

Новая архитектура программного обеспечения визуализации, трансформации и анализа снимков оборудования

А. И. Хальясмаа, П. В. Матренин

Аннотация—В статье рассматривается задача проектирования программного обеспечения для работы с оптическими и радиометрическими данными, формируемыми при обследовании оборудования с помощью камер различных спектров. Существующие программные продукты позволяют обрабатывать и анализировать отдельные снимки в различных спектрах с диагностической аппаратуры, но не обеспечивают их привязку к оборудованию (например, через идентификаторы) и не предполагают какой-либо модели данных для хранения снимков. Как следствие, это приводит к проблеме интеграции такого программного обеспечения с другими системами предприятий (ERP-системы и т.д.) и невозможности использования оптических и радиометрических данных для комплексного анализа состояния оборудования, а также затрудняет систематизацию информации. Предложенная в данной работе для подобного программного обеспечения архитектура на основе новой логической модели данных позволяет существенно расширить функциональные возможности по автоматизированному анализу и визуализации результатов диагностической съемки оборудования в различных спектральных диапазонах, включая видимый, инфракрасный и ультрафиолетовый, а также организовать автоматическую привязку снимков к единицам или узлам оборудования. Решение способствует внедрению на промышленных предприятиях отечественного программного обеспечения и робототехнических комплексов, поскольку формируемые ими большие массивы данных могут быть обработаны только с помощью соответствующего алгоритмического и программного обеспечения.

Ключевые слова—проектирование программного обеспечения, архитектура информационной системы, логическая модель данных, обследование оборудования, инфракрасный контроль, ультрафиолетовый контроль.

I. ВВЕДЕНИЕ

Совершенствование методов обработки и анализа результатов технической диагностики оборудования необходимо для повышения надежности функционирования технических систем. С развитием

воздушных и наземных беспилотных робототехнических комплексов, способных нести полезную нагрузку в виде фото- и видеокамер, возрастает роль методов неразрушающего контроля, основанных на анализе изображений, полученных в инфракрасном (ИК), видимом и ультрафиолетовом (УФ) диапазонах спектра [1, 2]. Регулярные обследования оборудования при высоком уровне автоматизации процессов сбора, обработки и анализа данных позволяют выявлять признаки дефектов и предотвращать аварийные ситуации.

Изображения в видимом диапазоне спектра применяются для детектирования поверхностных дефектов, механических повреждений и других визуально различимых дефектов. В исследованиях [3, 4] предложены методы обнаружения трещин и коррозии, соответственно, на поверхностях металлических конструкций с использованием сверточных нейронных сетей и алгоритмов глубокого обучения.

ИК-контроль оборудования используется для анализа изменений и выявления аномалий температурного распределения по поверхности оборудования, что позволяет обнаруживать термические дефекты, такие как нарушения контактных соединений, повреждения изоляции, неравномерную нагрузку фаз и другие. При этом возможно применение различных методов машинного обучения для анализа графических данных [5-8].

К распространенным инструментам анализа и визуализации ИК-снимков оборудования относятся: FLIR Tools (компания FLIR Systems), Irbis® 3 (InfraTec), Sence Reporting (SENSE Software) Thermal-Camera-Redux (ПО с открытым исходным кодом). Часть разработчиков представляют SDK, с помощью которых возможна автоматизация его применения, но в этом случае создание архитектуры лежит на разработчиках-пользователях SDK.

УФ-контроль эффективен для обнаружения поверхностных частичных разрядов при обследовании изоляции высоковольтного оборудования [9]. В работах [10-12] представлены методы детектирования частичных разрядов на УФ-изображениях с использованием алгоритмов как классического компьютерного зрения [10], так и нейросетевых моделей обучения [11, 12].

Статья получена 19 февраля 2025.

А. И. Хальясмаа, канд. тех. наук, зав. научной лабораторией, a.i.khaliasmaa@urfu.ru

П. В. Матренин, канд. тех. наук, в.н.с., p.v.matrenin@urfu.ru

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный

университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург.

Для работы с УФ-снимками в задачах диагностики оборудования специализированного программного обеспечения на рынке на сегодняшний день нет. Диагностическая аппаратура для УФ-съемки записывает результаты в стандартные форматы представления графических данных, такие как растровые изображения (BMP, PNG) или видео (MPEG4).

В ряде областей (в первую очередь в медицине и дистанционном зондировании Земли) обосновано объединение снимков различных спектральных диапазонов для получения более полных и информативных данных [13-15].

В ряде научных работ описываются предлагаемые архитектуры ПО для совместной работы со снимками в различных спектрах. В статье [16] предложена последовательность действий для синхронизации изображений с камер, снимающих растения в различных диапазонах. Авторы работы [17] также рассматривают в первую очередь вопрос синхронизации данных с различных сенсоров.

В приведенном выше ПО и в менее распространенных аналогах, а также в архитектурах, представленных в научных статьях, предполагается, что центральной сущностью архитектуры является снимок (в определенном спектре или мультиспектральный), который хранится в файле определенного формата. При этом отсутствуют возможности комплексной систематизации снимков и их автоматической привязки к единицам оборудования (от пользователя требуется ручное сопоставления снимков с соответствующими объектами, сопряженное с рисками появления ошибок).

Вышесказанное свидетельствует о значительных ограничениях для автоматизированного анализа больших массивов данных, которые не позволяют повысить производительность и оперативность процесса принятия решений персоналом, отвечающим за эксплуатацию и обслуживание оборудования. Кроме того, существующие подходы к созданию инструментов для работы с результатами видимого, ИК- и УФ-контроля направлены на решение относительно узких задачах – исключительно выявление локальных перегревов или детектирование частичных разрядов.

В данной работе предложен новый подход к созданию архитектуры программного обеспечения для работы с фото- и видеоданными обследования оборудования на основе введенной в логическую модель сущности «Диагностическая съемка» и применения принципа инверсии зависимостей при проектировании классов для реализации кода ПО. В результате появляется возможность объединять разрозненные данные в централизованную базу, а также реализовывать ПО с возможностями по расширению функционала автоматической обработки и анализа данных.

II. ИСПОЛЬЗУЕМЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ АРХИТЕКТУРЫ ПО ДЛЯ ОБРАБОТКИ СНИМКОВ ОБОРУДОВАНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ СПЕКТРАЛЬНЫХ ДИАПАЗОНАХ

A. Требования к ПО

Как отмечено выше, одной из ключевых проблем в

существующих системах является разрозненность данных и отсутствие привязки изображений к конкретным единицам оборудования. Для повышения эффективности диагностики новая архитектура должна обеспечивать:

- унифицированную обработку изображений от различных производителей камер и в различных спектральных диапазонах;
- автоматическую привязку изображений к оборудованию или его узлам на основе идентификаторов (с возможностью ручной привязки для исправления возможных ошибок);
- создание единой базы снимков;
- поиск снимков по различным критериям, включая временные диапазоны, типы оборудования, диспетчерские наименования оборудования и т.п.;
- интеграцию с информационными системами (ERP, SCADA и т.п.), что позволит учитывать режимы работы оборудования, историю технического обслуживания и ремонтов.

Для обеспечения удобного доступа к данным и повышения эффективности работы специалистов ПО должно поддерживать:

- инструменты аннотирования, позволяющие добавлять комментарии и тэги к снимкам;
- возможность формирования наборов снимков с применением фильтрации по различным параметрам: тип, вид, марка оборудования, время съемки, источник данных, пользовательские тэги и т.д.

Последнее обеспечивает реализацию различных сценариев автоматизированной работы пользователя с ПО или автоматической генерации отчетов для анализа:

- динамики изменения распределения температуры по поверхности оборудования или изменения картины разрядной активности;
- различий температурных профилей по фазам оборудования;
- результатов обследования всех единиц определенного типа или вида оборудования;
- снимков, отмеченных пользователем определенным тэгом или автоматически отобранных (например, с выявленными признаками дефектов оборудования);
- снимков, сделанных с определенной позиции (ракурса);
- данных, полученных в ходе выполнения определенного маршрута робототехнического комплекса.

Возможны и другие сценарии, в том числе формирования наборов снимков с учетом метеорологических факторов, календарного времени, единиц диагностической аппаратуры (например, возможно использование нескольких различных ИК-камер).

Для эффективного управления данными система должна быть совместима с существующими информационными системами предприятия. В частности, идентификаторы единиц оборудования

должны соответствовать их идентификаторам в SCADA, ГИС, ERP-системах предприятия. Также важно обеспечить возможность использования общей информационной модели (Common Information Model CIM) для обеспечения совместимости различных программных систем для автоматизации соотнесения снимков и единиц оборудования.

В. Основные сущности информационной модели

В существующих инструментах центральной сущностью является файл с результатом фото- или видеосъемки. Причем так как ПО обычно предоставляет производитель аппаратуры, то в нем не возникает необходимости предварительной конвертации исходных файлов в унифицированный формат. Если же ПО создается для унифицированной работы с данными из различных источников, необходимо обеспечить общность работы с ними при учете особенностей форматов данных и техническим параметров камер.

Для реализации требований унификации обработки различных видов снимков и повышения гибкости необходимо повысить уровень абстракции и разделить сущности «Снимок», «Конвертированный файл снимка» и «Исходный файл снимка». В случае УФ-камеры исходный файл чаще всего представляет собой видеозапись, так что возможно применение различных алгоритмов ее преобразования в матричное статическое представление с усреднением картины разрядной активности и пространственно-временной фильтрацией радиометрических шумов.

Привязка снимков к единицам оборудования требует использования сущности «Оборудование». Но съемка может быть направлена не на единицу оборудования целиком, а на ее конструктивный элемент, например, определенную фазу в случае трехфазного исполнения или отдельный узел (особенно это важно для узкоугольных УФ-камер [2]). Это требует введения сущности «Узел оборудования» с иерархическим отношением между ее экземплярами. На определенном уровне декомпозиции экземпляры должны быть соотнесены с объектами существующих SCADA или других систем, в простейшем случае на том уровне, на котором на предприятии используются диспетчерские наименования единиц оборудования.

Важно отметить, что «Узел оборудования» не может быть включен в метаданные снимка, несмотря на очевидную простоту такого решения и возможность с его помощью по-прежнему использовать снимок в качестве центральной сущности логической модели данных. Причиной является возможность наличия на одном снимке нескольких узлов и даже единиц оборудования.

При использовании беспилотных робототехнических комплексов сбор диагностических данных возможен в автоматическом режиме по заданным маршрутам, в определенных точках в пространстве и с наведением камер на определенный ракурс [1, 2]. По этим данным возможна автоматическая привязка снимков к единицам или узлам оборудования. С учетом возможной

интеграции ПО с системой планирования маршрутов робототехнических комплексов следует добавить в модель данных сущности «Маршрут», «Точка» и «Ракурс». Однако, это является частным случаем, то есть одной из возможных реализаций идентификации положения и ориентации камер, альтернативами могут быть координаты и углы поворота камер в пространстве. Поэтому, согласно второму пункту формулировки принципа инверсии зависимостей, «абстракции не должны зависеть от деталей; детали должны зависеть от абстракций» [18], следует ввести сущность более высокого уровня абстракции «Позиция съемки».

Позиция съемки может быть отнесена к метаданным снимка, но это не позволит оптимизировать поиск снимков, сделанных с определенных позиций.

С учетом вышесказанного, в описываемом подходе предложена новая абстрактная сущность «Диагностическая съемка» (ДС), которая связывает триаду сущностей: «Снимок», «Узел оборудования», «Позиция съемки». Так как все указанные сущности в свою очередь также являются абстрактными и не зависят от деталей предметной области и реализации модулей нижнего уровня ПО, то использование ДС как центральной сущности обеспечивает высокую гибкость и масштабируемость программного кода системы, а также реализацию оптимизированных алгоритмов поиска и группировки снимков для различных сценариев, перечисленных выше.

На Рис. 1 показан фрагмент UML-диаграммы классов предложенной архитектуры. Из UML-диаграммы классов видно, что ДС позволяет объединить основные сущности, важные для анализа результатов обследований оборудования. Иные возможные варианты, такие как хранение списка привязанных снимков в классе «Узел оборудования» или наоборот, хранение привязанных узлов оборудования в классе «Снимок», нарушало бы принцип единственной ответственности класса.

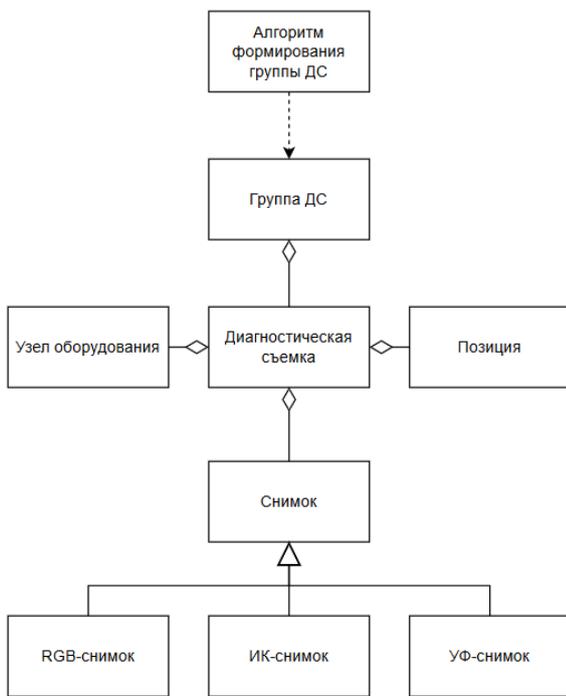


Рис. 1: Фрагмент UML-диаграммы классов

«Снимок» является родительским классом для классов, представляющих собой снимки в различных спектрах, за счет наследования в ПО можно добавлять и другие виды снимков помимо указанных на Рис. 1, например рентгеновские снимки.

Чтобы обеспечить формирование наборов ДС, могут использоваться различные алгоритмы, поэтому вводится абстрактный класс «Алгоритм формирования ДС». Классы «ДС», «Снимок», «Позиция съемки», «Узел оборудования» образуют модуль верхнего уровня, которые не должны зависеть от модулей нижних уровней [18], что достигается благодаря выделению реализаций в дочерние классы.

Фрагменты кода приведены на Рис. 2-5.

```

1 class BaseImage(ABC):
2     """
3     Абстрактный класс снимка. Содержит общий функционал для всех типов снимков
4     """
5
6     def __init__(self, id: int, file_path: str, capture_date: datetime
7         , metadata: Optional[Dict] = None):
8         self.id = id # Уникальный идентификатор снимка
9         self.file_path = file_path # Путь к файлу снимка
10        self.datetime = capture_date # Дата и время съемки
11        self.metadata = metadata or {} # Дополнительные метаданные
12
13    def __str__(self):
14        return (f"Снимок {self.id}: {self.file_path}, Дата: {self.datetime}, "
15            f": {self.metadata}")
16
17    def get_metadata(self) -> Dict:
18        """Возвращает метаданные снимка."""
19        return self.metadata
20
21    def update_metadata(self, key: str, value):
22        """Обновляет конкретное поле метаданных."""
23        self.metadata[key] = value
  
```

Рис. 2: Фрагмент кода класса «Снимок»

```

1 class CapturePosition:
2     """
3     Абстрактный класс позиции съемки
4     """
5     def __init__(self, position):
6         self.position = position
7
8 class CapturePositionRPA(CapturePosition):
9     """
10    Позиция съемки через id маршрута, точки и ракурса
11    """
12    def __init__(self, route: int, point: int, angle: int):
13        position = {'route': route, 'point': point, 'angle': angle}
14        super().__init__(position)
15
  
```

Рис. 3: Фрагмент кода класса «Снимок» и пример дочернего класса с реализацией через идентификаторы маршрута, точки и ракурса

```

1 class EquipmentNode:
2     """
3     Абстрактный класс узла оборудования
4     """
5     def __init__(self, id: int, name: str, parent_equipment: EquipmentNode):
6         self.id = id
7         self.name = name
8         self.parent_equipment = parent_equipment
9
  
```

Рис. 4: Фрагмент кода класса «Узел оборудования»

```

1 class DiagnosticSurvey:
2     """Одна диагностическая съемка
3     = одна позиция + один снимок + один узел оборудования"""
4     def __init__(self, id: int, capture_position: CapturePosition
5         , image: BaseImage, equipment_node: EquipmentNode):
6         self.id = id
7         self.capture_position = capture_position
8         self.image = image
9         self.equipment_node = equipment_node
10
11    def __str__(self):
12        return (f"ДС {self.id}: Снимок ({self.image.file_path}), "
13            f"Позиция ({self.capture_position.position}), "
14            f"Оборудование ({self.equipment_node.name}")
15
  
```

Рис. 5: Код класса «Диагностическая съемка»

Идентификатор узла оборудования позволяет связывать объекты между информационными системами предприятия при интеграции.

Система классов помимо отмеченных выше принципов единственной ответственности и инверсии зависимостей позволяет обеспечить выполнение и других принципов SOLID. Принцип открытости/закрытости реализуется благодаря расширению родительских классов через наследование; принцип подстановки Лисков обеспечивается путем наличия в каждом дочернем классе методов, входящих в родительский, и не противоречащих ему; принцип разделения интерфейса реализуется путем выделения для различных алгоритмов отдельных родительских классов или интерфейсов, например, для формирования групп снимков, для обработки снимков, для их привязки к узлам оборудования и т.д.

III. ПРЕДЛОЖЕННАЯ АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ

Связи ПО описываемой системы с внешними для нее системами показаны на Рис. 6. Модели машинного обучения, алгоритмы интеллектуального анализа данных, например, распознавания конструктивных элементов оборудования, целесообразно рассматривать не как часть описываемой системы, а как внешнее ПО, которое формирует данные для нее по запросу. Они не

являются обязательной составляющей ПО, при наличии могут быть развернуты как на удаленном сервере, так и на ПК с установленным ПО.

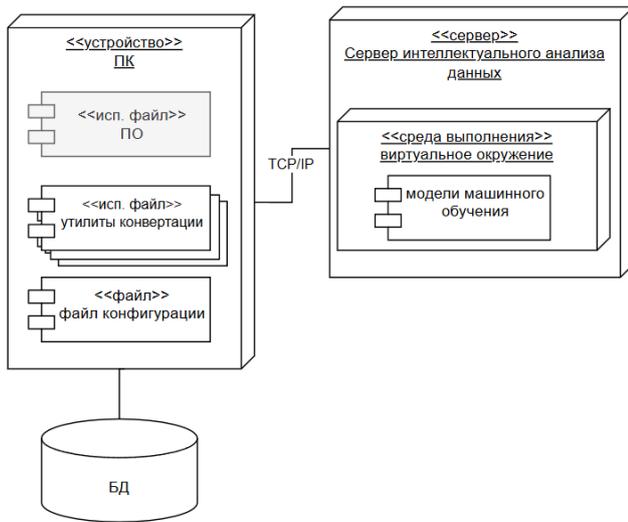


Рис. 6: UML-диаграмма развертывания системы

Среди различных архитектурных решений для рассматриваемой системы предпочтительнее модульный монолит с вынесением части функционала в отдельные утилиты по следующим причинам:

- позволяет избежать сложностей микросервисного взаимодействия;
- минимизирует накладные расходы на разработку, развертывание и поддержку системы;
- обеспечивает быструю внутреннюю коммуникацию между модулями, так как все компоненты работают в одном контексте;
- упрощает отладку и управление системой.

При этом благодаря модульности монолитная архитектура предусматривает возможность выделения определенных модулей в микросервисы, если этого потребует масштабирование системы.

Такие функциональные возможности как конвертация форматов файлов можно реализовывать в виде отдельных исполняемых файлов (утилит), так как они могут быть тесно связаны в SDK разработчиков ИК- и УФ-камер или даже предоставляться ими как готовые скомпилированные решения. Если добавляется новый формат данных, и соответственно, ПО для его конвертации, это не потребует изменения кода осинового ПО (пути к исполняемым файлам для конвертации снимков в зависимости от их форматов могут быть прописаны в конфигурационном файле).

Для организации хранения данных существуют два основных подхода:

- реляционная модель (SQL);
- NoSQL модель.

В случае рассматриваемой системы предпочтительен гибридный подход: реляционная база данных (БД) для хранения структурированных данных; NoSQL для

хранения исходных и обработанных изображений. Связь между ними будет осуществляться через имена файлов в реляционной части БД. В реляционной базе данных в таблицах будут содержаться все необходимые данные для быстрого обращения к NoSQL части базы данных.

Такой подход обеспечивает сохранение надежности и быстродействия операций чтения с агрегированием данных, характерных для реляционных баз данных, в то же время без необходимости помещать слабоструктурированные данные в реляционную модель. Скорость доступа к элементам из части больших слабоструктурированных данных будет близка к высокой скорости документных NoSQL моделей.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассмотрены проблемы автоматизированной визуализации, трансформации и анализа снимков оборудования при выполнении технической диагностики. Выявлены ограничения существующих решений: разрозненность данных, отсутствие автоматической привязки снимков к узлам оборудования, слабая интеграция с внешними системами, невозможность совместной работы пользователя со снимками в различных спектрах.

Предложена архитектура ПО, основанная на абстрактной сущности «Диагностическая съемка», которая связывает снимок, позицию съемки и узел оборудования, что позволяет сформировать логическую модель данных и систему классов, обеспечивающие устранение указанных ограничений. Решение позволяет объединить снимки в единую систему и автоматизировать их привязку к узлам оборудования, реализовать унифицированную обработку изображений в различных спектрах, оптимизировать процессы поиска снимков по различным критериям и создавать ПО с высокой гибкостью и расширяемостью.

Решение позволяет автоматизировать диагностику, унифицировать обработку снимков и повысить точность анализа, а также способствовать внедрению на промышленных предприятиях отечественного ПО и робототехнических комплексов, поскольку формируемые ими большие массивы данных могут быть обработаны только с помощью соответствующего алгоритмического и программного обеспечения.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках государственного задания при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FEUZ-2025-0005 Разработка моделей и методов объяснимого искусственного интеллекта для повышения надежности и безопасности внедрения распределенных интеллектуальных систем на объектах электроэнергетики).

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] A. M. Romanov, N. Gyrichidi, M. A. Volokova, S. A. Eroshenko, P. V. Matrenin, and A. I. Khalyasmaa, "Automated mission planning

- for aerial large-scale power plant thermal inspection,” *Journal of Field Robotics*, vol. 41(5), pp. 1313–1348, 2024.
- [2] N. Gyrihidhi, A. M. Romanov, O. V. Trofimov, S. A. Eroshenko, P. V. Matrenin, and A. I. Khalyasmaa, “GNSS-Based Narrow-Angle UV Camera Targeting: Case Study of a Low-Cost MAD Robot,” *Sensors*, vol. 24(11), pp. 3494, 2024.
- [3] X. Tao, D. Zhang, W. Ma, X. Liu, and D. Xu, “Automatic Crack Detection for Metallic Surfaces Using Convolutional Neural Networks,” *Applied Sciences*, vol. 8(9), pp. 1575, 2018.
- [4] A. Das, S. Dorafshan, and N. Kaabouch, “Autonomous Image-Based Corrosion Detection in Steel Structures Using Deep Learning,” *Sensors*, vol. 24(11), pp. 2603, 2024.
- [5] H. Zheng et al., “An Infrared Image Detection Method of Substation Equipment Combining Iresgroup Structure and CenterNet,” *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 37(6), pp. 4757–4765, 2022.
- [6] J. Zhang and W. Zhu, “Research on Algorithm for Improving Infrared Image Defect Segmentation of Power Equipment,” *Electronics*, vol. 12(7), pp. 1588, 2023.
- [7] H. Zheng et al., “Arbitrary-Oriented Detection of Insulators in Thermal Imagery via Rotation Region Network,” *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 18(8), pp. 5242–5252, 2022.
- [8] Y. Zhang, X. Li, and J. Wang, “Automatic Hot Spot Detection in Infrared Images Using Convolutional Neural Networks,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 67(8), pp. 6785–6795, 2020.
- [9] A. G. Ovsyannikov and S. M. Korobeynikov, “Kontrol' izolyatsii po chastichnym razryadam [Insulation control by partial discharges (historical background)],” *Elektroenergiya. Peredacha i raspredeleniye [Electricity. Transmission and distribution]*, vol. 2(65), pp. 124–130, 2021.
- [10] W. Zhao, W. Liu, Y. Hu, Y. An, and Y. Li, “Extraction method of insulator discharge area in ultraviolet image and its application,” *Proceedings of the 2017 4th International Conference on Systems and Informatics (ICSAI)*, Hangzhou, 2017, pp. 857–961.
- [11] D. Zhang and S. Chen, “Intelligent Recognition of Insulator Contamination Grade Based on the Deep Learning of Ultraviolet Discharge Image Information,” *Energies*, vol. 13(19), pp. 5221, 2020.
- [12] L. Jin and D. Zhang, “Contamination Grades Recognition of Ceramic Insulators Using Fused Features of Infrared and Ultraviolet Images,” *Energies*, vol. 8(2), pp. 837–858, 2015.
- [13] R. Wang and L. Xu, “Line-of-Sight Temperature Profile Reconstruction of Axisymmetric Laminar Flame by Multispectral Dispersion Spectroscopy,” *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 73, pp. 7008108, 2024.
- [14] S. -Y. Cao, H. -L. Shen, S. -J. Chen and C. Li, “Boosting Structure Consistency for Multispectral and Multimodal Image Registration,” *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 29, pp. 5147–5162, 2020.
- [15] M. F. Meyer, J. A. Gonçalves, and A.M.F. Bio, “Using Remote Sensing Multispectral Imagery for Invasive Species Quantification: The Effect of Image Resolution on Area and Biomass Estimation,” *Remote Sensing*, vol. 16(4), pp. 652, 2024.
- [16] N. Sharma, B. P. Banerjee, M. Hayden, and S. Kant. “An Open-Source Package for Thermal and Multispectral Image Analysis for Plants in Glasshouse,” *Plants*, vol. 12(12), pp. 317, 2023.
- [17] L. Wunsch, M. Hubold, R. Nestler, G. Notni, “Realisation of an Application Specific Multispectral Snapshot-Imaging System Based on Multi-Aperture-Technology and Multispectral Machine Learning Loops,” *Sensors*, vol. 24(24), pp. 7984, 2024.
- [18] R. C. Martin, *Agile Software Development, Principles, Patterns, and Practices*, New Jersey:Prentice Hall, 2003.

New software architecture for visualization, transformation, and analysis of equipment images

A. I. Khalyasmaa, P. V. Matrenin

Abstract—The paper considers the problem of designing software for working with optical and radiometric data collected during equipment inspection using cameras of various spectra. Existing software products allow processing and analyzing individual images in various spectra from diagnostic equipment, but do not provide their binding to equipment (for example, through identifiers) and do not assume any data model for storing images. Therefore, it leads to the problem of integrating such software with other enterprise systems (ERP systems, etc.) and the impossibility of using optical and radiometric data for a comprehensive analysis of the equipment technical state, and also complicates the systematization of information. The software architecture proposed in this paper based on a new logical data model. It allows to significantly expand the functionality of automated analysis and visualization of the results of diagnostic imaging of equipment in various spectra, including visible, infrared and ultraviolet; as well as to organize automatic binding of images to units or nodes of equipment. The solution facilitates the implementation of domestic software and robotic systems in industrial enterprises, since the large amounts of data they generate can only be processed using appropriate algorithms and software.

Keywords—software design, information system architecture, logical data model, equipment inspection, infrared inspection, ultraviolet inspection

REFERENCES

- [1] A. M. Romanov, N. Gyrichidi, M. A. Volokova, S. A. Eroshenko, P. V. Matrenin, and A. I. Khalyasmaa, “Automated mission planning for aerial large-scale power plant thermal inspection,” *Journal of Field Robotics*, vol. 41(5), pp. 1313–1348, 2024.
- [2] N. Gyrichidi, A. M. Romanov, O. V. Trofimov, S. A. Eroshenko, P. V. Matrenin, and A. I. Khalyasmaa, “GNSS-Based Narrow-Angle UV Camera Targeting: Case Study of a Low-Cost MAD Robot,” *Sensors*, vol. 24(11), pp. 3494, 2024.
- [3] X. Tao, D. Zhang, W. Ma, X. Liu, and D. Xu, “Automatic Crack Detection for Metallic Surfaces Using Convolutional Neural Networks,” *Applied Sciences*, vol. 8(9), pp. 1575, 2018.
- [4] A. Das, S. Dorafshan, and N. Kaabouch, “Autonomous Image-Based Corrosion Detection in Steel Structures Using Deep Learning,” *Sensors*, vol. 24(11), pp. 2603, 2024.
- [5] H. Zheng et al., “An Infrared Image Detection Method of Substation Equipment Combining Iresgroup Structure and CenterNet,” *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 37(6), pp. 4757–4765, 2022.
- [6] J. Zhang and W. Zhu, “Research on Algorithm for Improving Infrared Image Defect Segmentation of Power Equipment,” *Electronics*, vol. 12(7), pp. 1588, 2023.
- [7] H. Zheng et al., “Arbitrary-Oriented Detection of Insulators in Thermal Imagery via Rotation Region Network,” *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 18(8), pp. 5242–5252, 2022.
- [8] Y. Zhang, X. Li, and J. Wang, “Automatic Hot Spot Detection in Infrared Images Using Convolutional Neural Networks,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 67(8), pp. 6785–6795, 2020.
- [9] A. G. Ovsyannikov and S. M. Korobeynikov, “Kontrol' izolyatsii po chastichnym razryadam [Insulation control by partial discharges (historical background)],” *Elektroenergiya. Peredacha i raspredeleniye [Electricity. Transmission and distribution]*, vol. 2(65), pp. 124–130, 2021.
- [10] W. Zhao, W. Liu, Y. Hu, Y. An, and Y. Li, “Extraction method of insulator discharge area in ultraviolet image and its application,” *Proceedings of the 2017 4th International Conference on Systems and Informatics (ICSAI)*, Hangzhou, 2017, pp. 857–961.
- [11] D. Zhang and S. Chen, “Intelligent Recognition of Insulator Contamination Grade Based on the Deep Learning of Ultraviolet Discharge Image Information,” *Energies*, vol. 13(19), pp. 5221, 2020.
- [12] L. Jin and D. Zhang, “Contamination Grades Recognition of Ceramic Insulators Using Fused Features of Infrared and Ultraviolet Images,” *Energies*, vol. 8(2), pp. 837–858, 2015.
- [13] R. Wang and L. Xu, “Line-of-Sight Temperature Profile Reconstruction of Axisymmetric Laminar Flame by Multispectral Dispersion Spectroscopy,” *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 73, pp. 7008108, 2024.
- [14] S. -Y. Cao, H. -L. Shen, S. -J. Chen and C. Li, “Boosting Structure Consistency for Multispectral and Multimodal Image Registration,” *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 29, pp. 5147–5162, 2020.
- [15] M. F. Meyer, J. A. Gonçalves, and A.M.F. Bio, “Using Remote Sensing Multispectral Imagery for Invasive Species Quantification: The Effect of Image Resolution on Area and Biomass Estimation,” *Remote Sensing*, vol. 16(4), pp. 652, 2024.
- [16] N. Sharma, B. P. Banerjee, M. Hayden, and S. Kant. “An Open-Source Package for Thermal and Multispectral Image Analysis for Plants in Glasshouse,” *Plants*, vol. 12(12), pp. 317, 2023.
- [17] L. Wunsch, M. Hubold, R. Nestler, G. Notni, “Realisation of an Application Specific Multispectral Snapshot-Imaging System Based on Multi-Aperture-Technology and Multispectral Machine Learning Loops,” *Sensors*, vol. 24(24), pp. 7984, 2024.
- [18] R. C. Martin, *Agile Software Development, Principles, Patterns, and Practices*, New Jersey:Prentice Hall, 2003.