

В. П. Кулагин, д-р техн. наук, проф., e-mail: vkulagin@hse.ru,
 Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики",
В. Я. Цветков, д-р техн. наук, проф., советник ректората, e-mail: cvj2@mail.ru,
 Московский государственный технический университет радиотехники и автоматики,
М. П. Лапчинская, канд. техн. наук, доц., e-mail: la.margo@miigaik.ru,
 Московский государственный университет геодезии и картографии

Идентификация морских объектов при сильном волнении водной поверхности

Идентификация является одной из главных задач, решаемых дистанционными методами и средствами, установленными на авиационных и космических платформах. Рассмотрен метод описания и анализа морской поверхности, характеризующейся сильным волнением. При этом предусматривается применение автоматизированного распознавания изображений с использованием характерных признаков, таких как размеры производных элементов текстуры, которые характеризуются нечеткостью линейного размера. В основу метода положен метод нечетких множеств. Метод позволяет получить модели морской поверхности с сильным волнением, которые дают возможность идентифицировать морские объекты по цифровым изображениям. На изображение накладывается модель поверхности, которая вычитается из исходного изображения. На оставшемся "очищенном" изображении идентификация морского объекта осуществляется как на поверхности без волнения.

Ключевые слова: идентификация, моделирование, морская поверхность с волнением, изображения, нечеткие множества

Введение

Идентификация в рамках данного проекта включает обнаружение и распознавание морских объектов, движущихся над морской поверхностью с волнением, а также измерение их параметров. Идентификация широко применяется при мониторинге морских судов [1] и является одной из главных задач, решаемых дистанционными методами и средствами, установленными на авиационных и космических платформах. Существуют разные подходы к решению этой задачи. В работе [2] применен подход, основанный на построении модели окружающей обстановки объекта, расположенного на морской поверхности. Для анализа информационных процессов как на уровне динамических (надводных и воздушных) объектов в зоне наблюдения, так и на уровне объектов, структурирующих входные информационные потоки о протекающих в модели процессах, используются мобильные программные агенты. В работах [3–5] описываются подходы идентификации морского объекта с учетом его скорости, использующие нелинейную модель, построенную на основе радиолокационных снимков. В работах [6, 7] рассматриваются алгоритмы оценки параметров динамической модели морского объекта с помощью расширенного фильтра Калмана. Решение задач распознавания морских объектов приводит к необходимости разработки новых методов синтеза и обработки зондирующих сигналов, при которых для протяженных объектов угловые и амплитудные шумы могут служить дополнительными информационными источниками, используемыми

для классификации и распознавания. При этом в работах [8, 9] отмечается необходимость применения методов, использующих данные, полученные со спутников, для управления морскими объектами и их идентификацией.

В итоге, с высокой степенью уверенности можно утверждать, что концептуально указанные задачи решаются построением информационной модели самого объекта и модели некоторого информационного окружения объекта [10, 11]. Однако общим недостатком указанных подходов является исключение фактора волнения морской поверхности при идентификации. В данной статье решается именно этот вопрос.

Способ представления морской поверхности

Изображения морской поверхности представляют собой текстурно-однородные поля вида $F(\Delta T, \Delta L_x, \Delta L_y)$, где ΔT — переменная, характеризующая оптическую плотность производных элементов; $(\Delta L_x, \Delta L_y)$ — переменные, описывающие пространственное расположение производных элементов текстурно-однородного поля для определенного подкласса подстилающей поверхности.

Данная совокупность переменных описывает геометрические, статические и физические свойства производных элементов текстуры и представляет собой интегральный признак текстуры изображения.

Эксперименты по распознаванию текстурно-однородных объектов на примере фотоизображений морской поверхности показали, что основной особенностью интегрального признака текстуры

фотоизображения являются *физическая* и *лингвистическая неопределенности* прямых визуальных дешифровочных признаков, проявляющиеся в виде различных нечетких свойств, в частности, при количественной интерпретации дешифровщиком линейных и площадных размеров производных элементов возможных ситуаций на изображении морской поверхности с волнением для таких подклассов, как "Рябь", "Рябь-на-ряби", "Слик", "Пена". Эти фотоизображения соответствуют определенному подклассу класса "Морская поверхность" с ярко выраженными структурными особенностями. Изучение этих изображений позволило выделить нечеткие свойства дешифровочного признака текстуры изображения "Цифровой муар" [12].

Рассмотрим информационную ситуацию [10], которую условно назовем "Волнение" и которая характеризуется набором таких параметров, как длина волны волнового холма λ , длина гребня волнового холма T , площадь волнового холма S , ориентация волнового холма α .

Указанные параметры при одних и тех же метеорологических условиях не имеют единственного значения, а характеризуются определенным разбросом. Параметры, имеющие неопределенность при измерениях, называются *нечеткими параметрами*. Данные параметры будем обозначать в дальнейшем волнистой чертой сверху: $\tilde{\lambda}$, \tilde{T} , \tilde{S} , $\tilde{\alpha}$.

Неопределенность приводит к неоднозначности компьютерного распознавания физических объектов и явлений на подстилающей поверхности при использовании различных групп текстурных признаков. При фотосъемке реальным элементам на морской поверхности будут соответствовать элементы снимка, которые в дальнейшем назовем *элементами текстуры*. Эти элементы делятся на производные, или базисные, и производные, которые формируются на основе базисных. Производные элементы играют роль информационных единиц, из которых формируют модели. На рис. 1 показан фрагмент реальной ситуации на морской поверхности и выделены наиболее важные характеристики ситуации "Волнение".

При применении автоматизированного распознавания изображений с использованием характерных признаков, таких как размеры производных элементов текстуры, исходные нечеткие параметры длины волны и длины гребня волнового холма обуславливают нечеткость линейного размера производного элемента текстуры p .

Подход к идентификации объекта с использованием муаровых картин

Волнение на море, показанное фрагментарно на рис. 1, относится к муаровым картинкам. Муаровой картиной называют картину, получаемую при взаимодействии двух групп периодических структур в изображении. При формировании муаровых картин морской поверхности угол поворота α является не-

четким. Информационной ситуации "Волнение" на море будет соответствовать информационная ситуация "Цифровой муар" на снимке.

Различный контраст изображения также влияет на формирование набора параметров для ситуации "Цифровой муар", рассчитываемого распознающей программой. При формировании муаровых картин на снимке участвуют не только производные элементы текстуры, соответствующие физическим объектам, но и еще два дополнительных типа производных элементов текстуры, обусловленные спецификой формирования изображения.

Первый дополнительный тип производных элементов — *фон*, который соответствует физическим элементарным объектам. Например, если участки изображения волновых холмов отобразить белым цветом (рис. 2, а), то фоновые производные элементы будут соответствовать негативному отображению волновых холмов (рис. 2, б).

Второй дополнительный тип производных элементов — *зернистость* изображения. Например, если отобразить производные элементы текстуры и, соответственно, производные элементы фона тонкой линией, то производные элементы зернистости накладываются на указанные производные элементы (схематично они представлены на рис. 2, в).

Таким образом, в формировании муаровых картин участвуют три типа производных элементов,

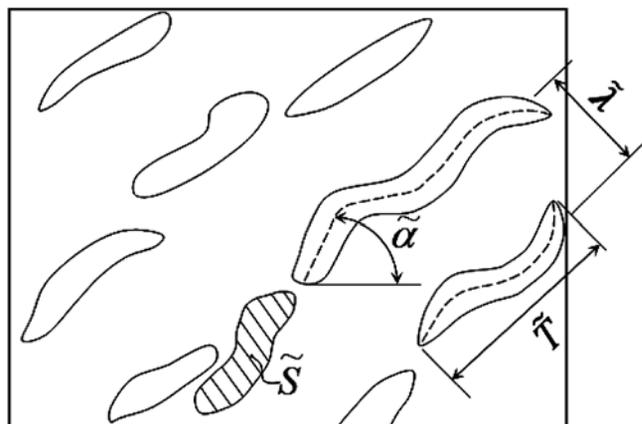


Рис. 1. Нечеткие параметры производного элемента текстуры изображения морской поверхности

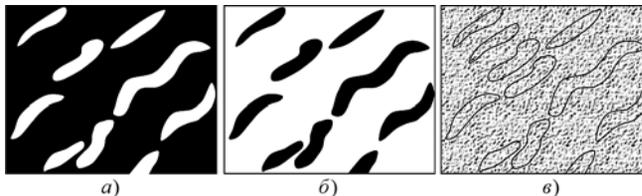


Рис. 2. Типы производных элементов текстуры \tilde{p} изображения, участвующих в формировании муаровых картин морской поверхности

из которых строятся производные (зависимые) элементы:

- первый тип — производные элементы текстуры изображения \tilde{p}_i , соответствующие структурным элементам в виде элементарных физических объектов класса/подкласса подстилающей поверхности Земли (рис. 2, а);
- второй тип — производные элементы фона \tilde{p}_f от производных элементов текстуры \tilde{p}_i изображения, т. е. $\tilde{p}_f = f(\tilde{p}_i)$ (рис. 2, б). Элементы фона занимают основной объем изображения и создают существенные помехи для идентификации объектов, сопоставимых с размером анализируемого участка;
- третий тип — производные элементы зернистости изображения \tilde{p}_z (рис. 2, в), которые являются самыми мелкими на изображении и создают помехи для идентификации малых морских объектов.

Теория нечетких множеств [13] позволяет описать лингвистические свойства любых объектов, которым нельзя однозначно дать количественную оценку. При использовании нечетких множеств нужно учитывать все факторы, формирующие изображение. В соответствии с вышеприведенными

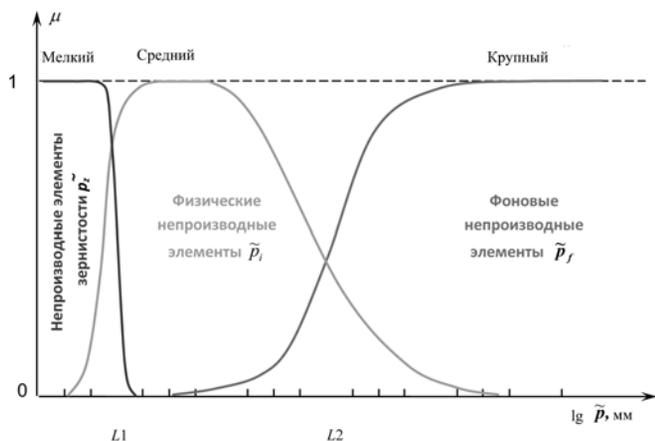


Рис. 3. Функции принадлежности непроизводного элемента \tilde{p}_i , \tilde{p}_f , \tilde{p}_z

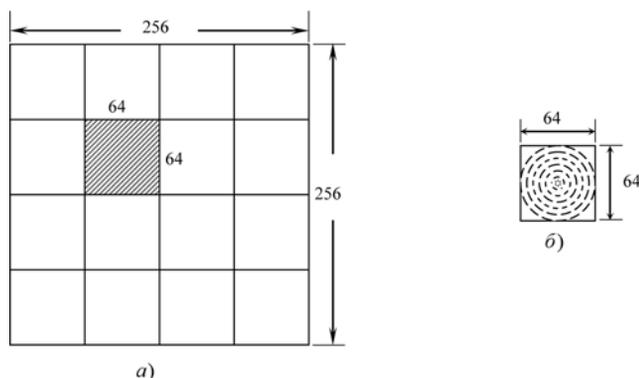


Рис. 4. Размеры анализируемых участков: цифровое изображение (а) и изображение цифрового муара (б) в пикселях

рассуждениями для информационной ситуации "Цифровой муар" необходимо учитывать три типа производных элементов, определенных выше. Согласно теории нечетких множеств данные типы производных элементов (\tilde{p}_i , \tilde{p}_f , \tilde{p}_z) можно задать тремя функциями принадлежности (рис. 3). Здесь: μ — значение функции принадлежности, которая, как и вероятность, лежит в пределах от 0 до 1 и описывает множество вероятностей для разных аргументов нечеткой величины. Выделенные на рис. 3 области, отмеченные как "мелкий", "средний" и "крупный", соответствуют диапазонам изменения описанных выше производных элементов — зернистость, объект (волна) и фон соответственно.

Границам областей "мелкий", "средний" и "крупный" соответствуют параметры L_1 и L_2 , которые имеют существенный физический смысл. Во-первых, определяя границы между зернистостью, фоном и изображением объекта, данные параметры задают участок наиболее вероятной идентификации объекта. Кроме этого, параметры L_1 и L_2 задают размер волн, что дает возможность ввести понятие и критерий "Большого волнения". Под большим волнением будем понимать такую характеристическую величину ($L_2 - L_1$), значение которой соизмеримо по масштабу с поперечными размерами идентифицируемого объекта.

Точность автоматизированного расчета вектора параметров текстурного признака "Цифровой муар" зависит от качества формируемой муаровой картины на фрагменте цифрового изображения, которое, в свою очередь, зависит от площади производного элемента $W = (\Delta L_X \times \Delta L_Y)$.

Согласно предложенному в работе [14] алгоритму распознавания цифровых черно-белых изображений морской поверхности площадь анализируемых участков может быть равна 256×256 пикселей и больше (рис. 4, а), а площадь обрабатываемого в данный момент цифрового изображения может составлять не более 64×64 пикселей (рис. 4, б). Данный прием обработки цифрового изображения аналогичен известному методу "скользящего среднего" — в каждый момент времени обрабатывается только один участок изображения, но положение обрабатываемого участка на цифровом изображении меняется по определенному закону. Такой подход существенно (на порядок) сокращает объем обрабатываемой в конкретное время информации, скорость обработки данных повышается, а алгоритм обработки делается независимым от площади анализируемого изображения.

При анализе изображения следует учитывать, что масштаб снимка определяет число текстурных элементов и размер самого текстурного элемента, приведенных к единице площади. Экспериментальные исследования показали [12] (см. таблицу), что можно сформировать текстурные признаки объекта, имея в распоряжении лишь фрагмент

Экспериментальные оценки распознавания

Число производных элементов на участке цифрового изображения	Качество распознавания
656 389 106 32 23	Муаровая картина сформирована идеально
3 1	Муаровая картина сформирована некачественно
0,87 (часть) 0,48 (часть)	Муаровая картина сформирована плохо
0,26 (часть)	Муаровая картина не сформирована

цифрового изображения текстурного признака производного элемента.

Таким образом, качество автоматизированного анализа и распознавания изображений зависит от числа производных элементов на анализируемом фрагменте цифрового изображения.

Учет особенностей нечеткой текстуры изображения дает возможность применять статистические методы для формирования набора признаков при распознавании. На основе изложенного предлагается класс "Морская поверхность" описать тремя видами функций принадлежности, которые характеризуют зернистость изображения, фон и объект идентификации.

Эксперименты над муаровыми изображениями для текстур различных подклассов изображения морской поверхности показали, что из трех типов производных элементов, участвующих в формировании муаровых картин, наибольшей визуализацией обладает тип производных элементов текстуры изображения, поскольку обладает наибольшим контрастом составляющих его элементов. Однако вклад производных элементов фона \tilde{p}_f и производных элементов зернистости \tilde{p}_z изображения в формирование муаровой картины также существует, и он существенно различается для разных подклассов изображений подстилающей поверхности, что показали фотоизображения морской поверхности.

Заключение

Достоинство описанного подхода заключается в возможности математической обработки текстурных признаков, для которых невозможно дать единственную количественную оценку. Это позволяет перейти от качественного анализа морской поверхности с волнением к количественно-качественному анализу. Данный подход является составной частью координатного обеспечения решения задач мониторинга [15], что в дальнейшем может стать основой для автоматизированного распознавания и иденти-

фикации морских объектов на поверхности с волнением. Такой подход позволяет получать модели поверхности с волнением, которые дают возможность идентифицировать морские объекты по имеющимся изображениям, что позволяет создавать каталоги волнения для волн разной балльности. Другими словами, из имеющегося изображения "вычитается" модель морской поверхности с волнением, что приводит к "очищенному" изображению и более точной идентификации морского объекта.

Дальнейшим развитием данного метода является разработка автоматизированных методов распознавания морских объектов на основе каталогов подстилающей поверхности, в том числе с использованием тайловой организации визуальной информации [16].

Список литературы

1. Бармин И. В., Савиных В. П., Цветков В. Я., Затыглова В. В. Мониторинг загрязнений моря судами по данным дистанционного зондирования // Морской сборник. 2013. Т. 1998, № 9. С. 41—49.
2. Павлыгин Э. Д., Соснин П. И. Многоагентное моделирование и визуализация окружающей обстановки морского судна // Автоматизация процессов управления. 2010. № 2. С. 3—12.
3. Skjetne R., Smogeli O. N., Fossen T. I. A Nonlinear Ship Manoeuvring Model: Identification and adaptive control with experiments for a model ship // Modeling, identification and control. 2004. V. 25, N. 1. P. 3—27.
4. Горобец В. Н., Гутник В. Г., Зотов С. М., Кивва Ф. В., Шапиро А. А. Математическая модель радиолокационного образа корабля на морском волнении // Радиофизика та електроніка. 2011. Т. 2(16). № 4. С. 60—65.
5. Skjetne R., Smogeli O. N., Fossen T. I. A Nonlinear Ship Manoeuvring Model: Identification and adaptive control with experiments for a model ship // Modeling, identification and control. 2004. V. 25, N. 1. P. 3—27.
6. Chang S. J. Vessel identification and monitoring systems for maritime security // Security Technology, 2003. Proceedings. IEEE 37th Annual 2003 International Carnahan Conference on. IEEE, 2003. P. 66—70.
7. Fossen T. I., Sagatun S. I., Sorensen A. J. Identification of dynamically positioned ships // Control Engineering Practice. 1996. V. 4, N. 3. P. 369—376.
8. Buckley G. W. et al. Control system for a marine vessel: пат. 6273771 США. 2001.
9. Clifford P. J., Hart N. R., Meulman C. B. Satellite system for vessel identification: пат. 7483672 США. 2009.
10. Tsvetkov V. Ya. Information Situation and Information Position as a Management Tool // European Researcher. 2012. V. 36, N. 12-1. P. 2166—2170.
11. Tsvetkov V. Ya. Semantic environment of information units // European Researcher. 2014. V. 76, N. 6-1. P. 1059—1065.
12. Лапчинская М. П. Алгоритм классификации однородных текстур земной поверхности, основанный на построении функций принадлежности // Международный научно-технический и производственный журнал "Науки о Земле". 2012. № 4. С. 42—53.
13. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. М.: Радио и связь. 1982. 432 с.
14. Лапчинская М. П. Метод цифрового муара. // Геодезия и аэрофотосъёмка. 1997. № 5. С. 86—113.
15. Савиных В. П. Система получения координатно-временной информации для решения задач мониторинга // Международный научно-технический и производственный журнал "Науки о Земле". 2012. Выпуск 03. С. 5—10.
16. Цветков В. Я., Лобанов А. А., Матчин В. Т., Железняков В. А. Обновление банков данных пространственной информации // Информатизация образования и науки. 2015. № 1 (25). С. 128—136.

V. P. Kulagin¹, Prof., e-mail: vkulagin@hse.ru,
V. Ya. Tsvetkov², Prof., e-mail: svj2@mail.ru, M. P. Lapchinskaya³

¹Higher School of Economics (National Research University)

²Moscow State Technical University of Radio Engineering, Electronics and Automation

³Moscow State University of Geodesy and Cartography

Identification of Ships in Heavy Seas

Identification is one of the main tasks of remote methods and tools that are installed on aircraft and space platforms. The article describes a method of description and analysis of the sea surface, characterized by a strong emotion. This will involve the application of automated image recognition using characteristic features, such as the dimensions of the basic elements of texture, which are characterized by vagueness of linear size. The method is based on a method of fuzzy sets. The method allows to obtain a model of the sea surface with strong agitation, which allow us to identify marine objects in digital images. On the image surface model, which is subtracted from the original image. The remaining "clean" the image identification of the marine facility is not a rough surface.

Keywords: identification, modeling, rough sea surface, images, fuzzy sets

References

1. Barmin I. V., Saviny'kh V. P., Tsvetkov V. Ya., Zatiagalova V. V. Monitoring zagriaznenii' moria sudami po danny'm distantsionnogo zondirovaniia. *Morskoi' sbornik*. 2013. V. 1998, N. 9. P. 41–49.
2. Pavly'gin E'. D., Sosnin P. I. Mnogoagentnoe modelirovanie i vizualizatsiia okruzhaiushchei' obstanovki morskogo sudna. *Avtomatizatsiia protsessov upravleniia*. 2010. N. 2. P. 3–12.
3. Skjetne R., Smogeli O. N., Fossen T. I. A Nonlinear Ship Manoeuvring Model: Identification and adaptive control with experiments for a model ship. *Modeling, identification ad control*. 2004. V. 25, N. 1. P. 3–27.
4. Gorobets V. N., Gutnik V. G., Zotov S. M., Kivva F. V., Shapiro A. A. Matematicheskaia model' radiolokatsionnogo obraza korablia na morskome volnenii. *Radiofizika ta elektronika*, 2011. V. 2 (16). N. 4. P. 60–65.
5. Skjetne R., Smogeli O. N., Fossen T. I. A Nonlinear Ship Manoeuvring Model: Identification and adaptive control with experiments for a model ship. *Modeling, identification ad control*. 2004. V. 25, N. 1. P. 3–27.
6. Chang S. J. Vessel identification and monitoring systems for maritime security. *Security Technology*, 2003. Proceedings. IEEE 37th Annual 2003 International Carnahan Conference on. IEEE, 2003. P. 66–70.
7. Fossen T. I., Sagatun S. I., Sorensen A. J. Identification of dynamically positioned ships. *Control Engineering Practice*. 1996. V. 4. N. 3. P. 369–376.
8. Buckley G. W. et al. Control system for a marine vessel: Pat. 6273771 USA. 2001.
9. Clifford P. J., Hart N. R., Meulman C. B. Satellite system for vessel identification: Pat.7483672 USA. 2009.
10. Tsvetkov V. Ya. Information Situation and Information Position as a Management Tool. *European Researcher*. 2012. V. 36, N. 12-1. P. 2166–2170.
11. Tsvetkov V. Ya. Semantic environment of information units. *European Researcher*. 2014. V. 76, N. 6-1. P. 1059–1065.
12. Lapchinskaya M. P. Algoritm klassifikatsii odnorodny'kh tekstur zemnoi' poverkhnosti, osnovanny'i na postroenii funktsii' pri nadlezhnosti. *Mezhdunarodny'i' nauchno-tekhnicheskii' i proizvodstvenny'i' zhurnal "NAUKI O ZEMLE"*. 2012. N. 4. P. 42–53.
13. Kofman A. *Vvedenie v teoriu nechetkikh mnozhestv*. M.: Radio i sviaz', 1982. 432 p.
14. Lapchinskaya M. P. Metod tsifrovogo muara. *Geodeziiz i ae'rofotos'emka*. 1997. N. 5. P. 86–113.
15. Saviny'kh V. P. Sistema polucheniiia koordinatno-vremennoi' informatcii dlia resheniia zadach monitoringa. *Mezhdunarodny'i' nauchno-tekhnicheskii' i proizvodstvenny'i' zhurnal "Nauki o Zemle"*. 2012. Iss. 03. P. 5–10.
16. Tsvetkov V. Ya., Lobanov A. A., Matchin V. T., Zhelezniakov V. A. Obnovlenie bankov danny'kh prostranstvennoi' informatcii. *Infomatizatsiia obrazovaniia i nauki*. 2015. N. 1(25). P. 128–136.

УДК 004.94

С. В. Лучкова, канд. техн. наук, мл. науч. сотр., Т. О. Перемитина, канд. техн. наук, науч. сотр.,
И. Г. Ященко, канд. геол.-мин. наук, зав. лаб.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии нефти СО РАН, Томск

Использование нечеткого моделирования для повышения репрезентативности информации на примере анализа характеристик нефти

Рассмотрена задача восстановления пропущенных значений в выборке о свойствах сернистых нефтей. Описывается алгоритм восстановления данных на основе нечеткого моделирования. Приведены результаты экспериментальных исследований для повышения репрезентативности выборки на основе неполных данных.

Ключевые слова: восстановление данных, нечеткое моделирование, физико-химические свойства нефти