Минобрнауки России

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования   
«Национальный исследовательский университет   
«Московский институт электронной техники»

Факультет Микроприборов и технической кибернетики

Кафедра Высшей математики 1

Ильютченко Павел Сергеевич

Бакалаврская работа   
по направлению 01.03.04 «Прикладная математика»

**Вторичная обработка оптической информации**

Студент Ильютченко П.С.

Научный руководитель,

к.ф.-м.н. Козлитин И.А.

Москва 2017

Оглавление

[1 Введение 3](#_Toc482791252)

[2 Оптические системы слежения 6](#_Toc482791253)

[2.1 Охранные системы слежения 6](#_Toc482791254)

[2.2 Военные системы слежения 7](#_Toc482791255)

[2.3 Дорожные системы слежения 8](#_Toc482791256)

[3 Виды траекторной информации 9](#_Toc482791257)

[3.1 Первичная информация 10](#_Toc482791258)

[3.2 Вторичная информация 10](#_Toc482791259)

[3.3 Третичная информация 14](#_Toc482791260)

[4 Алгоритмы завязывания и сброса траекторий 15](#_Toc482791261)

[4.1 Эвристические 15](#_Toc482791262)

[4.2 Вероятностные 17](#_Toc482791263)

[4.3 Другие 19](#_Toc482791264)

[5 Сопровождение целей 20](#_Toc482791265)

[5.1 Ближайшая отметка 20](#_Toc482791266)

[5.2 Задача о назначениях 20](#_Toc482791267)

[5.3 Использование прогноза 20](#_Toc482791268)

[6 Моделирование целевой обстановки 21](#_Toc482791269)

[7 Оценка работы алгоритма слежения. Ошибки первого и второго рода 21](#_Toc482791270)

[8 Построение трекера на основе слежения за особыми точками 22](#_Toc482791271)

[9 Заключение 22](#_Toc482791272)

# Введение

Предшественником видеонаблюдения можно считать фотографирование с целью обеспечения безопасности. В связи с прогрессом электронной техники стали применяться видеокамеры. Первая в мире оптическая система слежения была создана в Германии компанией Siemens в 1942 году для наблюдения за испытаниями ракет «Фау-2».

Первой коммерческой системой видеонаблюдения считается Vericon, выпущенная в США в 1949 году. Ранние системы видеонаблюдения позволяли только просматривать изображения с камер, а запись была возможна только в ручном режиме по команде оператора. Непрерывная запись появилась только в 1970-х годах с развитием технологий видеозаписи.

В 1980-х годах в системах видеонаблюдения начала активно внедряться цифровая обработка сигналов. В камерах стали применяться ПЗС-матрицы вместо электронно-лучевых трубок, что привело к уменьшению габаритов камер наблюдения. Начинают выпускаться цветные камеры наблюдения.

В конце 1990-х годов появились и стали набирать популярность полностью цифровые системы видеонаблюдения, в частности, IP и SDI, а аналоговые системы стали записывать сигнал на цифровой носитель. В камерах стали также применяться более дешевые КМОП-матрицы.

В 2000-х годах системы распознавания лиц позволяют идентифицировать лицо человека с точностью не менее 80%.

В большинстве случаев используются короткофокусные объективы типа фикс-фокус, не требующие фокусировки, и автоматического управления экспозицией. Основные производители матриц – Sony, Sharp, Panasonic, Samsung, LG, Hynix. Обычно разница между камерами проявляется в сложных условиях освещения. В линейке каждого производителя присутствуют как дешевые и стандартные по параметрам матрица, так и матрицы повышенного разрешения и/или повышенной чувствительности.

Любой цифровой видеосигнал характеризуется разрешением, горизонтальным и вертикальным, измеряемым в пикселях. Пиксель (англ. pixel – сокращение от **pic**ture’**s** **el**ement или **pic**ture **cel**l) – наименьший логический элемент двумерного цифрового изображения, или физический элемент матрицы дисплеев.

По разрешению камеры делятся на следующие типы:

* Стандартной четкости (SD, Standart Definition):
  + Для аналоговых видеокамер: 576 строк при 25fps (PAL) или 480 строк при 30fps (NTSC);
  + Для цифровых видеокамер: 720x576 точек при 25fps и 640x480 точек при 30fps.
* Высокой четкости (HD, High Definition):
  + HD Ready: 1280x720 точек;
  + Full HD: 1920x1080 точек.
* Сверхвысокой четкости (UHD, Ultra-High Definition):
  + 2K: 2048x1080 точек;
  + 4K: 3840x2160 точек;
  + 8K: 7680x4320 точек.

Частота кадров в секунду (англ. Frames per Second (FPS)) – количество сменяемых кадров за 1 секунду. Чем больше частота кадров, тем более плавным и естественным будет казаться движение на экране. Минимальный показатель, при котором движение будет восприниматься однородным примерно 16 кадров в секунду (это значение индивидуально для каждого человека). Компьютерное видео хорошего качества, как правило, используют частоту 30 кадров в секунду.

Светочувствительность – характеристика, определяющая зависимость числовых параметров созданного изображения от экспозиции, полученной светочувствительной матрицей. Светочувствительность принято выражать в единицах, эквивалентных светочувствительности ISO желатиносеребрянных фотоэмульсий.

По конструкции камеры можно разделить на следующие типы:

* Модульная видеокамера – бескорпусное устройство в виде однослойной печатной платы;
* Минивидеокамера – готовое изделие для установки в помещении;
* Корпусная камера (Box camera) – камера стандартного дизайна;
* Купольная видеокамера (Dome camera)
* Управляемая видеокамера
* Гиростабилизированные видеокамеры – видеокамеры, используемые на подвижных объектах с целью получения стабилизированного изображения.

Объектив – устройство, предназначенное для фокусировки светового потока на матрице видеокамеры.

Объективы делятся на:

* Монофокальные (с постоянным фокусным расстоянием);
* Вариофокальные.

# Оптические системы слежения

Оптические системы слежения (видеонаблюдения) решают проблему визуального контроля или автоматического анализа изображений (автоматическое распознавание лиц, государственных номеров и др.). Осуществляются они с применением оптико-электронных устройств (видеокамер). Чаще всего применяются в местах большого скопления людей или охраняемых зонах, таких как, бары, банки, казино, школы, гостиницы, аэропорты, больницы, рестораны, военные объекты, магазины и в других областях, где необходима безопасность.

Наблюдение за обществом с использованием систем слежения распространено во многих районах мира. В последние годы использование носимых видеокамер было введено в качестве новой формы наблюдения. В связи с таким глубоким проникновением в общественную жизнь видеонаблюдение породило серьезные дебаты о балансировании его использования отдельных лиц на неприкосновенность частной жизни.

На промышленных предприятиях системы слежения используются для наблюдения за частями производственного процесса из диспетчерской, например, когда человек не может участвовать в этом процессе. Эти системы могут работать непрерывно иди только по мере необходимости для наблюдения за конкретным событием.

По состоянию на 2016 год во всем мире около 350 миллионов камер наблюдения, однако рост количества систем слежения замедлился.

## Охранные системы слежения

Основными задачами охранных систем слежения являются фиксирование преступлений, контроль действий, а также возможность оперативной реакции на события в режиме реального времени. Так, например, на станциях метро Стокгольма введение камер видеонаблюдения уровень преступности удалось снизить примерно на 25%. Также системы видеонаблюдения помогают в отслеживании перемещений подозреваемых или потерпевших и широко рассматривается антитеррористическими службами как основной инструмент отслеживания подозреваемых в терроризме.

С 2007 года начался широкий рост использования видеорегистраторов в личных автомобилях. Цифровой автомобильный видеорегистратор ведет непрерывную запись дорожной ситуации. Запись регистратора принимается как доказательство в суде и помогает доказать невиновность или найти скрывшегося виновника ДТП.

Также видеонаблюдение обеспечивает сохранение имущества компании в казино. Отслеживается поведение недобросовестного персонала, мошенников и воров. Оператор или алгоритм знает все правила казино, основные стратегии и системы счета, следит за поведением игроков, опираясь на язык тела.

На текущий момент системы слежения в России установлены в половине офисов страны. Фиксация событий в офисе служит для обеспечения безопасности сотрудников, предотвращения мелкого воровства, выявления недобросовестных работников, а также ограничения возможности «утечки» служебной информации.

С развитием технологий системы видеонаблюдения пришли и в домашний сектор. Такая типичная система включает видеокамеру, подключаемую по кабельному или беспроводному каналу к домашней локальной сети. В комплект также входит программное обеспечение для удаленного наблюдения или записи, а также его управления. Сеть строится на основе одной или нескольких IP-камер.

## Военные системы слежения

В военном секторе системы слежения применяются для аналогичных целей. Например, обычными задачами для военных систем видеонаблюдения будут являться: фиксирование проникновения на охраняемый объект, контроль действий работников, предотвращение мелкого воровства, возможность оперативного реагирования на события, отслеживание врагов в военных действиях и т.д.

На современных ракетных комплексах дальнего действия для корректировки траектории применяются оптические системы слежения за траекторией полёта. Техническое решение выглядит так: в головной части ракеты находится оптическая головка самонаведения, в которой установлен фотоаппарат. Он получает изображение местности над которой пролетает ракета и отправляет данные в бортовой вычислительный комплект, в память которого заложено эталонное изображение местности. Это устройство распознает местность и корректирует дальнейшую траекторию полёта.

## Дорожные системы слежения

Множество городов и автострадных сетей оборудованы камерами безопасного движения, которые автоматически определяют нарушения правил дорожного движения, например, превышение автомобилем разрешенной на данном участке скорости проезда. Они особенно ценны в туннелях, где аварийное оборудование может быть активировано дистанционно на основе информации, поступающей от камер и других датчиков. На автострадах они обычно устанавливаются на высоких столбах или матчах, иногда вместе с уличными фонарями. На артериальных дорогах они часто устанавливаются на столбах светофора на перекрестках, где могут возникнуть какие-либо проблемы. В отдаленных районах без легкого доступа электрической сети они, как правило, питаются от других источников энергии, как солнечные батареи, которые также могут обеспечивать резервный источник для обычных камер.

Дорожные камеры отличаются от камер безопасности дорожного движения, которые помещаются в определенные места для обеспечения соблюдения правил дорожного движения. Эти камеры снимают неподвижные фотографии с гораздо более высоким разрешением изображения по триггеру (сигналу от сенсора и др.), тогда как камеры наблюдения за движением просто наблюдают и принимают видео с более низким разрешением. Часто они вращаются на подвесе, который обеспечивает полное движение, чтобы с помощью дистанционного управления можно было сфокусироваться на происходящем инциденте.

Многие отделы транспорта связали свои сети камер с Интернетом, сделав их веб-камерами, позволяющими просматривать текущие условия движения. Они обычно показывают потоковое видео, либо неподвижное изображение, которое обновляется с заданным интервалом, что помогает водителям определить, следует ли искать альтернативный маршрут.

# Виды траекторной информации

Для автоматизации процессов управления или слежения необходимо иметь исчерпывающую и непрерывно обновляющуюся информацию о координатах и характеристиках объекта. Эту информацию получают с помощью средств сбора и обработки оптической информации таких, как видеокамеры, радиолокационные комплексы и др.

Такая обработка позволяет получать данные о координатах цели, параметрах её траектории, времени локации и др. Совокупность сведений о цели условно называют отметкой. Сигналы, которые несут необходимую для оператора информацию, называют полезными, но на них, как правило, обязательно накладываются помехи, искажающие информацию. В связи с этим в процессе обработки возникают задачи выделения полезных сигналов и получения необходимых сведений в условиях помех.

## Первичная информация

На этапе первичной обработки цель обнаруживают и определяют её координаты. Первичная обработка начинается с обнаружения полезного сигнала в шумах. Этот процесс складывается из нескольких этапов:

1. Обнаружение одиночного сигнала;
2. Обнаружение пакета сигналов;
3. Формирование полного пакета сигналов;
4. Определение дальности до цели и её азимута.

Все эти этапы реализуются с помощью оптимальных алгоритмов, основанных на критериях минимума ошибок принятия решения и результатов измерения.

Координаты мгновенного положения как истинных, так и ложных целей в цифровом виде поступают в устройство вторичной обработки, в котором на их основе определяется местоположение каждой обнаруженной цели в избранной системе координат, в результате чего формируются отметки , которые могут быть истинными и ложными.

Отметка – совокупность параметров дальности, азимута и др. в определённый дискретный момент времени. Одна отметка, полученная в каком-либо обзоре, не позволяет принять достоверное решение о наличии цели в зоне обзора, так как могла быть ложной, по ней нельзя судить о траектории движения цели.

## Вторичная информация

Чтобы принять верные цели и определить параметры её движения, необходимо проанализировать отметки, полученные за несколько периодов времени обзора. Если в следующем обзоре отметка появилась вновь, причем сдвинутая на некоторое расстояние, то уже имеется основание для принятия решения об обнаружении цели. Попутно можно определить направление и скорость движения цели.

В блоке вторичной обработки на основе отметок, полученных в соседних обзорах, решаются следующие задачи:

* Обнаружение траекторий целей;
* Сопровождение траекторий целей;
* Траекторные расчеты в интересах потребителей оптической информации.

Эти задачи включают в себя оценивание параметров траектории, расчет интерполированных и экстраполированных координат, а также операцию стробирования отметок целей. Закон движения цели в пространстве определяется изменением отметок цели во времени. Траектория цели зависит от многих факторов, таких как тип цели, скорость, маневренность, настройки устройств первичной обработки и т.п. Кроме того, на траекторию оказывает влияние ряд случайных факторов, искажающие траекторию или затрудняющие её обнаружение.

Если блок предназначен для обработки траекторий, то модели их движения представляют собой совокупность участков с прямолинейным и равномерным движением и участков манёвра. За основу может быть взята полиномиальная модель движения.

Процесс вторичной обработки разбивается на два самостоятельных этапа: обнаружение траекторий и слежение за траекториями.

**Обнаружение** является начальным моментом вторичной обработки. Пусть появилась одиночная отметка цели, она принимается за начальную отметку траектории. В следующем обзоре вторую отметку, принадлежащую этой же траектории следует искать в области (Рисунок 1), заключенной внутри кольца и имеющую площадь

где период обзора, возможные максимальная и минимальная скорости цели.

В область может попасть не одна, а несколько отметок, и каждую из них следует считать как возможное продолжение предполагаемой траектории. По двум отметкам вычисляются скорость и направление движения каждой из предполагаемых целей, а затем экстраполируется положение отметки на следующий обзор. Вокруг экстраполируемых отметок образуются круговые области Если в какую-либо из этих областей попала отметка, она считается принадлежащей к обнаруживаемой траектории, траектория продолжается, и отметка передаётся на сопровождение.

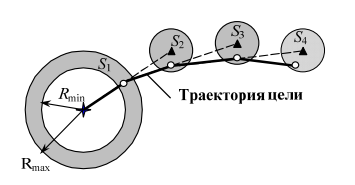


Рисунок - Траектория цели

Операции, которые выполняются при обнаружении, сводятся к экстраполяции координат, их сглаживанию и стробированию отметок. При обнаружении траектории размеры стробов должны рассчитываться с учетом возможного манёвра. Размер строба непосредственно влияет на показатели качества обнаружения траектории. Его увеличение приводит к увеличению числа ложных отметок в стробе, уменьшение может привести к непопаданию истинной отметки в строб.

**Слежение за траекториями целей** заключается в непрерывной привязке вновь полученных отметок к своим траекториям, в сглаживании координат и вычислении параметров движения целей.



Рисунок - Траектория движения цели

Допустим в смежных обзорах получены отметки, создающие траекторию движения цели (Рисунок 2). Сначала производится сглаживание координат и вычисление параметров, которые интересуют потребителя.

Если в м обзоре получено несколько отметок, то необходимо определить, какая из них принадлежит данной траектории. Используя результаты предыдущих обзоров и экстраполируя на один обзор вперед, можно предсказать положение ой отметки траектории Если известны статистические характеристики ошибок измерения координат или заданы вероятностные характеристики достоверности, то можно выделить вокруг экстраполированной отметки область в виде окружности или прямоугольника, которую принято называть стробом. Если вероятность попадания в него истинной отметки велика, то отметку, попавшую в строб, следует отнести к данной траектории.

Таким образом, в процессе сопровождения выполняются следующие операции:

1. Сглаживание координат и определение параметров траектории;
2. Экстраполяция координат цели на следующий или на несколько обзоров;
3. Выделение строба, в котором ожидается появление новой отметки;
4. Сравнение координат экстраполированной отметки с координатами отметок, попавших в строб, и выбор одной из них для продолжения траектории.

Стробирование – это формирование предполагаемой области появления отметки в виде границ строба. Строб может задаваться в полярной или прямоугольной системах координат. Выбор отметок решается путем вычисления квадратичного отклонения отметок от центра и сравнением результатов с целью выбора минимального.

Таким образом вторичная обработка, используя закономерности в появлении ложных отметок и отметок целей, должна обеспечить выделение траекторий движущихся целей.

## Третичная информация

Обработку информации, поступающей от нескольких источников, условились называть третичной обработкой информации.

Ввиду того, что зоны обзора или зоны ответственности постов обычно перекрываются, сведения об одной и той же цели могут поступать одновременно от нескольких станций. В идеальном случае такие отметки должны накладываться одна на другую, однако на практике этого не наблюдается из-за систематических и случайных ошибок в измерении координат, различного времени локации, а также из-за ошибок пересчета координат между точками стояния источника и приёмника информации.

Главной задачей третичной обработки является решение вопроса, сколько целей находится в действительности в зоне ответственности. Для решения этой задачи выполняется следующая последовательность операций:

1. Произвести сбор данных от источников;
2. Привести отметки к единой системе координат и единому времени;
3. Установить принадлежность отметок к целям, то есть решить задачу отождествления отметок;
4. Выполнить укрупнение информации.

Для решения этих задач используются все возможные характеристики целей.

Устройства третичной обработки реализуются на специализированных ЭВМ с полной автоматизацией всех выполняемых операций, однако иногда некоторые операции могут производиться по командам оператора. В частности, таким образом выполняются операции отождествления и укрупнения.

*Донесением о целях* принято называть информацию, содержащую сведения о местоположении целей, об их характеристиках, выдаваемую от источников по каналам связи для ее дальнейшей обработки и использования.

Задача *сбора донесений* заключается в том, чтобы принять возможно больше информации при минимальных потерях. Каждое поступающее донесение должно быть обработано, на что требуется некоторое время. Для этого системы обработки донесений распараллеливают, например, как систему массового обслуживания, как с ожиданием, так и с отказами. На практике получили распространение системы смешанного типа с временем ожидания, выбранным из условия наилучшей обработки.

Координаты целей измеряются в системе координат обнаружившей их системы, поэтому их необходимо приводить к единой системе координат, например, полярная или прямоугольная. Также отметки, полученные от разных источников, приводятся к единому времени отсчёта. Это время необходимо для того, чтобы определить положение обрабатываемых отметок по состоянию на какой-то один момент времени. Эта операция значительно упрощает задачу отождествления меток.

Все источники информации обрабатывают информацию автономно и независимо друг от друга. За счет перекрытия зон ответственности в составе донесений могут быть дублирующие донесения, полученные от нескольких источников по одно и той же цели. В процессе отождествления отметок целей вырабатывается решение, устанавливающее: сколько целей имеется в действительности и как распределяются поступившие донесения по целям. В основе сравнения лежит предположение, что цели должны содержать одинаковые характеристики, однако в действительности из-за различных ошибок полного совпадения характеристик не бывает. В результате возникает неопределенность, которая выражается образует ошибки совпадения первого и второго рода.

После отождествления сведения о цели выражаются группой отметок от нескольких источников. Для формирования одной отметки с более точными характеристиками координаты и параметры траектории усредняются.

*Укрупнение (группировка) отметок целей* проводится в тех пунктах обработки, где не требуется информация по каждой цели или же плотность поступления отметок от целей оказывается выше рассчитанной пропускной способности. Оно осуществляется теми же способами, что и отождествление, и ведется по признаку близости координатных описаний группируемых объектов.

Таким образом, в процессе третичной обработки информации производится сбор донесений от источников, приведение отметок к единой системе координат и единому времени отсчёта, установление принадлежности отметок к целям (отождествление отметок) и выполнение укрупнения информации.

# Алгоритмы завязывания и сброса траекторий

На этапе вторичной обработки оптической информации решается задача формирования координат цели по отметкам наблюдения. В общем случае в программный алгоритм или в вычислительное устройство поступают отметки от неизвестного числа целей при неизвестном их местоположении в области контроля. Большинство алгоритмов вторичной обработки требуют априорную информацию о местоположении объектов и, привязывая к ним поступающие отметки, лишь уточняют их координаты. В этом случае важна предварительная операция завязки, которая подразумевает захват цели без любых априорных данных о ее местоположении.

## Эвристические

Наиболее часто решение о завязке траектории принимается логическим обнаружителем после получения в течение нескольких тактов наблюдения отсчетов, не противоречащих возможным перемещениям цели в пределах корреляционных стробов. Так как в канале наблюдения априорная информация о траекторных параметрах, как правило, крайне мала, размеры строба при завязке выбираются большими, исходя из представлений о максимальной скорости возможных целей.

Пусть временное окно наблюдений состоит из тактов. Когда число обнаруженных отметок во временном окне превысит определенную величину, то завязывается потенциальная траектория, иначе окно сдвигается на один такт вперед (**завязка по правилу из** ). Под потенциальной понимается траектория, которая требует дальнейшего подтверждения на последующих тактах вторичной обработки, в противном случае она будет сброшена с контроля как ложная. Недостатком такого подхода является то, что при большой плотности помех будет сформировано множество потенциальных траекторий. Для уменьшения вероятности завязки ложной траектории необходимо увеличивать размер наблюдаемого окна, но тогда будет расти время, необходимое для завязки траектории. Для понижения числа потенциальных траекторий эвристический метод использует информацию о скорости и ускорении цели.

*Описание алгоритма*

На каждом такте для входящий отметок выполняется следующая последовательность действий:

1. Для каждой траектории ищем ближайшую к ее последней точке отметку в некоторой ее окрестности, например, 30 пикселов. Если нашлась такая отметка, то добавляем ее в траекторию и ставим признак завязки для этой точки, иначе устанавливает признак отсутствия отметки. Храним только последних точек, среди которых есть и пустые.

2. Для каждой не завязанной отметки из входного массива (отметки входного массива, не использованные в первом пункте) создаем свою траекторию.

3. Если среди последних точек траектории было и более не пустых, то берем цель на сопровождение и последнюю точку помещаем в выходной вектор, если последняя отметка также являлась не пустой.

4. Если среди последних точек траектории было менее не пустых, то удаляем траекторию.

## Вероятностные

Когда на кадре появляются объекты, мы предварительно, основываясь на интуиции и своем опыте или знаниях о распространении объектов в пространстве, имеем некоторое предположение относительно траекторий – это априорная вероятность. Далее имея уже несколько кадров и проведя анализ, выстраивается картина движущихся объектов и случайных срабатываний, и увеличивает или уменьшает вероятность своего предположения – это апостериорная вероятность. В свете новых данных (новый кадр) апостериорная вероятность может быть пересмотрена.

Подобный алгоритм положен в основу Байесовского классификатора. Данный подход рассчитывает вероятность того, что гипотеза истинна, путем предшествующих мнений о гипотезе, по мере того как новые данные становятся доступными. Метод оперирует условными вероятностями. Это вероятность события при условии, что другое событие уже произошло.

Теорема Байеса утверждает, что апостериорная вероятность пропорциональна априорной, умноженной на величину правдоподобия наблюдаемых результатов. Вероятность того, что событие произойдет, если событие уже произошло:

На формуле Байеса основана процедура, которая использует **метод последовательного анализа Вальда**.

*Описание алгоритма*

Перед нами стоит задача выбора гипотезы (это отметка принадлежит какой-либо траектории) или (это шумовая отметка). Известна априорные вероятности и . После обнаружения в стробе отметки появляется признак . Тогда:

где отношение апостериорных вероятностей при условии обнаружения признака , вероятность признака при выполнении гипотезы , вероятность признака при выполнении гипотезы , отношение правдоподобия.

Тогда процесс дифференциального анализа выражается следующим образом:

То есть, если полученное выражение больше некоторого порогового значения , то принимается гипотеза , если меньше некоторого порогового значения , то верна гипотеза . Если ни один из порогов не достигнут, то для анализа привлекается следующий признак и проверяется неравенство:

И так далее.

Пороговые значения устанавливаются по следующим формулам:

где вероятность ошибки первого рода (вероятность ложно принять гипотезу , когда на самом деле верна гипотеза ), вероятность ошибки второго рода (вероятность ошибочно принять гипотезу , когда на самом деле верна гипотеза ).

Для удобства вычислений используются не сами отношения шансов, а их десятичные логарифмы, умноженные на 10. Полученную величину называют диагностическим коэффициентом

Пороги также выражаются через логарифмы

Тогда алгоритм имеет следующий вид

## Другие

Также используются и другие подходы кроме эвристических и вероятностных. Например, **метод ветвления**, в котором по наблюдениям строится дерево на рассматриваемых тактах (по одному дереву на каждый такт). Такой подход позволяет принимать решение о состоятельности потенциальной траектории не только по предыдущим тактам, но и по следующим.

Дерево строится на каждом из временных тактах. Корень дерева представляет собой совокупность всех отметок на данном такте. Затем идет продвижение по веткам дерева: совокупность наблюдений делится на две части и уже представляет собой отдельные поднаборы отметок. Такое деление продолжается рекурсивно, пока в каждом поднаборе не окажется только одна отметка – лист дерева.

Когда в результате на всех деревьях достигнуты листья, то проводится тест по всем комбинациям этих отметок. Захват цели осуществляется по тем отметкам, которые удовлетворяют некоторой модели движения (например, линейная) с учетом доверительных стробов.

Также существует **завязка методом трансформации**, применяемая в многопозиционных системах. Все точки, расположенные вдоль прямой линии в координатном пространстве, преобразуются в несколько линий, пересекающихся в одной точке в параметрическом пространстве. Пусть имеется набор отметок и модель движения предполагается линейной. Этим отметкам в параметрическом пространстве будут соответствовать прямые линии ( при , а сама прямая идет перпендикулярно к радиус-вектору в координатном пространстве ).

В параметрическом пространстве строится сетка и в каждой ячейке рассчитывается число проходящих через нее линий. Если это число больше некоторого порога, то считается, что обнаружена новая цель, и к ней привязываются соответствующие отметки. Размерность сетки влияет на точность работы алгоритма. Недостатками этого подхода являются большой объем вычислений и требование к памяти.

# Сопровождение целей

## Ближайшая отметка

## Задача о назначениях

## Использование прогноза

# Моделирование целевой обстановки

# Оценка работы алгоритма слежения. Ошибки первого и второго рода

# Построение трекера на основе слежения за особыми точками

# Заключение