

УДК [004:551.508.856]+528.02

DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-3-33-46

Исследование применения лидаров в смартфоне iPhone 12 Pro при выполнении обмеров помещений для целей государственного кадастрового учета

Н. А. Суранов¹, А. Ю. Романчиков^{1*}, В. А. Вальков¹

¹ Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

* e-mail: romanchicov@inbox.ru

Аннотация. Работа посвящена исследованию возможности применения лидаров, встроенных в современные смартфоны (на примере iPhone 12 Pro), с целью обмеров помещений. Чаще всего такой вид обмеров применяется при технической инвентаризации либо постановке помещений на государственный кадастровый учет. Для этого заданным устройством выполнен сбор данных для двух помещений сложной конфигурации и проведено сравнение результатов с имеющимися материалами наземного лазерного сканирования, обеспечивающими точность заявленных работ и принятыми в качестве эталонных. Анализировались как планы помещений, полученные по сечениям точек лазерных отражений, так и непосредственно сами облака в программном обеспечении CloudCompare. Для первого помещения СКО промеров помещений составила 5–6 см, для второго 2–3 см. Расхождения менее 5 см между облаками точек, созданными смартфоном и наземным лидаром, удовлетворяют 78 % точек для первого помещения и 32 % – для второго помещения. Данные результаты свидетельствуют о том, что в настоящее время исследуемая технология не удовлетворяет требованиям по точности для обмерных работ в 1 см.

Ключевые слова: мобильное лазерное сканирование, обмеры помещений, SLAM, iMMS, облако точек, техническая инвентаризация, кадастровый учет помещений

Введение

Подходы к проведению обмерных работ помещений с точки зрения цели выполнения можно подразделить на следующие: для целей технического учета, для целей государственного кадастрового учета (ГКУ) и иных целей.

Основные требования к работам по обмеру помещения для целей технического учета установлены в Приказе Минстроя России от 04.08.1998 № 37 [1]. Согласно п. 3.6, измерения помещений необходимо производить по всему периметру стен на высоте 1,10–1,30 м от пола с точностью до 1 см. Обмерные работы для целей ГКУ объектов недвижимости регламентируются Приказом Росреестра от 23.10.2020 № П/0393 [2]. Расстояния, применяемые для определения площадей, измеряются на высоте от 0 до 1,10 м от уровня пола. Их значения округляются до 0,01 м (п. 3 приложения 2 [2]).

Для обмеров объектов культурного наследия используют ГОСТ Р 56905–2016 [3]. Точности обмеров для целей инвентаризации и ка-

дастра соответствует требованиям архитектурных обмеров масштаба 1 : 100 [4–6].

В последние годы получили активное развитие подвижные сканерные системы для помещений (iMMS – indoor Mobile Mapping Systems) [7]. Их называют ручными, переносными (рюкзачными), портативными или тележечного типа [8, 9]. Это мультисенсорная система, которая осуществляет сбор данных об окружающей среде в движении [10]. Сканерные системы используют технологию SLAM (Simultaneous Localization and Mapping), которая позволяет им одновременно позиционировать себя и создавать единое облако точек, учитывая собственное перемещение [11].

Типичная iMMS оснащена множествами датчиков: лазерные сканеры – для сбора данных о геометрии объектов, инерциальные системы – для оценки изменений ориентации сканера (используются для целей SLAM), камеры – для текстурирования. Причина такого использования датчиков заключается в том, что алгоритмы SLAM на основе RGB-камер чрезвычайно чувствительны к условиям освеще-

щения, вследствие этого у них возникают ошибки. Примерами таких систем, доступных на российском рынке, являются Leica BLK2GO и Geo SLAM ZEB Horizon. В каче-

стве ручного сканера рюкзачного типа можно упомянуть Leica Pegasus:Backpack. Преимущества и недостатки данных лидаров (согласно [11]) сведены в табл. 1.

Таблица 1

Преимущества и недостатки ручных лидаров при обмере помещений

Преимущества	Недостатки
Использование в замкнутых помещениях в отсутствии ГНСС-сигналов	Точность съемки по сравнению с НЛС хуже, так как сканирование осуществляется в движении. Поэтому iMMS не рекомендуется использовать, если нужно произвести съемку с повышенной точностью
Скорость съемки. Обработка лазерных сканов проводится одновременно со съемкой, нет необходимости соединять облака отражений на ПК	Необходимость свободного перемещения. В случае если объект полуразрушен или имеет опасные участки, оператор не сможет произвести полную съемку в бесконтактном режиме Дальность сканирования варьируется в зависимости от модели, у некоторых не превышает 15 м
Простота использования	У некоторых моделей время работы от одного аккумулятора составляет около 30-40 минут, чего может не хватить для съемки крупного объекта
Меньшее достигаемое число слепых зон	При съемке рекомендуется замыкать контур помещений, что нередко ограничивает возможности оператора
Снижение трудовых затрат по сравнению с лазерными дальномерами	Высокая стоимость. Стоимость Leica BLK2GO составляет, согласно [11], 65 000\$, Geo SLAM ZEB Horizon – 49 000\$

SLAM используют некоторые смартфоны, оснащенные лидарными сканерами. В силу возможности установить в смартфон полноценную инерциальную систему, позиционирование осуществляется визуально по соответствующим точкам, которые распознает камера смартфона (Visual SLAM) [12]. Примеры таких устройств: iPad Pro, iPhone 12/13 Pro и Pro Max [13]. Радиус действия данного лидара составляет 5 м [14].

Появление лидара в смартфоне дает потенциальную возможность использования его в качестве измерительного прибора. Это позволило бы создавать цифровые двойники помещений, выполнять повторные обмеры без выезда на объект, в то же время стоимость смартфона на порядок ниже профессиональных ручных лазерных сканеров.

Цель работы – оценить возможность применения лидара iPhone 12 Pro для обмеров помещений применительно к задачам инвентаризации помещений и кадастрового учета. Подобные вопросы уже поднимались в исследованиях. Так, в работе [15] рассматривается возможность применения упомянутых лидаров для определения площадей и объемов, однако выбранное для эксперимента помещение имеет достаточно простую конфигурацию.

Похожее исследование выполнялось в [16], однако выбранный объект также был простым по геометрии и не замкнутым, что ограничивало подход в производительности перед лазерным дальномером. Стоит отметить, что в указанном исследовании подробно рассмотрен способ оценки точности измерений с использованием ПО CloudCompare [17], которое будет применяться и в настоящем исследовании.

В ходе работы поставлены следующие задачи:

1) найти помещения сложной геометрии, для которых применение лидара в смартфоне ожидаемо будет связано с дополнительными трудозатратами;

- 2) предложить сценарий съемки таких помещений;
- 3) подготовить результаты НЛС помещений для использования в качестве эталонных облаков точек;
- 4) сравнить линейные промеры и площади помещений в полученных облаках точек и облаках НЛС;
- 5) сравнить полученные облака точек и облака по НЛС в CloudCompare;
- 6) сделать выводы о том, удовлетворит ли точность полученных облаков точек нормативным требованиям, предъявляемым к обмерам помещений при государственном кадастровом учете и технической инвентаризации.

Материалы и методы

Исследование применимости лидара в смартфоне для обмеров помещений состоит из трех этапов: съемка двух объектов сложной конфигурации, обработка полученных результатов и оценка точности.

Место проведения исследований

Для исследований выбраны два помещения (рис. 1). Первым является лестничная площадка в Санкт-Петербургском горном университете. Она имеет пять оконных проемов и сложную дугообразную форму. На площадке расположены комнатные растения, которые создают мертвые зоны. Для исследования задана условная граница со стороны лестничной площадки.



Рис. 1. Помещения, в которых проводилось исследование

Вторым объектом является маркшейдерско-геодезический полигон (геополигон) университета. Он имеет прямоугольную форму, однако включает большое количество выступов, пять оконных и дверных проемов, 16 пилястр. В помещении расположена сборно-разборная металлическая конструкция (не подлежит отображению на планах) и учебный инвентарь.

Методика обмеров

Было решено придерживаться максимально возможного отстояния от объекта для того, чтобы в поле зрения камеры одновременно попадало больше элементов (с учетом

радиуса действия лидара в 5 м), что обеспечило увеличение количества связующих точек, используемых для позиционирования лидара посредством SLAM (рис. 2). Движение осуществлялось плавными шагами. По завершении съемки визуально оценивалось условие перекрытия при замыкании контура помещения.

Съемка велась при помощи нескольких программ для смартфонов, в частности: Canvas, Polycam, 3d Scanner App. Особенности приложений и применение в работе приведены в табл. 2.

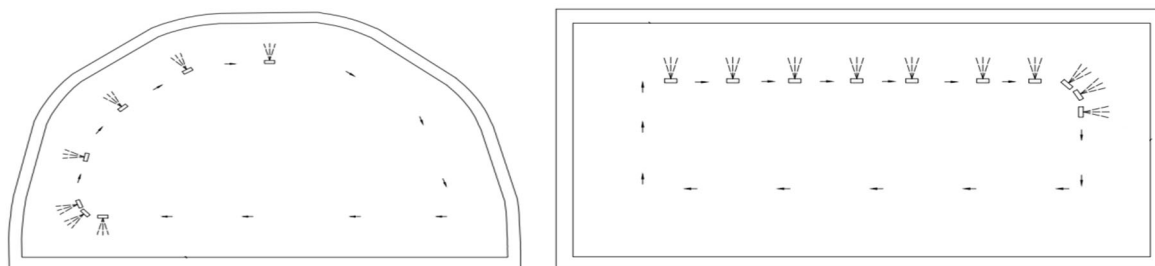


Рис. 2. Сценарий съемки, отстояние составляет около 5 м

Таблица 2

Особенности приложений для лидаров смартфонов

	Canvas [18]	Polycam [19]	3d Scanner App [20, 21]
Бесплатный функционал	Сканирование, наложение текстур, экспорт в формат .obj	Сканирование, без экспорта, пробная подписка – 7 дней	Все функции – сканирование, экспорт, возможность выбора направления оси Z
Платный функционал	Экспорт в CAD, BIM и планы	Экспорт моделей в .obj, .glb, .dae, .stl, .usdz; облаков точек в .pts, .las, xyz, .dxf	Использование облачных сервисов
Форма платного использования	2D – от 10\$, 3D – от 20\$, оплата за квадратный фут	Месячная, годовая или постоянная подписка	По подписке
Способ применения в исследовании	Построение модели, экспорт в .obj, конвертирование в .pts	Экспорт облака точек в .pts	Экспорт облака точек в .pts

Полученная модель визуально оценивалась на соответствие геометрии помещения и полноту собранных данных. После этого материалы экспортированы в виде модели или облака точек.

Методика камеральной обработки обмеров

В качестве исходного формата данных облака точек выбран *.pts. Путем конвертации в ПО Autodesk ReCap получены файлы *.rcp,

*.rcs, которые затем импортировались в систему автоматизированного проектирования (САПР) Autodesk AutoCAD 2023.

Как известно, при создании поэтажных планов для целей технической инвентаризации и кадастрового учета рекомендуется выполнять обмер на высоте 1,1 м от уровня пола. Исходя из этого, выбирался контур подрезки с отображением выборки точек в виде сечения (рис. 3).

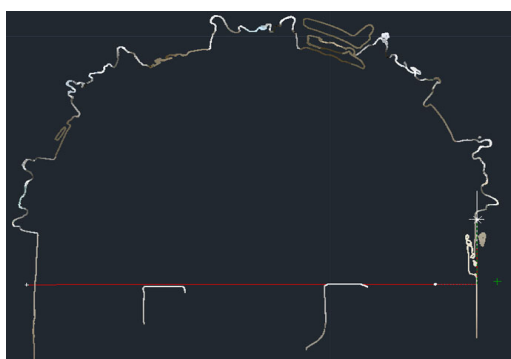


Рис. 3. Облако точек после подрезки

Для оценки точности полученных облаков мы сравнили их с данными наземного лазерного сканирования, полученными сканером Faro Focus s120 (системная ошибка составляет ± 2 мм на 25 м). Точность обмеров смартфоном оценена двумя способами:

- использование фрагментов планов помещений, полученных при помощи НЛС и iPhone 12 Pro с расчетом отклонений контрольных линейных промеров;
- анализ облаков лазерных точек при помощи программы CloudCompare.

Результаты

Полевой этап обмеров

Сканирование проводилось с помощью всех трех приложений. Визуально анализируя модель, полученную при сканировании геополигона, можно заметить, что стены помещения не замыкаются (рис. 4), что наблюдается во всех приложениях. При этом на локальных участках между соседними пилястрами (изображены на рис. 1 вдоль стены на правом фото) результат не выглядит искаженным.



Рис. 4. Модель геополигона с помощью ПО Polycam

Размер помещения слишком велик, вследствие чего накапливаются систематические ошибки позиционирования лидара. Кроме того, это вызвано множеством элементов с однородной структурой, что приводит к неверному сопоставлению соответственных точек, которые распознает алгоритм компьютерного зрения при Visual SLAM.

Во второй день исследований в методику обмеров был введен ряд изменений – увеличена скорость перемещения оператора по помещению, отстояние уменьшено до 2 м, на пилястры были наклеены марки для улучшения визуального позиционирования лидара.

Камеральная обработка

Облака точек в форматах *.rcs и *.rcp были импортированы в Autodesk AutoCAD, где затем вычерчивались планы помещений. Итогом стали четыре плана в масштабе 1 : 100 (рис. 5, вне масштаба).

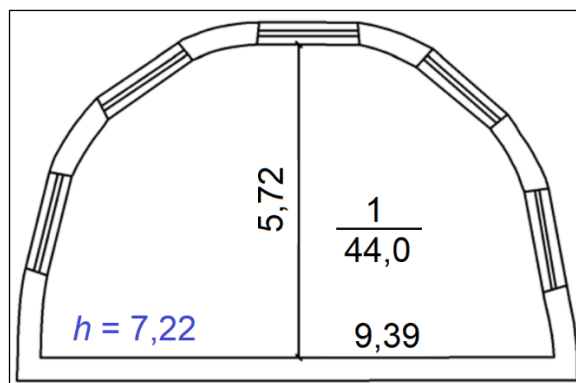


Рис. 5. Пример плана лестничной площадки, 3d Scanner App (вне масштаба)

Также в САПР загружались облака точек с геополигона (рис. 6). Для наглядности облако приведено с подрезкой на высоте 1,1 м.

В правом верхнем углу рис. 6 видно несоответствие сторон, внизу – отклонение стены от своей оси. Это обусловлено причинами, которые перечислялись выше.

Все результаты съемки геополигона выглядят подобным образом, с разной степенью несоответствий. Поэтому для оценки точности работы лидара сначала подготовлены планы по полученным облакам точек (см. рис. 7).

Короткие стороны геополигона получились ровными. Отдельные части было решено повернуть до прямых углов угла в 90 градусов. Левая сторона принята в качестве базисной, к которой поэлементно присоединялись повернутые до прямого угла остальные стороны (рис. 8).

На вышеприведенном рисунке представлено присоединение первых элементов к базисной стороне. Дальнейшие действия аналогичны. Итоговый план представлен на рис. 9.

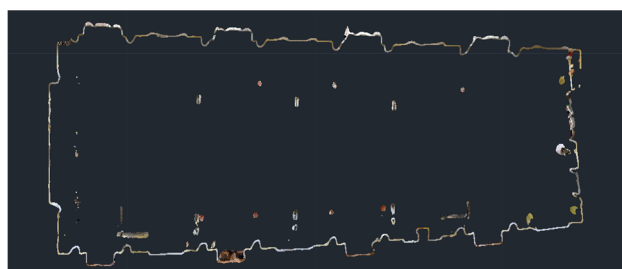


Рис. 6. Облако точек с подрезкой, 3d Scanner App

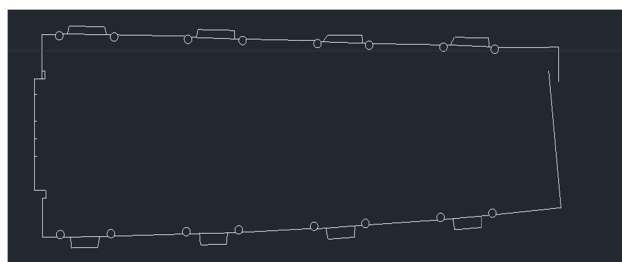


Рис. 7. Контур помещения, 3d Scanner App



Рис. 8. Промежуточный план, 3d Scanner App

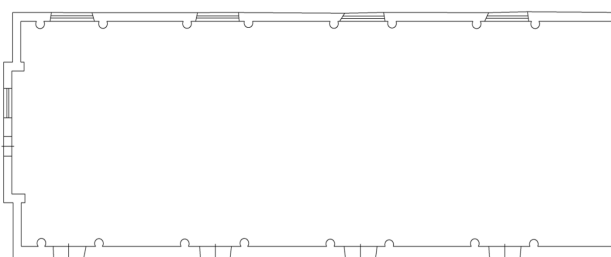


Рис. 9. Внемасштабный план, 3d Scanner App

Данный метод условен, но позволяет оценить точность измерения размеров отдельных элементов без значительного влияния систематической ошибки.

Оценка точности

1. Оценка точности по линейным промерам сечений облаков точек

Так как большая часть лестничной площадки представляет собой дуги, то в качестве

контрольных промеров приняты отрезки, соединяющие их начальные и конечные сегменты (рис. 10).

В табл. 3 приведены расхождения значений промеров по полученным облакам точек и по НЛС, приведены расхождения в площадях (на высоте 1,1 м согласно требованиям государственного кадастрового учета), рассчитана СКО по формуле Бесселя.

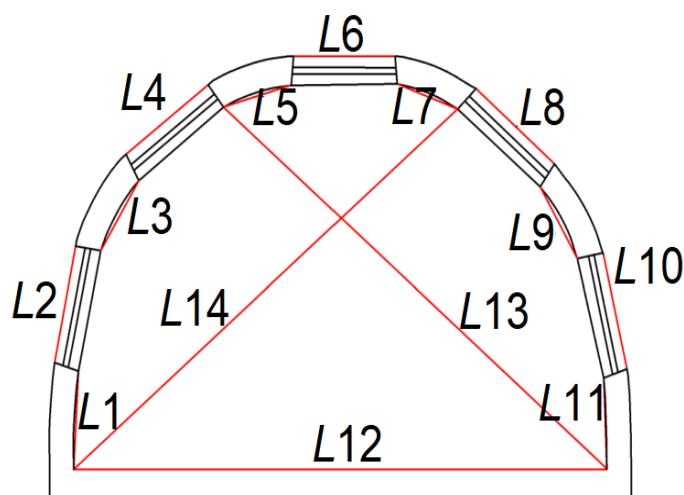


Рис. 10. Схема линейных промеров по главной лестнице

Таблица 3

Расчет отклонений промеров от НЛС (главная лестница)

Номер отклонения	Приложения			
	3d Scanner App		Polycam	Canvas
	с растениями	без растений	без растений	с растениями
$\Delta L1$, м	-0,09	+0,03	-0,16	+0,02
$\Delta L2$, м	-0,05	+0,02	+0,01	-0,02
$\Delta L3$, м	+0,03	-0,01	-0,05	-0,1
$\Delta L4$, м	-0,01	+0,00	0,00	+0,00
$\Delta L5$, м	-0,05	-0,04	+0,18	-0,11
$\Delta L6$, м	-0,02	+0,01	0,00	+0,00
$\Delta L7$, м	0,00	-0,03	+0,06	-0,08
$\Delta L8$, м	-0,03	+0,02	-0,02	-0,18
$\Delta L9$, м	+0,02	+0,05	-0,19	+0,06
$\Delta L10$, м	-0,02	+0,01	0,00	-0,03
$\Delta L11$, м	-0,38	-0,18	+0,21	-0,17
$\Delta L12$, м	-0,26	-0,05	+0,04	-0,38
$\Delta L13$, м	-0,39	-0,15	+0,04	-0,30
$\Delta L14$, м	-0,12	-0,02	+0,09	-0,24
СКО, м	0,17	0,07	0,11	0,17
Расхождения площадей, м ²	-1,4	-3,0	+0,3	-3,1
Расхождения площадей, %	3,1	6,6	0,7	6,8

Наибольшие отклонения характерны для промеров L11 и L12, а также для диагоналей (L13 и L14), это связано с тем, что ошибка по ходу сканирования накапливается.

Наиболее точные результаты получены в 3d Scanner App. Заметно, что при наличии помех, в данном случае растений, точность сканирования снижается. Отклонения $\Delta L2$, $\Delta L4$, $\Delta L6$, $\Delta L8$ и $\Delta L10$ незначительны, следовательно, хорошо идентифицируются оконные проемы.

Даже в самом точном варианте расхождения составляют 5–6 см, а наибольшее ($\Delta L11$) 18 см. В большинстве случаев происходит накопление ошибок по ходу съемки (от L1 до L12).

Аналогичным образом проведена оценка точности съемки геополигона. Схема сравниваемых линейных промеров приведена на рис. 11.

Сравнение промеров представлено в табл. 4.

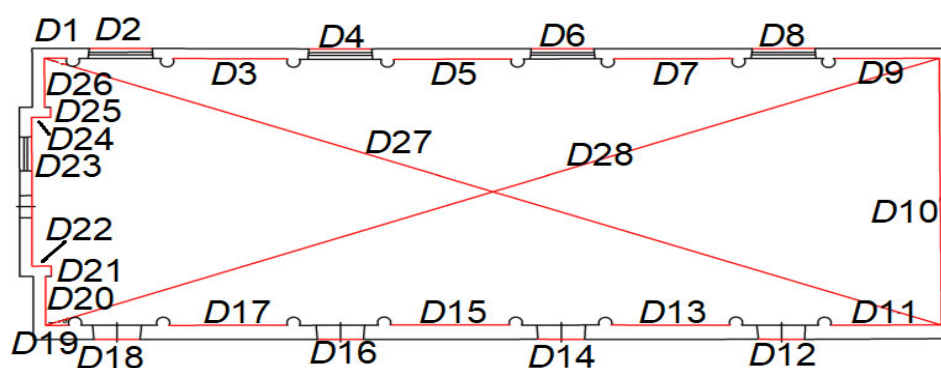


Рис. 11. Схема линейных промеров по геополигону

Наибольшие отклонения характерны для промеров D11 и D19, а также для диагоналей (D27 и D28), это объясняется тем, что исходные облака получились не соответствующими истинной форме помещения.

Результаты позволяют сделать вывод, что, как и для первого объекта, 3d Scanner App дает наилучшие результаты. Полученные отклонения в среднем составляют 2-3 см, максимальное расхождение – 11 см ($\Delta D15$).

2. Оценка точности по сравнению облаков точек

Во втором методе выполнено сравнение облаков точек с данными НЛС в CloudCompare. Облако точек по НЛС было подрезано таким образом, чтобы соответствовать облаку, созданному с помощью смартфона. В статье приведены результаты сравнения НЛС и облака 3d Scanner App, как показавшего наименьшие расхождения на первом этапе. Совмещенные облака приведены на рис. 12.

Среднее расхождение между облаком из 3d Scanner App и НЛС составило 6 см, а СКО составило 6,6 см. Для облаков точек создано

скалярное поле, демонстрирующее, насколько конкретные точки сравниваемого облака отклоняются от данных НЛС. На рис. 13 отфильтрованы значения, у которых отклонение выше 10 см.

78 % отклонений не превышает 5 см, однако такой точности недостаточно для технической инвентаризации или кадастрового учета.

Для геополигона были использованы два облака точек 3d Scanner App для двух его частей и выполнено объединение. Промежуточное облако сравнивалось с материалами НЛС. Поскольку точечные модели создавались смартфоном независимо друг от друга и для менее значительных площадей, то накопление систематических ошибок позиционирования лидача было не таким значительным.

Полученные невязки и СКО совмещения приведены на рис. 14 (в метрах). Обозначение R0-R3 на рисунке присвоено эквивалентным точкам, по которым совмещались опорное и сравниваемое облако. Точки расположены в противоположных углах помещения так, чтобы минимизировалась невязка объединения облаков.

Расчет отклонений промеров от НЛС (геополигон)

Номер отклонения	Приложения					
	1-й день съемки			2-й день съемки		
	3d Scanner App	Canvas	Polycam	3d Scanner App	Canvas	3d Scanner App (по частям)
ΔD1, м	-0,01	+0,03	+0,04	+0,02	+0,02	+0,01
ΔD2, м	0,00	-0,09	-0,01	-0,07	-0,05	-0,03
ΔD3, м	-0,05	-0,15	+0,02	-0,03	-0,16	-0,05
ΔD4, м	-0,02	-0,07	-0,01	-0,05	-0,01	-0,07
ΔD5, м	-0,01	+0,01	0,00	-0,08	-0,01	+0,02
ΔD6, м	0,00	0,00	+0,01	-0,15	-0,07	-0,04
ΔD7, м	-0,06	+0,03	+0,01	-0,15	-0,06	0,00
ΔD8, м	0,00	-0,05	0,00	-0,15	-0,03	-0,05
ΔD9, м	-0,02	-0,04	+0,01	+0,11	-0,06	-0,06
ΔD10, м	+0,02	-0,07	+0,04	-0,24	-0,37	-0,04
ΔD11, м	+0,01	-0,68	-0,30	0,00	-0,10	-0,02
ΔD12, м	-0,03	0,00	0,00	-0,02	-0,02	-0,03
ΔD13, м	-0,04	+0,09	0,00	-0,07	-0,01	-0,07
ΔD14, м	-0,02	-0,01	-0,01	-0,04	-0,07	-0,05
ΔD15, м	-0,11	-0,03	-0,02	-0,05	+0,10	-0,04
ΔD16, м	-0,04	-0,03	0,00	-0,06	-0,06	-0,07
ΔD17, м	-0,03	+0,06	+0,14	-0,04	+0,02	-0,05
ΔD18, м	+0,01	-0,01	-0,01	-0,04	-0,05	-0,04
ΔD19, м	-0,01	+0,13	+0,06	+0,05	-0,49	+0,03
ΔD20, м	+0,01	-0,07	+0,03	+0,03	+0,37	0,00
ΔD21, м	-0,02	+0,16	-0,03	-0,01	+0,01	-0,01
ΔD22, м	-0,01	-0,07	+0,02	+0,01	+0,04	-0,03
ΔD23, м	-0,01	+0,08	+0,03	-0,21	-0,76	-0,06
ΔD24, м	-0,01	+0,04	0,00	-0,02	-0,01	-0,05
ΔD25, м	0,00	+0,02	0,00	0,00	+0,01	0,00
ΔD26, м	+0,02	-0,29	-0,02	-0,08	-0,04	-0,01
ΔD27, м	-0,08	-0,43	+0,03	-0,44	-0,85	-0,20
ΔD28, м	-0,06	-0,32	-0,04	-0,46	-0,91	-0,26
СКО, м	0,04	0,19	0,07	0,15	0,32	0,08
Расхождения площадей, м ²	+0,3	-5,6	+1,6	-10,2	-18,3	-3,4
Расхождения площадей, %	0,1	1,9	0,6	3,5	6,4	1,2

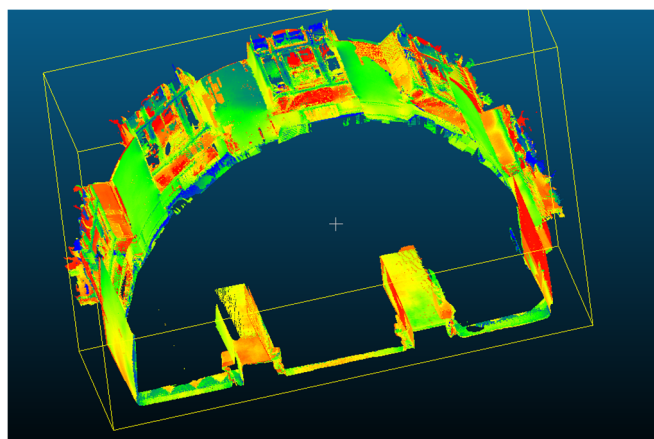


Рис. 12. Совмещенные облака точек после подрезки (главная лестница)

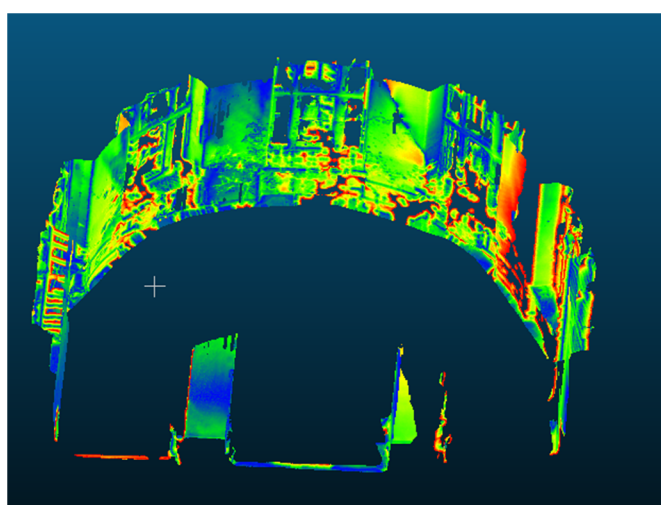


Рис. 13. Скалярное поле отклонений после фильтрации (главная лестница)

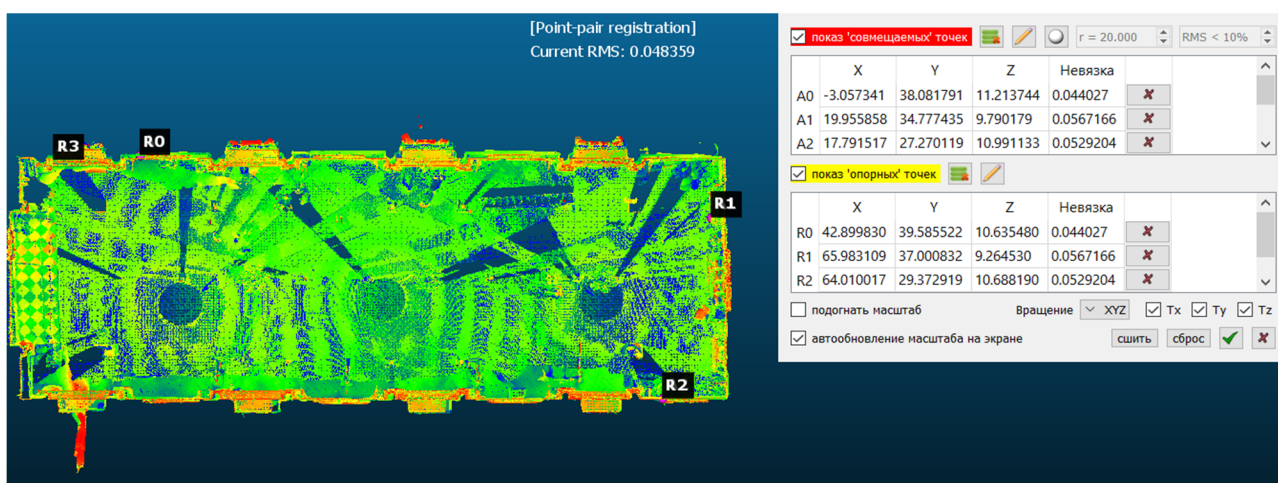


Рис. 14. Невязки соответственных точек и СКО при совмещении (геополигон)

Итоговое пространственное СКО отклонения облаков, рассчитанное в CloudCompare, составило 12 см. Скалярное поле было отфильтровано, отброшены все значения, у которых отклонение выше 30 см (рис. 15).

Только 32 % точек отклоняются от НЛС менее, чем на 5 см.

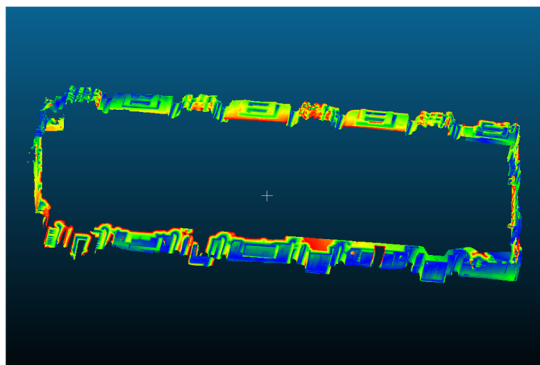


Рис. 15. Скалярное поле отклонений после фильтрации (геополигон)

Обсуждение

Результаты сравнения облаков точек, полученных смартфоном, с облаком НЛС показали значительные расхождения, превышающие нормативные требования по точности обмеров помещений в 1 см. Это вызвано как однородностью текстур помещений – алгоритмы Visual SLAM не могут корректно рассчитать элементы ориентирования лидара, так и техническими ограничениями сенсора и процессора в телефоне – с целью повышения быстродействия упрощается методика уравнивания.

Применение исследуемого метода для обмеров помещений не является рациональным на текущий момент, однако он является перспективным, так как обеспечивает малую трудоемкость полевого этапа при непродолжительной камеральной обработке. Фактически, iPhone 12 Pro может выполнять функции компактного ручного лидара, обладая стоимостью на порядок ниже.

Повышение точности технологии SLAM обеспечит достоверность итоговых результатов. Возможно, в iPhone 12 Pro недостаточно взаимосвязана работа лидара по определению

геометрии с возможностями инерциальных систем (гироскоп, акселерометр) по определению ориентации устройства.

Выводы

На сегодняшний день для получения более точных результатов необходимо придерживаться правильной методики сканирования. В ходе исследования установлено рекомендуемое отстояние в 2–3 м. Ориентацию смартфона при сканировании лучше принимать горизонтальной для одновременного захвата большей площади, что увеличит надежность идентификации отдельных элементов и их итогового взаимного положения.

Выявлено, что облака точек для больших и вытянутых помещений получаются значительно хуже, чем для помещений малой площади, поэтому их рекомендуется разбивать на несколько объектов съемки, которые можно увязать друг с другом по маркам.

На итоговую точность работ сильно влияет выбор программного обеспечения. Из всех исследуемых ПО наиболее точные результаты достигнуты с применением 3d Scanner App.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Об утверждении инструкции о проведении учета жилищного фонда в Российской Федерации [Электронный ресурс] : приказ Минстроя РФ от 04.09.1998 № 37. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901739482> (дата обращения 15.08.2022).
2. Об утверждении требований к точности и методам определения координат характерных точек границ земельного участка, требований к точности и методам определения координат характерных точек контура здания, сооружения или объекта незавершенного строительства на земельном участке, а также требований к определению площади здания, сооружения, помещения, машино-места [Электронный ресурс] : приказ Росреестра от 23.10.2020 № П/0393 (ред. от 29.10.2021). – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/566321344> (дата обращения 15.08.2022).
3. ГОСТ Р 56905–2016. Проведение обмерных и инженерно-геодезических работ на объектах культурного наследия. Общие требования. – М. : Стандартинформ, 2019. – 28 с.

4. Алтынцев М. А. Применение технологии наземного лазерного сканирования для создания объемных чертежей фасадов зданий // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27, № 3. – С. 5–18.
5. Шарафутдинова А. А., Брынь М. Я. Методика проектирования и построения геодезической сети при наземном лазерном сканировании крупных промышленных объектов // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27, № 2. – С. 72–85.
6. Шарафутдинова А. А., Брынь М. Я. Опыт применения наземного лазерного сканирования и информационного моделирования для управления инженерными данными в течение жизненного цикла промышленного объекта // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 1. – С. 57–67.
7. Mostafa E. 3D Laser Scanners: History, Applications, and Future. – LAP Lambert Academic Publishing, 2016. – 104 p.
8. Elhashash M., Albanwan H., Qin R. A Review of Mobile Mapping Systems: From Sensors to Applications // MDPI: Sensors. – 2022. – Vol. 22. – P. 1–26.
9. Tucci G., Visintini D., Bonora V., Parisi E. I. Examination of Indoor Mobile Mapping Systems in a Diversified Internal/External Test Field // MDPI: Applied sciences. – Florence, Italy : University of Florence, 2018. – 30 p.
10. Karam S., Vosselman G., Peter M., Hosseinyalamdary S., Lehtola V. Design, Calibration, and Evaluation of a Backpack Indoor Mobile Mapping System // MDPI: Remote sensing. – Enschede, Netherlands : University of Twente, 2019. – 23 p.
11. SLAM 3D scanners and iMMS: a comprehensive guide [Electronic resource] // Buyer's guide: 3D scanners. – 2022. – Mode of access: <https://www.aniwaa.com/buyers-guide/3d-scanners/slam-3d-scanners-immms-mobile-mapping/> (дата обращения: 15.08.2022).
12. Luhmann T., Robson S., Kyle S., Boehm J. Close-Range Photogrammetry and 3D Imaging. – 3rd ed. – Berlin, Germany : DeGruyter STEM, 2020. – 808 p.
13. iPhone LiDAR with applications for the geosciences [Electronic resource] // OpenTopography. – 2022. – Mode of access: <https://opentopography.org/blog/iphone-lidar-applications-geosciences> (дата обращения: 15.08.2022).
14. Apple unveils new iPad Pro with breakthrough LiDAR Scanner and brings trackpad support to iPad OS [Electronic resource] // Apple newsroom. – 2020. – Mode of access: <https://www.apple.com/newsroom/2020/03/apple-unveils-new-ipad-pro-with-lidar-scanner-and-trackpad-support-in-ipados/> (дата обращения: 15.08.2022).
15. Rybkina A. Volume accounting of buildings and premises and the use of mobile LIDAR technology in the cadastre // Lecture Notes in Networks and Systems. – 2022. – Vol. 402. – P. 240–249.
16. Accuracy comparisons of iPhone 12 Pro LiDAR outputs [Electronic resource] // Gillihan, Robert Newton (M.S., Media Forensics Program). – 2021. – Mode of access: https://artsandmedia.ucdenver.edu/docs/librariesp rovider27/ncmf-docs/theses/gillihan_thesis_fall2021.pdf?sfvrsn=8f32a1ba_2 (дата обращения: 15.08.2022)
17. Cloud Compare: User manual [Electronic resource]. – 2022. – Mode of access: <http://www.cloudcompare.org/doc/qCC/CloudCompare%20v2.6.1%20-%20User%20manual.pdf> (дата обращения: 15.08.2022).
18. Canvas by Occipital: official website [Electronic resource]. – 2022. – Mode of access: <https://canvas.io/> (дата обращения: 15.08.2022).
19. Does Polycam export in format [Electronic resource] // Polycam: official website. – 2022. – Mode of access: <https://learn.poly.cam/product-faqs/does-polycam-export-in-format> (дата обращения: 15.08.2022).
20. 3d Scanner App: official website [Electronic resource]. – 2022. – Mode of access: <https://3dscannerapp.com/> (дата обращения: 15.08.2022).
21. How accurate are LiDAR Scans // 3d Scanner App: official website [Electronic resource]. – 2022. – Mode of access: <https://docs.3dscannerapp.com/faq/lidar-scan-accuracy> (дата обращения: 15.08.2022).

Об авторах

Николай Алексеевич Суранов – студент кафедры землеустройства и кадастров.

Алексей Юрьевич Романчиков – доцент кафедры инженерной геодезии.

Вячеслав Александрович Вальков – доцент кафедры инженерной геодезии.

Получено 03.10.2022

© Н. А. Суранов, А. Ю. Романчиков, В. А. Вальков, 2023

The examination of a possibility for usage of an Iphone 12 Pro lidar to indoor measurements for state cadastral registration

N. A. Suranov¹, A. Yu. Romanchikov^{1*}, V. A. Valkov¹

¹Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation

*e-mail: romanchicov@inbox.ru

Abstract. The paper is devoted to an examination of a possibility for usage of LiDAR integrated into modern smartphones (on the example of iPhone 12 Pro) to indoor measurements. Most often this type of measurements is carried out for inventory or state cadastral registration. For this the mentioned device was used to collect data of two complex shaped rooms. Afterwards the data were compared with two point clouds created by ground-based LiDAR providing the accuracy of the claimed works and accepted as standard measurement data. The comparison was provided both for point clouds (using CloudCompare) and for room plans made using these clouds. For the first room the average square error of measurement deviation was 5–6 cm, for the second is 2–3 cm. The deviation less than 5 cm between point clouds created by smartphone and those of LiDAR refers to 78% in the first room and 32% in the second room. The results illustrate that the current technology is not appropriate for an indoor measurement accuracy which is defined as 1 cm in Russia.

Keywords: mobile laser scanning, indoor measurement, SLAM, iMMS, point cloud, technical inventory, cadastral registration of premises

REFERENCES

1. Order of the Ministry of Construction of the Russian Federation of August 4, 1998 No. 37. On the approval of the instructions for accounting for the housing stock in the Russian Federation. Retrieved from <https://docs.cntd.ru/document/901739482> (accessed August 15, 2022) [in Russian].
2. Order of Rosreestr of October 23, 2020 No. P / 0393 (as amended on October 29, 2021). On approval of the requirements for accuracy and methods for determining the coordinates of the characteristic points of the boundaries of the land plot, the requirements for accuracy and methods for determining the coordinates of the characteristic points of the contour of a building, structure or object of construction in progress on the land plot, as well as requirements for determining the area buildings, structures, premises, parking spaces. Retrieved from <https://docs.cntd.ru/document/566321344> (accessed August 15, 2022) [in Russian].
3. State Standard GOST R 56905-2016. (2019). Performance of measurement, engineering-geodetic works on objects of the cultural heritage. General requirements. Moscow: Standartinform Publ., 28 p. [in Russian].
4. Altyntsev, M. A. (2022). Application of terrestrial laser scanning technology for creating record drawings of building facades. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 27(3), 5–18 [in Russian].
5. Sharafutdinova, A. A., & Bryn, M. Ya. (2022). Technique for designing and constructing a geodetic network when performing terrestrial laser scanning at industrial object. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 27(2), 72–85 [in Russian].
6. Sharafutdinova, A. A., & Bryn, M. Ya. (2021). The experience in using laser scanning and building information modeling for engineering data management during the life cycle of an industrial object. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 26(1), 57–67 [in Russian].
7. Mostafa, E. (2016). *3D Laser Scanners: History, Applications, and Future*. LAP Lambert Academic Publishing, 104 p.
8. Elhashash, M., Albanwan, H., & Qin, R. (2022). A Review of Mobile Mapping Systems: From Sensors to Applications. *MDPI: Sensors*, 22, 1–26.
9. Tucci, G., Visintini, D., Bonora, V., & Parisi, E. I. (2018). Examination of Indoor Mobile Mapping Systems in a Diversified Internal/External Test Field. *MDPI: Applied sciences* (30 p.). Florence, Italy: University of Florence.
10. Karam, S., Vosselman, G., Peter, M., Hosseinyalamdary, S., & Lehtola, V. (2019). Design, Calibration, and Evaluation of a Backpack Indoor Mobile Mapping System. *MDPI: Remote Sensing* (23 p.). Enschede, Netherlands: University of Twente.
11. SLAM 3D scanners and iMMS: a comprehensive guide. (2022). Buyer's guide: 3D scanners. Retrieved from: <https://www.aniwaa.com/buyers-guide/3d-scanners/slam-3d-scanners-imms-mobile-mapping/> (accessed August 15, 2022).

12. Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S., & Boehm, J. (2020). *Close-Range Photogrammetry and 3D Imaging* (3rd ed). Berlin, Germany: DeGruyter STEM, 808 p.
13. iPhone LiDAR with applications for the geosciences. (2022). OpenTopography. Retrieved from: <https://opentopography.org/blog/iphone-lidar-applications-geosciences> (accessed August 15, 2022).
14. Apple unveils new iPad Pro with breakthrough LiDAR Scanner and brings trackpad support to iPad OS. (2020). Apple newsroom. Retrieved from: <https://www.apple.com/newsroom/2020/03/apple-unveils-new-ipad-pro-with-lidar-scanner-and-trackpad-support-in-ipados/> (accessed August 15, 2022).
15. Rybkina, A. (2022). Volume accounting of buildings and premises and the use of mobile LIDAR technology in the cadaster. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 402, 240–249.
16. Accuracy comparisons of iPhone 12 Pro LiDAR outputs. (2021). Gillihan, Robert Newton (M.S., Media Forensics Program). Retrieved from: https://artsandmedia.ucdenver.edu/docs/libraries/rovider27/ncmf-docs/theses/gillihan_thesis_fall2021.pdf?sfvrsn=8f32a1ba_2 (accessed August 15, 2022).
17. Cloud Compare: User manual. (2022). Retrieved from: <http://www.cloudcompare.org/doc/qCC/Cloud-Compare%20v2.6.1%20-%20User%20manual.pdf> (accessed August 15, 2022).
18. Canvas by Occipital: official website. (2022). Retrieved from: <https://canvas.io/> (accessed August 15, 2022).
19. Does Polycam export in format. (2022). Polycam: official website. Retrieved from: <https://learn.poly.cam/product-faqs/does-polycam-export-in-format> (accessed August 15, 2022).
20. 3d Scanner App: official website. (2022). Retrieved from: <https://3dscannerapp.com/> (accessed August 15, 2022).
21. How accurate are LiDAR Scans. (2022). 3d Scanner App: official website Retrieved from: <https://docs.3dscannerapp.com/faq/lidar-scan-accuracy> (accessed August 15, 2022).

Author details

Nikolai A. Suranov – Student, Department of Land Management.

Aleksei Yu. Romanchikov – Associate Professor, Department of Engineering Geodesy.

Viacheslav A. Valkov – Associate Professor, Department of Engineering Geodesy.

Received 03.10.2022

© N. A. Suranov, A. Yu. Romanchikov, V. A. Valkov, 2023