

Алгоритм обработки разнородных данных для мультисенсорной СТЗ на примере анализа температуры и концентрации газа

Р.А. Багутдинов¹, С.Г. Небаба¹, А.А. Захарова¹
ravil_bagutdinov@yahoo.com|stepanlfx@tpu.ru|zaa@tpu.ru
¹Томский Политехнический Университет, Томск, Россия

Решается прикладная задача определения тепловых потерь газа в газовой смеси в замкнутой области за счет теплопроводности и теплового излучения по данным датчиков температуры и концентрации. Предложен алгоритм комплексного анализа разнородных и разномасштабных данных, полученных в режиме реального времени при условии, что данные синхронизированы по времени на всех датчиках в составе мультисенсорной системы, позволяющий использовать их для последующего графического и статистического анализа. Проведен эксперимент с данными газоанализатора и соответствующими показаниями тепловизора внутри определенной кубической комнаты. Результаты эксперимента подтверждают эффективность предложенного алгоритма.

Ключевые слова: разнородные данные, разномасштабные данные, датчики, робототехнические комплексы, системы технического зрения, мультисенсорные системы.

Algorithm for processing heterogeneous data for multisensory vision system using the example of temperature and gas concentration analysis

R.A. Bagutdinov¹, S.G. Nebaba¹, A.A. Zakharova¹
ravil_bagutdinov@yahoo.com|stepanlfx@tpu.ru|zaa@tpu.ru
¹Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

An applied problem is solved for determining the thermal losses of gas in a gas mixture in a closed area due to thermal conductivity and thermal radiation from temperature and concentration sensors data. An algorithm for the complex analysis of heterogeneous and multiscale data obtained in real time is proposed, provided that the data are synchronized in time on all sensors in the multisensory system, which makes it possible to use them for subsequent graphical and statistical analysis. An experiment was performed with the data of the gas analyzer and the corresponding readings of the thermal imager inside a certain cubic room. The results of the experiment confirm the effectiveness of the proposed algorithm.

Keywords: heterogeneous data, multiscale data, sensors, robotic complexes, vision systems, multisensory systems.

1. Введение

В робототехнических комплексах, как и в физическом мире, основным видом ощущения является зрение. Первое устойчивое применение в робототехнических комплексах системы технического зрения (СТЗ) получили в системах управления манипуляторами и мобильными роботами человеком-оператором. Следующим шагом в развитии таких систем стали системы супервизорного управления. Они оказались особенно эффективны для телеуправления роботами при значительном временном запаздывании в канале связи, когда становится затруднительным управление оператором в реальном времени, а также для работы в условиях плохой видимости [1]. Последний случай характерен, например, для подводных роботов, работающих вблизи дна, когда движение робота вызывает подъем осадков и замутнение воды; в чрезвычайных случаях в условиях задымленности, при загазованности рабочего пространства на производстве; других обстоятельствах, препятствующих видимости [3]. Поэтому применяемые в этих случаях супервизорное управление сводится к периодическому заданию оператором очередной выполняемой автоматически элементарной операции в моменты восстановления видимости. В подобных случаях целесообразно использовать мультисенсорные СТЗ, где акцентируется внимание на качестве получаемых данных. Успешное решение этой проблемы приведет к существенному прогрессу в широком спектре прикладных задач за счет повышения точности, эффективности и надежности таких систем.

2. Алгоритм оценки тепловых потерь газа по данным двух датчиков

Системы управления робототехническими средствами на основе технического зрения и сбор информации для последующего анализа передвижения роботов имеют особое значение в роботостроении [13]. Поскольку определение движения и создание картины структуры окружающей среды является неотъемлемой частью человеческого зрения, то одной из ключевых задач технического зрения будет реализация этой врожденной способности средствами компьютерных систем. Теоретические методы данного исследования основываются на методах цифровой обработки изображений, распознавания образов, дискретных преобразований и системного анализа [2].

Одной из актуальных задач, которые могут быть решены с привлечением методов СТЗ и использованием специализированных датчиков, является определение температуры и концентрации газов в закрытом помещении.

Определение источника утечки ряда газов имеет высокое значение при ликвидации аварий, в рассматриваемом случае поставлен эксперимент, в ходе которого проводились замеры концентрации диоксида азота и температуры газовой смеси. Диоксид азота применяется при производстве серной и азотной кислот, а также используется в качестве окислителя в жидком ракетном топливе на космодромах и смесевых взрывчатых веществах, на химических предприятиях. Экспериментальные данные по концентрации NO₂ и

температуре получены в условном ограниченном пространстве.

Разнородные и разномасштабные данные, полученные с газоанализатора, содержат информацию о составе газовой смеси различных газов, количество этих данных увеличивается с увеличением количества самих датчиков, в результате для рассмотренного эксперимента данные концентрации газов получены в каждой из десяти ключевых точек. В свою очередь данные, полученные с тепловизора, имеют графическую информацию и информацию о характере изменения температуры в ключевых точках.

Выдвигается следующая гипотеза: данные, полученные с газоанализатора, должны иметь линейную зависимость от распределения тепла, что следует из свойств газа, на физическое состояние которого прямо влияют его температурные показатели. В перспективе использование разнородных данных с различных датчиков предоставляет возможность выявлять более сложные зависимости между данными и за счет этого повышать качество и точность получаемой информации о температуре и составе газовой смеси.

На основе сравнения полученных экспериментальных данных предложен алгоритм определения тепловых потерь газа в газовой смеси произвольного состава в замкнутой области за счет теплопроводности и теплового излучения по данным датчиков температуры и концентрации.

Этапы алгоритма определения тепловых потерь газа по данным двух датчиков:

1. Получение двух массивов данных концентрации и температуры газа в замкнутой области $M \times N$ через равные промежутки времени t .
2. Приведение данных к единой шкале соотношения концентрации газа и температуры за счет аппроксимации массива данных газоанализатора.
3. Вычисление функции корреляции от двух числовых последовательностей.
4. Определение среднего значения корреляции в единицу времени t_i .
5. Полученное значение корреляции имеет линейную зависимость от коэффициента теплопередачи газов в газовой смеси: в случае, если известный газ в начальный момент времени t_0 имеет большую температуру, чем газовая смесь, в которую он был помещен, то это значение характеризует тепловые потери; если его температура была ниже температуры газовой смеси – значение характеризует приобретенное за счет теплообмена и излучения газовой смеси тепло.

В областях с недостаточными данными от газоанализатора проводилась аппроксимация общепринятой центральной разностной схемой типа «крест», и решение в них определялось итерационным методом Гаусса–Зейделя. В данном случае аппроксимация используется для того, чтобы привести данные к единому общему масштабу. Ключевые значения данных с газоанализатора сравнивались с картинкой, полученной с тепловизора путем наложения изображений.

Для вычисления коэффициента корреляции (пп. 3-4 алгоритма) двух нормированных матриц, описывающих концентрацию и температуру, применима следующая формула:

$$R(x, y) = \frac{\sum_{x', y'} (C(x', y') \cdot T(x + x', y + y'))}{\sqrt{\sum_{x', y'} C(x', y')^2 \cdot \sum_{x', y'} T(x + x', y + y')^2}} \quad (1)$$

где C – матрица значений концентрации, T – матрица значений температуры. Оценка, получаемая по формуле (1), лежит в диапазоне от 0 до 1, где 0 – отсутствие корреляции данных, а 1 – полное совпадение данных. Граничное значение 0 в данном случае определяется характером обработки цифровых изображений, которые лежат в диапазоне от 0 до 255 для случая 1-байтового кодирования, а граничное значение 1 – выбором нормированной корреляции для наглядности получаемого результата.

Применяя операцию вычисления $R(x, y)$ по формуле (1) для двух разномасштабных матриц, можно получить изображение в градациях серого, в котором наиболее яркое пятно соответствует наиболее похожему участку двух матриц (рис. 1).

В случае матриц одинакового масштаба матрица $R(x, y)$ является матрицей, состоящей из одного элемента, который будет искомым коэффициентом корреляции концентрации и температуры, определяющим тепловые потери анализируемого газа.

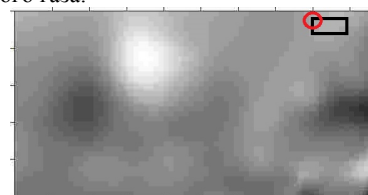


Рис. 1. Результат вычисления матрицы корреляции для двух нормированных массивов данных.

Существующие методы вычисления теплопередачи различных газов оперируют лишь информацией, полученной от одного датчика, и априорными знаниями (такими как состав газовой смеси, теплоемкость, долевое отношение компонентов). В отличие от них, разработанный алгоритм использует потоки разнородной информации с двух синхронизированных по времени датчиков и позволяет сделать заключение о характеристиках анализируемого газа уже на основании статистического анализа в режиме реального времени.

Такой алгоритм может быть использован также для определения неизвестного газа путем смешения с известным газом и мониторинга их температур и диффузии различными датчиками в составе мультисенсорной системы.

3. Эксперимент и анализ результатов

В рамках данной работы проведен эксперимент по определению зависимости между данными тепловизора и газоанализатора в режиме реального времени.

Ниже представлен план проведенного эксперимента.

1. Синхронизация и калибровка двух датчиков (газоанализатора и тепловизора).
2. Определение типа данных и объема выборки.
3. Получение данных с газоанализатора и тепловизора.
4. Выполнение 10 замеров в 50 интервалах времени для прослеживания динамики изменений состояния.
5. Группировка полученных данных по временным срезам.
6. Выведение полученных результатов эксперимента и сравнение с результатами тепловизора на основе предложенного алгоритма (разброс температуры от 25 °C до 140 °C, соответствующий газовому состоянию NO_2).

При расчетах использовались данные с газоанализатора для научных исследований «Тест 1-6» (ООО «БОНЭР») для измерения отдельных компонентов газовой смеси при

длительном непрерывном измерении относительно высоких концентраций. Устройство оснащено оптико-абсорбционным инфракрасным и электрохимическим сенсорами и позволяет получать данные в режиме реального времени, архивировать данные и экспортировать их в стандартные программы.

Все датчики статические, один тепловизор и десять датчиков с газоанализатора. Тепловизор подвешен в центре комнаты под потолком, для максимального охвата комнаты. Датчики газоанализатора размещены равномерно по всей поверхности потолка.

Интервал измерений 15 сек. Диапазон измерений NO_2 - 1000 ppm. Приведенная погрешность измерения (кроме O_2) - 5%; по O_2 - 2%.

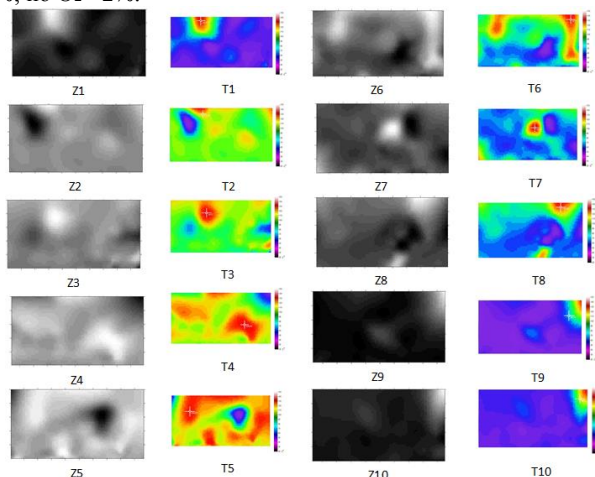


Рис 2. Сравнительный графический анализ (чёрно-белые изображения Z1-Z10 – по данным газоанализатора, цветные T1-T10 – по данным тепловизора).

На рисунке 2 можно проследить динамику изменения концентрации газа и сравнить с результатами, полученными с тепловизора. На изображениях Z1-Z10 представлены в графическом виде данные, полученные с газоанализатора, на изображениях T1-T10 – данные с тепловизора, номера соответствуют 10 интервалам времени, отражающие характерные особенности изменения концентрации NO_2 . На рисунке видно, что данные с тепловизора коррелируют с данными, полученными с газоанализатора, можно проследить динамику распространения газа в комнате. На рисунках Z2T2-Z5T5 видно, как распределение газа влияет на повышение температуры в комнате, на рисунках Z3T3-Z8T8 заметны турбулентные течения, вызванные смещением источника газа в направлении выхода из комнаты в правом верхнем углу, на рисунках Z6T6-Z10T10 прослеживается снижение концентрации газа и сопутствующая нормализация температуры.

Для статистического представления данных использовались стандартные методы ПО Surfer. По данным, полученным в ходе эксперимента выявлена прямая корреляция показаний датчиков температуры и концентрации, что свидетельствует о диффузионном процессе, близком к изотермическому. Согласно выдвинутой гипотезе, что коэффициент корреляции между показаниями датчиков концентрации и температуры отражает потери NO_2 путем теплопроводности и теплового излучения в газовой смеси, можно заключить, что эти тепловые потери равны 12% от исходного количества теплоты.

Полученные в ходе эксперимента теоретические результаты и формулируемые на их основе выводы подтверждаются строгостью математических выкладок,

базирующихся на аппарате интегрального и дифференциального исчисления, теории вероятностей и математической статистики. Справедливость выводов относительно эффективности предложенной системы подтверждена статистическим моделированием и опытно-методической обработкой реальных результатов.

Верификация имитационных моделей проводилась экспериментально.

4. Заключение

Предложен алгоритм обработки разнородных данных в решении прикладной задачи определения тепловых потерь газа в газовой смеси в замкнутой области за счет теплопроводности и теплового излучения по данным датчиков температуры и концентрации. Достоверность и точность результатов основываются на аппроксимации разряженных данных и анализе взаимной корреляции комплексных данных мультисенсорной системы.

Разработан алгоритм, использующий потоки разнородной информации с двух синхронизированных по времени устройств, который позволяет сделать заключение о характеристиках анализируемого газа уже на основании статистического анализа в режиме реального времени, в отличие от существующих традиционных методов, которые оперируют информацией, полученной от одного датчика, и априорными знаниями.

Выявлено, что коэффициент корреляции между показаниями датчиков концентрации и температуры отражает потери NO_2 путем теплопроводности и теплового излучения в газовой смеси, эти тепловые потери равны 12% от исходного количества теплоты для данных, полученных в ходе эксперимента. Это подтверждает предложенную гипотезу о возможности вычисления тепловых потерь по данным датчиков температуры и концентрации газовой смеси.

Если результаты анализа показывают слабую корреляцию на уровне областей, т.е. возникает аномалия соотношения температуры и концентрации газа, то можно говорить о том, что в этих точках, вероятно, произошла утечка газа, изменились внешние условия среды или граничные условия. В этом случае можно в режиме реального времени, не дожидаясь критического увеличения концентрации газа и его распространения в комнате, оперативно определить пространственную локализацию источника, принять решения по её ликвидации и поднять тревогу.

Результаты исследования применимы в сфере мониторинга и обработки разнородных данных для повышения эффективности выполняемых работ с помощью СТЗ. Данные исследования могут быть использованы при моделировании ситуаций, требующих быстрого реагирования, таких как: осуществление ликвидации аварий, моделирование эвакуации людей из зданий в чрезвычайных ситуациях, моделирование ситуаций при террористических атаках.

5. Благодарности

Работа выполнена в рамках госзадания № 2.1642.2017/4.6 на выполнение проекта по теме «Когнитивные методы визуализации и анализа многомерных данных при моделировании нелинейных динамических систем».

6. Литература

- [1] Адилов Р.М. Исследование и разработка методов анализа многоградационных растровых изображений в

- системах технического зрения: Дис. канд. техн. наук : 05.13.17/ Пенза, 2005.
- [2] Багутдинов Р.А. Подход к алгоритмизации адаптивных систем технического зрения, применяемых в робототехнике / В сборнике: Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации. Сборник статей победителей IV Международной научно-практической конференции. 2017. С. 20-22.
 - [3] Багутдинов Р.А. Гносеологические аспекты к определению назначения и состава стз в задачах проектирования и разработки робототехнических комплексов / Программные системы и вычислительные методы. 2017. № 1. С. 39-45.
 - [4] Барский, А.Б. Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений [Текст] / А. Б. Барский. — М. : Финансы и статистика, 2004. — 176 с. — ISBN 5-279-02757-X.
 - [5] Бородин А.В, Златкис В.М., Зуев Ю.П., Шишкин В.И. Проблемы технического зрения // Разработка систем технического зрения и их применение в промышленности: Тез. докл. ВНТК.-Устинов, 1986.-С. 79-80.
 - [6] Бурков А.П., Комин В.Г., Красильникянц Е.В. Промышленная система технического зрения на базе интеллектуальной цифровой камеры IntCAM 285-1// Вестник ИГЭУ. Вып. 4. 2007.
 - [7] Воротников С.А. Информационные устройства робототехнических систем. М.: изд. МГТУ им Н.Э. Баумана, 2005.
 - [8] Гришин В.А. Системы технического зрения в решении задач управления беспилотными летательными аппаратами // Датчики и системы, №2, 2009.-С. 46-52.
 - [9] Дворкович А.В., Мохин Г.Н., Нечепав В.В. Об эффективности цифровой обработки статических изображений //Цифровая обработка сигналов и ее применение Докл. 1 Междун. конф.-М, 1998-Т 3-С 202-204.
 - [10] Клевалин В.А., Поливанов А.Ю. Цифровые методы распознавания в системах технического зрения промышленных роботов// Мехатроника, автоматизация, управление, 2008, № 5.-С. 56-56.
 - [11] Коробейников А.Г., Федосовский М.Е., Алексанин С.А. Разработка автоматизированной процедуры для решения задачи восстановления смазанных цифровых изображений // Кибернетика и программирование.- 2016.-1.-С. 270-291.
 - [12] Куафе Ф. Взаимодействие робота с внешней средой : Пер. с франц.-М.: Мир, 1985.-285 с.
 - [13] Мошкин В.И., Петров А.А., Титов В.С., Якушенок Ю.Г. Техническое зрение роботов – М.: Машиностроение, 1990. – 272 с.:ил.
 - [14] Островский О.А. Криминалистическая портретная экспертиза по видеоизображениям, как форма определения личности // В сборнике: The Eleventh International Conference on Eurasian scientific development Proceedings of the Conference. Editor Jana Pyna, Russia. 2016. С. 176-179
 - [15] Островский О.А. Принцип объектной декомпозиции в систематизации идентификационных кодов, характеризующих преступления в сфере компьютерной информации / Полицияская деятельность. 2017. № 3. С. 10-18.
 - [16] Попов А.В., Юревич Е.И. Роботы с силовым оучувствлением. СПб.: Астерион, 2008. . Каляев И.А., Мельник Э.В. Децентрализованные системы компьютерного управления. Ростов-на-Дону: изд. ЮНЦ РАН, 2011.
 - [17] Попов Е.П., Писменный Г.В. Основы робототехники: Введение в специальность. Учеб. пособие для вузов по спец. «Робототехн. Системы и комплексы». М.: Высш. шк., 1990.-224с.
 - [18] Поваркова А.В. Компьютерный анализ изображений: общие сведения, системы, примеры использования. // Вестник инфектологии. Электронный журнал. <http://www.infectology.ru/microscopy/today/analysis/index.aspx>
 - [19] Семин, М.С. Прикладные задачи, решаемые с помощью систем технического зрения Текст. / М.С. Семин // Специальная техника. 2002.-№6. С 12-17.
 - [20] Солопченко Г.Н. Измерительные информационные системы. СПб.: изд. Политехнического университета, 2010.-200 с.
 - [21] Техническое зрение роботов / Под ред. А. Пью-М.: Машиностроение, 1987.-320 с.
 - [22] Федоткин И.М. Математическое моделирование технологических процессов. Либроком, 2011.-416 с.
 - [23] Фу К., Гонсалес Р., Ли К. Робототехника: Пер. с англ.-М.: Мир, 1989.-624 с.
 - [24] Хорн Б. К. Зрение роботов: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 487 с., ил.
 - [25] Юревич Е. И. Сенсорные системы в робототехнике : учеб. пособие / Е. И. Юревич. — СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2013. — 100 с.
 - [26] Bagutdinov R.A., Zakharova A.A. The task adaptation method for determining the optical flow problem of interactive objects recognition in real time // Journal of Physics: Conference Series. — 2017. — Vol. 803 : Information Technologies in Business and Industry (ITBI2016).
 - [27] Bagutdinov R.A., Narimanov R.K. The calculating the fet based schottky hydrodynamic model // The First European Conference on Informational Technology and Computer Science 2015. С. 17-22.
 - [28] Nebaba, S.G., Zaharova, A.A., Andreev, S.J. Automatic estimation of the face angle in the frame and transformation of images into zero rotation angles (2015) Scientific Visualization, 7 (4).
 - [29] Savitskiy, Yu.V., Nebaba, S.G., Spitsyn, V.G., Andreev, S.Yu., Makarov, M.A. Analysis of methods of features extraction from image of human face for identification (2016) Scientific Visualization, 8 (2), pp. 107-119.

Об авторах

Багутдинов Равиль Анатольевич – аспирант кафедры Инженерной графики и промышленного дизайна Института кибернетики Томского политехнического университета. E-mail: ravil_bagutdinov@yahoo.com.

Небаба Степан Геннадьевич – инженер кафедры Инженерной графики и промышленного дизайна Института кибернетики Томского политехнического университета. E-mail: stepanlfx@tpu.ru.

Захарова Алена Александровна – профессор, д.т.н., зав. кафедрой Инженерной графики и промышленного дизайна Института кибернетики Томского политехнического университета. E-mail: zaa@tpu.ru.