На правах рукописи

Латынцев Артём Викторович

**Разработка алгоритмов цифрового   
маркирования изображений, использующих нейронные сети при внедрении данных**

09.04.04 – Программная инженерия

Автореферат  
магистерской диссертации

Хабаровск – 2024

Общая характеристика работы

Диссертация посвящена разработке алгоритмов цифрового маркирования изображений, использующих нейронные сети при внедрении данных.

**Актуальность темы исследования**. Маркирование – процедура внедрения в объекты меток, которые называются цифровой водяной знак. ЦВЗ содержит идентификатор правообладателя и остается невидимыми для человека, но может быть обнаружен специальным ПО.

Актуальность продиктована необходимостью защиты изображений от неправомерного использования. Существующие сторонние разработки предназначены для маркирования изображения целиком. Однако не обеспечивают защиты конкретных объектов, которые часто становятся целью для извлечения и вставки.

Методы маркирования изображений можно разделить на пространственные, частотные и основанные на моментах.

Главное преимущество алгоритмов, основанных на моментах, состоит в возможности извлечения ЦВЗ из контейнера (маркированного изображения), который был подвергнут геометрическим преобразованием. Главный недостаток, в отличии от пространственных и частотных методов, – небольшой объем встраиваемой информации.

С одной стороны, незаконно извлеченные объекты, как правило, вставляются в новое изображение с применением трансформаций поворота, масштабирования, смещения. С другой – эти объекты могут иметь недостаточно большие размеры для встраивания необходимого объема идентификационной информации.

Очевидное решение заключается в применении обратных преобразований: зная изменения, которым подвергся контейнер, можно их обратить. Этот подход предлагается и исследуется в нашей работе как предварительный шаг для разработанного частотного метода. Успех в этом направлении теоретически должен расширить применимость частотных и пространственных алгоритмов маркирования, ставя под сомнение востребованность методов на основе моментов, которые испытывают трудности при встраивании информации в малые объекты, часто являющиеся целью злоумышленников.

**Цель и задачи исследования.** Цель данного исследования состоит в разработке программного средства, использующего нейросеть для точной локализации и маркирования наиболее значимых объектов изображения.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. изучение на основе литературных данных:
   1. существующих алгоритмов маркирования, их особенностей, а также методов оценки их эффективности;
   2. существующих моделей нейронных сетей для автоматического выделения объектов на изображении и формирования их масок;
   3. существующих методов для анализа трансформаций изображения (поворот, масштаб, смещение);
2. программная реализация:
   1. алгоритма автоматического выделения объектов на изоб–ражении;
   2. частотного алгоритма маркирования изображений;
   3. алгоритмов анализа трансформаций в изображениях и применение соответствующих обратных аффинных преобразо–ваний к маркированному изображению (восстановление пово–рота, масштаба, смещения);
3. экспериментальная оценка эффективности реализованных алго–ритмов.

**Научная новизна:**

1. предложено использование методов семантической сегментации для маркирования отдельных наиболее значимых объектов изобра–жения;
2. доказана эффективность использования сверточной нейросети Mask R-CNN для маркирования отдельных наиболее значимых объектов изображения;
3. предложено использование методов анализа трансформаций в качестве предварительного шага для частотных и пространственных алгоритмов маркирования;
4. разработан и исследован новый частотный алгоритм маркирования, доказана его устойчивость к сжатию;
5. разработан и исследован новый метод маркирования отдельных наиболее значимых объектов изображения, использующий разрабо–танный частотный алгоритм маркирования, доказана устойчивость метода к сжатию и аффинным преобразованиям;
6. доказана эффективность использования преобразования Фурье-Меллина в качестве предварительного шага для разработанного час–тотного алгоритма маркирования;
7. предложен и исследован метод для алгоритмов маркирования, обеспечивающий дополнительную устойчивость маркированного изображения к атакам зашумления;
8. исследованы методы анализа трансформаций: ORB и преобра–зование Фурье-Меллина, доказана лучшая стабильность, но незна–чительно худшая точность ORB.

**Теоретическая и практическая значимость**. Предложенный метод маркирования в значительной мере усиливает безопасность и, следовательно, применимость маркирования как процедуры, применяемой для защиты авторских прав. Существовавший ранее подход маркирования изображений целиком не создавал реальных препятствий для незаконного использования авторских изображений, а лишь давал мнимое ощущение безопасности. Так, например, все пространственные и частотные алгоритмы не устойчивы даже к небольшому изменению угла поворота, а методы на основе моментов – к сжатию изображений. Кроме того, целью для незаконного использования зачастую становятся отдельные объекты, вставляемые в новое изображение. Извлечь ЦВЗ в таких случаях ранее не было возможным. Разработанный и исследованный на практике метод маркирования лишен данных недостатков. Он использует преобразование Фурье-Меллина для восстановления транс–формаций объекта, извлеченного с помощью сверточной нейросети Mask R-CNN, и устойчивый к сжатию частотный алгоритм. Поэтому может быть применен для относительно небольших объектов, подвергнутых различным атакам (сжатие, аффинные преобразования, шумы), обеспечивая при этом незаметность встраивания наряду с большим объемом встраиваемой информации.

На фоне пространственных и частотных алгоритмов, алгоритмы на основе моментов обладали лишь одним значимым преимуществом: ограниченной устойчивостью к аффинным преобразования. Доказанная эффективность использования методов анализа трансформаций в качестве предварительного шага для частотного алгоритма ставит под сомнение использование методов на основе моментов.

На практике маркированные изображения подвергаются зашумлению. Предложенный и исследованный метод обеспечения дополнительной устойчивости маркированного изображения к атакам зашумления может быть применен к любому типу алгоритмов маркирования, усложняя попытки скомпрометировать процедуру извлечения ЦВЗ.

**Методология и методы исследования**. В работе использована теория искусственных нейронных сетей, теория маркирования изображений, методы обработки изображений, методы анализа трансформаций изображений, в том числе методология экспериментальных исследований с применением компьютерных технологий. Все программы, созданные на основе разрабо–танных алгоритмов, написаны на языке программирования Python 3.11.

**Основные положения, выносимые на защиту**:

1. использования сверточной нейросети Mask R-CNN позволило маркировать отдельные наиболее значимые объекты изображения;
2. методы анализа трансформаций могут успешно использоваться в качестве предварительного шага для частотных и пространственных алгоритмов маркирования;
3. разработанный частотный алгоритм маркирования позволят встраивать в изображения большие объемы информации, сохраняя незаметность и устойчивость ЦВЗ;
4. разработанный метод маркирования отдельных наиболее значимых объектов изображения, использующий разработанный частотный алгоритм маркирования, устойчив к сжатию и аффинным преобразованиям;
5. разработанный метод для обеспечения дополнительной устой–чивости маркированного изображения позволяет усилить защиту от атак зашумления и может быть применен для любых алгоритмов маркирования;
6. использование преобразования Фурье-Меллина оправдано при строгих требованиях автономности использования и точности определения трансформаций изображений;
7. использование метода ORB оправдано при условии ручной подстройки параметров фильтрации и требовании стабильности определения трансформаций изображений.

**Апробация работы и публикации.** Основные результаты докладывались на «V региональной научно-практической конференции» (г. Хабаровск, 2024). По материалам работы опубликована статья в журнале «ТОГУ-Старт: фундаментальные и прикладные исследования молодых».

**Объем и структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников и двух приложений. Полный объем диссертации составляет 92 страницы, включая 47 рисунков и 8 таблиц. Список использованных источников содержит 40 наименований.

Содержание работы

**Во введении** описывается актуальность исследований, определяются цель и задачи, обосновывается научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы.

**Первая глава** посвящена изучению предметной области. Приведены основный понятия, методы для анализа трансформаций изображений, метрики для оценки качества/незаметности встраивания и извлечения ЦВЗ. Также рассмотрены вейвлет и дискретное косинусное преобразования, сингулярное разложение матриц, что является теоретической основой исследования и используется в разработанных алгоритмах.

**Во второй главе** приведено описание и схемы работы для разрабо–танного метода маркирования отдельных наиболее значимых объектов изображения и, в частности, для используемого им частотного алгоритм маркирования. Данные алгоритмы используются в практической части исследования (в третьей и четвертой главах).

**Третья глава** наглядно демонстрирует пример работы программы, разработанной для внедрения и извлечения ЦВЗ и использующей алгоритмы, описанные во второй главе. Рассмотрены результаты тестирования разработанных методов путем сравнения качества исходного и маркированного изображений, исходного и извлеченного ЦВЗ. Приведено подробное описание технической реализации программы.

**Четвертая глава** демонстрирует пример работы программы, разработанной для анализа трансформаций изображений с применением методов ORB и преобразования Фурье-Меллина. Проведено тестирование и сравнение найденных с помощью данных методов трансформаций в равных условиях, т.е. на одних и тех же изображениях. Приведено подробное описание технической реализации программы.

**В заключении** приведены основные результаты, полученные в дис–сертационном исследовании.

**Приложение А** включает реализованные классы и функции разрабо–танных программ.

**Приложение Б** содержит проверку на заимствования.

**Публикации автора по теме диссертации**. Латынцев А.В., Вихтенко Э.М. ТОГУ-Старт: фундаментальные и прикладные исследования молодых // Применение алгоритмов ORB и преобразования Фурье-Меллина для восстановления исходных характеристик изображения. 2024.