

УДК 528.486/011

О.С. Бутенко¹, С.М. Андреев¹, С.Н. Трохимчук²¹ *Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков*² *Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков*

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ БАЗЫ РЕШАЮЩИХ ПРАВИЛ О СОСТОЯНИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

В статье рассмотрены особенности создания базы решающих правил для оперативного принятия решений о состоянии дорожного покрытия по данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) на основе совместного использования метода построения «критериальных деревьев» и методов нечеткой логики. Описан процесс создания схемокарты. Определен список классификационных признаков на основе статистических данных об исследуемых объектах. Показана эффективность применения полученной методики за счет повышения информативности данных и точности определения пороговых значений при построении решающих правил.

Ключевые слова: база решающих правил, нечеткая логика, схемокарта, дорожное покрытие, классификационные признаки.

Постановка задачи и ее актуальность

Автомобильные дороги представляют собой обширную часть инфраструктуры страны. Для успешного планирования мероприятий, связанных с прокладкой, реконструкцией или демонтажем автодорог необходим постоянный мониторинг анализируемых объектов с помощью данных ДЗЗ, с их последующим анализом полученных данных для выявления нарушений состояния дорог. Одной из составляющих такого мониторинга является выделение гомогенных участков, их классификация с целью выявления неоднородностей дорожного покрытия для построения решающих правил о его состоянии.

Оперативность принятия таких решений позволит своевременно выявлять повреждения дорожного покрытия и, как следствие, рационально распределять материальные средства и сокращать временные затраты на устранение найденных повреждений, после чего будет возможным определение необходимости проведения ремонта на наблюдаемых участках.

Существующие методы тематической обработки данных аэрокосмического мониторинга Земли позволяют формировать базу данных с оценками дешифровочных признаков, принадлежащих изучаемым объектам, а также схожим при дешифрировании с ними объектам зданий, тротуаров, троп и грунтовых дорог, являющихся эталонами. В основе таких методик лежит база данных, включающая записи яркостных характеристик выделяемых объектов и тоновую насыщенность снимков, а также процесс обработки изображений шумоподавляющим фильтром, сегментация снимка с выделением объектов автомобильных дорог и последующая коррекция результатов адаптивным фильтром. Для разновременных снимков, полученных с помощью БПЛА,

такие методы позволяют создать сегментационную карту, на которой будут видны зоны изменения состояния дорог.

Одним из недостатков такого подхода можно назвать низкую точность выявления неоднородностей внутри объектов, что обусловлено шумоподавляющей фильтрацией и адаптивной коррекцией, которые приводят к размытию границ объектов. Для обнаружения крупномасштабных изменений, таких как демонтаж дорог или их построение, обработка не является фактором снижения достоверности. Использование размытия границ или удаление мелкомасштабных признаков, не связанных с дефектами снимка в процессе выявления мелких изменений (ям, выбоин, разломов) в дорожном покрытии, как правило, усложняют процесс дешифрирования.

Следует отметить, что недостаточное количество статистических данных, а также отсутствие географической привязки используемых снимков является дополнительным фактором, негативно влияющим на итоговый результат дешифрирования.

Изложение основного материала

Для улучшения результатов сегментации и анализа разновременных снимков предложено использование метода построения «критериальных деревьев» [1]. В его основе лежит последовательное разбиение изображения на фрагменты с резко отличающимися параметрами до тех пор, пока выделение четких границ гомогенных участков станет невозможным. Для исследуемого изображения (рис. 1, а) наиболее результативным оказалось разбиение растра с размером матрицы 16×16 (рис. 1, б). В результате анализа полученных фрагментов были определены границы участков, соответствующих дорогам и окружающим объектам (рис. 1, в).

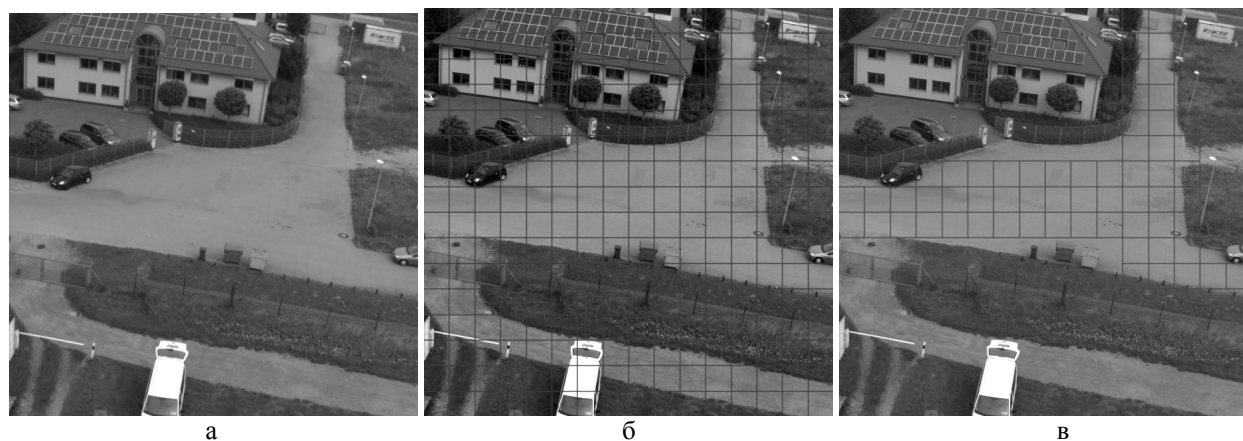


Рис. 1. Разбиение: исходного изображения (а) на матрицы (б); раstra на гомогенные блоки (в)

В качестве критериев разбиения были использованы признаки с различными приоритетами. Согласно этим признакам всем ячейкам матрицы присваивались весовые коэффициенты в интервале от 0 до 1. Такими признаками являются:

- 1) минимальная ширина полосы полотна;
- 2) закон распределения цветовых составляющих фрагментов дорог.

В качестве дополнительного признака можно использовать признак изменения формы (связности).

В результате окончательного разбиения снимка на гомогенные участки записываются данные только тех, по которым проводится исследование (по участку дорог). Данные включают в себя адрес элемента на участке, географическую привязку фрагмента (широта и долгота вершин фрагмента «критериального дерева»), а также закон распределения цвета в каналах HSV.

Для формализации объектов изучаемого фрагмента и его последующей комплексной обработки использовался метод формализации алгебраических операций для интеграции разновременных и разнородных данных [2]. В качестве атомарных алгебр были рассмотрены:

- 1) алгебры для операций с вершинами фрагментов «критериальных деревьев», основанные на критериях, определяемых качественными характеристиками с минимальными весовыми коэффициентами $A_{i,j}^{K_{m,n}}$, где i, j – координаты вершин «дерева»; $K_{m,n}$ – номер «дерева» в базе данных с уровнем вложенности внутри «дерева» n и номером фрагмента m с соответствующими ему географическими и прямоугольными координатами (L, B и x, y , соответственно), а также статистическими данными об объектах на участке (особенности исследуемой территории и объектов внутри этой среды);

- 2) алгебры, связывающие вершины фрагментов «критериальных деревьев», соответствующих критериям, основанным на количественных характеристиках с минимальными весовыми коэффици-

ентами - $B_{i,j}^{K_{m,n}}$, где записаны численные характеристики исследуемых объектов.

По аналогии с обычными производственными системами важной составляющей системы нечеткой логики является метод вывода заключений, основанных на нечетких условиях в базе правил. Наибольшее практическое применение нашли системы нечеткого вывода, в которых имеются дополнительные предположения о форме нечетких высказываний, которые используются в качестве условий. Такие системы являются средством формализации экспертных знаний в процессе формирования заключений [3]. Каждая из рассмотренных элементарных алгебр имеет соответствующие ей классические алгебраические операции. Это операции алгебры нечетких множеств (дизъюнкция, конъюнкция) для алгебры $A_{i,j}^{K_{m,n}}$, а для алгебры $B_{i,j}^{K_{m,n}}$ – операции классической алгебры (сложение, вычитание, умножение) и операции классической теории множеств (объединение, пересечение). Используя получаемые логико-алгебраические модели, можно провести следующие операции над взаимосвязями атомарных и композиционных алгебр:

1. **Фаззификация.** Процесс нахождения значений функций принадлежности нечетких множеств (термов) на основе обычных (не нечетких) исходных данных. В ходе этого процесса происходит введение нечеткости результатов преобразования алгебры $B_{i,j}^{K_{m,n}}$ с помощью алгебр $A_{i,j}^{K_{m,n}}$:

$$B_{i,j}^{K_{m,n}} \oplus A_{i,j}^{K_{m,n}} \Rightarrow \overline{B_{i,j}^{K_{m,n}}}$$

2. **Построение производственных правил** взаимодействия алгебр:

$$A_{i,j}^{K_{m,n}} \oplus B_{i,j}^{K_{m,n}} \Rightarrow \overline{D_{i,j}^{K_{m,n}}}$$

3. **Агрегирование.** Процедура определения степени истинности условий по каждому из правил системы нечеткого вывода. Иными словами, это определение соответствия преобразованных алгебр:

$$\overline{D_{i,j}^{K_{m,n}} \oplus B_{i,j}^{K_{m,n}}} \Rightarrow D_{i,j}^{K_{m,n}}.$$

4. **Аккумуляція.** Процедура нахождения функции принадлежности для каждой из выходных переменных множества:

$$\overline{\bigcup D_{i,j}^{K_{m,n}}} \Rightarrow C_{i,j}^{K_{m,n}}.$$

5. **Дефаззификация.** Процесс нахождения обычного (не нечеткого) значения для каждой из выходных переменных множества, что подразумевает введение четкости значениям алгебры:

$$C_{i,j}^{K_{m,n}} = \sum_{i,j=1}^{\ell} \overline{B_{i,j}^{K_{m,n}}} \cdot \overline{C_{i,j}^{K_{m,n}}} / \sum_{i,j=1}^{\ell} \overline{C_{i,j}^{K_{m,n}}}.$$

Применение данного метода формализации позволяет учитывать дополнительные признаки при дешифрировании, которые в других случаях обычно отсеиваются, что не дает возможности выявлять и проследивать причинно-следственные связи возникновения неоднородностей и на основе этих данных собрать данные для прогноза дальнейшего развития ситуации.

При наличии разновременных снимков на одну территорию можно выявить возможные неоднородности или изменения внутри полученного фрагмента, сравнивая его с более ранними записями в базе данных.

По полученным данным можно построить схемокарту неоднородностей (рис. 2).

Выводы

В результате полученной схемокарты можно сделать вывод о возможности применения описанной методики с целью выявления зон неопределенностей, используя послойное наложение результатов разновременных снимков.

При принятии решения о состоянии дорожного покрытия необходимо использовать методы нечеткой логики.

ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ БАЗИ ВИРІШАЛЬНИХ ПРАВИЛ ПРО СТАН АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

О.С. Бутенко, С.М. Андреев, С.М. Трохимчук

У статті розглянуто особливості створення бази вирішальних правил для оперативного прийняття рішень про стан дорожнього покриття за даними ДЗЗ на основі спільного використання методу побудови «критеріальних дерев» і методів нечіткої логіки. Описано процес створення схемокарт. Визначено список класифікаційних ознак на основі статистичних даних про досліджувані об'єкти. Показана ефективність застосування отриманої методики за рахунок підвищення інформативності даних і точності визначення порогових значень при побудові вирішальних правил.

Ключові слова: база вирішальних правил, нечітка логіка, схемокарта, дорожнє покриття, класифікаційні ознаки.

FEATURES OF DECISIVE RULES BASE FORMATION FOR ROADS STATE DETERMINATION UNDER UNCERTAINTY

O.S. Butenko, S.M. Andreev, S.N. Trokhymchuk

The article describes the features of decisive rules base formation for prompt decision-making about the pavement state according to remote sensing data based on combined use of «criterial trees» formation method and fuzzy logic methods. Schematic map creation process is described. The list of classification features is determined on a basis of statistical data about the research objects. Obtained technique use efficiency is shown due to increasing of data descriptiveness and the accuracy of threshold values determination during the formation of decisive rules.

Keywords: decisive rules base, fuzzy logic, schematic map, pavement, classification features.



Рис. 2. Полученная схемокарта

Для этого целесообразным является дополнение существующей базы статистических данных о дорожном покрытии. С целью повышения оперативности принятия решений был применен метод «критериальных деревьев». Улучшение показателей мониторинга автодорог достигается за счет одновременной работы с большим количеством изображений и массивов данных.

Список литературы

1. Бутенко О.С. Механизм построение кратковременного прогноза по априорным данным / О.С. Бутенко // Системи управління, навігації та зв'язку: зб. наук. праць К.: ЦНДІ НІУ, 2008. – Вип. 3 (7). – С. 37-40.
2. Бутенко О.С. Алгебраический подход к операциям с изображениями при разработке единой концепции для создания универсальной многопараметрической геоинформационной системы / О.С. Бутенко // Системи управління, навігації та зв'язку: зб. наук. праць. – К.: ЦНДІ НІУ, 2009. – Вип. 3 (11). – С. 36-40.
3. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А.В. Леоненков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.

Поступила в редколлегию 21.04.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И.В. Рубан, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.