

АДАПТИВНЫЕ И ДВУХЭТАПНЫЕ УСТОЙЧИВЫЕ АЛГОРИТМЫ ЦИФРОВОЙ
ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Зеленский А. А. , Лукин В. В. , Мельник В. П. , Пономаренко Н. Н.
Анухин И. П. , Доля А. Н. , Курекин А. А.

Изображения Земной поверхности, сформированные системами дистанционного зондирования различных диапазонов электромагнитных волн (радио, инфракрасного, оптического), существенно отличаются друг от друга по качеству, разрешающей способности, информативности, контрастам, степени влияния шумов и их статистическим характеристикам, воздействию других дестабилизирующих факторов. Вместе с тем, практически для всех ситуаций характерно то, что актуальной является необходимость повышения качества изображений на этапе их вторичной обработки, предусматривающая подавление или устранение влияния наиболее существенных искажений и помех при сохранении основных параметров изображений - среднего уровня значений для однородных участков, границ объектов и мелких деталей /1/.

В последнее время решение этих задач, как правило, основывается на использовании нелинейных алгоритмов фильтрации и восстановления, применении принципа локальной адаптации /2/ и итерационного подхода. В рамках данного этапа госбюджетной НИР основное внимание было уделено как раз исследованию эффективности и разработке именно таких алгоритмов применительно к различным изображениям.

Для оптического и инфракрасного диапазонов характерно преобладающее влияние аддитивных помех и эффектов размытия изображений вследствие ограниченной ширины главного лепестка функции неопределенности системы формирования изображений (СФИ). Негативное воздействие могут также оказывать импульсные помехи и аппаратные сбои, которые необходимо также устранить на этапе вторичной обработки. Разработанные ранее алгоритмы восстановления изображений часто вообще не учитывают последний фактор, к тому же они часто синтезируются на основе использования интегральных критериев качества восстановления /3/, которые не всегда являются приемлемыми. Кроме того, априорная информация о характеристиках изображений и помех часто не является достоверной, поэтому алгоритмы вторичной обработки изображений должны обладать определенными робастными (устойчивыми) свойствами, т.е.

способностью успешно функционировать в условиях возможного достаточно широкого изменения статистических свойств помех.

Предлагаемые для обработки оптических и инфракрасных изображений методы и алгоритмы сочетают в себе важнейшие достоинства методик фильтрации в скользящем окне, основанных на использовании порядковых статистик и обладающих вследствие этого способностью устранять импульсные помехи, хорошо сохранять мелкие детали и неплохо подавлять аддитивные шумы, и реставрирующих процедур с локально-адаптивным выбором параметров, что позволяет эффективно устранить влияние функции неопределенности СФИ, дополнительно подавить флуктуационные помехи и сохранить мелкие детали и границы /4/.

Суть метода состоит в прямом или косвенном оценивании локальных свойств изображений с целью принятия решения о методике обработки текущего фрагмента. Повышение качества достигается посредством введения адаптивных процедур в алгоритмы реставрации.

Были рассмотрены несколько методик, в том числе предусматривающие

- 1) применение локально-адаптивного фильтра в качестве регуляризирующего оператора;
- 2) применение локально-адаптивного фильтра в качестве оператора ограничений при использовании итерационных алгоритмов.
- 3) изменение параметров регуляризирующего фильтра в зависимости от показателя локальной активности изображения.

В первом случае адаптация основывается на предварительном использовании робастного алгоритма фильтрации, обеспечивающего возможность подавить шумы со сложным видом статистических характеристик. Для второго случая рассмотрен широкий спектр различных локально-адаптивных фильтров, применяемых на каждом шаге итерации, проведено сравнение этих алгоритмов с традиционными итерационными алгоритмами восстановления. В третьем положительный эффект достигается за счет вариации значения параметра регуляризации и, следовательно, частотной характеристики фильтра в зависимости от значения показателя локальной активности, в качестве которого используются квазиразмах, локальная дисперсия или другие параметры, сравниваемые с соответствующими порогами.

Численное моделирование показало, что наилучшие результаты достигаются при использовании предложенных итерационных алгоритмов и применении сигма-фильтра в качестве оператора

ограничений. Выигрыш этого алгоритма по сравнению с известным фильтром Винера, характеризуемый интегральной дисперсией по всей площади изображения, имеет порядок 25-30%, то есть оказывается достаточно большим. Кроме того, улучшение качества видно и визуально, оно проявляется прежде всего в лучшем сохранении мелких деталей и границ объектов. В принципе же все предложенные алгоритмы обеспечивают выигрыш в качестве, причем как в плане уменьшения интегрального показателя качества для всего изображения, так и для его участков, характеризуемых различными свойствами - числом мелких деталей, процентным содержанием однородных участков.

Радиолокационные изображения миллиметрового и сантиметрового диапазонов, формируемые радиолокаторами бокового обзора, отличаются превалирующим влиянием мультипликативного шума, при определенных условиях сброса информации с аэрокосмического носителя на пункт наземной обработки данных могут также появляться импульсные помехи или выбросы. Поэтому для изображений этого диапазона волн первоочередными задачами являются подавление мультипликативных и импульсных помех при сохранении контрастности перепадов и мелких деталей.

В начале восьмидесятих годов Ли и Фростом были предложены соответственно Сигма-фильтр и алгоритм, получивший имя второго автора. Эти фильтры включают элементы адаптации и сравнительно просты, однако первый характеризуется недостаточно эффективным подавлением флуктуационных помех для однородных участков и неспособностью устранить выброс, расположенный в центральном пикселе скользящего окна. Недостатком фильтра Фроста являются реагирование на выбросы и слишком большие вычислительные затраты, обусловленные необходимостью расчета новых значений весовых коэффициентов для каждого положения центра апертуры фильтра, которые, к тому же, оказываются действительными числами, что дополнительно увеличивает временные затраты при выполнении взвешенного усреднения значений пикселей изображений, представляемых обычно в виде целых байтовых величин g .

Нами разработаны модификации обоих фильтров, в той или иной мере лишенные указанных недостатков. Для сигма-фильтра предложено контролировать число значений изображения, попадающих в 2σ -окрестность значения РЛИ центрального элемента скользящего окна, и, если оно оказывается меньше заранее вводимой величины K ,

вместо обычной процедуры расчета фильтрованного значения вычислять медиану для восьми элементов, окружающих центральный пиксел. Такая модификация позволяет значительно улучшить робастные свойства алгоритма. Второе изменение заключается в том, что для полученной первоначально 2σ -окрестности находят минимальное и максимальное значение РЛИ, затем определяют их полусумму I^c и формируют новую окрестность для полученной величины. Благодаря этой операции значительно уменьшается смещенность оценок среднего уровня для однородных участков и повышается эффективность подавления флуктуационных помех для них.

Для модифицированного фильтра Фроста предложено в зависимости от значения относительной локальной дисперсии варьировать не значения весовых коэффициентов, а размеры и форму апертуры медианного фильтра. Минимальная апертура - это "крест" с размерами 3×3 элемента. Исследования показали, что разработанный алгоритм мало отличается от фильтра Фроста по эффективности подавления мультипликативных помех и степени сохранения границ и мелких деталей, зато обладает способностью успешно устранять выбросы и на порядок более высоким быстродействием.

Радиолокационные изображения, формируемые радиолокаторами с синтезированием апертуры, особенно однозглядовыми, характеризуются еще более высоким уровнем мультипликативного (спекл) шума. Для них приоритетным требованием следует считать подавление этого класса помех при одновременном обеспечении определенных робастных свойств и способности в минимальной степени сглаживать границы объектов. Сохранение мелких деталей также является желательным, но достичь его с учетом сильной зашумленности изображений весьма сложно.

При вторичной обработке таких изображений рекомендуется использовать разработанный двухэтапный алгоритм. На первом этапе применяется фильтр Ли со сравнительно большой апертурой скользящего окна, который значительно подавляет спекл, сохраняя средний уровень для однородных участков, границы объектов и контрастные детали. Дополнительное сглаживание на втором этапе осуществляется медианным фильтром с небольшой апертурой, что позволяет устранить выбросы и мелкозернистую структуру флуктуаций на однородных участках. Сглаживание границ и мелких деталей оказывается очень несущественным; в итоге достигается очень хорошее сочетание свойств двухэтапного алгоритма и.

соответственно, высокое качество получаемых после вторичной обработки изображений /5/.

В заключение отметим, что при простоте аппаратурно-алгоритмической реализации предложенные алгоритмы применимы для обработки изображений различных диапазонов электромагнитных волн, формируемых многоканальными комплексами дистанционного зондирования. Они прошли апробацию на реальных и тестовых данных /4, 5/, создано соответствующее программно-алгоритмическое обеспечение /6,7/, реализующее описанные выше и многие другие алгоритмы анализа и обработки изображений.

Список литературы.

1. Ярославский Л. П., Мерзляков Н. С. Цифровая голография. - М.: Наука, 1982, -220с.
2. Зеленский А. А., Кулемин Г. П., Лукин В. В., Мельник В. П. Локально-адаптивные устойчивые алгоритмы обработки изображений. Препринт N 93-143, ИРЭ НАН Украины, 1993, -39 с.
3. Василенко Г. И., Тараторин А. М. Восстановление изображений. - М.: Радио и связь, 1986. - 304 с.
4. Melnik V.P. Locally-Adaptive Algorithms of Image Reconstruction, Proceed. of the 2-nd All-Ukrainian Intern. Confer. "Signal/Image Processing and Pattern Recognition", Kiev, Dec. 1994, pp. 211-214.
5. Lukin V.V., Kurekin A.A., Melnik V.P., Zelensky A.A. Application of Order Statistic Filtering to Multichannel Radar Image Processing. Accepted to IS and T/SPIE Symposium on Electronic Imaging: Science and Technology, Febr. 1995, San Jose, California, USA.
6. Kulemin G.P., Kurekin A.A., Lukin V.V., Melnik V.P., Zelensky A.A. MM-band Multichannel Radar Remote Sensing and Data Processing. Proceed. of Intern. Sympos. "Physics and Engineering of MM and subMM Waves", June 1994, Kharkov, Ukraine, Vol.4, pp. 704-707.
7. Kulemin G.P., Kurekin A.A., Lukin V.V., Zelensky A.A. MM-Wave Multichannel Remote Sensing Radar Systems and Algorithms of Image Processing, Digest of the Third Intern. Confer. on MM Wave and Far Infrared Science and Technology, Aug. 1994, Guanzhou, China, 1994, pp. 359-362.