

ОПЕРАТИВНАЯ МАРШРУТИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ОСНОВЕ СИНТЕЗА ИНФОРМАЦИОННЫХ КАРТ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

МАЗМАНИШВИЛИ А.С., РАФАЛОВИЧ О.Я.,
СЛИПЧЕНКО Н.И.

Рассматривается задача оптимизации маршрутов движения транспортных колонн на основе информационных карт помехозащищенности. Показывается возможность расчета эффективных маршрутов движения транспортных колонн на основе информационных карт для выбранного региона.

1. Развитие и совершенствование транспортной техники характеризуется непрерывным повышением уровня автоматизации всех видов рабочих процессов. Для выработки плана управления взаимодействием транспортных колонн необходимо решение следующих задач [1, 2]:

- определение исходного местоположения;
- вождение машин по заданному маршруту в заданный пункт;
- определение координат конечных объектов;
- прокладка и нанесение на карту маршрутов движения.

Совокупность приборов и систем, обеспечивающих решение перечисленных выше задач, обычно называется наземным навигационным комплексом (ННК), который получил широкое применение. Для решения поставленных задач ННК должен непрерывно выдавать информацию о координатах и курсе движущихся колонн, направлении на заданный пункт и оставшемся расстоянии до него, а также вычислять координаты целей.

В состав современных ННК входят: датчики скорости или датчики приращения пути (путевые системы), гироскопические курсоуказатели (курсовые системы), навигационные вычислители, гироскопические компасы, дальнометры и т.д. [3–5].

К наземным навигационным комплексам предъявляются следующие технические требования [2]:

- высокая точность выработки навигационной информации;
- длительная непрерывная работа с заданной точностью;
- малое время подготовки аппаратуры к действию;
- малые габаритные размеры и вес аппаратуры;
- высокая надежность работы;
- простота эксплуатации и обслуживания.

Наиболее важными характеристиками являются объем и точность выработки навигационной информации, которые должны соответствовать задачам транспортных машин и колонн.

С помощью ННК могут решаться три основных вида навигационных задач:

- 1) определение координат местоположения подвижного объекта и его дирекционного угла;
- 2) нахождение направления на заданный пункт назначения и кратчайшего расстояния до этого пункта;
- 3) вычисление координат наблюдаемых объектов.

2. Рассмотрим принцип решения второй навигационной задачи более подробно. Эта задача решается в тех случаях, когда известны координаты пункта назначения. При наличии на машине навигационной аппаратуры, решающей первую навигационную задачу, представляется возможность найти направление движения на заданный пункт назначения α_{nn} и вычислить расстояние до него S_{nn} :

$$\begin{cases} S_{nn} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}, \\ \alpha_{nn} = \arctg \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}. \end{cases} \quad (1)$$

Входными данными для решения этой задачи служат координаты исходного пункта x_1 и y_1 движения машины и координаты пункта назначения x_2 и y_2 . Выходной информацией является направление к пункту назначения α_{nn} и кратчайшее расстояние S_{nn} до него.

В некоторых случаях вычисляют не расстояние S_{nn} , а разности координат

$$\begin{cases} \Delta x = x_2 - x_1, \\ \Delta y = y_2 - y_1. \end{cases}$$

Однако при выходных указанных выше параметрах аппаратуры ННК невозможно определить эффективность такого маршрута движения по критерию:

- затраченного времени на прохождение маршрута;
- топографической сложности маршрута с учетом характеристик машин;
- помехозащищенности средств связи, что является немаловажным для выполнения поставленных задач в современных условиях.

Из сказанного выше вытекает необходимость в картографическом обеспечении в виде топографических и информационных карт помехозащищенности связи, а также в методах, позволяющих на основе таких карт оптимизировать процессы передвижения транспортных колонн. Задачу построения топографических карт в настоящее время успешно решают с помощью специальных космических комплексов (например, космические комплексы США типа *Samos-Ми Lasp*) [1, 6]. Информация же о помехозащищенности связи в ННК отсутствует либо является недостаточной для эффективного использования её в процессах управления взаимодействием транспортных колонн.

В настоящей работе построены алгоритмы расчета и визуализации информационных карт (ССМС) [7]. Для расчета оптимального маршрута движения колонн на основе информационных карт ССМС воспользуемся вариационным методом. Эту задачу можно свести к нахождению траектории S , которая минимизирует функционал

$$J = \int_{x_1}^{x_2} f(x, y, y'_x) dx = \int_{x_1}^{x_2} h(x, y) \sqrt{1 + y'^2_x} dx, \quad (2)$$

где $A(x_1, y_1)$ – исходный пункт движения; $B(x_2, y_2)$ – конечный пункт назначения; $h(x, y) = \lg P_{ош}(x, y)$; $P_{ош} = N_{ош}/N_{общ}$; $N_{ош}$ – число ошибочных случаев приема информации; $N_{общ}$ – общее число таких случаев. Исходя из этого и при условии $y(x_1) = y_1$ и $y(x_2) = y_2$ искомой траекторией будет $y = y(x)$ (экстремаль). Экстремум ищется в классе функций $y(x) \in C^1(x_1, x_2)$.

Теорема. Пусть $y(x)$ – экстремаль задачи (2) для функционала J . Тогда $y(x)$ удовлетворяет уравнению Эйлера [1, 3]:

$$\frac{df}{dy} - \frac{d}{dx} \left(\frac{df}{dy'} \right) = 0, \quad x_1 < x < x_2.$$

Для рассматриваемого случая получим

$$\frac{d}{dy} \left(h(x, y) \sqrt{1 + y'^2} \right) - \frac{d}{dx} \left(\frac{d}{dy'} h(x, y) \sqrt{1 + y'^2} \right) = 0.$$

Обозначим

$$h'_x = \frac{d}{dx} h(x, y), \quad h'_y = \frac{d}{dy} h(x, y) \text{ и } z = y'_x.$$

После преобразований получим систему

$$\begin{cases} y'_x = z, \\ z'_x = \frac{1}{h} \left[h'_y (1 + z^2)^2 - h'_x \cdot z (1 + z^2) \right] \end{cases} \quad (3)$$

с условиями

$$y(x_1) = y_1, \quad y(x_2) = y_2. \quad (4)$$

Перейдя от краевой задачи (3), (4) к задаче Коши, получим возможность найти искомую траекторию S с заданной точностью. Система дифференциальных уравнений в таком случае будет иметь следующий вид:

$$\begin{cases} y'_x = z, \\ z'_x = h'_y (1 + z^2)^2 - h'_x \cdot z (1 + z^2) \end{cases} \quad (5)$$

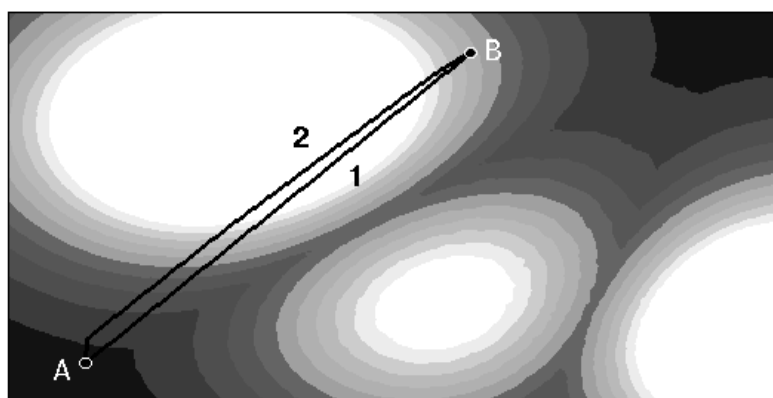
с условиями $y(x_1) = y_1$, $z(x_1) = \operatorname{tg} \alpha_k$, где α_k – набор начальных условий ($k = 1, 2, 3, \dots$). Для функционала

$$J = \int_{x_1}^{x_2} f(x, y, y'_x) dx = \int_{x_1}^{x_2} [1 + y'^2 + h(x, y)] dx$$

получим

$$y'' = \frac{1}{2y'} \frac{dh}{dx}.$$

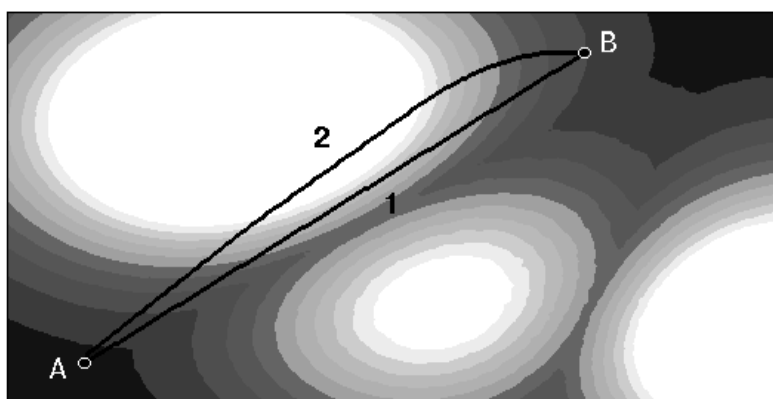
3. На рис. 1–3 показано решение задачи расчета оптимального маршрута движения транспортной колонны на заданном информационном поле (карта вероятности ошибки) и для определенного набора исходных пунктов А и пунктов назначения В движения (случай 1, 2, 3). Расчеты проводились по методу “кратчайшего расстояния” (1) (маршрут 1) и разработанному методу (5) (маршрут 2). Исследования указанных выше методов показали, что рассчитанные маршруты движения по разработанному методу (5) позволяют значительно уменьшить среднее число ошибок приема информации по сравнению с



Шкала $\lg P_{ош}$

менее -10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	более
-----------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-------

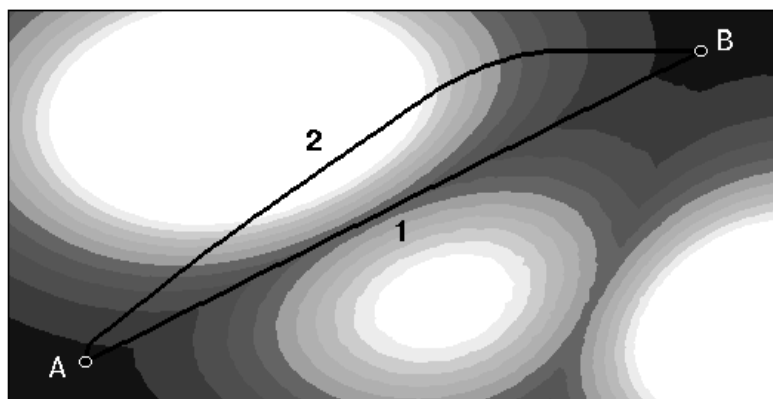
Рис. 1. Маршруты движения (случай 1)



Шкала $\lg P_{ош}$

менее -10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	более
-----------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-------

Рис. 2. Маршруты движения (случай 2)



Шкала $\lg P_{ош}$

менее -10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	более
-----------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-------

Рис. 3. Маршруты движения (случай 3)

маршрутами, рассчитанными по методу “кратчайшего расстояния”, что и демонстрируют рис. 1–3.

На рис. 4 приведена величина $N_{ош \text{ ср } 2} / N_{ош \text{ ср } 1}$, характеризующая эффективность маршрута 2 относительно маршрута 1 движения колонны по критерию среднего числа ошибок приема информации. В рассмотренных случаях, приведенных на рис. 1–3, движение машин по маршруту 2 позволяет уменьшить среднее число ошибок приема информации более чем в 1000 раз (для случая 3):

$$\lg(N_{\text{ош ср } 2} / N_{\text{ош ср } 1}) = -3,158,$$

т.е. $N_{\text{ош ср } 1} / N_{\text{ош ср } 2} \approx 1439$.

Был исследован ряд других методов оптимизации маршрута движения транспортных колонн (метод ветвей и границ, различные эвристические методы и т.д.), которые оказались более эффективными, чем метод "кратчайшего расстояния", однако их применение ограничивает большая размерность задачи.

Для оптимизации маршрута движения двух и более видов колонн целесообразно использовать декомпозицию на подзадачи для разных видов транспортных машин и основную задачу для отыскания общей стратегии [8-10].

4. Таким образом, показана возможность расчета эффективных маршрутов движения транспортных колонн на основе информационных карт помехозащищенности. Возможно создание совмещенной навигационной карты, характеризующей регион одновременно с точки зрения топографии и помехозащищенности связи.

Литература: 1. Белоглазов И.Н., Джанджтава Г.И., Чигин Г.П. Основы навигации по геофизическим полям. М.: Наука, 1985. 328с. 2. Лесков М.М., Баранов Ю.К., Гаврюк М.И. Навигация. М.: Транспорт, 1986. 360с. 3. Баклицкий В.К., Юрьев А.Н. Корреляционно-экстремальные методы навигации. М.: Радио и связь, 1982. 266с. 4. Липатов А.А., Олейник В.Ф., Живков А.П. Особенности спутниковых систем сухопутной подвижной службы связи // Тр. 5-й Крым. конф. "СВЧ-техн. и спутников. телекоммуникац. технол." Севастополь. 1995. Т.1. С. 62-70. 5. Wu W.W., Miller E.F., Pritchard W.L. Mobile satellite communications // Proc. IEEE. 1994. Vol. 82, №9. P. 1431-1448. 6. Klingenberg W. Location referencing systems for dynamic route guidance application // Proc. IEEE-IEEE Veh. Navig. and Inf. Syst. Conf. Ottawa (Canada). 1993. P. 441-444. 7. Мазманишвили А.С., Рафалович О.Я. Численные модели помехоустойчивости для украинских региональных сетей спутниковой связи // Космическая наука и технология. 1998. Т. 4, №1. С. 92-101. 8. Брайсон А., Хо Ю-Ши. Прикладная теория оптимального управления: М.:

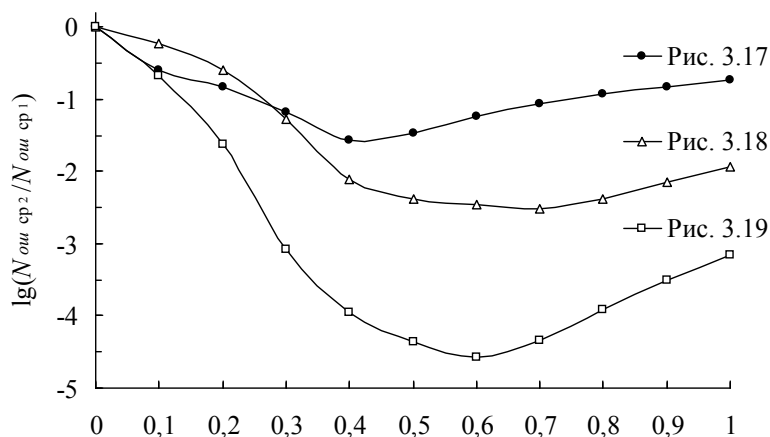


Рис. 4. Зависимость величины $N_{\text{ош ср } 2} / N_{\text{ош ср } 1}$ от относительной длины маршрута S

Мир, 1972. 544 с. 9. Гилл Ф., Мюррей У., Райт М. Практическая оптимизация. М.: Мир, 1985. 509с. 10. Гриценко В.И., Панченко А.А., Лапа А.П. Проблемно-ориентированное моделирование производственно-транспортных систем. К: Наук. думка, 1987. 160 с.

Поступила в редколлегию 15.02.99

Рецензент: д-р техн. наук Поповский В.В.

Мазманишвили Александр Сергеевич, д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры САУ ХГПУ. Научные интересы: теория связи, радиофизика, прикладная математика. Адрес: Украина, 310002, Харьков, ул.Фрунзе, 21, тел. 40-00-56.

Рафалович Олег Яковлевич, канд. техн. наук, научный сотрудник кафедры КГМ ХГПУ. Научные интересы: теория связи, прикладная математика, теория автоматического управления. Адрес: Украина, 310002, Харьков, ул.Фрунзе, 21, тел. 40-03-55.

Слипченко Николай Иванович: канд. техн. наук, доцент кафедры МЭПУ ХТУРЭ. Научные интересы: моделирование процессов формирования интегральных структур, разработка теории многофункциональных частотных элементов, систем телекоммуникаций. Адрес: Украина, 310726, Харьков, пр.Ленина, 14, тел. 47-01-07.