

Belyakov Stanislav Leonidovich – Southern Federal University; e-mail: beliacov@yandex.ru; Taganrog, Russia; phone: +78634371695; the department of information and analytical security system; professor.

Golova Nikita Alexandrovich – e-mail: ngolova@sfedu.ru; graduate student.

Yavorchuk Kirill Sergeevich – e-mail: kyavorchuk@sfedu.ru; graduate student.

Rosenberg Igor Naumovich – JSC "NIAS"; e-mail: i.yarosh@vniias.ru; Moscow, Russia; scientific supervisor of JSC "VNIAS"; professor.

УДК 658.51.011.5:664.6

DOI 10.18522/2311-3103-2022-2-236-249

Е.В. Заргарян, Ю.А. Заргарян, А.Я. Номерчук

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ВЗВЕШИВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФИЛЬТРА КАЛМАНА

В настоящее время в связи с повсеместной компьютеризацией разработка систем автоматизированного управления является актуальной. В связи с развитием малого бизнеса приобретение промышленно выпускаемых систем является весьма дорогостоящим решением. Возможно создание аналогичных систем управления на основе недорогих микропроцессорных комплектов (в данном конкретном случае используется микропроцессорный комплект K1816VE35). В дальнейшем подобную систему нетрудно будет усовершенствовать, а также легко реализовать сопряжение с различными электронно-вычислительными машинами (управление с персонального компьютера). Разработке подлежит система измерения и регулирования сыпучего сырья (система автоматизированного взвешивания), обеспечивающая управление автоматикой пневмотранспорта с 2-х скоростным ротационным дозатором, посредством которого сыпучее сырье подается на весовой бункер, подвешенный на тензодаточное устройство. Измерения веса сыпучей массы в бункере весов, с последующим управлением автоматикой выгрузки сыпучего сырья из бункера. Рентабельность любой промышленной операции, включающей взвешивание сырья, незавершенного производства и готовой продукции, напрямую зависит от точности данных о весе. Однако даже при использовании высокоточного оборудования для взвешивания метод сбора, записи и обработки данных о весе для системы микро ингредиентов может быть подвержен ошибкам и неточностям. Это может вызвать потенциальную утечку доходов, которую трудно обнаружить и проверить. Во многих случаях предполагается, что причина проблемы связана с весовым оборудованием, тогда как на самом деле это связано с традиционной системой сбора данных и управления. На многих заводах, где смешивают сыпучие продукты партиями, дозирование весов представляет собой ручную, трудоемкую операцию, при которой ингредиенты взвешиваются по отдельности перед загрузкой в blender или другую технологическую емкость. Значительное количество таких заводов может выиграть от установки автоматизированной системы взвешивания и дозирования.

Фильтр Кальмана; процесс взвешивания; моделирование процесса; взвешивающий конвейер; математическая модель.

E.V. Zargaryan, Yu.A. Zargaryan, A.Ya. Nomerchuk

EVALUATION OF THE STATE OF DYNAMIC WEIGHING BY THE KALMAN FILTER METHOD

Currently, due to widespread computerization, the development of automated control systems is relevant. Due to the development of small businesses, the purchase of commercially available systems is a very expensive solution. It is possible to create similar control systems based on inexpensive microprocessor kits (in this particular case, the K1816VE35 microprocessor kit is used). In the future, such a system will not be difficult to improve, and it is also easy to implement

interfacing with various electronic computers (control from a personal computer). A system for measuring and regulating bulk raw materials (an automated weighing system) is to be developed, which provides control of the pneumatic transport automation with a 2-speed rotary dispenser, through which bulk raw materials are fed to a weighing hopper suspended on a load-bearing device. Measuring the weight of the bulk mass in the hopper of the scales, followed by automatic control of unloading of bulk raw materials from the hopper. The profitability of any industrial operation involving the weighing of raw materials, work in progress and finished products directly depends on the accuracy of the weight data. However, even when using high-precision weighing equipment, the method of collecting, recording and processing weight data for the micro ingredients system may be subject to errors and inaccuracies. This can cause a potential revenue drain that is difficult to detect and verify. In many cases, it is assumed that the cause of the problem is related to the weighing equipment, whereas in fact it is related to the traditional data collection and management system. In many factories where bulk products are mixed in batches, dosing scales is a manual, time-consuming operation in which the ingredients are weighed separately before loading into a blender or other technological container. A significant number of such plants can benefit from the installation of an automated weighing and dosing system.

Kalman filter; weighing process; process modeling; weighing conveyor; mathematical model.

Введение. В рамках ожидаемого усовершенствования весовой установки требуется уменьшить период выравнивания сигнала, чтобы сигнал достиг устойчивого состояния до того, как будут отобраны данные для оценки веса [1, 2, 6, 15].

Временные ряды данных показаний тензодатчиков представлены от нескольких составляющих с тремя различными скоростями.

Динамическое взвешивание отличается от статического тем, что при статическом взвешивании вес определяется, когда взвешиваемый продукт неподвижен, а при динамическом взвешивании продукты взвешиваются во время их движения. В таких системах взвешивания обычно используются датчики силы. При статическом взвешивании взвешиваемый объект помещается неподвижно на платформу, и для оценки веса используется устойчивое состояние сигнала датчика. Однако при динамическом взвешивании сигнал датчика может не достигать устойчивого состояния в течение короткого времени взвешивания, поэтому вес оценивается, например, путем усреднения нижней части сигнала после его прохождения через фильтр низких частот. Полученные в результате оценки массы могут быть неточными для более тяжелых предметов. Полезно рассмотреть более эффективные способы оценки истинного веса в приложениях высокоскоростного взвешивания.

Предлагаемый метод заключается в использовании алгоритма 1-D фильтра Калмана для оценки оптимального состояния сигнала. Улучшенный сигнал устойчивого состояния затем используется для оценки веса. Предложенный метод был протестирован с использованием данных, собранных с нагрузочной ячейки при прохождении над ней различных грузов. Результаты показывают значительное улучшение качества отфильтрованного сигнала, который затем используется для улучшения оценки веса.

Основная часть. Контрольные весы – это устройство, которое проверяет вес продукции. Оно интегрируется в производственную линию и обычно находится в конце производственной линии (рис. 1). Существует несколько различных конструкций в зависимости от требований к их применению. Основными компонентами контрольных весов являются подающая секция, весовая платформа и выходящая секция [3–10].

Изделия подаются на взвешивающий конвейер с подающего конвейера, на котором обычно установлен датчик силы. Сигнальный процессор получает сигнал от датчика силы и оценивает значение веса для продукта, который проходит через весовой стол.

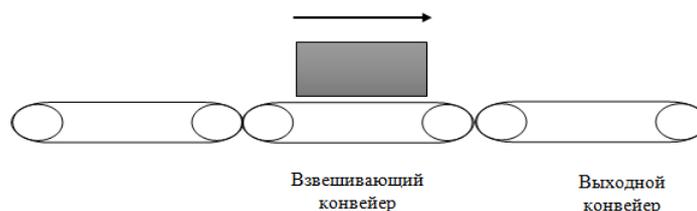


Рис. 1. Расположение контрольных весов

Математическая модель. В существующей системе, продукция перевозится в отдельных контейнерах. Каждый носитель протаскивается через станцию взвешивания, которая оснащена системой с двумя тензодатчиками. Когда продукция перемещается на станцию взвешивания, вес прикладывает силу ($2mg$) к платформе, установленной на двух тензометрических датчиках, как показано на рис. 2

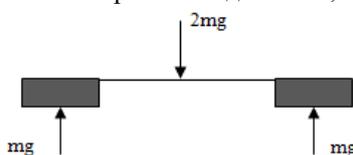


Рис. 2. Схема расположения двойного тензодатчика

Предполагается, что нагрузка распределяется поровну между двумя ячейками нагрузки.

Выходное напряжение тензодатчика усиливается и фильтруется аналоговым фильтром Баттерворта пятого порядка и сэмпляется с частотой около 4 кГц 12-битным «аналого-цифровым преобразователем» (АЦП).

Показания в фильтрованном сигнале усредняются по заданному «окну взвешивания». Это окно составляет определенный процент от полного цикла. Также указано, что текущая система достигает стандартного отклонения повторяемости менее 0,5 при перемещении 200 г со скоростью 10 элементов в секунду.

Моделирование датчика нагрузки. Тензодатчик консольно закреплен для обеспечения гибкости системы. Когда элемент и носитель прикладывают силу веса к тензодатчику, он прогибается и приходит в колебание. В литературе динамика тензодатчиков моделируется, как система пружина-масса-демпфер и математически представлена дифференциальным уравнением второго порядка.

Математическая модель разработана для одного тензодатчика. В модели также предполагается, что между элементом и тензодатчиком нет относительного движения, т.е. элемент, носитель и тензодатчик колеблются как единое целое [8, 11–12].

Входная функция представляет собой ступенчатую функцию с величиной mg , которая составляет половину общего веса элемента.

$$(M + m)x + cx + kx = mg U(t), \quad (1)$$

где c – коэффициент демпфирования, k – пружинная постоянная, m – масса элемента, M – масса оболочки, $U(t)$ – функция единичного шага.

Передаточная функция получается путем преобразования по Лапласу¹ уравнения (1):

¹ Преобразование Лапласа преобразует сигнал во временной области в частотную область, где величина и фаза определяет угол наклона сигнала. Преобразование также преобразовывает дифференциальные уравнения в простые алгебраические.

$$(M + m)(X(s)s^2 - sx(0) - x(0)) + c(sX(s) - x(0)) + kX(s) = mg U(s)$$

Передаточная функция системы:

$$H(s)=X(s)=\frac{mg}{s((M+m)s^2+cs+k)}+\frac{(M+m)(sx(0)+\dot{x}(0))+cx(0)}{s((M+m)s^2+cs+k)}. \quad (2)$$

Используя теорему о начальном значении: $\lim_{t \rightarrow 0} x(t) = \lim_{s \rightarrow \infty} sX(s)$, значение передаточной функции:

$$\lim_{s \rightarrow \infty} sX(s) = \lim_{s \rightarrow \infty} s \left[\frac{mg}{s((M+m)s^2+cs+k)} + \frac{(M+m)(sx(0)+\dot{x}(0))+cx(0)}{s((M+m)s^2+cs+k)} \right] = 0.$$

Используя теорему о конечном значении, $\lim_{t \rightarrow \infty} x(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sX(s)$, значение передаточной функции:

$$\lim_{s \rightarrow 0} sX(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \left[\frac{mg}{s((M+m)s^2+cs+k)} + \frac{(M+m)(sx(0)+\dot{x}(0))+cx(0)}{s((M+m)s^2+cs+k)} \right]$$

$$\lim_{s \rightarrow 0} sX(s) = \frac{mg}{k}. \quad (3)$$

Эти пределы описывают реакцию системы на ступенчатую функцию при $t = 0$ (начальное значение) и при $t \rightarrow \infty$ (конечное значение). Конечное значение $(\frac{mg}{k})$ также является *устойчивым значением* отклика системы.

Предполагая, что $\dot{x}(0) = 0$, и при $x(0) = 0$, формулу (2) можно переписать как,

$$H_L(s) = \frac{(\frac{mg}{k})\omega_n^2}{s(s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2)}, \quad (4)$$

где собственная частота элемента и упаковки, $\omega_n = \sqrt{\frac{k}{M+m}}$ коэффициент демпфирования, $\zeta = \frac{c\omega_n}{2k}$.

Поведение ступенчатого отклика во временной области получено с помощью частичных дробей и обратного преобразования Лапласа уравнения (4).

$$x(t) = \frac{mg}{k} - \frac{mg}{k} \frac{(2\zeta\omega_n + 1)}{\omega_n \sqrt{1-\zeta^2}} e^{-\zeta\omega_n t} \sqrt{1-\zeta^2}. \quad (5)$$

Отклик во временной области состоит, по сути, из двух частей: постоянной составляющей $\frac{mg}{k}$ и затухающей колебательной составляющей. Отклик внезапно возрастает до постоянного значения $\frac{mg}{k}$. Ожидаемое поведение выхода тензодатчика во временной области, представленное дифференциальным уравнением второго порядка, показано на рис. 3.

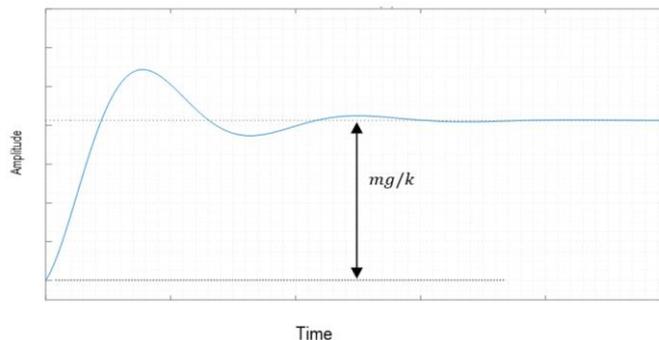


Рис. 3. Ступенчатая реакция на дифференциальное уравнение второго порядка

Фактическое выходное напряжение нефильтрованного сигнала для веса в 200 гр при 0,5 м/с и 573,1 г при 0,5 м/с 1,5 м/с показано на рис. 4,а и 4,б.

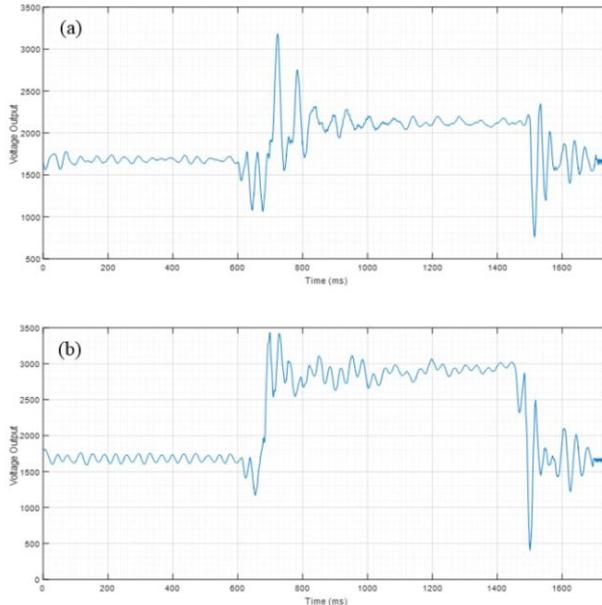


Рис. 4. Отклик тензодатчиков для калиброванной массы 200 г (а) при скорости 0,5 м/с (б) при скорости 1,5 м/с

Графики отклика модели и фактических данных показывают, что значения внезапно возрастают до нового значения (постоянная составляющая значений), где они успокаиваются с течением времени. Модель успокаивается быстрее после двух доминирующих пиков. Нефильтрованные данные для 200 г при скорости 0,5 м/с имеют схожую характеристику с откликом модели, однако наличие дополнительных колебаний заставляет график колебаться вокруг постоянного значения. 573,1 г при 0,5 м/с демонстрирует постоянную составляющую. Сигнал сильно осциллирует в течение всего времени сигнала. Для сравнения, графики фактических данных демонстрируют некоторое сходство с поведением модели с некоторыми отклонениями [13–18].

Уравнение системы второго порядка разработано на основе второго закона Ньютона, поэтому оно точно отражает динамику системы. Отклонение от этой ожидаемой модели подразумевает наличие других элементов, таких как возмущения системы, помехи и другие вибрационные шумы в системе.

Алгоритм фильтра Калмана. Фильтр Калмана – это алгоритм оптимального оценивания, названный в честь Рудольфа Е. Калмана, который разработал этот алгоритм. Рекурсивный алгоритм оптимального оценивания состояния по существу оценивает неизмеренные состояния линейных динамических систем или процессов по зашумленным наблюдениям. Расширения алгоритма были также разработаны для нелинейных систем [7].

Динамика системы, развивающаяся во времени, задается уравнением системы:

$$x_{t+1} = F_t x_t + w_t; w_t \sim N(0, \sigma_w^2),$$

где x_t : вектор состояния в момент времени t . (вектор, подлежащий оценке) ($n \times 1$); F_t : матрица перехода состояния, описывающая влияние текущего состояния x_t на

x_{t+1} , обновленное состояние ($n \times n$); w_t : вектор шума процесса, связанный с x_t ($n \times 1$). Предполагается, что шум процесса является гауссовским с нулевым средним и известной дисперсией σ_w^2 .

Уравнение измерения,

$$y_t = H_t x_t + v_t; v_t \sim N(v_t; 0, \sigma_v^2),$$

где H_t – вектор преобразования, который отображает состояния системы в область измерений ($m \times n$); V_t – матрица шума наблюдения ($m \times 1$), распределенная по гауссовскому распределению с нулевым средним и известной дисперсией σ_v^2 .

v_t и w_t некоррелированы, так что $E[v_j, w_k] = 0$.

Ниже приводится краткое описание алгоритма фильтра Калмана [10, 9–22].

Несмещенной оценкой состояния в момент времени t является \hat{x}_t , а P_t – квадратичная ошибка априорной оценки, т.е. $P_t = E[(\hat{x}_t - x_t)^2]$.

Временные обновления оценок состояния, \hat{x}_{t+1} и P_{t+1} задаются,

$$\hat{x}_{t+1} = F_t \hat{x}_t + K_t (y_t - H_t \hat{x}_t),$$

$$P_{t+1} = (F_t - K_t H_t) P_t F_t^T + \sigma_w^2,$$

где $K_t = F_t P_t H_t^T (H_t P_t H_t^T + \sigma_v^2)^{-1}$.

K_t является наиболее важным параметром фильтра и называется коэффициентом усиления Калмана. Усиление Калмана вычисляется на каждой итерации рекурсивного алгоритма таким образом, чтобы дисперсия новой оценки была минимальной. Когда новое наблюдение y_t становится доступным, вычисляется новая оценка для вектора состояния и вектора дисперсии. Начальные значения вектора состояния x_0 и вектора дисперсии P_0 должны быть определены до реализации фильтра. Однако результаты показывают, что начальные значения не оказывают существенного влияния на результат работы фильтра.

1-D подход с использованием фильтра Калмана В одномерном пространстве состояний система характеризуется скалярными величинами: x_t – оцениваемое состояние; F_t – коэффициент перехода состояния; w_t – шум процесса, связанный с x_t и являющийся скалярной переменной [15–23].

Уравнение измерения

$$y_t = H_t x_t + v_t \sim v_t : N(0, \sigma_v^2),$$

где H_t – коэффициент преобразования, отображающий состояния системы в область измерений; V_t – шум наблюдения, скалярная переменная с нулевым средним и известной дисперсией σ_v^2 .

Уравнение 5, показывает, что отклик системы во временной области состоит из двух компонентов и шума системы. Резкое увеличение значения сигнала отвечает за вес элемента.

В данном подходе основное внимание уделяется получению увеличения значения сигнала с помощью упрощенного режима отклика, как показано ниже.

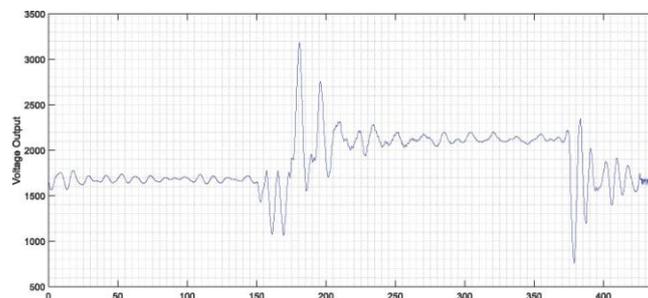


Рис. 5. График нефильтрованных данных для 200 г, движущихся со скоростью 0,5 м/с

Пунктирная линия, отмеченная черным цветом — это упрощенный ответ, который показывает изменение напряжения при нагружении тензодатчика элементом.

Данные разделены на две части:

Между А и В, ненагруженный реакция

Между С и D – нагруженная реакция (постоянное состояние ступенчатой функции).

В предлагаемом методе используется выбранный набор данных. Для начала и окончания выборки веса используются два оптических датчика положения. Когда первый датчик блокируется, подается сигнал на сбор данных о весе, а когда блокируется второй датчик, выборка данных о весе заканчивается. Данные, отобранные между сигналами датчиков, используются для оценки веса.

Реакции под нагрузкой и без нагрузки рассматриваются как два набора данных временного ряда. Устойчивое значение каждого из них оценивается отдельно, а разница между двумя устойчивыми значениями может быть использована для оценки массы элемента.

Временной отклик состоит из колебательной динамики, постоянной динамики и шума системы. Для оценки лежащей в основе постоянной динамики используется 1-д фильтр Калмана, и этот подход предполагает, что колебательная динамика и шум являются стохастическим входом для фильтра Калмана.

Модель пространства состояний дискретного времени используется для данных временного ряда, отбираемых через регулярные интервалы времени. Разработка модели пространства состояний объясняется ниже.

Для получения постоянного состояния в качестве модели системы используется постоянная динамическая модель. Дисперсия шума процесса, σ_w была установлена равной нулю, предполагая, что нет несоответствий между моделью и ожидаемым постоянным состоянием [18].

$$x_{t+1} = x_t + w_t; w_t \sim N(0, \sigma_w), \text{ где } \sigma_w = 0.$$

Уравнение измерения одномерной модели пространства состояний было задано уравнением.

$$y_t = x_t + v_t; v_t \sim N(0, \sigma_v).$$

В целом, предлагаемая модель пространства состояний выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} x_{t+1} &= x_t \\ y_t &= x_t + v_t; v_t \sim N(0, \sigma_v), \end{aligned}$$

где σ_v – погрешность измерения, получена из паспорта датчика; x_0 – первое показание данных, отобранных между датчиками положения; P_0 – квадратичная ошибка между первым и вторым показаниями.

Результаты и моделирование. Алгоритм фильтра Калмана протестирован на ряде наборов данных, предоставленных компанией кондитерский комбинат ООО «Азовская кондитерская фабрика». Результаты и моделирование для нагруженных данных приведены в этом разделе. Результаты для незагруженных данных демонстрируют аналогичную производительность.

Характеристики фильтра измеряются путем прямого сравнения времени установления и стандартного отклонения фильтра Калмана с фильтром Баттерворта 5-го порядка [18–22].

Результаты количества тестов были представлены в двух разделах;

- ◆ Постоянная масса при различных скоростях.
- ◆ Меняющиеся массы при постоянной скорости.

Краткие результаты приведены в табл. 1 и табл. 2 ниже.

Таблица 1

Результаты для массы 200г, движущейся со скоростями 0,5м/с, 1,0м/с и 1,5м/с²

Скорость конвейера (м/с)	Баттерворт			Калман		
	Среднее	Стандартное отклонение	Время становления (мс)	Среднее	Стандартное отклонение	Время становления (мс)
0.5	1419.7	34.1	112	2363.0	7.7	28
1.0	1487.1	57.2	67	2458.0	9.0	47
1.5	1703.3	48.5	-	2822.5	15.8	27

Сравнение, приведенное в табл. 1 и табл. 2, показывает, что фильтр Калмана превосходит фильтр низких частот Баттерворта по многим параметрам.

1. Как видно из табл. 1, стандартное отклонение имеет меньшее значение по сравнению с фильтром Баттерворта в каждом случае. Когда 200 г движется со скоростью 0,5 м/с, стандартное отклонение уменьшается с 34,1 до 7,7 (77%), а когда та же масса движется со скоростью 1,5 м/с, стандартное отклонение уменьшается с 48,5 до 15,8 (67,4%).

Таблица 2

Сводка результатов для масс массой 200 г и 573,1 г, движущихся со скоростью 0,5 м/с

Масса (г)	Баттерворт			Калман		
	Среднее	Стандартное отклонение	Время становления (мс)	Среднее	Стандартное отклонение	Время становления (мс)
200.0	1562.8	9.8	112	2130.2	1.7	28
573.1	2323.1	43.9	172	2874.1	9.0	45
573.1	2363.0	36.7	158	2924.9	5.0	30
573.1	2343.9	68.9	-	2891.9	11.1	40
573.1	2286.5	35.9	174	2846.4	4.0	35
573.1	2315.1	52.8	174	2884.8	6.3	35

В таблице (2) показаны результаты испытаний различных масс, движущихся с одинаковой скоростью 0,5 м/с. Эти результаты также демонстрируют аналогичное улучшение стандартного отклонения.

² Примечание: для наглядного представления сигналов в значения сигналов фильтра Баттерворта были внесены некоторые смещения напряжений.

Уменьшение стандартного отклонения уменьшает доверительный интервал на 95%, снижая погрешность отфильтрованного сигнала.

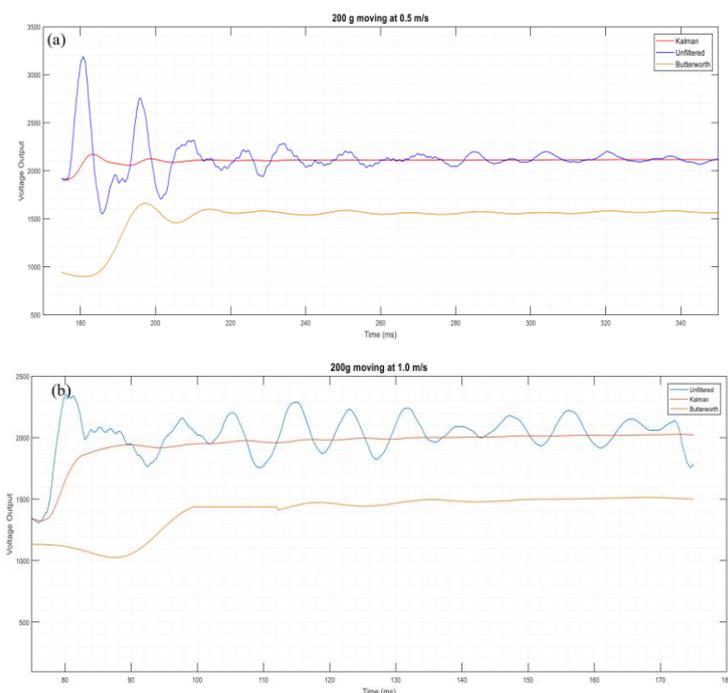
2. Время установления, представленное в табл. 1 и табл. 2 – это время, необходимое для того, чтобы кривая реакции системы достигла и оставалась в пределах 2% от среднего значения. Данные были изучены с помощью электронных таблиц в MS Excel, и для оценки времени установления в каждом случае использовался метод проб и ошибок.

Как видно из таблицы 1, время становления также улучшается при всех скоростях. При скорости 0,5 м/с время становления уменьшается на 75% (112 мс до 28 мс), а при скорости 1,0 м/с время становления уменьшается на 29,8% (с 67мс до 47мс). При максимальной скорости, т.е. 1,5 м/с, время становления 27 мс наблюдается при использовании фильтра Калмана, в то время как реакция существующего фильтра Баттерворта не достигает устойчивого состояния до того, как данные будут отобраны для оценки веса.

Это позволяет переходному отклику быстрее достичь устойчивого состояния, что приводит к увеличению «окна усреднения». Это улучшение особенно полезно при более высоких скоростях ленты, когда время сигнала меньше, и сигнал не достигает устойчивого состояния.

Улучшение качества сигнала (стандартное отклонение и время становления), указанное в табл. 1 и 2, показывает, что фильтр Калмана обеспечивает улучшенное решение фильтрации в динамической системе взвешивания, рассматриваемой в данной работе. Уменьшение времени установления и стандартного отклонения приводит к улучшению пропускной способности и точности измерений соответственно.

Некоторые графики, показывающие фильтрованный и нефильтрованный сигнал, приведены на рис. 6.



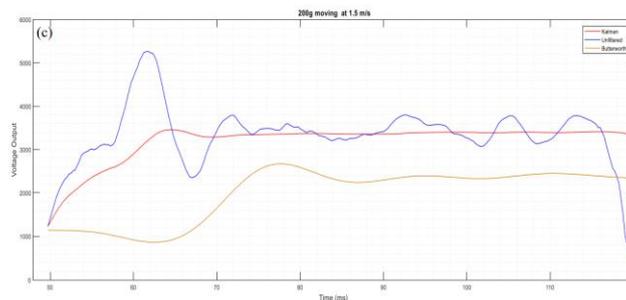


Рис. 6. Графики отфильтрованных и неотфильтрованных данных для «нагруженных данных» для 200-граммового элемента, движущегося со скоростью (a) 0,5 м/с, (b) 1,0 м/с и (c) 1,5 м/с

Выводы. В целом динамические системы взвешивания имеют ограничения в достижении требуемой пропускной способности и точности. В данной части работы рассматривался альтернативный метод, основанный на алгоритме фильтра Калмана. Фильтр Калмана рассматривается как оптимальное решение проблем отслеживания и прогнозирования данных. Фильтр был построен как минимизатор средней ошибки в детерминированном выводе. Фильтр Калмана имеет много преимуществ при оценке состояния в непрерывно изменяющихся системах. Уравнение системы имеет форму разностного уравнения первого порядка, которое использует только информацию о предыдущем состоянии. Следовательно, вычисление состояний происходит быстрее. Коэффициент усиления фильтра обновляется на каждой итерации вычислений, минимизируя остаток с обновленным коэффициентом усиления на каждом шаге.

Фильтр также адаптивен к используемым данным. Все эти характеристики приводят к быстрому отклику, позволяя системе быстро достичь устойчивого состояния.

Непрерывный временной фильтр Калмана ранее использовался для оценки веса в высокоскоростной динамической системе взвешивания с использованием дифференциального уравнения второго порядка в качестве модели системы [3].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зайцев С.А., Грибанов Д.Д., Толстов А.Н., Меркулов Р.В. Контрольно-измерительные приборы и инструменты. – М.: Академия, 2003. – С. 18-19.
2. Маныч А.С., Заргарян Е.В. Контрольно-измерительные средства для взвешивания сыпучих грузов // Фундаментальные и прикладные аспекты компьютерных технологий и информационной безопасности: материалы VII Всероссийской научно-технической конференции. – Таганрог, 2021. – 493 с.
3. Заргарян Ю.А. Задача управляемости в адаптивной автоматной обучаемой системе управления // Технологии разработки информационных систем ТРИС-2020: Матер. X Международной научно-технической конференции. "Технологии разработки информационных систем", 2020.
4. Zargaryan E.V., Zargaryan Y.A., Dmitrieva I.A., Sakharova O.N. and Pushnina I.V. Modeling design information systems with many criteria. Information Technologies and Engineering – APITECH - 2020 // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Vol. 2085 (3). – P. 032057(1-7). – DOI: 10.1088/1742-6596/1679/3/032057.
5. Маныч А.С., Заргарян Е.В. Контрольно-измерительные средства для взвешивания сыпучих грузов // Исследование и проектирование интеллектуальных систем в автомобилестроении, авиастроении и машиностроении: Матер. всероссийской научно-практической конференции с международным участием / ред. кол.: Светличная Л.А., Чернова Т.В. – Таганрог: ЭльДирект – ИП Шкуркин Д.В. (ДиректСайнс), 2021. – 358 с.

6. *Zargaryan E.V., Zargaryan Y.A., Kapc I.V., Sakharova O.N., Kalyakina I.M and Dmitrieva I.A.* Method of estimating the Pareto-optimal solutions based on the usefulness // International Conference on Advances in Material Science and Technology - CAMSTech-2020. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 919 (2). – P. 022027 (1-8). – DOI: 10.1088/1757-899X/919/2/022027.
7. *Nagatani T.* The physics of traffic jams // Rep. Prog. Phys. – Sept. 2002. – Vol. 65, No. 9. – P. 1331-1386.
8. *Jiber M., Lamouik I., Ali Y., et Sabri M.A.* Traffic flow prediction using neural network // in 2018 International Conference on Intelligent Systems and Computer Vision (ISCV). – Fez, 2018. – P. 1-4.
9. *Zhang Y. et Liu Y.* Comparison of Parametric and Nonparametric Techniques for Non-peak Traffic Forecasting. – 2009. – Vol. 3, No. 3. – P. 7.
10. *Сенянский Д.М.* Программная реализация алгоритмов взвешивания вагонов в движении. // Всероссийская молодежная научная конференция VII Королевские чтения: Тезисы доклада. – Самара: СГАУ, 2003.
11. *Zargarjan E.V., Zargarjan Ju.A., Finaev V.I.* Information support for the training of fuzzy production account balance in the conditions of incomplete data // Innovative technologies and didactics in teaching (ITDT-2016): Collected papers. – 2016. – P. 128-138.
12. *Иванов В.А., Масленко В.О., Харченко К.А.* Экспериментальное устройство для гидравлического взвешивания груза // Ученые заметки ТОГУ. – 2017. – Т. 8, № 1. – С. 128-137. – Режим доступа: <http://pnu.edu.ru/ejournal/pub/articles/1505>.
13. *Финаев В.И., Заргарян Ю.А., Заргарян Е.В., Соловьёв В.В.* Формализация групп подвижных объектов в условиях неопределённости для выбора управляющих решений // Информатизация и связь. – 2016. – № 3. – С. 56-62.
14. *Slimani I., Farissi I. El, et Achhab S.* Artificial Neural Networks for Demand Forecasting: Application Using Moroccan Supermarket Data. – 2015.
15. *Slimani I., Farissi I. El, et Achhab S.* Configuration and implementation of a daily artificial neural network-based forecasting system using real supermarket data // Int. J. Logist. Syst. Manag. – 2017. – Vol. 28, No. 2. – P. 144-163.
16. *Пушнина И.В.* Система управления подвижным объектом в условиях неопределенности // Наука и образование на рубеже тысячелетий: Сб. научно-исследовательских работ. Кисловодский гуманитарно-технический институт, Южный федеральный университет. – Кисловодск, 2018. – С. 65-74.
17. *Wang X., Wang C.* Time series data cleaning: A survey // IEEE Access. – 2020. – Vol. 8. – P. 1866-1881. – DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2962152.
18. *Михайлов П.Г.* Микроэлектронный датчик давления и температуры // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2003. – № 11. – С. 29-31.
19. *Аламир Х.С., Заргарян Е.В., Заргарян Ю.А.* Модель прогнозирования транспортного потока на основе нейронных сетей для предсказания трафика на дорогах // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2021. – № 6 (223). – С. 124-132.
20. *Ольховская Е.С., Палашкин А.А., Кулеш В.В., Номерчук А.Я., Соловьёв В.В.* Разработка модульной системы выращивания растений GROWBOX // Проблемы автоматизации. Региональное управление. Связь и акустика: Сб. трудов X Всероссийской научной конференции и молодежного научного форума в рамках мероприятий, посвященных году Науки и технологий в Российской Федерации. – Ростов-на-Дону, 2021. – С. 168-173.
21. *Номерчук А.Я., Крюков В.В., Куканов Р.С.* Аналитическо-экспериментальные исследования функционирования электротехнического комплекса на примере пищевых производств // Исследования и творческие проекты для развития и освоения проблемных и прибрежно-шельфовых зон юга России: Сб. трудов XI Всероссийской Школы-семинара, посвященной 25-летию филиала ЮФУ в г. Геленджике. Составители: Ю.Б. Щемелева, С.В. Кирильчик; Южный федеральный университет. – 2020. – С. 214-218.
22. *Ivanova N.A., Begun O.V., Dmitrieva I.A., Milesheko L.P., Sklifus R.V.* Impact Of Road Transport On The Environmental Situation In The Urban Environment // European Proceedings of Social and Behavioural Sciences EpSBS. Krasnoyarsk, Russia, 2021. – P. 2600-2606.
23. *Бабенко Л.К., Шумилин А.С., Алексеев Д.М.* Алгоритм обеспечения безопасности конфиденциальных данных медицинской информационной системы хранения и обработки результатов обследований // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2020. – № 5 (215). – С. 6-16.

REFERENCES

1. Zaytsev S.A., Gribanov D.D., Tolstov A.N., Merkulov R.V. Kontrol'no-izmeritel'nye pribory i instrumenty [Control and measuring instruments and instruments]. Moscow: Akademiya, 2003, pp. 18-19.
2. Manych A.S., Zargaryan E.V. Kontrol'no-izmeritel'nye sredstva dlya vzveshivaniya sypuchikh gruzov [Control and measuring means for weighing bulk cargoes], *Fundamental'nye i prikladnye aspekty komp'yuternykh tekhnologiy i informatsionnoy bezopasnosti: materialy VII Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Fundamental and applied aspects of computer technologies and information security: materials of the VII All-Russian Scientific and Technical Conference]. Taganrog, 2021, 493 p.
3. Zargaryan Yu.A. Zadacha upravlyaemosti v adaptivnoy avtomatnoy obuchaemoy sisteme upravleniya [The problem of controllability in an adaptive automatic trainable control system. In the collection], *Tekhnologii razrabotki informatsionnykh sistem TRIS-2020: Mater. X Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. "Tekhnologii razrabotki informatsionnykh sistem", 2020* [Technologies for the development of information systems TRIS-2020. Materials of the X International Scientific and Technical Conference. "Information Systems Development Technologies", 2020].
4. Zargaryan E.V., Zargaryan Y.A., Dmitrieva I.A., Sakharova O.N. and Pushnina I.V. Modeling design information systems with many criteria. Information Technologies and Engineering – APITECH – 2020, *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, Vol. 2085 (3), pp. 032057(1-7). DOI: 10.1088/1742-6596/1679/3/032057.
5. Manych A.S., Zargaryan E.V. Kontrol'no-izmeritel'nye sredstva dlya vzveshivaniya sypuchikh gruzov [Control and measuring means for weighing bulk cargoes], *Issledovanie i proektirovanie intellektual'nykh sistem v avtomobile-stroenii, aviastroenii i mashinostroenii: Mater. vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Research and design of intelligent systems in the automotive, aircraft and mechanical engineering: Materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation] ed. col.: Svetlichnaya L.A., Chernova T.V.; Taganrog: El'Direkt – IP Shkurkin D.V. (DirektSayns), 2021, 358 p.
6. Zargaryan E.V., Zargaryan Y.A., Kapc I.V., Sakharova O.N., Kalyakina I.M and Dmitrieva I.A. Method of estimating the Pareto-optimal solutions based on the usefulness, *International Conference on Advances in Material Science and Technology - CAMSTech-2020. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 2020, Vol. 919 (2), pp. 022027 (1-8). DOI: 10.1088/1757-899X/919/2/022027.
7. Nagatani T. The physics of traffic jams, *Rep. Prog. Phys.*, Sept. 2002, Vol. 65, No. 9, pp. 1331-1386.
8. Jiber M., Lamouik I., Ali Y., et Sabri M.A. Traffic flow prediction using neural network, *2018 International Conference on Intelligent Systems and Computer Vision (ISCV)*, Fez, 2018, pp. 1-4.
9. Zhang Y. et Liu Y. Comparison of Parametric and Nonparametric Techniques for Non-peak Traffic Forecasting, 2009, Vol. 3, No. 3, pp. 7.
10. Senyanskiy D.M. Programmaya realizatsiya algoritmov vzveshivaniya vagonov v dvizhenii [Software implementation of algorithms for weighing wagons in motion], *Vserossiyskaya molodezhnaya nauchnaya konferentsiya VII Korolevskie chteniya: Tezisy doklada* [All-Russian Youth Scientific Conference VII Royal Readings: Abstracts of the report]. Samara: SGAU, 2003.
11. Zargarjan E.V., Zargarjan Ju.A., Finaev V.I. Information support for the training of fuzzy production account balance in the conditions of incomplete data, *Innovative technologies and didactics in teaching (ITDT-2016): Collected papers*, 2016, pp. 128-138.
12. Ivanov V.A., Maslenko V.O., Kharchenko K.A. Eksperimental'noe ustroystvo dlya gidravlicheskogo vzveshivaniya gruzha [Experimental device for hydraulic weighing of cargo], *Uchenye zametki TOGU* [Scientific Notes of TOGU], 2017, Vol. 8, No. 1, pp. 128-137. – Available at: <http://pnu.edu.ru/ejournal/pub/articles/1505>.
13. Finaev V.I., Zargaryan Yu.A., Zargaryan E.V., Solov'ev V.V. Formalizatsiya grupp podvizhnykh ob'ektov v usloviyakh neopredelennosti dlya vybora upravlyayushchikh resheniy [Formalization of groups of moving objects under uncertainty for the choice of control solutions], *Informatizatsiya i svyaz'* [Informatization and Communication], 2016, No. 3, pp. 56-62.

14. Slimani I., Farissi I. El, et Achchab S. Artificial Neural Networks for Demand Forecasting: Application Using Moroccan Supermarket Data, 2015.
15. Slimani I., Farissi I. El, et Achchab S. Configuration and implementation of a daily artificial neural network-based forecasting system using real supermarket data, *Int. J. Logist. Syst. Manag.*, 2017, Vol. 28, No. 2, pp. 144-163.
16. Pushnina I.V. Sistema upravleniya podvizhnym ob'ektom v usloviyakh neopredelennosti [The control system of a moving object in conditions of uncertainty], *Nauka i obrazovanie na rubezhe tysyacheletiy: Sb. nauchno-issledovatel'skikh rabot. Kislovodskiy gumanitarno-tekhnicheskiiy institut, Yuzhnyy federal'nyy universitet* [Science and Education at the turn of the Millennium. collection of research papers. Kislovodsk Humanitarian and Technical Institute, Southern Federal University]. Kislovodsk, 2018, pp. 65-74.
17. Wang X., Wang C. Time series data cleaning: A survey, *IEEE Access*, 2020, Vol. 8, pp. 1866-1881. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2962152.
18. Mikhaylov P.G. Mikroelektronnyy datchik davleniya i temperatury [Microelectronic pressure and temperature sensor], *Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika* [Devices and systems. Management, control, diagnostics], 2003, No. 11, pp. 29-31.
19. Alamir Kh.S., Zargaryan E.V., Zargaryan Yu.A. Model' prognozirovaniya transportnogo potoka na osnove neyronnykh setey dlya predskazaniya trafika na dorogakh [A traffic flow prediction model based on neural networks for predicting traffic on the roads], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2021, No. 6 (223), pp. 124-132.
20. Ol'khovskaya E.S., Palashkin A.A., Kulesh V.V., Nomerchuk A.Ya., Solov'ev V.V. Razrabotka modul'noy sistemy vyrashchivaniya rasteniy GROWBOX [Development of a modular system for growing plants GROWBOX], *Problemy avtomatizatsii. Regional'noe upravlenie. Svyaz' i akustika: Sb. trudov X Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii i molodezhnogo nauchnogo foruma v ramkakh meropriyatiy, posvyashchennykh godu Nauki i tekhnologiy v Rossiyskoy Federatsii* [Problems of automation. Regional management. Communication and acoustics: Proceedings of the X All-Russian Scientific Conference and Youth Scientific Forum within the framework of events dedicated to the Year of Science and Technology in the Russian Federation]. Rostov-on-Don, 2021, pp. 168-173.
21. Nomerchuk A.Ya., Kryukov V.V., Kukanov R.S. Analiticheskoe-eksperimental'nye issledovaniya funktsionirovaniya elektrotekhnicheskogo kompleksa na primere pishchevykh proizvodstv [Analytical and experimental studies of the functioning of the electrical complex on the example of food production], *Issledovaniya i tvorcheskiiye proekty dlya razvitiya i osvoeniya pribrezhno-shelf'ovykh zon yuga Rossii: Sb. trudov XI Vserossiyskoy Shkoly-seminara, posvyashchennoy 25-letiyu filiala YuFU v g. Gelendzhike. Sostaviteli: Yu.B. Shchemeleva, S.V. Kiril'chik; Yuzhnyy federal'nyy universitet* [Research and creative projects for the development and development of problematic and coastal shelf zones of the South of Russia: Proceedings of the XI All-Russian School-seminar dedicated to the 25th anniversary of the branch of the SFU in Gelendzhik. Compiled by Yu.B. Shchemeleva, S.V. Kirilchik; Southern Federal University], 2020, pp. 214-218.
22. Ivanova N.A., Begun O.V., Dmitrieva I.A., Milesheko L.P., Sklifus R.V. Impact Of Road Transport On The Environmental Situation In The Urban Environment, *European Proceedings of Social and Behavioural Sciences EpSBS. Krasnoyarsk, Russia, 2021*, pp. 2600-2606.
23. Babenko L.K., Shumilin A.S., Alekseev D.M. Algoritm obespecheniya bezopasnosti konfidentsial'nykh dannykh meditsinskoy informatsionnoy sistemy khraneniya i obrabotki rezul'tatov obsledovaniy [Algorithm for ensuring the security of confidential data of the medical information system for storing and processing survey results], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2020, No. 5 (215), pp. 6-16.

Статью рекомендовала к опубликованию к.т.н., доцент Н.А. Иванова.

Заргарян Елена Валерьевна – Южный федеральный университет; e-mail: evzargaryan@sfedu.ru; г. Таганрог, Россия; кафедра систем автоматического управления; к.т.н.; доцент.

Заргарян Юрий Артурович – e-mail: yuzargaryan@sfedu.ru; кафедра систем автоматического управления; к.т.н.; доцент.

Номерчук Александр Яковлевич – e-mail: aynomerchuk@sfnedu.ru; кафедра систем автоматического управления; ст. преподаватель.

Zargaryan Elena Valerevna – Southern Federal University; e-mail: evzargaryan@sfnedu.ru; Taganrog, Russia; the department of automatic control systems; cand. of eng. sc.; associate professor.

Zargaryan Yuri Arturovich – e-mail: yazargaryan@sfnedu.ru; the department of automatic control systems; cand. of eng. sc.; associate professor.

Nomerchuk Alexander Yakovlevich – e-mail: aynomerchuk@sfnedu.ru; the department of automatic control systems; senior lecturer.

УДК 004.42

DOI 10.18522/2311-3103-2022-2-249-259

Т.А. Крамаренко, Е.В. Фешина, Т.В. Лукьяненко

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ

В статье представлены результаты разработки модуля для модернизации мобильного приложения торговой сети. Особенностью представленного модуля мобильного приложения является отображение персонализированных сообщений с рекламой и акциями торговой сети. Для сбора и анализа данных в мобильном приложении применена математическая модель машинного обучения. В деталях описан процесс выбора математической модели, алгоритм работы и этапы обучения модели на тренировочных данных. Проведена оценка качества работы классификатора на тестовой и обучающей выборке. Выполнены классификация объектов тестовой выборки и сравнение реального значения класса с полученным в результате классификации. Авторы в статье представили основные этапы разработки алгоритмы для обработки статистических данных из чеков покупателей. Представлены программные коды реализации модуля анализа чеков и отображения персонализированной рекламы мобильного приложения. Для реализации базы данных в качестве инструментального средства авторами была использована реляционная система управления данными MS SQL Server. Модули мобильного приложения разработаны в среде Android Studio для операционной системы семейства Android. В работе авторы представили основные этапы работы алгоритма и тестирования работоспособности внедренных модулей. На основе данных о совершенных покупателем покупках собираются сведения о предпочитаемых товарах на основе фиксации групп товаров и товарных позиций из чека. К мобильному приложению привязаны карта лояльности торговой сети, а к картам лояльности, в свою очередь, привязаны чеки о покупках. Первоначально в приложении отображалась реклама всех товаров, участвующих в акциях. Актуальной задачей является отображение персонализированной рекламы, которая доказала свою эффективность. Мобильное приложение распространяется бесплатно через Play Market и предназначено для смартфонов под управлением ОС линейки Android. Целью разработки является отображение в приложении на устройстве покупателя сначала рекламы часто покупаемых товаров, а далее остальных акционных товаров. Мобильное приложение прошло нагрузочное тестирование в реальных условиях использования клиентами торговой сети.

Мобильные приложения; информационные системы; Android; алгоритм; машинное обучение; кроссплатформенная разработка.

T.A. Kramarenko, E.V. Feshina, T.V. Lukyanenko

DEVELOPMENT OF INTELLIGENT MOBILE APPLICATIONS

The article presents the development results of a module for the retail network mobile application modernization. A feature of the presented mobile application module is the display of personalized messages with advertising and promotions of the retail network. A mathematical model of machine learning is used to collect and analyze data in a mobile application. The process of