

Сравнение различных методик определения характеристик морского волнения по цифровым фотографиям

М.Т. Смирнов, Д.М. Ермаков

*Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники РАН
141190, г. Фрязино, Московской обл., пл. Введенского, 1
E-mail: smirnov@ire.rssi.ru, dima@ire.rssi.ru*

Основная цель работы – исследование возможностей определения характеристик морского волнения по его цифровым фотографиям главным образом для задачи определения спектра морского волнения совместно с СВЧ радиометрическими измерениями. Экспериментально исследовались возможности использования цифровых фотографий при съемке с разной высоты от поверхности, под различными углами к поверхности, при различных условиях освещенности, различных скоростях и направлении ветра. Анализируются результаты обработки серии фотографий морской поверхности статистическими методами с использованием факторного анализа и на основе анализа физических механизмов формирования особенностей изображений морских волн.

Введение

Основная цель работы – исследование возможностей определения характеристик морского волнения по его цифровым фотографиям главным образом для задачи определения спектра морского волнения совместно с СВЧ радиометрическими измерениями [1 - 3]. Нами экспериментально исследовались возможности использования цифровых фотографий при съемке с разной высоты от поверхности, под различными углами к поверхности, при различных условиях освещенности, различных скоростях и направлении ветра и др.

Съемка взволнованной морской поверхности проводилась во время комплексных экспедиций «Геленджик 2004» и «Кацивели 2005» [1, 2] с помощью цифровой фотокамеры Olympus 8080 WZ. Фотографирование проводилось в первом случае с пирса, а во втором - с морской платформы с высоты 4 - 15 м от воды.

Фотографирование состояния морской поверхности производилось достаточно регулярно с интервалом 1-2 часа в течение длительного времени. На фотографиях были зафиксированы различные режимы волнения – от близких к штилевым до интенсивного волнения с началом пенообразования. Таким образом, фотографии могли быть естественным образом разделены на группы с существенно разными характеристиками состояния поверхности. Обработка данных велась статистическими методами на основе корреляционного и спектрального анализа независимо по каждому из цветовых каналов R, G, B.

Факторный анализ статистических параметров фотографий

По результатам экспедиции «Кацивели 2005» сформирован (описан математически) набор из 81 характеристического параметра, чувствительного, по предположению, к вариациям состояния морской поверхности. К таким параметрам относятся радиусы корреляции изображений в разных цветовых каналах, параметры аппроксимации спектра изображений $\gamma(\lambda)$ [4], их дисперсии и т.п. Указанные параметры рассчитаны для двух серий фотографий (188 и 186 штук), выполненных в разных условиях наблюдения; получены матрицы данных 81 x 188 и 81 x 186 элементов соответственно.

Для n фотографий морской поверхности, полученных при фиксированных условиях наблюдения, был проведен расчет N характеристических параметров, зависящих от спектральных и пространственных свойств ветрового волнения. Характеристические параметры были рассчитаны по отдельности для красных, зеленых и синих цветовых компонент исходных фотографий. В ре-

зультате была сформирована матрица данных P размером n строк (по числу фотографий) на N столбцов (по числу параметров). Анализ полученной матрицы был направлен на оценку эффективности использованных параметров для описания состояния взволнованной морской поверхности. Такое эффективное и полное описание предполагало бы, в частности, возможность построения численного критерия «различия» строк матрицы P , при котором большие различия строк достигались для существенно разных режимов волнения, зафиксированных на соответствующих фотографиях, а малые различия – для одного режима волнения.

На первом этапе исследования, к матрице P был применен факторный анализ, целью которого было выявить наличие внутренних корреляционных связей между величинами параметров, сформировавшими матрицу. В результате была построена факторная модель из 9 некоррелированных факторов, удовлетворительно, в смысле критериев факторного анализа, объясняющая корреляции величин параметров, рассчитанных для всех фотографий:

$$P = AF' + D,$$

где A – матрица факторных нагрузок (n строк на 9 столбцов), F – матрица факторов, составленная из 9 ортогональных векторов длины n (штрих – знак транспонирования), D – матрица «невязок». Удовлетворительное описание означает, в данном случае, что

$$AA' \cong R,$$

где R – матрица корреляции для исходной матрицы P .

Визуализация и интерпретация факторной модели показала, что наиболее значимый фактор почти равномерно нагружен на большую часть характеристических параметров, рассчитанных для зеленых и синих компонент фотографий, а второй по значимости фактор – на параметры, относящиеся к красным компонентам фотографий. Этот факт можно рассматривать как косвенное подтверждение связи между параметрами поверхностного волнения и наблюдаемым цветом морской воды. Несколько следующих по значимости факторов относились к служебным параметрам (таким как дисперсия основных параметров по исследуемой выборке фотографий), а последняя группа факторов, наименее нагруженных, относилась к отдельным характеристическим параметрам. В связи с небольшими величинами нагрузки на эти факторы, их интерпретация не проводилась.

По смыслу исследования, дальнейший анализ должен был выполняться над той «компонентой» данных, для которой были выявлены сильные корреляционные связи, т.к., согласно предположению, эти связи объяснялись чувствительностью характеристических параметров к изменению параметров волнения, а нарушение связей (или относительно слабая связь) – влиянием прочих факторов, не учтенных при расчете характеристических параметров (таких как вариации освещенности вследствие разного времени суток, состояния атмосферы и т.д.). С этой целью был осуществлен переход от матрицы исходных параметров к матрице «вычисленных» параметров (в терминах факторного анализа), т.е. матрице

$$P^* = P - D = AF'$$

Строки данной матрицы, согласно предположению, содержат «откорректированные» величины характеристических параметров для каждой из фотографий, таким образом, что влияние не связанных с волнением факторов минимизировано. Таким образом, строки с наиболее близкими величинами параметров должны соответствовать фотографиям с наиболее сходным режимом волнения и наоборот. Для проверки этой гипотезы была проведена процедура автоматической кластеризации строк матрицы, причем в качестве метрики было использовано евклидово расстояние между строками-векторами. В результате кластеризации были получены 4 кластера строк и, соответственно, 4 группы фотографий, сопоставленные затем между собой.

Сопоставление с исходными фотографиями показало, что, в целом, полученные на основе факторного анализа кластеры соответствуют различным типам состояния морской поверхности, хотя результаты кластеризации существенно зависят от состава набора используемых параметров.

Для повышения надежности классификации необходим анализ физических механизмов обуславливающих наблюдаемые особенности в изображениях волн.

Отличие пространственных характеристик изображений в разных цветовых каналах

Анализ физических механизмов формирования изображений моря в различных цветовых каналах позволяет сформировать более информативное пространство признаков для последующей статистической обработки. При этом возможно использование нелинейных комбинаций рассчитанных параметров.

На рис. 1 представлена схема, иллюстрирующая особенности формирования изображений в разных цветовых каналах. Красный свет практически не проникает в воду и в основном отражается от поверхности воды. Для синего света существенную роль играет, кроме отражения от поверхности, часть света прошедшая в толщу воды, рассеянная в ней и вышедшая через поверхность. Из рисунка видно, что при этом, особенно в условиях слабого волнения, в изображении синей компоненты должны наблюдаться более мелкомасштабные неоднородности, чем в изображении красной компоненты.

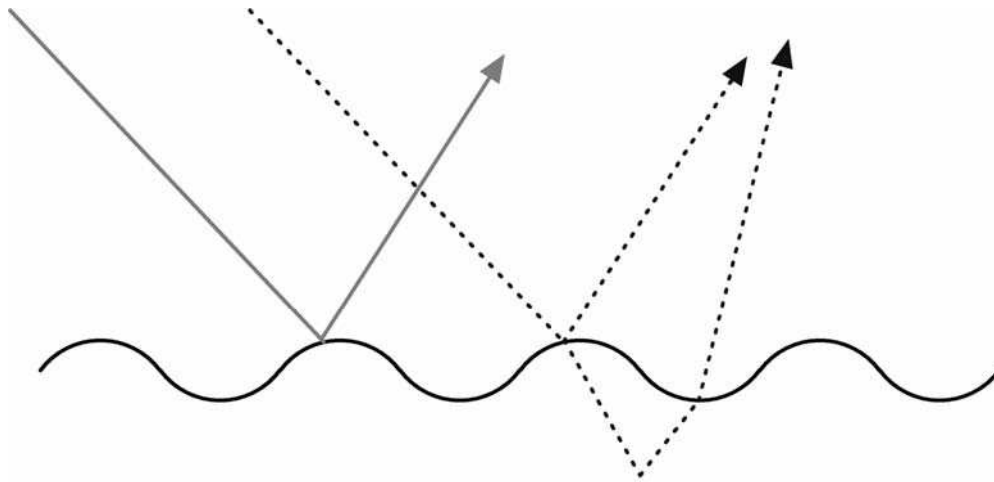


Рис. 1. Схематический рисунок, иллюстрирующий принцип формирования различных пространственных масштабов неоднородностей изображений в различных цветовых каналах (RGB); сплошная линия – красный канал (R), пунктир – синий (B)

В качестве меры различия пространственных масштабов неоднородности можно использовать отношение значений параметра аппроксимации спектра изображений в высокочастотной области $\gamma(\lambda)$ [4] в красном и синем каналах:

$$A = \gamma(B)/\gamma(R)$$

На рис. 2 представлена экспериментальная зависимость параметра A от скорости ветра. Полностью однозначной зависимости не наблюдается, но видно, что при слабом ветре, как это и ожидалось, в основном происходит увеличение значений этого параметра. Неоднозначность возникает, по-видимому, потому что значения указанного параметра определяются не только волнением, но и в значительной степени условиями внешнего освещения. При увеличении скорости ветра, когда поверхность становится сильно шероховатой, значение параметра A стремится к 1 при любых условиях.

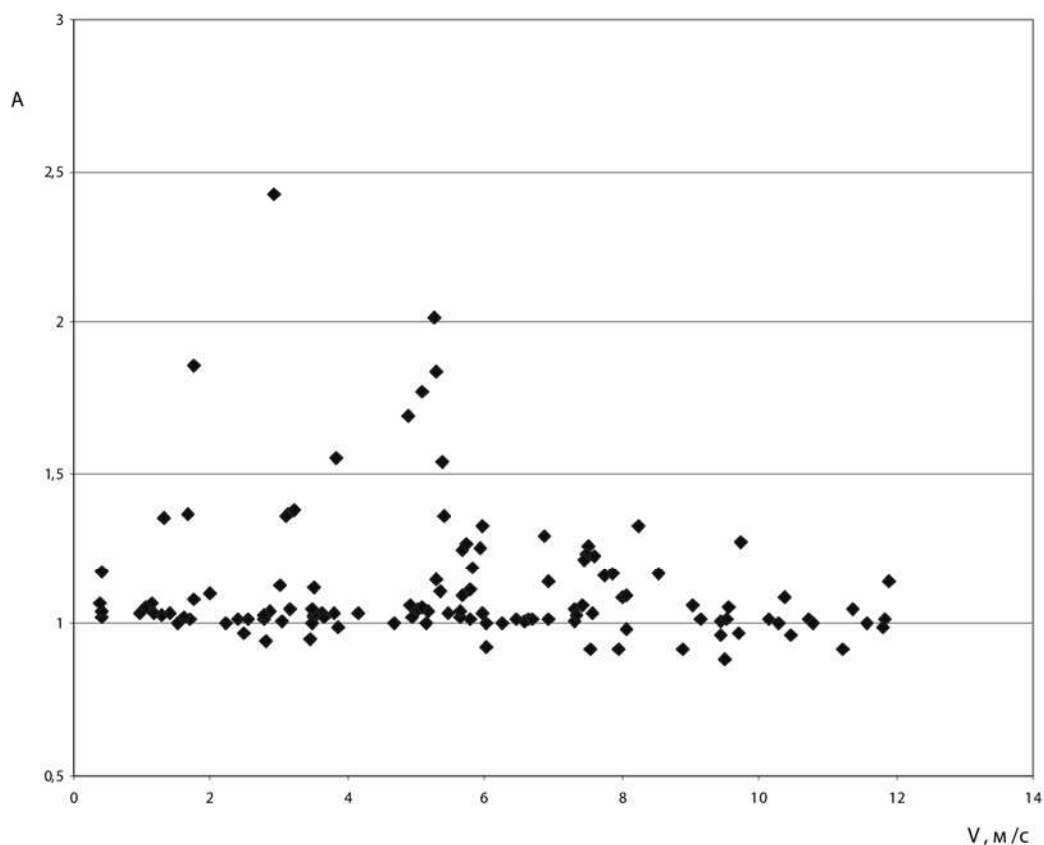


Рис. 2. Зависимость параметра A от скорости ветра. Съемка с верхнего яруса (~15 м) под углом близким к надиру

Более детальный анализ показал, что параметр A зависит не только от скорости, но и направления ветра.

Определение параметра A путем деления одного параметра на другой не является оптимальным, поскольку сильно зависит от погрешностей оценки делителя, но позволяет показать перспективность поиска новых параметров, описывающих физические особенности исследуемого объекта.

Выводы

По результатам работы можно сделать следующие основные выводы:

- Сопоставление с исходными фотографиями показало, что, в целом, полученные на основе факторного анализа кластеры соответствуют различным типам состояния морской поверхности, хотя результаты кластеризации зависят от состава набора параметров.
- Разница пространственных характеристик изображений в различных цветовых каналах несет полезную информацию о состоянии морской поверхности.

Работа выполнена при поддержке гранта INTAS 03-51-4789.

Литература

1. Трохимовский Ю.Г., Кузьмин А.В. и др. Исследования радиояркой температуры взволнованной поверхности моря в эксперименте "Геленджик'99" // Исследование Земли из космоса, 2002. №3. С.20-28.
2. Кузьмин А.В., Поспелов М.Н., Садовский И.Н. Микроволновые радиометрические исследования морской поверхности в прибрежной зоне Черного моря // Современные проблемы дис-

танционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных объектов и явлений. Сборник научных статей. М.: GRANP polygraph, 2005. Т. 2. С. 103-110.

3. *Ермаков Д.М., Смирнов М.Т.* Натурные исследования взволнованной морской поверхности совместными оптическими и СВЧ радиометрическими методами // Радиотехника и электроника, 2004. №4. С. 431–438.

4. *Смирнов М.Т., Ермаков Д.М.* Определение характеристик морского волнения по цифровым фотографиям // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных объектов и явлений. Сборник научных статей. М.: ООО «Азбука-2000», 2006. Т. 2. С. 149-154.