

КОМПЬЮТЕРНОЕ ЗРЕНИЕ В ИПМ ИМ. В.М. КЕЛДЫША РАН – ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ

Abstract: Computer vision (technical vision, robot vision) appeared at Keldysh Institute in 1970. The computer vision problems were generated by the robotics, the men-computer interface, the pattern recognition, the diagnostics in medicine, computer graphics. The history of this branch during more than 30 years is discussed.

Key words: artificial Intelligence, computer vision, the history of a science.

Анотація: У статті розглядаються проблеми комп'ютерного зору (технічний зір, зір роботів), які виникли в Інституті прикладної математики ім. В.М. Келдыша на початку 70-х років ХХ ст. Джерелом задач для машинного зору були робототехніка, удосконалення інтерфейсу ЕОМ, розпізнавання образів, медична діагностика, комп'ютерна графіка. Розглядається історія направлення протягом більше 30 років.

Ключові слова: штучний інтелект, комп'ютерний зір, історія науки.

Аннотация: В статье рассматриваются проблемы компьютерного зрения (техническое зрение, зрение роботов), которые возникли в Институте прикладной математики им. М.В. Келдыша в начале 70-х годов ХХ ст. Источниками задач для машинного зрения были робототехника, усовершенствование интерфейса ЭВМ, распознавание образов, медицинская диагностика, компьютерная графика. Рассматривается история направления на протяжении более 30 лет.

Ключевые слова: искусственный интеллект, компьютерное зрение, история науки.

1. Введение

Компьютерное зрение (computer vision, машинное зрение, техническое зрение, зрение роботов) оформилось как самостоятельная дисциплина к концу 60х годов. Это направление возникло в рамках искусственного интеллекта в тот его период, когда еще были горячи споры о возможности создания мыслящей машины. Оно выделилось из работ по распознаванию образов, когда была осознана его математическая специфика, фотоизображение представляет собой двухмерную проекцию трехмерного мира, т.е. вырожденное преобразование. Это означает, что для полной и правильной интерпретации того, что изображено, необходимо иметь дополнительную информацию. По аналогии со зрением человека, в качестве способов получения дополнительной информации стали рассматривать движение зрительного устройства (активный осмотр), использование стереопары, априорных моделей увиденного как геометрических, так и содержательных, семантических. Это рассмотрение во всем мире, а в нашей стране тем более, было в основном умозрительным, так как ни техники, ни математического обеспечения для решения таких сложных задач еще не было. Наряду с этим источником, машинное зрение имело и другие, технические и практические. Фотоизображение начали использовать для измерений задолго до изобретения компьютера (фотограмметрия). Этот подход использовался для аэрофотосъемки, позже – для космической навигации и других задач. При решении практических задач использовались и несколько иные способы получения дополнительной информации. Это в разных видах искусственная организация среды, в том числе специальная подсветка (например, целевая подсветка для облегчения выделения ребер), использование разного рода маркеров и маяков (например, триангуляционные вышки при аэрофотосъемке или маркировка деталей на конвейере), стандартное расположение предметов.

В Институте прикладной математики им. М.В. Келдыша эта тематика появилась несколько позже. Первые задачи были поставлены в начале 70-х, а результаты были получены во второй половине 70-х годов ХХ века. На первом этапе развития работ по машинному зрению приходилось

решать техническую и в то же время тяжелую задачу ввода изображения в память вычислительной машины, очень ограниченную (64К для БЭСМ-6, на которой мы тогда работали). Визуализация изображения, каким-то образом сформированного в памяти машины, была невозможна до появления системы ГРАФОР, которая давала возможность вывести на бумагу с помощью графопостроителя график или контурный рисунок, что, конечно, разительно отличалось от тех изображений, которые мы видим сегодня на экранах своих компьютеров. Несколько лучше обстояло дело для ЭВМ, имеющих вывод на дисплей, например, М-6000, но и там выводились точечные или контурные изображения. Обработку изображений (точнее, графического препарата) и моделирование трехмерных предметов и сцен приходилось осуществлять при помощи самодельного нестандартного матобеспечения. Поэтому с неизбежностью компьютерное моделирование и техническое макетирование были упрощенными, хотя и требовали героических усилий. Технические, алгоритмические и математические решения 70–80 годов могут, на наш взгляд, представлять исторический интерес.

С развитием техники, особенно с появлением в 90 годы персональных компьютеров и цифровых фото- и видеокамер, наступила новая, современная эра в области машинного зрения. Проблемы получения информации, сопряжения оптического канала ввода с ЭВМ и визуализации были решены, а область содержательных исследований зрительных проблем, а также применения видеоввода для измерений и автоматического наблюдения быстро расширяется. В самые последние годы пришло осознание того, что это направление является одним из основных для института [1–4].

Данный обзор ставит целью собрать вместе разрозненные работы, особенно ранние, и дать их хотя бы самую общую классификацию. Автор надеется, что отражены все направления, хотя, к сожалению, нет возможности назвать всех авторов. Библиография приводится выборочно, по одной – две ссылки на задачу, полная библиография будет приведена в готовящемся к изданию препринте ИПМ. Из работ последних 15 лет представлены те, которые более интересны автору данной статьи.

2. Ранние работы по компьютерному зрению в ИПМ

Машинное зрение развивалось независимо в нескольких отделах института, связанных с робототехникой, искусственным интеллектом, медицинской диагностикой, техническим оснащением компьютера, позже – компьютерной графикой. Одним из основных источников задач для машинного зрения была и остается робототехника. Здесь возникают задачи осмотра местности, информационного обеспечения и навигации (для подвижных роботов), анализа трехмерных сцен (в том числе по последовательности кадров движущихся объектов), «интеллектуальной» сборки конструкций роботами – манипуляторами под зрительным контролем, инспекционного зрения для контроля выполнения манипулятором рабочих операций, оперативного слежения за объектом и т.д. Эти работы проводились под руководством академика Д.Е. Охоцимского и д.ф.-м.н. А.К. Платонова. Предпочтение отдавалось работам с реальным оборудованием. На основе выпускаемых промышленностью телекамер приходилось создавать видеокомплексы с оригинальными устройствами сопряжения и программами первичной обработки данных [5–7], обосновывать их метрологические характеристики [8]. Эти разработки использовались в различных приложениях: для автоматизации сборки и инспекционного видения в промышленных системах [9–11], управления

станками с ЧПУ [12]; для проверки правильности функционирования индикаторов на жидких кристаллах [13], стрелочных приборов [14] и др. С изменением технической базы эти работы перешли в новую фазу. Имеющийся задел переносится на современные компьютеры и видеоввод.

После перехода на персональные компьютеры группой авторов с участием С.М.Соколова были решены задачи контроля чистоты и состава гранул металлических порошков [15], контроля объектов инфраструктуры железной дороги [16], контроля чистоты жидкости в емкостях на конвейере и др. Особо отметим цикл работ, посвященных важной задаче слежения за малоразмерной целью, выполненных А.А. Богуславским и С.М. Соколовым [17].

Отдельно назовем задачи ориентации в окружающей среде мобильных роботов. Мобильные роботы – одна из основных разработок отдела Д.Е. Охоцимского. Эти работы ведутся с начала 70-х годов по сегодняшний день. В макетах ранних мобильных роботов (колесных и шагающих) использовались лазерные дальномеры, позже и телекамеры. В модельных разработках рассматривались визуальные датчики и дальномер. Роботы решали задачи выбора пути, навигации, отслеживания цели и т.д. Это работы А.К. Платонова, А.А. Кирильченко, Е.И. Кугушева, В.С. Ярошевского, С.М. Соколова и др. [18–22]. Из более поздних работ назовем [23]. Сюда можно отнести также работы В.Е. Пряничникова по дистанционным оптическим и ультразвуковым датчикам, используемым для робокаров и подводных роботов, в частности, работы по юстировке и аттестации систем технического зрения [24].

Одновременно с этими работами под руководством Д.Е. Охоцимского производились поисковые работы над математическими и алгоритмическими задачами трехмерного и «интеллектуального» зрения, для которых еще не существовало аппаратной базы. Сюда относятся работы Ю.А. Садова с сотрудниками. Эта группа решала модельную задачу укладки по чертежу конструкции из деталей-многогранников [25], для чего требовалось решить задачу идентификации трехмерных моделей по известным особым точкам изображения [26, 27], что, в свою очередь, потребовало разработки специального геометрического языка программирования [28]. Решались и другие задачи, например, определение метрических характеристик предметов по изображению [29] и т.д. Позже решалась задача семантического представления трехмерной информации и моделирования решения роботом интеллектуальных задач, например, сборки по аналогии [30, 31]. Позже Е.И. Кугушев с Е.Ю. Зуевой и др. теоретически исследовал задачу восстановления формы объекта и параметров движения по последовательности изображений движущегося объекта [32–35]. Е.И. Кугушев с сотрудниками В.Г. Толстоусовой, А.А. Кирильченко, А.Ю. Каргашиним исследовали вопросы константности восприятия и инвариантов изображения [36, 37].

Замечательные работы по теории и моделированию трехмерного зрительного восприятия проведены также С.С. Камыниным и его сотрудниками И.М. Бродской и О.Н. Ушаковой [38–43]. С.С. Камыниным была поставлена задача определения формы тела по облаку точек, не очень заметная в те годы в общем потоке работ по зрению, а позже ставшая популярной и актуальной до сих пор. Довольно много работ было выполнено сотрудниками С.С. Камынина совместно со школой Д.Е. Охоцимского [44, 45]. Совместно с Е.И. Кугушевым была выполнена работа по распознаванию объектов по моментным признакам на изображении [46].

А.Ю. Каргашиным, Е.Ю. Зуевой и И.М. Бродской, под редакцией Ю.А. Садова и Е.И. Кугушева, была переведена книга Хорна «Зрение роботов» – одна из основополагающих зарубежных книг по этой тематике [47].

В течение более 30 лет в МГУ функционировал семинар Д.Е. Охочимского по робототехнике и искусственному интеллекту, на котором существенная часть всех докладов была посвящена зрительной тематике. Вторым руководителем семинара всегда был биолог, и в течение многих лет – крупных специалист по зрению человека, проф. биофака МГУ Е.А. Соколов.

Другим, независимым источником зрительных задач, были работы, проводимые под руководством акад. И.М. Гельфанда. Эта группа занималась исследованием основ моделирования живого, распознаванием образов, медицинской диагностикой и частичной автоматизацией работы врача.

Упомянем две яркие работы этого коллектива, относящиеся к машинному зрению. Одна из них – работа Ш.А. Губермана по распознаванию рукописных текстов. В основу работы положена идея о том, что распознавание объекта должно рассматриваться как имитация процесса его создания [48]. Этот подход оказался очень удачным для рукописных букв, которые характеризуются процессом движения руки при их написании [49, 50]. Другая работа, посвященная автоматическому анализу рентгенограмм грудной клетки человека, проводилась совместно В.А. Егоровым и Ш.А. Губерманом при помощи А.Н. Мямлина и его сотрудников [51–54]. Целью работы было освободить врача от просмотра большого количества снимков, показывающих явную норму. Был создан эталон изображения грудной клетки, параметры которого уточнялись для данного конкретного снимка. То, что оставалось на снимке после удаления эталонного изображения, могло означать патологию. Работа была успешно завершена и не была использована только потому, что в СССР изменился порядок флюорографического обследования, снимок заменили непосредственным осмотром.

Еще одним источником зрительных задач были работы по усовершенствованию интерфейса ЭВМ, попытки автоматизировать ввод печатного текста [55–57]. Эти ранние работы не привели к созданию соответствующего устройства. Позже стало доступно использование стандартных устройств. Интересно отметить, что, несмотря на это, работы по автоматизации текстового ввода продолжают [58].

3. Некоторые работы последних 20 лет

В начале 90-х годов стала более очевидной связь между задачей зрительного восприятия и современными задачами компьютерной графики – построением физически реалистичных изображений, анимацией и т.п., а также связь обоих этих направлений непосредственно с оптическими исследованиями: моделированием и прямым измерением светорассеивающих свойств поверхностей. Работа в этом направлении велась с 1992 г. под руководством пионеров отечественной компьютерной графики Ю.М. Баяковского и В.А. Галактионова. В результате этой работы, совместно с японской фирмой “INTEGRA”, была создана интерактивная подсистема визуального ввода сцен для последующего использования в коммерческой системе компьютерной графики [59–62]. Предметы сцены распознавались при помощи моделей из некоторого библиотечного набора, параметры модели подбирались путем процедуры оптимизации, внешний вид

поверхности и мелкие геометрические детали изображались как текстура. В рамках этой же совместной деятельности была выполнена интересная работа по модификации методов фотограмметрии (восстановления рельефа) на поверхности другого масштаба. По специальным фотографиям с использованием щелевой подсветки восстанавливался рельеф лица и головы человека [63, 64]. Использование цветовой информации привело к попыткам восстановления цвета по фотоизображениям, что, в свою очередь, выявило необходимость проведения полномасштабных физических измерений, с использованием эталонных образцов, оценкой точности и т.д. В результате был создан, совместно с ИОФ РАН, уникальный прибор для измерения оптических свойств поверхности образцов (гониоспектрофотометр). Автор идеи и разработчик прибора – А.А. Летунов. С использованием результатов измерений, полученных с помощью этого прибора, были проведены работы по математическому описанию и моделированию оптических свойств различных материалов [65–67]. В качестве основного фотоприемного устройства в этой установке используется бытовая видеокамера на ПЗС матрице.

В последние годы в институте М.С. Кузьминой и группой сотрудников проводится работа по применению нейронных сетей к задачам обработки изображений и зрительного распознавания [68, 69].

Отметим особо те работы последнего десятилетия, где основное содержание задачи составляет механика, а визуальный ввод используется как один из возможных датчиков. Механика, в частности, космического полета, – одно из основополагающих направлений института с момента его возникновения и по сегодняшний день. В институте была решена задача визуального мониторинга процесса сближения и стыковки космического корабля и международной космической станции [70]. Решалась также задача захвата манипулятором движущегося объекта под зрительным контролем [71].

В течение последнего десятилетия серьезные работы по теоретическим и практическим проблемам компьютерного зрения ведутся под руководством Ю.М. Баяковского и на факультете ВМК МГУ силами студентов и аспирантов [72]. В.А. Вежневц решал задачу определения по фотографиям параметров модели человеческого лица [73]. А.С. Конушин разработал алгоритмы поиска соответствующих точек на стереопаре и другие задачи анализа сцен [74]. Изучались также восстановление движения и формы по видеопоследовательности [75–77] и ряд других задач [78–80]. Отметим также работы, где данные различных физических измерений переводятся в форму изображения и затем могут исследоваться методами распознавания зрительных образов, а также те, где изображения получаются с помощью специальных приборов, например, микроскопа [81].

По инициативе и под руководством Ю.М. Баяковского с 1990 г. ежегодно в Москве и других городах России проводится международная конференция ГРАФИКОН. С 1999 года компьютерное зрение стало полноправным направлением на этой конференции и включено в ее название [82].

3. Выводы

Возвращение к ранним работам научного направления, по которым можно проследить историю его формирования, всегда интересно и поучительно. В наше время это особенно важно, так как велик соблазн использования готовых западных решений, которому трудно противостоять и который

грозит потерей самостоятельности. Приобщение к тому творческому потенциалу, который заложен в оригинальных отечественных работах, может помочь найти свою нишу в общем потоке работ по компьютерному зрению.

Работа частично поддержана грантом РФФИ 09-01-0299.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Платонов А.К. Проблемы и перспективы робототехники // Будущее прикладной математики. Лекции для молодых исследователей / Ордена Ленина Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук. – М.: URSS, 2004. – С. 315 – 342.
2. Баяковский Ю.М., Галактионов В.А. Современные проблемы компьютерной (машинной) графики // Будущее прикладной математики. Лекции для молодых исследователей / Ордена Ленина Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук. – М.: URSS, 2004. – С. 445 – 473.
3. Соколов С.М. Проблемы машинного видения в робототехнике и автоматизации производства // Будущее прикладной математики. Лекции для молодых исследователей / Ордена Ленина Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук. – М.: URSS, 2004. – С. 343 – 373.
4. Робототехника, прогноз, программирование. // Будущее прикладной математики. Лекции для молодых исследователей / Под ред. Г.Г. Малинецкого. – М.: URSS, 2008. – 208 с.
5. Платонов А.К. Система сбора и алгоритмы первичной обработки фотометрической информации / А.К. Платонов, С.М. Соколов. – М., 1979. – 34 с. (Препринт / ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР; 87).
6. Устройство для ввода информации: А.с. 1282106 / В.П. Андреев, С.М. Соколов. – № 3828829; Заявл. 24.12.84.
7. Соколов С.М. Сбор и обработка фотометрической информации в комплексе интегрального робота // Механика и управление движением роботов с элементами искусственного интеллекта. – М.: ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР, 1980. – С. 97 – 110.
8. Обеспечение метрологических характеристик аппаратной части системы технического зрения на базе промышленной телевизионной установки / Е.И. Александров, В.П. Андреев, А.А. Жданов и др. // Тезисы докладов научно-технической конференции "Разработка систем технического зрения и их применение в промышленности". – Устинов: Мех. завод, 1986. – С. 63 – 64.
9. Эксперименты по сборке с помощью оцувствленного робота / В.В. Вахлин, С.И. Гримайло, В.Е. Донцов и др. // Материалы II Всесоюзного совещания по робототехническим системам. Тезисы докладов. – Минск: Бел. НИИТИ, 1981. – Ч. III. – С. 105 – 106.
10. Соколов С.М. Система обработки изображений с малым разрешением в комплексе сборочного робота // Проблемы машинного видения в робототехнике. – М.: ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР, 1981. – С. 120 – 132.
11. Охоцимский Д.Е. Инспекционное видение для задач промышленной сборки / Д.Е. Охоцимский, А.В. Волков, С.С. Камынин, Е.И. Кугушев, В.Г. Толстоусова. – М., 1984. – 26 с. (Препринт / ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР; 137).
12. Соколов С.М. СТЗ в контуре управления станка с ЧПУ // Шестая Всесоюзная конференция по управлению в механических системах. Тезисы докладов. – Львов: Львовская научная библиотека АН УССР, 1987. – С. 144.
13. Охоцимский Д.Е. Программное обеспечение системы технического зрения для автоматического контроля правильности функционирования индикаторов на жидких кристаллах / Д.Е. Охоцимский, Е.И. Кугушев, С.М. Соколов, А.С. Трескунов. – М., 1989. – 26 с. – (Препринт / ИПМ АН СССР; 69).
14. Соколов С.М. Система технического зрения для обеспечения автоматизации операций настройки, нанесения шкалы и контроля стрелочных измерительных приборов // Проблемы создания гибких автоматизированных производств. – М.: Наука, 1987. – С. 180 – 191.
15. Пат. СССР 256004 Способ контроля инородных включений в массе металлических гранул / В.В. Касаткин, Ф.В. Воронин, Е.И. Александров, В.И. Ходкин, С.А. Белов, В.Н. Кольцов, Э.С. Лямина, С.М. Соколов. – Решение ВНИИГПЭ о выдаче от 27.06.1991; Заявл. 4867178/25/074805.
16. Богуславский А.А., Соколов С.М. Автоматизация контроля объектов контактной сети железной дороги // 14 Всесоюзная НТК «Неразрушающий контроль и диагностика». Тезисы докладов. – М., 1996. – С. 514.
17. Boguslavsky A.A., Sokolov S.M. The realtime Vision System for small-sized target tracking // Int. J. Computing Science and Mathematics. – 2007. – Vol. 1, N 1. – P. 115 – 127.
18. Системы технического зрения на базе полупроводниковых квантовых генераторов / Д.Е. Охоцимский, А.К. Платонов, В.А. Веселов и др. // Проблемы машинного видения в робототехнике. – М.: ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР, 1981. – С.10 – 35.
19. Кугушев Е.И., Соколов С.М., Ярошевский В.С. Использование фотометрической информации в задачах пространственной ориентации интегрального локомotionного робота // Всесоюзное совещание по робототехническим системам. – М., Наука, 1978. – С. 92 – 93.
20. Платонов А.К., Кирильченко А.А., Кугушев Е.И. Использование локальных ориентиров для определения положения мобильного робота // Проблемы машинного видения в робототехнике. – М.: ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР, 1981. – С. 36 – 47.
21. Использование дальнометрической информации в системе управления мобильным роботом / А.А. Кирильченко, Е.И. Кугушев, А.М. Плотников и др. // Проблемы машинного видения в робототехнике. – М.: ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР, 1981. – С. 48 – 60.

22. Соколов С.М. Использование фотометрической системы для обеспечения целенаправленного перемещения мобильного робота // Проблемы машинного зрения в робототехнике. – М.: ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР, 1981. – С.108 – 119.
23. Intellectual information system for mobil robot control / A.A. Boguslavsky, S.M. Sokolov, O.V. Trifonov et al. // Proc. of the Intern. Conf. SCI2002. – Orlando, Florida, USA, 2002. – July 14–18. – 6 p.
24. Пряничников В.Е. Информационное обеспечение и навигация робототехнических систем с дистанционными ультразвуковыми и оптическими сенсорами. – М.: ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, 1993. – 261 с.
25. Моделирование на ЭВМ робота, производящего укладку деталей по чертежу / Д.Е. Охоцимский, Е.Ю. Зуева, М.М. Комаров и др. // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. – 1980. – № 4. – С. 73 – 80.
26. Зуева Е.Ю. Система восприятия робота, моделируемого на ЭВМ / Е.Ю. Зуева. – М., 1978. – 66с. (Препринт / ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР; 6).
27. Садов Ю.А., Зуева Е.Ю. Идентификация пространственных объектов при восприятии сцен роботом // Проблемы машинного зрения в робототехнике. – М.: ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР, 1981. – С. 180 – 195.
28. Зуева Е.Ю. ГЕОМ – язык для оперирования трехмерными линейными объектами / Е.Ю.Зуева, Ю.А. Садов. – М., 1979. – 68 с. (Препринт / ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР; 5).
29. Садов Ю.А., Яковлева С.Ю. Определение пространственных характеристик трехмерных тел по изображению // Проблемы машинного зрения в робототехнике. – М.: ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР, 1981. – С. 206 – 214.
30. Комаров М.М. Семантический метод представления трехмерных объектов / М.М. Комаров. – М., 1984. – 28 с. (Препринт / ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР; 15).
31. Зуева Е.Ю. Моделирование на ЭВМ сборки по аналогии / Е.Ю. Зуева, М.М. Комаров, Ю.А. Садов. – М., 1987. – 24 с. – (Препринт / ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР; 24).
32. Кугушев Е.И. Видимая скорость пространственного движения твердого тела / Е.И. Кугушев, Е.Ю. Зуева. – М., 1987. – 25 с. (Препринт / ИПМ им. М.В.Келдыша АН СССР; 88).
33. Зуева Е.Ю. Уравнение оптического потока в зрительном анализе движения / Е.Ю. Зуева, Е.И. Кугушев. – М., 1988. – 28 с. – (Препринт / ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР; 64).
34. Зуева Е.Ю. Единственность восстановления пространственного движения и формы твердого тела из оптического потока / Е.Ю. Зуева, Е.И. Кугушев. – М., 1988. – 32 с. – (Препринт / ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР; 114).
35. Зуева Е.Ю. Одномерный оптический поток в зрительном анализе движения / Е.Ю. Зуева, Е.И. Кугушев, В.Г. Толстоусова, А.С. Трескунов. – М., 1989. – 32 с. – (Препринт / ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР; 9).
36. Кугушев Е.И. Константность восприятия в системах технического зрения роботов / Е.И. Кугушев, В.Г.Толстоусова. – М., 1985. – 27 с. – (Препр. / ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР; 45).
37. Каргашин А.Ю. Оценка разброса значений момента нулевого порядка при изменении положения фигуры на растре / А.Ю. Каргашин, А.А. Кирильченко, Е.И. Кугушев. – М., 1991. – 20 с. (Препринт / ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР; 60).
38. Камынин С.С. Алгоритм распознавания частично видимых объектов / С.С. Камынин, И.М. Бродская. – М., 1980. – 34 с. (Препринт / ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР; 107).
39. Камынин С.С., Ушакова О.В. Система машинного зрения для идентификации изолированных объектов // Проблемы машинного зрения в робототехнике. – М.: ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР, 1981. – С. 214 – 228.
40. Ушакова О.В. Алгоритм анализа полутоновых изображений / О.В. Ушакова. – М., 1978. – 27 с. (Препринт / ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР; 133).
41. Ушакова О.В. Алгоритм построения пространственной модели объекта по его изображениям / О.В. Ушакова. – М., 1978. – 27 с. (Препринт / ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР; 26).
42. Камынин С.С. Работы по машинному зрению. – М.: ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР, 1988. – 222 с.
43. Бродская И.М., Камынин С.С. Система машинного зрения для анализа сцен // Проблемы машинного зрения в робототехнике. – М.: ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР, 1981. – С. 180 – 195.
44. Охоцимский Д.Е. Программное обеспечение системы технического зрения / Д.Е. Охоцимский, С.С. Камынин, Е.И. Кугушев. – М., 1986. – 28 с. (Препринт / ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР; 100).
45. Использование визуальной информации в задачах автоматической сборки / Д.Е. Охоцимский, С.И. Гримайло, С.С. Камынин и др. // Роботизация сборочных процессов». – М.: Наука, 1985. – С. 196 – 227.
46. Охоцимский Д.Е. Программное обеспечение систем технического зрения. Операции выделения неперекрывающихся объектов и распознавания их по моментным признакам / Д.Е. Охоцимский, И.М. Бродская, С.С. Камынин, Е.И. Кугушев. – М., 1987. – 32 с. (Препринт / ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР; 135).
47. Хорн Б.К.П. Зрение роботов / Пер. с англ. под ред. Е.И. Кугушева, Ю.А. Садова. – Москва: МИР, 1989. – 487 с.
48. Губерман Ш.А. Распознавание как задача имитации. 2. Распознавание многогранников / Ш.А. Губерман. – М., 1980. – 20 с. (Препринт / ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР; 108).
49. Губерман Ш.А., Розенцвейг В.В. Алгоритм распознавания рукописных текстов // Автоматика и телемеханика. – 1976. – № 5.
50. Губерман Ш.А. Реализация алгоритма распознавания рукописных букв / Ш.А. Губерман, Ю.В. Литвин. – М., 1976. – 19 с. (Препринт / ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР; 22).
51. Губерман Ш.А. Алгоритмическое описание нормальной флюорограммы органов грудной клетки / Ш.А. Губерман, В.А. Егоров, М.А. Ходжиев. – М., 1977. – 20 с. (Препринт / ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР; 109).
52. Егоров В.А. Алгоритмическое описание флюорограммы органов грудной клетки / В.А. Егоров, М.А. Хаджиев. – М., 1981. – 24 с. (Препринт / ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР; 34).

53. Винокур М.И. Об автоматической обработке на ЭВМ рентгеновских снимков грудной клетки / М.И. Винокур, Ш.А. Губерман, Г.И. Дзюба, В.А. Егоров, Д.Н. Карташев, Т.А. Передриенко. – М., 1977. – 28 с. (Препринт / ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР; 108).
54. Егоров В.А., Мямлин А.Н., Передриенко Т.А. Комплекс программ КОПРИЗ для работы с изображениями на ЕС ЭВМ. Руководство пользователя. – М.: ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР, 1978. – 40 с.
55. Мямлин А.Н., Сулханов В.И. Устройство распознавания знаков // Всесоюзный симпозиум по теории и принципам устройства роботов и манипуляторов. – Тольятти, 1976.
56. Егоров А.А. Устройство кодирования изображений / А.А. Егоров, В.В. Копытов, А.Н. Мямлин, В.И. Сулханов. – М., 1971. (Препринт / ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР; 80).
57. Копытов В.В. Об одном подходе к построению распознающих устройств / В.В. Копытов, В.И. Сулханов. – М., 1971. (Препринт / ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР; 87).
58. Бондаренко А.В. Исследование подходов к построению систем автоматического считывания символьной информации / А.В. Бондаренко, В.А. Галактионов, В.И. Горемычкин, А.В. Ермаков, С.Ю. Желтов. – М., 2003. – 26 с. (Препринт / ИПМ им. М.В. Келдыша РАН; 46).
59. Барладян Б.Х., Зуева Е.Ю., Кугушев Е.И. Параметрические модели трехмерных объектов и их использование для реконструкции сцен // Вопросы кибернетики. Моделирование сложных систем и виртуальная реальность / Под ред. Ю.М. Баяковского и А.Н.Томилина. – М., 1995. – С. 136 – 147.
60. Computer Modeling of Real Scene and Objects based on their Photographs / B. Barladian, E. Zueva, V. Galaktionov et al. // Pattern Recognition and Image Analysis. – 1998. – Vol. 8, N 2. – С. 162 – 163.
61. Kargashin A.Yu., Kugushev E.I., Starostin E.L. Two stage Multiple Cameras Calibration. Digital Photogrammetry and Remote Sensing'95 // SPIE Proc. Series. – St.Petersburg, Russia, 1995. – Vol. 2646. – P. 254 – 260.
62. Кугушев Е.И., Старостин Е.Л., Каргашин А.Ю. Внешнее ориентирование изображений по линейным маркерам в системах реконструкции трехмерной среды // Вопросы кибернетики. Моделирование сложных систем и виртуальная реальность / Под ред. Ю.М. Баяковского и А.Н.Томилина. – М., 1995. – С. 148 – 159.
63. Tyukavkin D.V., Beklemishev N.D. Contour based computer stereo vision system. Digital Photogrammetry and Remote Sensing'95 // SPIE Proceedings Series. – St.Petersburg, Russia, 1995. – Vol. 2646. – P. 261 – 267.
64. Tyukavkin D.V., Beklemishev N.D. False target filtering for a computer stereo vision system // The 5th Int. Conf. on Computer Graphics & Vision. – Russia, St.Peterburg, 1995. – Vol.1. – P.144 – 148.
65. Прибор для измерения BDF на основе ПЗС-камеры для использования в компьютерной графике / А.А. Летунов, Б.Х. Барладян, Е.Ю. Зуева и др. // ГРАФИКОН-99. – Москва, 1999. – 26 августа – 1 сентября. – С.129 – 135.
66. Летунов А.А. Измерительный комплекс на основе видеокамеры для определения светорассеивающих свойств поверхностей, используемый в компьютерной графике / А.А. Летунов, В.А. Галактионов, Б.Х. Барладян, Е.Ю. Зуева, В.П. Вежневцев, С.А. Солдатов. – М., 2000. – 18 с. (Препринт / ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР; 71).
67. Аппаратно-программный комплекс для измерения светорассеивающих свойств поверхностей / А.Г. Волобой, В.А. Галактионов, С.В. Ершов и др. // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2006. – № 4. – С. 24 – 39.
68. Гричук Е.С., Кузьмина М.Г., Манькин Э.А. Селективная сегментация реальных изображений осцилляторно-сетевым методом // Нейроинформатика-2007 (9 Всероссийская научно-техническая конференция): Сб. научн. тр. – Москва, 2007. – С. 11 - 20
69. Kuzmina M.G., Manykin E.A., Surina I.I. Tunable Oscillatory Network for Visual Image Segmentation // Proc. of Intern. conf. on Artificial Neural Networks (ICANN'2001). – Vienna, Austria: Lecture Notes in Computer Science, 2001. – Vol. 2130. – August 21–25. – P.1013 – 1019.
70. Automatic vision-based monitoring of the spacecraft ATV rendezvous/separations with the International Space Station / A.A. Boguslavsky, V.V. Sazonov, S.M. Sokolov et al. // Proc of the Fourth International Conf. on Informatics in Control, Automation and Robotics. (ICINCO-2007). – Angers, France, 2007. – Vol. 1. – May 9–12. – P. 284 – 291.
71. Глотов Ю.Н. Определение движения механических объектов по данным видеоизмерений в задачах робототехники / Ю.Н. Глотов, С.Н. Емельянов, В.В. Сазонов. – М., 2007. – 29 с. – (Препринт / ИПМ им. М.В. Келдыша РАН; 88).
72. Depth Image-Based representations for static and animated 3D objects / Yu. Bayakovski, L. Levkovich-Maslyuk, A. Ignatenko et al. // Proc. IEEE 2002 International Conference on Image Processing. – Rochester, New York, 2002. – September 22–25. – v.3. P. 25 - 28
73. Вежневцев В.П. Использование контурных моделей для выделения черт лица на фронтальном изображении // Труды 10-ой Всероссийской конференции "Математические методы распознавания образов". – М., 2001. – С. 179 – 181.
74. Конушин А.С. Алгоритмы построения трехмерных компьютерных моделей реальных объектов для систем виртуальной реальности: Автореф. дис. ... кандидата физ.-мат. наук / ИПМ им.М.В. Келдыша РАН. – Москва, 2005.
75. Конушин А.С. Система построения трехмерных моделей реальных объектов по последовательности изображений // Труды международной конференции студентов и аспирантов по фундаментальным наукам "Ломоносов 2005". – М., 2005.
76. Лисицин Е., Конушин А., Вежневцев В. Отслеживание точечных особенностей в видеопоследовательностях с изменениями резкости // Труды 14-ой международной конференции по компьютерной графике и зрению. – Россия: Московский Государственный Университет, 2004. – 6–10 сентября. – С. 233 – 236.
77. Солдатов С.А., Стрельников К.Н., Ватолин Д.С. Быстрое и надежное определение глобального движения в видеопоследовательностях // Труды 16-ой международной конференции по компьютерной графике и ее приложениям – ГрафиКон'2006. – Россия, Новосибирск, 2006. – 1–5 июля. – С. 430 – 437.

78. Лисицин Е., Конушин А. Подгонка параметрических моделей к облакам трехмерных точек // Труды 16-ой международной конференции по компьютерной графике и ее приложениям – ГрафиКон'2006. – Россия, Новосибирск, 2006. – 1–5 июля. – С. 371 – 374.
79. Obukhov A., Strelnikov K., Vatolin D. Fully Automatic PTZ Camera Calibration Method // Conference Proc. 18-th International Conference on Computer Graphics and Vision. – Moscow State University, 2008. – June 23–27. – P. 122 – 127.
80. Переберин А.В. О систематизации вейвлет-преобразований // Вычислительные методы и программирование. – 2001. – Т. 2, № 2. – С. 133 – 158.
81. Гаганов В., Вежнев В. Локализация точечных включений внутри прозрачных минералов по набору изображений с микроскопа // Материалы 10-го научно-практического семинара "Новые информационные технологии в автоматизированных системах". – М.: МГИЭМ, 2007. – С. 23 – 30.
82. Bayakovskiy Yu. Virtual Laboratory for Computer Graphics and Machine Vision // Proc. 9th International Conference on Computer Graphics and Vision. – Russia, Moscow, 1999. – August 26 – September 1. – P. 39.

Стаття надійшла до редакції 22.09.2008