

## Мультиспектральный синтез квазиизображений ТГц-, ИК- и СВЧ-сенсорики с использованием метода гистограмм ориентированных градиентов

А.К. Третьяков<sup>1</sup>, Р.М. Махманазаров<sup>1</sup>, Д.А. Вражнов<sup>1</sup>, Ю.В. Кистенев<sup>1</sup>, С.Э. Шипилов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

Рассмотрен подход к решению задачи мультиспектрального синтеза квазиизображений ТГц-, ИК- и СВЧ-сенсорики (каналов данных) для извлечения информативных признаков из экспериментальных данных, регистрируемых от подповерхностных объектов. Предложен унифицированный конвейер предварительной обработки данных. Реализована гибридная схема приведения разнородных данных к единой шкале единиц измерения путем извлечения градиентных карт из квазиизображений методом гистограмм ориентированных градиентов. Синтез однородных данных осуществлен путем построения 3-мерного многообразия при помощи попарной корреляции рассчитанных градиентных карт.

**Ключевые слова:** ТГц-спектроскопия, ИК-спектроскопия, СВЧ-спектроскопия, слияние разнородных данных, метод гистограмм ориентированных градиентов, машинное обучение, дистанционное зондирование.

### Введение

Задача дистанционного зондирования приповерхностного слоя почвы для поиска искусственных предметов (далее, целевых объектов или ЦО) сопряжена с рядом трудностей. Детектируемые ЦО изготовлены из разных материалов и требуют специфических методов сенсорики. Отдельные физические свойства ЦО могут быть схожи с окружающей его средой. Кроме того, ЦО могут быть заслонены другими объектами, что искажает отклик от ЦО при зондировании. Решением перечисленных проблем может быть использование массива сенсоров, которые нацелены на измерение широкого спектра физических свойств (мультиканальные системы) [1, 2]. Это позволит повысить количество регистрируемых признаков наличия или отсутствия ЦО [3].

Для проведения анализа экспериментальных данных подобных мультиканальных систем в настоящее время выделяют два подхода – объединение разнородных и однородных данных [4, 5]. К однородным относят данные от сенсоров, представленные одной единицей измерения. Примером могут служить размеры объекта, оцененные линейкой и лазерным дальномером. Слияние однородных данных чаще всего осуществляется при помощи схем с весами, определяющих вклад каждого канала данных в результирующее значение.

Для анализа разнородных данных требуется предварительно привести их к единой шкале единиц измерения при помощи определенного алгоритма [6]. В наибольшей степени распространен подход, в котором в качестве обозначенного алгоритма выступает обученная прогностическая модель, которая предсказывает наличие или отсутствие ЦО в терминах вероятности от 0 до 100%. Для каждого канала данных используется своя прогностическая модель на основе методов машинного обучения (МО) с учителем [7]. Разновидности описанного подхода предполагают присвоение больших весов тем прогностическим моделям, метрики качества которых выше. Анализируя набор полученных вероятностей, можно принять результирующее решение о наличии или отсутствии ЦО. К достоинствам данного подхода можно отнести отсутствие необходимости приводить данные к одной шкале единиц измерения и независимость каналов данных. К недостаткам – необходимость подбора весов для каждого канала данных при принятии результирующего решения о присутствии ЦО. В качестве входных данных для прогностических моделей используются векторы признаков (ВП). В рамках настоящего исследования ВП – это двумерные данные (квазиизображения), соответствующие различным сенсорам, где один ВП соответствует одному квазиизображению.

Альтернативным подходом является приведение данных к единой шкале единиц измерения, т.е. переход к нормированным или относительным величинам, к примеру, переход к градиентам температуры, диэлектрической проницаемости, теплопроводности и т.д. [8]. В этом случае рассчитанные между соседними пикселями градиенты исходного квазиизображения образуют карту гра-

\* Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (грант № 075-15-2024-557 от 25.04.2024 г.).