

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПЛАНА ГОРИЗОНТАЛЕЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ

RECONSTRUCTION OF CONTOUR LINES CHART AT PROCESSING OF TOPOGRAPHIC MAPS

**V. Tarasyan
N. Dmitriev**

Summary. We propose a production rule system for reconstruction of contour lines chart at processing of topographic map. In takes into account geometric attributes of end points neighborhood of contour lines segments and colors of raptures. F-measure is used for determination of optimal values of parameters and proving efficiency of proposed approach.

Keywords: artificial neural network, production rule system, reconstruction of contour lines.

Тарасян Владимир Сергеевич

*К. ф.- м. н., Уральский государственный университет
путей сообщения (г. Екатеринбург)
vtarasyan@gmail.com*

Дмитриев Никита Владимирович

*Аспирант, Уральский государственный университет
путей сообщения (г. Екатеринбург)
dmitrievnikita13@gmail.com*

Аннотация: В работе произведено построение системы продукционных правил для автоматизирования восстановления плана горизонталей при обработке топографических карт. Правила учитывают геометрические характеристики окрестностей концевых точек сегментов горизонталей. С помощью F-меры были найдены оптимальные значения параметров правил и доказана их эффективность.

Ключевые слова: искусственная нейронная сеть, продукционная система правил, восстановление горизонталей.

Введение

В последнее время системы поддержки принятия решения при проектировании транспортно-логистической инфраструктуры получили широкое развитие вследствие возможности автоматизированной обработки топографических карт. Существующие программные решения, однако, носят скорее процедурный характер, выполняя только простейшие операции над цифровыми изображениями, оставляя сложные интеллектуальные задачи человеку. При этом время преобразования топографических карт в геоинформационную систему местности сокращается, но остаётся до сих пор на достаточно высоком уровне.

Топографические карты представляют собой цветные сложноструктурные изображения низкой чёткости. Наполнение их различными по свойствам и функциям объектами говорит не только о высокой информационной плотности, но и о наличии большого количества знаний, необходимых для их обработки (базами знаний при этом являются правила изображения ТК). Всё это говорит о необходимости прохождения полного цикла их обработки, включая понимание изображения в целом [5]. При этом полная автоматизация считается невозможной, человеку в любом случае необходимо верифицировать результаты работы обрабатывающих программ, в том числе и вносить некоторые исправления [3].

Постановка проблемы

Одной из основных задач понимания изображения топографических карт является воссоздание

плана горизонталей. Каждой горизонтали ставится в соответствие высота над уровнем моря. Значения высот дискретизируются с некоторым шагом и не всегда отображаются на горизонталях. Из полного плана горизонталей можно получить объёмную модель местности и делать первичные выводы об оптимальном расположении инфраструктурных объектов.

Реальные горизонтали не могут пересекаться и являются замкнутыми кривыми, но их отображение на ТК может привести к их частичному перекрытию другими объектами или замыканию на края карты. Кроме того, горизонтали могут иметь различный вид: тонкие, утолщённые (каждая 4-я или 5-я горизонталь) или штриховые (отражают полушаг). Всё это приводит к тому, что при выполнении предобработки и сегментации горизонталей оптическими и морфологическими методами может быть потеряно большое количество информации о характере рельефа, топология отображения горизонталей может существенно меняться.

Существует несколько основных проблем, которые необходимо решить для восстановления плана горизонталей. Первая относится к воссозданию правильной топологии плана, то есть сращивание разорванных горизонталей и размыкание ложно соединённых. Вторая — распознавание начертания горизонтали. Третья — определение конкретного значения соответствующей высоты. В данной статье подробно рассмотрена первая проблема.

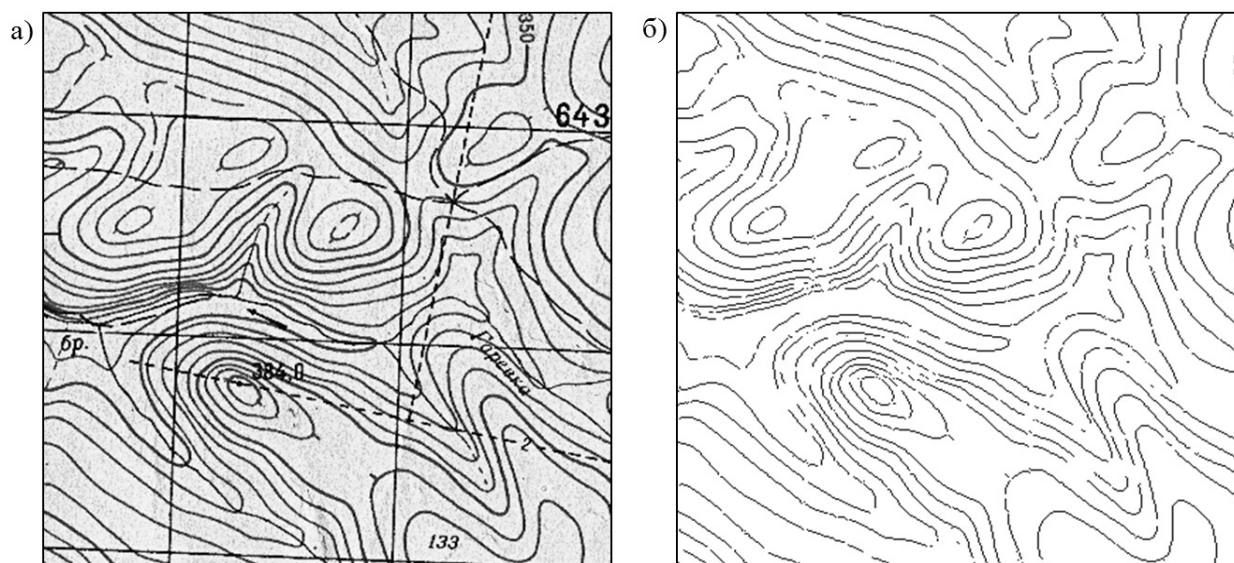


Рисунок 1. а) участок сканированной ТК; б) карта сегментов горизонталей.

Алгоритм восстановления плана горизонталей

Для получения начальной информации о расположении горизонталей была обучена искусственная нейронная сеть, получающая на входе цветные координаты соседних пикселей (всего 27 входов) [6]. На выходе нейронной сети — мера принадлежности данного пикселя к цвету горизонталей. Фактически данная операция выполняет более интеллектуальную сегментацию, чем другие методы, так как использует весь цветовой спектр, без предобработки изображения ТК в полутоновое, чем достигается сохранение информации. Благодаря использованию ИНС была достигнута гибкость при сегментации, метод показывает достаточно хорошие результаты на небольших кусках ТК.

Полученные сегменты далее необходимо обработать, для этого предварительно была проведена операция скелетонизации и разделения ветвления, так как при этом не теряется информация о топологии исходной карты (горизонталы изначально не могут пересекаться). В итоге получился набор криволинейных отрезков, которые необходимо соединить с учётом того, что все горизонталы могут быть либо замкнутыми, либо замыкаться на краях ТК. Пример ТК изображён на рис. 1а, полученные сегменты на данном этапе — на рис. 1б.

Далее, чтобы произвести правильное сращивание сегментов, необходимо построить их оптимальную модель, сохраняющую основную информацию и обладающую минимальным количеством данных для ускорения обработки. Известно, что любой криволинейный отрезок на плоскости можно аппроксимировать сплайном,

но информация о промежуточных фрагментах нам совершенно не нужна, так как внутри сегмента считается (учитывая предыдущий шаг алгоритма), что никаких ветвлений и разрывов быть не может. Таким образом, определяющую роль для задачи соединения сегментов играют только концевые точки сегментов и характеристики их окрестностей.

Самым примитивным правилом объединения сегментов является пространственная близость их конечных точек [1, 2]:

$$|\vec{r}_i - \vec{r}_j| < \rho,$$

где \vec{r}_i, \vec{r}_j — вектора i -ной и j -той концевых точек, ρ — максимальное расстояние, на котором точки можно соединить.

При этом достигается минимизация суммарной длины восстанавливаемых разрывов [4]. Тем не менее, данное правило не может быть применено, так как разрывы горизонталей могут быть значительными, что повлечёт за собой неправильное соединение, особенно в местах плотного изображения горизонталей (рис. 2а). Способом избежать этого предлагается использовать также данные об окрестности концевых точек: уравнения касательных и значения кривизны. При этом используются, соответственно, такие понятия, как максимальный угол между касательными и максимальная разница кривизны. Устраняющий разрыв сплайн (УРС) не должен быть выше второй степени, так как при использовании кривых третьей и высших степеней может возникнуть неопределённость из-за возникновения различных точек перегиба

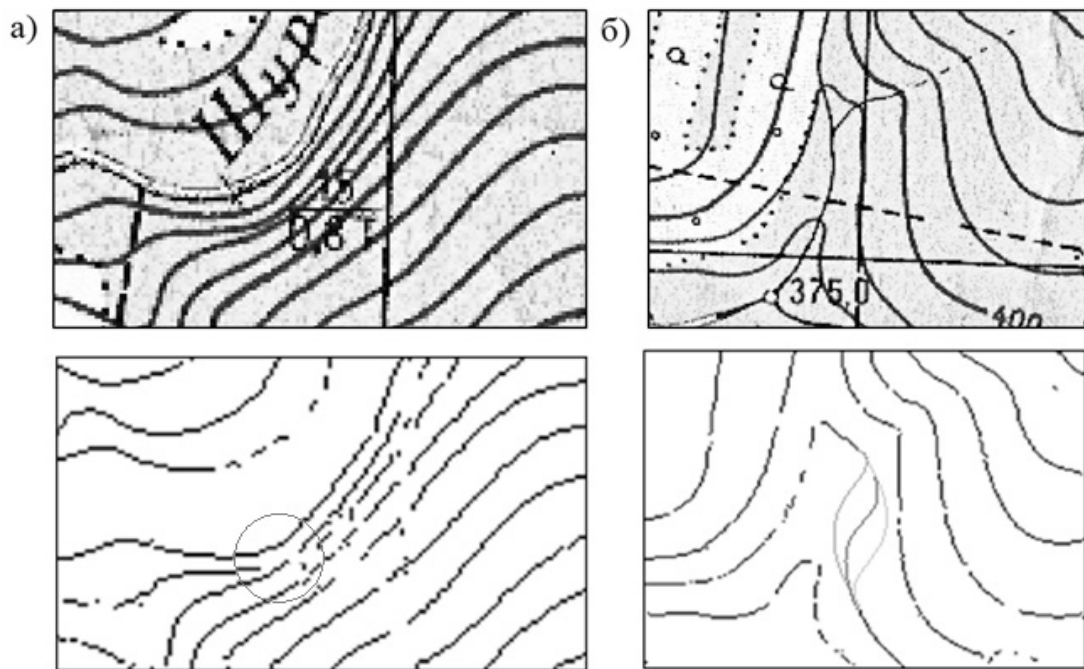


Рисунок 2. а) пример ложной пространственной близости; б) неопределённость при возникновении точек перегиба.

(рис. 2б). Для уменьшения избыточности геометрическая модель УРС принята равной модели сегмента горизонтали, хотя длина УРС может быть значительно меньше и представлять собой кусочек длиной несколько пикселей.

В результате исследований было отмечено, что разрывы горизонталей происходят не в случайных местах, а в местах перекрытия их другими объектами и линиями. Это обусловлено субтрактивностью схемы формирования цветов на ТК: при печати используется модель СМΥК, а не RGB, в итоге пересечение горизонталей коричневого цвета с чёрными объектами или синими (например, реками или их топонимами) приводит к разрыву. Поэтому был сделан вывод о том, что УРС должен проходить по пикселям определённых цветов. Для получения маски таких подавляющих цветов также была обучена искусственная нейросеть.

Тем не менее, данные правила не означают исключения механизма возврата: в любом случае может произойти случайное пересечение УРС, даже удовлетворяющих условиям системы правил. Поэтому необходимо постоянно анализировать, не возникло ли на текущем этапе пересечение в построенных сплайнах и откатывать результаты. Только на конечных этапах при невозможности выбора правильной комбинации соединения концевых точек используется перебор вариантов, так как их остаётся достаточно мало.

Таким образом, построенный алгоритм сращивания сегментов горизонталей представляет собой продукционную модель знания, что является логичным следствием сущности изучаемого объекта.

Результаты работы алгоритма

Для подбора оптимальных параметров продукционных правил применялся критерий качества, зависящий от ошибок первого и второго рода. Так как большинство концевых точек не должны соединяться между собой с помощью УРС, то нулевой гипотезой принимаем именно это положение. Ошибкой I-го рода при этом считается ложное сращивание сегментов, а ошибкой II-го рода — ложный пропуск сращивания. При этом ложный пропуск является некритичной ошибкой, так как может быть исправлен при обработке человеком, а ложное сращивание — критичной, так как человек может и не заметить неправильное соединение горизонталей на всей площади карты. Более того, ложное скрещивание на предыдущем шаге итерации может привести к ложному скрещиванию на следующем. Таким образом, так как нам следует пренебрегать полнотой в угоду точности, в качестве критерия качества можно использовать F -меру с весом β , взятым из интервала (0, 1):

$$F_{\beta} = \frac{(1 + \beta^2) \cdot TP}{(1 + \beta^2) \cdot TP + \beta^2 \cdot FN + FP}$$

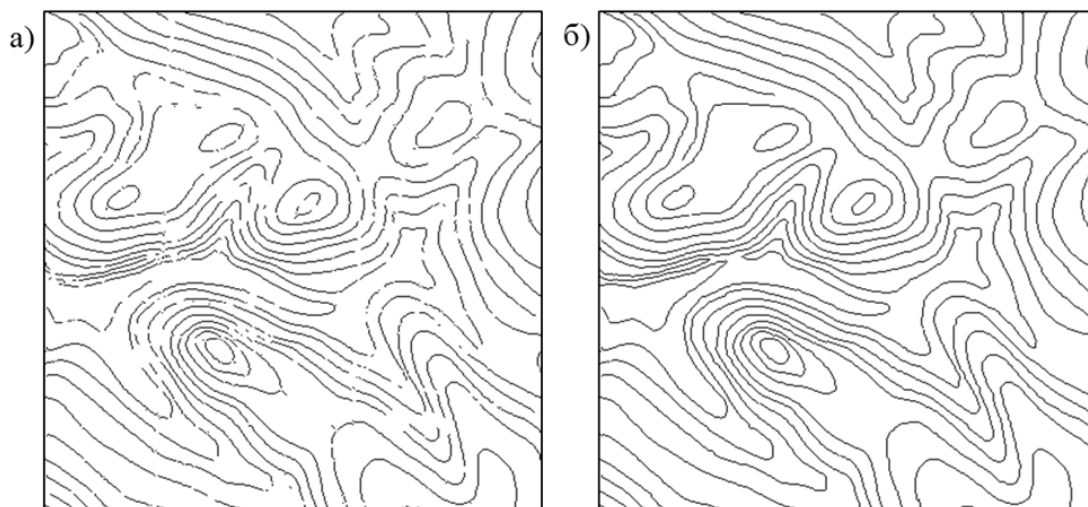


Рисунок 3. а) карта сегментов горизонталей;
б) полученный восстановленный план горизонталей.

Таблица 1. Критерии качества для разных продукционных правил.

Учёт перекрытия	Сложность правил	Ошибка I-го рода	Ошибка II-го рода	F-мера с $\beta = 0,5$
Нет	Учёт координат	0,19	0,1	0,80
	Учёт касательных	0,06	0,04	0,94
	Учёт кривизны	0,03	0,02	0,97
Да	Учёт координат	0,14	0,12	0,85
	Учёт касательных	0,05	0,05	0,95
	Учёт кривизны	0,02	0,03	0,98

где TP — количество истинноположительных решений, FN — ложноотрицательных, FP — ложноположительных.

Критерии качества для продукционных правил различной сложности указаны в табл. 1. Из таблицы видно, что лучшие результаты возникают для полной продукционной системы правил, в которой учитывается максимальное количество характеристик. На рис. 3а приведены результаты предварительной обработки ТК. Результаты работы построенного алгоритма, использующего полную схему продукционных правил представлены на рис. 3б (восстановленный план начертания горизонталей).

В результате анализа было выяснено, что основными проблемами являются ложная пространственная близость и ложная согласованность касательных, при которых продукционная система может неправильно соединять сегменты. Однако, количество таких ошибок значительно меньше, чем при учёте только пространственной близости. Авторами видится решение данных проблем

с помощью вычисления примерного уровня достоверности построенных УРС. Для пользователя УРС с плохой достоверностью могут быть выделены с помощью средств графического интерфейса.

Учёт цветов перекрытия горизонталей уменьшает ошибку первого рода с меньшим увеличением ошибки второго рода. Но, так как уменьшение ошибки первого рода является более важной задачей (особенно учитывая, что она больше относительно ошибки второго рода), то полученный результат можно считать удовлетворительным, учитывая, что F-мера также показывает лучшие результаты.

В целом построенный алгоритм адекватно обрабатывает ТК, учитывая их сложноструктурность, получая на выходе восстановленный план горизонталей, который может быть использован в дальнейшем для построения объёмной модели местности. Планируются дальнейшие исследования для уменьшения количества ошибок и последующей обработки ТК для получения геоинформационной системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ghircoias T., Brad R. Contour lines extraction and reconstruction from topographic maps / T. Chircoias, R. Brad // *UbiCC Journal*. — 2009. — V. 6. — p. 681–692.
2. Pradhan M. P. Knowledge based contour line reconnection techniques / M. P. Pradhan, M. K. Ghose, P. S. Rai, N. Mukherjee // *International Journal of Computer Applications*. — 2013. — V. 65 (9). — p. 37–42.
3. Береженко Д. Ю., Дулесов А. С. 3D моделирование местности и построение карты вершин по растровой топографической карте / Д. Ю. Береженко, А. С. Дулесов // *Перспективы науки*. — Тамбов: Тамбовпринт. — 2010. — № 3 (5). — с. 85–91.
4. Дедов С. В. Способ восстановления разрывов изолиний при создании цифровых моделей рельефа по топографическим картам / С. В. Дедов, А. М. Кадрелев, А. В. Кониченко, С. А. Орлов // *Информационно-измерительные и управляющие системы*. — М.: Радиотехника. — 2015. — Т. 13. — № 6. — с. 26–31.
5. Дмитриев Н. В. Автоматизированная система преобразования топографических карт в геоинформационную модель / Н. В. Дмитриев // *Информационные технологии и нанотехнологии (конференция ИТНТ-2016)*. — Самара: Самарский научный центр РАН. — 2016. — с. 386–389.
6. Тарасян В. С., Дмитриев Н. В. Сравнение методов сегментации пикселей топографических карт по типам объектов / В. С. Тарасян, Н. В. Дмитриев // *Известия Тульского государственного университета: технические науки*. — Тула: Тульский государственный университет. — 2016. — № 3. — с. 97–106.

© Тарасян Владимир Сергеевич (vtarasyan@gmail.com), Дмитриев Никита Владимирович (dmitrievnikita13@gmail.com).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

