
ЗООТЕХНИЯ, БИОЛОГИЯ И ВЕТЕРИНАРНАЯ МЕДИЦИНА

Линейная оценка коров по облаку точек

**Илья Дмитриевич Забарин¹✉, Денис Викторович Шилин¹,
Алексей Николаевич Васильев²**

¹Национальный исследовательский университет МЭИ, Москва, Россия

²Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Россия

✉ **Автор, ответственный за переписку:** ZabarinID@mpei.ru

Аннотация

В статье анализируются значимость и актуальность внедрения технологии 3D-камер в аграрный сектор, особенно в области сельского хозяйства и животноводства. Основное внимание уделяется сложности и трудоемкости существующего процесса линейной оценки коров на фермах, который в настоящее время не автоматизирован и требует значительных усилий. В качестве потенциального решения этой проблемы предлагается использование 3D-камеры Intel RealSense D435 в сочетании с разработанными алгоритмами для эффективного извлечения и обработки информации из облака точек коровы. Во введении статьи представлен анализ существующих научных исследований и разработок по рассматриваемой проблеме, что подчеркивает важность и своевременность темы. Далее авторы переходят к описанию методики сбора трехмерных данных крупы коровы с использованием упомянутой 3D-камеры, обосновывая выбор данного оборудования для решения поставленной задачи. В ходе исследований были разработаны и адаптированы алгоритмы для выполнения фильтрации, предварительной обработки облака точек, полученного с коров, с последующей сегментацией и измерением линейных параметров животных. Эти алгоритмы были подвергнуты тестированию в лабораторных условиях на специально созданном макете крупы коровы. Целью испытаний было сравнение результатов, полученных как с помощью ручных измерений, так и в результате автоматизированного процесса. По итогам лабораторных испытаний установлено, что средняя ошибка измерений, выполненных алгоритмом, составляет 3,5%, тогда как максимальная ошибка не превысила 9,2%. Также было проведено тестирование алгоритма непосредственно на ферме. Этот этап позволил проверить работоспособность и эффективность предложенного решения в реальных условиях. Результаты тестирования подтвердили высокую применимость и потенциал внедрения разработанной системы. Таким образом, предлагается инновационное решение, которое может улучшить текущий подход в измерении линейных параметров коровы.

Ключевые слова

3D-камера, линейная оценка коров, автоматизация в сельском хозяйстве, Intel RealSense D435, обработка облака точек, трехмерный сбор данных о коровах, алгоритмы, измерение коров

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда Содействия Инновациям.

Для цитирования

Забарин И.Д., Шилин Д.В., Васильев А.Н. Линейная оценка коров по облаку точек // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2025. № 1. С. 150–163.

Linear estimation of cows by the point cloud

Ilya D. Zabarin¹✉, Denis V. Shilin¹, Alexey N. Vasiliev²

¹Moscow Power Engineering Institute, Moscow, Russia

²Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

✉Corresponding author: ZabarinID@mpei.ru

Abstract

The article analyzes the importance and relevance of implementing 3D camera technology in the agribusiness sector, especially in the field of farming and animal husbandry. The focus is on the complexity and labor-intensive nature of the existing on-farm linear estimation process for cows, which is currently not automated and requires considerable effort. As a potential solution to this problem, the use of an Intel RealSense D435 3D camera in combination with developed algorithms for efficient extraction and processing of information from the cow point cloud is proposed. The introduction of the article analyzes the existing research and development on the problem at hand, which emphasizes the importance and timeliness of the topic. Furthermore, the authors describe the methodology of collecting 3D data of the cow croup using the mentioned 3D camera and justify the choice of this equipment for solving the task at hand. In the course of the work, algorithms were developed and adapted to perform filtering, preprocessing of the point cloud obtained from cows, followed by segmentation and measurement of linear parameters of the animals. These algorithms were subjected to laboratory tests on a specially designed cow croup model. The purpose of these tests was to compare the results obtained from both manual measurements and the automated process. Based on the results of the laboratory tests, it was found that the average error of the measurements made by the algorithm was 3.5%, while the maximum error did not exceed 9.2%. The algorithm was also tested directly on the farm. This stage allowed to verify the performance and efficiency of the proposed solution in real conditions. The test results confirmed the high applicability and implementation potential of the developed system. Thus, an innovative solution is proposed that can improve the current approach to measuring the linear parameters of the cow.

Keywords

3D camera, linear estimation of cows, automation in farming, Intel RealSense D435, point cloud processing, 3D collection of data about cows, algorithms, cow measurement

Acknowledgments

The work was supported by the Innovation Promotion Fund.

For citation

Zabarin I.D., Shilin D.V., Vasiliev A.N. Linear estimation of cows by the point cloud. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2025. No. 1. P. 150–163.

Введение Introduction

В современном мире технологии для получения трехмерных данных играют важную роль, проникая в разнообразные сферы жизни. Применение технологий 3D-сканирования помогает получить данные о форме объекта и о его внешнем виде. Они находят применение во многих областях. Одними из ключевых факторов,

обеспечивающих доступ к трехмерным данным, являются методы и технологии их получения. Различные методы и технологии имеют свои возможности, особенности и применимость в различных областях.

Для увеличения производительности молочных ферм необходимо осуществлять постоянный контроль физиологического состояния животных. На сегодняшний день наряду с молочной продуктивностью большое значение имеет конституция коров. Однако в настоящее время линейная оценка экстерьера коров на большинстве ферм производится вручную с использованием измерительной ленты и визуального осмотра. Стоит отметить, что результаты измерений вручную записываются в подготовленный бланк, после чего вручную заносятся в информационную систему. Этот процесс остается неавтоматизированным в хозяйствах, вследствие чего целью работы явилась разработка программно-аппаратного комплекса для автоматизации процесса линейной оценки экстерьера коров.

Необходимость внедрения цифровых технологий и тенденции развития мирового АПК рассматриваются в статье академика Ю.А. Иванова «Цифровое животноводство: перспективы развития» [1]. В этой работе приведен пример значительного повышения эффективности фермерского хозяйства за счет внедрения инновационных технологий. Также внедрение новых технологий для автоматизации процессов может привести к облегчению труда, повышению качества продукта и обеспечению полной прослеживаемости на всех этапах производства молочной продукции. Автор отмечает, что необходимо уделить внимание не только модернизации действующих фермерских хозяйств, но и созданию высокотехнологичных инновационных производств.

Инновационные технологии с использованием 3D-камеры успешно подходят под решение разных задач. В статье Д.В. Шилина и др. «Identification of the cow's nipples using a 3D camera with ToF technology» [2] рассматривается применение ToF-камеры для идентификации всех сосков коровы с целью дальнейшего анализа и формирования точек позиционирования рабочих органов доильного робота. По результатам проведенных исследований и разработок авторам удалось успешное нахождение точек позиционирования в 97,5% случаев. Это доказывает эффективность использования 3D-камер в решении задач анализа экстерьера животного.

В статье «Бесконтактная оценка упитанности молочных коров с использованием ToF-технологии» Д.Ю. Павкин и соавт. [3] предложили методику сбора натуральных данных об упитанности коров с использованием RGB-D камеры Kinect V2. Проводился эксперимент разработанного алгоритма анализа изображений в среде Matlab с использованием сверточных нейронных сетей. Камера была установлена практически перпендикулярно полу. По результатам эксперимента точность выставления оценки упитанности коровы превысила 90%, что доказывает высокую эффективность применения камеры глубины в оценке экстерьера.

Для автоматизации процесса оценки экстерьера коров предлагается использовать программно-аппаратный комплекс с камерой глубины, с помощью которого можно получить облако точек коровы в трехмерной системе координат и провести оценку по полученным с камеры данным.

Методика исследований Research method

Оценка экстерьера коров является важной процедурой в животноводстве, поскольку внешние признаки животного могут раскрыть множество информации об их здоровье, продуктивности и потенциале для размножения. Экстерьер коровы

отражает не только ее текущее состояние, но и возможности приспособиться к условиям содержания, продуктивность в плане молочности или мясной отдачи и способность передавать свои генетические качества потомкам [4].

Экстерьерные оценки проводятся обычно по стандартизированным методикам, включающим в себя оценку множества характеристик, среди которых особое место занимает оценка крупа (задней части животного). Выбор и разведение животных с хорошим экстерьером имеют важное значение для повышения качества стада, увеличения продуктивности и улучшения экономической эффективности животноводческого предприятия [5].

В качестве параметров для линейной оценки экстерьера коровы были выбраны следующие характеристики:

- высота в крестце;
- высота в пояснице;
- высота в маклоке;
- высота в седалищном бугре;
- угол крестца (разница между высотой в маклоке и высотой в седалищном бугре);
- длина крестца (расстояние от маклока до седалищного бугра);
- ширина крестца (расстояние между седалищными буграми);
- ширина в маклоках.

В качестве технологии для получения 3D-данных с камеры глубины выбрана технология RealSense от компании Intel. При выборе камеры рассматривались модели D415 и D435. Это обосновано тем, что более старшие модели рассчитаны на большие расстояния считывания информации. Для текущей задачи с динамическим объектом и съемкой на близком расстоянии достаточно рекомендованного для этих камер расстояния от 0,3 (для D435)/0,5 (для D415) до 3 м. При таком расстоянии заявленная погрешность получения глубины составляет <2%. Обе камеры могут использоваться как в помещении, так и на улице, а также имеют одинаковые характеристики по разрешению [6, 7].

У камеры D435 более широкое поле зрения, что важно при съемке большого объекта на близком расстоянии. Также у камеры D435 реализовано считывание глубины с помощью глобального затвора, что позволяет считывать всю матрицу глубины единым снимком, в то время как у D415 считывание матрицы глубины происходит построчно. Важно учитывать этот факт при выборе камеры для съемки динамического объекта, так как при построчном считывании матрицы глубины во время движения объекта могут наблюдаться искажения, что приведет к ошибкам при дальнейшем анализе.

Таким образом, для реализации задач по данной работе выбрана камера Intel RealSense D435 как наиболее сбалансированное и подходящее решение. Но важно отметить, что разрабатываемые алгоритмы могут использоваться с любой из камер, так как для всей линейки RealSense используется единый SDK [8].

В лабораторных условиях была разработана установка, состоящая из штатива высотой 2,1 м, поворотным шарниром, двухплоскостного гидростатического (пузырькового) уровня и крепления для него, а также камеры RealSense D435 [9–11].

Конструкция для снятия трехмерных данных крупа коровы представлена на рисунке 1.

В ходе съемки коровы под разными ракурсами было выявлено, что наиболее информативный и полный снимок получается при съемке, когда плоскость YZ координат камеры проходит через позвоночник (рис. 2).

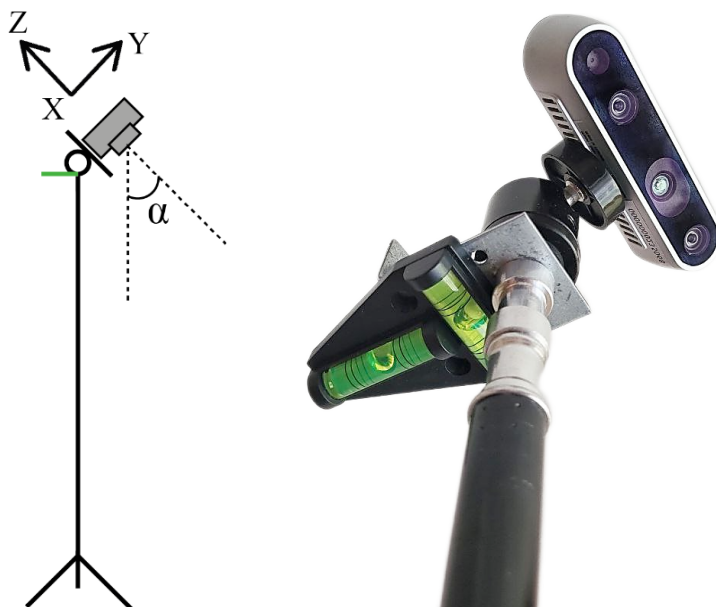


Рис. 1. Конструкция для съёмки трехмерных данных крупы коровы

Figure 1. Construction for taking 3D data of a cow group



Рис. 2. Схематичное представление съёмки макета коровы

Figure 2. Schematic representation of shooting a cow model

Эмпирическим путем было выявлено, что оптимальный угол съёмки (угол между штативом и осью Z в направлении объекта) находится в пределах от 25 до 40 град. На рисунке 3 изображено облако точек, полученное при найденном оптимальном расположении камеры (слева – фотография макета, справа – полученное с камеры облако точек с выделенными интересующими точками).

Для работы с камерой Intel RealSense необходимо использовать комплект для разработки программного обеспечения, который предоставляется производителем. Данный комплект для разработки был загружен в виде библиотеки Python. Также для разработки данного модуля использовалась библиотека OpenCV для обработки и визуализации данных.

После считывания данных с камеры глубины на снимке присутствует не только объект интереса в виде коровы, но и бокс с окружающей средой. Поэтому для дальнейшего анализа необходимо выделить на сцене только корову, убрав посторонние точки в облаке.

В текущей задаче всегда известны угол и высота съёмки, а также геометрические размеры бокса, в котором располагается корова. Благодаря информации о геометрии бокса и взаимном расположении

камеры, можно оставить в облаке лишь те точки, которые лежат внутри бокса [12–14]. В качестве объекта исследований рассматривается снимок реальной коровы с фермы. На рисунке 4 представлено поэтапное изменение данных.

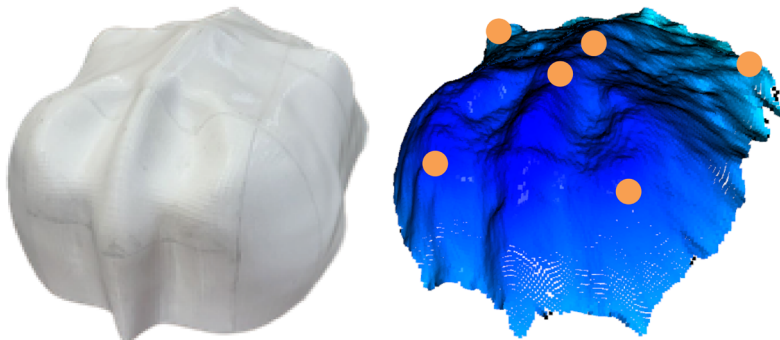


Рис. 3. Макет и облако точек макета с ключевыми точками
Figure 3. Model and the model point cloud with key points

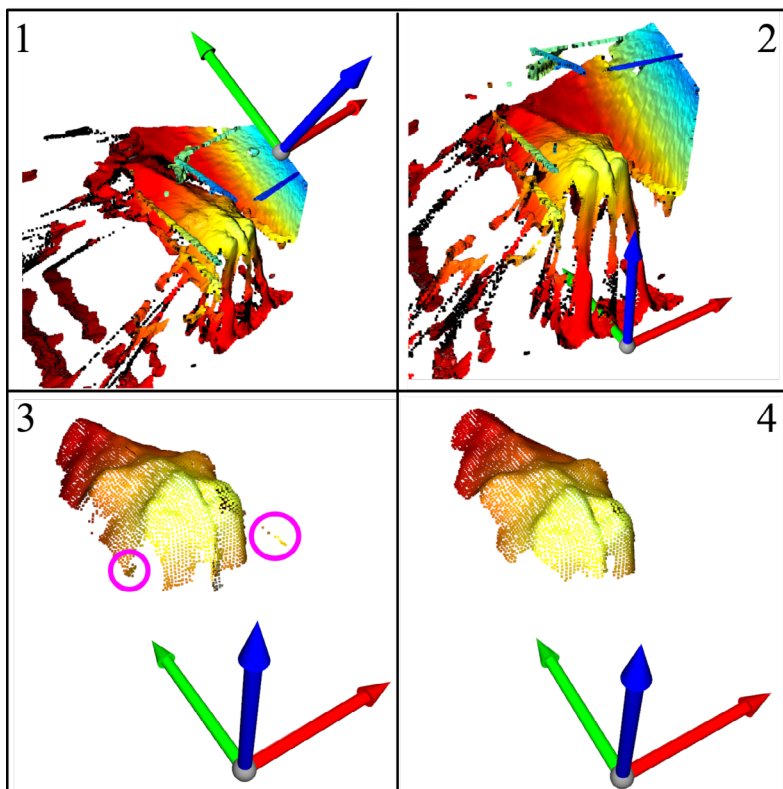


Рис. 4. Поэтапное преобразование облака точек
Figure 4. Step-by-step point cloud transformation

После подготовки объекта исследований, применив алгоритмы для выделения области интереса, фильтрации и определения текущей ориентации, можно приступить к сегментации для последующего извлечения признаков. В рамках текущей задачи необходимо определить на задней части коровы следующие ключевые точки:

- крестец;
- маклоки;
- поясницу;
- седалищные бугры.

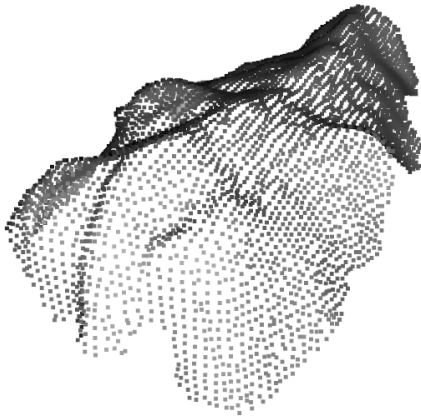


Рис. 5. Облако точек коровы в едином цвете

Figure 5. Cow point cloud in single color

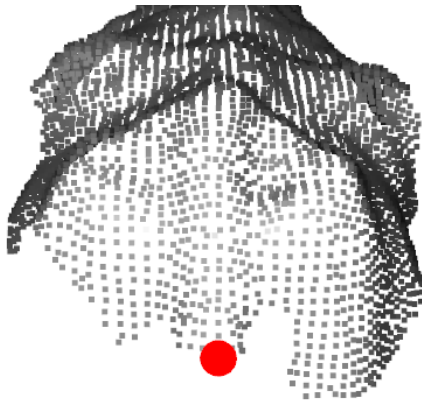


Рис. 6. Облако точек коровы с отмеченной точкой на хвосте

Figure 6. Point cloud of a cow with a marked point on its tail



Рис. 7. Облако точек зоны крестца с отмеченной максимальной по оси Z точкой

Figure 7. Point cloud of the sacrum area with the maximum marked point along the Z axis

Для определения ключевых точек необходимо произвести сегментацию коровы для определения интересующих областей.

Далее пошагово представлены основные действия согласно коду рассматриваемого модуля:

1. Происходит инициализация цвета всех точек путем задания единого темно-серого цвета (рис. 5).

2. Осуществляется определение точки хвоста между седлищными буграми. Точка хвоста является минимальной точкой по оси Y (что визуально прослеживается сверху). Найденная точка на хвосте (рис. 6) помогает в определении крестца.

3. После определения точки на хвосте вырезается область, потенциально содержащая крестец животного. На этой области определяется максимальная по оси Z точка, которая и является максимальной точкой в крестце (рис. 7).

4. Поиск маклоков коровы производится в несколько этапов. Сначала на модели вырезается область за крестцом (если рассматривать от хвоста), потенциально содержащая маклоки. Последующие действия производятся на вырезанной области. Далее происходит вырезание верхней части облака точек сначала на 5 см и задается допустимая величина максимального среза верхней части точек для поиска маклоков. Код выполняет итерационный поиск маклоков путем поиска максимальной положительной и минимальной отрицательной точек по оси X и сравнения соотношения ширины найденных точек с максимальной шириной коровы. Также в итерационном поиске проверяется, что найденные точки лежат на одной линии с допустимой погрешностью. Если условия не выполняются, то точки не являются маклоками, и программа переходит к следующей итерации. Так продолжается до тех пор, пока не будут найдены маклоки или не будет достигнуто максимальное значение среза верхней части коровы. В случае достижения максимального значения среза код выводит предупреждение и прекращает процесс.

Такой итерационный поиск реализован по причине возможного нахождения маклоков на разном расстоянии от наивысшей точки. А при рассмотрении всей коровы поиск

может быть затруднен при наличии выпирающих боков или других частей. На рисунке 8 демонстрируется поиск маклоков для двух разных коров. У коровы слева (Корова 1) понадобилась одна итерация для нахождения маклоков, а у коровы справа (Корова 2) – две.

5. Для поиска поясничной зоны используются найденные координаты маклоков и крестца, так как поясница находится между ними.

6. В основе алгоритма поиска седалищных бугров лежит оценка нормалей в каждой точке. Зная координаты хвоста коровы, выполняем вырезание потенциально содержащей седалищные бугры области, а затем – деление этой области на правую и левую части (на рисунке 9 – синяя и зеленая части соответственно).

Далее удаляются точки, нормали которых отклоняются от оси Y более заданного угла. Таким образом, в облаке точек остается только область седалищных бугров (рис. 10).

На полученных областях седалищных бугров производится поиск правой верхней и левой верхней точек на правой и левой частях соответственно.

На полученном облаке точек используется метрическая система. Найденные расстояния между точками или между точкой и плоскостью пола переводятся в сантиметры и округляются до одного знака после запятой.

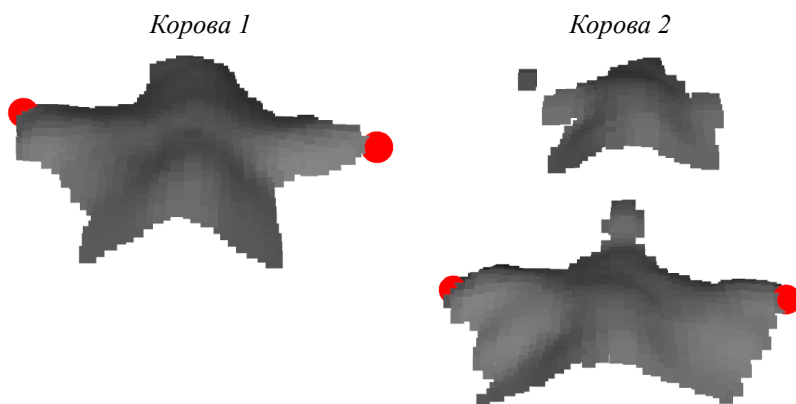


Рис. 8. Визуальная демонстрация поиска маклоков коровы

Figure 8. Visual demonstration of searching cow hips

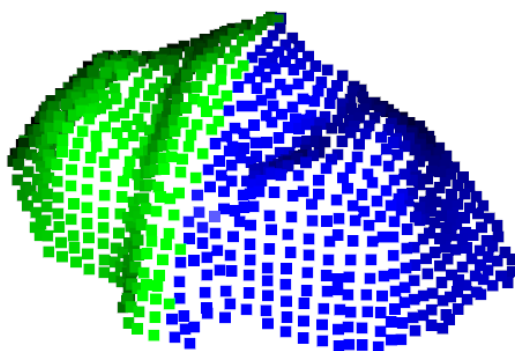


Рис. 9. Облако точек задней части коровы с визуальным разделением на левую (зеленый цвет) и правую (синий цвет) части

Figure 9. Point cloud of the cow rear part with visual division into left (green) and right (blue) parts

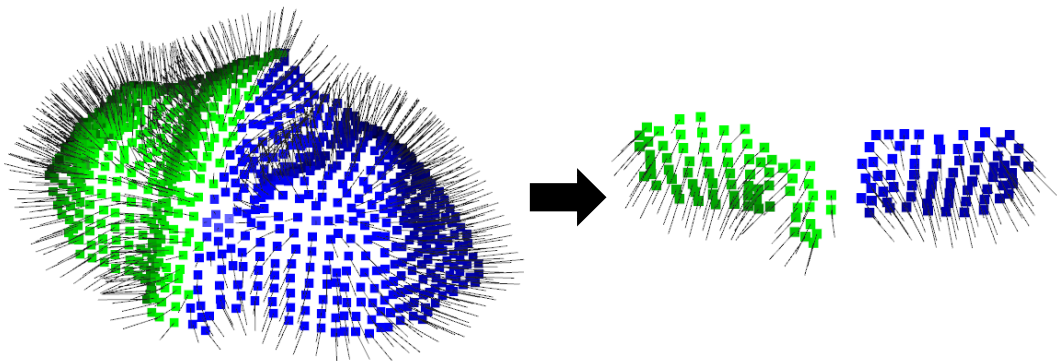


Рис. 10. Результат удаления точек, нормали которых отклоняются от оси Y более заданного угла
Figure 10. Result of removing points whose normals deviate from the Y axis by more than a given angle

Результаты и их обсуждение Results and discussion

При использовании класса для снятия данных с камеры RealSense можно визуально выводить кадры с помощью библиотеки OpenCV и контролировать захваченную сцену. Получаемое изображение представлено на рисунке 11.

В результате применения алгоритма сегментации крупа коровы получается облако точек с визуальным отображением характерных точек и измеряемых расстояний. На рисунке 12 сиреневой линией показано измеряемое расстояние между маклоками, желтой линией – между сидалищными буграми (ширина таза), а зеленой – между маклоком и сидалищным бугром.

Для определения высоты в крестце, пояснице, маклоке и сидалищном бугре берется значение координаты соответствующей точки по оси Z, так как при предварительной обработке координатная система была выровнена с полом.

Линейная оценка облака точек анализируемого объекта может содержать ошибку в силу неточности считывания данных или неточной работы алгоритмов анализа облака точек. Для подсчета ошибки измерений был проведен эксперимент на 3D макете задней части коровы. В ходе эксперимента по визуальному осмотру макета коровы были определены ключевые точки, после чего с помощью измерительной ленты получены значения интересующих параметров. Далее к тому же макету применяется разработанный алгоритм для линейной оценки крупа коровы. Значения параметров ручного промера сравниваются со значениями параметров, полученных с помощью алгоритма (табл.).



Рис. 11. Данные с камеры RealSense D435
Figure 11. Data from the RealSense D435 camera

В результате сравнения измеренных линейных параметров с помощью измерительной ленты и с помощью разработанного алгоритма средняя ошибка алгоритма линейной оценки крупа коровы составила 3,5%. Наибольшая ошибка (9,2%) наблюдается при измерении ширины в маклоках. По полученным данным, наименьшие ошибки наблюдаются в измерении высот, а при измерении расстояний между найденными точками ошибка значительно больше. Это может быть связано с тем, что измеряемые расстояния между точками на порядок меньше, чем измеряемые значения высоты. Погрешность измерений может увеличиваться также ввиду того, что в случае высоты измеряется расстояние от поверхности, на которой стоит животное, до найденной точки (влияет погрешность в поиске одной точки), а в случае поиска расстояний между двумя найденными точками влияет погрешность нахождения обеих точек. Также не стоит исключать человеческий фактор и возможную ошибку в ручных измерениях.

По итогам выезда на ферму для 30 коров были получены снимки, которые проанализированы в модуле линейной оценки крупа коровы. На рисунке 13 представлены результаты работы алгоритма.

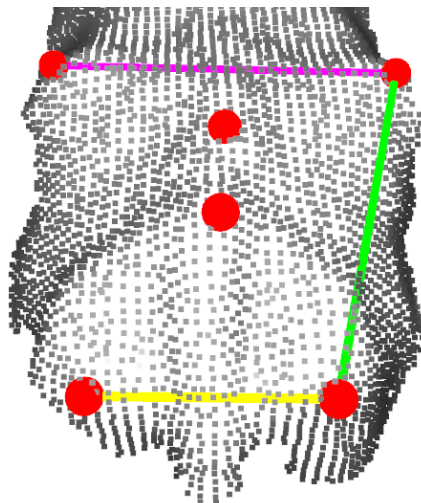


Рис. 12. Облако точек коровы с визуальным отображением измеряемых с помощью алгоритма параметров

Figure 12. Cow point cloud with visual representation of parameters measured by the algorithm

Таблица

Сравнение ручных измерений с результатами алгоритма

Table

Comparison of manual measurements with the results of the algorithm

Параметр	Лента, см	Алгоритм, см	Ошибка, %
Высота в крестце	146	144,8	0,8
Высота в пояснице	146	144,4	1,1
Высота в маклоке	138	137,4	0,4
Высота в седалищном бугре	133	132,1	0,7
Угол крестца	5	5,3	6,0
Длина крестца	51	46,7	8,4
Ширина крестца	29	28,5	1,7
Ширина в маклоках	50	45,4	9,2

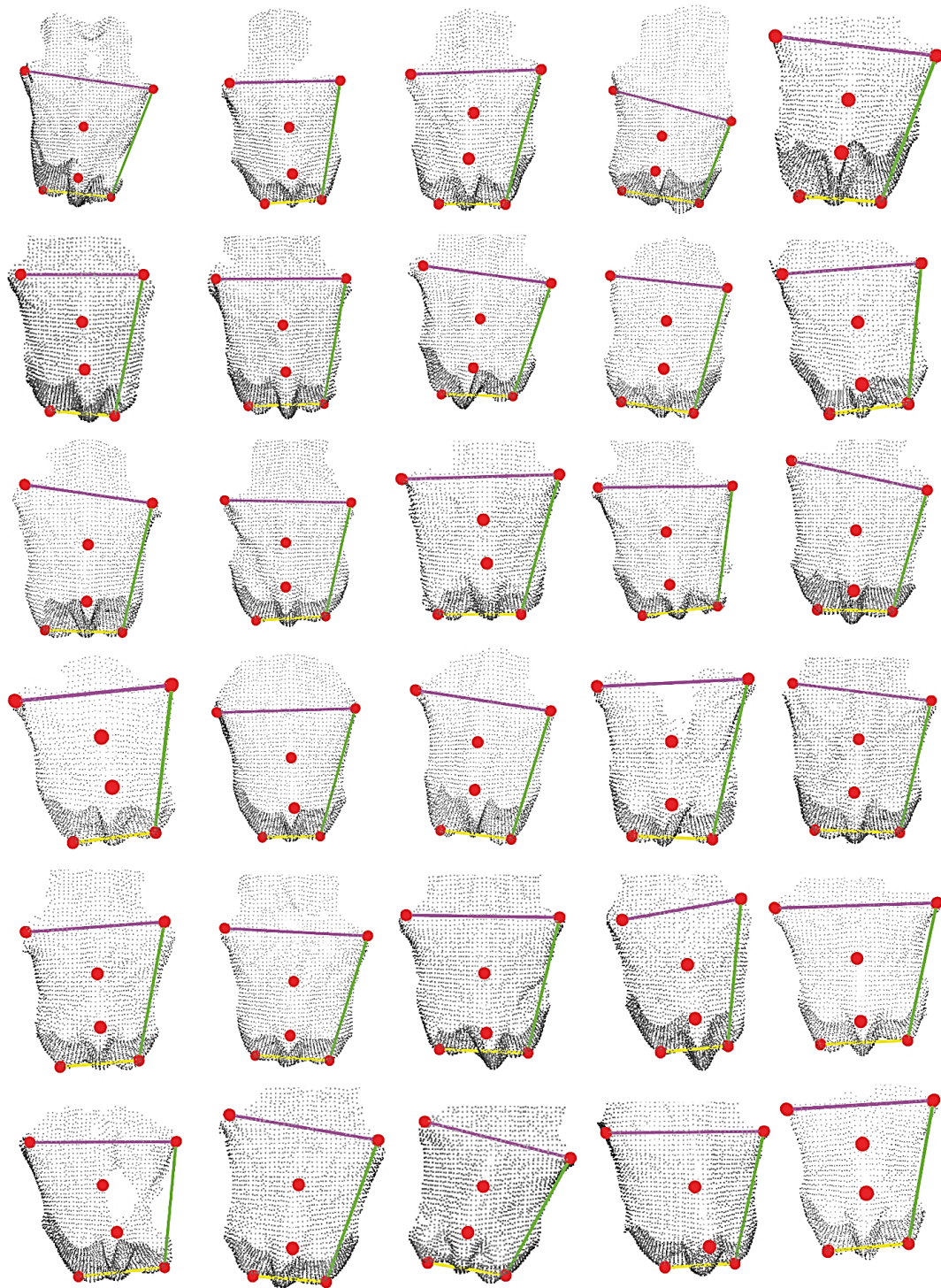


Рис. 13. Результат работы разработанного алгоритма линейной оценки крупа коровы для 30 коров

Figure 13. Result of the developed algorithm for linear estimation of 30 cow groups

По результатам работы алгоритма можно сделать вывод о том, что алгоритм отработал корректно и показал отличное определение ключевых параметров. При этом важно отметить, что в ходе данного эксперимента не все снимки получались ровными, а для некоторых сцен в отдельном файле конфигураций задавались индивидуальные параметры угла съемки и размеров зоны интереса. Это связано с тем, что съемка производилась со штатива с перемещением к каждой корове и расстояние от камеры до коровы могло различаться, животные двигались и поворачивались, что также приносило помехи. При этом видим, что даже в отношении неровно стоящих коров алгоритм справился и определил ключевые точки верно.

Выводы Conclusions

В ходе выполнения работы проведен анализ объекта исследований, а также выбраны линейные параметры для оценки с помощью камеры глубины. С помощью сравнительного анализа камер с подходящей под задачу технологией была выбрана камера глубины Intel RealSense D435 как наиболее оптимальная и подходящая под решение поставленных задач модель из линейки RealSense. Найдено оптимальное расположение камеры для получения облака точек крупа коровы. Были разработаны алгоритмы для получения облака точек с камеры глубины Intel RealSense, для линейной оценки экстерьеров крупа коровы и для управления базой данных. Средняя ошибка алгоритма линейной оценки крупа коровы составила 3,5%, а наибольшая – 9,2%. По результатам работы создан лабораторный образец программно-аппаратного комплекса с последующим испытанием на ферме. При выезде на ферму с помощью лабораторного образца программно-аппаратного комплекса была успешно осуществлена съемка и проведена оценка 30 коров. На протяжении всех экспериментов на ферме система работала стабильно.

Список источников

1. Иванов Ю.А. Цифровое животноводство: перспективы развития // *Техника и технологии в животноводстве*. 2019. № 1 (33). С. 4-7. EDN: ZAIQYH.
2. Shilin D., Ganin P., Shestov D., Novikov A. et al. Identification of the Cow's Nipples Using a 3D Camera with ToF Technology. *Annals of DAAAM & Proceedings*. 2022:77-85. <https://doi.org/10.2507/33rd.daaam.proceedings.012>
3. Павкин Д.Ю., Юрочка С.С., Шилин Д.В., Рузин С.С. Бесконтактная оценка упитанности молочных коров с использованием ToF-технологии // *Агроинженерия*. 2021. № 2 (102). С. 39-44. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-2-39-44>
4. Иванов Ю.А., Зарикеев А.Р. Использование искусственного интеллекта при оценке экстерьеров КРС // *Техника и технологии в животноводстве*. 2021. № 4 (44). С. 6-10. <https://doi.org/10.51794/27132064-2021-4-6>
5. Цой Ю.А., Баишева Р.А. Технологические аспекты создания «умной» молочной фермы // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2019. Т. 20, № 2. С. 192-199. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.2.192-199>
6. Tadic V., Toth A., Vizvari Z., Klincsik M. et al. Perspectives of Realsense and Zed Depth Sensors for Robotic Vision Applications. *Machines*. 2022;10(3):183. <https://doi.org/10.3390/machines10030183>
7. Zhou Q.Y., Park J., Koltun V. Open3D: A Modern Library for 3D Data Processing. ArXiv preprint arXiv:1801.09847. 2018. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1801.09847>

8. Кирсанов В.В., Павкин Д.Ю., Юрочка С.С., Матвеев В.Ю. Сравнительный анализ и подбор систем технического зрения в молочном животноводстве // *Вестник НГИЭИ*. 2019. № 1 (92). С. 69-79. EDN: YWLXUL.

9. Han X.F., Jin J.S., Wang M.J., Jiang W. et al. A Review of Algorithms for Filtering the 3D Point Cloud. *Signal Processing: Image Communication*. 2017;57:103-112. <https://doi.org/10.1016/j.image.2017.05.009>

10. He Y., Chen S. Recent Advances in 3D Data Acquisition and Processing by Time-of-flight Camera. *IEEE Access*. 2019;7:12495-12510. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2891693>

11. Keselman L., Iselin Woodfill J., Grunnet-Jepsen A., Bhowmik A. Intel Realsense Stereoscopic Depth Cameras. In: Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops. 2017. Pp. 1-10. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1705.05548>

12. Lazaros N., Sirakoulis G.C., Gasteratos A. Review of Stereo Vision Algorithms: from Software to Hardware. *International Journal of Optomechatronics*. 2008;2(4):435-462. <https://doi.org/10.1080/15599610802438680>

13. Nagy S.A., Kilim O., Csabai I. et al. Impact Evaluation of Score Classes and Annotation Regions in Deep Learning-based Dairy Cow Body Condition prediction. *Animals*. 2023;13(2):194. <https://doi.org/10.3390/ani13020194>

14. O'Mahony N., Krpalkova L., Sayers G. et al. Two-and Three-dimensional Computer Vision Techniques for More Reliable Body Condition Scoring. *Dairy*. 2022;4(1):1-25. <https://doi.org/10.3390/dairy4010001>

References

1. Ivanov Yu.A. Digital farming: prospects of development. *Machinery and Technologies in Livestock*. 2019;1(33):4-7. (In Russ.)

2. Shilin D., Ganin P., Shestov D., Novikov A. et al. Identification of the Cow's Nipples Using a 3D Camera with ToF Technology. *Annals of DAAAM & Proceedings*. 2022:77-85. <https://doi.org/10.2507/33rd.daaam.proceedings.012>

3. Pavkin D.Yu., Yurochka S.S., Shilin D.V., Ruzin S.S. Non-contact body condition score of dairy cows based on ToF-technology. *Agricultural Engineering*. 2021;2(102):39-44. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-2-39-44>

4. Ivanov Yu.A., Zarikeev A.R. Artificial intelligence at the cattle exterior evaluation using. *Machinery and Technologies in Livestock*. 2021;4(44):6-10. (In Russ.) <https://doi.org/10.51794/27132064-2021-4-6>

5. Tsoy Yu.A., Baisheva R.A. Technological aspects of smart dairy farm development. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2019;20(2):192-199. (In Russ.) <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.2.192-199>

6. Tadic V., Toth A., Vizvari Z., Klincsik M. et al. Perspectives of Realsense and Zed Depth Sensors for Robotic Vision Applications. *Machines*. 2022;10(3):183. <https://doi.org/10.3390/machines10030183>

7. Zhou Q.Y., Park J., Koltun V. Open3D: A Modern Library for 3D Data Processing. *ArXiv preprint arXiv:1801.09847*. 2018. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1801.09847>

8. Kirsanov V.V., Pavkin D.Yu., Yurochka S.S., Matveev V.Yu. Comparative analysis and selection of technical vision systems in dairy animal breeding. *Vestnik NGIEI*. 2019;1(92):69-79. (In Russ.)

9. Han X.F., Jin J.S., Wang M.J., Jiang W. et al. A Review of Algorithms for Filtering the 3D Point Cloud. *Signal Processing: Image Communication*. 2017;57:103-112. <https://doi.org/10.1016/j.image.2017.05.009>

10. He Y., Chen S. Recent Advances in 3D Data Acquisition and Processing by Time-of-flight Camera. *IEEE Access*. 2019;7:12495-12510. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2891693>
11. Keselman L., Iselin Woodfill J., Grunnet-Jepsen A., Bhowmik A. Intel Realsense Stereoscopic Depth Cameras. In: *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*. 2017:1-10. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1705.05548>
12. Lazaros N., Sirakoulis G.C., Gasteratos A. Review of Stereo Vision Algorithms: from Software to Hardware. *International Journal of Optomechatronics*. 2008;2(4):435-462. <https://doi.org/10.1080/15599610802438680>
13. Nagy S.A., Kilim O., Csabai I. et al. Impact Evaluation of Score Classes and Annotation Regions in Deep Learning-based Dairy Cow Body Condition Prediction. *Animals*. 2023;13(2):194. <https://doi.org/10.3390/ani13020194>
14. O'Mahony N., Krpalkova L., Sayers G. et al. Two-and Three-dimensional Computer Vision Techniques for More Reliable Body Condition Scoring. *Dairy*. 2022;4(1):1-25. <https://doi.org/10.3390/dairy4010001>

Сведения об авторах

Илья Дмитриевич Забарин, студент магистратуры, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт»; 111250, Российская Федерация, г. Москва, вн. тер. гор. муниципальный округ Лефортово, ул. Красноказарменная, 14, стр. 1; e-mail: ZabarinID@mpei.ru

Денис Викторович Шилин, кандидат технических наук, доцент, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт»; 111250, Российская Федерация, г. Москва, вн. тер. гор. муниципальный округ Лефортово, ул. Красноказарменная, 14, стр. 1; e-mail: ShilinDV@mpei.ru

Алексей Николаевич Васильев, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5; e-mail: vasilev-viesh@inbox.ru

Information about the authors

Ilya D. Zabarin, Master's Student, Moscow Power Engineering Institute; 14/1 Krasnokazarmennaya st., Lefortovo, Moscow, 111250, Russian Federation; e-mail: ZabarinID@mpei.ru

Denis V. Shilin, CSc (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor, Moscow Power Engineering Institute; 14/1 Krasnokazarmennaya st., Lefortovo, Moscow, 111250, Russian Federation; phone: (916) 319-94-91; e-mail: ShilinDV@mpei.ru

Alexey N. Vasiliev, DSc (Eng.), Professor, Chief Research Associate, Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 5 Perviy Institutskiy Dr., Moscow, 109428, Russian Federation; e-mail: vasilev-viesh@inbox.ru