

УДК 519.179.2:656.860

Н.В. Гороховатская, И.В. Якименко

*Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков*

## ПРОБЛЕМА РАЗВОЗКИ МЕЖДУНАРОДНОЙ ПОЧТЫ

*В работе рассматривается проблема развозки международной почты. Эта задача относится к классу задач оптимизации путей на графе высокой размерности. Приведена формальная постановка задачи и представлен один из способов декомпозиции задачи. Приведены основные этапы решения и методы построения приближённого решения задачи.*

**Ключевые слова:** графы, оптимизация, транспортные перевозки, теория расписаний, почта.

### Введение

Потребность людей в обмене информацией появилась в глубокой древности. С зарождением письменности информация стала передаваться в письменном виде, что положило начало почтовой связи. В организационном отношении почтовая связь представляет собой единую систему, состоящую из сети предприятий связи и транспортных средств, которые обеспечивают приём, обработку и доставку почтовых отправлений. К предприятиям связи относят почтамты и узлы связи, и входящие в их состав отделения связи. Почтамты организованы в республиканских, краевых и областных центрах; в городах республиканского и областного подчинения, районных центрах организованы узлы связи. В городах получают распространение автоматизированные пункты связи «Почта-автомат», где услуги почтовой связи предоставляются в форме самообслуживания. Сельское население в тех местах, где нет стационарных предприятий связи, обслуживают передвижные отделения связи, под которые оборудуются автомобили повышенной проходимости, курсирующие между населёнными пунктами по расписанию.

Под обработкой почтовых отправлений понимают главным образом их сортировку по адресным данным и подготовку к отправке по наиболее выгодным путям, обеспечивающим быстрое вручение их адресатам. Завершающим этапом работы предприятий почтовой связи является доставка и вручение почтовых отправлений адресатам [1].

Основными целями развития почтовой связи являются высокое качество обслуживания клиентов на объектах почтовой связи, предоставление широкого набора услуг за счет сохранения полного объема традиционных услуг почтовой связи и финансовых услуг, а также развития новых видов услуг, обеспечения высокого уровня надежности и качества предоставляемых услуг до базового уровня развитых стран, внедрение инновационных технологий в развитие почтовой связи и ее коренная модерниза-

ция для оказания качественных почтово-финансовых и логистических услуг [2].

Международная почтовая связь – обмен почтовыми отправлениями между организациями почтовой связи, находящимися под юрисдикцией разных государств. Организацию почтовой связи обеспечивает Всемирный почтовый союз – специализированное учреждение ООН, устанавливающее международные нормы почтового обслуживания. Всемирный почтовый союз предоставляет техническую помощь и содействует развитию сотрудничества в области почтовых услуг. Существуют также организации меньшего масштаба: Почтовый союз Латинской Америки и Испании, Конференция европейских администраций почты и электросвязи, Почтовый союз Азии и Океании, Арабский почтовый союз, Африканский почтовый союз и Африкано-Мадагаскарский союз почты и электросвязи.

На сегодняшний день существенной является задача доставки международной почты, а также организации единой информационной системы контроля и регистрации почтовых отправлений. Проблема развозки МП по территории Украины решена проф. Яцуком [3], однако проблема координации развозки МП остается открытой.

### Постановка проблемы в общем виде

Существует распределенная система из определенным образом упорядоченных пунктов обработки международной почты (ПМПО – пункты международного почтового обмена) и путей сообщения между ними. В ПМПО выполняется прием и перенаправление объектов МП.

Некоторые ПМПО связаны с ММПО (места международного почтового обмена), выполняющими процедуры обработки МП (сортировку, штемпелевание, обеспыливание и др.).

Маршруты движения МП образуются исходя из возможности использования вида перевозок:

– наземная (водная, автомобильная, железнодорожная);

- воздушная (авиаперевозки);
- SAL (смешанная).

Каждое отправление характеризуется параметрами:

- вид (посылки, письма, бандероли);
- категория (ценные, заказные и др.);
- срочность (срочные, с гарантированным сроком доставки, несрочные и др.).

Путь из пункта отправления (ПО) в пункт назначения (ПН) характеризуется стоимостью перевозки (в зависимости от используемого вида транспорта) и временем / скоростью доставки.

Необходимо сформировать процедуру отправки, которая включает в себя:

1. Выбор вида транспортировки (если не регламентирован).
2. Выбор конкретного отправления (определение порядка рассылки).
3. Определение маршрута следования.

Критериями оптимальности являются минимум затрат на доставку и минимальные сроки доставки, надежность доставки.

Таким образом, для множества направлений из пункта отправки необходимо выбрать эффективный маршрут доставки (рис. 1), а также сформировать для пользователя возможные маршруты доставки с оценкой стоимости и времени доставки.

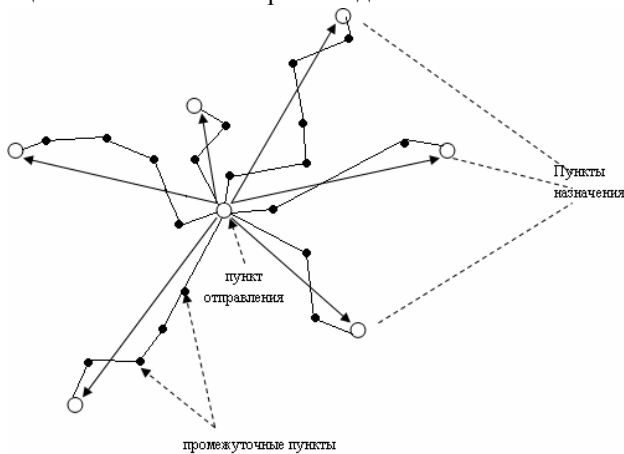


Рис. 1. Логическая схема доставки МП

Маршрут из пункта отправления в  $j$ -й пункт назначения представляет собой маршрут на графе, проходящий через некоторое конечное подмножество вершин.

Задача заключается в формировании множества маршрутов для множества отправлений из каждого ПО и выбора оптимального маршрута доставки.

### Формализация задачи

Сеть представляется в виде орграфа  $G = (V, E)$ , где  $V$  – множество вершин графа,  $E$  – множество ребер графа.

На множестве вершин графа выделяется под-

множество вершин, в которых выполняется обработка почтовых отправлений (пункты назначения)  $v = \{v_1, v_2, \dots, v_n\} \subset V$ ,  $i = \overline{1, n}$ . Для каждой вершины графа  $v_i$ ,  $i = \overline{1, n}$  задан набор характеристик  $v_i^\gamma = \{\gamma_i^c, \gamma_i^t\}$  – соответственно стоимость и время обработки.

Каждое отправление выходит из пункта отправления  $S_j$  в пункт назначения  $f_j$ ,  $S_j, f_j \in V$ ,  $j = \overline{1, m}$ . Множество пунктов отправления и пунктов назначения  $A = \{S_1, f_1, \dots, S_m, f_m\} \subset V$ . Каждое отправление характеризуется набором параметров  $a_i^\alpha = \{\alpha_i^b, \alpha_i^k, \alpha_i^{cp}\}$  – соответственно вид, категория и срочность.

Ребра графа  $e \in E$  характеризуются параметрами  $e = \{e^c, e^t\}$  – соответственно стоимость и время доставки. Т.к. между любой парой вершин существует возможность отправки как наземным, так и воздушным видом транспорта, соответственно граф содержит кратные ребра, кратность – 2.

Маршрут для каждого отправления может включать различные ребра, в этом случае вид транспортировки является смешанным (SAL). Маршрут для каждого отправления включает последовательность вершин, через которые проходит отправление, последовательность ребер, время обработки и время доставки, множество «актов» обработки. Таким образом, маршрут  $\mu_j$  задается наборами:

- набор вершин  $(v_j^0 \dots v_j^{l_j})$ , где  $v_j^0 = S_j$ ,  $v_j^{l_j} = f_j$ ,  $v_j^i \in V$ ,  $i = \overline{0, l_j}$ ;
- набор ребер  $(e_j^1, \dots, e_j^{l_j})$ , где  $e_j^i = (v_j^{i-1}, v_j^i)$ ,  $e_j^i \in E$ ,  $i = \overline{1, l_j}$ ;
- время следования по маршруту  $t^c = \sum_{e_j^i \in E} e_j^i + \sum_{v_j^i \in V} \gamma_i^t$  (включает время доставки и время обработки каждого отправления);

- подмножество обрабатываемых вершин  $v_j = \{v_j^{k1}, \dots, v_j^{kn}\} \subset \Phi$ , где  $k_j$  – номер вершины маршрута, в котором происходит обработка,  $v_j^{ki} = v_j^{ki}$ .

Целевая функция в общем виде может быть представлена как:

$$F(\mu_j) = \text{extr}_{j=1, m} (C_j, T_j), \quad (1)$$

где  $\mu_j$  – маршрут движения  $j$ -го отправления,  $C_j$  – суммарные затраты на доставку и обработку отправления, определяется по формуле (2),  $T_j$  – суммарное

время доставки отправления из пункта отправления в пункт назначения, определяется по формуле (5).

Данная задача является задачей двухкритериальной оптимизации с ограничениями.

Суммарные затраты определяются как:

$$C_j = C_{\text{обработки}} + C_{\text{перевозки}}, \quad (2)$$

где  $C_{\text{перевозки}}$  – суммарные затраты на перевозку отправления в зависимости от выбранного вида транспортировки,  $C_{\text{обработки}}$  – суммарные затраты на обработку отправления через все вершины, входящие в маршрут. При этом затраты на обработку определяются как:

$$C_{\text{обработки}} = \sum_{v_j^i = V, i=0, \bar{l}_j} (C_{\text{пр}} + C_{\text{отпр}}) + \sum_{v_j = \{v_j^{k1}, \dots, v_j^{kn}\} \subset \Phi} (C_{\text{пр}} + C_{\text{обр}} + C_{\text{отпр}}), \quad (3)$$

где  $C_{\text{пр}}$  – стоимость приема отправления в пункте обработки;  $C_{\text{отпр}}$  – стоимость отправки отправления в пункте обмена;  $C_{\text{обр}}$  – стоимость обработки отправления в пункте обработки.

Суммарные затраты на перевозку определяются как:

$$C_{\text{перевозки}} = \sum_{\forall i=1, \bar{l}_j} (e^c)^i_j. \quad (4)$$

Суммарное время доставки отправления из пункта отправления в пункт назначения определяется по соотношению:

$$T_j = \sum_{i=0, \bar{l}_j} (\gamma^t)^i_j + \sum_{i=1, \bar{l}_j} (e^t)^i_j. \quad (5)$$

При этом должны выполняться ограничения:

– на время доставки:

$$T_j \leq T^{\text{доп}}, \quad (6)$$

где  $T^{\text{доп}}$  – максимально допустимое время доставки отправления. Эта величина определяется как суммарное значение максимально возможных сроков доставки, установленных государствами, через территорию которых проходит маршрут доставки;

– стоимостное ограничение:

$$C_j \leq C_j^{\text{план}}, \quad (7)$$

где  $C_j^{\text{план}}$  – плановая стоимостная оценка перевозки отправления по  $j$ -му маршруту;

– ограничение на количество пунктов сортировки:

$$v_j = \{v_j^{k1}, \dots, v_j^{kn}\} \subset \Phi, \quad |\Phi| < |V|. \quad (8)$$

## Методы решения

Задача (1) – (8) характеризуется следующим рядом признаков:

– задан орграф высокой размерности ( $G = (V, E)$ ,  $|V| \sim 10^6$ );

– на ребрах задан набор характеристик ( $e^c, e^t$ );

– в графе выделено подмножество вершин ( $v$ );

– задана целевая функция (выражение (1));

– необходимо найти набор маршрутов, экстремизирующих значение целевой функции;

– заданы ограничения на построение маршрутов;

– заданы ограничения на отдельные маршруты.

В общем случае целевая функция зависит от характеристик рёбер, от суммарных характеристик объектов, входящих в маршруты и т.д. Обычно при решении такого класса задач имеются ограничения по времени и необходимо уменьшить суммарные транспортные расходы [4]. Возможны и иные ограничения – необходимость равномерной загрузки сети, обеспечение требуемой надежности или возможности контроля прохождения отправления по сети. Под надежностью в данном случае понимается минимально отклонение фактического времени доставки от планового:

$$\xi = (t_{\text{факт}} - t_{\text{план}}) \leq 0, \quad (9)$$

где  $\xi$  – надежность доставки отправления;  $t_{\text{факт}}$  – фактическое время доставки;  $t_{\text{план}}$  – плановое время доставки.

В данном случае целесообразно рассмотреть 2 ситуации:

1) пользователю системы почтовой связи нет необходимости в срочной доставке отправления, он заинтересован в наименьших затратах. Тогда выражение (1) может быть сведено к однокритериальной функции вида:

$$F(\mu_j) = \min_{j=1, m} C_j \text{ при условии } T_j \leq T_j^{\text{max}}, \quad (10)$$

где  $T_j^{\text{max}}$  – максимально возможный срок доставки отправления в пункт назначения;

2) пользователь заинтересован в максимально быстрой доставке отправления и готов платить за срочность. В этом случае функция цели может быть приведена к виду:

$$F(\mu_j) = \min_{j=1, m} T_j \text{ при условии } C_j \geq C_j^{\text{min}}, \quad (11)$$

где  $C_j^{\text{min}}$  – минимально возможная стоимость отправки почтового отправления по  $j$ -му маршруту. Эта величина определяется из расчета рентабельности осуществления перевозки по данному маршруту.

Исходя из рассмотренных двух случаев, можно сделать вывод о необходимости разбиения задачи на несколько этапов и решения их последовательно. Это обусловлено высокой размерностью и сложно-

стью задачи, и, следовательно, необходимостью применять различные методы и подходы.

Комплексная задача развозки международной почты включает в себя решение задачи составления маршрутов следования и формирования планов направлений для всех ПМПО, входящих в состав системы развозки МП, а также оптимизация маршрутов согласно требованиям пользователей. При этом, решая задачу оптимизации маршрутов, необходимо учитывать приоритеты пользователей (срочность или стоимость доставки).

Для решения всего комплекса задач предложен обобщенный алгоритм решения:

1. Для  $r$ -го пункта отправления сформировать планы направлений для всех отправок, сортированных в порядке срочности отправки. Эта задача включает в себя набор подзадач:

- формирование возможных маршрутов различными видами транспорта;
- оценка маршрутов по критериям стоимости и скорости доставки;
- выбор эффективных маршрутов следования;
- оценка надежности доставки по выбранным маршрутам.

2. По требованию пользователя сформировать возможные маршруты следования с учетом срочности отправки. Эта задача включает в себя:

- идентификация параметров отправления – определение необходимого срока доставки и категории отправления;
- формирование эффективных маршрутов перевозки различными видами транспорта;
- оценка маршрутов по параметрам стоимости и скорости доставки;
- предоставление пользователю альтернативных вариантов доставки.

Такие задачи представляют собой задачи поиска кратчайшего пути на графе между любыми парами вершин, или при декомпозиции задачи на локальные задачи поиска оптимального маршрута между заданными вершинами [4]. Однако не всегда можно ввести понятие кратчайшего (оптимального) пути (например, один путь может быть оптимальным по времени, а другой – по стоимости).

Соответственно, возникает необходимость в поиске оптимальных путей в графе, характеристики ребер которого имеют размерность 2 и больше. В этом случае алгоритмы поиска кратчайших путей в графе (например, Дейкстры и его модификации, Флойда–Уоршола, Джонсона и др.) неприменимы [5].

К сожалению, для решения подобной задачи в настоящее время эффективных алгоритмов не существует, для решения отдельных подзадач могут применяться итерационные, эволюционные методы и эвристические алгоритмы.

## Выводы

Рассматриваемая задача имеет большую вычислительную сложность, поэтому ее решение предполагает декомпозицию задачи на подзадачи с ее поэтапным решением. Задачи подобного класса могут быть решены с использованием эвристических подходов, т.к. построение универсального алгоритма невозможно в предположении выполнения гипотезы о том, что класс  $P$  полиномиально-вычислимых задач не совпадает с классом  $NP$ -полных задач, т.е.  $P \neq NP$ .

## Список литературы

1. Вишневецкий А.А. Основные показатели деятельности почтовой связи в промышленно развитых странах мира / А.А. Вишневецкий, А.Г. Смирнов. – М., 2005. – 398 с.
2. Вести из ВПС // Почтовая связь. Техника и технологии. – 2006. – № 11. – С. 20-24.
3. Яцук Л.Е. Оптимизация зональной структуры сети почтовой связи / Л.Е. Яцук, Д.Г. Ларин // Информатика и связь: сб. науч. тр. – К., 1997. – С. 19-24.
4. Кормен Т. Алгоритмы: построение и анализ / Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест. – М.: МЦНМО, 1999. – 1296 с.
5. Харари Ф. Теория графов / Ф. Харари. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 305 с.

Поступила в редколлегию 10.03.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Е.П. Пулятин, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

## ПРОБЛЕМА ПЕРЕВЕЗЕННЯ МІЖНАРОДНОЇ ПОШТИ

Н.В. Гороховатська, І.В. Якименко

*В роботі розглядається проблема перевезень міжнародної пошти. Ця задача відноситься до класу задач оптимізації шляхів на графах великої розмірності. Наведено формальну постановку задачі та представлений один із способів декомпозиції задачі. Наведені основні етапи вирішення та методи побудовання наближеного рішення задачі.*

**Ключові слова:** графи, оптимізація, транспортні перевезення, теорія розкладів, пошта.

## PROBLEM OF DELIVERY OF INTERNATIONAL MAIL

N.V. Gorohovatsky, I.V. Jakimenko

*In work the problem of delivery international mail is considered. This problem belongs to the class of optimisation ways problems on the column of high dimension. Formal statement of a problem is resulted and one of problem decomposition ways is presented. The basic stages of the decision and methods of construction of the problem approached decision are shown.*

**Keywords:** columns, optimisation, transport transportations, the theory of schedules, mail.