

Моделирование двунаправленной системы подсчета посетителей на основе технологии компьютерного зрения

Е.А. Краснобаев

Учреждение образования «Витебский государственный университет им. П.М. Машерова»

В статье изучаются системы подсчета посетителей, используемые в торговле, а также системах безопасности. Рассматриваются вопросы практического применения счетчиков посетителей, а также их возможности в процессе анализа эффективности работы торгового предприятия. Перечислены технологии, применяемые при разработке счетчиков посетителей, а также проведена оценка недостатков и преимуществ каждой из них. Разработана математическая модель двунаправленной системы подсчета посетителей на основе технологии компьютерного зрения. Для сегментации цифровых изображений применялся метод вычитания кадров. Преимуществом разработанной модели является возможность выбора области интереса в пределах наблюдаемой сцены, что позволяет более точно настроить счетчик посетителей в конкретной обстановке.

Ключевые слова: система видеонаблюдения, цифровая обработка изображения, компьютерное зрение.

Modeling bidirectional people counting system based on computer vision technology

E.A. Krasnobaev

Educational establishment «Vitebsk State University named after P.M. Masherov»

In this paper we study the counting system used in trade as well as in security systems. We consider the practical application of people counters as well as their ability in analyzing the effectiveness of a commercial enterprise. The technologies used in the development of people counters are listed, and an assessment of strengths and weaknesses of each of them is presented. A mathematical model for bi-directional counting system based on computer vision technology is elaborated. For the segmentation of digital images the method of subtraction of frames was used. The advantage of this model is the ability to select areas of interest within the observed scene, which allows you to fine-tune the people counter in a given situation.

Key words: video watching system, digital processing of the image, computer vision.

Системы видеонаблюдения активно внедряются во многих сферах человеческой деятельности. Их назначение – это централизованный контроль территорий с целью обеспечения безопасности находящихся на них объектов и людей.

Множество систем видеонаблюдения установлено на улицах городов, в магазинах, административных зданиях и других местах. Они ведут наблюдение за людьми, транспортом, состоянием объектов. Зачастую сотни гигабайт полученной информации никак не используются и попросту стираются через определенное время.

Тем не менее, записи камер видеонаблюдения могут успешно использоваться в коммерческих целях, так как они позволяют получать множество статистической информации о происходящих в кадре событиях. Одним из таких направлений является применение видеосистем в маркетинге.

Традиционные системы панорамного видеонаблюдения в настоящее время установлены

практически в любом торговом зале. И лишь в последнее время стали доступны в них такие функции, как счетчики посетителей (о которых далее и пойдет речь), определение траекторий посетителей, плотности скопления людей и другие. Эти возможности являются инновационными и исключительно перспективными для торгового сегмента техники видеонаблюдения. Внедрение таких возможностей может быть выполнено в уже развернутых системах, что требует минимума вмешательства.

Системы подсчета посетителей позволяют вести учет людей, прошедших через некоторый проход за означенный промежуток времени. Важной задачей при этом является определение направления движения человека для того, чтобы иметь точный показатель посещений в любой момент времени. Система подсчета устанавливается на проходе или рядом с ним и может быть основана на следующих технологиях:

компьютерном зрении, инфракрасных датчиках, тепловидении и др.

Целесообразность внедрения подобных подсистем ни у кого не вызывает сомнения, так как они позволяют увеличить показатели товарооборота и прибыльности торгового предприятия. Таким образом, целью данного исследования является разработка модели и программных средств, реализующих функцию счетчика посетителей в цифровых системах видеонаблюдения, на базе персональных компьютеров.

Материал и методы. Объектом исследования, изложенного в данной статье, являются видеоданные систем видеонаблюдения и изображения сцен, полученных с помощью них. Предметом исследования выступают модели, алгоритмы и методы анализа и обработки изображений систем видеонаблюдения, используемых в маркетинге.

Применение систем подсчета посетителей. Успешность торговли во многом определяется эффективной работой маркетологов, ритейлеров, сотрудников торговых центров. В свою очередь их работа невозможна без планирования объемов продаж, оценки эффективности рекламы. Данную информацию может предоставить показатель количества клиентов, от которого в целом зависит успех бизнеса.

Компания может использовать счетчик посетителей по следующим причинам [1].

- Эффективность торговли.

Расчет соотношения количества покупателей и посетителей дает важный показатель работы торгового объекта. Важно следить за долей посетителей, не ставших покупателями, и выяснять причины этого явления. Статистические графики посещаемости за день, неделю, месяц позволяют выявить факторы, снижающие или повышающие посещаемость: рекламные акции, обеденные перерывы, часы пик, ночное время и т.д.

- Определение эффективности работы персонала.

Дает важный показатель, который определяет правильность выбора стратегии продаж, ценовой политики и эффективности обслуживания.

- Активизация работы персонала.

На торговых объектах, особенно в часы пик, для обслуживания значительного числа посетителей необходимо подключать дополнительный персонал, и, наоборот, в часы затишья потребность в персонале падает. Для более эффективной организации работы персонала может использоваться статистическая информация о наплыве клиентов в определенное время. Исходя из этого может быть разработан график работы персонала, что позволит

избежать недовольства покупателей и повысить качество обслуживания клиентов.

Подобные меры позволяют оптимизировать график работы сотрудников, что приводит к сокращению расходов на заработную плату за счет отсутствия простоев в работе продавцов и обслуживающего персонала.

- Служебные мероприятия.

В часы наименьшего скопления клиентов могут выполняться технические работы на торговом объекте, такие, как уборка помещений, выкладка товара и другие.

- Безопасность.

Точное количество людей на объекте позволяет более эффективно провести эвакуацию при пожарах и чрезвычайных ситуациях.

- Эффективность маркетинга.

Это наиболее важная функция, которая позволяет оценить количество посещений при проведении скидок, акций, рекламных кампаний. Зачастую маркетологам необходимо знать, имеет ли эффект тот или иной вид рекламы их продукции, чтобы напрасно не вкладывать в нее деньги. Важен также суточный анализ посещений, так как замечено, что люди с разным достатком делают покупки в определенное время дня: более дешевые – утром и днем, дорогие – вечером и ночью.

Технологии, используемые в системах подсчета посетителей. Современный рынок предлагает множество устройств подсчета посетителей. Подобные устройства основаны на различных физических принципах: это инфракрасные технологии, лазерные и емкостные датчики, компьютерное зрение, тепловидение, искусственный интеллект. Данные системы различаются также по способу монтирования: вертикальные, горизонтальные; по направлению движения человека: однонаправленные и двунаправленные; различают также по возможности подключения к персональному компьютеру и др.

- Горизонтальные инфракрасные счетчики.

Данные устройства состоят из двух датчиков: приемного и передающего. Крепятся датчики на уровне тела человека в узких проходах и коридорах. Счетчик работает по принципу прерывания инфракрасного луча при проходе человека. К достоинствам такого типа относят простоту и компактность устройств, а к недостаткам относится увеличение погрешности счетчика при увеличении расстояния между сенсорами, то есть в широких проходах.

- Вертикальные инфракрасные счетчики.

Данный тип датчиков устанавливается над проходом и работает по принципу отражения

сигнала от проходящих людей. Однако также обладает высокой погрешностью определения в широких проходах.

- Тепловизоры.

Тепловизоры – устройства, улавливающие исходящее от людей тепло. Это позволяет с высокой точностью определить каждого человека даже в условиях хаотичного движения. Однако, в наших климатических условиях, особенно зимой, не рекомендуется их применять.

- Системы на базе компьютерного зрения.

Отличаются очень высокой точностью работы. Данная технология, в зависимости от используемых алгоритмов обработки изображений, позволяет выполнять подсчет в сложных условиях и достигать высокой точности подсчета. Недостатком систем является зависимость от освещенности и качества видеопотока.

По нашему мнению, преимущества счетчиков, основанных на технологии компьютерного зрения, очевидны: высокая точность, возможность развертывания на базе существующей системы видеонаблюдения, а также невысокая цена по сравнению с другими перечисленными устройствами.

Математическое моделирование системы подсчета посетителей. На программном уровне система подсчета посетителей может быть реализована посредством цифровой обработки видеоизображений, поступающих с видеокamer в режиме реального времени.

Основной предлагаемой идеей в разработке счетчика посетителей является определение в пределах кадра изображения некоторой области интереса (прямоугольного блока), в котором будет обнаруживаться движение. Преимуществом такого подхода является возможность выбора области интереса в пределах наблюдаемой сцены, что позволяет более точно настроить счетчик посетителей в конкретной обстановке. Для решения задачи определения движения в блоке используются методы сегментации изображений по признаку движения. Известными методами сегментации движения являются методы вычитания кадров и вычитания фона [2–3].

Метод вычитания кадров является интуитивно первым в решении задачи сегментации движения. Он заключается в вычислении разности значений соответствующих пикселей двух изображений и сравнении их с некоторым пороговым значением.

Будем рассматривать значения интенсивности (или вектор цветных компонент) некоторого отдельного пикселя во времени в виде следующего ряда:

$$I_1, \dots, I_t, \dots, I_{t+1}, \dots, I_{t+T}, \quad 1 \leq k \leq t. \quad (1)$$

На основании приведенного соотношения построим разностное изображение:

$$T(i, j) = |X_t(i, j) - X_{t+1}(i, j)|, \quad (2)$$

где $X_t(i, j)$ – интенсивность пикселя с координатами i, j изображения X в момент времени t , $X_{t+1}(i, j)$ – интенсивность пикселя i, j в момент времени $t+1$.

Выполним бинаризацию разностного изображения на основе порогового значения, которое будет задавать относительный контраст обнаруживаемых движущихся объектов (для изображения с глубиной цвета 8 бит):

$$B(i, j) = \begin{cases} 0, & T(i, j) < \delta \\ 255, & T(i, j) \geq \delta \end{cases}, \quad (3)$$

где δ – пороговое значение, на основании которого определяется принадлежность пикселя к движущемуся объекту. Пиксели изображения, преодолевшие порог, считаются принадлежащими движущемуся объекту (переднеплановые пиксели), остальные – принадлежащими фону (заднеплановые пиксели).

Данный подход является простым и не лишен определенных недостатков. Эти недостатки связаны в первую очередь с тем, что при быстрых движениях модуль, присутствующий в формуле (2), позволяет фиксировать движущийся объект в кадре в момент времени $t+1$, а также область, где объект присутствовал в момент времени t , что приводит к дублированию сегментации объекта. При медленных движениях и при достаточно большом пороге происходит сегментация только переднего и заднего края движущегося объекта, где градиент интенсивности пикселей достаточно высок. Однако данные недостатки являются несущественными, так как перед нами не стоит задача обнаружения всех пикселей движущегося объекта.

После того как выполнена бинаризация разностного изображения, необходимо выбрать критерий, определяющий нахождение человека в блоке. Очевидно, что наличия переднеплановых пикселей в изображении B недостаточно для того, чтобы сделать вывод о наличии в блоке движущегося человека, так как в блоке могут находиться ошибочно сегментированные пиксели, из-за локальных градиентных перепадов яркости. Необходимо также знать приближенный размер человека, по отношению к размеру блока, чтобы не фиксировать лишние объекты, такие, как животные, птицы, маленькие дети, а также любые малые движения, определяемые природными явлениями.

Для этого предлагается ввести параметр, равный процентному соотношению количества переднеплановых пикселей в блоке к общему количеству пикселей блока, который определяет размер обнаруживаемого объекта:

$$p = \frac{N_p}{w_b h_b} \cdot 100, \quad (4)$$

где w_b, h_b – ширина и высота блока, N_p – функция, вычисляющая количество переднеплановых пикселей в блоке, $N_p = \sum_{B \in \mathcal{B}} 1$.

Решение об обнаружении человека в блоке принимается путем сравнения параметра p с заданной пороговой величиной. Также для уменьшения количества ошибочных срабатываний алгоритма необходимо для бинарного изображения блока применять операции морфологии: например, эрозии и дилатации.

Важной проблемой при реализации данного способа является проблема повторного обнаружения объектов в процессе движения объекта в пределах блока. Для решения этой задачи необходимо выполнять обнуление разностного изображения $B_t = \mathcal{B}$ при первом обнаружении движения в блоке, когда $p > \beta$, и выполнять подсчет посетителей, только если в разностном изображении предыдущего кадра отсутствовало движение $N_p(B_{t-1}) = 0$. Для этого необходимо сохранять предыдущий разностный кадр B_{t-1} на каждой итерации общего алгоритма.

Двунаправленность счетчика посетителей может быть реализована путем вычисления локального экстремума пикселей разностного изображения:

$$T_{x_{\max}, y_{\max}} = \max T. \quad (5)$$

По нему можно определить, в какой половине блока произошло движение T_1 или T_2 , и, следовательно, сделать вывод о направлении движения человека:

$$\begin{aligned} x_{\max}, y_{\max} &\in T_1, \\ x_{\max}, y_{\max} &\in T_2. \end{aligned} \quad (6)$$

Мировыми лидерами в производстве систем подсчета посетителей являются компании FootFall BrickStream, ArcTron 3D, Experian, а лидерами российского рынка – Watcom Group и АНТИвор. Подавляющее большинство данных счетчиков основаны на технологии инфракрас-

ных датчиков. По нашему мнению, программные счетчики посетителей на базе систем видеонаблюдения по сравнению с ними имеют ряд преимуществ:

- более высокая точность счетчика и возможность работы в сложных условиях наблюдения;
- более низкая цена, по сравнению с самостоятельными устройствами-счетчиками;
- возможность расширения функционала, модификации программных средств.

Таким образом, системы на базе технологии компьютерного зрения имеют значительные перспективы в данном секторе рынка.

В результате работы построена математическая модель двунаправленной системы подсчета посетителей. Развертывание данной системы возможно на базе существующих цифровых систем видеонаблюдения, что гораздо дешевле, чем исполнение счетчика в виде самостоятельного устройства. Перспективы применения технологии компьютерного зрения в маркетинге действительно широки: это и датчики движения, датчики забытых вещей, определение траекторий посетителей, плотности скопления людей. К новейшим направлениям можно отнести: трансляцию происходящего в служебных помещениях (для мест общественного питания), системы дополненной реальности для проведения рекламных акций, фиксирование мимики людей и др.

Заключение. В работе построена математическая модель двунаправленной системы подсчета посетителей. Определены ее преимущества по сравнению с другими типами счетчиков, основанных на различных физических принципах. Программная реализация данной модели может быть выполнена на основе библиотеки OpenCV 2.3 [4], которая содержит необходимый набор функций для компьютерной обработки цифровых изображений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Система подсчета посетителей // Википедия – свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/Система_подсчета_посетителей. – Дата доступа: 01.07.2012.
2. Краснобаев, Е.А. Анализ методов сегментации движения в видеоизображениях / Е.А. Краснобаев // Изв. Гомельск. гос. ун-та. – 2010. – № 1(58). – С. 207–212.
3. Краснобаев, Е.А. О модификациях метода сегментации движений на видеоизображениях на основе смеси нормальных распределений в режиме реального времени / Е.А. Краснобаев // Информатика. – 2010. – № 2(26). – С. 3–13.
4. Bradski, G. Learning OpenCV / G. Bradski, A. Kaehler. – O'Reilly, 2008. – 576 p.

Поступила в редакцию 23.08.2012. Принята в печать 22.10.2012
Адрес для корреспонденции: e-mail: krasnobaev@tut.by – Краснобаев Е.А.