

*Д. М. Искаков¹**

Влияние материалов с различной отражающей способностью и углов наклонов при определении геометрического центра марки

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,
Российская Федерация

* e-mail: d.iskakov@svarog.ru

Аннотация. Наземное лазерное сканирование стало незаменимым инструментом для высокоточной геодезической съемки, мониторинга деформаций и других инженерных задач. Благодаря своим преимуществам таких как быстрота съемки, высокая точности измерений, избыточность данных и трехмерной визуализации объектов сканирования лазерное сканирование выделяется перед классическими методами геодезической съемки. Для регистрации массива данных между собой используются специальные черно-белые марки. Определение геометрического центра черно-белых марок, используемых для обратного ориентирования сканов и регистрации массива точек имеет важное значение при камеральной обработке. Однако точность определения центра марки может значительно варьироваться в зависимости от материалов с различной отражающей способностью, а также от угла наклона марки относительно сканера. В условиях реальной эксплуатации это может приводить к погрешностям в позиционировании и, следовательно, в общей точности результатов лазерного сканирования. В рамках текущей статьи будет проведено исследование влияния угла наклона марки относительно сканера при определении геометрического центра марки и как материал марки влияет на способность сканера определить ее центр в автоматическом режиме. Изученные исследования по схожей тематике в основном сосредоточены на одном или двух аспектах данной проблемы, часто игнорируя взаимодействие этих факторов. В предлагаемой работе акцентируется внимание на изучении этих факторов в совокупности, что позволит более точно оценить их влияние и разработать рекомендации по оптимизации процессов наземного лазерного сканирования.

Ключевые слова: специальные марки, массив точек, наземное лазерное сканирование, геодезические измерения, определение центра марки, Leica RTC 360

*D. M. Iskakov¹**

A study of a black and white target. Influence of materials with different reflectivity and tilt angles in determining the geometric center of the target

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

* e-mail: d.iskakov@svarog.ru

Abstract. Terrestrial laser scanning has become an indispensable tool for high-precision surveying, deformation monitoring and other engineering tasks. Due to its advantages such as fast surveying, high accuracy of measurements, data redundancy and three-dimensional visualization of scanning objects, laser scanning stands out before classical surveying methods. Special black-and-white targets are used to register the data array with each other. Determination of the geometric center of the black-and-white targets used for reverse orientation of the scans and registration of the point array is important in desktop processing. However, the accuracy of determining the center of a target can vary significantly depending on materials with different reflectivity, as well as the angle of the target

relative to the scanner. In real-world applications, this can lead to errors in positioning and therefore in the overall accuracy of the laser scanning results. The current paper will investigate the effect of the angle of the target relative to the scanner in determining the geometric center of the target and how the material of the target affects the ability of the scanner to determine its center automatically. The reviewed studies on similar topics have mainly focused on one or two aspects of this problem, often ignoring the interaction of these factors. The proposed work focuses on the study of these factors in combination, which will allow a more accurate assessment of their influence and the development of recommendations for optimizing terrestrial laser scanning processes.

Keywords: special marks, point clouds, array of points., geodetic measurements, mark center determination, Leica RTC 360

Введение

После завершения наземного лазерного сканирования (НЛС) основная задача камеральной обработки данных состоит в получении единого массива точек, что достигается с использованием различных методов регистрации данных. Среди них выделяются регистрация по специальным маркам и регистрация по характерным точкам [1]. Использование специальных марок значительно ускоряет процесс регистрации благодаря автоматическому распознаванию в специализированном программном обеспечении. Исходя из этого, можно сделать вывод, что точность определения центра марки напрямую влияет на точность регистрации массива точек [2].

В настоящей статье проведено исследование влияния угла наклона марки относительно сканера на определение геометрического центра марки, а также как материал марки влияет на способность сканера автоматически определить ее центр.

Целью статьи является исследование влияния угла наклона черно-белой марки и материалов с различной отражающей способностью на точность определения ее геометрического центра при использовании наземного лазерного сканера Leica RTC360. Это исследование позволит выявить оптимальные условия для точного позиционирования марок в процессе НЛС, что напрямую влияет на точность последующей обработки данных.

Задачи статьи:

- провести обзор существующих исследований, связанных с влиянием угла наклона и отражающей способности материалов на точность регистрации данных лазерного сканирования;
- экспериментально оценить влияние углов наклона марки относительно сканера на точность определения геометрического центра;
- проанализировать влияние различных материалов, используемых для создания черно-белых марок, на способность сканера автоматически распознавать центр марки;
- сравнить результаты экспериментов с теоретическими моделями и определить рекомендации по выбору материалов и углов наклона для практического использования в НЛС.

Результаты исследования могут быть применены в геодезии, архитектуре и многих других областях, где требуется высокоточная регистрация массива точек. Рекомендации, полученные в результате данного исследования, позволят повысить точность и надежность данных, получаемых с помощью НЛС, что снизит возможные ошибки и улучшит качество проектов.

Методы и материалы

Точность определения центра специальной марки зависит от ее контрастности с внешним фоном окружающей среды, однако стоит учитывать и другие факторы, влияющие на определения центра [3]. Эксперимент проводился с использованием наземного лазерного сканера Leica RTC 360 для исследования процесса распознавания центра марки при различных углах наклона [4]. Технические характеристики Leica RTC360 представлены в табл. 1.

Таблица 1

Технические характеристики Leica RTC360

Параметры	Значения
Количество камер	3
Точность измерения расстояния	1,0 мм + 10 ppm
Максимальное расстояние	130 м
Рабочая температура, °C	-5 / +40
Температура хранения, °C	-40 / +70
Вес сканера, кг	5,35
Скорость сканирования (максимальная)	2 000 000 т/сек
Поле зрения по вертикали/ по горизонтали, °C	270 / 360
Защита корпуса	IP54

В эксперименте использовалась классическая черно-белая марка диаметром 4,5", состоящая из двух черных и двух белых секторов. Для оценки отражающей способности различных материалов использовались самоклеящиеся черно-белые марки различных типов формата А4. Марки представлены на рис. 1 и рис. 2.



Рис. 1. Черно-белая марка 4,5"



Рис. 2. Самоклеящиеся черно-белая марка формата А4

Для обеспечения точности эксперимента был подготовлен специальный стенд, который позволял контролировать угол наклона и разворота марки, предотвращая смещение в пространстве. Сканер устанавливался на расстоянии 5 метров от марки, обеспечивая перпендикулярность визирного луча к плоскости марки для получения более точных данных [5]. Эксперимент проводился при одинаковых настройках прибора, без изменения положения сканера в пространстве. В исследовании влияния угла наклона было проведено 4 цикла измерений, каждый из которых включал 6 станций сканирования. Вертикальный угол оставался постоянным, а горизонтальный угол изменялся с шагом 15° (рис. 3). Данный диапазон выбран исходя из исследований, которые вносят понимания поведения черно-белых марок при различных углах наклона [6]. Программное обеспечение для обработки данных – Leica Cyclone.

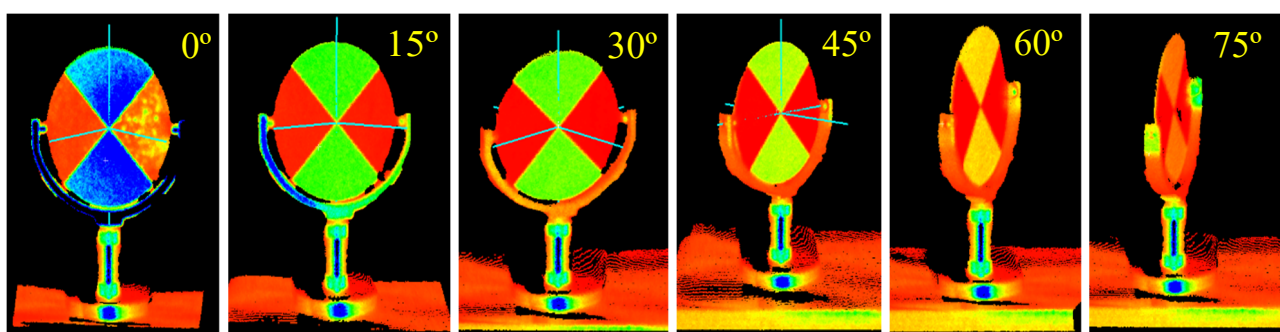


Рис. 3. Скан черно-белой марки

Стикерные марки должны обеспечивать хорошую фиксацию с поверхностью, на которую они крепятся, и хорошо переносить погодные условия. Исходя из этих критериев и [7, 8], были выбраны различные материалы бумаги, на которых печатались марки. Материалы марок приведены в табл. 2.

Материалы стикерных марок

Материал марки	Плотность
Стандартная офисная бумага	80 г/м ²
Мелованная бумага	95 г/м ²
Полиграфическая бумага	100 г/м ²
Полиграфическая бумага с глянцевой поверхностью	115 г/м ²
Тач кавер с тактильным эффектом резины	170 г/м ²

Еще одним критерием выбора материала марки является то, как хорошо визуально определяется центр марки для возможности вручную создать узел методом построения плоскости на марке. Данный метод позволяет точно определить центр марки при условии, что в автоматическом режиме программное обеспечение не справилось с поставленной задачей. Для этого необходимо удалить шум с массива точек марки, и по полученной поверхности построить плоскость. Плоскость нужна для того, чтобы точно выбрать центр марки, не привязываясь к сканирующей матрице сканера [9]. С помощью полилинии нужно провести линии по границам разделения черно-белых сегментов и по видимому перекрестию построить узел на построенной плоскости. На рис. 4–5 показан процесс создания узла на черно-белой марке.

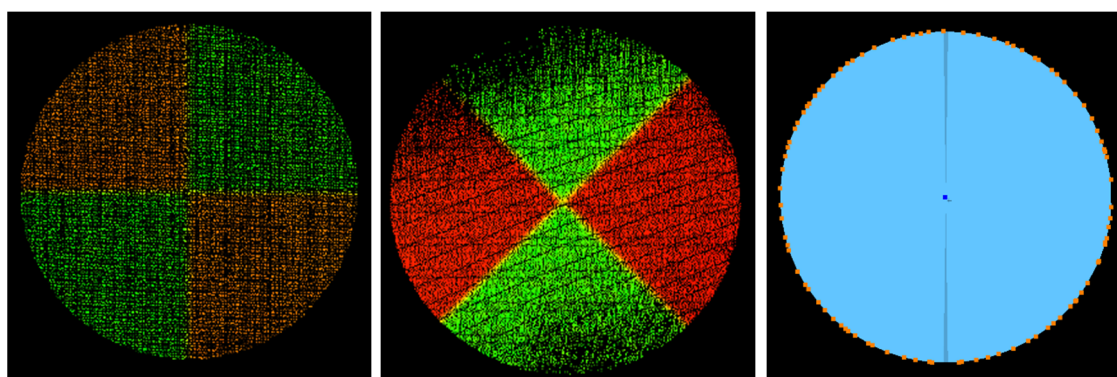


Рис. 4. Процесс создания поверхности по данным лазерного сканирования

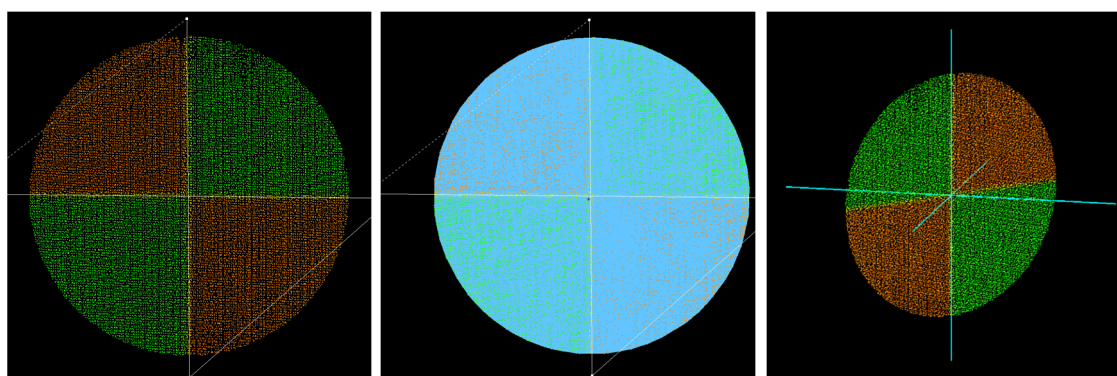
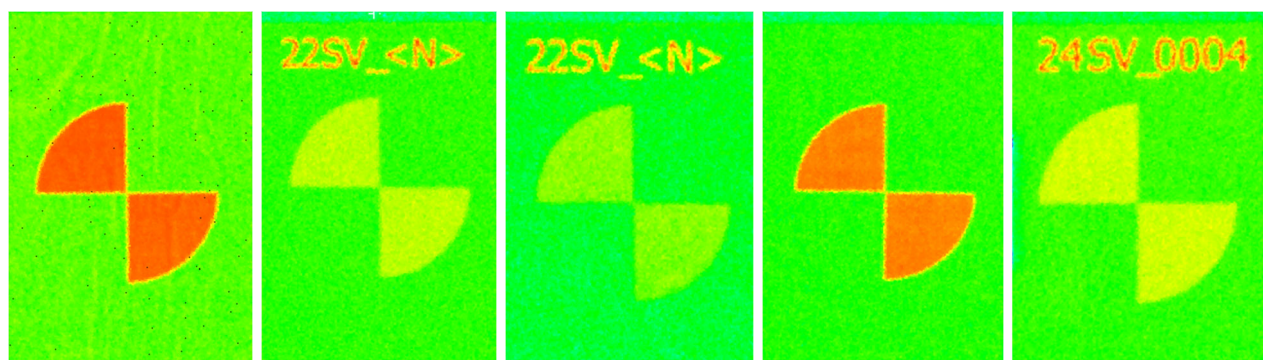


Рис. 5. Процесс создания узла на черно-белой марке

Результаты

На рис. 6 представлены сканы стикерных марок в режиме отображения по интенсивности отраженного сигнала.



1 – стандартная офисная бумага; 2 – мелованная бумага; 3 – полиграфическая бумага; 4 – полиграфическая бумага с глянцевой поверхностью; 5 – тач кавер с тактильным эффектом резины

Рис. 6. Сканы стикерных марок в режиме отображения по интенсивности отраженного сигнала

Результаты исследования влияния угла наклона марки относительно сканера представлены в табл. 2 и в табл. 3. В качестве исходных координат использовались средние значения всех измерений ($X=998,809$; $Y=2001,148$; $Z=4,964$ м).

Таблица 2

Координаты марок, определённые автоматическим способом

Гор. угол	Вертикальный угол 0°			Гор. угол	Вертикальный угол 45°		
	X, м	Y, м	H, м		X, м	Y, м	H, м
0°	998,81	2001,147	4,964	0°	998,81	2001,148	4,962
15°	998,81	2001,147	4,963	15°	998,81	2001,148	4,962
30°	998,809	2001,147	4,967	30°	998,81	2001,148	4,962
45°	998,809	2001,147	4,967	45°	998,809	2001,148	4,963
60°	N/A	N/A	N/A	60°	N/A	N/A	N/A
75°	N/A	N/A	N/A	75°	N/A	N/A	N/A
Гор. угол	Вертикальный угол 30°			Гор. угол	Вертикальный угол 60°		
	X, м	Y, м	H, м		X, м	Y, м	H, м
0°	998,809	2001,148	4,964	0°	N/A	N/A	N/A
15°	998,809	2001,148	4,964	15°	998,809	2001,148	4,964
30°	998,809	2001,148	4,964	30°	N/A	N/A	N/A
45°	998,809	2001,148	4,964	45°	N/A	N/A	N/A
60°	N/A	N/A	N/A	60°	N/A	N/A	N/A
75°	N/A	N/A	N/A	75°	N/A	N/A	N/A

Координаты марок, определённые способом построения плоскости

Гор. угол	Вертикальный угол 0°			Гор. угол	Вертикальный угол 45°		
	X, м	Y, м	H, м		X, м	Y, м	H, м
0°	998,809	2001,148	4,964	0°	998,809	2001,148	4,964
15°	998,809	2001,148	4,964	15°	998,809	2001,148	4,964
30°	998,809	2001,148	4,964	30°	998,809	2001,148	4,963
45°	998,809	2001,148	4,963	45°	998,809	2001,148	4,963
60°	N/A	N/A	N/A	60°	N/A	N/A	N/A
75°	N/A	N/A	N/A	75°	N/A	N/A	N/A
Гор. угол	Вертикальный угол 30°			Гор. угол	Вертикальный угол 60°		
	X, м	Y, м	H, м		X, м	Y, м	H, м
0°	998,809	2001,148	4,964	0°	998,809	2001,148	4,964
15°	998,809	2001,148	4,964	15°	998,809	2001,148	4,964
30°	998,809	2001,148	4,964	30°	998,809	2001,148	4,963
45°	998,809	2001,148	4,964	45°	998,810	2001,147	4,962
60°	N/A	N/A	N/A	60°	N/A	N/A	N/A
75°	N/A	N/A	N/A	75°	N/A	N/A	N/A

Заключение

Исследование показало, что обычная офисная бумага и полиграфическая бумага с глянцевым покрытием являются наиболее подходящими материалами для использования в НЛС благодаря их хорошей отражающей способности и четкому отображению границ сегментов марки. Это важно для точного определения геометрического центра марки, что, в свою очередь, влияет на качество регистрации массива точек.

Анализ влияния угла наклона марки показал, что в автоматическом режиме центр марки перестает определяться при достижении горизонтального угла в 60°. При этом, когда вертикальный угол составляет 30°, марка максимально точно позиционируется, оставаясь в пределах среднего значения без отклонений независимо от изменения горизонтальных углов. Однако, при вертикальном угле наклона в 60° автоматическое определение центра марки становится невозможным, что существенно ограничивает эффективность использования марки в таких условиях. В случаях, когда автоматическое определение центра марки затруднено, рекомендуется использовать метод ручного построения узла на основе созданной плоскости по данным сканирования. Этот подход обеспечивает дополнительную точность, но требует дополнительных временных затрат и навыков обработки данных.

В исследовании не были учтены такие внешние параметры, как освещенность и условия окружающей среды, которые могут оказывать существенное влияние на результаты сканирования. Дальнейшие исследования с учетом этих факторов помогут детальнее изучить вопрос о повышении точности определения центра марок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Регистрация данных наземного лазерного сканирования. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://laserscanningeng.ru/technical-information/registraciya-dannyh-nazemnogo-lazernogo-skanirovaniya/> (дата обращения: 18.08.2024).
2. Дьякова Н.А., Шевченко Д.А., Гура Д.А., Исследование влияния геометрии черно-белой марки на идентификацию её центра в полевых условиях // Научные труды КубГТУ. – 2020. – № 6. – С. 21–27.
3. Выстрчил М.Г., Обоснование способов внешнего ориентирования цифровых моделей горных выработок, получаемых по результатам съемок лазерно-сканирующими системами // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук – С. 34-45.
4. Лазерный сканер Leica RTC360 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://ugt-holding.com/shop/product/leica-rtc360> (дата обращения: 18.08.2024).
5. Voegtle T., Schwab I., Landes T., Influences of different materials on the measurement of a Terrestrial Laser Scanner (TLS) // Remote Sensing. – 2008. – № 10. – С. 1061–1066. – DOI: 10.33764/2411-1759-2020-25-2-121-139.
6. Kersten P., Lindstaedt M., Geometric accuracy investigations of terrestrial laser scanner systems in the laboratory and in the field // Applied Geomatics. – 2022. – № 2. – С. 421–434. – DOI: 10.1007/s12518-022-00442-2.
7. Kaasalainen S., Jaakkola A., Kaasalainen M., Krooks A., Kukko A., Analysis of incidence angle and distance effects on terrestrial laser scanner intensity: search for correction methods // Remote Sensing. – 2011. – № 10. – С. 2207–2221. – DOI: 10.3390/rs3102207.
- 8 Середович В.А., Комиссаров А.В., Комиссаров Д.В., Широкова Т.А. // Наземное лазерное сканирование: монография // Новосибирск: СГГА, – 2009. – 261 с. – ISBN 978-5-87693-336-2
9. Кравченко Ю. А., Геодезия. Классическая и современная // Москва: НИЦ ИНФРА-М, – 2022. – С. 775. – ISBN 978-5-16-016317-8.

© Д. М. Искаков, 2025