

## **СОПОСТАВЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ РАЗНОМАСШТАБНЫХ КАРТ**

### **Введение**

За последнее время создано очень большое количество картографической информации в электронном виде. Накопление данных происходит за счет сканирования существующих карт, а также благодаря использованию современных средств съемки местности. В последнем случае результат является более актуальным по сравнению с картами прошлых лет, т.к. за этот период могли произойти некоторые изменения объектов местности, например, ландшафта или реки.

Таким образом, один и тот же район может иметь несколько карт. Они могут быть разных годов и масштабов [1, 2]. В зависимости от типа съемки и года эти карты имеют некоторое несоответствие относительно пространственных объектов. Например, если сопоставить карту рек Сибири 50-х годов и 90-х, то за это время реки изменили свое пространственное отображение. Это обусловлено несколькими причинами:

- из-за физического изменения положения объектов;
- из-за преобразования объектов одной из карт.

Многие карты содержат пространственные объекты, к которым привязана семантическая база данных. Однако этот огромный объем информации не используется в полной мере. Это означает, что базы данных, которые есть для одной карты, не применяются к другим картам, т.к. отсутствует информация о соответствии объектов.

В настоящее время для того, чтобы перенести семантическую информацию из одной карты в другую применяется ручная обработка, в которой эксперт сначала находит на карте соответствующие пространственные объекты, а затем подключает к ним базы данных.

Автоматическое сопоставление двух карт позволит:

- подключить семантические базы данных к пространственным объектам карт других годов или разных масштабов;
- анализировать множество различных карт, как по пространственным, так и по семантическим характеристикам.

То есть решение задачи сопоставления разных карт открывает новые возможности для анализа местности путем обобщения в единое информационное пространство всех имеющихся картографических данных. Благодаря этому отпадает необходимость ручной обработки географической информации для определения одного и того же объекта местности, но на разных картах. Кроме этого, станет возможным применить огромный массив

электронной картографической информации, которая сейчас, в большинстве своем, хранится без семантической привязки.

### Постановка задачи

Пусть имеются две карты, которые отображают одну и ту же местность, но пространственные объекты этих карт не соответствуют друг другу. Требуется найти преобразование, которое позволит находить соответствие между объектами двух разных карт друг с другом.

Формально поставленная задача имеет следующий вид.

Пусть  $A$  и  $B$  – две карты, причем необязательно одного масштаба. Каждая карта содержит пространственные объекты, которые идентичны по смыслу. Это означает, что они имеют одинаковую семантику, но различны по графическому отображению и расположению.

Представим карту  $A$  следующим образом:

$$A = \{(a_i, d_i)\}_{1,n} = \{(a_1, d_1), (a_2, d_2), \dots, (a_n, d_n)\} \quad (1)$$

где  $n$  – количество пространственных объектов карты  $A$ ;

$(a_i, d_i)$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) –  $i$ -й пространственный объект, состоящий из двух компонент;

$a_i$  – пространственное отображение  $i$ -го объекта карты  $A$ ;

$d_i$  – семантическая информация  $i$ -го объекта карты  $A$ .

Аналогично, формальное описание карты  $B$  имеет вид:

$$B = \{(b_j, d_j)\}_{1,m} = \{(a_1, d_1), (a_2, d_2), \dots, (a_m, d_m)\} \quad (2)$$

где  $m$  – количество пространственных объектов карты  $B$ ;

$(b_j, d_j)$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ ) –  $j$ -й пространственный объект, состоящий из двух компонент;

$b_j$  – пространственное отображение  $j$ -го объекта карты  $B$ ;

$d_j$  – семантическая информация  $j$ -го объекта карты  $B$ .

В том случае, если карты  $A$  и  $B$  имеют одинаковое количество объектов, то  $n = m$ .

Чаще всего это бывает тогда, когда карты одного и того же масштаба.

Предположим, что карта  $A$  имеет заполненную семантическую базу данных, а карта  $B$  – нет. Необходимо перенести данные из  $A$  в  $B$ . Для этого, каждый объект  $(a_i, d_i)$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) из карты  $A$  необходимо сопоставить с одним и только одним объектом  $(b_j, d_j)$  ( $j \in 1, 2, \dots, m$ ) карты  $B$ . Причем из-за отсутствия семантической информации в объекте карты  $B$  составляющая  $d_j$  есть пустое множество.

Это означает, что необходимо найти преобразование, которое переводит геометрическую форму  $a_i$  ( $i \in 1, 2, \dots, n$ ) в  $b_j$  ( $j \in 1, 2, \dots, m$ ), т.е.:

$$f_k : a_i \rightarrow b_j \quad (k \in 1, 2, \dots) \quad (3)$$

где  $f_k$  –  $k$ -е преобразование  $a_i$  в  $b_j$ .

Формула (3) может быть записано в следующей форме:

$$b_j = f_k(a_i) \quad (k \in 1, 2, \dots), \quad (3^*)$$

Преобразование  $f_k$  ( $k \in 1, 2, \dots$ ) может быть применено к каждому объекту. Однако, в идеальном случае, с помощью преобразования  $f_k$  можно сопоставить все объекты из карты  $A$  в карту  $B$ .

Можно предположить, что, если преобразование  $f_k$  ( $k \in 1, 2, \dots$ ) применяется для одной совокупности объектов, то оно будет действительно и для другой части карты. Тогда задача сводится к следующему.

Требуется найти некоторое отображение, которое преобразует геометрическую форму объектов из карты  $A$  в карту  $B$ , т.е.:

$$F : A \rightarrow B \text{ или } B = F(A) \quad (4)$$

### **Алгоритм кусочно-аффинного преобразования картографической информации**

В качестве преобразования  $F$  выбран алгоритм, который состоит из следующих этапов:

1. Выбираются ключевые точки карты  $A$ ;
2. Выбираются ключевые точки карты  $B$ ;
3. Строится триангуляция по созданным ключевым точкам из каждой карты. В результате имеем два списка треугольников;
4. Все объекты карты  $A$  разбиваются на множество независимых точек с координатами  $(x_i, y_i)$  ( $i = 1, 2, \dots$ );

5. Над каждой точкой карты  $A$  выполняется следующая совокупность действий:

5.1. Определяется треугольник карты  $A$ , куда попадает точка, по следующей формуле:

$$S = S_1 + S_2 + S_3, \quad (5)$$

где  $S$  – площадь треугольника  $P_1P_2P_3$  (рис. 1);

$S_1$  – площадь треугольника  $P_2PP_3$ ;

$S_2$  – площадь треугольника  $P_1PP_3$ ;

$S_3$  – площадь треугольника  $P_1PP_2$ ;

Если условие (5) выполняется, то проверяемая точка лежит в треугольнике, иначе – нет.

Площадь треугольника можно найти по формуле Герона:

$$S = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}, \quad (6)$$

где  $a, b, c$  – стороны треугольника;

$p = \frac{a+b+c}{2}$  – полупериметр треугольника.

5.2. Для точки  $P$  находятся барицентрические координаты [3]:

$$u = \frac{S_1}{S}, v = \frac{S_2}{S}, \omega = \frac{S_3}{S}, \quad (7)$$

где  $u, v, \omega$  – барицентрические координаты, причем  $u + v + \omega = 1$ ;

$S, S_1, S_2, S_3$  – площади треугольников (рис. 1).

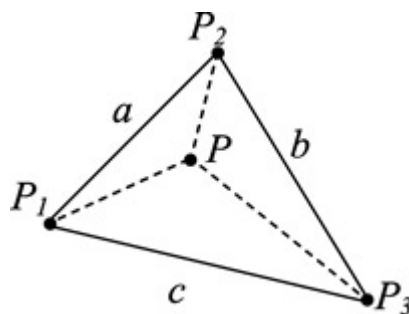


Рис. 1. Попадание точки в треугольник

5.3. В карте  $B$  находится соответствующий треугольнику  $P_1P_2P_3$  треугольник  $P'_1, P'_2, P'_3$  (рис. 2).

5.4. По координатам вершин треугольника  $P'_1, P'_2, P'_3$  и барицентрическим координатам  $u, v, \omega$  определяется преобразованная точка  $P'$ :

$$P' = uP'_1 + vP'_2 + \omega P'_3. \quad (8)$$

6. Отображается результат преобразованной карты.

В ходе такого преобразования новая карта сохраняет всю семантическую базу данных объектов с изменением их геометрической составляющей, что отвечает требованиям в постановке задачи.

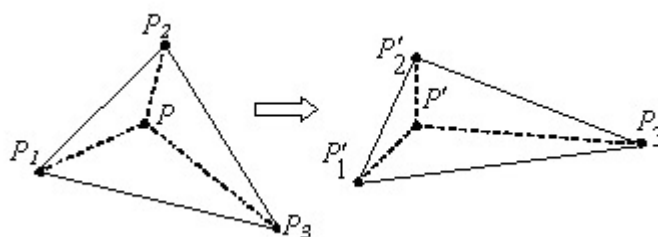


Рис. 2 – Преобразование точки

## **Исследование алгоритма кусочно-аффинного преобразования картографических объектов**

Разработана программа кусочно-аффинного преобразования картографических объектов, которая состоит из трех модулей:

- 1) включающий в себя классы по описанию исходных данных, триангуляции Делоне;
- 2) описывающий кусочно-аффинного преобразование;
- 3) интерфейсный модуль.

Сначала рисуется векторная карта, используя при этом контурное представление данных. Последовательно расставляя точки на экране можно получить точечный, линейный или полигональный объект. На примере (рис. 3) показано два объекта: река, состоящая из трех линейных элементов, и озеро, представляющее собой один полигональный объект.

Далее расставляются ключевые точки на обеих картах. Номера ключевых точек должны обязательно соответствовать друг другу. Пример ввода ключевых точек изображен на рис. 3.

Теперь необходимо выполнить триангуляцию с помощью меню «Сервис» Выполнить триангуляцию» и преобразование «Сервис»Выполнить преобразование». Результат работы программы изображен на рис. 4. По ключевым точкам как на исходной (слева), так и на преобразованной карте (справа) строится триангуляция Делоне. После кусочно-аффинного преобразования отображаются те же самые объекты, но с другими координатами.

По проведенным тестам можно сделать вывод, что результат преобразования объектов карты является верным. Исследования показали, что чем больше ключевых точек будет расставлено на картах, тем точнее будет результат. Это связано с тем, что при увеличении точек, по которым строится триангуляция Делоне, увеличивается и число треугольников, которые имеют непосредственное влияние на преобразование объектов.

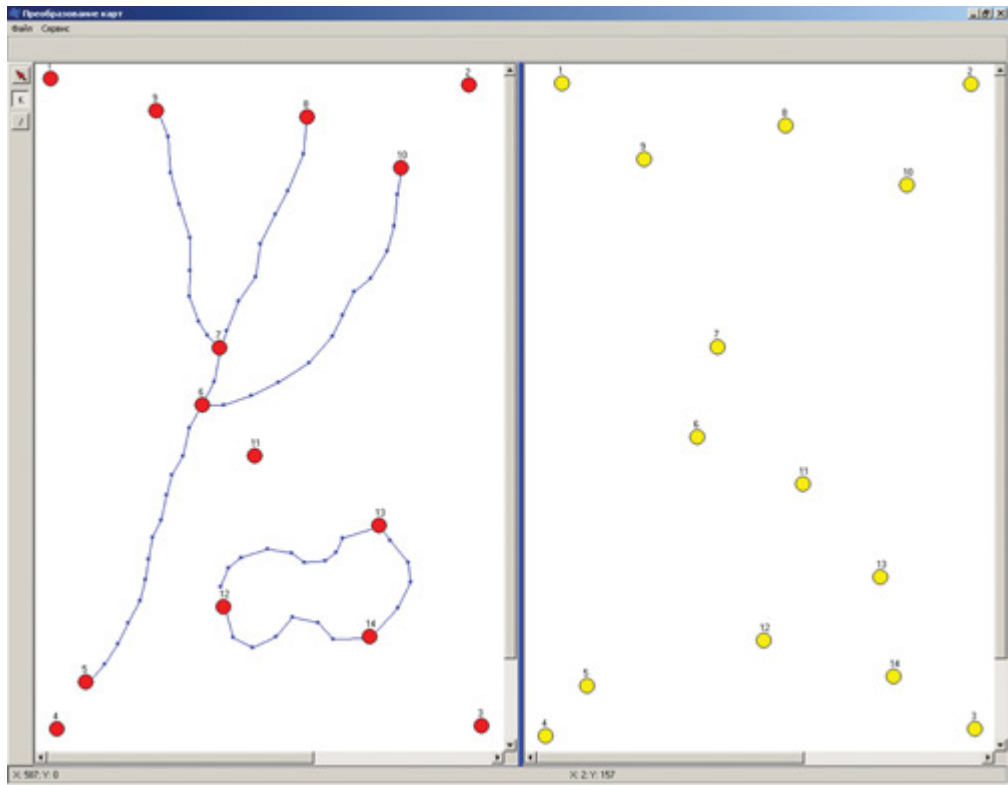


Рис. 3. Ввод исходных данных

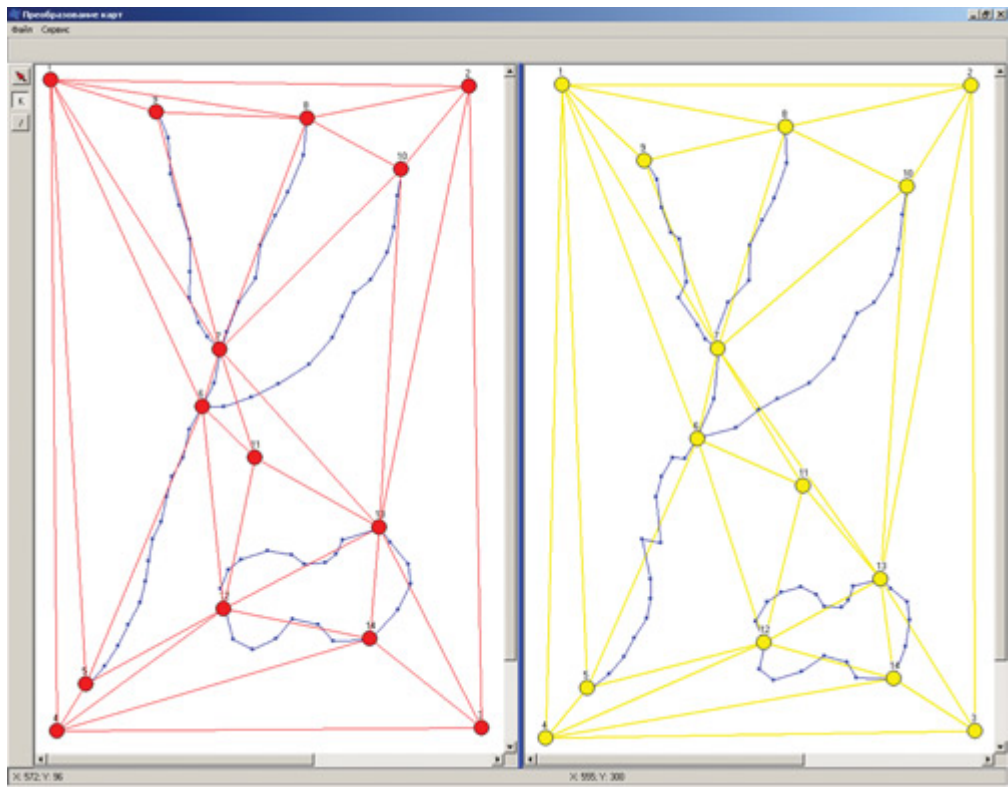


Рис. 4. Результат преобразования карты

## Заключение

Предложен алгоритм сопоставления элементов разномасштабных карт, который позволяет подключить семантические базы данных к пространственным объектам карт других годов или разных масштабов. Данный алгоритм основан на кусочно-аффинном преобразовании картографических объектов. Он преобразовывает объекты карты на основе ключевых точек другой карты, которые сопоставляются с ключевыми точками первой. Разработана программа, реализующая данный алгоритм. Проведены исследования программы, которые подтвердили возможность применения данной разработки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Садыков С.С., Еремеев С.В.* Автоматический контроль размещения пространственных объектов на цифровой карте с использованием топологических отношений // Информационные технологии. 2005. № 8. С 6-9.
2. *Еремеев С.В.* Алгоритм размещения слоев на цифровой карте в ГИС // Геоинформатика. 2005. № 2. С 22-27.
3. [http://www.mai.ru/~apg/Volume1/Number1/dyi11/dyi\\_11.htm](http://www.mai.ru/~apg/Volume1/Number1/dyi11/dyi_11.htm)