

М.Г.ВЫСТРЧИЛ, аспирант, *kmd@spmi.ru*

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

M.G.VYSTRCHIL, post-graduate student, *kmd@spmi.ru*

National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

ОПТИМАЛЬНАЯ ДИСТАНЦИЯ МЕЖДУ ЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ МАРКАМИ ВНЕШНЕГО ОРИЕНТИРОВАНИЯ И ЛИДАРНОЙ СИСТЕМОЙ

Рассмотрена оптимизация съемочных работ карьеров и отвалов наземным лазерным сканером. Оптимизация основана на анализе зависимости между временем, затрачиваемым на сканирование, и качеством дешифрирования марок внешнего ориентирования, точностью регистрации сканов для различных дистанций, разделяющих лазерно-сканирующую систему и марку внешнего ориентирования.

Ключевые слова: лазерное сканирование, марка внешнего ориентирования, регистрация сканов.

OPTIONAL DISTANCES BETWEEN CYLINDER REFLECTORS AND LASER SCANNING SYSTEM

The optimization of the survey work quarries and heap of terrestrial laser scanner is taken into account. Optimization is based on the analysis of correlation between time spent on scanning, reflectors decoding quality, scans registration accuracy for different distances between the laser scanning system and reflector.

Key words: laser scanning, reflectors, scan registration.

Расширение области применения наземных лазерно-сканирующих систем требует дальнейшей разработки как теоретической, так и методологической базы для использования данных приборов. Ограниченность теоретического и эргономического сопровождения работ во многом обусловлена сложностью и закрытостью алгоритмов работ управляющего и обрабатывающего программного обеспечения, многообразием приборного ряда.

Фактором, осложняющим методологическую работу, также является невозможность разработки одной универсальной схемы ведения лазерно-сканирующей съемки, вследствие принципиально различных технических характеристик наземных лидарных систем и кардинально различных условий, продиктованных местом и характером работ.

В данной работе предпринята попытка оптимизировать часть полевого ведения лазерно-сканирующей съемки, соответствующую оптимальному расположению марок внешнего ориентирования относительно лидарной системы, для съемки объектов значительного размера и площади, примерами которых могут являться карьеры, отвалы, склады полезного ископаемого и пр. Актуальность вопроса продиктована тем, что точность регистрации скана из исходной системы координат во внешнюю напрямую зависит от геометрической конфигурации марок внешнего ориентирования относительно лазерного сканера и друг друга. Данный вопрос был тщательно проработан для лазерно-сканирующих систем фазового типа применительно к съемке замкнутых пространств (горных выработок, туннелей, по-

мещений) [1]. К сожалению, перенести накопленный опыт для съемки открытых пространств напрямую невозможно из-за кардинальных конструктивных отличий лидарных систем импульсного и фазового типа и специфики снимаемых объектов.

Лазерно-сканирующая съемка открытых пространств в подавляющем большинстве случаев требует покрытия максимальных площадей, что приводит к необходимости использования сканеров, измеряющих расстояние импульсным способом. В отличие от фазовых, импульсные дальномеры, применяемые в современных лазерно-сканирующих системах, позволяют измерять дистанции превышающие 1,5 км, хотя значительно уступают последним в точности (1-5 см) в зависимости от свойств, удаленности и формы снимаемого объекта [3]. Очевидно, что для моделей, покрывающих такие значительные площади, требования к точности решения задачи по регистрации сканов из исходной системы координат сканера во внешнюю возрастают многократно. Малейшая ошибка в определении элементов внешнего ориентирования, особенно в угловых элементах разворота координатных осей, приводит к колоссальным ошибкам, наглядно проявляющимся в расхождении между смежными сканами в несколько метров.

Лишь малая часть наземных лазерно-сканирующих систем имеет средства для прямого, инструментального, определения элементов трансформации. Большинство лазерных сканеров решает эту задачу аналитически. В аналитическом методе внешнего ориентирования используются специальные опорные точки, которые в отечественной практике получили название марок внешнего ориентирования. Точность определения элементов трансформации напрямую зависит от количества опорных точек, а также их взаимного положения относительно лазерно-сканирующей системы. Исследования, посвященные анализу влияния различного расположения марок относительно сканера, позволяют сформулировать следующие общие выводы:

- точность определения элементов внешнего ориентирования возрастает пропорцио-

нально корню квадратному из числа марок, используемых для регистрации скана;

- погрешность определения высотного положения сканера во внешней системе обратно пропорциональна тангенсу максимального вертикального угла между марками внешнего ориентирования;

- точность определения угловых элементов трансформации возрастает при равномерной расстановке марок внешнего ориентирования пропорционально дистанции, отделяющей марки от сканера [2].

Координаты опорных точек должны быть известны в двух системах координат: в исходной (системе координат сканера) и во внешней (системе координат объекта). Конечно качество регистрации, а следовательно, и получаемой цифровой модели напрямую зависит от точности определения координат марок во всех требуемых координатных системах. Координаты марок внешнего ориентирования в системе координат объекта могут быть определены различными геодезическими способами, способом спутниковых определений или путем тахеометрической съемки.

Отсутствие у большинства лазерно-сканирующих систем возможности прямого определения марок внешнего ориентирования приводит к необходимости дешифрирования марок на обзорном скане, с последующим аналитическим определением центра марки. Небольшие размеры марок внешнего ориентирования, продиктованные удобством полевых работ, значительные ошибки измерения расстояний импульсным дальномерным блоком лазерно-сканирующей системы, достигающие 50 % размера марки, делают невозможным определение параметров положения марки путем прямого вписывания требуемого тела в облако точек по методу наименьших квадратов.

Приведенный недостаток обходится путем придания маркам внешнего ориентирования специальных свойств и форм. В частности, для рассматриваемой далее лазерно-сканирующей системы LMS Riegel z420i стандартной маркой внешнего ориентирования является покрытый световозвращающей пленкой цилиндр, диаметр и высота которого

равняется 10 см. Малые размеры марки относительно дистанции, отделяющей ее от лидарной системы, и постоянство отражающих свойств поверхности дают возможность связать мощность возвращенного сигнала с формой марки. Цилиндрическая форма позволяет определить положение центральной оси марки по линии точек лазерных отражений, обладающих максимальной интенсивностью отраженного сигнала. Таким образом, на точность определения положения центра марки практически не влияет общее количество точек лазерных отражений, попавших на марку, а максимальное расстояние, отделяющее ее от лазерно-сканирующей системы, ограничено только условиями рельефа объекта, временем, требуемым на установку-снятие марки, и временем дешифрирования.

Под дешифрированием понимается процесс нахождения примерного положения марки, на основании которого производится последующее сканирование локального участка с более высоким разрешением для определения точного положения марки. Пленка, используемая в марках, обладает световозвращающей способностью, намного превосходящей данный параметр у естественных поверхностей. Интенсивность сигнала, отраженного от световозвращающей пленки, 46,5-91 %, в зависимости от удаления лидарной системы от сканируемого объекта и угла падения луча на него. Для примера максимальное значение интенсивности сиг-

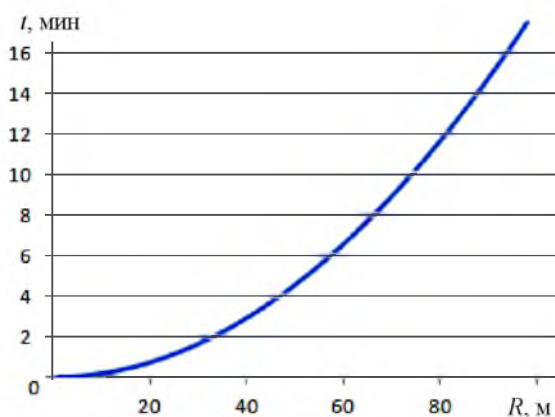


График зависимости времени, необходимого на дешифрирование марки внешнего ориентирования, для различных дистанций, отделяющих марку от лидарной системы

нала, отраженного от белой бумаги, не превышает 25 % для той же сканирующей системы. Из этого следует вывод о возможности нахождения марки внешнего ориентирования на обзорном скане по единичной точке, отраженной от марки. Зачастую в процессе сканирования возникают шумовые точки с аномально высокой интенсивностью. Чаще всего они образуются вследствие отражения луча сканера от водных поверхностей, солнца, различных дорожных знаков или прочих зеркальных поверхностей. Обычно отфильтровать их вручную не составляет труда. Таким образом, максимальный угловой шаг (φ), при котором хотя бы одна точка гарантированно попадет на марку размера l , на заданном расстоянии R можно рассчитать по формуле

$$\varphi = 2 \arctg\left(\frac{l}{2}R\right). \quad (1)$$

Основное время, необходимое на дешифрирование марок, будет затрачено на сканирование обзорного скана, общее количество точек которого при равном горизонтальном и вертикальном угловом шаге рассчитывается по формуле

$$N = \frac{n_1^\circ}{\varphi} \frac{n_2^\circ}{\varphi} = \frac{n_1 n_2}{\varphi^2}, \quad (2)$$

где n_1 и n_2 – угловые границы сканирования, для полного панорамного скана $n_1 = 360^\circ$; n_2 определяется углом поля зрения применяемого лазерного сканера и для рассматриваемого прибора равно 80° .

Общее время (t), затрачиваемое на выполнение скана получаемого объема, можно рассчитать по формуле

$$t = N/v, \quad (3)$$

где v – скорость сканирования, для рассматриваемого сканера равная 8000 точек/с.

Объединим формулы (1)-(3), тогда универсальная функция расчета времени, необходимого на дешифрирование марок на заданном расстоянии, примет вид

$$t = \frac{n_1 n_2}{4v \arctg^2\left(\frac{l}{2}R\right)} = \frac{90n_2}{v \arctg^2\left(\frac{l}{2}R\right)}.$$

Для рассматриваемой модели прибора искомая зависимость примет следующий вид (см. рисунок):

$$t = \frac{0,9}{\arctg^2(0,05/R)} \approx 0,0018x^2.$$

Таким образом, основываясь на практическом опыте наземного лазерного сканирования и вышеизложенном материале, можно сделать вывод, что оптимальной является равномерная расстановка марок внешнего ориентирования относительно сканера на дистанции порядка 60-80 м. Данная геометрия марок позволяет снизить полное время работы на станции до получаса, сохранив при этом приемлемую точность определения матрицы трансформации скана и плотность облака точек, позволяющую получить цифровую модель объекта с точностью, достаточной для решения большинства маркшейдерских задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методы оценки состояния гидротехнических туннелей по данным лазерно-сканирующей съемки / В.Н.Гусев, Е.М.Волохов, В.А.Голованов, И.П.Иванов, М.Ю.Васильев, В.К.Носов, П.И.Юшманов // Записки Горного института, 2011. Т.190. С.267-273.
2. Наземное лазерное сканирование / В.А.Середович, А.В.Комиссаров, Д.В.Комиссаров, Т.А.Широкова. Новосибирск: Изд-во СГГА, 2009. 261 с.
3. *Нестеренко Е.А.* Методика съемки карьеров, отвалов и складов на основе применения трехмерных лазерно-сканирующих систем: Автореф. ... канд. техн. наук / Санкт-Петербург. горный ин-т. СПб, 2010. 20 с.

REFERENCES

1. *Gusev V.N., Volohov E.M., Golovanov V.A., Ivanov I.P., Vasil'ev M.U., Nosov V.K., Yushmanov P.I.* Methods of an estimation of the hydraulic engineering tunnels according to the laser scanning survey // Proceedings of the Mining Institute. 2011. Vol.190. P.267-273.
2. *Seredovich V.A., Komissarov A.V., Komissarov D.V., Shirokova T.A.* Laser scanning surveys. Novosibirsk: Pub. house of SGGGA. 2009. 261 p.
3. *Nesterenko E.A.* Methods of survey of pits, dumps and waterhouses based on the use of 3D laser scanners: Research Paper ... PhD in eng. sc. / Saint Petersburg Mining Institute. Saint Petersburg, 2010. 20 p.