***Исследование алгоритмов распределенного машинного зрения.***

***1.Вступление.***

За последние двадцать лет сообщество машинного зрения добилось больших успехов в автоматизированном решении таких проблем, как локализация камеры и визуальное слежение. Многие алгоритмы стали доступными благодаря быстрому увеличению расчётной скорости и размера памяти, доступным сейчас для одного компьютера. Однако, множество визуальных сенсорных сетей создает ряд проблем для непосредственного применения традиционных алгоритмов машинного зрения. Во-первых, предположительно, сети визуальных датчиков включают в себя от десятков до сотен камер, а это намного больше, чем во многих приложениях для зрения. Во-вторых, эти камеры, вероятно, будут захватывать широкую географическую область, намного превышающую обычную компьютерную лабораторию. В-третьих, камеры, скорее всего, будут иметь ограниченные локальные процессоры, не способные взаимодействовать из-за небольшого диапазона. В-четвертых, и возможно самое главное, не существует такого мощного центрального процессора, который бы собирал изображения со всех камер и решал бы проблемы машинного зрения, связанные с ними.

Даже если центральный процессор доступен, огромное число камер, пригодных в визуальной сети датчика, может устранить использование централизованного алгоритма. Например, больше чем полмиллиона камер видеонаблюдения следят за улицами Лондона, около тысяч камер только в аэропортах и метро. Обработка такого количества данных на центральном процессоре в режиме реального времени (либо с автоматизированными алгоритмами видения, либо с помощью человеческого наблюдения) просто неосуществима, приводя доводы в пользу так называемых ''умных камер'', которые могут выполнить обработку изображения и задачи машинного зрения в местном масштабе перед передачей к более расширенной сети.

Эти тенденции указывают на необходимость использования распределенных алгоритмов для задач машинного зрения в сетях визуальных датчиков. В дополнение к тому, что они хорошо подходят для сетей беспроводного доступа, распределенные алгоритмы не имеют единой точки сбоя, и как правило, обеспечивают более разумное использование промежуточных линий связи и вычислительных ресурсов и являются более надежными и изменяемыми, чем централизованные алгоритмы.

В этой главе мы рассматриваем современную литературу по алгоритмам распределенного машинного зрения, разработанным для внедрения в визуальной сети датчика. Мы отмечаем, что многие алгоритмы, описанные как «распределенные», требуют либо передачи данных на центральный процессор после некоторой внутренней обработки на датчике, либо требуют, чтобы каждый узел собирал данные со всех других узлов в сети, эффективно заставив каждый узел выполнить то же центральное вычисление. Хотя такие исследования имеют ценность, в этой главе мы подчеркиваем методы, которые действительно распределены: то есть узлы в сети принимают локальные решения, основанные только на информации от их ближайших соседей. Цель разработки таких алгоритмов должна заключаться в том, что распределенный результат приближается к тому, что можно было получить, при условии, если бы вся информация была доступна в центральном процессоре. Мы также не рассматриваем алгоритмы, которые «распределены» в смысле эффективной параллельной реализации на центральном многоядерном процессоре.

Алгоритмы, которые мы рассматриваем, относятся к нескольким основным категориям. Раздел 2 рассматривает общую работу над связанными распределенными алгоритмами немашинного зрения, многие из которых недавно нашли новое применение в беспроводных сетях датчика. В разделе 3 обсуждается проблема оценки топологии в сети визуальных датчиков, то есть определение того, какие узлы разделяют перекрывающиеся поля зрения или имеют соответствующие точки входа или выхода. В разделе 4 обсуждается распределенная калибровка сети камеры, то есть оценка трехмерного местоположения и ориентации каждой камеры относительно общей системы координат. В разделе 5 обсуждается общее применение сетей визуальных датчиков: распределенное отслеживание одного или нескольких движущихся объектов, которое также может включать идентификацию или классификацию объектов. В разделе 6 завершается глава с обсуждением будущих тенденций и возможностей.

Можем отметить, что наш интерес представляет собой прикладной уровень сети визуальных датчиков, то есть алгоритмы машинного зрения, выполняемые на каждом узле, в отличие от физического уровня узлов датчика. Алгоритмы, описанные здесь, обычно применимы ко многим узлам «умной камеры», которые разрабатываются в академических кругах и промышленности, которые состоят из визуального датчика, набора встроенных сетевых и цифровых сигнальных процессоров, и антенны. Превосходная таксономия и исторический обзор интеллектуальных камер были недавно представлены Риннером [83, 81].

Остальные главы в последующей части книги более подробно описывают конкретные примеры описанных здесь алгоритмов. Мы также отмечаем повышенную академическую и промышленную заинтересованность в области распределенного машинного зрения. Большая часть инновационной работы появилась в 2006 году на семинаре в Мастерской по производству распределенных интеллектуальных камер и на международной конференции по распределенным интеллектуальным камерам 2007 и 2008 года.

Недавние специальные выпуски материалов Института инженеров электротехники и электроники [82], журнала Института инженеров электротехники и электроники по отдельным темам обработки сигналов [1] и журнала Европейского ассоциации по обработке сигналов о достижениях в обработке сигналов [44], предназначенных для многокамерных сетей, также затрагивают эти вопросы.

***2. Распределенные алгоритмы.***

Основная теория распределенных алгоритмов хорошо описана в учебнике Линча [52]. Распределенные алгоритмы делятся на синхронные, асинхронные или частично синхронные, независимо от того, установлена ли связь с использованием общей памяти, широковещательных сообщений или двухточечной связи. Типичными проблемами являются избрание лидера, проведение поиска по ширине, поиск кратчайших путей, построение минимального связующего дерева и достижение согласия. В целом, доказуемо сходящиеся алгоритмы более трудно получить в асинхронных сетях, чем в синхронных. Однако большая часть работы, рассмотренной в этой главе, неявно предполагает наличие хотя бы частично синхронных сетей, что может оказаться нереалистичным для реальных визуальных сенсорных сетей.

В книге Берцекаса и Цициклиса [9] обсуждаются чуть более высокоуровневые параллельные и распределенные алгоритмы в контексте численного анализа и оптимизации. Они рассматривают линейные и нелинейные асинхронные итерационные методы для алгебраических и дифференциальных уравнений, динамического программирования, неограниченной и ограниченной оптимизации и вариационных неравенств. В книге Варшни [92] рассматривается классическая теория распознавания и тестирование гипотез в распределенной структуре, в том числе байесовская, Нейман-Пирсонская, минимаксная, последовательная и оптимальная распознавания в местном масштабе.

Мы отмечаем, что многие задачи распределенной оценки, возникающие из сетей визуальных датчиков, можно рассматривать как специальные типы проблем согласия. Это значит, что все узлы в сети должны объединиться и согласовать глобальные параметры, описывающие сеть, или перемещаемые в ней объекты, без передачи всех данных датчиков в централизованное местоположение. Например, всем камерам в сети, возможно, потребуется согласовать предполагаемую позицию центральной ориентиры. За последние несколько лет наблюдался максимальный интерес к распределенным алгоритмам, специально разработанным для беспроводных сетей специальных датчиков, часто с учетом сетевых, коммуникационных и энергетических соображений.  
Существует значительный объем работы по распределенной локализации узлов в беспроводных сенсорных сетях на основе таких соображений, как время пролета между узлами. Например, Айенгар и Сикдар [38] предложили распределенный масштабируемый алгоритм локализации сенсорного узла в плоскости, который использовал измерения времени прибытия, а не GPS. Маринакис и Дудек [59, 60] представили несколько инновационных вероятностных алгоритмов для локализации сенсорной сети на основе данных о шумовом диапазоне между датчиками. Лэнгендон и Риджерс [45] рассмотрели и сравнили несколько алгоритмов для проблемы локализации. Мы можем рассматривать алгоритмы, обсуждаемые в разделах 3 и 4, как расширения проблемы локализации в 3D, которые используют визуальную информацию в качестве основы для оценки.

Аналогично, эти алгоритмы, а также алгоритмы отслеживания, рассмотренные в разделе 5, можно рассматривать как примеры проблем оценки или оптимизации распределенных параметров, что является еще одной темой, представляющей интерес для сообщества сетевых датчиков. Например, Бойд и др. рассмотрели алгоритмы общения для обмена информацией в сетях датчиков. Они показали, как такие алгоритмы могут применяться к распределенной оценке среднего значения в беспроводной сенсорной сети.

Новак [69] показал, как параметры смеси гауссианов, для которых каждый узел сенсорной сети имеют разные коэффициенты смешивания, могут быть оценены с использованием распределенной версии известного алгоритма максимизации ожиданий (ЭМ). Этот алгоритм передачи сообщений включает в себя передачу достаточной статистики между соседними узлами в определенном порядке и, как было экспериментально показано, сходится к тем же результатам, что и централизованная ЭМ. Ковальчик и Влассис [42] предложили связанный новостями распределенный алгоритм под названием Новостная программа ЭМ для оценки параметров гауссовой смеси. Случайные пары узлов многократно обмениваются оценками параметров и объединяют их по взвешенному усреднению.

Раббат и Новак [76] исследовали общий класс распределенных оптимизационных алгоритмов для сенсорных сетей. Они показали, что многие естественные оптимизации могут быть решены постепенно, каждый узел обновляет оценочные параметры, которые он получает, чтобы уменьшить свои местные затраты и передавать обновленные параметры. Используя теорию инкрементной оптимизации субградиента, они показали, что распределенный алгоритм сходится в пределах небольшого количества глобально оптимального значения только через несколько циклов по сети. Они применили подход к надежной оценке наименьших квадратов, локализации источника энергии и решению граничных задач.

Напоследок, мы отмечаем исследования по активированию или ориентации направленных датчиков, чтобы максимизировать пространственный охват. ЭйАй и Эбузайд [2] описали распределенный алгоритм максимизации пространственного охвата в специальной сети датчиков направленности. Они предложили распределенный слишком требовательный алгоритм, который выгодно сравнивался с центральным требовательным алгоритмом, а также с динамическим алгоритмом планирования датчиков, который выгодно распределял его энергетические требования. Хоффманн и Ханер [35] предложили простой локальный алгоритм для максимального визуального покрытия в сети интеллектуальных камер. Они смоделировали свои результаты в сетях до 80 камер и проанализировали основные сетевые проблемы, используя симулятор сети NS2. Баш и Дезноэрс [8] предложили алгоритм распределенного точного вычисления ячеек Вороного в сетях датчиков, который может быть полезен для решения проблем покрытия и отслеживания.

***3. Оценка топологии.***

Мы рассматриваем два основных типа задач оценки топологии в сетях визуальных датчиков. Первое - это то, что мы называем проблемой дублирования, где предполагается, что камеры наблюдают части одной и той же среды с разных точек зрения. Связь между камерами может быть смоделирована как неориентированный граф, в котором край появляется между двумя камерами, если они наблюдают одни и те же точки места с разных точек зрения. В наших исследованиях мы назвали это графиком видения [17].

Естественно, мы ожидаем, что поля зрения камер будут перекрываться в сетях беспроводных сетей, в которых большое количество камер плотно распределено вокруг большой открытой среды.

Вторая проблема оценки топологии - это то, что мы называем проблемой неперекрывающихся, где предполагается, что две камеры не наблюдают одну и ту же часть среды. Вместо этого отношения между камерами вызваны вероятностью того, что объект в одной камере появится в другой через некоторое время. Связь между камерами может быть снова смоделирована в виде графика, но в этом случае ориентированный граф с ожидаемыми вероятностями перехода является более естественной моделью (например, может быть гораздо более вероятным перемещение объектов от камеры А к В, чем наоборот). Эта ситуация, естественно, возникает в сценариях внутреннего наблюдения, таких как камеры, установленные в коридорах. По этой причине большинство исследований по неперекрывающимся сетям предполагает плоскую среду.

В любом случае мы должны иметь в виду, что проблема оценки графа топологии в сети беспроводного визуального датчика выполняется путем отправки сообщений вдоль базовых линий связи с одним скачком. Эти ссылки могут быть абстрагированы как коммуникационный график [29], который в основном определяется местоположениями узлов, степенями их антенн и топографией окружающей среды. Проблема оценки топологии камеры может рассматриваться как график наложения в этой сети.

Отметим, что наличие ребра в коммуникационном графе не означает наличия того же края в графике видения, поскольку соседние камеры могут быть направлены в разные стороны, и наоборот, физически удаленные камеры могут отображать часть одного и того же места. Рисунок 1 иллюстрирует графики связи и видений для моделируемого примера, в котором 30 камер рассеиваются вокруг нескольких зданий. Мы видим, что графики связи и видений не сильно коррелированы.

Рисунок 1 (a) Симуляция сети камеры (фокусное расстояние камер преувеличено), (b) Соответствующий коммуникационный график, если каждая камера имеет тот же фиксированный диапазон антенн, (c) Соответствующий график видения.

Как показано на рисунке 1, как правило, нет возможности исключить возможность перекрытия между любыми двумя визуальными датчиками без сравнения их изображений (или извлеченных признаков из них). Следовательно, правильная оценка топологии сети камеры по своей сути предполагает сбор информации от всех датчиков в одном месте либо на центральном узле, либо на всех узлах параллельно.

Мы рассмотрим несколько таких методов здесь, подчеркнув те, которые разработаны с учетом ограничений сети визуальных датчиков. Несмотря на то, что такие алгоритмы можно лучше охарактеризовать как децентрализованные, чем распределенные, они являются важным первым шагом для проблем более высокого уровня зрения, которые мы обсудим впоследствии.  
  
Мы рассматриваем подходы к проблеме оценки топологии для обоих случаев ниже. Практически все исследования в этой области, кажется, относятся к одному домену или другому, то есть либо камеры рассматриваются как полностью неперекрывающиеся, либо неперекрывающиеся камеры не рассматриваются в топологии. В работе Ванга и др. [94] это является исключением, которое допускает отсутствие, малое или большое перекрытие между полями зрения, но основное внимание уделяется анализу активности многокамерных траекторий, а не топологии.

***3.1. Непокрывающаяся топологическая оценка.***

Проблема непересекающейся топологической оценки хорошо изучена. Большинство исследователей подошли к проблеме, используя пространственно-временные пути отслеживаемых объектов, которые входят и выходят из поля зрения каждой камеры. Маринакис и Дудек [58] описали, как оценить марковскую модель, характеризующую переходы между камерами, используя только недискриминационные обнаруженные движения в качестве входных данных. Они реконструировали траектории объектов, которые лучше всего объясняют наблюдения камер, и использовали их для оценки графика перехода. Предполагалось, что количество объектов, перемещающихся по сети камеры, известно, и их вероятностное поведение считается однородным. Mакрис и другие [55] предложили аналогичный подход, который временно коррелирует входящие и исходящие цели в обнаруженных зонах входа и выхода для каждой камеры. Тью и другие [89] использовали взаимную информацию как меру статистической зависимости для оценки соответствия объектов для оценки топологии. Особые случаи объектов, используемых для неперекрывающей топологической оценки, включают идентифицируемых людей [96] и транспортных средств [68].  
  
Мандель и др. [56] описал простой алгоритм оценки топологии сети камеры, основанный на широковещательных сообщениях относительно обнаруженных в момент времени обнаруженных движений в разных пространственных областях. Они применили последовательный тест отношения вероятности (SPRT), чтобы принять или отклонить возможность того, что две камеры наблюдают одну и ту же сцену, основанную на соответствии (или ее отсутствии) агрегированных обнаружений. Использование SPRT является заслуживающей внимания идеей решения проблем в сетях датчиков. Ван ден Хенгел и другие [34] использовали несколько иной подход, который они называли исключением, в котором первоначально предполагалось, что граф видения полностью связан, и края были удалены, что противоречит наблюдаемым данным с течением времени. Они протестировали свой алгоритм в сети из 100 реальных камер.  
  
Джейвд и другие [39] включили появление объектов, а также их пространственно-временное движение в проблему оценки топологии. В то время как их внимание было сосредоточено на отслеживании, они изучили топологию набора камер во время фазы обучения, в которой использовались окна Парцена, чтобы моделировать плотность соединения входов / выходов, местоположения и скорости, а гауссову модель для расстояний Бхаттачарьи между гистограммами соответствующих объектов. Позднее они расширили свой подход [40], чтобы более точно смоделировать функцию передачи яркости, связанную с парами камер. Было бы интересно посмотреть, как этот подход приближается к крупным сетям камер.  
  
Фаррелл и Дэвис [26] предложили другой децентрализованный алгоритм для обнаружения топологии, основанный на теоретико-анатомическом согласии по внешнему виду на отслеживаемых объектах, перемещающихся по сети. Более отличительные объекты вносят пропорциональный вклад в примерную модель перехода между камерами. Эта идея кажется интересной, но она не тестировалась с помощью реальных изображений.  
  
Медейрос и др. [61] принял несколько иной подход к оценке отношений между камерами на основе того, что они называли кластеризацией, управляемой событиями. Вместо явного построения графика, представляющего топологию сети камеры, они использовали оценочные обнаружения одного и того же объекта для построения кластеров графика видения. В предлагаемом протоколе рассматривается формирование, слияние, разделение и взаимодействие кластеров в сети распределенных камер.  
  
Альтернативный метод сопоставления распределенных функций (который неявно определяет график видения) был описан Эвидэн и др. [4], который использовал вероятностный аргумент, основанный на случайных графах, для анализа распространения широкоуровневых результатов стереофонического сопоставления, полученных для небольшого числа пар изображений для остальных камер.  
  
Фаррелл и др. [27] описал байесовскую структуру для изучения моделей перехода более высокого порядка в сетях камер. То есть, помимо оценки смежности камер, метод может помочь ответить на такие вопросы, как «какая часть объектов, проходящих через камеры X и Y, в какой-то момент достигнет камеры Z?». Они утверждали, что модели более высокого порядка могут улучшить характеристики отслеживания и вывода. Было бы интересно увидеть реализацию этой идеи в реальной сети камер.

***3.2 Покрывающаяся топологическая оценка.***

Когда изображения с камер перекрываются, проблема оценки топологии часто сочетается с проблемой калибровки, обсуждаемой в следующем разделе. Здесь мы упомянем несколько методов, которые «останавливаются» в точке оценки топологии.  
  
Кулкарни и др. [43] предложил метод с использованием замеченных по времени признаков движущегося эталонного объекта, чтобы обеспечить приблизительную инициализацию областей перекрытия камер, что косвенно связано с их топологией. Аналогичные подходы к проблеме калибровки камеры обсуждаются в следующем разделе. Однако для широкомасштабных сетей визуальных датчиков мы считаем важным разработать методы, при которых ни камеры, ни сцена не изменяются из их естественного состояния, без предположений о синхронизации камеры или взаимодействиях между пользователем и окружающей средой.  
  
Ченг и др. [17] описал алгоритм оценки графика видения на основе «подробного дайджест-функции фиксированной длины» автоматически обнаруженных отличительных ключевых точек, которые каждая камера передает в остальную сеть. Эти ключевые точки возникают из популярного и успешного детектора / дескриптора трансформации объектов (SIFT), предложенного Лоу [51]. Каждая отправляющая камера делает компромисс между количеством ключевых точек, которые он может отправлять, и количеством сжатых дескрипторов, предполагая фиксированный бит для своего сообщения. Каждая камера приемника распаковывает дайджест функции, чтобы восстановить приблизительные дескрипторы функций, которые сопоставляются с собственными функциями для генерации предполагаемых совпадений. Если найдено достаточно совпадений, устанавливается граница графика видения. Они проанализировали компромиссы между размером дайджеста функции, количеством передаваемых функций, уровнем сжатия и общей производительностью генерации кромок. Этот метод является привлекательным, поскольку он не требует взаимодействия пользователя с окружающей средой, используя статические функции сцены в качестве основы для создания краев.

***4. Калибровка сети камеры.***

Формально калибровка камеры - это оценка параметров, которые описывают, как перспективная камера проектирует трехмерные точки в фиксированной мировой системе координат на двумерные точки на плоскости изображения. Эти параметры калибровки можно разделить на четыре или более внутренних параметров, связанных с оптикой камеры, например, ее главной точкой, соотношением сторон, искажением объектива и фокусным расстоянием, а также шестью внешними параметрами, а именно углами поворота и вектором трансляции, которые связаны с камерой координировать кадр к мировой системе координат. Поскольку фиксированные внутренние параметры данной камеры обычно оцениваются индивидуально до развертывания [19,30,85], большинство исследований в основном связано с оценкой внешних параметров.  
  
Классическая проблема внешней калибровки пары камер хорошо понятна [91]; для оценки параметров обычно требуется набор соответствий объектных точек на обоих изображениях. Когда нет точек с известными трехмерными местоположениями в мировой системе координат, камеры могут быть откалиброваны до преобразования подобия [31]. То есть позиции и ориентации камер можно точно оценить относительно друг друга, но не в абсолютном смысле. Без метрической информации о сцене остается неизвестный параметр масштаба; например, один и тот же набор изображений будет создан камерами, вдвое превышающими сцену, вдвое большую.  
  
Калибровка с помощью нескольких камер может быть выполнена путем минимизации нелинейной функции стоимости параметров калибровки и набора неизвестных трехмерных точек сцены, проектируемых для соответствия соответствиям изображений; эта проблема также известна как Structure from Motion (SFM - определение структуры [объекта](http://dic.academic.ru/dic.nsf/eng_rus/189428/%D0%BE%D0%B1%D1%8A%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%B0) по отображению движения). Процесс оптимизации для оценки параметров называется коррекцией пучков [90]. Хорошие результаты достижимы, когда изображения и соответствия доступны для мощного центрального процессора. В рамках этой главы не рассматривается обзор централизованной проблемы SFM, но книга Хартли и Зиссермана [31] является отличной ссылкой. Кроме того, Ma и др. [53] изложил полный поэтапный рецепт проблемы SFM, предполагая, что информация со всех камер собрана в одном месте. Мы отмечаем, что SFM тесно связана с проблемой в сообществе робототехники под названием «Синхронная локализация и сопоставление» (Simultaneous Localization and Mapping - SLAM), в которой мобильные роботы должны оценивать свои местоположения из данных датчиков при их перемещении по сцене.

***4.1 Непокрывающаяся калибровка камеры.***

Алгоритмы, обсуждаемые в этом разделе, обычно предполагают сеть камер с перекрывающимися полями зрения, как описано в разделе 3.2. В случае с неперекрывающимися камерами оценка фактических трехмерных позиций камер, основанная только на их визуальной информации, обычно является плохо поставленной проблемой. То есть, несколько камер должны фактически наблюдать многие из тех же трехмерных точек, что и основа для точной оценки параметров локализации.  
  
Однако несколько исследователей предложили решения, которые делают предположения о динамике объектов, проходящих через окружающую среду, для получения приблизительных оценок положения и ориентации камеры. В этой области работа Рахими и др. Наиболее заметным является [77]. Они закодировали предварительные знания о состоянии (местоположении и скорости) мишеней как линейной гауссовской марковской модели, а затем объединили это ранее с измерениями из сети камеры, чтобы получить максимальные апостериорные оценки глобальных траекторий и, следовательно, параметры калибровки камеры. Подход был иллюстрирован сетями из четырех-десяти обращенных вниз камер, наблюдающих единственную мишень, движущуюся по плоскости земли. Было бы интересно посмотреть, как этот метод обобщается на большое количество камер в полностью трехмерной среде. Тем не менее, небезосновательно ожидать, что высокоточные калибровочные параметры могут быть получены при таком типе подхода с использованием естественно движущихся объектов в реальной, хорошо разделенной сети камеры из-за сложной модели динамики и немоделированных источников и поглотителей.  
  
Реклейтис и др. [80, 79] предложили использовать мобильного робота, удерживающего шаблон калибровки (контрольную панель или массив уникальных фидуциальных маркеров) в качестве основы для калибровки неперекрывающей камеры. Поза робота на плоскости земли, полученная из одометрия, используется для обеспечения каждой камеры трехмерными положениями точек на калибровочной цели.

***4.2 Покрывающаяся калибровка камеры.***

Несколько методов, в то же время централизованных, использовали визуальные сенсорные сети в качестве мотивации для разработки алгоритмов калибровки. Эти алгоритмы обычно основаны на наблюдениях отдельных камер на одном объекте или объектах в их среде. Для этой цели несколько исследователей предложили модулированные источники света перемещаться по затемненной комнате [5, 16, 7] или размещаться на самих камерах [86]. Маас [54] использовал движущуюся опорную планку известной длины, тогда как Бейкер и Алоимонос [6] использовали решетки параллельных линий и квадратных ящиков. Лью и др. [50] предложил алгоритм, в котором каждая камера самостоятельно калибрует себя на основе изображений помещенного опорного устройства с известными координатами мира. Как упоминалось ранее, алгоритмы, которые не требуют взаимодействия пользователя с окружающей средой, как правило, предпочтительнее для широкомасштабных развертываний.  
  
Подобно проблеме непересекающейся топологии оценки, несколько исследователей предложили получить соответствующие точки для калибровки, сопоставив траектории объектов, которые, естественно, перемещаются по окружающей среде камер. Ли и др. [47] описал один такой подход, в котором пешеходы и транспортные средства, движущиеся по земле, использовались для калибровки двух или трех перекрывающихся камер наблюдения. Другие подходы к этой линии были предложены Джейнсом [41] и Мейнгастом и др. [63].  
  
Несколько исследователей обратились к распределенным версиям такой калибровки сети камер. Например, Ли и Агаджан [46] использовали совместные наблюдения движущейся мишени для решения набора нелинейных уравнений для своего положения (и, следовательно, положения камеры) с использованием распределенной версии метода Гаусса-Ньютона. Еще один превосходный алгоритм этого типа под названием SLAT (одновременное размещение и отслеживание) был предложен Фуниаком и др. [28]. Ключевыми нововведениями были относительная перепараметризация камер, которая позволяет использовать гауссовские плотности, и процедуру линеаризации для устранения неопределенности угла камеры для правильного использования фильтра Калмана. Было бы очень интересно увидеть, как такой подход будет масштабироваться для полной калибровки больших сетей наружных камер со многими движущимися объектами.  
  
Многие распределенные алгоритмы полной 3D-камерной калибровки сети основаны на использовании соответствий изображений для оценки эпиполярной геометрии между парами изображений. Когда известные параметры камеры известны, эту информацию можно использовать для извлечения оценок вращения и трансляции между каждой парой камер. Например, Бартон-Свини и др. [7] использовал расширенную систему фильтрации Калмана на оценочной эпиполярной геометрии для оценки вращения и сдвигов между парой камер. Манцзел и др. [57] предложил алгоритм DALT (распределенная чередующаяся локализация и триангуляция) для калибровки сети камеры. Как следует из названия, каждая камера откалибрует себя, чередуя между 1) триангуляционными проекциями 2D-изображения в 3D-пространство, предполагая, что матрицы камеры известны, и 2) оценивает матрицы камер на основе предполагаемых соответствий между изображениями. В то время как их подход к оптимизации проще, чем корректировка пакета, эта работа включает в себя некоторый интересный анализ вычислительных и энергетических требований, которые будут выполняться алгоритмом на реалистичной платформе. Эти алгоритмы использовали вставленный пользователем объект калибровки в качестве основы для установления точечных соответствий.  
  
Деваражан и др. [21, 23] предложил алгоритм калибровки, в котором каждая камера только взаимодействует с камерами, связанными с ним краем в графике видения, обмениваясь проекциями изображений обычных трехмерных точек. После выполнения локальной проективной и метрической факторизации и корректировки связки каждая камера имеет оценку 1) своего собственного местоположения, ориентации и фокусного расстояния, 2) соответствующие параметры для каждого из своих соседей в графике видения и 3) трехмерные позиции функции изображения указывают на то, что она имеет общее с соседями. Они отметили, что алгоритм распределенной калибровки не только привел к хорошей точности калибровки по сравнению с централизованной настройкой связки, но также к тому, что сообщения на линию связи, необходимые для калибровки сети, были более распределены, что означает более длительный срок службы узла.  
  
Mедейрос и др. [62] предложил распределенный кластерный алгоритм калибровки, для которого они наблюдали аналогичный результат: распределенный алгоритм требовал значительно меньшего количества бит передачи и приема, чем для централизованного алгоритма, имея сопоставимую точность. Однако их подход делает ограничительное предположение, что для калибровки используются отличительные целевые объекты с фиксированными функциями в известном масштабе.  
  
Отметим, что Бренд и др. [13] представил новый подход к крупномасштабной калибровке сети камер с использованием формализации вложения графов. Сначала они оценивали векторы направления между узлами в 3D с использованием соответствующих признаков и точек исчезновения (знаки и длины векторов были неизвестны). Затем они показали, как решение простой задачи на собственные значения привело к внедрению местоположений 3D-камер, которые были максимально согласованы с измеренными направлениями. Алгоритм чрезвычайно быстрый и точный, хотя и централизованный. Было бы очень интересно исследовать, можно ли решить задачи на собственные значения распределенным образом.

***4.3. Улучшение согласованности калибровки.***

Многие исследователи предложили методы борьбы с несогласованными оценками параметров в беспроводных сенсорных сетях. Они обычно основаны на проверке того, достаточно ли близки оценки одного и того же параметра [84, 14, 95] и / или соответствуют предшествующим знаниям [25]. Большинство таких подходов хорошо подходят для датчиков, которые измеряют скалярную величину, такую ​​как температура или давление. Напротив, сети камер содержат несогласованности в непрерывном пространственном пространстве с большими размерами и требуют принципиальных статистических методов для их решения.  
  
Девараджан и Радке [22] предложили метод уточнения калибровки, основанный на распространении убеждений [67], метод вероятностного вывода в сетях, который несколько исследователей недавно применили к проблемам с сетью и роботическими задачами с дискретными или низкоразмерными сенсорами (например, [93, 18] , 87, 36]). Алгоритм распространения убеждений включал передачу сообщений об общих параметрах камеры по краям графика видения, которые итеративно приводили несогласованные оценки параметров камеры ближе друг к другу. Они обсудили решения нескольких проблем, уникальных для проблемы калибровки камеры. Они показали, что несогласованность в локализации камеры снижалась с коэффициентом от 2 до 6 после применения их алгоритма распространения веры, сохраняя при этом высокую точность оценок параметров.  
  
Несколько исследователей недавно применили более сложные и надежные алгоритмы распределенного вывода, чем распространение веры в проблемы слияния датчиков; работа Паскина, Гостерина и Макфаддена [71, 72] и Делларта и др. [20] примечательно. Эти новые алгоритмы могут использовать будущие методы калибровки камеры.  
  
Некоторые исследователи предложили улучшения в калибровке, увеличив входные сигналы от визуальных датчиков с помощью не визуальных измерений датчиков. Например, Мейнгаст и др. предложил [64] данные плавного изображения с радиоинтерферометрией для оценки положения и ориентации визуальных датчиков. Однако этот метод основывался на централизованной обработке.

***5. Отслеживание и классификация.***

Сеть визуальных датчиков обычно откалибрована для целей прикладного уровня. Обычно сети камеры задают задачу отслеживания и / или классификации объектов по мере их перемещения по среде. Существует массивная литература по однокамерному или централизованному отслеживанию мультикамер; здесь мы сосредоточимся на распределенных алгоритмах для проблемы отслеживания, разработанной с учетом соображений сетевого взаимодействия.  
  
Рао и Дуррант-Вайт [78] представили ранние работы, в которых признается важность децентрализованного алгоритма отслеживания целей. Они предложили байесовский подход, но потребовали полностью подключенной сетевой топологии, нереалистичной для современных сенсорных сетей. Хоффман и др. [35] описал распределенный алгоритм для слежения за несколькими камерами, смоделированный как конечный автомат. Предлагаемый алгоритм был подтвержден в моделируемой сети, в которой предполагалось, что результаты обнаружения объекта были полностью точными.  
  
Докстейдер и Тэкалп [24] представили алгоритм для распределенного многоцелевого отслеживания в режиме реального времени, основанный на байесовском сетевом формализме для сплайсинга наблюдений с различными оценками достоверности. Основная стратегия заключается в том, чтобы каждая камера отслеживала каждый объект независимо в 2D, применяла алгоритм распределенного синтеза / триангуляции для получения 3D-местоположения, а затем независимо применял 3D-фильтр Калмана на каждой камере. Результаты были продемонстрированы для сети с тремя камерами. КейУ и др. [73] предложил байесовский алгоритм для распределенного многоцелевого отслеживания с использованием нескольких камер совместной работы. Их подход был основан на динамической графической модели, которая обновляет оценки 2D-позиций объектов вместо отслеживания в 3D. Алгоритм хорошо подходит для сложных условий, таких как толпы похожих пешеходов. Хит и Гибас [33] описали алгоритм отслеживания нескольких человек в сети стереофонических (т. е. Двух тесно разделенных) камер. Использование стереокамер позволяет каждому узлу оценивать траектории трехмерных точек на каждом движущемся объекте. Каждый узел связывает эти позиции признаков со своими соседями и выполняет независимую фильтрацию трехмерных частиц на основе принятых сообщений. Они продемонстрировали результаты в небольших сетях реальных камер, а также в более крупной моделируемой сети камер, наблюдающей за переполненной сценой. Они проанализировали компромиссы, касающиеся бюджета связи для каждой камеры, количества отслеживаемых людей в окружающей среде и точности отслеживания.  
  
Хит и Гибас [32] также описали алгоритм отслеживания людей и получения канонических (то есть фронтальных) изображений лица в сети камеры. Они предложили алгоритм отслеживания, основанный на 2D визуальных корпусах, синтезированных на узлах кластера, и использовали направление движения пешехода в качестве простой оценки ориентации головы. Идея кажется многообещающей, и интереснее будет более распределенная система.

Менсинк и др. [65] описал алгоритм слежения за несколькими камерами, в котором наблюдение на каждой камере было смоделировано как смесь гауссианцев, причем каждый гауссов представлял особенности внешнего вида одного человека. Авторы распространили алгоритм Новостной системы Эм, основанный на сплетнях [42], рассмотренный в разделе 2, чтобы включить множественные наблюдения в итеративный, распределенный расчет средств, ковариаций и весов смешивания в модели гауссовой смеси. Предварительные результаты показали, что алгоритм распределенной оценки сходился так же быстро и точно, как и централизованный алгоритм ЭМ. Это отличный пример алгоритма распределенного компьютерного зрения.  
  
Лейцнер и др. [48] ​​описал интересную технику автоматического обнаружения человека, которая применила метод онлайн-обучения, называемый совместным обучением, для улучшения результатов локального обнаружения. Камеры просматривают одни и те же сцены обмена изображениями, которые уверены, что содержат положительные и отрицательные примеры объекта, состоящие из нескольких сотен байт на кадр. Они внедрили алгоритм на смарт-камерах и продемонстрировали, что подход привел к более качественным результатам обнаружения.  
  
Проблема совпадения объектов между изображениями с разных камер в сети визуальных датчиков иногда называется повторной фиксацией или повторной идентификацией, и часто приводит к передаче ответственности за отслеживание объектов с одной камеры на другую. Кварич и др. [74] описал алгоритм отслеживания распределенных объектов, который иллюстрирует основные идеи децентрализованной передачи обслуживания. Основная идея заключается в том, что ответственность за отслеживание каждого объекта лежит на конкретной мастер-камере. Когда объект приближается к периферии поля зрения этой камеры, соседние камеры помещаются в подчиненный режим, ища объект до тех пор, пока он не появится. Когда раб обнаруживает объект в своем поле зрения, он становится новым мастером.  
  
Арт и др. [3] предложил алгоритм повторной регистрации на основе сигнатур или компактных представлений локальных объектов. Подписи намного дешевле для передачи по сети, чем исходные изображения. Идея имеет некоторое сходство с перечнем характеристик Ченга и др. [17], обсуждавшимся в разделе 3. Алгоритм был продемонстрирован на моделируемой сети камеры трафика и ее характеристиках производительности и связи относительно шума, проанализированного в деталях. Парк и др. [70] предложил алгоритм распределенной конструкции поисковых таблиц, хранящихся локально на каждом узле, которые используются для выбора камер, которые, скорее всего, будут наблюдать определенное местоположение. Эти таблицы поиска могут использоваться для улучшения передачи обслуживания камеры для нескольких движущихся целей.  
  
Куреши и Терзопулос [75] описали распределенные алгоритмы сегментации, визуального отслеживания, назначения камеры и передачи обслуживания в контексте крупномасштабной сети виртуальных камер в среде вокзалов. Объекты обнаруживаются и сопоставляются между камерами, которые, как предполагается, не имеют однородных характеристик изображения, используя метод индексации цвета, основанный на обратном проектировании гистограммы.  
  
Иваки и др .. [37] отметили важность разработки алгоритмов отслеживания для крупномасштабных сетей камер, которые не предполагали синхронизированный захват изображений. Они представили алгоритм, основанный на накоплении доказательств, который работает иерархически. Камеры индивидуально обнаруживают человеческие головы в сцене и отправляют результаты в кластерные головки для обнаружения и локализации.

Некоторые исследователи предложили улучшения в отслеживании, увеличив входные сигналы от визуальных датчиков с помощью не визуальных измерений датчиков. Например, Мияки и др. [66] с плавающей информацией отслеживания изображения с силой сигнала от мобильных устройств пешеходов Wi-Fi для лучшей оценки их местоположения.

***6.Выводы.***

За последние пять лет наблюдается обнадеживающий подъем в развитии распределенных решений классических проблем компьютерного зрения. Мы считаем, что существует много жизнеспособных распределенных альтернатив для точной оценки моделей перехода и визуального перекрытия, трехмерных параметров калибровки и дорожек 2D и 3D объектов.  
  
Обследованные здесь алгоритмы наивысшего уровня подчеркивают простое отслеживание, а не оценку более тонких характеристик объекта / среды. Мы рассматриваем это как естественный следующий шаг в разработке алгоритмов распределенного компьютерного зрения. В качестве раннего примера Чанг и Агаджан [15] описали алгоритмы слияния на основе линейной квадратичной регрессии и фильтрации Калмана для оценки ориентации лиц, отображаемых сетью камер.  
  
Большинство алгоритмов также предполагают, что сеть камеры полностью задействована в выполнении одной задачи видения на каждом узле и что все задачи имеют одинаковый приоритет. Однако для распределенных сетей беспроводных камер, развернутых в реальном мире, важно рассмотреть вопрос о калибровке и других задачах компьютерного зрения в контексте многих других задач, которые должны предпринять узловые процессоры и сеть. Это повлечет за собой тесную связь между алгоритмами зрения и протоколами MAC, сети и канального уровня, организацией и каналами сети, а также источником питания, передатчиком / приемником и планировщиком ядра каждого узла. Такая плотная интеграция будет иметь решающее значение для того, чтобы алгоритмы, описанные здесь, жизнеспособны для встроенных платформ, таких как сети сотовых телефонов [10]. Брэмбегер и др. [12] недавно описал алгоритм распределения общих задач в сети камеры, создавая проблему с распределенным ограничением ограничений. Когда интеллектуальная камера создает новую задачу, запрос циклически проходит через камеры в сети, постепенно сменяя частичные распределения задач, пока запрос не поступит обратно на исходную камеру.  
  
Наконец, мы отмечаем, что алгоритмы прототипирования зрения в реальной сети камер - это временное, трудоемкое и трудоемкое предложение. Визуально точные, крупномасштабные системы моделирования сети камер, такие как разработанные Куреши и Терзопоулосом [75], или Хит и Гибас [33], позволят быстро прототипировать распределенные алгоритмы компьютерного зрения, не требуя ресурсов для фактического развертывания.

***Ссылки на литературу.***

1] Aghajan H, Kleihorst R, Rinner B, Wolf W (eds) (2008) Журнал IEEE по отдельным темам в обработке сигналов Специальный выпуск по распределенной обработке в сетях Vision, том 2. IEEE  
  
[2] Ai J, Abouzeid A (2006) Охват направленными датчиками в случайно развернутых беспроводных сенсорных сетях. Журнал комбинаторной оптимизации 11 (1): 21 - 41  
  
[3] Arth C, Leistner C, Bischof H (2007) Повторное обнаружение и отслеживание объектов в широкомасштабных сетях смарт-камер. В: Первая международная конференция ACM / IEEE по распределенным интеллектуальным камерам, стр. 156-163  
  
[4] Avidan S, Moses Y, Moses Y (2007) Централизованная и распределенная многозадачная переписка. Международный журнал компьютерного зрения 71 (l): 49-69  
  
[5] Baker P, Aloimonos Y (2000) Полная калибровка сети с несколькими камерами. В: Материалы IEEE Workshop о всенаправленном видении 2000  
  
[6] Baker P, Aloimonos Y (2003) Калибровка многокамерной сети. В: Материалы семинара IEEE по всенаправленному видению  
  
[7] Barton-Sweeney A, Lymberopoulos D, Savvides A (2006) Локализация датчика и калибровка камеры в сетях распределенных камер. В: Материалы 3-й Международной конференции по широкополосной связи, сетям и системам (BROADNETS), Сан-Хосе, Калифорния, США, стр. 1-10  
  
[8] Bash BA, Desnoyers PJ (2007) Точные распределенные вычисления ячейки Вороного в сетях датчиков. В: Международная конференция по обработке информации в сетях датчиков  
  
[9] Bertsekas DP, Tsitsiklis JN(1997) Параллельные и распределенные вычисления: численные методы. Athena Scientific  
  
[10] Bolliger P, Kohler M, Romer К (2007) Facet: На пути к сети смартфонов мобильных телефонов. В: Материалы Autonomies 2007 (Первая международная конференция ACM по системам автономных вычислений и связи), Рим, Италия  
  
[11] Boyd S, Ghosh A, Prabhakar B, Shah D (2005) Алгоритмы сплетен: дизайн, анализ и приложения. В: IEEE INFOCOM, том 3, стр. 1653-1664  
  
[12] Bramberger M, Doblander A, Maier A, Rinner B, Schwabach H (2006) Распределенные встроенные смарт-камеры для приложений наблюдения. Компьютер 39 (2): 68-75  
  
[13] Brand M, Antone M, Teller S (2004) Спектральное решение крупномасштабной калибровки внешней камеры как проблема внедрения графа. В: Материалы Европейской конференции по компьютерному видению  
  
[14] Capkun S, Hubaux JP (2005) Безопасное позиционирование беспроводных устройств с применением сетей датчиков. В: Материалы IEEE INFOCOM  
  
[15] Chang CC, Aghajan H (2006) Совместное обнаружение ориентации лица в сетях беспроводных датчиков изображения. В: Семинар по распределенным интеллектуальным камерам  
  
[16] Chen X, Davis J, Slusallek P (2000) Калибровка камеры с использованием виртуальных калибровочных объектов. В: IEEE Comp. Soc. Conf. по компьютерному зрению и распознанию образов

[17] Cheng Z, Devarajan D, Radke R (2007) Определение графиков видений для распределенных сетей камер с использованием дайджеста функций. Журнал EURASIP по прикладной обработке сигналов, специальный выпуск на сетях визуальных датчиков Код статьи 57034  
  
[18] Christopher C, Avi P(2003). Скорейшее распространение веры как основа для общения в сенсорных сетях. В: Материалы 19-й ежегодной конференции по неопределенности в искусственном интеллекте (UAI-03), Morgan Kaufmann Publishers, Сан-Франциско, Калифорния, стр. 159-166  
  
[19] Collins RT, Tsin Y (1999). Калибровка открытой активной камеры. В: IEEE Computer Vision и распознавание образов 1999  
  
[20] Dellaert F, Kipp A, Krauthausen P (2005) Мультифронтальный QR-факторизационный подход к распределенному умозаключению, применяемый для локализации и сопоставления с несколькими роботами. В: Материалы Национальной конференции по искусственному интеллекту (AAAI 05),  
  
pp 1261-1266  
  
[21] Devarajan D, Radke R (2004) Распределенная метрическая калибровка для крупномасштабных сетей камер. В: Материалы Первого семинара по широкополосным оптоволоконным сетям (BASENETS) 2004 (совместно с BroadNets 2004), Сан-Хосе, Калифорния  
  
[22] Devarajan D, Radke R (2007) Калибровка распределенных сетей камер с использованием распространения веры. Журнал EURASIP по прикладной обработке сигналов, специальный выпуск на сетях визуальных датчиков Код статьи 60696  
  
[23] Devarajan D, Radke R, Chung H (2006) Распределенная метрическая калибровка сетей специальных камер. ACM-транзакции на сетях датчиков 2 (3): 380 ^ 103  
  
[24] Dockstader S, Tekalp A (2001) Множественное отслеживание камеры взаимодействующего и окклюдированного движения человека. Материалы IEEE 89 (10): 1441-1455  
  
[25] Du W, Fang L, Peng N (2006) LAD: обнаружение аномалии локализации для беспроводных сенсорных сетей. J Parallel Distribute Comput 66 (7): 874-886  
  
[26] Farrell R, Davis L (2008) Децентрализованное открытие топологии сетевой камеры. В: Вторая АСМЛЕЕЕ Международная конференция по распределенным интеллектуальным камерам, Стэнфордский университет, Пало-Альто, Калифорния, США  
  
[27] Farrell R, Doermann D, Davis L (2007) Изучение моделей перехода более высокого порядка в сетях среднего масштаба. В: IEEE 11-я Международная конференция по компьютерному видению  
  
[28] Funiak S, Guestrin C, Paskin M, Sukthankar R (2006) Распределенная локализация сетевых камер. В: Материалы пятой Международной конференции по обработке информации в сетях датчиков  
  
[29] Haas Z, et al (2002) Беспроводные сети ad hoc. В: Proakis J (ed) Энциклопедия телекоммуникаций, Джон Уайли  
  
[30] Hartley R (1994) Самокалибровка из нескольких видов с вращающейся камерой. В: Proc. ECCV '94, том 1, стр. 471-478  
  
[31] Hartley R, Zisserman А (2000) Многомерная геометрия в компьютерном зрении. Пресса Кембриджского университета  
  
[32] Heath K, Guibas L (2007) Facenet: отслеживание людей и приобретение изображений канонических лиц в беспроводной сети датчиков камеры. В: Первая АСМЛЕЕЕ Международная конференция по распределенным интеллектуальным камерам, стр. 117-124

[33] Heath K, Guibas L (2008) Multi-person отслеживание из разреженных трехмерных траекторий в сети датчиков камеры. В: Вторая АСМЛЕЕЕ Международная конференция по распределенным интеллектуальным камерам, Стэнфордский университет, Пало-Альто, Калифорния, США  
  
[34] van den Hengel A, Dick A, Detmold H, Cichowski A, Hill R (2007) Поиск перекрытия камеры в больших сетях наблюдения. В: Материалы 8-й Азиатской конференции по компьютерному видению  
  
[35] Hoffmann M, Hahner J (2007) Rocas: надежный онлайн-алгоритм пространственного разделения в распределенных системах смарт-камер. В: Первая международная конференция ACM / IEEE по распределенным интеллектуальным камерам, стр. 267-274  
  
[36] Ihler A, Fisher J, Moses R, Willsky A (2004) Непараметрическое распространение веры для самокалибровки в сенсорных сетях. В: Материалы 3-го Международного симпозиума по обработке информации в сетях датчиков, Беркли, Калифорния  
  
[37] Iwaki H, Srivastava G, Kosaka А, Park J, Как A (2008) Новая основа накопления доказательств для надежного обнаружения нескольких камер. В: Вторая международная конференция ACM / IEEE по распределенным интеллектуальным камерам, Стэнфордский университет, Пало-Альто, Калифорния, США  
  
[38] Iyengar R, Sikdar В (2003) Масштабируемое и распределенное GPS-позиционирование для сенсорных сетей. В: IEEE Международная конференция по коммуникациям, том 1, стр. 338-342  
  
[39] Javed O, Rasheed Z, Shafique K, Shah M (2003) Отслеживание нескольких камер с непересекающимися видами. В: Материалы 9-й Международной конференции по компьютерному видению, Ницца, Франция  
  
[40] Javed O, Shafique K, Shah M (2005) Моделирование внешнего вида для отслеживания в нескольких неперекрывающихся камерах. В: Конференция IEEE Computer Society по компьютерному зрению и распознаванию образов  
  
[41] Jaynes C (1999) Калибровка нескольких точек зрения от планарного движения для видеонаблюдения. В: Второй семинар IEEE по визуальному надзору (VS'99), стр. 59-66  
  
[42] Kowalczyk W, Vlassis N (2004) Newscast EM. В: Конференция по системам обработки нейронных информационных систем  
  
[43] Kulkarni P, Shenoy P, Ganesan D (2007) Приблизительная инициализация сетей датчиков камеры. В: Материалы 4-й Европейской конференции по беспроводным сенсорным сетям  
  
[44] Kundur D, Lin CY, Lu CS (eds) (2007) Журнал EURASIP о достижениях в обработке сигналов Специальный выпуск на сетях визуальных датчиков. Издательская корпорация Hindawi  
  
[45] Langendoen K, Reijers N (2003) Распределенная локализация в беспроводных сетях датчиков: количественное сравнение. Компьютерные сети 43 (4): 499-518  
  
[46] Lee H, Aghajan H (2006) Совместная локализация узлов в сетях наблюдения с использованием оппортунистических целевых наблюдений. В: Материалы 4-го международного семинара ACM по системам видеонаблюдения и датчиков, стр. 9-18  
  
[47] Lee L, Romano R, Stein G (2000) Мониторинг активности из нескольких видеопотоков: создание общей системы координат. IEEE-транзакции по распознаванию образов и машинного интеллекта 22 (8)

[48] ​​Leistner C, Roth P, Grabner H, Bischof H, Starzacher A, Rinner В (2008) Визуальное онлайн-обучение в сетях распределенных камер. В: Вторая международная конференция ACM / IEEE по распределенным интеллектуальным камерам, Стэнфордский университет, Пало-Альто, Калифорния, США  
  
[49] Leonard J, Durrant-Whyte H (1991) Одновременное построение карты и локализация для автономного мобильного робота. В: Материалы международного семинара IEEE / RSJ по интеллектуальным роботам и системам, стр. 1442-1447  
  
[50] Лю Х, Кулкарни П., Шеной П., Ганесан Д (2006) Снимок: протокол самокалибровки для сетей датчиков камеры. В: Материалы IEEE / CreateNet BASENETS 2006  
  
[51] Lowe DG (2004) Отличительные особенности изображения от неинвариантных ключевых точек. Международный журнал компьютерного зрения 60 (2): 91-110  
  
[52] Lynch N (1996) Распределенные алгоритмы. Морган Кауфманн  
  
[53] Ma Y, Soatto S, Kosecka J, Sastry S (2004) Приглашение к трехмерному видению: от изображений к геометрическим моделям, Springer, chap 11  
  
[54] Маас Х.Г. (1999). Методы калибровки системы с несколькими камерами на основе последовательности изображений. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 54 (5-6): 352-359  
  
[55] Makris D, Ellis T, Black J (2004) Преодоление разрывов между камерами. В: Материалы конференции IEEE Computer Society по компьютерному зрению и распознаванию образов  
  
[56] Мандель З, Шимшони I, Керен Д. (2007) Многокамерная топология восстановления от когерентного движения. В: Первая международная конференция ACM / IEEE по распределенным интеллектуальным камерам, стр. 243-250  
  
[57] Манцель В., Чой Х, Баранюк Р. (2004) Локализация сети распределенных камер. В: Материалы 38-й асиломарской конференции по сигналам, системам и компьютерам  
  
[58] Marinakis D, Dudek G (2005) Топология для сенсорной сети, основанной на видении. In: In Proc. Канадской конференции по компьютерному и робототехническому видению  
  
[59] Маринакис Д., Дудек Г. (2006) Вероятностная самолокализация для сенсорных сетей. В: Национальная конференция AAAI по искусственному интеллекту  
  
[60] Marinakis D, Dudek G (2008) Бритва Оккама применяется к выводам топологии сети. IEEE Transactions on Robotics 24 (2): 293 - 306  
  
[61] Medeiros H, Park J, Как A (2007) Легкий протокол, управляемый событиями для кластеризации датчиков в сетях беспроводных камер. В: Первая международная конференция ACM / IEEE по распределенным интеллектуальным камерам, стр. 203-210  
  
[62] Medeiros H, Iwaki H, Park J (2008) Онлайн-распределенная калибровка большой сети беспроводных камер с использованием динамической кластеризации. В: Вторая международная конференция ACM / IEEE по распределенным интеллектуальным камерам, Стэнфордский университет, Пало-Альто, Калифорния, США  
  
[63] Meingast M, Oh S, Sastry S (2007) Автоматическая локализация сети камеры с использованием дорожек изображений объектов. В: Материалы IEEE Международной конференции по компьютерному видению (ICCV) Семинар по визуальным представлениям и моделированию крупномасштабных сред  
[64] Meingast M, Kushwaha M, Oh S, Koutsoukos X, Ledeczi A, Sastry S (2008) Разнообразная локализация сети с использованием слияния данных. В: Вторая международная конференция ACM / IEEE по распределенным интеллектуальным камерам, Стэнфордский университет, Пало-Альто, Калифорния, США  
  
[65] Mensink T, Zajdel W, Krose В (2007) Распределенное обучение EM для отслеживания многокамерных изображений на основе внешнего вида. В: Первая международная конференция ACM / IEEE по распределенным интеллектуальным камерам, стр. 178-185  
  
[66] Мияки Т, Ямасаки Т, Айзава К (2007) Многоточечное отслеживание слияния с использованием визуальной информации и оценки местоположения wi-fl. В: Первая международная конференция ACM / IEEE по распределенным интеллектуальным камерам, стр. 275-282  
  
[67] Murphy KP, Weiss Y, Jordan MI (1999). Скорейшее распространение веры для приблизительного вывода: эмпирическое исследование. В: Материалы неопределенности в искусственном интеллекте (UAI '99), стр. 467-475  
  
[68] Niu C, Grimson E (2006) Восстановление неперекрывающейся топологии сети с использованием далеко идущих данных отслеживания транспортных средств. В: Материалы 18-й Международной конференции по распознаванию образов  
  
[69] Nowak R (2003) Распределенные ЭМ-алгоритмы для оценки плотности и кластеризации в сетях датчиков. IEEE-транзакции по обработке сигналов 51 (8): 2245- 2253  
  
[70] Park J, Bhat PC, Как AC (2006) Подход на основе справочной таблицы для решения проблемы выбора камеры в сетях больших камер. В: Семинар по распределенным интеллектуальным камерам  
  
[71] Paskin MA, Guestrin CE (2004) Надежный вероятностный вывод в распределенных системах. В: Материалы XX съезда по неопределенности в искусственном интеллекте (UAI '04), стр. 436-445  
  
[72] Paskin MA, Guestrin CE, McFadden J (2005) Прочная архитектура для вывода в сетях датчиков. В: 4-м Международном симпозиуме по обработке информации в сетях датчиков (IPSN '05)  
  
[73] Qu W, Schonfeld D, Mohamed M (2007) Распределенное байесовское многоцелевое отслеживание в переполненных средах с использованием нескольких совместных камер. Журнал EURASIP о достижениях в обработке сигналов 2007 (38373)  
  
[74] Quaritsch M, Kreuzthaler M, Rinner B, Bischof H, Strobl В (2007) Автономное отслеживание мультикамер на встроенных смарт-камерах. Журнал EURASIP о достижениях в обработке сигналов 2007 (92827)

[75] Qureshi F, Terzopoulos D (2008) Сети смарт-камер в виртуальной реальности. Материалы IEEE 96 (10): 1640-1656  
  
[76] Раббат М, Новак Р. (2004) Распределенная оптимизация в сетях датчиков. В: Международная конференция по обработке информации в сетях датчиков  
  
[77] Rahimi A, Dunagan B, Darrell T (2004) Одновременная калибровка и отслеживание с помощью сети неперекрывающихся датчиков. В: Конференция IEEE Computer Society по компьютерному видению и распознаванию образов, том 1, стр. 187-194  
  
[78] Rao B, Durrant-Whyte H (1993) Децентрализованный байесовский алгоритм для идентификации отслеживаемых целей. IEEE-транзакции по системам, человеку и кибернетике 23 (6): 1683-1698

[79] Rekleitis I, Meger D, Dudek G (2006) Одновременное планирование, локализация и отображение в сети датчиков камеры. Робототехника и автономные системы 54 (11): 921-932  
  
[80] Rekleitis IM, Dudek G (2005) Автоматическая калибровка сети датчиков камеры. В: Материалы Международной конференции IEEE / RSJ по интеллектуальным роботам и системам, стр. 401 ^ 106  
  
[81] Rinner B, Wolf W (2008) Введение в распределенные смарт-камеры. Труды IEEE 96 (10): 1565-1575  
  
[82] Rinner B, Wolf W (eds) (2008) Материалы специального выпуска IEEE по распределенным интеллектуальным камерам, том 96. IEEE  
  
[83] Rinner B, Winkler T, Schriebl W, Quaritsch M, Wolf W (2008) Эволюция от одиночных до широко распространенных смарт-камер. В: Вторая АСМЛЕЕЕ Международная конференция по распределенным интеллектуальным камерам, Стэнфордский университет, Пало-Альто, Калифорния, США  
  
[84] Sastry N, Shankar U, Wagner D (2003) Безопасная проверка заявлений о местоположении. В: Материалы WiSe '03, 2-й семинар ACM по безопасности беспроводной связи, стр. 1-10  
  
[85] Stein GP (1995) Точная внутренняя калибровка камеры с использованием вращения с анализом источников ошибок. В: ICCV, pp. 230-236  
  
[86] Taylor CJ, Shirmohammadi В (2006) Self-локализация сетей смарт-камер и их приложений для 3D-моделирования. В: Материалы Международного семинара по распределенным интеллектуальным камерам  
  
[87] Thorpe J, McEliece R (2002) Алгоритмы синтеза данных для совместной робототехнической разведки. Отчет о ходе работы межпланетной сети 149: 1-14  
  
[88] Thrun S, Burgard W, Fox D (2005) Вероятностная робототехника: интеллектуальная робототехника и автономные агенты. Пресса MIT  
  
[89] Tieu K, Dailey G, Grimson W (2005) Вывод непересекающейся топологии сети камер путем измерения статистической зависимости. В: Десятая IEEE Международная конференция по компьютерному видению, том 2, стр. 1842-1849  
  
[90] Triggs B, McLauchlan P, Hartley R, Fitzgibbon A (2000) Регулировка пучка - современный синтез. In: Triggs W, Zisserman A, Szeliski R (eds) Алгоритмы зрения: теория и практика, LNCS, Springer Verlag, стр. 298-375  
  
[91] Tsai R (1992) Универсальная технология калибровки камеры для высокоточной трехмерной метрологии метрологии, использующая готовые телевизионные камеры и объективы. In: Wolff L, Shafer S, Healey G (eds) Радиометрия - (физическое видение), Джонс и Бартлетт  
  
[92] Varshney PK (1997) Распределенное обнаружение и слияние данных. прыгун  
  
[93] Venkatesh S, Alanyali M, Savas O (2006) Распределенное обнаружение в сетях датчиков с потерями пакетов и связью конечной мощности. IEEE-транзакции по обработке сигналов 54 (11): 4118-4132  
  
[94] Wang B, Sung K, Ng T (2002) Локализованный принцип согласованности для согласования изображений при неоднородном изменении освещенности и аффинных искажениях. В: Европейская конференция по компьютерному видению, vol LNCS 2350, pp. 205-219, Копенгаген, Дания

[95] Wei Y, Yu Z, Guan Y (2007) Алгоритмы проверки местоположения для беспроводных сенсорных сетей. В: Материалы 27-й Международной конференции по распределенным вычислительным системам, стр. 70  
  
[96] Zou X, Bhanu B, Song B, Roy-Chowdhury A (2007) Определение топологии в распределенной сети камер. В: Материалы Международной конференции IEEE по обработке изображений