

МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ В РАМКАХ КОНЦЕПЦИИ СОЗДАНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ АСУ ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ КОМПАНИЕЙ

Белоус Н.В., Борисенко В.П., Пономарев Ю.В., Борисенко И.В.

Abstract: Одним из перспективных подходов к решению проблемы "островной" автоматизации предприятий газотранспортной системы (ГТС) является создание комплексной автоматизированной системы управления (КАСУ), имеющей гибкую многоуровневую и распределенную архитектуру. В работе рассмотрены основные положения концепции создания КАСУ газотранспортной компании, в рамках которой предложен комплексный подход к построению автоматизированной системы управления промышленной безопасностью ГТС, объединяющий современные технологии системной интеграции корпоративной информации на основе единой инструментальной технологической платформы, а также методы обработки и анализа данных о потенциально опасных объектах с целью их своевременного обнаружения и поддержки принятия решений о применении своевременных превентивных мер. Оригинальной особенностью предлагаемого подхода является ориентация на методы сбора, формализованного представления и компьютерной обработки специализированной графической информации, в виде космических и аэрофотоизображений, а также данных реального видео, получаемых от разнообразных промышленных систем видеонаблюдения, которые в настоящее время получают все более широкое распространение для обеспечения надежной и безопасной эксплуатации объектов газотранспортной отрасли.

ACM Classification Keywords: I.3.5 Computational Geometry and Object Modeling

Введение

Для крупномасштабных компаний топливно-энергетического комплекса весьма перспективным подходом является комплексная "сквозная" автоматизация основных технологических и бизнес-процессов на основе разработки и внедрения комплексной автоматизированной системы управления (КАСУ) газотранспортной компанией (ГТК). В рамках концепции создания КАСУ [Борисенко, 2003],[Борисенко, 2004],[Борисенко, 2008] было всесторонне обоснована актуальность построения современных компьютерных систем управления промышленной безопасностью (ПБ) в состав которых входят относительно новые и весьма перспективные для ГТК подсистемы мониторинга потенциально опасных объектов на базе современных аэрокосмических и видеоинформационных технологий.

В статье рассматриваются гибридные методы и алгоритмические средства компьютерной обработки изображений, предназначенные для раннего обнаружения потенциально опасных объектов, предотвращения аварий и прогнозирования чрезвычайных ситуаций. Предложенные методы и средства предварительно были исследованы в имитационном режиме на основе организационно-технологических моделей базовых элементов газотранспортных систем, а также прошли достаточно широкую практическую апробацию.

Опыт разработки и внедрения ИАСУ ДК "Укртрансгаз"

Прообразом КАСУ ГТК был проект создания интегрированной автоматизированной системы управления (ИАСУ) ДК «Укртрансгаз», реализация которого был одним из первых шагов на пути построения

полнофункциональной комплексной автоматизированной системы управления компанией, важным с точки зрения накопленного опыта [Борисенко, 2004], [Борисенко, 2008]. ИАСУ ДК "Укртрансгаз" создавалась, начиная с 1999 г., специализированным отраслевым институтом как *заказная система*, что позволило обеспечить более точное соответствие разработок требованиям Заказчика с учетом их изменений и менее затратную итеративную (поэтапную) технологию внедрения. В настоящий момент система внедрена на нескольких предприятиях газотранспортной отрасли Украины.

Анализ практических результатов и недостатков проектирования ИАСУ ДК "Укртрансгаз" показал, что использование заказного системотехнического подхода к созданию КАСУ ГТК в современных условиях является недостаточным. Для автоматизации унифицированных видов деятельности, типовых бизнес-процессов отраслевого характера наиболее перспективным является использование покупных параметризованных программно-информационных комплексов.

Поэтому в дальнейшем в качестве базового методологического принципа разработки КАСУ ГТК предлагается совместное использование двух основных системотехнических подходов - 1) построение унифицированного ядра КАСУ на основе приобретения и внедрения покупной тиражируемой системы; 2) самостоятельная разработка специализированных подсистем и компонент КАСУ как заказных систем.

При этом эффективная реализация объединения данных подходов базируется на использовании специализированного системного инструментария в виде корпоративной интеграционной технологической платформы [Борисенко, 2007]. На основе проведенных исследований в состав интеграционной платформы было предложено включить такой основной набор сервисных инструментальных средств:

- ведения единого репозитория метаданных общесистемного уровня;
- поддержка объектно-ориентированной технологии интеграции данных;
- поддержка технологий веб-интеграции и создания веб-порталов;
- поддержка технологий хранилищ данных и OLAP;
- поддержка сервис-ориентированной архитектуры и технологий интеграции;
- поддержка технологии обмена сообщениями.

Базовые положения концепции создания КАСУ ГТК

Главной целью разработки и внедрения корпоративной автоматизированной системы управления ГТК является целостное, "сквозное", взаимосогласованное решение всех основных задач управления технологическими, техническими и организационными объектами компании.

К классу КАСУ ГТК относятся интегрированные компьютеризированные системы управления, предназначенные для комплексной автоматизации всех основных видов деятельности и бизнес-процессов в компании.

В КАСУ реализован процесс объединения в единую систему управления самостоятельно функционирующих автоматизированных систем на основе регулярного и упорядоченного обмена информацией между ними.

Все автоматизированные системы, включаемые в состав КАСУ должны удовлетворять единым общесистемным архитектурным требованиям.

Основной системотехнический эффект от внедрения КАСУ ГТК заключается в переходе от локализованного, слабо синхронизированного, разнородного набора автономных подсистем к единой, комплексной, системной архитектуре, которая строится на основе универсального набора современных сервисных инструментальных средств поддержки современных технологий интеграции – корпоративной интеграционной технологической платформы (КИТП) [Борисенко, 2007].

Разработка и внедрение КАСУ ГТК обеспечивает следующие основные бизнес-преимущества:

- повышение уровня стандартизации и унификации элементов системы, что существенно увеличивает ее гибкость и адаптивность к изменениям внешней среды;
- создание единого информационного пространства, обеспечивающее существенное снижение дублирования, несогласованности и противоречивости данных, а также повышение достоверности информации, предоставляемой конечным пользователям КАСУ ГТК;
- общее снижение уровня рисков и суммарных затрат на создание, внедрение и владение системой;
- в конечном итоге успешное внедрение КАСУ оказывает существенное влияние на повышение качества, надежности и эффективности функционирования газотранспортной системы в целом.

В то же время, разработка и внедрение КАСУ ГТК является сложным, многоэтапным и весьма трудоемким процессом, осуществляемым в условиях жестких ограничений по времени и ресурсам.

Система управления промышленной безопасностью ГТС

В настоящее время в число наиболее значимых и актуальных проблем газотранспортной отрасли вошла разработка на новой технологической платформе современной автоматизированной системы управления промышленной безопасностью (АСУ ПБ). АСУ ПБ включает как традиционные подсистемы охраны труда безопасности, пожарной безопасности, экологической безопасности, так и оригинальные относительно новые и весьма перспективные для ГТП подсистемы и комплексы задач:

- мониторинга, обнаружения и оповещения о потенциально опасных объектах в охранной зоне линейной части магистральных газопроводов, а также на территории крупных организационно-технологических объектов - компрессорных и газораспределительных станций, подземных хранилищ газа;
- сбора данных, обработки, анализа данных и прогнозирования чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного и техногенного характера.

Важность разработки АСУ ПБ связана с рядом свойств и особенностей газотранспортной отрасли:

- старение газотранспортной сети (в настоящее время до 80% газопроводов срок эксплуатации превышает 20-25 лет, что существенно увеличивает риск возникновения аварий и чрезвычайных ситуаций);
- появление принципиально новых опасностей и угроз, связанных с строительством морских трубопроводов, а также их прокладка в горной местности, где возможны селевые потоки, снежные лавины, оползни и т.п.;
- возможность появления ЧС, связанных с халатностью эксплуатационного персонала и угрозами терроризма.

Создание автоматизированных систем мониторинга потенциально опасных объектов, анализа и прогнозирования ЧС, лежащих в основе АСУ ПБ, с использованием современных аэрокосмических методов является новым и весьма перспективным подходом к комплексной автоматизации системы безопасности. Одним из наиболее информативных и технологичных источников данных для таких систем является комплексный дистанционный аэрокосмический мониторинг объектов ГТП, позволяющий получать снимки наблюдаемой территории, как при помощи космических аппаратов (спутников), так и с использованием средств современной пилотной и беспилотной авиации. Аэрокосмические снимки можно использовать как непосредственно, так и в комплексе с другими данными для автоматизированного решения следующих прикладных задач:

- оценка целостности и безопасности объектов ГТК, а также безопасности окружающей их среды;
- выявление и картографирование зон вероятного возникновения техногенных и природных аварий и катастроф;
- обнаружение и мониторинг экологических негативных процессов, протекающих в охранной зоне газопроводов, связанных с посторонними источниками загрязнения и техногенного влияния;

– выявление и картографирование изменений в геодинамически активных зонах, связанных с территориями подземных газохранилищ, на основе радарной съемки и интерферометрии, раннее обнаружение сдвиговых поверхностных деформаций в зонах расположения трубопроводов;

– мониторинг территорий в охранных зонах газотранспортного предприятия на предмет наличия зон самозахвата и участков несанкционированного строительства жилых и промышленных объектов.

Кроме этого, мониторинг земной поверхности позволит своевременно предсказывать природные катастрофы, например, по анализу формы и размеров грозовых облаков и дымовых завес во время пожаров.

Решение таких задач связано с анализом объектов на аэро-, фото-изображениях, с последующим их распознаванием и идентификацией.

Методы обнаружения объектов

Множество известных методов обнаружения объектов можно разделить на 2 основных класса: 1) обнаружение объектов с частично или полностью размытой границей [Белоус, 2009] и 2) обнаружение объектов, имеющих четко заданную границу [Biliou, 2008].

Обнаружение объектов с размытой границей

К такому классу объектов можно отнести изображения облаков на снимках или дымовые облака пожаров, которые необходимо выделить.

Исходное изображение аэрокосмической съемки имеет большое количество мелких неинформативных объектов: деревья, люди, наземный транспорт, мелкие постройки и т.д. Применение сглаживающей фильтрации по Гауссиану на первом этапе дает возможность снизить влияние неинформативных объектов на исходное изображение, что приводит к сглаживанию и при этом размытию границы облаков.

На втором этапе для восстановления границы облаков, а также для повышения ее четкости выполняется контрастоповышающая модификация изображения. Данный прием позволяет более точно выделить светлые границы облаков и дыма.

Третий этап выполняет градирование изображения для разделения изображения на отдельные зоны. Для максимальной точности применяется градирование по алгоритму Собеля [Белоус, 2009], в котором используется восемь отсчетов яркости в окрестностях центральной точки:

$$G(x, y) = \sqrt{Gx_{x,y}^2 + Gy_{x,y}^2},$$

$$G(x, y) \cong |Gx_{x,y} + Gy_{x,y}|,$$

$$Gx_{x,y} = [A_{x-1,y-1} + 2A_{x-1,y} + A_{x-1,y+1}] - [A_{x+1,y-1} + 2A_{x+1,y} + A_{x+1,y+1}],$$

$$Gy_{x,y} = [A_{x-1,y-1} + 2A_{x,y-1} + A_{x+1,y-1}] - [A_{x-1,y+1} + 2A_{x,y+1} + A_{x+1,y+1}].$$

где $G(x, y)$ – значения яркости точки в координатах x, y после проведения операции градиента;

$Gx_{x,y}$ – промежуточное значение градиента по параллелям x ;

$Gy_{x,y}$ – промежуточное значение градиента по параллелям y ;

$A_{x,y}$ – значения яркости точки в координатах x, y .

На четвертом этапе выполняется объединение изображения в зоны сходной яркости с использованием алгоритма «Волшебная палочка». Для работы данного метода указывается одна или несколько начальных точек объекта, а алгоритм выделяет окрестные пиксели с похожим цветом и добавляет

выделенную область к объекту. Для оценки «похожести» задается матрица порогов чувствительности расстояния между цветами. Чем выше порог чувствительности, тем большая зона пикселей выделится на одном шаге. При этом в область «похожих» цветов выделяются только связанные пиксели. Метод эффективно работает при выделении достаточно монотонных по цвету объектов. При сильных вариациях цвета аккуратно отделить объект от фона с помощью данного алгоритма невозможно.

Последний, завершающий этап, разделяет изображение на зоны высокой яркости (облака, дым), и зоны низкой яркости (территория земной поверхности).

Обнаружение объектов с четкой границей

Разработаны методы обнаружения объектов по определенным характерным признакам и с четко заданной границей. К таким классам объектов могут быть отнесены всевозможные строительные сооружения и транспортные средства, нахождение которых в охранных зонах газопровода может привести к его повреждению.

Основная проблема, сопряженная с использованием методов данной группы является отсутствие временных данных, позволяющих однозначно определить появление новых объектов, а также наличие и изменение положения теней, отбрасываемых объектами, что усложняет введение устойчивых признаков.

Предложены методы обнаружения появившихся или движущихся объектов по результатам анализа изменений на пространственно-временных аэрофотографических и космических снимках. Обнаружение объектов осуществляется путем формирования карты неизменных объектов и земной поверхности, т.е. фона, после чего появление объектов обнаруживается разностным сравнением новых снимков. Основным недостатком этого подхода также является влияние изменения теней и освещенности земной поверхности, растительности и объектов, что, в случае анализа спутниковых снимков, ограничивает применение пространственно-временного подхода к обнаружению глобальных изменений (растительность полей, обнаружение затоплений, пожаров), а также крупных строительных объектов.

Однако развитие методологии моделирования, обнаружения и удаления теней на аэрофотоснимках снимках позволяет после дополнительной обработки проводить обнаружение и небольших транспортных объектов. Методы обнаружения транспортных объектов позволяют определять размеры и скорость объектов, а также осуществлять слежение, но требуют высокой частоты обновления снимков и высокого разрешения, что не всегда возможно в области мониторинга аварийно опасных зон из-за необходимости охвата больших по площади территорий и невозможно для спутникового мониторинга.

Еще одним эффективным подходом обнаружения объектов, как вновь появившихся, так старых при картографировании, является применение фотограмметрии для восстановления трехмерных координат земной поверхности. Восстановление трехмерных данных осуществляется благодаря линейному прохождению спутника или пролета летательных аппаратов над обследуемой местностью и перекрытию соседних снимков, что позволяет использовать пары/тройки соседних снимков для нахождения соответствий и восстановления координат точек поверхности. При этом отделение теней значительно упрощается, появляются новые данные для анализа не только поверхностных, но и высотных размеров объектов. Проблемой подхода является низкая скорость восстановления трехмерных данных, что исключает использование подхода в условиях ограничений по времени при мониторинге аварийных объектов.

Одним из наиболее эффективных подходов для снижения временных затрат при восстановлении трехмерных данных является уменьшение количества сопоставляемых точек за счет выделения некоторого множества характерных точек. Данный подход используется преимущественно для стереометрического восстановления поверхностей, когда пары изображений представлены в различных масштабах или подвержены различным проективным преобразованиям. Его применение для восстановления трехмерных данных по горизонтально сдвинутой паре изображений также возможно и может снизить вычислительные затраты на сопоставление точек и вычисление трехмерных координат.

Предлагается применение комбинированного подхода, использующего пространственно-временное представление восстановленных трехмерных данных и масштабно-пространственных представлений снимков при восстановлении трехмерных данных для значительного снижения количества анализируемых точек путем выделения наиболее информативных граничных областей.

Задача восстановления трехмерных данных по паре аэрокосмических снимков является более простой в вычислительном плане по сравнению с подобными задачами из других областей, где необходимо учитывать не только горизонтальное смещение точек при изменении точки наблюдения, но и вертикальные смещения, обусловленные перспективными искажениями. Т.е. задача восстановления карты поверхности земли в трехмерных координатах сводится к нахождению соответствующих точек на снимках, сделанных с различных точек наблюдения и вычислению третьей координаты по относительному смещению таких точек [Bilious, 2011].

Предлагаемое применение масштабно-пространственного представления снимков для снижения числа точек к сопоставлению предполагает последовательное вычисление функции кривизны в строках изображений при их сканировании в любом порядке на различных уровнях масштаба. При этом, представляя интенсивность функцией сдвига по горизонтали, получаем непрерывную кривую, заданную уравнением в явной форме $y = y(x)$, для которой кривизна вычисляется по формуле [Linderberg, 1994]:

$$k = \ddot{y} / (1 + \dot{y}^2)^{3/2}.$$

При работе с растровыми изображениями спутниковых снимков получаем только дискретную кривую. Такая дискретная кривая в общем случае может содержать разрывы и отдельно стоящие, "выбитые" точки. Как дифференциальная характеристика, кривизна является очень неустойчивой к дискретизации и зашумлению изображения и не может быть использована для нахождения характерных точек применительно к исходной кривой. Именно поэтому предлагается представление кривизны на различных уровнях масштаба, для чего используется свертка функции кривизны Гауссовым ядром увеличивающегося размера [Linderberg, 1994]:

$$L(x, \sigma) = \int_{\xi = -\infty}^{+\infty} g(\xi, \sigma) f(x - \xi) d\xi,$$

$$g(x; \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-x^2 / 2\sigma^2},$$

где $g : \mathbb{R} \times \mathbb{R}_+ \setminus \{0\} \rightarrow \mathbb{R}$ является Гауссовым ядром.

В результате отслеживания точек перехода кривизны через ноль, отсеиваются все точки, не представляющие сильных изменений по интенсивности на исходном снимке, а при наложении определенных ограничений к уровню масштаба остается множество характерных точек, влияние которых на перепады интенсивности строк снимков значительно даже на высоких уровнях свертки. Такие точки гарантировано присутствуют на двух изображениях одной и той же местности и, в большинстве случаев, представляют границы определенных объектов, даже если точка зрения изменяется. Т.е. опираясь на характерные точки, можно восстановить основные высотные изменения поверхности, выделить объекты, расположенные на земной поверхности.

Сравнивая поверхности определенной территории, восстановленные в различные моменты времени, можно по расхождению интенсивности и геометрической (высота над средним уровнем земной поверхностью) разнице с высокой точностью выявить появление или исчезновение объектов размера, зависящего только от разрешения снимков.

Заклучение

В работе была обоснована актуальность, рассмотрены принципиальные основы, базовые подходы и основные стратегии создания комплексной автоматизированной системы управления ГТК.

Анализ опыта создания интегрированной АСУ Компании "Укртрансгаз", как прообраза полнофункциональной КАСУ ГТК, позволил обосновать применение оригинального набора технологий интеграции на основе совместного использования: 1) "заказного" подхода для разработки высокоэффективных специализированных автоматизированных систем и подсистем; 2) подхода, базирующегося на приобретении параметризованных покупных коммерческих систем для автоматизации технологических и деловых процессов межотраслевого уровня унификации; 3) корпоративной инструментальной интеграционной технологической платформы в качестве единой технологической основы построения высокоэффективной системной архитектуры.

В работе были рассмотрены методы и модели компьютерной обработки аэрокосмических данных, лежащие в основе одной из наиболее важных и перспективных подсистем в составе КАСУ ГТК – комплексной АСУ промышленной безопасности. Для обеспечения эффективного применения этих технологий в составе АСУ ПБ был проведен анализ, рассмотрена классификация методов обнаружения значимых объектов ГТС, рассмотрены модели и алгоритмы их реализации, рассмотрены особенности и оригинальная реализация предложенного подхода к анализу и распознаванию аэрокосмических изображений.

Библиография

- [Борисенко, 2003] Борисенко В.П., Принципы построения и методология разработки интегрированной автоматизированной системы управления газотранспортной компанией. // АСУ и приборы автоматики. 2003. – Вып. 125. – С. 86–91.
- [Борисенко, 2004] Борисенко В.П., Колодяжный В.В. Пономарев Ю.В. Методология построения и опыт реализации распределенной интегрированной системы управления газотранспортной системой Украины. // Трубопроводные системы энергетики. Управление развитием и функционированием.- Новосибирск: Наука, 2004.-461 с.
- [Борисенко, 2008] Борисенко В.П., Медведева Л.М., Борисенко Т.І. Базові положення концепції створення комплексної автоматизованої системи керування основними бізнес-процесами підприємств нафтогазової галузі. // АСУ и приборы автоматики-2008.- № 144.- с. 88-96.
- [Борисенко, 2007] Борисенко В.П., Склярв С.А., Чмелев Ю.Н., Охрименко С.С., Метод построения и технология адаптивной синхронизации структурно-инвариантного объектно-ориентированного ядра распределенной базы данных ИАСУ ДК "Укртрансгаз"// Проблемы нефтегазовой промышленности: Сб. научн. трудов. Вып.5. – Киев, 2007. – с. 486-492.
- [Белоус, 2009] Белоус Н., Борисенко В., Левыкин В., Макивский Д., Зайцева А. Метод выделения значимых данных на изображениях изохромных линий для систем бесконтактного измерения внутриглазного давления// International Book Series «Information Science and Computing» №8. Classification, Forecasting, Data Mining // Supplement to International Journal «Information Technologies and Knowledge». ITHEA, SOFIA, 2009 – p.148-154.
- [Bilious, 2008] Bilious N., Kobzar G. Automatic ECG Analysis for Preliminary and Detailed Diagnostics Based on Scale-space Representation // International Book Series «Information Science and Computing» №7 Artificial Intelligence and Decision Making // Supplement to International Journal «Information Technologies and Knowledge». ITHEA, SOFIA, 2008 – p. 53-60- A4.
- [Bilious, 2011] Bilious N., Borisenko V. and ect. Intelligent Data Processing in Global Monitoring for Environment and Security//ITHEA, Kiev-Sofia, 2011, First Edition. - ISBN: 978-954-16-0045-0.
- [Linderberg, 1994] Linderberg T. Scale Space Theory in Computer Vision, Kluwer Academic Publishers. - 1994, 440p.

Информация об авторах



Белоус Наталья Валентиновна – заведующий лабораторией "Информационные технологии в системах обучения и машинного зрения", к.т.н., профессор каф. ПО ЭВМ Харьковского национального университета радиоэлектроники. Харьков. Украина. e-mail: belous@kture.kharkov.ua

Распознавание образов и изображений, обработка потокового видео, системы обучения и тестирования знаний.



Борисенко Виктор Петрович – к.т.н. доцент, член-корреспондент украинской нефтегазовой академии наук, ученый секретарь Совета Научно-исследовательского и проектного института транспорта газа, начальник отдела информационных технологий. Украина, 61004, г. Харьков, ул. Маршала Конева, 16, e-mail: vborisenko@itransgaz.com

Методологии проектирования и разработки корпоративных информационных систем, моделирование сложных систем, технологии разработки знание - базированных систем и программирования, методы и средства создания объектно-реляционных баз данных.



Пономарёв Юрий Владимирович – к.т.н. доцент, академик украинской нефтегазовой академии наук, заместитель директора по научной работе Научно-исследовательского и проектного института транспорта газа, Украина, 61004, г. Харьков, ул. Маршала Конева, 16, e-mail: ponom@itransgaz.com

Современные информационные технологии, моделирование сложных систем, методологии программирования, математическое моделирование, теоретическая расходомерия и метрология



Борисенко Илья Викторович – студент, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, г. Харьков, Украина, e-mail: iliich1991@mail.ru

Компьютерная инженерия, web-базированная разработка, современные технологии проектирования и программирования информационных систем