

На основе полученных показателей начата разработка атласа водных рисков Красноярского края (рисунок). Для этой цели использовались возможности ГИС, позволяющие упростить анализ разнородных данных. Использование инструмента ГИС позволяет представить в различных слоях карты локальные ареалы негативного влияния отдельных факторов, которые, не совмещаясь друг с другом, могут группироваться в пространстве, и фиксировать очаги наибольших воздействий.

Предложенный подход может быть использован для анализа социально-экономических аспектов использования водных объектов, разработки мероприятий по повышению эффективности управления использованием и охраной водных объектов, экономической оценки мероприятий, направленных на сохранение и восстановление водных объектов, на обеспечение устойчивого функционирования водохозяйственных систем в границах речного бассейна.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 15-07-06982.*

### **Библиографические ссылки**

1. Кондратьева Л. М. Вопросы экологической безопасности в Приамурье: выбор приоритетов // Вестник Дальневосточного отделения Российской Академии наук. 2005. № 5. С. 149-161.
2. Милошевич Х. Моделирование самоочищения малых рек в условиях резко континентального климата Центральной Сибири / Х. Милошевич, О. В. Тасейко, Т. П. Спицына, С. Панич // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2016. № 1. С. 335-342.
3. Снытко А. В., Тасейко О. В. Оценка риска водных экосистем Красноярского края // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2013. № 9. С. 282-283.
4. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Региональные проблемы безопасности. Красноярский край / Рук. авт. коллектива А. И. Лебедь. М.: МГФ «Знание», 2001. 574 с.
5. О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2015 году: Государственный доклад. Красноярск: Министерство природных ресурсов и экологии Красноярского края, 2016. 314 с.

УДК 004.932

### **АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПОСТРОЕНИЕ СЕТИ ПЕТРИ СИСТЕМЫ ГОРОДСКИХ ДОРОГ ПО БИНАРНОМУ ИЗОБРАЖЕНИЮ**

А. М. Тимошко – студент направления программной инженерии ТОГУ, e-mail: [lancerx0@gmail.com](mailto:lancerx0@gmail.com); Э. М. Вихтенко – канд. физ.-мат. наук, кафедра программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем ТОГУ, e-mail: [vikht.el@gmail.com](mailto:vikht.el@gmail.com)

*Разработан и реализован метод построения сети Петри на основе бинарных изображений автомобильных дорог. Исходное бинарное изображение подвергается предобработке алгоритмом скелетизации Квика и преобразованием Хафа.*

*A method for constructing a Petri net is developed and implemented based on binary images of highways. The original binary image is preprocessed by the skeletonization Quek algorithm and Hough transform.*

**Ключевые слова:** геоинформационная картография, сети Петри, детектирование дорог, преобразование Хафа, алгоритм Квика.

В современных условиях, когда происходит активное развитие сети автомобильных дорог и быстрое увеличение объемов транспортных потоков, особое значение приобретают исследования, позволяющие оптимизировать происходящие в отрасли процессы. Одним из самых выразительных средств для моделирования являются сети Петри [1,2]. Они позволяют отслеживать потоки данных, отражают логические связи между отдельными элементами и происходящими событиями.

В данной работе ставится задача разработки автоматизированных процедур построения сети Петри для системы автомобильных дорог региона. В качестве исходных данных выступают космические снимки или другие изображения, прошедшие предварительную обработку. Предобработка снимков включает в себя детектирование дорожного полотна и получение бинарного изображения дорожной сети (рис. 1). Для детектирования дорог существует множество методов, многие из которых уже хорошо справляются с задачей на сельской местности, где дорожное полотно хорошо различимо относительно окружающего пространства.



Рис. 1. Исходная дорожная сеть и бинарное изображение дорожного полотна

Сеть Петри – это ориентированный двудольный граф, все вершины которого относятся к одному из двух классов – позициям и переходам. В позициях могут размещаться метки, способные перемещаться по сети. Для моделирования транспортного потока сетями Петри в качестве меток представляют автомобили, в качестве переходов – дороги, а в качестве позиций – характерные точки, такие, как тупики и перекрестки в дорожной сети. Такая структура позволяет анализировать работу всей дорожной сети в целом при любых нагрузках.

Анализ литературных источников показал, что методы построения сетей Пет-

ри на основе бинарных изображений не разработаны в достаточной степени. Сети Петри в большинстве случаев строятся вручную [3] с использованием открытых баз карт местности.

В данной работе по бинарному изображению дорожного полотна строятся прямые первого порядка с использованием преобразования Хафа, затем выделяются точки пересечений и окончания данных линий, которые будут составлять вершины-позиции. Далее на основе найденных вершин-позиций и линий, полученных при помощи преобразования Хафа, строятся вершины-переходы как дороги, соединяющие вершины-позиции.

Для того, чтобы увеличить скорость и точность обработки изображения преобразованием Хафа, желательно уменьшить количество значащих точек. Для этого можно использовать вместо исходного изображения его скелет [4, 5]. Под скелетом понимается исходное изображение, представленное в виде тонких линий (толщиной в 1 пиксель). Для получения таких линий существует множество методов, различающихся своими характеристиками. Для оценки того или иного метода воспользуемся следующими критериями:

- разреженность – определяет, насколько тонкими получились линии после выполнения определенного алгоритма
- связность – определяет, насколько часто встречаются окончания линий. Связность вычисляется, как количество значащих точек, количество соседних значащих точек у которых не превышает 1
- чувствительность – показывает чувствительность исходного алгоритма к небольшим шумовым помехам
- время выполнения

Так как построение скелета является побочной операцией для всей задачи и не должно занимать много времени, то именно характеристика времени выбрана приоритетной. Помимо этого так же крайне важна степень разреженности. Такие характеристики, как связность и чувствительность, не имеют высокого значения при выборе алгоритма. Исходя из данных соображений, для проведения скелетизации изображения использован алгоритм Квика [6].



Рис. 2. Бинарное изображение после выполнения алгоритма Квика

После обработки исходного изображения алгоритмом Квика (рис. 2) и классическим преобразованием Хафа проводится определение характерных точек исходного изображения. Под характерными точками понимаются точки окончания и пересечения дорог на изображении. Именно эти характерные точки будут являть-

ся вершинами-позициями для итоговой сети Петри.

При рассмотрении возможных результатов выполнения преобразования Хафа с различными параметрами можно выделить несколько особенностей:

- при низком минимальном пороге для линий появляется множество коротких отрезков, пересекающих друг друга
- при высоком минимальном пороге изображение частично покрыто отрезками с большими разрывами

Анализируя полученные данные, можно сказать, что предпочтительным вариантом будет получение большего количества отрезков с последующим уменьшением их количества. Уменьшение количества отрезков выполняется несколькими методами:

- удаление самых коротких линий
- объединение нескольких линий в одну

После проведения данных операций получается множество отрезков дорог (рис. 3).

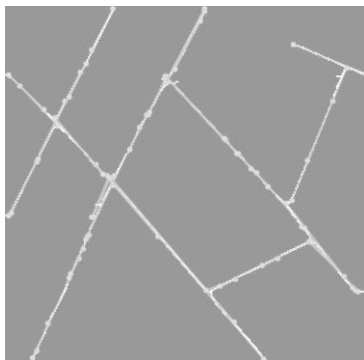


Рис. 3. Результат выполнения преобразования Хафа

Для построения сети Петри формируется множество вершин-позиций сети Петри, соответствующих перекресткам (точки пересечения отрезков) и окончаниям дорог (концы отрезков). Затем заполняются вершины-переходы на основе вершин-позиций. Вершинами-переходами будут являться все отрезки из вершин-позиций. Если такой отрезок заканчивается не вершиной-позицией, то к данной вершине-позиции добавляется следующий отрезок, и так до тех пор, пока не будет встречена вершина-позиция. Результат выполнения описанных операций приведен на рис. 4.



Рис. 4. Изображение полученной сети Петри

Предложенный метод показывает хорошие результаты, но не является полностью автоматизированным из-за необходимости подбора параметров при использовании преобразования Хафа. Использование данного метода позволяет значительно уменьшить временные и человеческие затраты по сравнению с другими способами получения картографических данных.

### **Библиографические ссылки**

1. Котов В. Е. Сети Петри. Москва: Наука, 1984. 160 с.
2. Мараховский В. Б., Розенблюм Л. Я., Яковлев А. В.. Моделирование параллельных процессов. Сети Петри. Курс для системных архитекторов, программистов, системных аналитиков, проектировщиков сложных систем управления. Санкт-Петербург: Профессиональная литература, АйТи-Подготовка, 2014. 400 с.
3. Soares, M., Vrancken, J. A modular Petri net to modeling and scenario analysis of a network of road traffic signals // Science Direct. 2012. P. 11.
4. Пытьев Ю. П., Чуличков А. И. Методы морфологического анализа изображений. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. 336 с
5. Болтенков В. А., Нгуен Гуи Кионг, Малявин Д. В. Анализ алгоритмов скелетизации бинарных изображений // Электротехнические и компьютерные системы. 2015. № 17 (93). С. 102-109.
6. Ng G. S., Zhou R. W., Quek C. A Novel Single Pass Thinning Algorithm // IEEE Transaction on System Man and Cybernetics – 1994. Serra J. Image Analysis, Mathematical Morphology. – Academic Press, 1982. 621 с.

УДК 539.38+532.595

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРУБОПРОВОДА КАК МОМЕНТНОЙ ИЗОГНУТОЙ ОБОЛОЧКИ**

*О. П. Ткаченко* – д-р физ.-мат. наук, лаборатория математического моделирования в физике и технике ВЦ ДВО РАН, e-mail: [olegt1964@gmail.com](mailto:olegt1964@gmail.com)

*На основе теории моментных оболочек построена математическая модель трубопровода со сложным профилем как моментной оболочки. Предложенный подход позволяет исследовать напряженно-деформированное состояние широкого класса изогнутых трубопроводов без наложения дополнительных условий сопряжения на линиях соединения участков с различной геометрией. Выполнены тестовые расчеты.*

*Based on the bending shells theory the pipeline mathematical model with a complex profile were derived. The proposed approach allows us to investigate the stress-strain state of a wide class of curved pipes without imposing additional conditions on the lines of interface of domains with different geometry. Test calculations were performed.*