

## РАСПОЗНАВАНИЕ КОНТУРОВ ЗДАНИЙ НА СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ ВЫСОКОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ

*В данной статье рассматривается проблема распознавания зданий на снимках высокого пространственного разрешения. Целью исследования является создание новой технологии для автоматизации процесса. Методика, опробованная в работе, включает различные методы обработки изображения на различных стадиях и подчеркивает необходимость слияния данных во время процедуры распознавания объектов.*

*Ключевые слова: сегментация, гистограмма, пространство признаков, экспертные атрибутивные данные, дистанционное зондирование, распознавание зданий.*

Н.О. СОКОЛОВА

Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара

## РОЗПІЗНАВАННЯ КОНТУРІВ БУДІВЕЛЬ НА СУПУТНИКОВИХ ЗОБРАЖЕННЯХ ВИСОКОГО ПРОСТОРОВОГО РОЗРІЗНЕННЯ

*У даній статті розглядається проблема розпізнавання будівель на знімках високого просторового розрізнення. Метою дослідження є створення нової технології для автоматизації процесу. Методика, випробувана в цій роботі, включає різні методи обробки зображення на різних стадіях і підкреслює необхідність злиття даних під час процедури розпізнавання об'єктів.*

*Ключові слова: сегментація, гістограма, простір ознак, експертні атрибутивні дані, дистанційне зондування, розпізнавання будівель.*

N.O. SOKOLOVA

Oles Honchar Dnipropetrovsk National University

## RECOGNITION OUTLINES OF BUILDINGS ON SATELLITE IMAGES OF HIGH SPATIAL RESOLUTION

*This article considers the problem of recognition of buildings in images of high spatial resolution. The aim of the study is the creation of new technology to automate the process. The technique is tested in this work, various methods of image processing at various stages and stresses the need to merge data during the procedure of building extraction.*

*Keywords: segmentation, histogram, feature space, expert attribute data, remote sensing, extraction of buildings.*

### Постановка проблемы

В области фотограмметрии и дистанционного зондирования Земли в последние годы предпринимаются попытки разработки автоматизированных и полуавтоматических подходов для распознавания объектов и, в частности, зданий. Однако сегодня нет общепринятой методологии для автоматического распознавания зданий на снимках высокого пространственного разрешения.

### Анализ публикаций по теме исследования

Наиболее распространенными подходами являются линейные классификаторы, методы анализа с использованием множества самоорганизующихся карт, алгоритмы на основе искусственных нейронных сетей, подходы на основе геометрических признаков [1-4]. Очевидно, что автоматическое распознавание зданий позволит сократить временные и материальные затраты на обновление базы данных географической информационной системы и поддержание городских геодезических данных в актуальном состоянии.

### Формулировка целей статьи

Соответствующие исследования не должны сосредотачиваться на зданиях конкретного типа или геометрии (например, скатов крыш). Необходим более широкий подход, включающий тщательное изучение общих типов зданий, таких как коммерческие, высотные и постройки частного сектора. Уникальная структура каждого типа здания ставит конкретные задачи распознавания.

### Основная часть

Решением может быть интеграция селективных методик, каждая из которых направлена на здания конкретного типа. При распознавании зданий должны быть учтены некоторые аспекты, а именно:

- особенности комплексов зданий невозможно описать с помощью простой геометрии;

- обнаружения края зданий и границ сегмента не могут быть использованы в качестве единственного решения в процессе экстракции;
- изображения необходимо разбить таким образом, чтобы упростить процедуру экстракции;
- вспомогательные данные, такие как данные ГИС, должны быть использованы для улучшения решения;
- при экстракции трехмерных особенностей следует интегрировать дополнительную информацию, например тени;
- определение характеристик сегмента и идентификация формы необходимы для валидации извлеченных сегментов и, следовательно, должны быть включены в процесс.

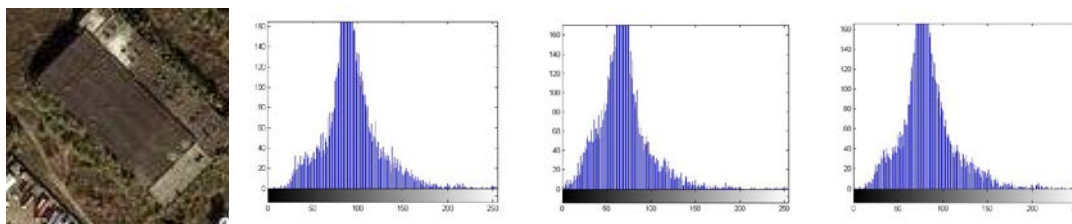
Разработанная методика основана на интеграции источников дистанционного зондирования и имеющихся данных ГИС. Поскольку здания фигурируют в изображении в широком разнообразии форм и спектральных сигнатур, предлагаемая процедура воздерживается от контролируемого обучения системы.

Предлагаемая интеграция нескольких ГИС-источников, их атрибутов, топологических соотношений между растровыми извлеченными сегментами и существующими векторными данными, а также упрощение на первом шаге на основе информации эксперта, формируют новый подход для автоматической экстракции зданий. Синтез доступных источников данных с пространственным анализом и методами обработки изображений обеспечивает надежный подход к решению проблемы и состоит из следующих этапов:

1. разбиение изображения на участки с элиминацией свободных участков и определением типа участка;
2. анализ гистограммы;
3. сегментация признаков в пространстве изображения;
4. добавление атрибутов экспертных данных;
5. использование теней для верификации и элиминации сегмента зданий;
6. основанная на геометрических оценках элиминация сегментов с низкой вероятностью быть зданием;
7. нахождение и обобщение контура здания.

Распознавание основывается на предварительных данных ГИС, которые ограничивают поисковую область в пределах сцены. Для локализации поиска на ограниченном участке и возможности сделать некоторые упрощающие предположения, на первом этапе изображение разбивается на сегменты. Экспертные наборы данных, которые включают информацию об участке, легко доступны для большинства территорий во многих странах мира. Более того, каждый участок включает в себя атрибуты, которые классифицируют использование здания на участке, будь то промышленное, жилое и т.д., и конкретизируют вспомогательную информацию, например такую как площадь. Для получения достоверных данных распознавания временной разрыв между получением, обработкой изображения и составлением слоя участков должен быть минимальным. Информация о территориальном зонировании каждого участка может быть использована для выделения области участка, вероятнее всего, содержащего здание.

Анализ гистограммы основан на локализации пиков в гистограмме. Пики гистограммы представляют доминантные особенности в пределах участка. Поскольку участок - конечное двухмерное пространство с ограниченным числом особенностей, здание охватывает значительное число пикселей - по существу пики присутствуют во всех 3 полосах RGB-изображения (рис. 1). Около 50% участков содержат здания, создающие мажоритарный пик (самый высокий пик на гистограмме).



**Рис.1. Гистограммы полос 1/2/3 для изображения слева**

В других случаях, здание генерирует не мажоритарный пик (рис. 2–4), а в некоторых случаях (рис. 5) - существует более чем одно здание на участке. В соответствии с расположением пиков в гистограмме, соответствующие пикам особенности сегментированы в пространстве изображения. Сегменты затем подвергаются дальнейшей обработке для сглаживания и устранения полостей, если это возможно.

В настоящий момент, результаты оценивают использование только первых и возможно вторых по высоте пиков для участка. Результат начальной сегментации показан на рисунке 6. Окончательные результаты распознавания в значительной мере коррелируются с результатами сегментации изображения. Все дефекты сегментации сильно влияют на последующую процедуру анализа. Ошибочный сегмент может включать островки и разрывы или даже исключить часть здания. Комплексы зданий могут быть извлечены в виде нескольких секций и объединены уже на этапе постобработки.

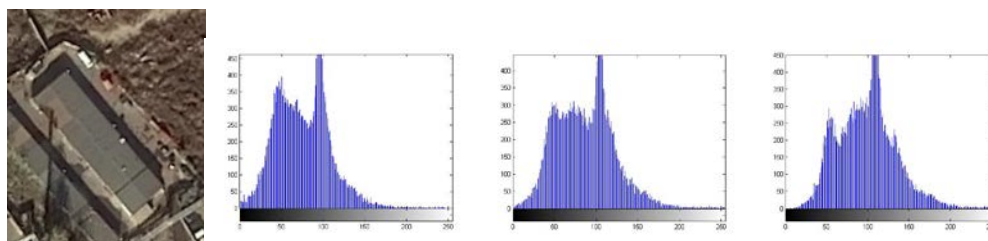


Рис.2. Участок с одним зданием, пик не мажоритарный

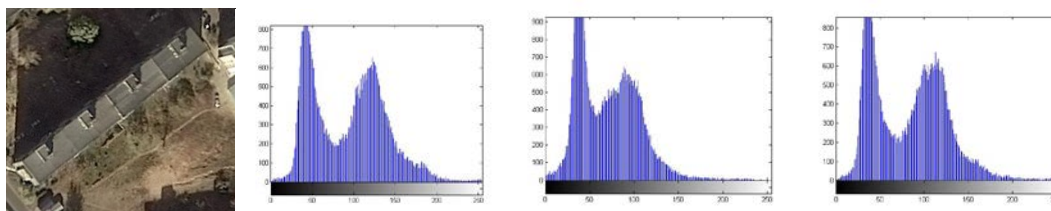


Рис.3. Участок с одним зданием, тень дает еще один почти мажоритарный пик

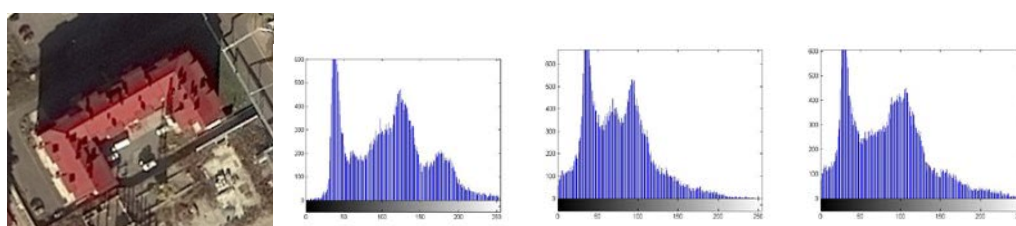


Рис.4. Участок с одним зданием П-образной формы и большой тенью, пики не мажоритарные

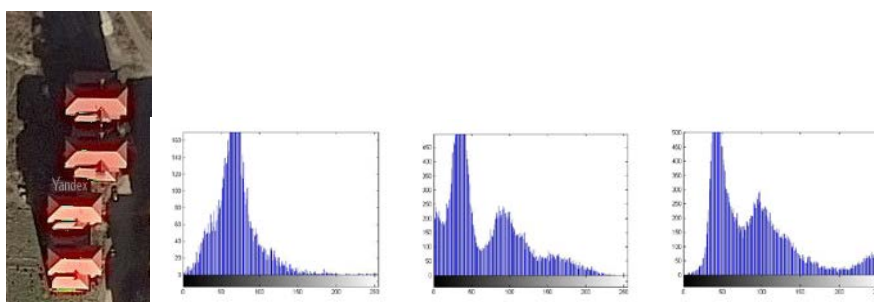


Рис.5. Участок с несколькими зданиями с различными особенностями крыш

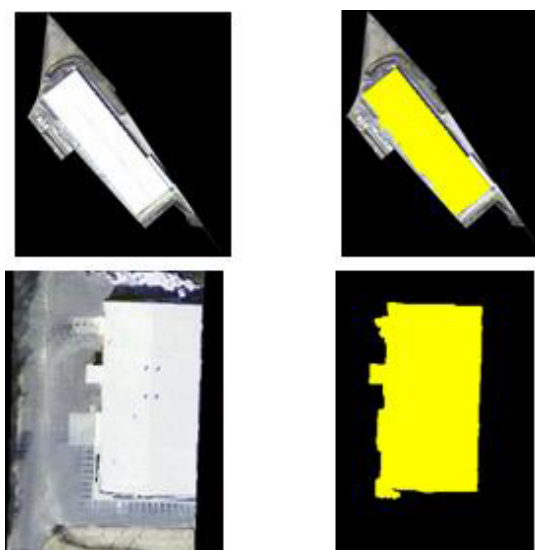


Рис.6. Предварительные результаты: исходное здание слева; сегментированные особенности только для мажоритарного пика справа

Когда различные пики классифицируются во фрагментах изображения, особенности сегментируются как показано на рис. 7.

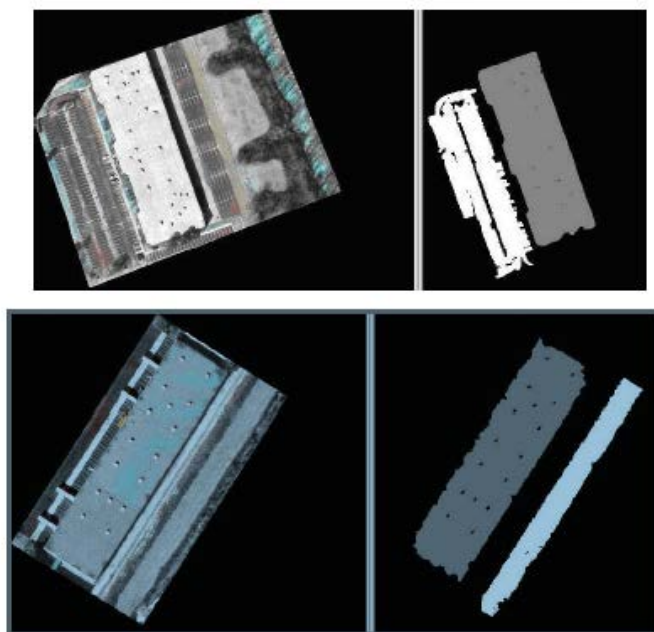


Рис. 7. Результат сегментации двух пиков в гистограмме

Последующие этапы являются механизмом для оценки вероятности сегмента быть частью здания, а именно производится анализ размера, тени и геометрии сегментов. Анализ размеров основывается на экспертных атрибутивных данных. Ограничение по размеру может использоваться, чтобы устранить сегменты, полученные особенности которых не соответствуют экспертным данным участка. Ограничение размера оценивается либо с помощью площади, взятой из таблицы атрибутов, или вычисляется как минимальный процент размера участка.

Тени являются способом идентифицировать наличие зданий и отличить жилые здания от особенностей земной поверхности. На данном этапе пользователь обязан обеспечить простую индикацию направления освещения солнцем. Знание общего направления солнечного освещения может помочь различать сегменты, которые имеют тень на корректной позиции и относящиеся к сегментам со зданиями, и сегменты, не являющиеся зданиями.

Анализ тени выявляет трехмерные структуры, но неэффективен для жилых зданий, вокруг которых много растительности или высоких деревьев, которые отбрасывают тень на крышу здания, а также в случае сложной сигнатуры крыши зданий, когда тени нескольких зданий чередуются, или когда цвет крыши здания близок по цвету к тени.

Отсев сегментов с низкой вероятностью «быть зданием» базируется на геометрии. Для оценки геометрической вероятности, «что это - здание», вычисляются следующие параметры: прямоугольность и эллиптичность сегмента, массивность, выпуклость и компактность [3]. Данные характеристики проверяются индивидуально путем сравнения поведения параметра для объектов «здание» и «не здание». Значение каждого параметра затем используется для вычисления вероятности сегмента «быть зданием». Возможность наличия полостей в пределах сегмента оценивается как показания для исключения сегмента (полости, большие чем ожидается, будут индикатором отсутствия здания). Используются простые ограничения, такие как минимальная ширина здания (для пространства, пригодного для жилья или использования в качестве рабочей зоны).

Сегменты, которые определены на основе различных мер не как здания, будут устранены. Остальные сегменты преобразуются в векторный полигональный слой для возможной ручной постобработки. Разработанный метод на данном этапе позволяет смягчить влияние этапа сегментации, определив пороговое значение для сравнения размеров и несколько геометрических мер, определяющих соответствующую вероятность сегмента. Предложенные геометрические меры направлены на выявление любых зданий и не ограничивают процесс конкретными формами. Тем не менее, тестирование показало их некоторое фактическое смещение в сторону прямоугольных зданий. Для усовершенствования этого подхода необходимо использование библиотеки известных форм с заранее определенными показателями формы.

Для поиска контура здания выполняется преобразование растровых сегментов в векторные многоугольники как показано ниже. Результатом всего процесса является векторный файл, который содержит многоугольные объекты, а также вероятные многоугольники, которые могут быть зданием (рис.8).



Рис. 8. Файл многоугольных форм, созданный для нескольких участков

#### Выводы и перспективы дальнейших исследований

Метод был протестирован для различных сценариев: полный прогон, включая все три этапа анализа; исключая анализ размеров; исключая анализ теней; исключая анализ геометрии. Каждый запуск обеспечивает возможность изолировать влияние определенного этапа на процесс распознавания, следовательно, оценить выгоду для всего процесса.

Анализ коммерческих зданий обнаружил, что полный прогон, который включает в себя все этапы, повышает общую точность распознавания и снижает объем ручной постобработки. Анализ геометрии является решающим шагом в общем процессе со значительным влиянием на конечный результат. Анализ размеров и анализ тени также играют важную роль и должны быть интегрированы в процесс, чтобы уменьшить усилия постобработки.

Следует заметить, что применение лидарных изображений позволяет существенно расширить возможности существующих методов распознавания объектов [5]. Комплексное применение лидарных и оптических изображений позволяет значительно улучшить достоверность распознавания зданий, а также осуществлять визуализацию результатов в 3D-формате. Поэтому наши дальнейшие усилия будут направлены на повышение точности предложенного метода за счет дополнительного использования данных лидарной съемки. Результаты распознавания зданий могут быть использованы в дальнейшем для трехмерной визуализации пространственных фотограмметрических сцен.

#### Список использованной литературы

1. Cao Y, Su C, Liang J. High resolution SAR building detection with scene context priming / Signal Processing (ICSP), 2012 IEEE 11th International Conference on, pp. 1791-1794, March 2012.
2. Hao Tian, Yanming Wang and Guohui Li. Extracting buildings based on prior-shape level set model / ACTA AUTOMATICA SINICA vol. 36, pp. 1503-1510, November 2010.
3. Сушевський Д. В. Геометричні моделі ідентифікації та візуалізації змін штучних об'єктів земної поверхні за різночасовими зображеннями. Дис. ... канд. техн. наук / Дніпропетровський національний університет ім. Олеся Гончара. — Дніпропетровськ, 2011. — 147 с.
4. Гнатушенко В.В. Технология автоматизированного распознавания и реконструкции контуров зданий на спутниковых изображениях высокого пространственного разрешения / В.В. Гнатушенко, Н.О. Соколова // «Средства и технологии ДЗЗ из космоса в науке, образовании, бизнесе», международная научно-практическая конференция 10–11 апреля 2014 г. / Сборник тезисов. — М.: Инженерно-технологический Центр СканЭкс, 2014 г. С. 45-47.
5. Balz T. Combining LIDAR, InSAR, SAR and SAR-Simulation for change detection applications in cloud-prone urban areas / Balz T., Haala N., Soergel U. // The First International Symposium on Cloud-prone And Rainy Areas Remote Sensing (1st CARRS). — Hong Kong, 2005. — P. 68-79.