

КОНТРОЛЬ НЕ ПОКРЫТЫХ ОХРАННЫМ ТЕЛЕВИДЕНИЕМ УЧАСТКОВ ПРИ ПОМОЩИ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ОСВЕЩЕНИЯ

Лисин А.В.

Омский государственный технический университет

Аннотация

Описан способ обнаружения и установления положения объектов, находящихся вне зоны прямой видимости камер охранного телевидения с помощью двух дополнительных источников освещения. Приведён алгоритм для вычисления положения объектов по двум изображениям, содержащим их тень.

Ключевые слова: защита информации, охранное телевидение, мёртвая зона, пороговая фильтрация, бинаризация.

Введение

Охранное телевидение – один из самых популярных методов обеспечения безопасности на сегодняшний день, заключающийся в визуальном контроле с помощью оптико-электронных устройств. Своей популярностью он обязан широкому спектру предоставляемых возможностей в области защиты информации и материальных ценностей. Однако одной из главных особенностей охранного телевидения, отличающей его от других технических средств защиты, является круглосуточный контроль над охраняемой территорией и возможность детального восстановления событий в случае необходимости [1].

Охранное телевидение представляет собой комплекс технических средств, состоящий из видеокамер, мониторов и устройств обработки изображений (последовательный видеокоммутатор, мультиплексор и т.д.). К этим элементам часто добавляется программно-аппаратный модуль анализа получаемых с камер изображений. Такие программно-аппаратные модули позволяют решать следующие задачи:

- распознавание лиц, номеров машин и других элементов изображений;
- сбор информации по событиям;
- поиск оставленных предметов и т.д. [1,2].

Но, несмотря на большое количество достоинств, охранное телевидение обладает также рядом серьёзных недостатков. Одним из самых существенных на сегодняшний день является высокая стоимость подобных комплексов [1]. Второй недостаток в определённой степени вытекает из первого. Во всём комплексе технических средств систем охранного телевидения число камер, необходимых для контроля охраняемой территории, является наиболее варьируемым параметром, а чем больше камер необходимо установить, тем, соответственно, выше цена комплекса в целом. Ещё одной проблемой является высокая стоимость качественного расчёта мест установки камер. Всё это приводит к появлению неконтролируемых участков, а также «мёртвых зон» при обнаружении объектов. Единственным решением задачи оптимизации расстановки камер наблюдения не удаётся достичь стопроцентного покрытия охраняемой территории. Это обуславливается тем же

экономическим фактором и положением о том, что стоимость охраняемой информации должна быть меньше стоимости системы защиты [3]. В реальных условиях наилучшим вариантом является покрытие охранним телевидением наиболее ответственных участков: контрольно-пропускных пунктов, пространства около дверей особо важных помещений и т. д. Таким образом, охранное телевидение, как один из самых эффективных методов безопасности, применяется для предотвращения наибольших возможных потерь.

Из всего вышесказанного становится очевидно, что полное покрытие охранним телевидением охраняемой территории практически неосуществимо, но возможно использование оптических эффектов (например, тени), которые проявляются на изображениях, полученных с помощью камер наблюдения, при отсутствии в кадре объекта, их создающего.

В статье описан способ обнаружения объекта, находящегося вне зоны видимости, но отбрасывающего тени, попадающие в кадры двух расположенных рядом видеокамер.

Начальные условия

В рассматриваемом в статье случае объект наблюдения находится в зоне между двумя расположенными рядом камерами и при этом не попадает в кадр ни одной из них. Также под каждой камерой расположен источник света. Тени объекта падают на плоскость наблюдения (например, на противоположную стену) и регистрируются камерами. Описанное взаимное положение объекта и видеокамер показано на рис. 1.

Необходимость как минимум двух источников света объясняется неоднозначностью определения размеров и положения объекта по одной его тени, т.к. объекты одной формы, но разных размеров могут отбрасывать одинаковую тень в случае, если более мелкий объект находится близко к источнику света, а большой — далеко.

Задача состоит в нахождении местоположения объекта, отбросившего тени, попавшие в кадр. Задачу можно разбить на 3 этапа:

- 1) поиск тени на изображении;
- 2) определение её реальных линейных размеров;
- 3) вычисление положения объекта в пространстве, исходя из размеров его теней [2].

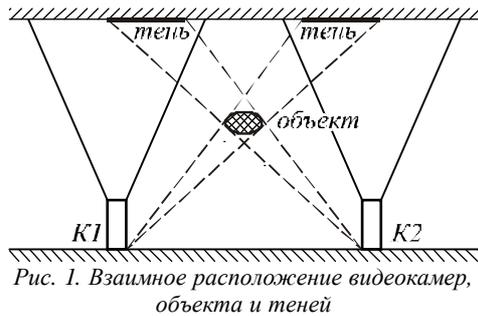


Рис. 1. Взаимное расположение видеокамер, объекта и теней

Определение положения объекта осуществляется однозначным образом, так что два дополнительных, правильно расположенных осветительных прибора заменяют лишнюю видеокамеру.

Стоит подчеркнуть, что для успешного применения предлагаемого метода в объективы камер должны попасть обе тени, а для этого объект должен находиться в некоторой ограниченной области. Учитывая прямолинейный характер распространения света, можно показать эту область графически: она представляет собой «пересечение» треугольников с вершинами в точках, где находятся источники света, и граничных точек видимости камер (рис. 2) [4].

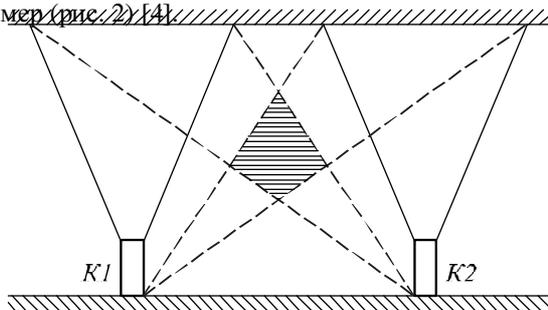


Рис. 2. Область видимости теней объекта (обозначена штриховкой)

Несмотря на то, что область видимости теней объекта не охватывает всю не покрытую охранным телевидением площадь, возможность её контроля представляет множество преимуществ. Например, с помощью видеокамер, следящих за территорией напротив главного входа в здание, но не следящих непосредственно за входной дверью, можно находить объекты напротив двери, установив два дополнительных осветительных прибора. Таким образом, при продуманной расстановке камер наблюдения и осветительных приборов можно добиться значительного улучшения покрытия территории охраным телевидением, особенно учитывая низкую стоимость подобного комплекса (которая фактически складывается из стоимости осветительных приборов).

Далее подробно рассматриваются три этапа решения задачи о поиске положения объекта.

Поиск тени на изображении

Фактически, задача поиска тени на изображении тождественна задаче распознавания образов. В зависимости от условий наблюдения могут быть предложены различные варианты поиска.

Самым простым, но далеко не самым редким случаем является случай с однородным фоном контролируемой территории. Однородным фоном может являться, например, стена в помещении или асфальт на улице. При этом тень на снимках просматривается достаточно явно, и её выявление может быть осуществлено бинаризацией изображения с помощью пороговой фильтрации: зная цвет фона, можно выделить отличные от него объекты, просто определяя цвет каждого пикселя изображения. Если значение цвета для него меньше некоторого порогового, то пиксель помечается как содержащий тень, иначе – определяется как фон. Таким образом, процедуру поиска можно описать следующим образом:

$$\begin{cases} x < T, f(x) = 1, \\ x > T, f(x) = 0, \end{cases}$$

где x – яркость пикселя, T – пороговое значение [5,6].

В случае неоднородности фона существует два варианта решения проблемы. Первый – создание базы эталонных изображений, снятых в «нормальных» условиях, т.е. при отсутствии посторонних объектов и их теней в кадре; второй – использование пороговой фильтрации с адаптивным определением порога либо поиск объекта методом k -средних [7].

Вариант с использованием эталонных изображений представляется простым и эффективным даже при неоднородном фоне, однако в случае изменяющейся освещённости (как, например, при уличном видеонаблюдении) приходится хранить достаточно объёмную базу эталонов, соответствующих различным освещённостям. В остальных же случаях метод представляет собой не что иное, как попиксельное сравнение полученных изображений с эталоном. Метод пороговой фильтрации полезен при однородном фоне, но неоднородной освещённости, т.к. позволяет вычислять порог автоматически для отдельных областей. Для автоматического определения порога необходимо построить гистограмму распределения яркостей пикселей. Пример такой гистограммы приведён на рис. 3.

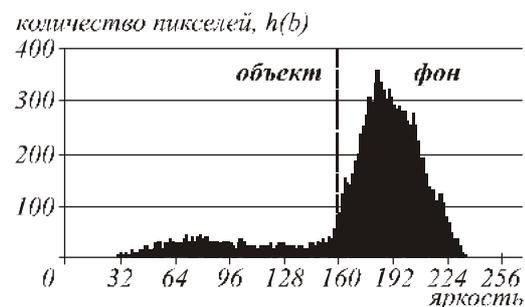


Рис. 3. Распределение яркостей объекта и фона на изображении

После построения гистограммы необходимо найти максимальную яркость h_{\max} .

Далее на стороне диаграммы, не относящейся к объекту (в приведённом на рисунке случае – справа), найти яркость h_p , количество пикселей с яркостью $h \geq h_p$ равняется p (например, 5 %) от $h \geq h_{max}$. После этого новое значение порога пересчитывается по формуле

$T = \frac{h_{max} - (h_p - h_{min})}{h_{max} - h_{min}} = 2h_{min} - h_p$ (однако не самым быстрым) способом обнаружения теней является метод k -средних. Алгоритм бинаризации изображения методом k -средних выглядит следующим образом: выбирается порог T , равный середине диапазона яркостей;

- 2) вычисляется средняя яркость всех пикселей с яркостью меньшей, чем T m_1 и m_2 для пикселей с яркостью большей, чем T ;
- 3) новый порог высчитывается по формуле

$$T = (1/2)(m_1 + m_2);$$

- 4) шаги 2 и 3 повторяются до тех пор, пока T не перестанет изменяться [7].

Вычисление реальных размеров тени

Вычисление реальных линейных размеров тени определяется исходя из размеров изображения и угла обзора видеокамеры. На рис. 4 показан примерный вид зоны видимости камеры.

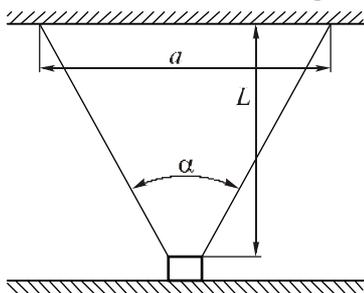


Рис. 4. Зона видимости видеокамеры

Очевидно, что $\alpha = 2L \cdot \text{tg}(\alpha/2)$. Таким образом, для определения реальных линейных размеров тени можно вычислить коэффициент пересчёта, равный ширине изображения в пикселях W , разделённой на реальную ширину наблюдаемой области:

$$K = \frac{a}{W} = \frac{2L}{W \cdot \text{tg}(\alpha/2)}.$$

Определение положения объекта в пространстве

Зная реальные размеры теней объекта и расстояние от видеокамер до плоскости наблюдения, определение положения объекта в пространстве сводится к решению геометрической задачи. На рис. 5 точки A и B соответствуют границам тени на изображениях, полученных с двух видеокамер. Видно, что поиск расстояния от объекта до наблюдаемой плоскости сводится к поиску высоты CH треугольника ΔABC . DK и EM – перпендикуляры, опущенные из точек, где располагаются видеокамеры и источники света. Длина этих перпендикуляров известна из условия задачи.

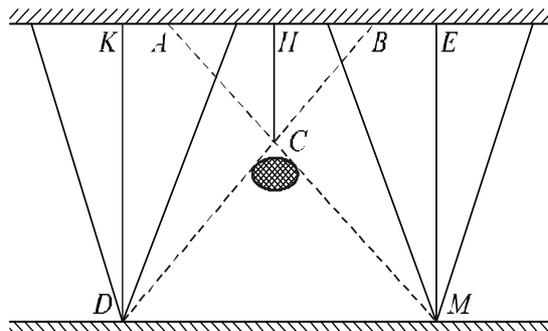


Рис. 5. Геометрическая интерпретация поиска объекта

Также известны расстояния DE и AB , т.к. линейные размеры тени определены способом, описанным в предыдущем параграфе. Очевидно, что KB равно сумме половины зоны видимости ($a/2$) расстояния между зонами видимости и расстоянию от края зоны видимости до тени. Все эти величины являются либо известными, либо вычисленными.

Тогда $BD = \sqrt{DK^2 + KB^2}$. Аналогично находится расстояние AM . Поскольку треугольники ΔABC и ΔCDM подобны, можно записать $\frac{BC}{CD} = \frac{AB}{DM}$, или,

$$\text{обозначив } BC \text{ за } x, \frac{x}{BD - x} = \frac{AB}{DE} \Rightarrow x = \frac{AB \cdot BD}{DE + AB},$$

причём все расстояния, стоящие в правой части равенства, известны. AC находится аналогично. Значение CH определяется из системы уравнений:

$$\begin{cases} CH^2 = AC^2 - AH^2, \\ CH^2 = BC^2 - (AB - AH)^2. \end{cases}$$

Стоит заметить, что полученное в ходе решения системы расстояние AH позволяет найти расстояние от видеокамеры до объекта: $KH = AH \cdot K$. Таким образом, описанную выше процедуру для случая, когда точки A и B являются противоположными границами тени, найдём расстояние от объекта до прямой DE . Таким образом, местоположение объекта будет определено.

Проверка результатов исследования

Для проверки корректности изложенной идеи была разработана программа на языке высокого уровня Python, находящая координаты объекта по двум изображениям, полученным с различных камер. В качестве исходных данных программа получает расстояние до плоскости наблюдения (DK на рис. 5), расстояние между видеокамерами (DM на рис. 5), расстояние между границами зон обзора и два изображения. Для поиска тени программа использует алгоритм адаптивной пороговой фильтрации, описанный выше.

Поскольку процесс измерения в реальных условиях всегда подвержен влиянию большого числа случайных факторов, то величина погрешности (в данном случае отклонение найденных координат объекта от действительных) должна подчиняться нормальному распределению [9].

Для проверки принадлежности распределения случайной величины нормальному распределению следует воспользоваться статистическими методами. Далее будет проведена проверка распределения на «нормальность» с помощью критерия Пирсона [10].

Для проверки гипотезы H_0 о принадлежности распределения случайной величины (в данном случае отклонение вычисленного положения объекта от истинного) закону $F(x)$ необходимо произвести выборку из n независимых наблюдений над случайной величиной. По выборке можно построить эмпирическое распределение случайной величины $F^*(x)$. Сравнение эмпирического и теоретического распределений производится с помощью специально подобранной случайной величины – критерия согласия. Критерий Пирсона является одним из критериев согласия.

Для проверки критерия введём статистику:

$$\chi^2 = N \cdot \sum \frac{(P_i^{theor} - P_i^{emp})^2}{P_i^{theor}}, \quad (1)$$

где P_i^{theor} – теоретическая вероятность попадания в i -ый интервал, $P_i^{emp} = n_i/N$ – соответствующее эмпирическое значение, n – число элементов выборки. При проверке гипотезы о нормальном распределении производилось сорок испытаний. В таблице 1 приведены шесть первых значений для P_i^{theor} и P_i^{emp}

Таблица 1. Значения вероятностей

№	1	2	3	4	5	6	...
P^{theor}	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	...
P^{emp}	0,92	0,92	0,94	0,93	0,92	0,95	...

Значение P^{theor} постоянно, т.к., предположительно, распределение подчиняется нормальному закону.

После вычислений по формуле (1) значение χ^2 равно 50,31. По таблице значений критерия χ^2 в [10] значение 50,31 соответствует уровню значимости 0,1 при количестве степеней свободы равном $n-1 = 40-1 = 39$, а значит, гипотеза о нормальной природе распределения подтверждается.

Поскольку величина погрешности при поиске объекта подчиняется нормальному закону, можно сделать вывод о пригодности метода для практического применения.

Оценка эффективности предложенного метода

В качестве оценки эффективности предложенного метода можно найти дополнительную площадь, покрытую видеонаблюдением. На рис. 6 изображён случай с видеокameraми с углами обзора α ; зоны обзора расходятся в стороны, образуя зоны, ограниченные горизонтальными границами зон обзора видеокamera, равны a . Тогда площадь, покрываемая видеонаблюдением с помощью двух видеокamera, равна:

$$S = 2 \cdot \frac{1}{2} a^2 \sin(\alpha) = a^2 \sin(\alpha). \quad (2)$$

При расчёте площади по формуле (2) не учитываются значения «мёртвой зоны» под видеокameraми, однако, т.к. высота установки видеокamera по условию неизвестна, то в качестве расчётной берётся максимально возможная площадь покрытия одной видеокamera.

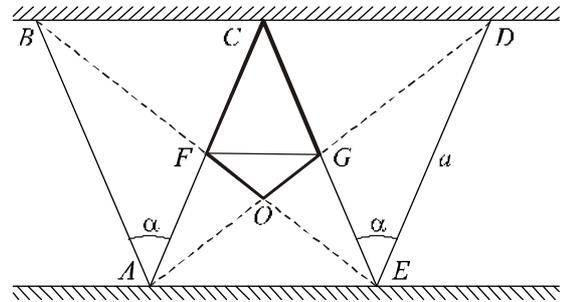


Рис. 6. Расположение видеокamera

Дополнительная контролируемая территория ограничивается контуром $CFOG$. Поскольку площадь треугольника ΔFOG незначительна, ограничимся нахождением площади треугольника ΔCFG . Видно, что $CF = CG = a/2$. Также из геометрических соображений угол $\angle FCG = \alpha$. Тогда $S_{CFG} = (\alpha^2/4) \cdot \sin(\alpha)$ и

$$\frac{S_{CFG}}{S} = \frac{a^2 \sin(\alpha)}{4 a^2 \sin(\alpha)} = \frac{1}{4}. \quad (3)$$

Отношение (3) показывает, что площадь контролируемой территории увеличивается на четверть и не зависит от угла обзора видеокamera.

Заключение

В работе описан метод нахождения объекта по двум его теням, позволяющий увеличить контролируемую территорию систем видеонаблюдения путём установки дополнительных источников освещения. К его достоинствам следует отнести:

- простоту;
- лёгкость программной реализации;
- возможность встраивания в существующие системы видеонаблюдения.

К существенным недостаткам следует отнести:

- ограниченность применения;
- отсутствие достоинств, присущих «настоящему» видеонаблюдению, таких как, например, распознавание людей, номеров машин и т.д.

В заключение следует отметить важный факт: несмотря на увеличение площади контролируемой территории, «мёртвые зоны» под видеокameraми остаются непокрытыми. Эта проблема неизбежно приводит к задаче оптимального покрытия геометрических тел видеокameraми и источниками освещения. Нахождение методов её решения видится логичным продолжением представленной работы.

Литература

1. **Гедзберг, Ю.М.** Охранное телевидение / Ю.М. Гедзберг. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – 312 с.
2. **Демьяновски, В.** CCTV. Библия видеонаблюдения. Цифровые и сетевые технологии / В. Демьяновски. – М.: Ай-Эс-Эс Пресс, 2006. – 280 с.
3. **Васильков, А.В.** Безопасность и управление доступом в информационных системах / А.В. Васильков, И.А. Васильков. – М.: ФОРУМ, 2010. – 368 с.
4. **Ахманов, С.А.** Физическая оптика / С.А. Ахманов, С.Ю. Никитин. – М.: Издательство МГУ; Наука, 2004. – 656 с.
5. **Меженин, А.В.** Реконструкция трёхмерных моделей по растровым изображениям / А.В. Меженин, Т.В. Тозык // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – № 45. – С. 203-207.
6. **Гонсалес, Р.** Цифровая обработка изображений в среде MathLab / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2006. – 616 с.
7. **Мандель, И.Д.** Кластерный анализ / И.Д. Мандель. – М.: Финансы и статистика, 1988. – 176 с.
8. **Сойфер, В.А.** Теоретические основы цифровой обработки изображений / В.А. Сойфер, В.В. Сергеев, С.Б. Попов, В.В. Мясников. – Самара: СГАУ, 2000. – 256 с.
9. **Феллер, В.** Введение в теорию вероятностей и её приложения / В. Феллер. – М.: МИР, 1964. – 499 с.
10. **Кендалл, М.** Статистические выводы и связи / М. Кендалл, А. Стюарт. – М.: Наука, 1973. – 899 с.

References

1. **Gedzberg, J.M.** Closed circuit television / J.M. Gedzberg. – Moscow: “Goryachaya liniya – telecom” Publisher, 2005, – 312 p. – (In Russian).
2. **Demianovski, V.** CCTV Bible. Digital and networking technologies / V. Demianovski. – Moscow: I-S-S Press, 2006. – 280 p. – (In Russian).
3. **Vasilkov, A.V.** Security and access management in information systems / A.V. Vasilkov, I.A. Vasilkov. – Moscow: “Forum” Publisher, 2010. – 368 p. – (In Russian).
4. **Ahmanov, S.A.** Physical optics / S.A. Ahmanov, S.J. Nikitin – Moscow: MSU publishing house; “Nauka” Publisher, 2004 – 656 p. – (In Russian).
5. **Mezhenin, A.V.** Reconstruction of 3D models for bitmap images / A.V. Mezhenin, T.V. Tozik // Nauchno-tehnicheskiy vestnik SPSTU ITMO. – N 45. – P. 203-207. – (In Russian).
6. **Gonzalez, R.** Digital image processing / R. Gonzalez, R. Woods. – Moscow: “Tehnosfera” Publisher, 2006. – 616 p. – (In Russian).
7. **Mandel, I.D.** Cluster analysis / I.D. Mandel. – Moscow: “Finansi i Statistika” Publisher, 1988. – 176 p. – (In Russian).
8. **Soifer, V.A.** Theoretical bases of digital image processing / V.A. Soifer, V.V. Sergeev, S.B. Popov, V.V. Myasnikov – Samara: SSAU Publisher, 2000. – 256 p. – (In Russian).
9. **Feller, W.** An introduction to Probability theory and its applications / W. Feller. – Moscow: “MIR” Publisher, 1964. – 499 p. – (In Russian).
10. **Kendall, M.** Statistical inference and relationship / M. Kendall, A. Stuart. – Moscow: “Nauka” Publisher, 1973. – 899 p. – (In Russian).

CONTROL OF UNCOVERED CCTV SITES WITH ADDITIONAL LIGHT SOURCES*A.V. Lisin**Omsk State Technical University**Abstract*

The paper describes a method for detecting and establishing the position of objects outside the visible area of CCTV cameras with two additional light sources. An algorithm for computing the position of objects in two images, containing their shadow.

Key words: information security, CCTV, “dead zone”, threshold filtering, binarization.

Сведения об авторе

Лисин Андрей Владимирович, 1987 года рождения. В 2009 году окончил Омский государственный технический университет по специальности 090104 «Комплексная защита объектов информатизации», магистр второго года обучения по программе 230125.68 «Безопасность и защита информации», научный руководитель – д.т.н., профессор Р.Т. Файзуллин. Область научных интересов: системы охранного телевидения, обработка изображений, математические методы обеспечения информационной безопасности.

E-mail: andrey.lisin@gmail.com.

Andrey Vladimirovich Lisin, (b. 1987) graduated from the Omsk State Technical University in 2009, majoring Integrated Protection of objects of information, master of the second year of training under the program Safety and security information. Research interests are CCTV systems, image processing, mathematical methods of information security.

Поступила в редакцию 15 ноября 2010 г.