

## К ВОПРОСУ О ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЙ О ВЫБОРЕ ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТА ПРИ РАЗМЕЩЕНИИ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СТАТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

© 2022 Р. А. Дьяченко<sup>1</sup>, Д. А. Гура<sup>1,2✉</sup>, В. Е. Степаненко<sup>1</sup>, С. В. Самарин<sup>1</sup>, Д. А. Беспятчук<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Кубанский государственный технологический университет  
ул. Московская, 2, 350072 Краснодар, Российская Федерация

<sup>2</sup>Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина  
ул. Калинина, 13, 350044 Краснодар, Российская Федерация

**Аннотация.** В настоящее время воздушное лазерное сканирование является наиболее современным и эффективным методом получения геопространственных данных о любом объекте вне зависимости от его формы, размеров и других атрибутов. Как и любой технологический процесс, воздушное лазерное сканирование имеет свои сложности в практической реализации, особенно при проведении статических измерений при помощи GNSS-приемников на пунктах триангуляции. Наиболее проблематичным моментом организации статических измерений при помощи GNSS-приемников, как выяснилось в ходе практической реализации, является нерациональное транспортное передвижение между пунктами триангуляции, что может привести к значительному увеличению сроков проведения полевых работ. Для поиска оптимального маршрута между пунктами получения статических измерений предложено решение задачи коммивояжера формулировкой Миллера — Такера — Землина и тем самым проблема поиска оптимального маршрута решена как задача линейного программирования. Составлена матрица расстояний между пунктами триангуляции, которая впоследствии была внесена в пакет оптимизации Puomo. Разработана программная модель на языке программирования Python для поиска оптимального маршрута. Общая протяженность рассчитанного путем решения задачи коммивояжера маршрута составила 25,7 километров. На практическом опыте выявлено, что для того, чтобы расставить приборы по указанному порядку необходимо потратить 26 минут, что примерно в 3 раза меньше, чем было при расстановке приборов без транспортной оптимизации перемещений при статических измерениях. Также для наглядности разработанного алгоритма, предложенный порядок организации статических измерений представлен в виде диаграммы IDEF0. В выводе статьи отмечено, что алгоритм решения задачи коммивояжера доказал свою эффективность и может быть применен для правильной организации статических измерений при проведении воздушного лазерного сканирования.

**Ключевые слова:** воздушное лазерное сканирование, горная местность, статические измерения, задача коммивояжера, IDEF0, оптимальный маршрут.

---

✉ Гура Дмитрий Андреевич  
e-mail: [gda-kuban@mail.ru](mailto:gda-kuban@mail.ru)



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.  
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время наиболее современным и быстрым методом получения точных геометрических данных о любом объекте является трехмерное лазерное сканирование. Трехмерное лазерное сканирование представляет собой съемочную систему, которая с высокой скоростью измеряет расстояние от сканера до объекта, а также вертикальные и горизонтальные углы. Результатом трехмерного лазерного сканирования является массив данных, представляющий собой облако точек. В зависимости от применяемого оборудования и технологии трехмерное лазерное сканирование подразделяется на наземное, мобильное и воздушное. В данной научной работе рассматривается воздушное лазерное сканирование, так как данный вид сканирования является наиболее трудоемким как по части полевых работ, так и со стороны камеральной обработки результатов измерения. Несмотря на упомянутые технические сложности, воздушное лазерное сканирование является наиболее эффективным и быстрым способом получения информации о рельефе определенной местности, вследствие чего данный тип сканирования приобретает все большую популярность в различных сферах деятельности и исследования по совершенствованию алгоритма проведения воздушного лазерного сканирования являются достаточно актуальным вопросом. [1, 2, 4, 5]

В общей сложности порядок проведения воздушного лазерного сканирования и получения цифровой модели рельефа, следующий:

1. Подготовительный этап;
2. Сбор данных;
3. Постобработка;
4. Камеральная обработка результатов сканирования [5].

Для выявления проблемных моментов проведения воздушного лазерного сканирования необходимо проанализировать алгоритм съемки и камеральной обработки полностью, что, в свою очередь, представлено в следующем разделе статьи.

## 1. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

### 1.1. Заголовки разделов

Для выявления проблемных аспектов воздушного лазерного сканирования была выбрана территория муниципального образования город-курорт Сочи, а именно окрестности горы Ахун. Площадь съемки составила 500 гектаров. Сканирующее устройство марки АГМ-МС1 было прикреплено к беспилотному воздушному судну DJI Matrice 600 Pro. Воздушное лазерное сканирование проводилось с высоты 100 метров от уровня земли.

Первый этап проведения воздушного лазерного сканирования включает в себя установку и проверку оборудования, получение необходимых разрешений на выполнение полетов и создание сети базовых станций GNSS, а также в случае необходимости калибровку оборудования. Также на первом этапе разрабатываются и строятся маршруты сканирования. В данном исследовании маршруты строились с помощью программного обеспечения (далее-ПО) UgCS.

Второй шаг проведения воздушного лазерного сканирования — непосредственно съемка территории и копирование данных с бортовых носителей. При этом второй этап включает в себя сбор координат с базовых станций GNSS. Сбор координат в режиме статических измерений проводился с помощью GNSS-приемников Leica GS15.

Третий шаг — постобработка, она включает в себя уравнивание маршрута и координат точек, взятых с пунктов GNSS, выполнялась с помощью программных продуктов PosWorks и ScanWorks.

Последний этап — камеральная обработка результатов сканирования, которая включает получение цифровой модели рельефа, а также себя обработку результатов, полученных на втором и третьем этапе. Обработка результатов воздушного лазерного сканирования производилась в ПО Terrasolid, которое, в свою очередь, работает на платформе Bentley MicroStation.

После проведения всех этапов воздушного лазерного сканирования и получения цифровой модели рельефа обнаружено, что одним

из наиболее проблемных моментов являлась организация проведения статических измерений. Суть проблемы заключается в том, что с одного пункта, который одновременно может быть базой размещения и отдельным пунктом для наблюдения в статическом режиме необходимо доставить 5 специалистов с оборудованием на одной машине на остальные пункты, оставив на пункте специалиста и прибор. На последнем шестом пункте остается водитель с оборудованием и автомобилем. Все шесть приемников должны быть включены на определенное время, чтобы синхронно произвести запись сырых данных GNSS измерений для последующей обработки в специализированном программном обеспечении.

Статическая съемка — это классический метод съемки спутниковым геодезическим оборудованием (GNSS-приемник). Основным принцип измерений заключается в том, что приемники устанавливаются на пункты с известными координатами, и на пункты, координаты которых необходимо определить. Основным преимуществом данного метода измерений является высокая точность полученных результатов измерений.

При выполнении статических измерений в окрестностях горы Ахун использовались 6 GNSS-приемников Leica GS15. Террито-

рия съемки с указанием пунктов установки GNSS-приемников представлена на рис. 1.

Представленная на рис. 1 расстановка приборов обусловлена тем, что на пунктах 2-6 GNSS-приемники стояли на существующих пунктах триангуляции, ведь получение координат с существующих пунктов государственной геодезической сети является основным источником для уравнивания и пересчета координат местности при проведении воздушного лазерного сканирования. Большая часть пунктов установки спутникового геодезического оборудования находилась в горной пересеченной местности, что достаточно затрудняло передвижение к ним. Стартовым пунктом являлась точка 1 (рис. 1).

Следует отметить, что наиболее проблемным моментом организации проведения представленных статических измерений являлась плохая транспортная доступность к пунктам триангуляции 2-6, вследствие этого на проведение статических измерений было потрачено больше времени чем планировалось, что, в свою очередь, привело к увеличению сроков проведения работ. По данной причине был разработан подход к организации статических измерений при проведении воздушного лазерного сканирования, который представлен в статье далее [6–8].



Рис. 1. Схема расположения GNSS-приемников при выполнении статических измерений вблизи горы Ахун

[Fig. 1. Layout of GNSS receivers when performing static measurements near Mount Akhun]

Поскольку главная причина увеличения сроков выполнения статических измерений являлась не продуманная транспортная доступность пунктов триангуляции, особенно в высокогорных районах, и неправильная организация передвижения к ним из точки 1, поэтому к оптимизации маршрута передвижения для проведения статических измерений необходимо подойти при помощи решения транспортной задачи, а именно задачи коммивояжера. [9–12] Отдельно следует отметить, что научная новизна данной работы как раз и является применением задачи коммивояжера для решения проблемы рациональной организации статических измерений при проведении воздушного лазерного сканирования.

Для решения задачи коммивояжера с помощью Яндекс навигатора [16] была построена матрица расстояний между шестью пунктами установки GNSS-приборов, которая представлена в табл. 1. Расстояние между пунктами указано с учетом транспортной доступности и рельефа местности.

Таблица 1. Матрица расстояний между пунктами установки спутникового геодезического оборудования (км)

[Table 1. Matrix of distances between points of installation of satellite geodetic equipment (km)]

	1	2	3	4	5	6
1	0	5,4	3,7	1,4	8,3	10
2	5,1	0	3,2	4,8	12	14
3	4	2,1	0	3,2	9,1	11
4	1,4	4,9	3,2	0	12	9,5
5	6,9	8,8	7,1	6,7	0	4,8
6	11	13	11	11	5	0

Задачу поиска оптимального маршрута сформулируем в формулировке Миллера — Такера — Землина, введем переменную  $x_{ij}$  (1):

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{путь идет из города } i \text{ в город } j \\ 0, & \text{иное} \end{cases} \quad (1)$$

Тогда задача коммивояжера может быть записана как задача линейного программирования (2) [13–15]:

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n c_{ij} x_{ij}$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad i, j = 1, \dots, n$$

$$u_i \in Z \quad i = 1, \dots, n$$

$$\sum_{i=1, i \neq j}^n x_{ij} = 1 \quad j = 1, \dots, n$$

$$\sum_{j=1, j \neq i}^n x_{ij} = 1 \quad i = 1, \dots, n$$

$$u_i - u_j + nx_{ij} \leq n - 1 \quad 2 \leq i \neq j \leq n$$

$$0 \leq u_i \leq n - 1 \quad 2 \leq i \leq n$$

где  $c$  — расстояние между пунктами,  $x$  — переменная,  $u$  — фиктивная переменная,  $n$  — количество пунктов,  $i, j$  — начальный и конечный пункт назначения.

Структура ограничений следующая: в каждый пункт могут прибыть только из одного пункта и из каждого пункта может быть отправлено только в другой пункт. Следует отметить, что задача поиска оптимального маршрута в формулировке Миллера — Такера — Землина используется для того, чтобы в каждый пункт прибывали ровно из одного другого пункта, а второй набор равенств в данной формулировке требует, чтобы из каждого пункта было отправлено ровно в один другой пункт. Последние ограничения требуют, чтобы существовал только один тур, охватывающий все пункты, а не два или более разрозненных тура, которые в совокупности охватывают только все пункты.

Для решения представленной задачи (2) использован расширяемый язык оптимизационного моделирования Pyomo с открытым исходным кодом на основе Python. В первую очередь в пакет оптимизации Pyomo была занесена матрица расстояний (табл. 1). В листинге 1 представлен фрагмент оптимизационной модели кода на языке программирования Python для поиска оптимального маршрута.

Листинг 1. Код программы

[Listing 1. Program code]

```
def obj_func(model):
    return sum(model.x[i,j] * model.c[i,j]
for i in model.N for j in model.M)
model.objective = pyEnv.Objective(rule=obj_func, sense=pyEnv.minimize)
def rule_const1(model, M):
    return sum(model.x[i,M] for i in model.N
```

```

if i!=M ) == 1
def rule_const2(model,N):
    return sum(model.x[N,j] for j in model.M
if j!=N) == 1
def rule_const3(model,i,j):
    if i!=j:
        return model.u[i] - model.u[j] +
model.x[i,j] * n <= n-1
    else:
        return model.u[i] - model.u[i] == 0
model.rest3 = pyEnv.Constraint(model.U,mod
el.N,rule=rule_const3)
    
```

## 2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для условий, представленных в табл. 1, оптимальным маршрутом будет следующий граф перемещения по пунктам (решение, изображенное на рис. 2).



Рис. 2. Решение задачи поиска оптимального маршрута с использованием формулировки Миллера — Такера — Землина  
 [Fig. 2. Solving the problem of finding an optimal route using the Miller — Tucker — Zemlin formula]

Маршрут обхода точек для статических измерений GNSS приемником представлен на рис. 3.

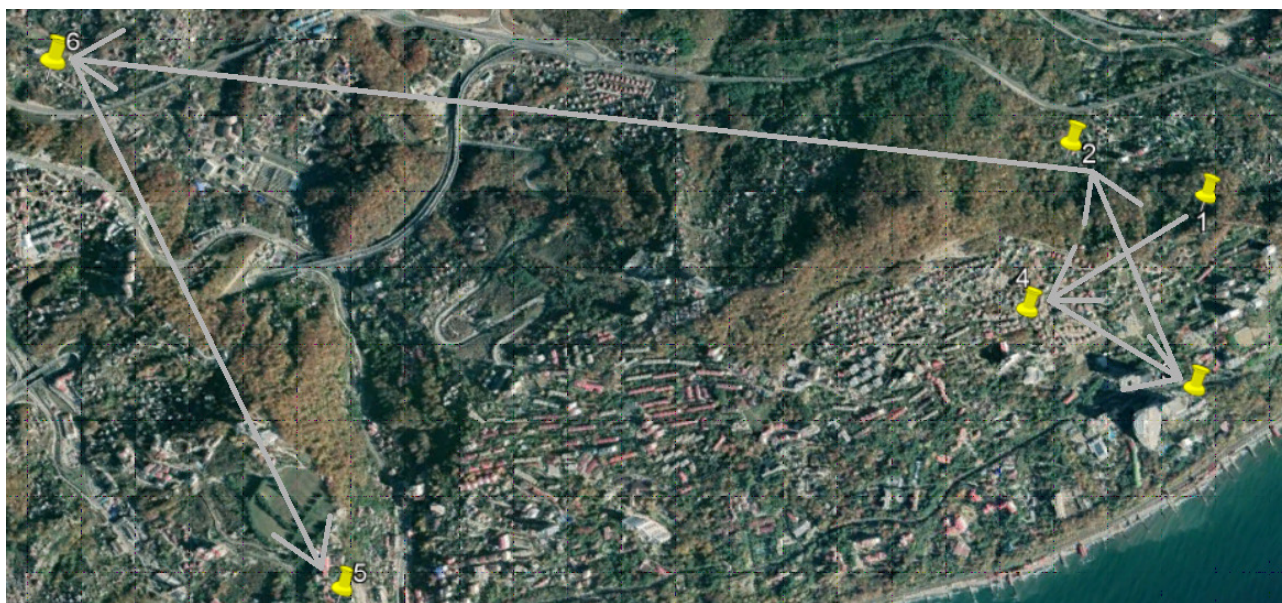


Рис. 3. Оптимальный маршрут для организации статических измерений в картографическом виде  
 [Fig. 3. The optimal route for the organization of static measurements in cartographic form]

Общая протяженность представленного на рис. 3 маршрута составляет 25,7 километров. На практическом опыте было выявлено, что для того, чтобы расставить приборы по указанному порядку необходимо потратить 26 минут, что примерно в 3 раза меньше, чем было при расстановке приборов без транспортной оптимизации маршрута при организации статических измерений.

Также для наглядности разработанного алгоритма поиска оптимального маршрута представим его в виде схемы IDEF0 (рис. 4).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на то, что воздушное лазерное сканирование является наиболее современным методом получения информации о рельефе любой местности, в настоящее время данный метод трехмерного картографирования имеет ряд проблемных моментов, одним из которых является нерациональный подход к проведению статических измерений с точки зрения транспортной организации установки приборов. Представленный в статье алгоритм решения задачи коммивояжера доказал свою эффективность и может быть применен для правильной, оптимальной организации статических измерений при проведении воздушного лазерного сканирования.



Рис. 4. Разработанный алгоритм поиска оптимального маршрута между пунктами триангуляции в виде диаграммы IDEF0

[Fig. 4. The developed algorithm for finding the optimal route between triangulation points in the form of an IDEF0 diagram]

## БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование проводилось с использованием оборудования Научно-исследовательского центра пищевых и химических технологий КубГТУ (СКР\_3111), разработка которого поддерживается Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (Соглашение № 075-15-2021-679).

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-29-00849 «Разработка интеллектуальной информационной системы поддержки принятия решений для решения сложных задач территориального планирования с применением сильного искусственного интеллекта».

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атрощенко В. А., Тымчук А. И. Способ поиска информации для построения информационной системы с большими базами данных // Перспективы науки. – 2018. – № 1 (100). – С. 11–16.

2. Гура Д. А., Дубенко Ю. В., Павлюкова А. П. Цифровой интеллектуальный мониторинг линейных инфраструктурных объектов на основе трехмерных данных // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2020. – № 2. – С. 103–114. – DOI 10.17308/sait.2020.2/2920.

3. Гушанский С. М., Пуховский В. Н., Потапов В. С. Программная разработка квантового оптимизационного алгоритма решения транспортной задачи коммивояжера // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2018. – № 7 (201). – С. 126–132.

4. Дьяченко Р. А., Борисов С. Н. О возможности использования API геоинформационных систем // В сборнике: Научные чтения имени профессора Н. Е. Жуковского. Сборник научных статей VIII Международной научно-практической конференции «Научные чтения имени профессора Н. Е. Жуковского». КВВАУЛ им. Героя Советского Союза А. К. Серова. – 2018. – С. 299–302.

5. Кравцова В. И., Другов М. Д. Типы динамики дюнного рельефа Анапской пересыпи: исследование по материалам воздушного лазерного сканирования // Геодезия и картография. – 2019. – Т. 80, № 2. – С. 32–45.

6. Куринных Д. Ю., Сахно В. В., Айдинян А. Р. Метод решения задачи коммивоя-

жера для проектирования трассы прокладки кабеля сети кольцевой топологии в офисном здании // *Modern Science*. – 2019. – № 6-3. – С. 240–243.

7. Мелехин В. Б., Хачумов М. В. Об одном подходе решения задачи коммивояжера для планирования автономным беспилотным летательным аппаратом маршрутов облета целей // *Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки*. – 2021. – Т. 48, № 1. – С. 108–118.

8. Романов П. С., Романова И. П., Каменский И. А. Выбор метода решения задачи коммивояжера для определения оптимальной траектории перемещения инструмента // *Комплексные проблемы развития науки, образования и экономики региона*. – 2014. – № 2 (5). – С. 71–81.

9. Шаяхметова Б. К., Омарова Ш. Е., Дрозд В. Г. Организация системы транспортной логистики в регионах РК на базе решения задачи коммивояжера // *Форум. Серия: Гуманитарные и экономические науки*. – 2020. – № 3 (20). – С. 85–92.

10. Bruno C. H. Silva, Islame F. C. Fernandes, Marco C. Goldbarg, Elizabeth F. G. Goldbarg, Quota travelling salesman problem with passengers, incomplete ride and collection time optimization by ant-based algorithms, *Computers & Operations Research*. – 2020. – Volume 120. – 104950.

11. Dyachenko R., Gura D., Samarin S., Bespyatchuk D., Solodunov A. Analysis of algorithms for terrestrial recognition of woody vegetation using 3D-laser scanning technology //

В сборнике: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021 International Symposium «Earth Sciences: History, Contemporary Issues and Prospects, ESHCIP 2021». IOP Publishing Ltd, 2021. – С. 012166.

12. Isaías I. Huerta, Daniel A. Neira, Daniel A. Ortega, Vicente Varas, Julio Godoy, Roberto Asín-Achá Improving the state-of-the-art in the Traveling Salesman Problem: An Anytime Automatic Algorithm Selection // *Expert Systems with Applications*. – 2022. – Volume 187. – 115948

13. Madugula Murali Krishna, Nibedan Panda, Santosh Kumar Majhi Solving traveling salesman problem using hybridization of rider optimization and spotted hyena optimization algorithm // *Expert Systems with Applications*. – 2021. – Volume 183. – 115353.

14. Arakelov, M. S. Influence of quarantine measures against the new coronavirus infection COVID-19 on the state of black sea coastal waters / M. S. Arakelov, D. A. Lipilin, A. V. Dolgova-Shkhalakhova // *Geography, Environment, Sustainability*. – 2021. – Vol. 14, No 4. – P. 199–204. – DOI 10.24057/2071-9388-2021-089.

15. Omar Cheikhrouhou, Ines Khoufi A comprehensive survey on the Multiple Traveling Salesman Problem: Applications, approaches and taxonomy // *Computer Science Review*. – 2021. – Volume 40. – 100369.

16. Kravchenko A. E., Gura D. A., Derno-voy A. Y. Flexible approach to municipal route network optimization for regular bus transport of general use // *International Journal of Economic Perspectives*. – 2017. – Т. 11, № 3.

**Дьяченко Роман Александрович** — д-р техн. наук, проф., профессор кафедры Информатики и вычислительной техники Кубанского государственного технологического университета  
E-mail: [emessage@rambler.ru](mailto:emessage@rambler.ru)  
ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-1244-1228>

**Гура Дмитрий Андреевич** — канд. техн. наук, доц., доцент кафедры Кадастра и геоинженерии Кубанского государственного технологического университета, доцент кафедры Геодезии Кубанского государственного аграрного университета им. И. Т. Трубилина  
E-mail: [gda-kuban@mail.ru](mailto:gda-kuban@mail.ru)  
ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-2748-9622>

**Степаненко Всеслав Евгеньевич** — аспирант кафедры компьютерных технологий и информационной безопасности Кубанского государственного технологического университета  
E-mail: [slavik09@inbox.ru](mailto:slavik09@inbox.ru)  
ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8857-6383>

**Самарин Сергей Владимирович** — лаборант-исследователь кафедры Кадастра и геоинженерии Кубанского государственного технологического университета

E-mail: sierghiei222@mail.ru

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-5431-7351>

**Беспятчук Дарья Андреевна** — студент Кубанского государственного технологического университета

E-mail: dbespyatchuk99@mail.ru

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-6711-385X>

DOI: <https://doi.org/10.17308/sait/1995-5499/2022/3/63-72>

ISSN 1995-5499

Received 08.07.2022

Accepted 30.09.2022

## ON THE ISSUE OF MAKING DECISIONS ABOUT CHOOSING THE OPTIMAL ROUTE WHEN PLACING EQUIPMENT FOR STATIC MEASUREMENTS

© 2022 R. A. Dyachenko<sup>1</sup>, D. A. Gura<sup>1,2✉</sup>, V. E. Stepanenko<sup>1</sup>, S. V. Samarina<sup>1</sup>, D. A. Bespyatchuk<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Kuban State Technological University*

*2, Moskovskaya Street, 350072 Krasnodar, Russian Federation*

<sup>2</sup>*Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin*  
*13, Kalina Street, 350044 Krasnodar, Russian Federation*

**Annotation.** Currently, aerial laser scanning is the most modern and effective method of obtaining geospatial data about any object, regardless of its shape, size and other attributes. Like any technological process, aerial laser scanning has its own difficulties in practical implementation, especially when performing static measurements using GNSS receivers at triangulation points. The most problematic aspect of the organization of static measurements using GNSS receivers, as it turned out in the course of practical implementation, is the irrational transport movement between the points of triangulation, which can lead to a significant increase in the duration of field work. In order to find the optimal route between the points of obtaining static measurements, the solution of the traveling salesman problem is proposed by the Miller — Tucker — Zemlin formulation, and thus the problem of finding the optimal route is solved as a linear programming problem. A matrix of distances between triangulation points was compiled, which was subsequently included in the Pyomo optimization package. A software model in the Python programming language has been developed to find the optimal route. The total length of the route calculated by solving the traveling salesman's problem was 25.7 kilometers. Based on practical experience, it was revealed that in order to arrange the devices in the specified order, it is necessary to spend 26 minutes, which is about 3 times less than it was when placing the devices without transport optimization of movements with static measurements. Also, for the sake of clarity of the developed algorithm, the proposed order of organization of static measurements is presented in the form of an IDEF0 diagram. It is noted in the article that the algorithm for solving the traveling salesman problem has proven its effectiveness and can be applied for the correct organization of static measurements during aerial laser scanning.

**Keywords:** aerial laser scanning, mountainous terrain, static measurements, traveling salesman's task, IDEF0, optimal route.

---

✉ Gura Dmitry A.  
e-mail: [gda-kuban@mail.ru](mailto:gda-kuban@mail.ru)



## CONFLICT OF INTEREST

The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

## REFERENCES

1. Atroschenko V. A. and Tymchuk A. I. (2018) The method of information retrieval for building an information system with large databases. *Prospects of Science*. No 1 (100). P. 11–16.
2. Gura D. A., Dubenko Yu. V. and Pavlyukova A. P. (2020) Digital intelligent monitoring of linear infrastructure objects based on three-dimensional data. *Bulletin of the Voronezh State University. Series: System Analysis and Information Technologies*. No 2. P. 103–114. DOI 10.17308/sait.2020.2/2920.
3. Gushansky S. M., Pukhovskiy V. N. and Potapov V. S. (2018) Software development of a quantum optimization algorithm for solving the traveling salesman transport problem. *Izvestiya SFU. Technical sciences*. No 7 (201). P. 126–132.
4. Dyachenko R. A. and Borisov S. N. (2018) On the possibility of using API for geoinformation systems. *In the collection: Scientific readings named after Professor N. E. Zhukovsky. Collection of scientific articles in the VIII scientific and practical International Conference "Scientific readings named after Professor N.E. Zhukovsky"*. KVVAUL named after Hero of the Soviet Union A. K. Serov. P. 299–302.
5. Kravtsova V. I., Drugov M. D. (2019) Types of dynamics of the dune relief of the Anapa embankment: a study based on the materials of aerial laser scanning. *Geodesy and cartography*. Vol. 80, No 2. P. 32–45.
6. D Kurinnykh. Yu., V Sakhno. V. and Aydinyan A. R. (2019) Method of solving the traveling salesman problem for designing a route for laying a network cable of ring topology in an office building. *Modern science*. No 6-3. P. 240–243.
7. Melekhin V. B. and Khachumov M. V. (2021) On one approach to solving the traveling salesman problem for planning autonomous unmanned aerial vehicle flight routes of targets. *Bulletin of Dagestan State Technical University. Technical sciences*. Vol. 48, No 1. P. 108–118.
8. Romanov P. S., Romanova I. P. and Kamensky I. A. (2014) Choosing a method for solving the traveling salesman problem to determine the optimal trajectory of tool movement. *Complex problems of the development of science, education and economy of the region*. No 2 (5). P. 71–81.
9. Shayakhmetova B. K., Omarova Sh. E. and Drozd V. G. (2020) Organization of the transport logistics system in the regions of the Republic of Kazakhstan on the basis of solving the traveling salesman problem. *Forum. Series: Humanities and Economic Sciences*. No 3 (20). P. 85–92.
10. Bruno K. H. Silva, Islame F. K. Fernandez, Marco K. Goldberg and Elizabeth F. G. Goldberg (2020) The traveling salesman problem with passengers, optimization of incomplete trip and collection time using ant-based algorithms. *Computer and Operations Research*. Vol. 120. 104950
11. Dyachenko R., Gura D., Samarin S., Bessyatchuk D. and Solodunov A. (2021) Analysis of algorithms for ground recognition of woody vegetation using 3D laser scanning technology. *In the collection: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Symposium 2021 "Earth Sciences: History, Current Problems and Prospects, ESHCIP 2021"*. IOP Publishing Ltd. P. 012166.
12. Isaias I. Huerta, Daniel A. Neira, Daniel A. Ortega, Vicente Varas, Julio Godoy and Roberto Asin-Acha (2022) Improving the modern solution to the traveling salesman problem: Automatic algorithm selection at any time. *Expert Systems with Applications*. Vol. 187. 115948
13. Madugula Murali Krishna, Nibedan Panda and Santosh Kumar Majhi (2021) Solving the Traveling Salesman problem using Rider optimization hybridization and spotted hyena optimization algorithm. *Expert Systems with Applications*. Vol. 183. 115353.
14. Arakelov M. S., Lipilin D. A. and Dolgova-Shkhalakhova A. V. (2021) Influence of quarantine measures against the new coronavirus infection COVID-19 on the state of black sea coastal waters. *Geography, Environment, Sustainability*. Vol. 14, No 4. P. 199–204. DOI 10.24057/2071-9388-2021-089.
15. Omar Sheikhrukhu and Ines Khufi (2021) A comprehensive review of the problem of multiple salesmen: Applications, approaches and taxonomy. *Computer Science Review*. Vol. 40. 100369.

16. *Kravchenko A. E., Gura D. A. and Derno-  
voy A. Y.* (2017) Flexible approach to municipal  
route network optimization for regular bus trans-  
port of general use. *International Journal of Eco-  
nomic Perspectives*. V. 11, No 3.

**Dyachenko Roman A.** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Computer Science and Computer Engineering of the Kuban State Technological University  
E-mail: emessage@rambler.ru  
ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-1244-1228>

**Gura Dmitry A.** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Cadastre and Geoengineering of the Kuban State Technological University, Associate Professor of the Department of Geodesy of the Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin  
E-mail: gda-kuban@mail.ru  
ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-2748-9622>

**Stepanenko Vseslav E.** — Postgraduate student of the Department of Computer Technology and Information Security of the Kuban State Technological University  
E-mail: slavik09@inbox.ru  
ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8857-6383>

**Samarin Sergey V.** — Laboratory assistant-researcher of the Department of Cadastre and Geoengineering of the Kuban State Technological University  
E-mail: sierghiei222@mail.ru  
ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-5431-7351>

**Bespyatchuk Daria A.** — student of Kuban State Technological University  
E-mail: dbespyatchuk99@mail.ru  
ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-6711-385X>