XXIV МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»
Москва, ИКИ РАН, 09 -13 ноября 2026 года

Проявление эффектов разрежения облаков точек при анализе данных наземного лазерного сканирования подроста хвойных пород

И.В. Мателенок

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

- Наземное лазерное сканирование используется в лесоведении и лесном хозяйстве как для формирования реалистичных геометрических описаний объектов на компактных участках (например, на постоянных пробных площадях), так и для уточнения значений параметров древостоев, полученных в результате обработки данных авиационной лидарной и пассивной мультиспектральной съемки по обширным территориям.
- Для покрытия значительных по площади участков требуется большое количество точек стояния и, соответственно, существенные затраты временных и вычислительных ресурсов. В ситуациях, когда набор исследуемых параметров древостоев невелик, сохраняется возможность оптимизации использования ресурсов за счет увеличения расстояния между станциями. Влияние возрастающей при этом фрагментарности получаемых облаков точек на качество оценки параметров нуждается в дополнительном исследовании.
- Хвойный подрост отличается, с одной стороны, правильными формами крон (что положительно влияет на возможность автоматизации обработки данных), и, с другой стороны, их густотой и тесным примыканием фитоэлементов друг к другу (что затрудняет распознавание образов). Возможность разделения крон при разрежении облака точек лазерных отражений в случае уменьшения числа станций (скан-позиций) представляет существенный интерес.

Цель и задачи исследования

Цель – оценка влияния разрежения облаков точек при уменьшении числа станций наземного лазерного сканирования на возможность выделения образов деревьев.

Задачи:

- Проведение наземного лазерного сканирования тестового участка, древесная растительность в границах которого представлена сосновым подростом;
- Выполнение предобработки полученных сканов и постановка вычислительных экспериментов по сегментации облаков точек с их разделением на области, соответствующие конкретным деревьям, с помощью двух алгоритмов;
- Выявление эффектов сокращения числа скан-позиций и определение предпочтительных вариантов реализации сегментации формируемых облаков точек для выделения образов деревьев.

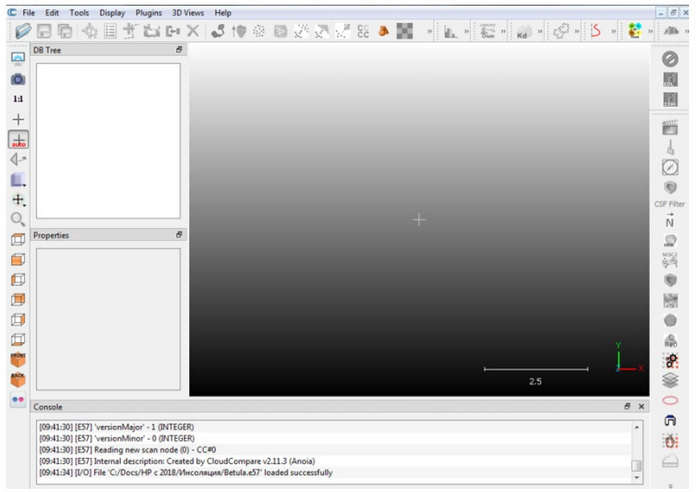
Оборудование, использованное для получения исходных данных в ходе полевых работ:

- наземный лазерный сканер Trimble X7;
- полевой контроллер (планшет) Trimble T100x;
- набор вех с мишенями;
- ПЭВМ в настольном исполнении;
- штативы;
- рулетки.

Программное обеспечение, языки программирования и среды разработки:

- Trimble Perspective;
- Cloud Compare;
- R с дополнительными библиотеками и IDE RStudio.







Место сегментации в последовательности этапов автоматизированного анализа облака точек

1. Уравнивание и сшивка сканов, аппроксимация поверхности грунта и высотная нормализация облака точек, выделение древесной растительности;
2. Сегментация облака точек (выделение фрагментов, соответствующих отдельным деревьям);
3. Дальнейший анализ (детектирование стволов и определение их координат, определение диаметра ствола, высоты дерева и т.д.

В ходе вычислительных экспериментов облака точек, сформированные из сканов с одной и нескольких скан-позиций, сегментировались с помощью двух алгоритмов для выделения деревьев (отдельных организмов)

Алгоритм №1 (Мателенок, 2026)

Преобразование облака точек в массив вокселей

↓

Проецирование воксельной сетки на горизонтальную плоскость с оценкой количества непустых вокселей и определением максимальных высот в «столбах» вокселей

↓

Сглаживание низкочастотным фильтром

↓

Поиск локальных максимумов с исключением краевых точек и пороговой фильтрацией

↓

Разбиение облака на сегменты методом водораздела по высотам или количеству непустых вокселей

↓

Оконтуривание кроны в каждом сегменте (определение горизонтальных границ для разных высот)

Алгоритм №2 (Dalponte, Coomes, 2016)

Преобразование облака точек в массив вокселей

↓

Проецирование воксельной сетки на горизонтальную плоскость с построением растровой модели высот

↓

Сглаживание низкочастотным фильтром

↓

Поиск локальных максимумов с пороговой фильтрацией

↓

Разбиение облака на сегменты наращиванием областей на основе дерева решений (по условиям приращения высот)

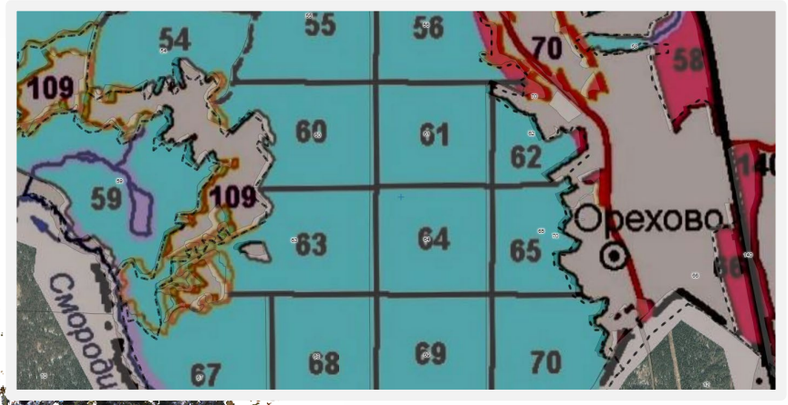
↓

Восстановление контуров крон в ходе построения выпуклых оболочек сегментов

Разработанный автором алгоритм №1 программно реализован на языке R с помощью дополнительных библиотек VoxR, imager, raster, sp

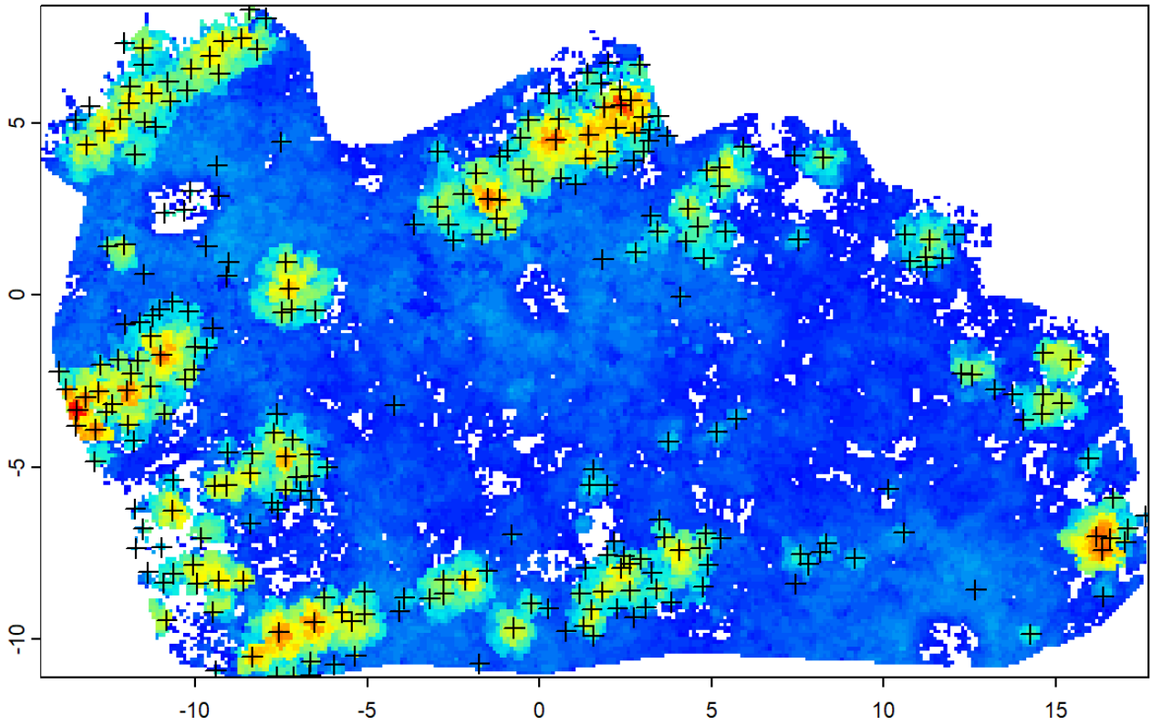
Визуализация фрагмента облака точек на тестовый участок территории в границах квартала 64 Сосновского участкового лесничества (Ленинградская область)



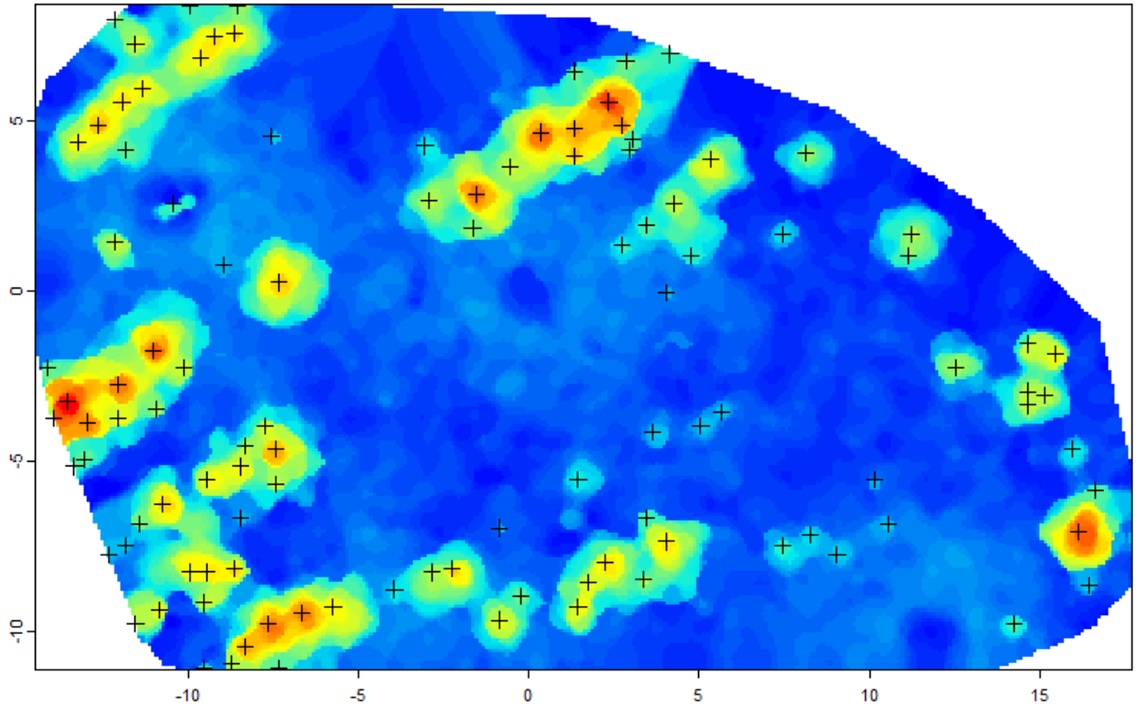


Анализ показал, что при использовании алгоритмов №1 и №2 применительно к сосновому подросту для получения удовлетворительных результатов сегментации требуется предварительное сглаживание с подбором размера скользящего окна низкочастотного фильтра

Алгоритм №2, детектирование вершин по значениям высот в локальных окрестностях вокселей в облаке точек, полученном при слиянии сканов с пяти скан-позиций



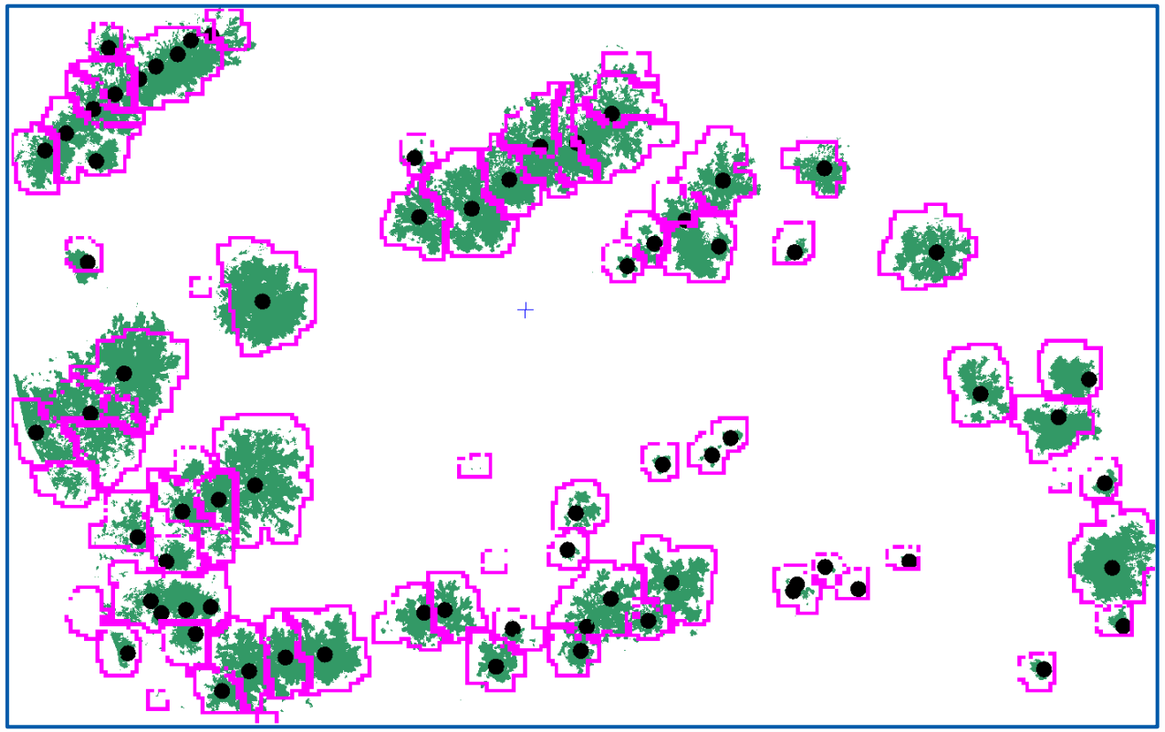
Теплокарта высот с отметками локальных максимумов в случае отсутствия предварительного сглаживания



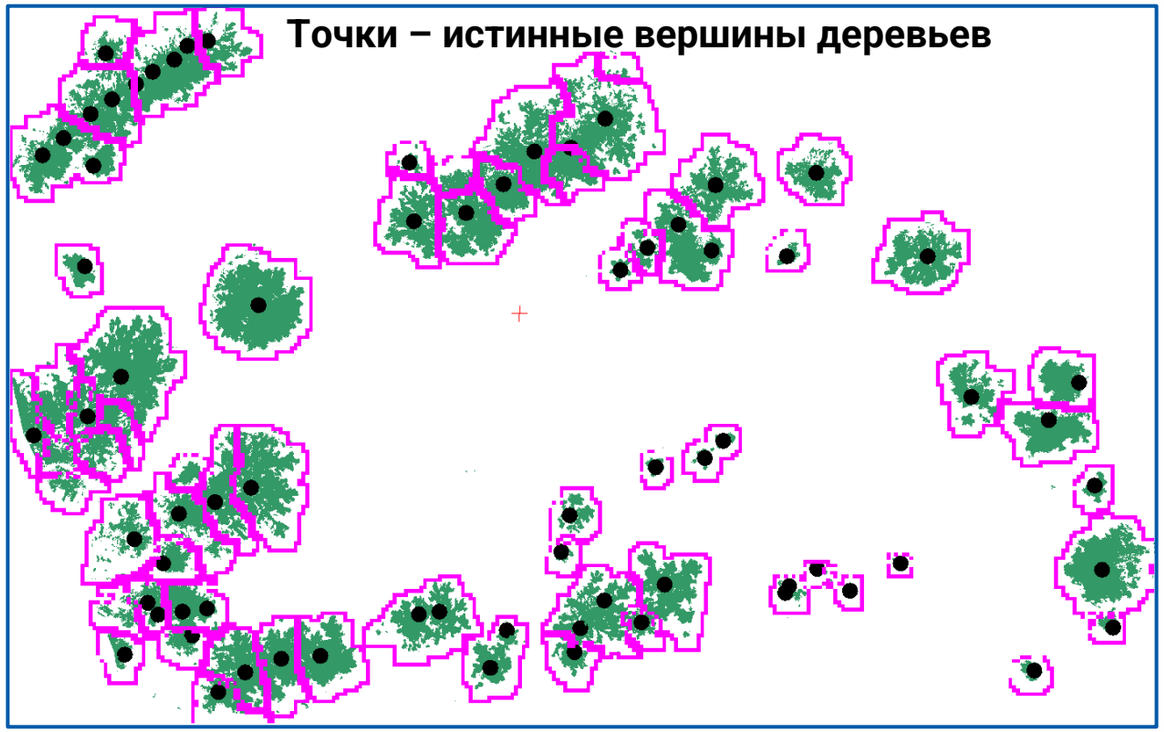
Теплокарта высот с отметками локальных максимумов при сглаживании окном 5 х 5 вокселей

Для сцен с компактным групповым расположением деревьев и значительными расстояниями между группами использование данных с нескольких станций не дало значительного преимущества в точности сегментации по сравнению с вариантом использования данных с отдельно взятой станции

Алгоритм №1, детектирование вершин по количеству непустых вокселей при вертикальном проецировании



Результаты сегментации (оконтуривания крон) в облаке точек, полученном по данным с одной скан-позиции

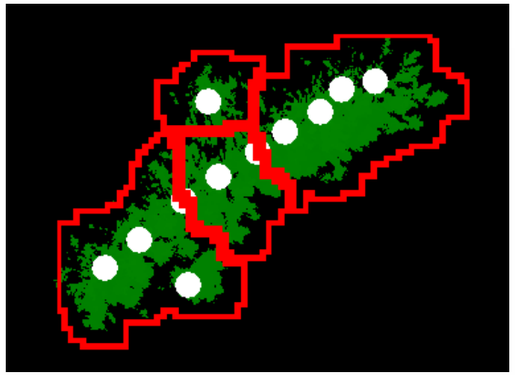


Результаты сегментации (оконтуривания крон) в облаке точек, полученном при слиянии сканов с пяти скан-позиций

Худшие результаты сегментации (с максимальным количеством пропусков) получены в зонах, где молодые деревья расположены в линию максимально плотно друг к другу (характерно для искусственного возобновления)

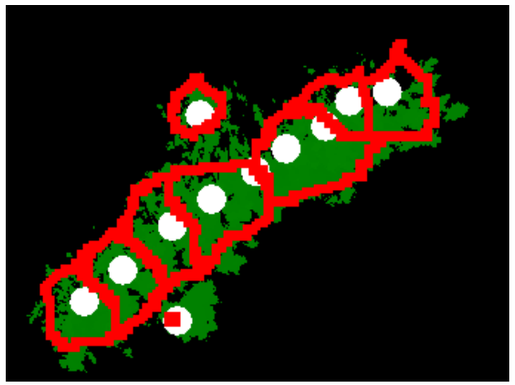


Алгоритм №1



Результаты сегментации (оконтуривания крон) в облаке точек, полученном при слиянии сканов с пяти скан-позиций при сглаживании окном 5 х 5

Алгоритм №2

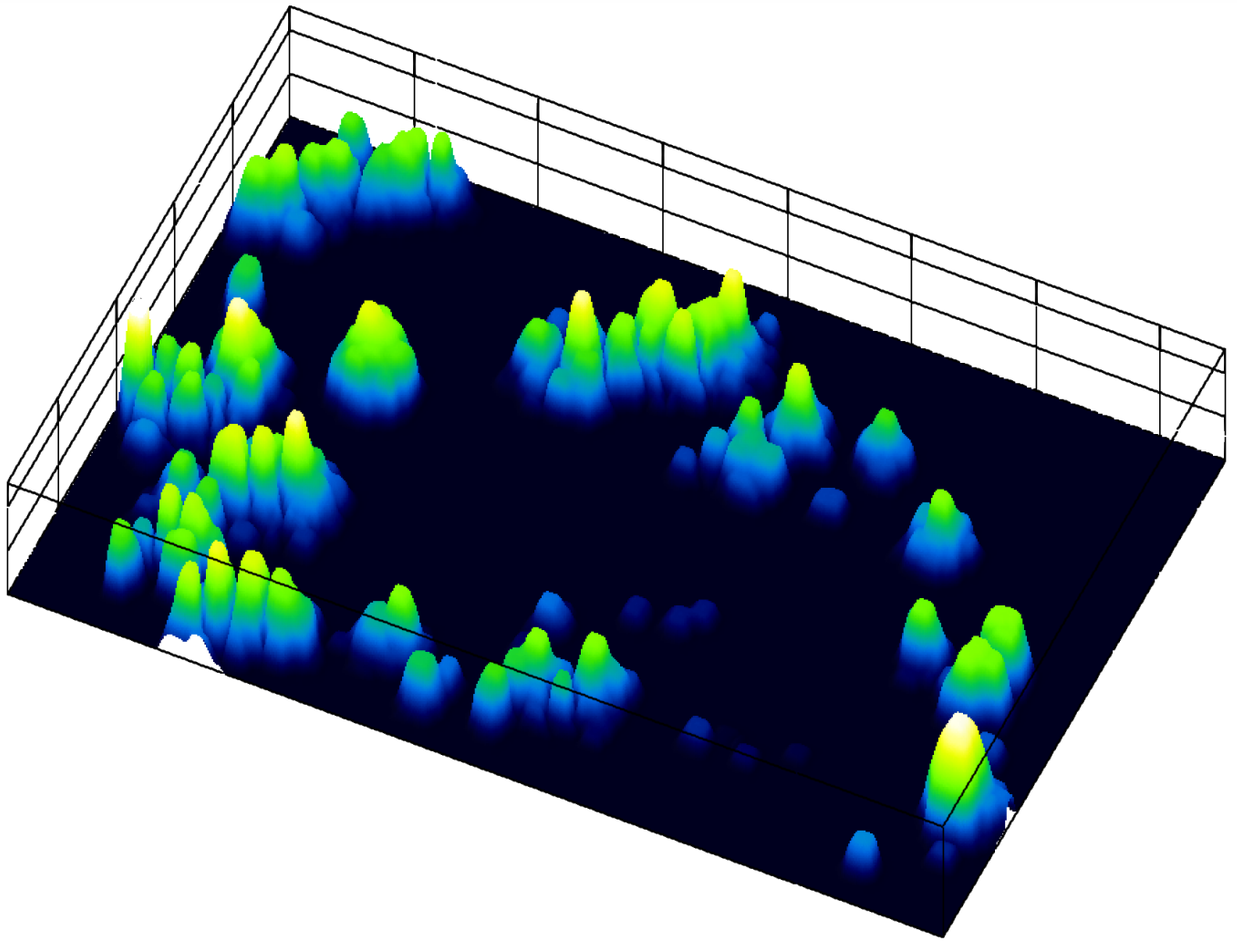


В зонах с меньшим расстоянием между группами в случае использования данных с отдельно взятой станции наблюдается пропуск отдельных крон, удаленных более чем на 10 м от сканера, или включение их в состав других сегментов. Также выявлено смещение некоторых вершин крон.

Обобщенная оценка результатов сегментации облака точек для ряда случаев

Случай	Recall	Precision	F1-score
Алгоритм №1, 5 скан-позиций	0,82	0,87	0,84
Алгоритм №1, 1 скан-позиция	0,89	0,81	0,85
Алгоритм №2, 5 скан-позиций	0,92	0,78	0,84
Алгоритм №2, 1 скан-позиция	0,85	0,73	0,79

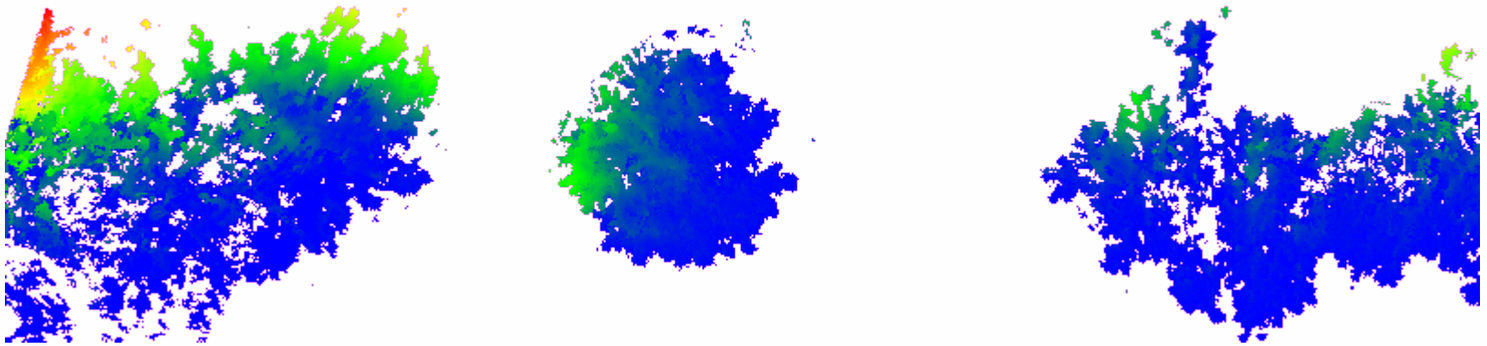
* Во всех показанных случаях используется сглаживание окном 5 х 5, для алгоритма №1 показаны оценки при детектировании вершин по количеству непустых вокселей в вертикальном направлении



Визуализация результатов сегментации в виде полигональной сетки (получены с помощью алгоритма №1, детектирование вершин по количеству непустых вокселей при вертикальном проецировании, сглаживание окном 5 х 5)

- В ходе проведения работ выявлено, что наибольшие сложности при сегментации облаков точек обнаруживаются в зонах сгущения подроста (в плотных группировках деревьев). Сокращение числа скан-позиций вблизи этих зон существенно затрудняет выделение образов деревьев. В зонах с большими расстояниями между деревьями эффекты сокращения числа скан-позиций оказываются слабо выражены на этапе сегментации.
- Ложные срабатывания детекторов локальных максимумов отмечаются в зонах, где присутствуют деревья, расположенные близко друг к другу и различающиеся по высоте более чем на 30%. В случае соснового подроста отдельные ветви более крупных организмов конкурируют с вершинами менее развитых, что даже в случае переменного размера окна детектора, на вход которого подается карта высот, приводит к появлению ошибок.
- Сокращения числа пропусков при сегментации с помощью алгоритма №1 оказалось возможным достичь через учет количества вокселей, заполненных фитоэлементами, в вертикальном направлении (в т.н. «столбах» вокселей), в дополнение к использованию высотных отметок. При использовании алгоритма №2 значительное число ложных сегментов формировалось в граничных областях сканов, и лучшие результаты могут быть достигнуты при введении в алгоритм дополнительного блока фильтрации, аналогичного присутствующему в алгоритме №1.

- Необходимое соотношение количества ошибок 1 и 2 рода и, соответственно, подбор настроек алгоритмов определяется поставленными задачами. Однако в большинстве случаев при следующей за сегментацией оценке параметров отдельных деревьев появляется возможность исключения ошибочно выделенных образов в процессе проверки геометрии (т.е. можно говорить о большей «желательности» ложных тревог по сравнению с пропусками).
- Стоит учитывать, что влияние разрежения облаков точек становится более существенным на этапах детектирования стволов и оценки диаметра. Так, в работе (Мателенок, Семенов, 2025) возможность восстановления значений координат центров стволов подтверждена для экземпляров деревьев, образы которых сформированы на основе данных с четырех и более станций (точек стояния). По этой причине, если анализ облаков точек не ограничивается сегментацией и оценкой геометрии крон, сокращение числа скан-позиций является нежелательным, что должно учитываться на этапе планирования съемок.



ГУАП

guap.ru

Спасибо за внимание!

Контакты:
Мателенок Игорь Владимирович
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»
E-mail: miv@guap.ru