

УДК 004.6

ТЕХНОЛОГИИ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ГЕОВИДЕОМАРШРУТОВ В СРЕДЕ САПР WAYMARK

© 2015 В.А. Ключников, И.Г. Богданова, А.А. Осьмушин

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева
(национальный исследовательский университет)

Поступила в редакцию 30.07.2015

Разработаны технологии, методы, алгоритмы построения интеллектуальных геовидеомаршрутов в среде САПР WayMark, позволяющие автоматизировать сбор и обработку данных об объектах транспортной инфраструктуры, сократить трудоемкость и повысить качество разработки технической документации автомобильных дорог.

Ключевые слова: алгоритм, транспортная инфраструктура, радиус закругления, расстояние видимости, паспортизация, организация дорожного движения, геовидеомаршрут.

ВВЕДЕНИЕ

Для использования автомобильных дорог необходимо наличие на них таких объектов транспортной инфраструктуры, как дорожные знаки, разметка, светофоры, различные направляющие устройства и т.д. Технические средства организации дорожного движения (ТСОДД) решают большое количество задач: контролируют движение пешеходов и транспортных средств, обеспечивают безопасность их движения и позволяют повысить пропускную способность участков дороги за счет оптимального управления транспортными потоками. Размещение ТСОДД на каждой конкретной дороге или отдельно взятом участке дороги определяется проектом организации дорожного движения (ОДД). Для разработки технической документации автомобильных дорог (проектов ОДД и технических паспортов дорог) необходима точная и достоверная информация о состоянии автомобильных дорог. В этой связи актуальна разработка методов и программных средств, позволяющих автоматизировать сбор и обработку данных об объектах транспортной инфраструктуры.

МЕТОД СБОРА И ОБРАБОТКИ ГЕОВИДЕОДАННЫХ

Разработка технической документации автомобильных дорог предусматривает выполнение двух основных этапов работ. Первый этап

*Ключников Владимир Андреевич, аспирант кафедры организации и управления перевозками на транспорте.
E-mail: klyuchnikov.vladimir@gmail.com*

*Богданова Ирина Геннадьевна, аспирант кафедры организации и управления перевозками на транспорте.
E-mail: iriska07051991@mail.ru*

*Осьмушин Алексей Александрович, аспирант кафедры организации и управления перевозками на транспорте.
E-mail: alex_50174@rambler.ru*

– полевые изыскания. Сбор данных об объектах транспортной инфраструктуры осуществляется с помощью мобильной лаборатории, позволяющей выполнить цифровую непрерывную видеосъемку дороги на скорости 40 – 80 км/ч и привязку объектов с помощью глобальной системы позиционирования. Второй этап – камеральные работы, выполняемые специалистами в области организации дорожного движения с использованием системы автоматизированного проектирования (САПР) паспортов дорог WayMark и ГИС ITSGIS [1].

СБОР ДАННЫХ

Оборудование передвижной лаборатории включает в себя 6 IP-камер, каждая из которых формирует поток видеоданных разрешением Full HD частотой 30 кадров в секунду, GPS-приемник с высокой точностью позиционирования и частотой 10Гц, компьютер, коммутатор, поддерживающий технологию Power over Ethernet, для питания камер через стандартную витую пару.

GPS предоставляет системе возможность круглосуточного получения точных координат и времени. Данные передаются в компьютер из GPS-приемника с частотой 10 Гц. По данным, полученным с помощью GPS, с высокой точностью воспроизводится маршрут, пройденный передвижной лабораторией.

Программное обеспечение, разработанное для мобильной лаборатории, обеспечивает:

- чтение данных в формате NMEA с GPS приемника, подключенного к USB порту компьютера;
- выбор картографического сервиса (Google maps, Bing maps, ArcGIS, OpenStreetMap, Яндекс карты);
- отображение текущего местоположения и траектории движения передвижной лаборатории на карте;
- запись GPS данных в файл на жесткий диск компьютера;

- использование в качестве источника геоданных интернета или кэша для работы в автономном режиме;
- захват видео с IP-камер и вывод изображения на экран;
- кодирование и запись видео на жесткий диск [2].

Программное обеспечение работает в многопоточном режиме. Для работы с каждой из IP-камер и для записи GPS-трека выделяется отдельный поток выполнения. В каждый момент времени изображение с определенной камеры передается на экран в уменьшенном разрешении и записывается в видеофайл в разрешении 1920×1080 пикселей.

В целях снижения нагрузки на процессор для вывода изображений на экран применяется кроссплатформенная открытая графическая библиотека OpenGL.

Захват, кодирование и запись видео осуществляется с помощью набора свободных библиотек с открытым исходным кодом OpenCV, которые позволяют записывать, конвертировать и передавать цифровые аудио- и видеозаписи в различных форматах.

Для управления потоком видеоданных используется потоковый протокол реального времени RTSP, передача потоковых данных осуществляется транспортным протоколом TCP, который обеспечивает надежную передачу данных.

Программное обеспечение реализует кодирование видео с использованием кодека X264 – свободной библиотеки для кодирования видеопотоков, реализующей стандарт сжатия H.264, обеспечивающей как высокое качество, так и высокий коэффициент сжатия видео.

ОБРАБОТКА ДАННЫХ

Для обработки данных об объектах транспортной инфраструктуры разработаны алгоритм вычисления радиусов закруглений автомобильной дороги и алгоритм вычисления расстояния видимости.

Алгоритм вычисления радиусов закруглений автомобильной дороги состоит из следующих шагов:

1. Получить точку A, в которой траектория движения отклоняется от прямой – точку начала закругления (рисунок 1);
2. Получить точку C окончания поворота;
3. Построить прямую AB, касательную к траектории в точке начала закругления;
4. Построить прямую BC, касательную к траектории в точке окончания закругления;
5. Если прямые AB и BC пересекаются, найти их точку пересечения (точка B);
6. Вычислить угол между прямыми NB и BK (угол α);

7. Вычислить расстояние T от точки начала закругления до точки пересечения прямых AB и BC;
8. Вычислить радиус закругления $R = T \cdot \operatorname{ctg} \alpha / 2$.

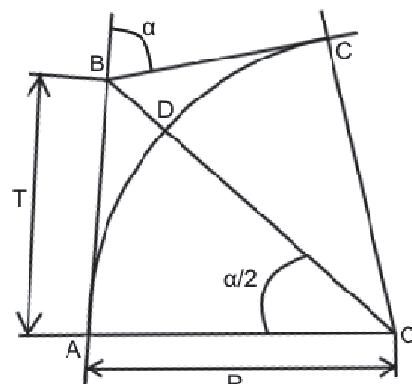


Рис. 1. Вычисление радиусов закруглений дороги

Алгоритм вычисления расстояния видимости состоит из следующих шагов:

1. Выбрать начальную точку О траектории движения. В этой точке на высоте 1,2 м над поверхностью дороги находится наблюдатель. Расстояние от начала дороги до точки О равно m (рис. 2);
2. Выбрать точку А траектории после точки, в которой находится наблюдатель. В этой точке на высоте 0,2 м находится объект наблюдения. Расстояние от начала дороги до точки А равно m1;
3. Построить прямую OA;
4. Если прямая OA не пересекает траекторию движения, то переместить объект наблюдения в следующую точку траектории и перейти к шагу 3;
5. Если прямая пересекает траекторию движения, т.е. объект наблюдения находится в точке С, на расстоянии m3 от начала дороги, то данная итерация алгоритма завершена, расстояние видимости в точке О равно расстоянию между точкой О и последней видимой точкой В, т.е. m2 – m. Переместить наблюдателя в точку, следующую за точкой О и перейти к шагу 2;
6. Если расстояние от точки О до точки, в которой находится объект наблюдения равно максимальной видимости, то данная итерация алгоритма завершена, расстояние видимости в точке О равно максимальной видимости. Переместить наблюдателя в точку, следующую за точкой О и перейти к шагу 2;
7. Если наблюдатель находится в конечной точке траектории, алгоритм завершен.

Описанные выше алгоритмы реализованы в САПР WayMark [3], которая применяется при проведении камеральных работ и обеспечивает:

- вычисление радиусов закруглений дороги и отображение графика радиусов закруглений;
- отображение графика высот;
- вычисление уклона дороги и отображение графика уклона;

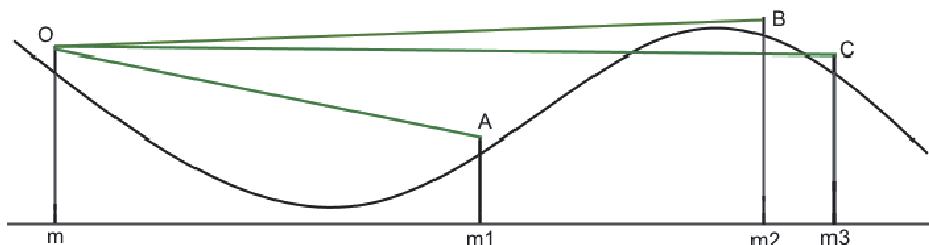


Рис. 2. Вычисление расстояния видимости

- вычисление расстояния видимости и отображение графика видимости;
- учет технических средств организации дорожного движения (ТСОДД);
- формирование сводных ведомостей размещения ТСОДД;
- измерение линейных и площадных геометрических параметров объектов по кадру видеозаписи (рис. 3).

СИНТЕЗ ПАНОРАМНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Система WayMark позволяет просматривать несколько видеоизображений синхронизировано (рис. 4) для получения наиболее полной информации об объектах транспортной инфраструктуры. С этой целью в системе реализован алгоритм синтеза панорамных изображений.

Алгоритм автоматического синтеза панорамных изображений [4], реализованный в системе состоит из следующих шагов:

Поиск особых ключевых точек на каждом изображении по методу SIFT (Scale Invariant Feature Transform);

Определение соответствующих особых ключевых точек между изображениями;

Оценка матрицы геометрических преобразований между связанными изображениями с помощью метода RANSAC;

Попарное склеивание изображения по оцененному геометрическому преобразованию до получения конечного панорамного изображения.

Автором алгоритма SIFT – алгоритма для выделения особых точек, инвариантных к изменению масштаба, поворотам, изменению яркости и положению камеры является Дэвид Лоу (David G. Lowe) [5]. Для детектирования ключевых точек по методу SIFT необходимо построение пирамиды гауссианов и разностей гауссианов. Гауссианом называется изображение, размытое гауссовым фильтром. Операцию размытия можно представить в виде свертки изображения гауссовым ядром:

$$L(x, y, \sigma) = G(x, y, \sigma) * I(x, y), \quad (1)$$

где x, y – координаты пикселей,

σ – радиус размытия,

$L(x, y, \sigma)$ – гауссиан, размытое изображение,

$G(x, y, \sigma)$ – гауссово ядро.

$$G(x, y, \sigma) = 1/(2\pi\sigma^2) \exp^{-(x^2+y^2)/\sigma^2}. \quad (2)$$

Разностью гауссианов называют изображе-

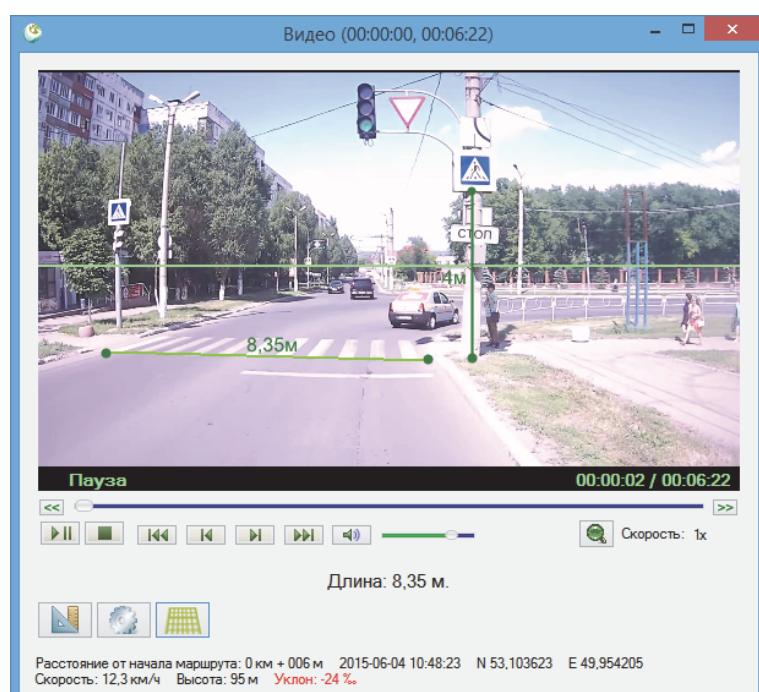


Рис. 3. Измерение ширины проезжей части по видеокадру

ние, полученное путем попиксельного вычитания одного гауссиана с радиусом σ из соседнего гауссиана с радиусом размытия $k\sigma$.

$$D(x, y, \sigma) = L(x, y, k\sigma) - L(x, y, \sigma). \quad (3)$$

После построения пирамид разности гауссианов начинается поиск особых точек. Точка считается особой, если она является локальным экстремумом разности гауссианов.

Следующий шаг – вычисление ориентации особых точек. Направление вычисляется исходя из направлений градиентов точек, соседних с особой. Все вычисления градиентов производятся на изображении в пирамиде гауссианов с масштабом наиболее близким к масштабу ключевой точки.

После определения локальных особых точек необходимо определить, какая точка одного изображения соответствует особой точке другого изображения. Дескриптор – идентификатор особой точки, выделяющий ее из остальной массы особых точек. Для того чтобы дескриптор обеспечил инвариантность нахождения соответствия между точками, выбирается небольшая окрестность около особой точки, так как на маленькие области меньшее влияние оказывают эффекты искажений. Дескриптором в методе SIFT является вектор. Как и направление особой точки, дескриптор вычисляется на ближайшем по масштабу гауссиане. Перед вычислением дескриптора окно поворачивается на угол направления ключевой точки, чем и достигается инвариантность относительно поворота.

Поиск соответствующих точек на изображениях осуществлялся через вычисление евклидова расстояния между дескрипторами всех особых точек.

Для вычисления нового положения пикселей изображения B относительно изображения A , необходимо оценить матрицу аффинного преобразования.

Оценка матрицы геометрических преобразований ведется по минимизации квадрата ошибки. Однако, из-за присутствия шумов могут возникать ложные соответствия особых точек, определенных по методу SIFT и, следовательно, не все данные будут удовлетворять модели геометрических преобразований. В таких случаях применяется метод робастной оценки параметров модели на основе случайных выборок. Такой метод получил название RANSAC (Random Sample Consensus).

Пример синтезированного системой WayMark панорамного изображения представлен на рис. 5.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ

Геовидеоданные, полученные с помощью передвижной лаборатории, хранятся в банке данных. Система WayMark позволяет добавлять, удалять и редактировать информацию в базе данных геоинформационной системы ITSGIS [6,7] о следующих объектах транспортной инфраструктуры:

- дорожные знаки;
- дорожная разметка;
- направляющие устройства (сигнальные столбики);

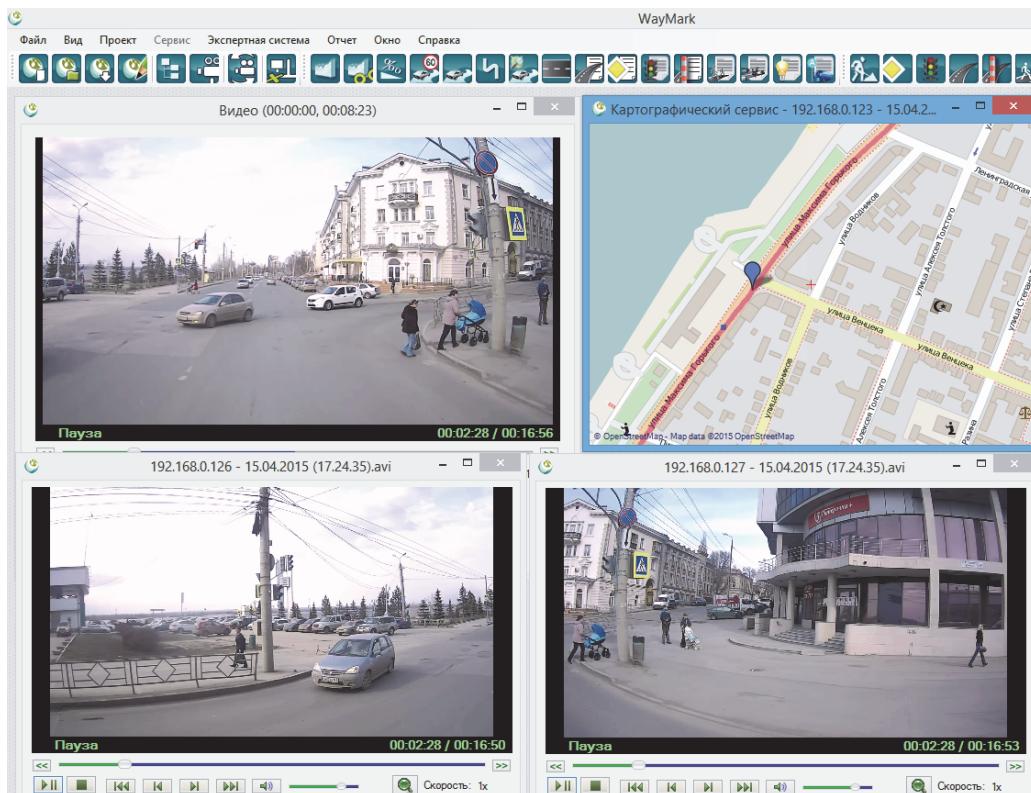


Рис. 4. Синхронизация нескольких видеоизображений



Рис. 5. Пример полученного панорамного изображения

- пешеходные дорожки (тротуары);
- дорожные ограждения;
- остановки общественного транспорта;
- светофоры;
- искусственное освещение.

Каждый объект в базе данных хранит информацию о местоположении во всемирной геодезической системе координат (WGS-84) и линейный адрес относительно начала дороги в формате (км+м).

Система позволяет автоматически формировать проекты ОДД в формате обмена изображениями (DXF), который разработан компанией Autodesk.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработаны методы, алгоритмы и реализующая их САПР паспортов дорог WayMark, позволяющая автоматизировать сбор и обработку данных об объектах транспортной инфраструктуры. Применение полученных результатов позволило сократить трудоемкость и повысить качество разработки технической документации автомобильных дорог.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михеева Т.И. Структурно-параметрический синтез интеллектуальных транспортных систем. Самара: СамНЦ РАН, 2008. 380 с.
2. Система сбора и накопления геовидеоданных для инвентаризации автомобильных дорог / В.А. Ключников, О.К. Головнин, С.В. Михеев // Новые информационные технологии в научных исследованиях и в образовании: материалы XIX Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Рязань: РГРТУ, 2014. С. 244-246.
3. Методы и алгоритмы экспертизы объектов транспортной инфраструктуры [Электронный ресурс] / Т.И. Михеева, В.А. Ключников, О.К. Головнин // Современные проблемы науки и образования. 2014. №6. URL: <http://www.science-education.ru/120-16656> (дата обращения 24.05.2015)
4. Brown M., Lowe D.G. Automatic panoramic image stitching using invariant features // International journal of computer vision. 2007. Vol. 74, № 1. P. 59-73.
5. Lowe D.G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints // International journal of computer vision. 2004. Vol. 60. № 2. P. 91-110.
6. Geoinformation Technologies for Development of Reference System of Urban Infrastructure / T.I. Mikheeva, A.V. Sidorov, O.K. Golovnin // The 15th International workshop on computer science and information technologies (CSIT'2013). Ufa, Russia. 2013. P. 211-214.
7. Сидоров А.В., Головнин О.К. Построение геоинформационной модели объектов транспортной инфраструктуры // Труды II Международной конференции «Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений» (ITIDS'2014). Уфа: Изд-во УГАТУ, 2014. С. 165-169.

TECHNOLOGIES OF INTELLECTUAL GEOVIDEO ROUTES CREATION IN THE ENVIRONMENT OF CAD WAYMARK

© 2015 V.A. Klyuchnikov, I.G. Bogdanova, A.A. Osmushin

Samara State Aerospace University named after Academician S.P. Korolyov
(National Research University)

The developed technologies, methods, algorithms of creation of intellectual geo video routes in the environment of CAD WayMark allow to automate data acquisition and processing data of transport infrastructure objects, to reduce labor input and to increase quality of highways technical documentation development.

Keywords: algorithm, transport infrastructure, radius of curves, distance of visibility, certification, traffic management, geo video route.

Vladimir Klyuchnikov, Postgraduate Student at the Logistics Department. E-mail: klyuchnikov.vladimir@gmail.com

Irina Bogdanova, Postgraduate Student at the Logistics Department. E-mail: iriska07051991@mail.ru

Alexey Osmushin, Postgraduate Student at the Logistics Department. E-mail: alex_50174@rambler.ru