

Е. Л. Жилич, Ю. Н. Рогальская, В. В. Никончук, Д. В. Бернацкая

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: npc_mol@mail.ru*

ОБРАБОТКА ПОТОКА ДАННЫХ ПРИ РОБОТИЗАЦИИ ДОЕНИЯ

Аннотация. Определение метода обнаружения сосков при разработке отечественных роботизированных систем доения.

Ключевые слова: манипулятор, автоматизированная система, изображение, алгоритм, камера, сосок, алгоритм сглаживания.

E. L. Zhilich, Yu. N. Rogalskay, V. V. Nikonchuk, D. V. Bernatskaya

*RUE “SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization”
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: npc_mol@mail.ru*

DATA FLOW PROCESSING DURING MILKING ROBOTIZATION

Abstract. Determination of the nipple detection method in the development of domestic robotic milking systems.

Keywords: manipulator, automated system, image, algorithm, camera, nipple, smoothing algorithm.

Введение

В Республике Беларусь более 4 000 молочно-товарных ферм и комплексов, из них оборудованы доильными залами и роботами 1 670 объектов или 41 % от общего количества. На индустриальных фермах содержится почти 2/3 поголовья молочных коров и производится более 60 % от всего валового производства молока общественного сектора. На промышленную технологию производства молока в Брестской области переведено 50 % от всех молочно-товарных ферм и комплексов, в Витебской – 17 %, в Гомельской – 43 %, в Гродненской – 47 %, в Минской – 38 % и в Могилевской области – 50 %.

Мировой опыт молочного скотоводства подтверждает устойчивую тенденцию развития роботизированного доения как одного из перспективных направлений, обладающих целым рядом очевидных преимуществ. В то же время результаты, полученные на фермах и комплексах Беларуси, вынуждают задумываться над необходимостью выработки объективных критериев оценки эффективности и трансформации подходов, которые должны быть направлены на создание и дальнейшее развитие роботизированного доения, адаптированного к условиям Республики Беларусь.

Роботы для автоматизированной системы доения выполняют множество функций, а именно: подготавливают вымя перед подключением доильного аппарата; находят соски и подключают к ним доильный аппарат; своевременно снимают доильный аппарат; дезинфицируют сосковую резину; подсчитывают количество шагов коровы, сделанных ею после последней дойки (выявление коров в охоте). Из второстепенных функций – роботы подают сигналы селекционным воротам для выборки проблемных коров, измеряют удой молока, кислотность, температуру, количество соматических клеток и т. д.

Основная часть

С целью разработки отечественной роботизированной системы доения и в рамках импортозамещения РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» совместно с ООО «Полиэфир АГРО» ведутся активные работы, направленные в первую очередь на позиционирование доильного оборудования на вымени коров.

Общий вид и 3D-модель разработанной системы позиционирования представлены на рисунке 1. В общем виде она состоит из механизма позиционирования, плеча, каретки, станины, ремня, противовеса.

За прототип трехмерного манипулятора принято техническое решение фирмы GEA Farm Technologies Mlone, так как оно имеет возможность интеграции не только в моноблочные системы доения, но и применимо в доильных залах типа «Карусель» и «Параллель», и обладает высокой степенью надежности и простотой конструкции по сравнению с другими производителями. 3D-модель манипулятора (вид сверху) представлена на рисунке 2.

Роботизированный манипулятор представляет собой систему, которая обеспечивает диапазон и свободу движений, необходимые для работы с широким спектром различных сосков: низко висящих или высоко расположенных, далеко отстоящих друг от друга или изогнутых под углом в 45 градусов. Маневренность манипулятора также важна для компенсации движения коров.

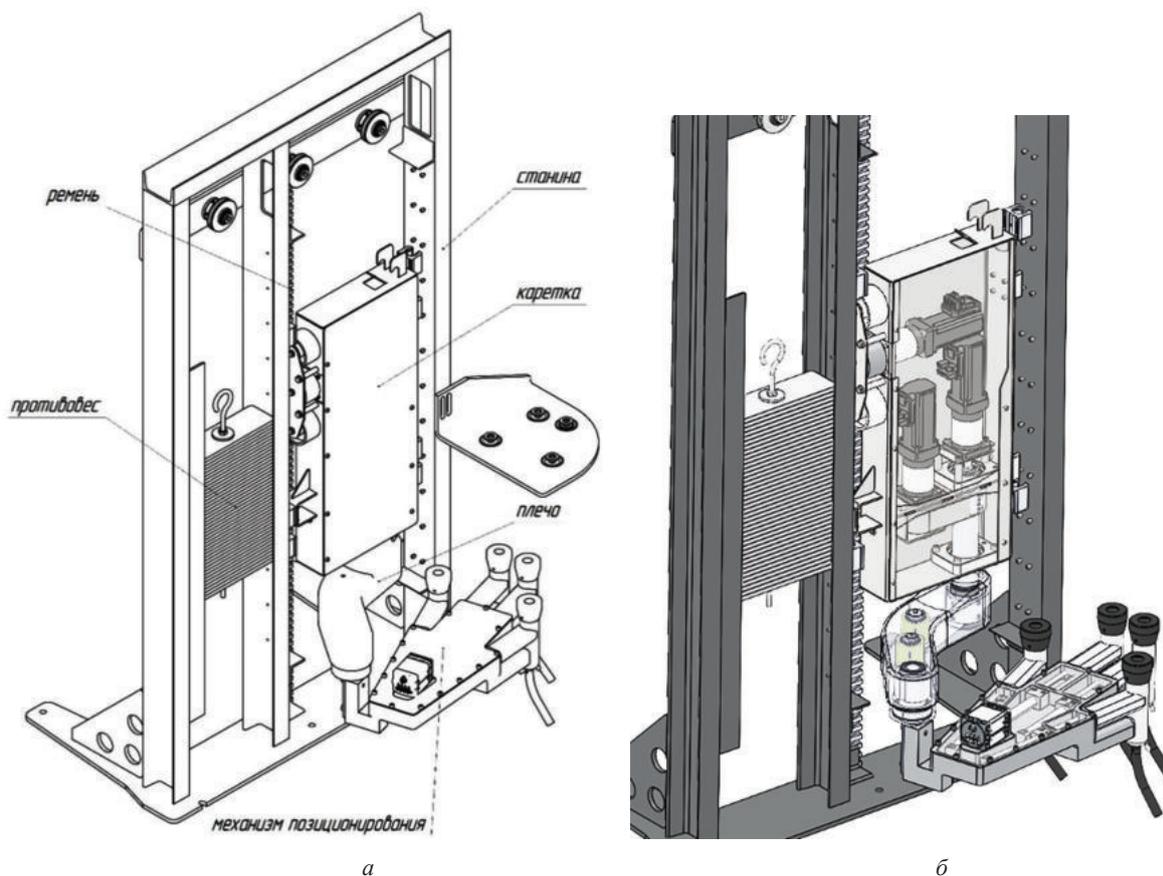


Рисунок 1 – Система позиционирования КПРД: а – общий вид; б – 3D-модель

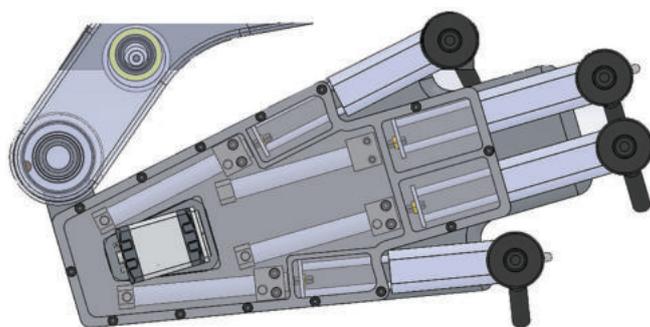


Рисунок 2 – 3D-модель манипулятора доения (вид сверху)

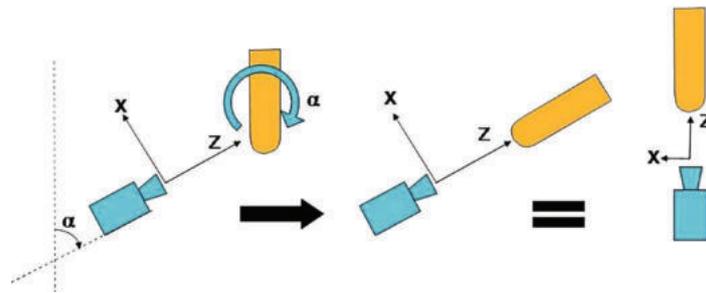


Рисунок 3 – Нормализация угла обзора

Управление системой позиционирования осуществляется с помощью разработанного программного обеспечения с учетом выбранного метода.

Метод позиционирования состоит из ряда этапов обработки и анализа изображений, которые вместе образуют общий алгоритм обнаружения сосков. В качестве входных алгоритм использует трехмерный набор данных с 3D-камеры, а также информацию о положении и ориентации камеры, полученную от роботизированного манипулятора, на котором установлена камера. В результате обработки входных данных алгоритм генерирует набор обнаруженных сосков, включая их положение, размер и ориентацию [1].

С точки зрения обработки изображения оптимальное расположение камеры – прямо под выменем коровы, смотрящая вверх на сосок. Это обеспечит обзор всего вымени и возможность измерения точек данных со всех сторон вымени [2]. Однако из-за особенностей расположения роботизированной руки и физиологии коровы камера будет расположена позади коровы и смотрит на соски под углом, который отклоняется от вертикали на угол α . Первый шаг алгоритма – компенсация этого угла (нормализация угла обзора, рисунок 3).

Поворот на α градусов вокруг оси x с последующим поворотом на β градусов вокруг оси y вычисляется с помощью матрицы вращения R :

$$R = \begin{bmatrix} \cos(\beta) & 0 & \sin(\beta) \\ \sin(\alpha)\sin(\beta) & \cos(\alpha) & -\sin(\alpha)\cos(\beta) \\ -\cos(\alpha)\sin(\beta) & \sin(\alpha) & \cos(\alpha)\cos(\beta) \end{bmatrix}. \quad (1)$$

С помощью XYZ-представления точек данных применяется вращение:

$$XYZ_{\text{вращ}} = XYZ \cdot R. \quad (2)$$

Для получения исходного набора данных определяется обратное вращение путем интегрирования исходной матрицы.

$$XYZ = XYZ_{\text{вращ}} \cdot R^{-1}. \quad (3)$$

Несмотря на то, что набор данных повернут и соски висят близко к вертикали, эти операции только имитируют вид прямо из-под соска и не восстанавливают ранее скрытые части.

Также на обнаружение сосков влияют помехи при видеонаблюдении (шумы). Для удаления шума из изображений используется низкочастотная фильтрация. Шум имеет гораздо более высокую частоту, чем основные характеристики изображения. В промышленном контроллере используется усредняющий фильтр, производится вычисление среднего значения интенсивности пикселя в области каждого пикселя для вычисления конечного отфильтрованного значения в каждом пикселе.

Для устранения размытости усредняющего фильтра используется алгоритм сглаживания каналов.

В начале работы алгоритма каждый пиксель рассматривается с равной вероятностью как содержащий сосок или кончик соска. В первую очередь определяются точки интереса в наборе данных – места, которые с большой вероятностью могут быть кончиками сосков. Поиск точек интересов осуществляется путем поиска точек локального минимума в данных (рисунок 4).

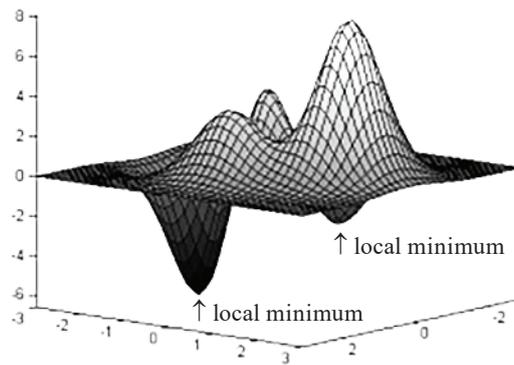


Рисунок 4 – Поиск локальных минимумов

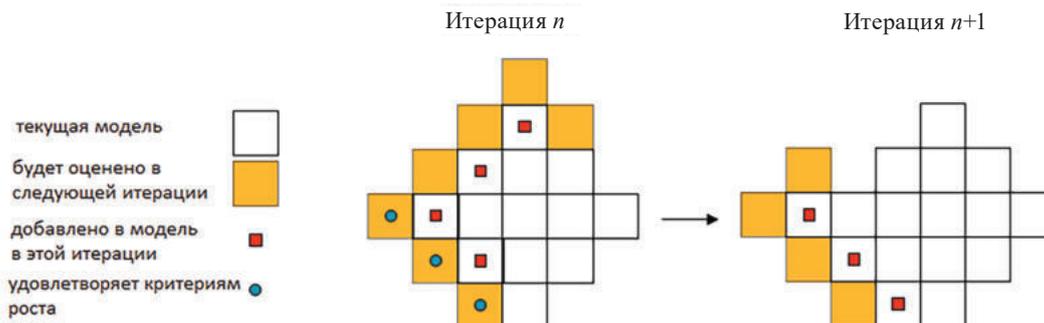


Рисунок 5 – Модифицированный метод роста области

Прежде всего определяются стартовые (начальные) точки. Начиная с начальной точки, область интереса постепенно увеличивается с помощью дополнительных пикселей, которые выполняют заданное условие или соответствуют определенным схожим свойствам с начальной точкой.

Для оценки соседних пикселей выбирается меньшее подмножество пикселей. Пиксели, которые будут оцениваться в следующем шаге, состоят из пикселей тех точек, которые в настоящее время находятся в модели и которые добавлены в модель во время предыдущей итерации (рисунок 5).

В этом методе есть два критерия: критерий роста и критерий остановки. Критерий роста основан на заданных параметрах формы соска, а точнее цилиндр, ограничивающий объем, окружающий кончик. Размер ограничивающего цилиндра определен как 2 см в диаметре и 5 см в высоту. Если точка находится внутри цилиндра или на заданном вертикальном или горизонтальном расстоянии от кончика соска, то точка считается принадлежащей соску и добавляется к области. При этом используется локальная система координат с началом в кончике соска и главной осью, проходящей через центр соска, чтобы компенсировать наклон соска.

Заданные параметры соска дают алгоритму предположения об ожидаемом результате, который используется в качестве критерия остановки. Когда больше нет пикселей, удовлетворяющих критерию роста, область больше не будет увеличиваться.

После достижения критерия остановки мы получаем двоичную модель, которая делит пиксели на принадлежащие соску и не принадлежащие ему. Эта модель используется для извлечения полного набора точек, принадлежащих соску.

Далее функцией подтверждения эти наборы точек сравниваются с заданными наборами вычисляемых свойств, которые соответствуют фактическим характеристикам реальных сосков. Это высота, ширина, ориентация, плотность точек, удлинение и другие свойства.

В конце алгоритм определяет по массиву точек кончика соска их положение и наклон.

Промышленный контроллер, получив от алгоритма определения положения сосков, дает команды манипулятору на передвижение в соответствующие координаты.



Рисунок 6 – Данные с 3D-камеры

В ходе подключения стаканов животное может менять положение в боксе и положение сосков будет меняться, поэтому алгоритм работает постоянно, отправляя команды на корректировку положения манипулятора.

Вследствие вариаций точности глубины и динамического диапазона измеренное расстояние для черных и белых объектов будет немного отличаться на одной и той же дистанции. Изучив эти изменения и составив зависимости различия, установлена необходимость компенсации программно. Для камеры выполняется черно-белая калибровка, она может быть скорректирована в зависимости от желаемого рабочего диапазона. Данные, полученные с 3D-камеры при обработке разработанным программным обеспечением, представлены на рисунке 6.

Источники света – массив из инфракрасных светодиодов ближнего света, которые модулируются синусоидально с частотой 20 МГц. Излучаемый свет имеет длину волны 850 нм (ближний инфракрасный диапазон) и невидим для человеческого глаза. При идеальных условиях точность камеры – до 3 мм. Эта точность будет снижаться по мере удаления от камеры и ухудшения условий освещения.

После попадания манипулятора в область захвата 3D-камера считывает данные и передает их на промышленный контроллер. Программное обеспечение для обработки изображений использует полученную информацию о форме вымени и сосков, определяет, что объект действительно является соском, направляет манипулятор к месту расположения соска.

Визуальная система настроена на работу на близком расстоянии, поэтому камера должна быть достаточно близко к вымени, когда начинается процесс обнаружения. Для того чтобы система знала, где предварительно расположить камеру, первоначально система должна быть вручную обучена для каждой коровы, которую она будет доить. Во время процесса обучения манипулятор управляется вручную с помощью джойстика, доильные стаканы подключаются по одному за раз, система обучается и записывает все данные в базу по каждому конкретному животному. Положения сосков сохраняются как предустановленные для последующего полностью автоматического доения.

Заключение

Возможности обработки полученных XYZ-данных на сегодняшний день достаточно ограничены. Большая часть анализа должна производиться после преобразования данных в изображение, однако это может привести к заминкам при позиционировании доильного оборудования, что, в свою очередь, приведет к нарушению регламента доения. При разработке роботизированных систем доения необходимо уделить особое внимание нахождению и распознаванию сосков, поскольку без данной опции осуществить процесс доения будет невозможно.

Список использованных источников

1. Хуршудов, А. А. Построение трехмерных карт признаков на основе видеофрагментов методом оптического потока / А. А. Хуршудов // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2015. – № 2–3(217–222). – С. 115–124. – DOI: 10.5862/JCSTCS.217-222.10. – EDN TZGOWX.
2. Юрочка, С. С. Разработка методов определения биометрических и температурных параметров вымени лактирующих животных на основе оптических технологий : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Юрочка Сергей Сергеевич ; ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ». – М., 2022. – 24 с.