**SAR**

Радиолокационные системы с синтезированной апертурой (Synthetic Aperture Radar, SAR) используют электромагнитные волны, чтобы получить изображения земной поверхности. Сигналы, отраженные от земной поверхности, принимаются системой, которая движется вдоль поверхности Земли. Этот процесс сбора данных позволяет создать синтетическую апертуру большой длины, что в свою очередь позволяет получить радиолокационные изображения с высоким разрешением и детализацией.

Одним из главных преимуществ радиолокационных изображений является их способность проникать сквозь облака, дым, туман, дождь и другие атмосферные помехи, которые могут мешать визуальным изображениям. Кроме того, радиолокационные системы могут работать в темное время суток и в условиях плохой видимости. Это делает их очень полезными для наблюдения за земной поверхностью в условиях, когда другие методы получения данных о земной поверхности могут быть недоступны.

Изображения SAR находят широкое применение в различных областях, включая геодезию, картографию, экологию, геологию, сельское хозяйство и безопасность. Изображения SAR также используются для изучения климата и погоды, контроля за площадями лесных пожаров, мониторинга изменений ледников и ледяного покрова, а также для поиска и спасения людей в экстремальных условиях.

Кроме того, изображения SAR могут быть использованы для получения трехмерной информации о земной поверхности, а также для выявления скрытых объектов под землей или внутри зданий. Они также могут быть использованы для создания детальных карт местности и навигационных систем.

**Существующие методы фильтрации**

Существует множество классических подходов для фильтрации спекл-шума на радиолокационных изображениях с синтезированной апертурой, например линейные методы фильтрации спекл-шума, такие как фильтры усреднения, медианные фильтры и фильтры Калмана. Работают путем применения математических операций к значениям пикселей в окрестности данного пикселя на изображении. Эти методы могут хорошо работать для небольшой степени спекл-шума, но неэффективны при высоком уровне шума.

Нелинейные фильтры, такие как Lee filter [, Frost filter [], Kuan filter [], and Gamma-MAP filter []. Wavelet-based methods [], [] enabled multi-resolution analysis. являются более эффективными для уменьшения спекл-шума на радиолокационных изображениях. В основе этих методов лежит использование информации о структуре изображения, чтобы отличить шум от действительных объектов на изображении.

Например, адаптивные фильтры используют информацию о структуре объектов на изображении для определения оптимального размера окна фильтрации. Вейвлет-фильтры используют преобразование вейвлета для разделения изображения на различные частотные компоненты, которые могут быть отфильтрованы независимо друг от друга. Нелинейные фильтры, такие как фильтры билатеральной и локальной регрессии, используют аппроксимацию реальных данных для уменьшения шума на изображении.

Одним из наиболее распространенных методов фильтрации является фильтр Ли, который основан на теории статистики случайных процессов. Он используется путем применения фильтрации к каждому пикселю изображения в зависимости от его статистических характеристик.

Приведённые способы фильтрации спекл-шума на радиолокационных изображениях имеют разные результаты в зависимости от типа изображения. В некоторых случаях линейные методы могут дать лучшие результаты, в то время как для других изображений нелинейные методы будут более эффективными.

Относительно новой идеей фильтрации SAR изображений является применение методов машинного обучения, которые автоматически подбирают параметры архитектуры в процессе обучения.

Как показала практика, использование сверточных нейронных сетей (Convolutional Neural Networks, CNN) в задачах обработки изображений дают хорошие результаты за счёт получения информации о пространственной структуре. Во время обучения нейронная сеть настраивается на извлечение признаков из SAR-изображений и на удаление шума, чтобы получить нешумную версию изображения.

К другим интересным методам глубокого обучения относится архитектура Autoencoder, которая позволяет извлекать информацию из SAR-изображений и удалять шум из них. В этом методе нейронная сеть обучается сжимать исходное изображение до более компактного представления, извлекать признаки из SAR-изображений и находить наиболее значимые компоненты, а затем расширять его обратно до исходного размера.

**Speckle noise**

Спекл-шум представляет собой мультипликативный паттерн случайных ярких и темных точек на изображении, которые могут искажать искомый объект и делать его неразличимым

В отличие от оптических изображений, где световые волны не меняются при отражении от объектов, радиолокационные волны могут испытывать изменения фазы и амплитуды при отражении от объектов в окружающей среде. Когда эти волны пересекаются, отражаются от разных объектов в окружающей среде, они могут взаимодействовать друг с другом, вызывая интерференцию, что приводит к появлению спекл-шума на изображении.

Спекл-шум может затруднять визуальное анализирование радиолокационных изображений и понижать качество автоматической обработки изображений, такую как сегментация объектов, классификация, детектирование и д р. Поэтому, чтобы получить более точную и чистую информацию из радиолокационных изображений, необходимо производить фильтрацию спекл-шума.

**Related work**

На сегодняшний день существуют десятки различных фильтров радиолокационных изображений., которые можно условно разделит на несколько категорий.

Первые подходы для фильтрации радиолокационных изображений были представлены с момента появления самих радиолокационных изображений в прошлом веке. Изначально разработанные методы опирались на использование статистических данных(spatial domain) для извлечения и удаления спекл-шума. Наиболее известными и эффективными оказались Lee filter [1], Frost filter [2], Kuan filter [3]

методы, основанные на извлечение информации при помощи вейвлет-преобразований [4, 5, 6] (wavelet-domain methods)

non-local methods [7, 8, 9]

методы, основанные на применении машинного обучения, глубоких нейронных сетей.

1. J.-S. Lee, “Speckle analysis and smoothing of synthetic aperture radar images,” Computer Graphics and Image Processing, vol. 17, no. 1, pp. 24 – 32, 1981. [Online]. Available: http://www.sciencedirect.com/ science/article/pii/S0146664X81800056
2. V. S. Frost, J. A. Stiles, K. S. Shanmugan, and J. C. Holtzman, “A model for radar images and its application to adaptive digital filtering of multiplicative noise,” IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. PAMI-4, no. 2, pp. 157–166, March 1982.
3. D. Kuan, A. Sawchuk, T. Strand, and P. Chavel, “Adaptive restoration of images with speckle,” IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, vol. 35, no. 3, pp. 373–383, March 1987.
4. F. Argenti and A. Alparone, “Speckle removal from SAR images in the undecimated wavelet domain,” IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing , vol. 40, pp. 2363–2374, Nov. 2002.
5. F. Argenti, T. Bianchi, and A. Alparone, “Multiresolution MAP despeckling of SAR images based on locally adaptive generalized gaussian pdf modeling,” IEEE Transactions on Image Processing, vol. 15, no. 11, pp. 3385–3399, Nov. 2006.
6. M. Dai, C. Peng, A. K. Chan, and D. Loguinov, “Bayesian wavelet shrinkage with edge detection for SAR image despeckling,” IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 42, no. 8, pp. 1642– 1648, Aug. 2004.
7. C. Deledalle, L. Denis, and F. Tupin, “Iterative weighted maximum likelihood denoising with probabilistic patchbased weights,” IEEE Transactions on Image Processing, vol. 18, no. 12, pp. 2661–2672, Dec. 2009.
8. H. Zhong, J. Xu, and L. Jiao, “Classification based nonlocal means despeckling for SAR image,” proc. of SPIE, vol. 7495, Oct. 2009.
9. P. Coupe, P. Hellier, C. Kervrann, and C. Baril- ´ lot, “Bayesian non local means-based speckle filtering,” Proceedings of IEEE International Symposium on Biomedical Imaging, pp. 1291–1294, May 2008.