

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА АВТОТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ МЕГАПОЛИСОВ

PERSPECTIVE SYSTEMS OF MEGALOPOLISES TRAFFIC FLOWS MONITORING

D. Kalistratov

Summary. Touched upon the problem of megacities traffic congestion, its influence on the development of city infrastructure is analyzed, the most promising methods and systems of traffic flows monitoring are proposed to reduce traffic congestion, the measuring systems based on satellite navigation system, on RFID tags and on digital panoramic video images are discussed, a comparative analysis of the specified systems is provided, their advantages and disadvantages are identified, a set of recommendations in relation to the construction of the measuring system is given.

Keywords: metropolis, traffic congestion, movement, monitoring, measuring system, satellite navigation, RFID tag, digital video image.

Калистратов Дмитрий Сергеевич

*К.т.н., ассистент, Тульский государственный
университет, г. Тула
kalistratow@list.ru*

Аннотация. Затронута проблема автотранспортных заторов мегаполисов, проанализировано её влияние на развитие инфраструктуры города, выявлены наиболее перспективные методы и системы мониторинга движения автомобильных потоков с целью снижения количества транспортных заторов, рассмотрена система мониторинга на основе спутниковой навигации, система на основе радиометок, а также система на основе цифровых панорамных видеозаписей, проведён сравнительный анализ указанных систем, выявлены их преимущества и недостатки, выработан ряд рекомендаций относительно построения измерительной системы.

Ключевые слова: мегаполис, транспортный затор, движение, мониторинг, измерительная система, спутниковая навигация, радиометка, цифровое видеозапись.

Введение

Одной из актуальных проблем последнего десятилетия является проблема автотранспортных заторов мегаполисов. Автомобильные заторы парализуют дорожное движение, затрудняют работу транспортных спецслужб, препятствуют нормальному функционированию и развитию промышленности и инфраструктуры города в целом. Основная сложность состоит в отсутствии систем мониторинга транспортных потоков, позволяющих выявить закономерности возникновения транспортных заторов и количественно оценить взаимосвязи между такими параметрами движения, как количество автомобилей на участке трассы, скорости их движения, расстояния между автомобилями.

С технико-экономической точки зрения систему мониторинга состояния транспортных потоков мегаполиса удобнее всего реализовать по методу узловых точек (под узловыми точками понимаются наиболее важные участки трассы). Основным достоинством данного метода является отсутствие необходимости «накрывать» системой мониторинга весь город. Следовательно, технические и экономические затраты на построение системы и поддержание её в режиме эксплуатации окажутся минимальными.

Рассмотрим подробнее один конструктивный модуль (узел) такой перспективной системы (рисунок 1). Систе-

ма координат x, y, z на рассматриваемом участке трассы и часы со временем t образуют локальную систему отсчёта.

Основная задача мониторинга состоит в том, чтобы в данной системе отсчёта определять положения и скорости движения автомобилей на участке трассы (скорости автомобилей A_1, A_2, A_3 в данном случае представлены векторами $\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2, \mathbf{v}_3$ соответственно).

Множество узлов, объединённых единым серверным центром $СЦ$, позволит не только отслеживать состояние на каждом отдельно взятом участке, но и анализировать транспортное движение города в различное время суток, различное время года, в будние и праздничные дни, часы «пик» и так далее. Подобную систему мониторинга, в свою очередь, останется дополнить системой оптимального управления транспортным движением (например, за счёт управления временем переключения светофоров на различных участках трассы).

На текущий момент времени, в целях поиска решения проблемы транспортных заторов, можно выделить три наиболее перспективные модели системы мониторинга транспортного движения с описанной структурой: на основе спутниковой навигации, с применением радиоэлектронных меток для автомобилей, а также с анализом транспортных потоков по цифровым видеозаписям.

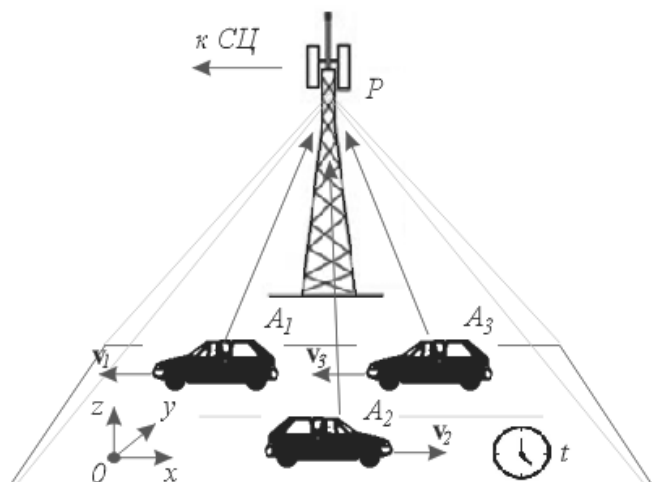


Рис. 1. Схема одного периферийного узла системы мониторинга.

Система на основе спутниковой навигации

Наиболее очевидным на первый взгляд техническим решением является адаптировать для транспортного мониторинга спутниковую навигационную систему. На сегодняшний день здесь следует выделить отечественную глобальную навигационную спутниковую систему *ГЛОНАСС* [1] и зарубежный аналог — систему глобального позиционирования *GPS*.

Применительно к анализу транспортных потоков спутниковая навигационная система имеет два очевидных преимущества: пространственное и временное. Пространственное преимущество состоит в полном покрытии околоземного пространства. Временное преимущество состоит в непрерывности навигационного обеспечения и подразумевает бесперебойную навигацию, как в дневное, так и в ночное время суток.

Всё это, безусловно, говорит в пользу спутниковой системы и теоретически позволяет решать задачу сбора статистики о транспортных потоках не только в любом населённом пункте планеты (или даже сразу нескольких пунктах), но и делать это непрерывно во времени независимо от времени суток.

Однако, с другой стороны, передача сообщений в спутниковых навигационных системах носит односторонний характер: из командного пункта управления *ПУ* спутникам и, далее, от них навигаторам автомобилей (рисунок 2). Обратная связь возможна только между *ПУ* и спутниками при синхронизации часов в запросном режиме.

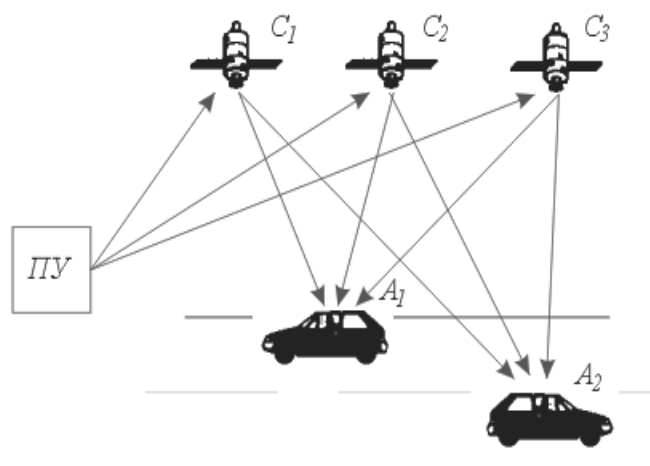


Рис. 2. Принцип функционирования спутниковой навигационной системы.

Это означает, что, для того, чтобы применить спутниковую навигационную систему к задаче о транспортных потоках, необходимо переоборудовать аппаратуру потребителей так, чтобы она работала не только на приём, но и на передачу.

Ещё одним существенным недостатком модели измерительной системы на основе спутниковой навигации, является большая погрешность в определении положений автомобилей. На сегодняшний день она составляет порядка 5 м по каждой из пространственных координат. Следовательно, система может «путать» как положения автомобилей в ряду одной полосы, так и положения автомобилей двух соседних полос. В результате, определить общее количество автомобилей на участке с помощью подобной системы можно, однако определить, сколько из них направляется в одну сторону и сколько в другую при малых скоростях движения автомобилей и малых расстояниях между ними нельзя.

Система на основе радиометок

Ещё одним вариантом системы мониторинга транспортных потоков является модель на основе радиометок (*RFID*-меток от английского Radio Frequency Identification, что дословно переводится как радиочастотная идентификация). В основе данной технологии лежит радиоэлектронная бесконтактная идентификация [2].

Принцип использования системы мониторинга на основе радиометок состоит в том, чтобы каждому автомобилю поставить в соответствие свой уникальный опознавательный знак — идентификатор. В случае *RFID*-меток таким знаком является электронный код

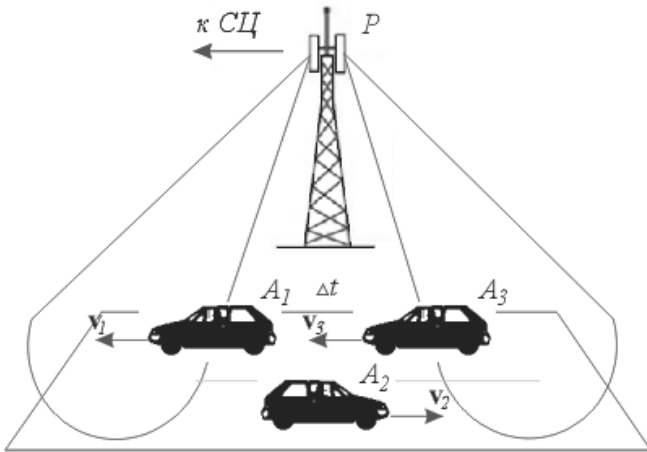


Рис. 3. Схема измерительного узла на базе RFID с парой взаимосвязанных считывателей.

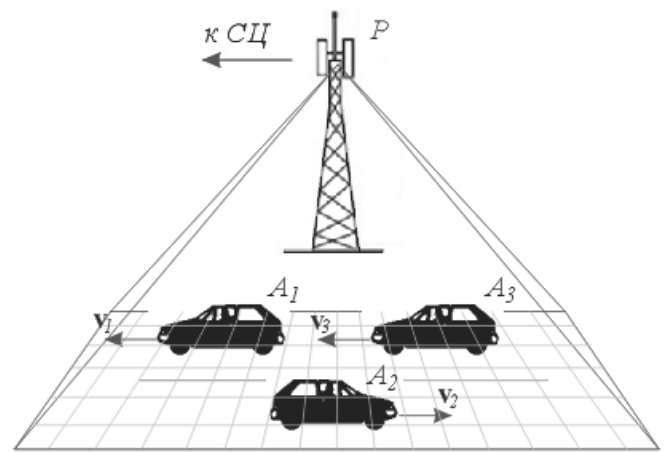


Рис. 4. Пояснение к использованию цифровой панорамной видеосъёмки.

метки. Тогда, считыватель, установленный на ретрансляторе, по откликам меток будет регистрировать все проезжающие рядом автомобили.

Радиометки классифицируются на пассивные (без встроенного источника питания) и активные (со встроенным источником питания). В задаче о транспортных потоках более предпочтительны пассивные радиометки. Данные метки запасают энергию электромагнитного поля запросного сигнала считывателя, после чего отвечают сигналом своего кода. Преимуществами пассивных меток являются малые габариты и низкая стоимость. Кроме того, в случае пассивных меток отсутствуют требования переналадки производства и неудобства со стороны автовладельцев.

С другой стороны, чтобы иметь возможность сортировать автомобильный поток на две части по полосам здесь необходимо использовать не один, а два согласованных считывателя с узкими диаграммами направленности (рисунок 3). Тогда, последовательность регистраций автомобиля считывателями укажет направление его движения. Но даже в этом случае остаётся недостаток, связанный с невозможностью вычисления мгновенных скоростей движения автомобилей и расстояний между автомобилями (радиометка сигнализирует только о наличии автомобиля).

Кроме того, вне зависимости от выбранной схемы узла измерительной системы, здесь важно также разрешить ситуацию с параллельной работой сразу нескольких меток. Одновременный ответ нескольких меток называют коллизией [2]. Такой ситуации необходимо избегать. Ответы меток должны быть разнесены по оси времени.

Следует также добавить, что, помимо сложностей технического характера, для реализации модели транс-

портного мониторинга на основе *RFID*-технологий имеют место и юридические препятствия. Во-первых, обязательную установку *RFID*-меток можно ввести только на территории своего государства, то есть, статистику будут «портить» иностранные представители, на автомобили которых принудительно установить метки невозможно.

Во-вторых, если ретрансляторов и считывателей много и они связаны единым серверным центром, то теоретически появляется возможность не только регистрировать, но и отслеживать траекторию движения каждого конкретного автомобиля на большие расстояния. С юридической точки зрения это может быть расценено как нарушение прав человека. Подобное общественное движение против *RFID*-технологий уже «набрало силу» в банковской сфере в связи с аспектами незащищённости кредитных карт и нарушения неприкосновенности частной жизни.

Система на основе цифровых видеоизображений

Последней рассматриваемой перспективной моделью системы мониторинга транспортных потоков является модель на основе цифровых панорамных видеоизображений [3–8]. Ретранслятор в этом случае представляет собой высотную вышку, установленную на обочине трассы. Цифровое изображение позволяет получить доступ к отдельно взятому пикселю каждого кадра, а цветовые различия в кадре способствуют распознаванию проекций автомобилей на проекции трассы.

Основным преимуществом такой системы является универсальность и точность измерений, обусловленная высоким разрешением современных видеокамер,

основной недостаток — возможность работать только в дневное время суток.

Ниже (рисунок 4) схематично показано соответствие реальных пространственных секторов ячейкам светочувствительной матрицы при панорамной видеосъёмке. С технической точки зрения разрешающая способность теоретически позволяет обеспечить погрешность расчёта координат автомобиля в локальной системе отсчёта с точностью до нескольких десятков сантиметров.

Система на основе цифровых видеоизображений не имеет недостатка сортировки транспортного потока по полосам, свойственного спутниковой модели и модели на основе радиометок (поскольку, распознав проекцию трассы можно определить положение её центральной линии и далее сортировать поток на две части). Кроме того, по паре соседних во времени кадров такая модель позволяет определять мгновенные скорости движения автомобилей и направления их движения. Управляя кадровой частотой, можно влиять на точность расчёта и диапазон учитываемых мгновенных скоростей. Это также говорит в пользу системы мониторинга на основе видеоизображений.

Модель свободна от юридических недостатков, связанных с отслеживанием, поскольку при панорамной съёмке можно лишь приблизительно определить габариты автомобиля и его цвет, но нельзя идентифицировать ни его марку, ни владельца. Кроме того, здесь отсутствует необходимость принудительной установки

дополнительного оборудования непосредственно в автомобиль. Принцип измерений полностью «внешний».

С точки зрения экономических затрат данная модель сопоставима с моделью на основе радиометок и выглядит более предпочтительно, чем модель на основе спутниковой навигационной системы, поскольку здесь отсутствует необходимость производства принципиально новой аппаратуры и имеется широкий выбор датчиков цифрового изображения с различным разрешением матрицы.

Заключение

Таким образом, по совокупности всех указанных преимуществ, наиболее перспективной моделью системы мониторинга автотранспортных потоков мегаполисов на сегодняшний день выглядит модель на основе цифровых панорамных видеоизображений. Она имеет самую высокую точность измерений, свободна от юридических недостатков и наименее требовательна с экономической точки зрения.

Отметим также, что для системы мониторинга на основе цифровых видеоизображений крайне актуальными являются вопросы компрессии и беспроводной передачи изображений по каналу связи, поскольку, с одной стороны, для повышения точности измерений требуется большое разрешение изображений, однако, с другой стороны, увеличение разрешения сопряжено с ростом временных и энергетических затрат на передачу видеосигнала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бакитко, Р.В. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / Р.В. Бакитко [и др.]; под ред. А. И. Перова, В. Н. Харисова. — М.: Радиотехника, 2010. — 800 с.
2. Шарфельд, Т. Системы RFID низкой стоимости / Т. Шарфельд. — М.: 2006. — 197 с.
3. Кругль, Г. Профессиональное видеонаблюдение — 2. Практика и технологии аналогового и цифрового CCTV / Г. Кругль. — 2-е изд. — М.: Секьюрити Фокус, 2019. — 626 с.
4. Минаков Е. И., Калистратов Д. С. Метод геометрической стабилизации квазистационарных аэровидеоизображений в информационно-измерительных системах видеомониторинга // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2016. № 4. С. 46–49.
5. Минаков Е. И., Калистратов Д. С., Киселёв А. П. Проблемы кодирования и передачи квазистационарных аэровидеоизображений в информационно-измерительных системах видеомониторинга состояния автотранспортных потоков // Т-Сотт. Телекоммуникации и транспорт. 2016. № 6. С. 48–51.
6. Агуреев И. Е., Минаков Е. И., Калистратов Д. С., Киселёв А. П., Фролов Н. А. Методика геометрической реконструкции проекции асфальтового покрытия в задачах статистического анализа и компрессии аэровидеоизображений транспортных потоков // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып.3. Тула: Изд-во ТулГУ, 2017. С. 200–205.
7. Бархоткин В. А., Минаков Е. И., Калистратов Д. С. Модель электронно-измерительной системы видеомониторинга состояния транспортных потоков на основе компрессии и передачи панорамных аэровидеоизображений // жур. Наноиндустрия, Микроэлектроника. 2016. 2-я научная конференция: Сборник докладов. — М.: АО РИЦ «ТЕХНОСФЕРА», 2016. № 5 (74). С. 189–193.
8. Минаков Е. И., Калистратов Д. С., Киселев А. П. Особенности статистической обработки и компрессии аэровидеоизображений в электронно-измерительных системах мониторинга состояния транспортных потоков // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия «Естественные и технические науки», 2018. № 11. С. 84–87.