

Выводы

1. Обоснована схема работы исполнительного устройства для разделения потока плодов при автоматизированной их сортировке на четыре сорта, использованная при разработке технологической линии сортировки и фасовки яблок ЛСП-4.

2. Установлена зависимость времени начала и конца подачи управляющего сигнала на соленоиды разделения потока плодов, обеспечивающая точность срабатывания плодов 99,8% в диапазоне скоростей главного конвейера от 0,15 до 0,87 м/с.

Список использованных источников

1. Гурьянов, Д. В. Распознавание качества плодов / Д. В. Гурьянов // Робототехника в сельскохозяйственных технологиях : материалы Междунар. науч.-практ. конф., 10–12 нояб. 2014 г. / Мичур. гос. аграр. ун-т. – Мичуринск, 2014. – С. 177–182.
2. Применение методов люминесцентного анализа в системах технического зрения при сортировании плодов / М. В. Кирина [и др.] // Робототехника в сельскохозяйственных технологиях : материалы Междунар. науч.-практ. конф., 10–12 нояб. 2014 г. / Мичур. гос. аграр. ун-т. – Мичуринск, 2014. – С. 188–191.
3. Применение систем технического зрения в машинных технологиях в садоводстве / Г. И. Личман [и др.] // Техника и оборудование для села. – 2017. – № 6. – С. 10–17.
4. Бусаров, Н. А. Сбор и товарная обработка плодов и ягод / Н. А. Бусаров. – М. : Колос, 1970. – 247 с.
5. Гурьянов, Д. В. Повышение эффективности сортирования яблок на основе цветных телевизионных датчиков: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02 / Д. В. Гурьянов ; Мичур. гос. аграр. ун-т. – Зерноград, 2004. – 19 с.
6. Рудник, Ю. А. Робототехническая система для сортирования яблок / Ю. А. Рудник, С. В. Журавлев // Робототехника в сельскохозяйственных технологиях : материалы Междунар. науч.-практ. конф., 10–12 нояб. 2014 г. / Мичур. гос. аграр. ун-т. – Мичуринск, 2014. – С. 32–34.
7. Разработка алгоритмов системы распознавания ягод земляники садовой при роботизированном сборе / Д. О. Хорт [и др.] // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2020. – № 1 (38). – С. 133–141.
8. Яблоки свежие поздних сроков созревания. Технические условия: СТБ 2288-2012. – Введ. 08.11.12. – Минск : Госстандарт, 2012. – 11 с.
9. Казакевич, П. П. Система технического зрения распознавания дефектов яблок: обоснование, разработка, испытание / П. П. Казакевич, А. Н. Юрин, Г. А. Прокопович // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2021. – Т. 59, № 4. – С. 488–500.
10. Юрин, А. Н. Снижение затрат труда применением системы технического зрения при сортировке яблок / А. Н. Юрин, В. В. Викторovich, А. А. Игнатчик // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. темат. сб. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2022. – Вып. 55. – С. 88–95.
11. Юрин, А. Н. Разработка системы технического зрения для распознавания дефектов плодов различных культур технологической линии сортировки и фасовки яблок ЛПС-4 / А. Н. Юрин [и др.]. // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-тех. конф., Минск, 17–18 октября 2019 г. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2019. – С. 98–103.

УДК 631.362

Поступила в редакцию 19.10.2022
Received 19.10.2022

А. Н. Юрин

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

ФОРМИРОВАНИЕ ПОТОКА ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СОРТИРОВКЕ ПЛОДОВ

Аннотация. В данной статье приведен анализ способов формирования потока плодов при их сортировке оптическим методом посредством системы технического зрения. Обоснован однопризнаковый тип потока с равномерным расстоянием между сортируемыми плодами и обоснован их шаг.

Ключевые слова: плоды, поток плодов, однопризнаковый тип потока, математическое ожидание, размер плода, шаг потока.

A. N. Yurin

RUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization"
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: anton-jurin@rambler.ru

FLOW FORMING IN AUTOMATIC SORTING FRUIT

Abstract. This article provides an analysis of the methods for forming a flow of fruits during their sorting by an optical method using a technical vision system. Justified one indicative type of flow with a uniform distance between sorted fruits and substantiated their step.

Keywords: fruit, fruit flow, one-attribute type of flow, mathematical expectation, fruit size, flow step.

Введение

Повышение производительности труда при сортировании плодов семечковых культур возможно за счет сокращения времени осмотра плода с помощью автоматических сортировочных устройств. Такая сортировка должна осуществляться сканирующим устройством без участия или с частичным участием человека [1–8].

Из всех существующих методов идентификации качества плодов наиболее подходящим для автоматизации является метод оптического контроля, как бесконтактный метод, обеспечивающий высокую производительность и точность измерения контролируемых параметров.

Технологический процесс автоматической сортировки плодов состоит из трех основных этапов: формирования потока, классификации и механического разделения потока плодов на сорта.

На начальном этапе механическими устройствами формируется определенный вид потока плодов, который затем поступает в камеру оптического сортировщика, где происходит фотографирование плодов, и электронный блок управления распознает параметры плодов и выносит решение о присвоении плоду соответствующего класса. На выходе из модуля оптического сортировщика по команде электронного блока управления оптическим сортировщиком происходит механическое разделение единого потока плодов.

При этом способ формирования потока плодов и подача их в модуль оптического сортировщика для классификации во многом определяют конструктивные требования и режимы работы системы технического зрения в целом.

Поэтому определение типа формирования потока плодов и его основных параметров является важным этапом при создании автоматизированных средств контроля качества плодов.

Основная часть

Основная характеристика потока плодов – распределение плодов в физическом пространстве. Потоки, поступающие на контроль, можно представить в виде моделей, характеризуемых математическим ожиданием, дисперсией расстояния между центрами плодов и размерностью пространства (таблица). Наиболее прост по описанию поток в одномерном пространстве с равноинтервальной подачей. Второй тип подачи отличается от первого переменным интервалом между центрами контролируемых плодов. На плоскости, то есть в двумерном пространстве, возможны разные сочетания потоков одномерного пространства с переменным и постоянными интервалами между плодами по осям X и Y . Кроме того, в каждом ряду на плоскости возможны свои параметры интервалов. Еще больше вариантов открывается при подаче потока в трехмерном пространстве. Аналогично вышерассмотренным типам подачи в этом случае возможны все сочетания $\Delta_i = var$ и $\Delta_j = const$ в трех измерениях.

Из приведенных в таблице типов потока очевидно, что наиболее просто поддающимся автоматизации является одномерный поток плодов с $\Delta_x = const$, т.к. при переменном расстоянии между плодами в потоке для корректной работы системы механического разделения отсортированных плодов необходимо применение дополнительных систем слежения за плодами, определяющих их точное положение после выхода из модуля оптического сортировщика.

Типы потоков в одно- и двухмерном пространствах

| № п/п | Тип потока | Расстояние между плодами | Характеристика потока | |
|-------|------------|--|------------------------------------|--|
| | | | математическое ожидание расстояний | дисперсия распределения расстояний |
| 1 | Одномерный | $\Delta_x = const$ | $ \Delta_x $ | $ 0 $ |
| 2 | Одномерный | $\Delta_x = var$ | $ m_x $ | $ \sigma^2 $ |
| 3 | Двухмерный | $\Delta_x = const$ $\Delta_y = const$ | $ \Delta_x $ $ \Delta_y $ | $\begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix}$ |
| 4 | Двухмерный | $\Delta_x = var$ $\Delta_y = const$ | $ m_x $ $ \Delta_y $ | $\begin{vmatrix} \sigma_{11}^2 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix}$ |
| 5 | Двухмерный | $\Delta_x = const$ $\Delta_y = var$ | $ \Delta_x $ $ m_y $ | $\begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{22}^2 \end{vmatrix}$ |
| 6 | Двухмерный | $\Delta_x = var$ $\Delta_y = var$ | $ $ | $\begin{vmatrix} \sigma_{11}^2 & \sigma_{12}^2 \\ \sigma_{21}^2 & \sigma_{22}^2 \end{vmatrix}$ |

Таким образом, рациональным является обеспечение **одномерного потока плодов**.

Необходимо выбрать признаки, по которым выстраивается поток. Возможно использование одного, двух и более признаков, при которых системы подачи плодов будут **одно-, двухпризнаковыми** и т.д.

В соответствии с СТБ 2288-2012 «Яблоки свежие поздних сроков созревания. Технические условия» [3] плоды сортируются по размеру и наличию дефектов от вредителей, болезней и механических повреждений. При этом яблоки большинства сортов имеют шарообразную форму, которую можно охарактеризовать средним диаметром. При этом дефекты плодов, как правило, не вызывают значительного изменения формы яблока или его размера. Следовательно, основной физической величиной, характеризующей яблоки, является средний диаметр, который в дальнейшем взят за основу для определения параметров системы формирования потока плодов.

Таким образом, для выстраивания потока плодов при автоматической сортировке яблок достаточно использования одного признака – среднего диаметра яблок.

При этом размер плодов может изменяться в широких пределах. Так в соответствии с СТБ 2288-2012 ко второму сорту яблок относятся плоды с диаметром не менее 40 мм. В то же время наибольший размер плодов может достигать 95 мм. Таким образом, диапазон изменения размеров плодов принимаем от 40 до 95 мм.

Плотность вероятности распределения размеров подчиняется в большинстве случаев нормальному закону:

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

где X , m_x , σ – размер, математическое ожидание и разброс размеров плодов.

Для обеспечения автоматической сортировки в однопризнаковой системе подачи необходимо решение задачи поштучной подачи плодов, которая сводится к прохождению их через заданную ячейку. При этом через нее должен пройти любой плод, только два плода одновременно пройти не должны. Такая ячейка может быть описана постоянной плотностью вероятности:

$$f(x) = \frac{1}{h_b - h_n}, \quad (2)$$

где $f(x)$ – плотность распределения вероятности пропускной способности ячейки; h_b , h_n – верхняя и нижняя границы пропускной способности ячейки.

Плотность распределения вероятности выстраивания плодов по одному в общем случае может быть определена как плотность распределения системы независимых случайных величин $p(x)$ и $f(x)$. Вероятность выстраивания по одному в общем случае может быть определена по формуле:

$$P_{\text{ед}} = \int_{h_n}^{h_b} p(x) f(x) dx. \quad (3)$$

Для нормального закона распределения плотности вероятности выстраивания плодов $p(x)$ с учетом выражения (2) вероятность выстраивания плодов имеет вид:

$$P_{\text{ед}} = \frac{1}{2} \left[\Phi \left(\frac{h_b - m_x}{\sigma} \right) - \Phi \left(\frac{m_x - h_n}{\sigma} \right) \right],$$

где $\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt.$

Из выражения (3) вытекает, что наложение функции $p(x)$ и $f(x)$ позволяет выявить три области: от 0 до h_n – вероятность выстраивания плодов по два и более, от h_n до h_b – поштучно, от h_b до ∞ – вероятность, что плод не пройдет через ячейку из-за большого размера, то есть возможен затор. Плоды небольших размеров, оказываясь одновременно в зоне поштучного формирования, могут образовывать «двойки», то есть проходить по два сразу. Считая, что одновременно можно наблюдать в зоне контроля не более двух плодов, вероятность появления «двоек» можно определить по формуле:

$$P_{\text{дв}} = \left[k_{\text{дв}} \int_0^{h_n} p(x) dx \right]^2,$$

где $k_{\text{дв}}$ – коэффициент появления «двойки».

В расчетах принимаем $k_{\text{дв}} = 1$.

В связи с тем, что плоды размером, близким к h_b , с трудом проходят через формирующее устройство, получается много «пропусков», то есть интервал между плодами дискретно меняется от Δ до $n\Delta$ (где $n = 2, 3, \dots$). Это снижает плотность потока и производительность. Поэтому целесообразно соблюдать условие:

$$h_b \approx (1,1 \dots 1,2)x_{\text{max}}.$$

Исходя из выражения (1), можно определить h_b с учетом дисперсии

$$h_b = m + \acute{\epsilon}\sigma,$$

где $\acute{\epsilon}$ – число, определяющее доверительный интервал в сторону максимума.

Соответственно

$$h_n = \frac{h_b}{2} = \frac{m}{2} + \frac{\acute{\epsilon}\sigma}{2}.$$

С другой стороны, для систем поштучной подачи по одному признаку

$$h_n \leq x_{\text{min}} = m - \grave{\epsilon}\sigma.$$

где $\grave{\epsilon}$ – число, определяющее доверительный интервал в сторону максимума.

Исходя из изложенного, принимаем однопризнаковый тип потока с постоянным расстоянием между плодами. В данном случае, зная размеры наибольших плодов, подлежащих сортировке, определяем размер ячейки устройства для формирования потока $h_b = 10,5$ см.

Заклучение

1. Обоснован одномерный поток плодов, основанный на одном признаке плода, среднем диаметре, с равномерным расстоянием между плодами в системе координат с равномерным расстоянием между сортируемыми плодами.

2. Определен рациональный размер шага ячеек для устройства формирования потока плодов, равный $h_b = 10,5$ см.

Список использованных источников

1. Бобров, В. П. Применение систем технического зрения / В. П. Бобров // Механизация и автоматизация пр-ва. – 1989. – № 9. – С. 23–25.
2. Бусаров, Н. А. Сбор и товарная обработка плодов и ягод / Н. А. Бусаров. – М.: Колос, 1970. – 247 с.
3. Яблоки свежие поздних сроков созревания. Технические условия: СТБ 2288-2012. – Введ. 08.11.12. – Минск: Госстандарт, 2012. – 11 с.
4. Гурьянов, Д. В. Повышение эффективности сортирования яблок на основе цветных телевизионных датчиков: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02 / Д.В. Гурьянов; Мичур. гос. аграр. ун-т. – Зеленоград, 2004. – 19 с.
5. Сельское хозяйство Республики Беларусь: стат. сб. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – Минск: Нац. стат. ком. Респ. Беларусь, 2019. – 235 с.
6. Гордеев, А. С. Автоматизация товарной обработки плодов / А. С. Гордеев, В. И. Горшенин // Плодоовощное хозяйство. – 1985. – №2. – С.48–51.
7. Гордеев, А.С. Автоматизированная обработка яблок: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.13.07 / А.С. Гордеев; Моск. гос. агроинж. ун-т. – М., 1996. – 42 с.
8. Старовойтов, В. И. Автоматизация контроля качества картофеля, овощей и плодов / В. И. Старовойтов, А. М. Башилов, А.Л. Андержанов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 197 с.

УДК 631.362

Поступила в редакцию 19.10.2022
Received 19.10.2022

А. Н. Юрин

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

СОЗДАНИЕ ОБУЧАЮЩЕЙ ВЫБОРКИ ДЛЯ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

Аннотация. В данной статье рассмотрен процесс создания обучающей выборки для обучения искусственной нейронной сети системы технического зрения распознаванию дефектов плодов семечковых культур.

Ключевые слова: яблоко, изображение, дефект, лист, плодоножка, чашелистик, парша, градобоина, нажим, гниль, распознавание, обучающая выборка, искусственная нейронная сеть, система технического зрения.

A. N. Yurin

*RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: anton-jurin@rambler.ru*

CREATING A TRAINING SAMPLE FOR AN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK OF A VISION SYSTEM

Abstract. This article describes the process of creating a training sample for training an artificial neural network of a technical vision system to recognize defects in fruits of pome crops.

Keywords: apple, image, defect, leaf, peduncle, sepal, scab, hailstone, pressure, rot, recognition, training sample, artificial neural network, vision system.