ : а) неактуальные  $\mu(x) = A_1 = 0$ ; б) перспективные  $\mu(x) = A_2$ ; в) актуальные  $\mu(x) = A_3 = 1$ . 3. Вред окружающей среде —  $H$ : а) очень высокий  $\mu(x) = H_1 = 0$ ; б) высокий  $\mu(x) = H_2$ ; в) средний  $\mu(x) = H_3$ ; г) малый  $\mu(x) = H_4 = 1$ . 4. Среда использования —  $E$ : а) внегородская  $\mu(x) = E_1 = 0$ ; б) городская  $\mu(x) = E_2 = 1$ . 5. Стоимость постройки —  $C$ : а) очень высокая  $\mu(x) = C_1 = 0$ ; б) высокая  $\mu(x) = C_2$ ; в) средняя  $\mu(x) = C_3$ ; г) низкая  $\mu(x) = C_4 = 1$ . 6. Организация движения —  $O$ : а) дискретная  $\mu(x) = O_1$ ; б) смешанная  $\mu(x) = O_2$ ; в) непрерывная  $\mu(x) = O_3 = 1$ . 7. Распространение —  $D$ : а) специфический вид  $\mu(x) = D_1$ ; б) не получил распространения  $\mu(x) = D_2$ ; в) повсеместно  $\mu(x) = D_3 = 1$ .

Множество значений только что рассмотренных нечетких переменных обозначим  $\{X_i\}$ ,  $i = 1 \dots 7$ . Введем новую нечеткую переменную Приемлемый, которая будет характеризовать то, насколько, грубо говоря, „хорош“ данный вид транспортных коридоров. Для данного вида транспортных коридоров степень его приемлемости возьмем равной  $Q(X) = \prod_{i=1}^7 \mu(X_i)$ . Таким образом, самым приемлемым видом транспортных коридоров станет тот, который лучше всех будет удовлетворять вышеперечисленным критериям. Теория нечетких множеств в данном случае позволяет записать это на формальном языке, а также демонстрирует технику, с помощью которой можно построить другие, более сложные критерии различных качеств применительно не только к видам транспортных коридоров, но и, например, к видам транспорта. Теперь осталось построить таблицу видов транспортных коридоров с указанием значений вышеуказанных нечетких переменных. Так как мы имеем 4 критерия классификации — местоположение, носитель, наличие внешнего источника энергии, объект перевозки, получаем четырехмерную таблицу. Для примера приведем срез данной таблицы — пассажирские транспортные коридоры, имеющие внешний источник энергии.

Таблица

## Виды транспортных коридоров

Местоположение/ носитель	Подземный	Наземный	Надземный	Надводный	Подводный
Дорожное полотно	$P - P_3$	$P - P_3$	$P - P_3$	$P - P_1$ $Q(X) = 0$	$P - P_2$
	$A - A_3$	$A - A_3$	$A - A_3$		$A - A_2$
	$H - H_3$	$H - H_3$	$H - H_3$		$H - H_3$
	$E - E_2$	$E - E_2$	$E - E_2$		$E - E_2$
	$C - C_2$	$C - C_3$	$C - C_2$		$C - C_1$
	$O - O_2$	$O - O_2$	$O - O_2$		$O - O_2$
	$D - D_3$	$D - D_3$	$D - D_3$		$D - D_2$
Рельсы	$Q(X) = H_3C_2O_2$	$Q(X) = H_3C_3O_2$	$Q(X) = H_3C_2O_2$	$P - P_1$ $Q(X) = 0$	$Q(X) = P_2A_2H_3C_1O_2D_2$
	$P - P_3$	$P - P_3$	$P - P_3$		$P - P_2$
	$A - A_3$	$A - A_3$	$A - A_3$		$A - A_2$
	$H - H_3$	$H - H_3$	$H - H_3$		$H - H_3$
	$E - E_2$	$E - E_2$	$E - E_2$		$E - E_2$
	$C - C_2$	$C - C_3$	$C - C_2$		$C - C_1$
	$O - O_2$	$O - O_2$	$O - O_2$		$O - O_2$
Монорельсы	$D - D_3$	$D - D_3$	$D - D_3$	$P - P_1$ $Q(X) = 0$	$D - D_2$
	$Q(X) = H_3C_2O_2$	$Q(X) = H_3C_3O_2$	$Q(X) = H_3C_2O_2$		$Q(X) = P_2A_2H_3C_1O_2D_2$
	$P - P_3$	$P - P_3$	$P - P_3$		$P - P_2$
	$A - A_2$	$A - A_2$	$A - A_2$		$A - A_2$
	$H - H_3$	$H - H_3$	$H - H_3$		$H - H_3$
	$E - E_2$	$E - E_2$	$E - E_2$		$E - E_2$
	$C - C_2$	$C - C_2$	$C - C_2$		$C - C_1$
Канаты	$O - O_2$	$O - O_2$	$O - O_2$	$A - A_1$ $Q(X) = 0$	$O - O_2$
	$D - D_2$	$D - D_2$	$D - D_2$		$D - D_2$
	$Q(X) = A_2H_3C_2O_2D_2$	$Q(X) = A_2H_3C_2O_2D_2$	$Q(X) = A_2H_3C_2O_2D_2$		$Q(X) = P_2A_2H_3C_1O_2D_2$
	$P - P_3$	$P - P_3$	$P - P_3$		$P - P_2$
	$A - A_3$	$A - A_3$	$A - A_3$		$A - A_2$
	$H - H_3$	$H - H_3$	$H - H_3$		$H - H_3$
	$E - E_2$	$E - E_2$	$E - E_2$		$E - E_2$
Канаты	$C - C_3$	$C - C_3$	$C - C_3$	$A - A_1$ $Q(X) = 0$	$C - C_1$
	$O - O_2$	$O - O_2$	$O - O_2$		$O - O_2$
	$D - D_1$	$D - D_1$	$D - D_1$		$D - D_2$
	$Q(X) = H_3C_2O_2$	$Q(X) = H_3C_2O_2$	$Q(X) = H_3C_2O_2$		$Q(X) = P_2A_2H_3C_1O_2D_2$

Место-положение/ носитель	Подземный	Наземный	Надземный	Надводный	Подводный
Поверхность воды	$P - P_1$ $Q(X) = 0$	$P - P_1$ $Q(X) = 0$	$P - P_1$ $Q(X) = 0$	$P - P_3$ $A - A_3$ $H - H_3$ $E - E_2$ $C - C_4$ $O - O_1$ $D - D_1$ $Q(X) =$ $H_3O_1D_1$	$P - P_3$ $E - E_1$ $Q(X) = 0$
Подводные транспортные коридоры	$E - E_1$ $Q(X) = 0$	$E - E_1$ $Q(X) = 0$	$E - E_1$ $Q(X) = 0$	$E - E_1$ $Q(X) = 0$	$E - E_1$ $Q(X) = 0$
Магнитные рельсовые пути	$P - P_3$ $A - A_2$ $H - H_3$ $E - E_2$ $C - C_2$ $O - O_2$ $D - D_2$ $Q(X) =$ $A_2H_3C_2O_2D_2$	$P - P_3$ $A - A_2$ $H - H_3$ $E - E_2$ $C - C_2$ $O - O_2$ $D - D_2$ $Q(X) =$ $A_2H_3C_2O_2D_2$	$P - P_3$ $A - A_2$ $H - H_3$ $E - E_2$ $C - C_2$ $O - O_2$ $D - D_2$ $Q(X) =$ $A_2H_3C_2O_2D_2$	$E - E_1$ $Q(X) = 0$	$P - P_2$ $A - A_2$ $H - H_3$ $E - E_2$ $C - C_1$ $O - O_2$ $D - D_2$ $Q(X) =$ $P_2A_2H_3C_1O_2D_2$
Струнные рельсы	$P - P_3$ $A - A_2$ $H - H_3$ $E - E_2$ $C - C_2$ $O - O_2$ $D - D_2$ $Q(X) =$ $A_2H_3C_2O_2D_2$	$P - P_3$ $A - A_2$ $H - H_3$ $E - E_2$ $C - C_2$ $O - O_2$ $D - D_2$ $Q(X) =$ $A_2H_3C_2O_2D_2$	$P - P_3$ $A - A_2$ $H - H_3$ $E - E_2$ $C - C_2$ $O - O_2$ $D - D_2$ $Q(X) =$ $A_2H_3C_2O_2D_2$	$E - E_1$ $Q(X) = 0$	$P - P_2$ $A - A_2$ $H - H_3$ $E - E_2$ $C - C_1$ $O - O_2$ $D - D_2$ $Q(X) =$ $P_2A_2H_3C_1O_2D_2$
Трубы	$P - P_2$ $A - A_2$ $H - H_3$ $E - E_2$ $C - C_1$ $O - O_2$ $D - D_2$ $Q(X) =$ $P_2A_2H_3C_1O_2D_2$	$P - P_2$ $A - A_2$ $H - H_3$ $E - E_2$ $C - C_1$ $O - O_2$ $D - D_2$ $Q(X) =$ $P_2A_2H_3C_1O_2D_2$	$P - P_2$ $A - A_2$ $H - H_3$ $E - E_2$ $C - C_1$ $O - O_2$ $D - D_2$ $Q(X) =$ $P_2A_2H_3C_1O_2D_2$	$P - P_2$ $A - A_2$ $H - H_3$ $E - E_2$ $C - C_1$ $O - O_2$ $D - D_2$ $Q(X) =$ $P_2A_2H_3C_1O_2D_2$	$P - P_2$ $A - A_2$ $H - H_3$ $E - E_2$ $C - C_1$ $O - O_2$ $D - D_2$ $Q(X) =$ $P_2A_2H_3C_1O_2D_2$

**Существующие и перспективные виды транспортных коридоров.** Результативно приведем те виды транспортных коридоров, которые на основании данных исследований достойны рассмотрения и включения в математическую модель.

К существующим видам транспортных коридоров отнесем: 1) пассажирские транспортные коридоры — троллейбусные линии (наземные, подземные, надземные), асфальтовые дороги, путепроводы, тоннели (автомобильные), трамваи, электрички, метрополитен, канатные дороги, монорельсы, катера, паромы; 2) грузовые транспортные коридоры — трубопроводы, троллейбусные линии (наземные, подземные, надземные) асфальтовые дороги, путепроводы, тоннели (автомобильные), трамваи, электрички, метрополитен, канатные дороги, монорельсы, катера, паромы.

Перспективными транспортными коридорами будут являться: пассажирские транспортные коридоры — магнитные рельсовые пути, струнные рельсы, транспорт конвейерного типа (либо конвейерно-кабиночного).

**Заключение.** Построенная классификация необходима для построения общей модели городской транспортной системы. Она отражает наиболее важные признаки таких ее составных частей, как транспортные узлы и транспортные коридоры, и позволяет из всего разнообразия всех возможные виды выделить те, которые являются наиболее применимыми в городских условиях. Также в классификации отдельно выделены те виды транспортных коридоров, которые не очень широко применяются в настоящее время, но использование которых позволило бы существенно улучшить ситуацию на дорогах в крупных городах.

## Список литературы

1. Троицкая Н. А. Единая транспортная система. М.: Издательский центр „Академия“, 2003.
2. Троицкая Н. А., Шилимов М. В. Транспортно-технологические системы перевозки отдельных грузов. М.: КНОРУС, 2010.
3. Гасников А. В. и др. Введение в математическое моделирование транспортных потоков. М.: МФТИ, 2010.
4. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: „Мир“, 1976.

*Митченко Дмитрий Александрович —  
аспирант Новосибирского государственного университета,  
e-mail: mitchenko1897@mail.ru.*

*Дата поступления — 13.11.2014*