

УДК 004.8

ВОЗМОЖНОСТИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ СЦЕНЫ СИСТЕМОЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ РОБОТА

Храмов Владимир Викторович,

Ведущий научный сотрудник ЧОУ ВО ЮУ (ИУБиП)», к.т.н., доцент,

e-mail: _vxramov@inbox.ru

Аннотация. Рассмотрены теоретические и практические вопросы развития системы технического зрения роботов, которая опирается на семантические системы понимания изображения сцены при ее исследовании, для систем поддержки и принятия решений в самых различных отраслях знаний.

Ключевые слова: техническое зрение, распознавание сцен на решетках, коэффициенты формы, системы технического зрения

POSSIBILITIES OF IDENTIFICATION OF SCENE OBJECTS BY THE ROBOT VISION SYSTEM

Khramov V.V.

Abstract: Theoretical and practical issues of the development of the system of technical vision of robots, which is based on semantic systems for understanding the image of the scene in its study, are considered, intellectual processing and use for support and decision-making systems in various fields of knowledge.

Keywords: technical vision, recognition of scenes on gratings, shape factors, vision systems

Введение

Активное внедрение робототехники в современном мире, включая разработку антропоморфных и антропогенных роботов для различных сфер деятельности человека, требует разработок принципиально новых систем технического зрения (СТЗ), способных работать с трехмерными изображениями и более сложными объектами, производить точные измерения, быстро и точно распознавать отдельные объекты и их структурные элементы и т.д. Наиболее часто встречаемые классы изображений, принадлежащих различным предметным областям знаний (исследований), можно разделить на изображения, полученные внутри помещений; (наземные) изображения, полученные вне помещений ;

аэрокосмические изображения; биомедицинские изображения; микроскопические изображения и др.

В то же время , разрабатываемые современные системы компьютерного зрения существенно опираются на специфику обрабатываемой информации , в связи с чем данная область исследований имеет собственный предмет и методы исследования , что является отдельными направлениями современной науки , которые часто пересекается с такими областями , как компьютерная графика , обработка изображений , психология восприятия и др., что целесообразно рассматривать с позиций теории «SoS» [1].

1. Процедуры обработки изображений

Процесс регистрации отраженного непрерывного сигнала и его преобразование в цифровое представление называется получением цифровых изображений. Различные преобразования этих изображений называются обработкой цифровых изображений. Обработка выполняется по определенным алгоритмам, с помощью программ, реализующих эти алгоритмы.

Изображение – это «образ, в той или иной степени подобный (но не идентичный) изображаемому объекту» [2]. Будем различать реальные и виртуальные изображения, подчеркивающие интересующие нас свойства исследуемых объектов.

Зрительная система – это оптико-биологическая бинокулярная или фасеточная система, эволюционно возникшая у животных, модель которой скопирована в РТК. Создавая изображение, она способна воспринимать излучение видимого животным или роботом (у которого возможности шире) соответствующего участка электромагнитного (или акустического) спектра в виде сенсорного восприятия положения предметов в пространстве [3], их размеров, формы и т.п.

Цифровое изображение обычно трактуют как матрицу, элементы которой – пиксели, содержащие целочисленные значения из некоторой палитры [4,5]. Эти значения обычно безразмерны, имеют абстрактный характер. При этом форма пикселей может быть треугольной, квадратной или шестиугольной. У каждой из них есть свои преимущества и недостатки [6].

2. Способы формирования признаков идентификации

В настоящее время известно достаточно много методов формирования признаков информационных объектов на сегментированных изображениях. К наиболее применяемым относят методы: геометрических моментов, дескрипторов Фурье, ортогональных разложений, метод стохастической геометрии и т.д.

В данном исследовании рассматривается метод, основанный на идентификации формы контура плоского объекта на бинарном изображении. «Пусть средствами считывания получено двумерное графическое изображение объекта. Методами предварительной обработки устранен шум и изображение приведено к бинарному виду» [7].

Выделим «замкнутый контур объекта, который на прямоугольном растре может быть представлен совокупностью координат $\{x_i, y_i\}$, а на треугольном и гексагональном растрах, соответственно, $\{x_i, y_i, z_i\}$, точек $\{a_i\}$, $i = \overline{1, N}$, где N – число точек (пикселей) контура» [8].

Обозначим длину контура $S = \sum_{i=1}^N l_i$, где l_i – длина элементарного i -го вектора.

Для прямоугольного растра:

$$l_k = \begin{cases} 1, & \text{если элемент кода Фримена четный,} \\ \sqrt{2}, & \text{если иначе.} \end{cases} \quad (1)$$

Для треугольного и гексагонального растров $l \equiv 1$ и $S = N$. Введем еще одно обозначение, переменную $s_j = \sum_{i=1}^j l_i$.

В общем случае, при $N \rightarrow \infty$ (но при $n \ll \infty$), «линии контура объекта изображения являются решением линейного дифференциального уравнения конечного порядка»[9].

Задавая параметрические зависимости координат контура в виде функций зависимости от длины контура, которые можно представить в виде двух (для прямоугольного растра) и трех (для треугольного и гексагонального растров) графиков, можно отметить следующие их особенности:

- 1) Для прямоугольного растра абсцисса графика будет изменяться неравномерно (1);
- 2) Для треугольного и гексагонального растров абсцисса будет равномерной, но должно выполняться равенство (например, для первого октанта) $x+y=z$
- 3) Для замкнутого контура все функции будут периодическими, с периодом равным длине контура.

В качестве признаков распознавания авторы предлагают использовать коэффициенты разложения в ряд ортогональных функций. Как показали наши эксперименты, такие признаки обладают высокой информативностью и позволяют минимизировать временные и вычислительные затраты на их получение. Тем более, если подобрать соответствующий ортогональный базис.

Рассмотрим подробнее такой подход.

Коэффициенты ортогонального разложения могут быть получены по общей формуле:

$$\Phi_j = \int_0^{\infty} f(s)\varepsilon_j(s)ds, \quad (2)$$

в которую в ходе вычислительного эксперимента вместо $f(s)$ подставляем, соответственно, x, y, z . Для восстановления значений этих зависимостей будем использовать формулу, вне зависимости от того, какие именно используются ортогональные функции $\varepsilon_j(s)$:

$$f(s) = \sum_{j=0}^{\infty} \Phi_j \varepsilon_j. \quad (3)$$

Выберем следующие базисные ортоэкспоненциальные функции, задаваемые выражением [13]:

$$\varepsilon_j(s) = \sqrt{2mj} \sum_{k=0}^{j-1} (-1)^k C_{j-1}^k C_{j+1}^k \sum_{l=1}^L (-1)^l C_k^l e^{-(l+1)ms}, \quad (4)$$

где $m \in (0,1)$ – некоторый масштабный коэффициент, исходя из того, что их применение в вычислительных процедурах позволяет использовать известные таблицы преобразования Лапласа [10].

Обозначим

$$Y_k = \int_0^{\infty} f(s) e^{-kms} ds. \quad (5)$$

Тогда коэффициенты разложения будут иметь вид:

$$\Phi_0 = \sqrt{2m} Y_0, \quad \Phi_1 = 2\sqrt{4m} (Y_0 - \frac{3}{2} Y_1), \quad \Phi_2 = 3\sqrt{6m} (Y_0 - 4Y_1 + \frac{10}{3} Y_2) \quad \Phi_n. \quad (6)$$

Выражение (2) совпадает с интегральным преобразованием Лапласа (7):

$$F(p) = \int_0^{\infty} f(s) e^{-ps} ds, \quad \text{где } p = \alpha + j\beta \quad (7)$$

В частном случае, при $\beta=0, \alpha=km$ можно записать:

$$F(km) = \int_0^{\infty} f(s) e^{-kms} ds = Y_k \quad (8)$$

Обозначим $f_1(s) = x(s); f_2(s) = y(s); f_3(s) = x(S-s); f_4(s) = y(S-s)$,

где $x(S-s); y(S-s)$ – «зеркальные» функции, а S – «длина контура».

Использование в признаках формы контура зеркальных функций позволяет лучше учитывать все части контурной линии для идентификации [11].

Из «спектрально-аналитической теории известно, что в качестве признаков (коэффициентов) формы наилучшими, с точки зрения информативности, являются отношения функционалов» [12]:

$$\Phi_{13} = \frac{\int_0^{\infty} x(s)e^{-ps} ds}{\int_0^{\infty} x(S-s)e^{-ps} ds}. \quad (9)$$

С «учетом принятых обозначений и того, что мы имеем дело с периодической функцией (период которой – длина контура S), выражение (9) можно переписать в следующем виде»[4]:

$$\Phi_{ij} = \frac{\int_0^S f_i(s)e^{-ps} ds}{\int_0^S f_j(s)e^{-ps} ds}. \quad (10)$$

Таблица 1 – Выражения коэффициента формы для некоторых объектов

Φ_{ij}	Окружность	Эллипс с осями a и b	Квадрат со стороной a	Ромб с диагоналям a и b	Прямоугольник со сторонами a и b
Φ_{12}	$\frac{1}{p}$	$\frac{a}{b} \frac{1}{p}$	e^{-ap}	$\frac{a}{b} e^{-\frac{\sqrt{a^2+b^2}}{2}p}$	$\frac{e^{-\frac{b}{2}p}(1+e^{-ap}) - ap(1-e^{-(a+b)p})}{e^{-\frac{a}{2}p}(1+e^{-bp}) - bp(1-e^{-(a+b)p})} e^{-ap}$
Φ_{14}	$\frac{1}{p}$	$\frac{a}{b} \frac{1}{p}$	$-e^{-ap}$	$\frac{a}{b} e^{-\frac{\sqrt{a^2+b^2}}{2}p}$	$\frac{e^{-\frac{b}{2}p}(1+e^{-ap}) - ap(1-e^{-(a+b)p})}{e^{-\frac{a}{2}p}(1+e^{-bp}) - bp(1-e^{-(a+b)p})} e^{-ap}$
Φ_{23}	$-p$	$-\frac{b}{a} \frac{1}{p}$	e^{-ap}	$-\frac{b}{a} e^{-\frac{\sqrt{a^2+b^2}}{2}p}$	$\frac{e^{-\frac{a}{2}p}(1+e^{-bp}) - bp(1-e^{-(a+b)p})}{e^{-\frac{b}{2}p}(1+e^{-ap}) - ap(1-e^{-(a+b)p})} e^{-ap}$
Φ_{34}	$-\frac{1}{p}$	$-\frac{a}{b} \frac{1}{p}$	$-e^{-ap}$	$-\frac{a}{b} e^{-\frac{\sqrt{a^2+b^2}}{2}p}$	$-\frac{e^{-\frac{b}{2}p}(1+e^{-ap}) - ap(1-e^{-(a+b)p})}{e^{-\frac{a}{2}p}(1+e^{-bp}) - bp(1-e^{-(a+b)p})} e^{-ap}$

Как хорошо видно из таблицы 1, полученные значения совпадают с принятыми в классической теории распознавания формы признаками для простейших геометрических фигур, часто используемых на основе эмпирических соображений [6], что с точки зрения авторов, подтверждает корректность полученных теоретических выводов.

В процессе исследования применимости разработанного подхода к практической реализации были рассмотрены СТЗ для робототехнических систем в экстремальных областях, связанных с МЧС [3, вооруженными силами [7], а также применительно к системам дистанционного мониторинга в горном деле и сельском хозяйстве. Результаты уже показали высокую эффективность данного подхода.

Заключение

Рассмотренные в работе вопросы оптимизации системы технического зрения для различных робототехнических комплексов, а также принципы построения целостной системы понимания изображения сцены в процессе ее исследования были рассмотрены вопросы визуального представления объектов и процессов на прямоугольных, треугольных и гексагональных растрах

Библиографический список

1. Крамаров С.О., Храмов В.В., Гребенюк Е.В., Бочаров А.А. Основы эрготехнического подхода к формированию электронной образовательной среды. – Москва: РИОР, 2021. – 160с.
2. Потапов А.С. Системы компьютерного зрения: учебное пособие. – СПб: Университет ИТМО, 2016. – 161 с.
3. Мальцев, А.В. Реализация эргономичного интерфейса управления виртуальной моделью антропоморфного робота с использованием устройства Kinect / А.В. Мальцев, М. В. Михайлюк // Программная инженерия. – 2015. – № 10. – С. 12-18. – EDN UNEXAT.
4. Михайлюк, М.В. Командный и супервизорный режимы управления виртуальными роботами / М. В. Михайлюк, Д. В. Омельченко, Е. В. Страшнов // Вестник кибернетики. – 2016. – № 4(24). – С. 67-72. – EDN XWYZCD.
5. Старовойтов, В.В. Получение и обработка изображений на ЭВМ: учебно-методическое пособие / В.В. Старовойтов, Ю.И. Голуб. – Минск: БНТУ, 2018. – 204 с.
6. Майоров, В.Д. Эвристические способы контурного кодирования моделей информационных объектов в системе технического зрения робота / В.Д. Майоров, В.В. Храмов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2014. – № 1(53). – С. 62-69. – EDNSADCPL.
7. Бугаков, И.А. Интеллектуализация военной робототехники: терминологическая и технологическая проблемы / И.А. Бугаков, А.Н. Царьков // Известия Института инженерной физики. – 2017. – № 3. – С. 87-93.
8. Прикладные методы идентификации в автоматизированных системах на транспорте / Д.С. Гвоздев, В.В. Храмов, С.М. Ковалев, Е.В. Голубенко; РГУПС. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2015. – 186 с. – ISBN 978-5-88814-410-7. – EDN XDQCUZ.
9. Соловьёв К.С. Дистанционно управляемая робототехника BROKK / Соловьёв К.С. // Труды XXI Международной научно-технической конференции: Экстремальная робототехника. – СПб.: Изд-во «Политехника-сервис», 2010. – С.155-159.
10. Храмов, В.В. Способ описания объектов сцены системы технического зрения робота средствами нечеткой триангуляции Делоне с использованием адаптивной сетки // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2020. – Т. 16.
11. Каляев И.А. Самоорганизация в мультиробототехнических системах / Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. // Труды XXI Международной научно-технической конференции: ЭР. – СПб.: Изд-во «Политехника-сервис», 2010. – С.72-83.

12. Лопота В.А. О некоторых перспективных направлениях развития космической робототехники / Лопота В.А., Юревич Е.И. // Мехатроника и робототехника (МиР-2010). Итоговый сборник статей. – СПб.: Изд-во «Политехника-сервис», 2010. – С.65-68.