

## ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА В ЗАДАЧЕ НАЗНАЧЕНИЯ

Lebedeva O.A.

### DYNAMIC MODELING TRAFFIC FLOW INTENSITY IN THE DESTINATION PROBLEM

**Аннотация.** В работе рассмотрен алгоритм решения задачи назначения. В модели транспортный поток учитывается на всех звеньях, так как автомобили привязаны к маршруту. Приведена модель исследования транспортного потока в пространстве со временем в качестве третьего измерения.

**Ключевые слова:** транспортный поток, оценка интенсивности, динамическое моделирование, трехмерное пространство.

**Abstract.** The paper presents a variant of solving the traditional assignment problem. In such models, the traffic flow is taken into account at all its links, since the cars are tied to the route. Consider a variant of the model with the study of the traffic flow in space over time as the third dimension.

**Keywords:** traffic flow, intensity estimation, dynamic assignment, three-dimensional space.

В традиционных моделях назначения двумерные матрицы назначаются двумерным сетям, а пары пунктов – звеньям, принадлежащим определенному маршруту. Так как звенья не имеют временного измерения, делается неявное предположение, что автомобили присутствуют на всех звеньях одновременно. Автомобили, которые попали в транспортный затор на улично-дорожной сети, также могут учитываться в расчетах. Чтобы улучшить процесс назначения, к традиционному двумерному назначенному пространству добавляется измерение времени. Трехмерная матрица назначается трехмерной сети [1].

В исследовании рассматриваются: двумерные задачи; принципы динамического назначения в трехмерном временном пространстве; принципы использования алгоритма; увеличение пропускной способности на участке улично-дорожной сети с сужением.

В двумерных моделях назначения сети определяются звеньями. Эти связи соединяют две модели ( $j$  и  $k$ ). Каждый узел  $j$  (1, 2, 3, ...) и  $k$  (1, 2, 3, ...) имеет координаты  $x_j; y_j$  и  $x_k; y_k$ . Каждое звено имеет определенную длину ( $z_{jk}$ ) с расстоянием, временем, или обобщенным измерением времени.

Равновесный метод можно использовать при наличии в сети перегруженных звеньев [2]. Время на каждом звене  $jk$  ( $z_{jk}$ ) рассчитывается с помощью функции задержки:

$$z_{jk} = F(q_{jk}, C_{jk}, z_{jko}), \quad (1)$$

где  $q_{jk}$  – транспортный поток на звене  $jk$ ,  $C_{jk}$  – пропускная способность звена  $jk$ ,  $z_{jko}$  – время проезда по звену  $jk$  в незагруженной сети,  $z_{jk}$  – время проезда по звену  $jk$  в загруженной сети.

Значение  $q_{jk}$  рассчитывается итерационно. Равновесие будет достигнуто, когда поток на всех используемых маршрутах  $m$  будет одинаков и не будет неиспользуемых звеньев. Для достижения равновесия можно использовать метод линейной аппроксимации. Поток на итерации  $i$  ( $q_{jk}^i$ ) рассчитывается как линейная комбинация  $i$  ( $q_{jk}^{i-1}$ ) и  $i$  ( $q_{jk}^+$ ). Величина  $q_{jk}^+$  – назначенный транспортный поток по кратчайшим маршрутам в сети с  $Z_{jk}^{i-1} = F[q_{jk}^{i-1}, C_{jk}]$ . Связи определяются узлами  $jk$  и периодом  $p$ . Вместо времени на звене  $jk$  вводится показатель время на звене  $jk$  в период  $C$ . Транспортные потоки также определяются узлами  $jk$  и периодом  $C$ . Маршруты рассчитываются на поверхности и в пространстве, поэтому используется трехмерное временное пространство. Менее логичные пути установления равновесия в двумерном пространстве решаются в трехмерном. Задачу можно сформулировать как трехмерную равновесную модель. Алгоритм состоит из следующих шагов:

1. Чтение двумерной сети.
2. Определение трехмерной матрицы.
3. Определение периода пропускной способности звеньев.
4. Расчет задержки на звеньях.
5. Расчет кратчайших маршрутов в трехмерном пространстве.
6. Назначение трехмерной матрицы корреспонденций кратчайшим маршрутам.
7. Загрузка сети.
8. Если критерий остановки не достигнут, возврат к 4 шагу.

Трехмерный алгоритм подобен алгоритму в двумерном пространстве, есть некоторые важные отличия на более детальном уровне:

1. Чтение двумерной матрицы и сети. Существующие двумерные сети можно использовать в трехмерных расчетах; следовательно, нет необходимости в преобразовании или дополнительном вводе данных. Этот фактор является практическим преимуществом метода.

2. Определение трехмерной матрицы. Трехмерная матрица определяется путем разбиения двумерной нулевой матрицы на периоды, определяемые долями времени отправления. Эта система является хорошим способом аппроксимации пиковых периодов. Для длительных периодов (в праздничные дни) следует использовать более сложные методы определения трехмерной матрицы.

3. Определение мощности периода. Периодическая пропускная способность звена может быть определена как часть часовой пропускной способности. Емкость умножается на соотношение длины периода и 60 минут. Также воз-

можно уменьшить некоторую мощность периода для учета задержек, вызванных строительством автомагистралей.

4. Определение задержки на звене. Функция задержки используется для определения задержки в трехмерных звеньях. Она аналогична функции в двумерном пространстве.

$$z_{jkp} = F(q_{jkp}, Q_{jkp}, C_{jkp}, z'_{jkp}), \quad (2)$$

где  $q_{jkp}$  – количество автомобилей на звене  $kj$  в период  $p$ ;  $Q_{jkp}$  – количество транспортных средств за предыдущие периоды (в транспортном заторе);  $C_{jkp}$  – вместимость (количество автомобилей на единицу протяженности улично-дорожной сети) в период  $p$ ;  $z'_{jkp}$  – время на ненагруженном звене  $jk$  в период  $p$ ,  $z_{jkp}$  – время на загруженном звене  $jk$  в течение периода  $p$ .

В общем,  $z_{jkp}$  будет иметь разные значения в зависимости от периода. Перегруженные звенья в предыдущих периодах влияют на задержку в более поздние периоды.

5. Определение кратчайших маршрутов в трехмерном пространстве. Момент прохождения узлов зависит от задержек, которые могут различаться от периода к периоду. Кроме того, автомобили используют звенья в разные периоды. В трехмерном пространстве определение маршрутов от начала координат аналогично таковому в двумерном пространстве. Для этого можно использовать алгоритм Дейкстры. Разница в том, что это определение маршрута выполняется для всех периодов, а не только для одного, как в двумерном пространстве. Еще одно важное отличие состоит в том, что маршруты в трехмерном пространстве находятся посредством одновременного сравнения пространственных и временных путей, что позволяет сравнивать маршруты между пунктами отправления и назначения.

6. Назначение трехмерной матрицы кратчайшему трехмерному маршруту. В двумерном пространстве все автомобильные поездки нулевой пары назначаются всем звеньям кратчайшего маршрута. В трехмерном пространстве используемые в разные периоды автомобили должны быть отнесены к разным периодам.

7. Загрузка сети. Производится из предыдущей итерации и рассчитанных потоков. Используются два метода. Первый – аналогичен методу линейной аппроксимации метода равновесия. Второй алгоритм использует уравнение (3):

$$q_{jkp}^i = q_{jkp}^+ \times g^i + q_{jkp}^{i-1}, \quad (3)$$

где значение  $g^i$  зависит от количества итераций ( $i$ ) и будет выбрано таким образом, чтобы не было перегруженных звеньев; определяется как:

$$g^i = \min \left[ \frac{1}{i+1}, (g_{jkp}^{i-1} - C_{jkp}) / q_{jkp}^+ \right] \quad (4)$$

Трехмерный расчет требует больше времени, чем двумерный. Время расчета является произведением: количества итераций; количества периодов времени; времени, необходимым для расчета назначения.

Поскольку традиционные двумерные методы присвоения имеют некоторые недостатки, для их улучшения было введено временное измерение. Алгоритм аналогичен двумерному варианту. На детальном уровне есть некоторые отличия, которыми нельзя пренебрегать: существующие двумерные сети могут использоваться в качестве исходных данных для расчетов; время расчета больше; развитие компьютерного оборудования делает этот метод пригодным для очень больших сетей.

В заключение, динамическая задача в трехмерном временном пространстве может быть использована для:

- более реалистичного распределения потока в перегруженных сетях;
- получения данных о перегрузке в обратном направлении после повышения пропускной способности в прямом направлении;
- расчета снижения пропускной способности с учетом заторов на улично-дорожной сети в обратном направлении, вызванного такими факторами, как строительство и содержание дорог, дорожно-транспортными происшествиями;
- оценки эффективности подачи автомобилей в систему на определенные стратегически выбранные звенья;
- возможности использования программы как части предупреждения о задержке системы во время заторов на дорогах.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Лебедева, О. А.** Динамическое моделирование оптимального маршрута в мультимодальной транспортной сети / О.А. Лебедева // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2020. № 1 (65). С. 44-50.

2. **Hamerslag, R.** Dynamic assignment in three-dimensional time space / R. Hamerslag // Transportation Research Record Issue Number: 1220 Publisher: Transportation Research Board, 1989, p. 28-32.