

Макет автоматического классификатора транспортных средств

Иван Коптелов
ООО «Визиллект Сервис»
koptelov@visillect.com

Антон Григорьев
ИППИ РАН, МФТИ (ГУ)
me@ansgri.com

Тимур Ханипов
ИППИ РАН
khanipov@gmail.com

Сергей Емельянов
ООО «Визиллект Сервис»
s.o.emelyanow@gmail.com

Дмитрий Николаев
ИППИ РАН
dimonstr@iitp.ru

Аннотация

В работе описывается полнофункциональный макет программно-аппаратного комплекса «Автоматический классификатор транспортных средств», созданный специально для демонстрации технологий, использующихся в системе, на выставках и научных конференциях. Макет позволяет в реальном времени увидеть процесс и результаты работы системы, а также ее реакцию на различные нештатные ситуации. Система предназначена для определения класса транспортного средства (ТС) в соответствии с заданной классификационной схемой по числу колесных осей, высоте над первой осью или общей высоте ТС с использованием методов технического зрения. Для классификации используются видеопотоки с видеокамер и сигналы с индукционных петель. Результатом работы являются временные границы проезда ТС через классификатор, направление проезда, общая и заданная высота ТС, число осей и длина ТС.

1. Введение

В последнее время все более широкое распространение в нашей стране и за рубежом получают платные участки автомобильных дорог. Проезд по платной дороге оплачивается в соответствии с тарифами, которые определяют стоимость проезда для различных категорий (классов) транспортных средств (ТС). Принадлежность ТС определенной категории, как правило, определяется по следующим

характеристикам: количество колесных осей, полная высота кузова, длина кузова, высота кузова над первой колесной осью и вес (или разрешенная максимальная масса). Последняя характеристика (вес, разрешенная максимальная масса) является наименее удобной для вычисления и потому применяется редко.

Класс ТС определяется при въезде на платный участок дороги на выделенных полосах пункта взимания платы (ПВП). Определение класса ТС (классификация) происходит либо вручную (оператором), либо в полуавтоматическом режиме (оператор только подтверждает или корректирует автоматически найденный класс), либо в автоматическом режиме (оператора на полосе нет). Использование полуавтоматической классификации существенно снижает нагрузку на оператора, повышая производительность его труда, а также позволяет выявлять случаи неправомерной коррекции класса оператором. Использование автоматической классификации из-за отсутствия необходимости в наличии операторов существенно снижает экономические затраты на эксплуатацию платного участка, а также позволяет избавиться от субъективного фактора при определении класса ТС. Также автоматическая классификация является единственно возможным режимом работы для скоростных полос ПВП, движение ТС по которым происходит без существенного снижения скорости.

До недавнего времени в подавляющем большинстве автоматизированных систем классификации для определения класса использовались следующие методы [1]. Для подсчета колесных осей — оптопары, датчики

давления, высокочастотные индукционные петли [2], для измерения высот и длин — лазерные измерители высоты и дальномеры [3, 4]. Применяемые в них измерительные установки имеют высокую стоимость, требуют специальной подготовки полос на этапе фундаментального строительства, дороги в эксплуатации, а также сложны в обслуживании, что особенно критично в регионах с широким годовым диапазоном изменения погодных условий.

Перспективным направлением в развитии автоматизированных систем классификации является применение видеосигнала, что позволяет не только решить указанные проблемы, но и получить важные дополнительные функции, например, сохранение изображений проехавших ТС.

В настоящее время активно создаются системы транспортного видеомониторинга, но их основной задачей является сбор статистики по транспортному потоку [5-7]. Эти системы позволяют классифицировать транспортные средства, однако, не обладают необходимым для работы на ПВП качеством (>99%) и надежностью, а также не предназначены для работы в сложных погодных условиях. Сотрудниками ИППИ РАН был разработан автоматический классификатор транспортных средств на основе видеосигнала (АКТС) [8] — программно-аппаратный комплекс, использующий в качестве основного источника информации видеопоток с установленных на ПВП видеокамер и успешно решающий задачи классификации ТС на более чем 100 полосах семи ПВП в России. В этой работе будет рассказано о возможностях, основных принципах работы и особенностях АКТС.

Ввиду отсутствия возможности собирать на месте действующую копию АКТС в полном масштабе, было принято решение создать макет в масштабе 1:10 для демонстрации технологий и основных функций классификатора.

2. Принцип работы АКТС

АКТС состоит из пре- и пост-классификатора. Пре-классификатор осуществляет классификацию ТС, въезжающих на полосу ПВП, пост-классификатор — выезжающих. На пре- и пост-классификаторах настоящей системы расположено по две видеокамеры — справа и слева от полосы, из которых в каждый момент времени фактически используется лишь одна. Напротив каждой камеры установлен маркерный щит, на который в шахматном порядке нанесены контрастные черные и белые клетки. В разное время суток используются разные камеры для противодействия засветке их солнцем. Последовательность работы камер в классификаторе задается заранее и определяется на месте установки АКТС в зависимости от времени восхода и захода солнца в разное время года. При этом одновременно используются либо левые камеры АКТС, либо правые. Для работы в условиях нехватки освещения в темное

время суток предусмотрено использование ИК-прожекторов. В макете используется по одной камере для пре- и пост-классификатора.

Методом работы АКТС является потоковая обработка поступающих видеосигналов с целью классификации по установленной классификационной схеме ТС, проезжающих зону контроля. С системной точки зрения, программно-аппаратный комплекс в режиме реального времени обеспечивает непрерывный анализ входного потока данных (видеокадров) с помощью комбинации методов и алгоритмов обработки изображения и распознавания образов. Результатом анализа видеокадров является последовательность сообщений, требуемых для вычисления класса ТС. В таких сообщениях содержатся следующие характеристики:

- результаты детекции ТС (наличие ТС в зоне контроля);
- высота ТС;
- количество осей;
- направление проезда;
- сигналы аномалий.

Задача детекции заключается в определении наличия ТС в поле зрения камеры в зоне контроля и выполняется программным модулем АКТС — ядром. Решение данной задачи является принципиальным для построения АКТС, поскольку появление ТС в зоне контроля вызывает запуск алгоритмов определения характеристик ТС (высота и количество осей), а выход ТС из зоны контроля — остановку алгоритмов распознавания и интегрирования характеристик проехавшего ТС.

Видеопоток от каждого классификатора обрабатывается ПО отдельно, что позволяет АКТС вычислять класс в отношении одного ТС дважды. Сравнение результатов этих вычислений может быть использовано для оценки качества классификации.

Информация о классе ТС с пре- и пост-классификатора поступает на контроллер полосы (Рис. 1), осуществляющий назначение тарифа за проезд. Контроллер полосы поддерживает «очередь» ТС, находящихся на полосе. При получении от АКТС сигнала о въезде ТС информация добавляется в очередь, при получении сигнала о выезде — удаляется. Дополнительная информация для детектирования проездов поступает с индукционных петель (петли присутствия ТС), расположенных на пре- и пост-классификаторах, а также в зоне оплаты проезда. Индукционные петли подключены к контроллеру полосы, который передает сигналы с них в контроллер АКТС (вычислитель). Для ведения архива обеспечивается сохранение на сервер ПВП логов, журнала классификации и изображений проезжающих ТС.

Ядро АКТС (рис. 2) состоит из отдельных модулей, отвечающих за коррекцию изображения и управление камерой, детекцию проезда, детекцию заслонения щита, определение высоты и числа осей. Результаты работы отдельных модулей обрабатываются модулем

классификации, передающим диспетчеру решение о классификации ТС.

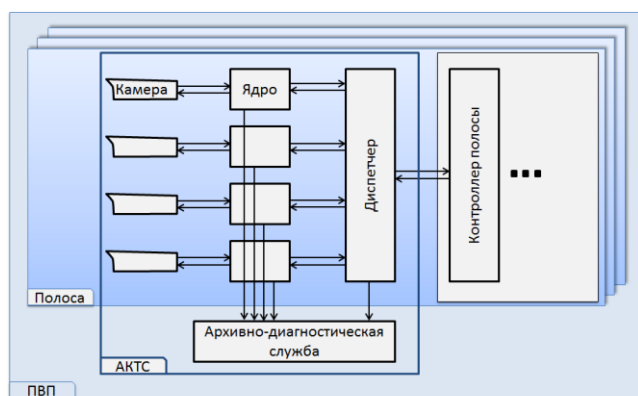


Рис. 1. Общая схема АКТС

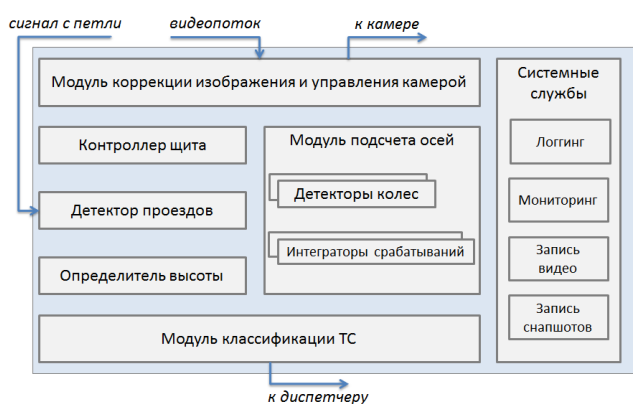


Рис. 2. Схема ядра АКТС

2.1. Контроллер щита

Главными функциями контроллера щита являются, во-первых, определение факта заслонения щита объектом, а во-вторых — вычисление либо полной высоты ТС, либо высоты над первой осью в тех случаях, когда эта высота не превышает высоту верхней точки щита.

Основным модулем контроллера щита является модуль детекции локальных заслонений. Контроллеру при первичной настройке системы задаются начальное положение углов щита (в виде четырехугольника) и его раскраска (последовательность черных и белых клеток). Модуль детекции заслонений по этой информации вычисляет позиции, в которых на изображении должны находиться клетки, и проверяет локальные контрасты между соседними клетками. Если контраст “правильный” (соответствует раскраске), то соответствующая область щита считается незаслоненной. По доле заслоненных клеток принимается решение о наличии глобального заслонения. Сигнал глобального заслонения передается детектору проездов для принятия решения о наличии проезда.

Во время проезда на каждом кадре дополнительно вычисляется верхняя граница заслонения для

определения высоты. При этом применяется фильтрация, т.к. иногда один слой клеток сверху щита оказывается заслонен, например, из-за засветки солнцем.

Контроллер щита решает еще одну важную задачу — детекцию смещения камеры. В процессе эксплуатации АКТС часты случаи непреднамеренного сдвига камеры проезжающим ТС или обслуживающим персоналом. Эти ситуации необходимо быстро отслеживать и сигнализировать о неисправности. Контроллер постоянно уточняет координаты вершин щита и в случае, если вершины сильно сдвинулись относительно начальных значений, выдает предупреждение.

Помимо детектирования смещения камеры контроллер щита может определять факт засветки щита солнцем. Если в течение длительного времени вне проезда достаточно большое количество клеток было засвечено, то щит начинает считаться засвеченным и перестает применяться для вычисления высоты.

2.2. Модуль коррекции изображения и управления камерой.

Для обеспечения надлежащего качества изображения, получаемого с камер, используется модуль коррекции изображения и управления камерой. Он исправляет радиальную дисторсию изображения, позволяет управлять диафрагмой объектива, а также устанавливать значения экспозиции и усиления. Значения параметров устанавливаются в автоматическом режиме после анализа колесной зоны и зоны щита (Рис. 3).

Во избежание ослепления камеры из-за большой разницы яркости автомобилей и фона в момент въезда и выезда ТС из кадра, система управления камерами имеет два режима работы – во время и вне проезда соответственно.

Также реализован механизм самодиагностики, сигнализирующий о невозможности установки требуемой яркости кадра.

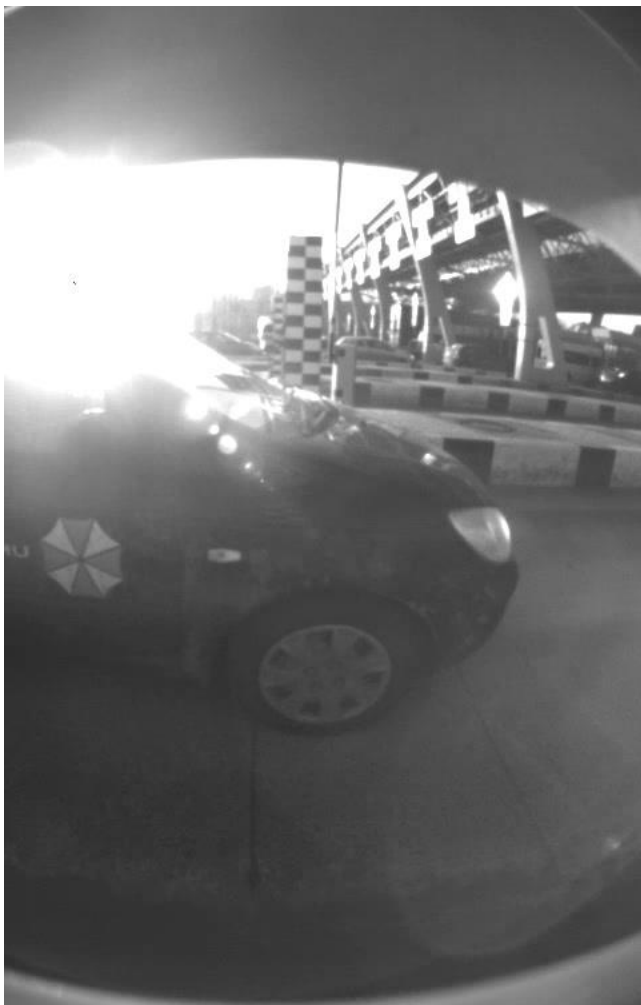


Рис. 3. Сложные условия освещения

2.3. Детектор проездов

Проезд ТС детектируется на основе следующих событий:

- заслонение щита;
- регистрация существенного изменения изображения в зоне контроля (используются коэффициент корреляции Пирсона и экспоненциальная оценка фонового изображения);
- срабатывание индукционной петли присутствия ТС.

Для защиты от ложных срабатываний производится фильтрация «дребезга» отдельных сигналов.

Поскольку каждый из перечисленных сигналов не может идеально соответствовать проезду, проезд детектируется только по сочетанию двух или более сигналов. Кроме того, есть набор дополнительных решающих правил, подобранных экспертами, позволяющий избежать большинства случаев разрывов автомобилей, имеющих почти пустое пространство между тягачом и прицепом, и склеек близко едущих автомобилей.

2.4. Измеритель высоты

Одной из характеристик, определяющих класс ТС, является высота – над первой осью и общая, которая определяется как расстояние от плоскости дороги до наивысшей точки ТС, принадлежащей корпусу либо жестко закрепленной на корпусе детали (этим определением исключаются различные антенны и т.п. низкоразмерные элементы).

Для повышения точности классификации по высоте и упрощения настройки системы применяется установка камер на высоте, соответствующей порогу классификации. При этом порог классификации может быть отмечен в координатах изображения, и погрешности геометрической модели сцены перестают влиять на результат.

В общем же случае задача определения общей высоты распадается на две части: определение вертикальных границ ТС на изображении и вычисление фактической высоты ТС на основании вертикальных границ.

Верхняя граница ТС определяется путем сравнения полученного сигнала с порогом. Нижняя граница ТС вычисляется детектором колесных осей. Высота вычисляется через геометрическую модель сцены.

2.5. Подсчет колесных осей

Определение числа осей производится в два этапа: сначала производится детекция колес, затем – интегрирование полученных результатов.

В системе для детекции колес используются одновременно несколько методов — детектор Виолы-Джонса [9, 10], использующий машинное обучение и обеспечивающий надежное распознавание часто встречающихся типов колес, но способный систематически давать отрицательный ответ на нетипичных колесах, не попавших в обучающую выборку; а также детектор эллиптических объектов [11], устойчиво распознающий любые типы колес, пусть и с худшим качеством. Поскольку детекторы колес запускаются независимо на каждом кадре и обладают конечным качеством, обеспечивая ложноположительные, ложноотрицательные и множественные срабатывания для реальных колес, для подсчета количества осей необходимы фильтрация и интегрирование срабатываний.

Фильтрация осуществляется с использованием геометрических ограничений: колеса находятся на одной горизонтали и имеют одинаковый размер для каждой оси.

Вычисление количества колесных осей по результатам поиска колес на каждом отдельном кадре проезда осуществляется путем поиска треков колесных осей на т.н. xt-диаграмме. Xt-диаграмма представляет собой растровое изображение, в котором вертикальная координата соответствует номеру кадра в проезде, а горизонтальная — горизонтальной координате распознанных колес на отдельных кадрах (рис. 5 и 6).

Проезду каждой оси ТС соответствует непрерывный трек на данном изображении. Для поиска треков используется один из двух методов, в зависимости от длительности и равномерности проезда. В случае равномерного движения треки прямолинейны и задача их поиска решается с помощью быстрого преобразования Хафа (рис. 4) [12, 13]. В случае неравномерного движения вследствие относительно малой скорости движения срабатывания детекторов колес расположены плотно, и поиск треков осуществляется путем анализа связанных компонент на изображении (рис. 5). Помимо заведомо неравномерного движения, анализ компонент связности применяется в случае заведомо неправдоподобного результата поиска прямых треков (например, их пересечения, рис. 6).

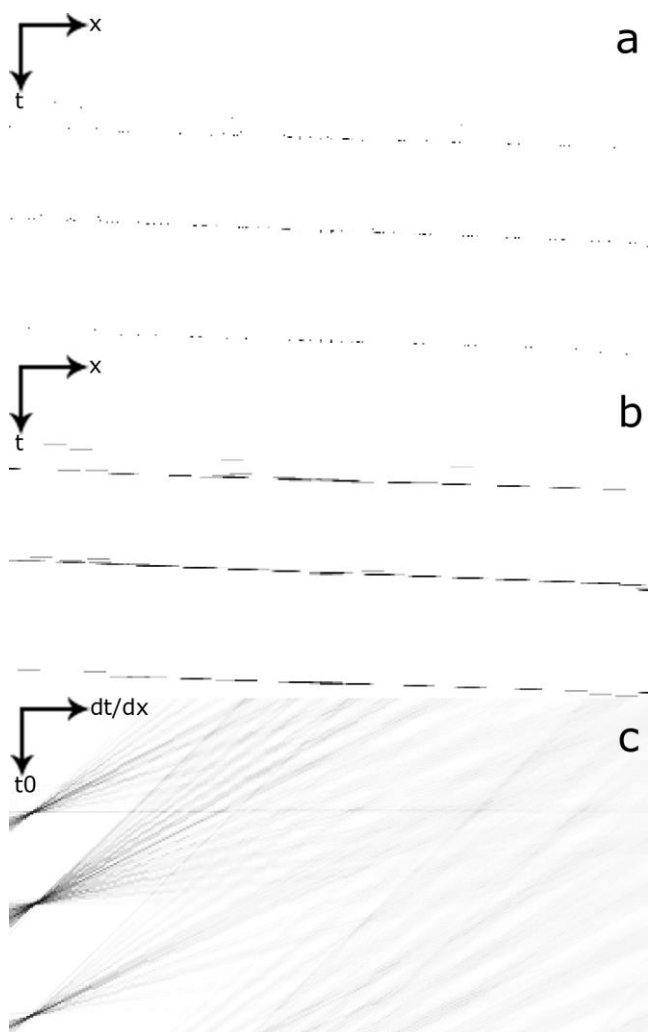


Рис. 4. Быстрое преобразование Хафа

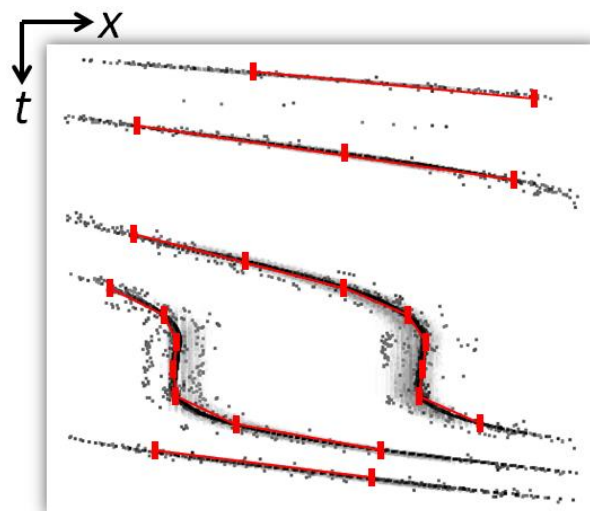


Рис. 5. Метод поиска компонент связности

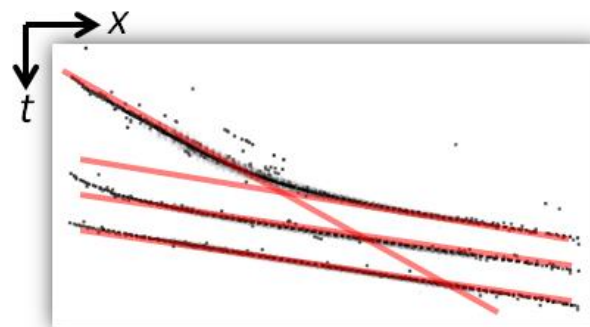


Рис. 6. Пример ошибочного нахождения колесных треков

2.5. Диспетчер

Диспетчер (Рис. 7) необходим для координации работы распознающих ядер и поддержания состояния очереди ТС на ПВП, и выполняет следующие функции:

- обеспечение передачи класса ТС контроллеру полосы;
- передача сигнала о состоянии петли и выездного шлагбаума ядрам классификации;
- управление состоянием работы ядер, в частности, для переключения камер по расписанию;
- контроль над состоянием очереди ТС на полосе;
- обнаружение и исправление ошибок очереди, которые происходят при «разрывах» и «склеивках» ТС, при ошибках определения направления проезда или при ошибочном ручном вмешательстве в очередь операторов ПВП.

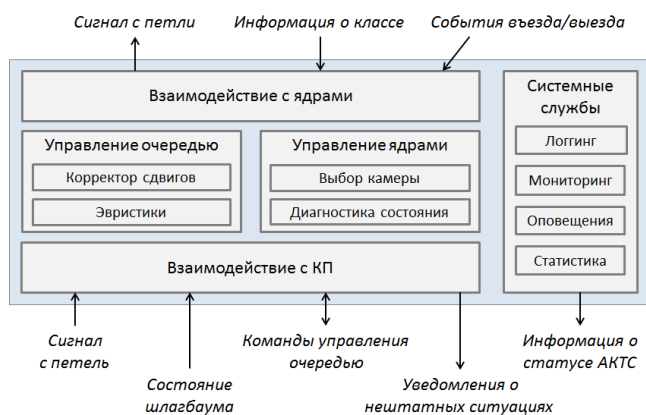


Рис. 7. Схема диспетчера

3. Описание макета

Макет АКТС представляет собой уменьшенную копию программно-аппаратного комплекса с сохранением всех основных частей и функций (Рис. 8).

Макет состоит из следующих частей:

- дорожное полотно полосы в масштабе;
- 2 модели автомашин в масштабе;
- шлагбаум;
- 2 камеры;
- 2 маркерных щита в масштабе;
- 3 индукционные петли;
- вычислительный блок (вычислитель).

Для визуализации результатов используется отдельный компьютер, на котором демонстрируются процесс и результат работы стенда.

Полотно полосы — плоская поверхность размером 2 x 0.5 м, имитирующая дорожное полотно реальной полосы.

Модели ТС — моторизированные модели автомашин в масштабе 1:10, управляемые дистанционно.

Шлагбаум — управляемый с помощью сервопривода автоматический шлагбаум, ограничивающий проезд автомобилей через ПВП. Открывается при получении сигнала об оплате проезда. Расположен непосредственно перед постклассификатором.

Камеры с контроллерами диафрагмы — оптические сенсоры с разрешением 752 x 480 пикселей, чувствительные к видимому и ближнему ИК-спектру. Контроллеры диафрагм позволяют управлять электронной диафрагмой объектива, используя ШИМ-выход на камере. Камеры установлены на определенной высоте, соответствующей границе между 1 и 2 классами ТС.

Щиты-мишени — мишени размером 200 x 20 мм, раскрашенные в черный и белый цвета в шахматном порядке. Служат для отделения объектов на текущей полосе от фона, используются для определения проезда ТС а также его высоты.

Индукционные петли — датчики присутствия металлических объектов, реагирующие на проезжающие над ними автомобили.

Вычислитель — индустриальный компьютер в безвентиляторном исполнении. Оснащен процессором Intel Core i7-3610QE, 8 ГБ ОЗУ, 128 ГБ SSD.

Демонстрационный стенд — компьютер, соединенный по локальной сети с вычислителем. С помощью специального ПО на стенде выводится текущее состояние очереди на полосе с классом и высотой каждой машины. Также на нем может визуализироваться обработка видеопотока для каждого из вычислительных ядер (Рис. 9).

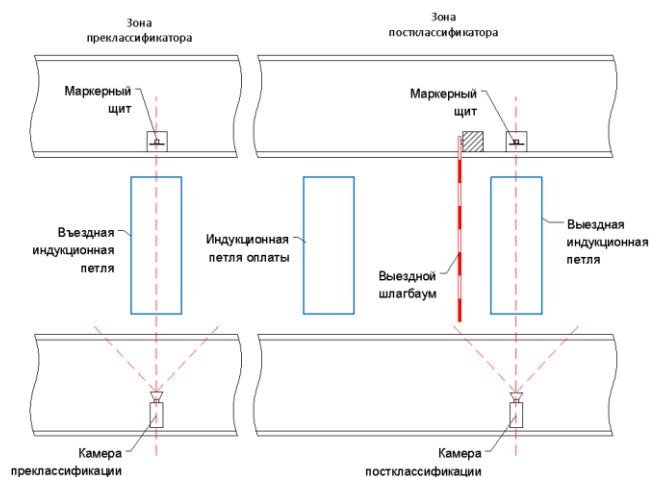


Рис. 8. Схема макета

