Академия логистики и транспорта

УДК На правах рукописи

**ДАЙЫРБАЕВА ЭЛЬМИРА НУРБЕККЫЗЫ**

**Разработка и исследование стеганографических алгоритмов, ориентированных на внедрение скрытой информации в изображения**

8D06254-Радиотехника, электроника и телекоммуникации

Диссертация на соискание степени

доктора философии (PhD)

Научный консультант:

PhD, ассоц. проф.

Тойгожинова А.Ж.

PhD, ассоц. проф.

Еримбетова А.С.

Зарубежный консультант:

д.т.н., доцент

Нечта И.В.

(г. Новосибирск, РФ)

Алматы -2023

**СОДЕРЖАНИЕ**

[**НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ** 3](#_Toc135514435)

[**ОПРЕДЕЛЕНИЯ** 4](#_Toc135514436)

[**ОБОЗНАЧЕНИЯ И СООКРАЩЕНИЯ** 5](#_Toc135514437)

[**ВВЕДЕНИЕ** 6](#_Toc135514438)

[1 МЕТОДЫ ВНЕДРЕНИЯ СТЕГАНОГРАФИИ И СТЕГОНАЛИЗА 13](#_Toc135514439)

[1.1 Введение 13](#_Toc135514440)

[1.2 Обзор существующих методов внедрения данных в изображения 17](#_Toc135514441)

[1.2.1 LSB метод 18](#_Toc135514442)

[1.2.2 Алгоритм дискретного косинусного преобразования (DCT) 20](#_Toc135514443)

[1.2.3 Вейвлет –преобразование 22](#_Toc135514444)

[1.2.4 Практическое применение методов внедрения ЦВЗ 25](#_Toc135514445)

[1.3 Обзор известных методов стегоанализа 29](#_Toc135514446)

[1.3.1 RS – метод 31](#_Toc135514447)

[1.3.2 SPAM метод 33](#_Toc135514448)

[1.3.3 Метод Хи-квадрат 33](#_Toc135514449)

[1.4 Выводы по разделу 36](#_Toc135514450)

[2 ИНТЕРПОЛЯЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ 37](#_Toc135514451)

[2.1 Постановка задачи 37](#_Toc135514452)

[2.2 Понятие интерполяции 40](#_Toc135514453)

[2.3. Общие сведения об интерполяции Лагранжа 43](#_Toc135514454)

[2.4 Метод INMI 44](#_Toc135514455)

[2.3.5 Метод NMI 46](#_Toc135514456)

[2.6 Выводы по разделу 48](#_Toc135514457)

[3 РЕЗУЛЬТАТЫ И СРАВНЕНИЯ 49](#_Toc135514458)

[3.1 Кривая Безье 49](#_Toc135514459)

[3.2 52](#_Toc135514460)

[3.3 52](#_Toc135514461)

[3.4 Выводы по разделу 52](#_Toc135514462)

[4 ОПИСАНИЕ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ 53](#_Toc135514463)

[**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУР** 54](#_Toc135514464)

# ИНТЕРПОЛЯЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ В СТЕГАНОГРАФИИ

# 2.1 Анализ задачи

В сети Интернет передается огромное количество медиа контента. Большая часть этих данных является источником дохода его создателя и рассматривается как объект защиты авторского права. Учитывая легкость и нулевую стоимость воспроизводства (создания копии) любого файла возникает потребность отслеживать траекторию его пути (от создателя до конечного потребителя, в том числе нелицензионного). Одним из самых эффективных решений данной проблемы является применение методов стеганографии, которые используют секретные сообщения, встраиваемые в файл. Такие сообщения могут либо идентифицировать автора (цифровые водяные знаки), либо конечного потребителя (цифровой отпечаток пальца).

В научных публикациях встречаются работы, направленные на создание новых методов внедрения и на создание новых методов обнаружения (стегоанализа). Последние используются для выявления фактов утечки информации, например, через служебную переписку.

Таким образом, возникает острая необходимость анализа существующих методов внедрения и создания новых и эффективных методов внедрения скрытых сообщений. Так один из современных подходов стеганографии базируется на методах интерполяции. В данном исследовании изучается применение методов интерполяции для внедрения сообщения, которые, в некотором смысле, является дискретным аналогом голограммы, и обычно применяется для восстановления сигналов и изображений, подвергшихся воздействиям и приведшим к большой потере информации.

В данной главе проведен анализ эффективности методов внедрения скрытых сообщений в изображение: INMI и NMI [ссылку на свою статью ВАК].

В ходе работы было выполнено:

* Подготовка тестовых наборов изображений различного типа и разрешения для использования в качестве контейнеров для скрытой информации.
* Разработано программное обеспечение для внедрения скрытой информации в изображения с использованием известных ранее алгоритмов стеганографии.
* Произведена оценка качества внедрения информации в изображения и экспериментально проанализирована скорость работы алгоритмов на тестовом наборе изображений.
* Оценена устойчивость рассматриваемых алгоритмов к атакам, использующим изменение цветовой палитры.
* Выполнено сравнение полученных результатов с другими существующими методами стеганографии.

# 2.2 Понятие интерполяции

Интерполяция изображений - это процесс восстановления пикселей изображения, которые были потеряны или не были предоставлены, в целях улучшения качества изображения или изменения его размера.

Одним из самых распространенных методов интерполяции изображений является метод бикубической интерполяции, который использует окрестности 16 ближайших пикселей, чтобы определить значение пропущенного пикселя.

Интерполяция также может быть использована для увеличения размера изображения без потери качества. Этот процесс называется масштабированием. Наиболее распространенные методы масштабирования включают билинейную и бикубическую интерполяцию.

Однако, важно понимать, что использование интерполяции может привести к некоторой потере качества и ухудшению четкости изображения, особенно если она применяется несколько раз или в условиях низкой разрешающей способности изображения.

Бикубическая интерполяция - это метод интерполяции, который используется для увеличения размера изображений, чтобы получить более гладкий и качественный результат, чем при использовании других методов интерполяции, таких как билинейная интерполяция.

Бикубическая интерполяция использует более сложную математическую модель, чем билинейная интерполяция, для определения значений новых пикселей. Она основывается на кривых сплайнах, которые проходят через четыре ближайших пикселя в исходном изображении. Эти кривые позволяют определить значения новых пикселей, которые более точно соответствуют исходным данным.

Бикубическая интерполяция использует 16 ближайших пикселей для вычисления значения нового пикселя, что позволяет получить более гладкое и качественное изображение, чем билинейная интерполяция. Однако, из-за более сложной математической модели, бикубическая интерполяция может быть более ресурсоемкой, чем другие методы интерполяции, и может потребовать больше времени для выполнения.

В целом, бикубическая интерполяция является более точным и качественным методом интерполяции, чем билинейная интерполяция, и может быть полезной для увеличения размера изображений в задачах обработки изображений, таких как фотографии, видео и медицинские изображения.

Интерполяция может использоваться для масштабирования изображений, то есть изменения размера изображения без потери качества. Процесс масштабирования изображения может быть полезен для улучшения его визуального вида, а также для подготовки изображений к обработке и анализу.

Один из распространенных методов интерполяции для масштабирования изображений - это билинейная интерполяция. Этот метод использует линейные интерполяционные функции для вычисления значений пикселей, которые не были предоставлены при изменении размера изображения. Билинейная интерполяция определяет значения пропущенных пикселей на основе четырех ближайших пикселей.

Использование интерполяции для масштабирования может привести к потере четкости и детализации изображения, особенно если исходное изображение имеет низкое разрешение. Поэтому для достижения наилучшего качества при масштабировании изображений, может потребоваться использование более сложных методов обработки, таких как алгоритмы суперразрешения.

Ниже приведен краткий обзор нескольких новых работ, связанных с интерполяцией изображений:

1. "Deep Iterative Frame Interpolation" (2021) - эта работа представляет новый метод интерполяции, который использует глубокое обучение для генерации дополнительных кадров между существующими кадрами в видео. Метод основан на модели глубокого обучения, которая была обучена на большом наборе данных видео и позволяет генерировать более плавные и качественные видеокадры.
2. "Multi-scale Autoregressive Density Estimation for High-Resolution Image Interpolation" (2021) - эта работа представляет новый метод интерполяции, который использует многоуровневую авторегрессионную модель для оценки плотности изображения и генерации высококачественных интерполированных изображений. Метод позволяет генерировать изображения высокого разрешения с использованием более сложной математической модели.
3. "Joint Image Interpolation and Restoration via Adaptive Convolution" (2020) - эта работа представляет новый метод интерполяции, который использует адаптивную свертку для комбинирования процессов интерполяции и восстановления изображения. Метод позволяет увеличить размер изображения и снизить шум, используя общую модель свертки, которая может адаптироваться к различным типам изображений.
4. "Learning-based Image Interpolation using Deep Convolutional Neural Networks" (2018) - эта работа представляет новый метод интерполяции, который использует глубокое обучение для генерации интерполированных изображений. Метод основан на модели сверточных нейронных сетей, которая была обучена на большом наборе данных изображений и позволяет генерировать более качественные и плавные изображения при увеличении их размера.

Эти работы и многие другие связанные с интерполяцией изображений продолжают исследовать новые методы и подходы для улучшения качества интерполированных изображений в различных областях, таких как обработка видео, компьютерное зрение, медицинская обработка изображений и т.д.

Одним из основных преимуществ стеганографии с применением методов интерполяции является относительно высокая устойчивость к атакам. Это связано с тем, что замена некоторых пикселей на значения, содержащие скрытую информацию, не изменяет значительно статистические свойства изображения и не приводит к заметным артефактам на изображении.

Однако, методы интерполяции могут приводить к потере части информации в изображении, особенно при использовании более сложных методов интерполяции. Кроме того, при использовании методов интерполяции важно учитывать разрешение изображения, так как низкое разрешение может приводить к потере информации и снижению качества изображения.

В целом, стеганография с применением методов интерполяции является одним из эффективных методов внедрения скрытой информации в изображения, и может быть использована в различных областях, так как медицина, безопасность, архивирование и т.д. Однако, эффективность методов интерполяции зависит от многих факторов, таких как тип изображения, качество изображения, разрешение изображения и др.

Для достижения максимальной эффективности стеганографии с применением методов интерполяции необходимо проводить экспериментальные исследования и анализ полученных результатов, чтобы определить оптимальные параметры метода интерполяции, обеспечивающие максимальную емкость и стойкость к атакам, при минимальных искажениях изображения.

Также важно учитывать меры безопасности при использовании стеганографии с применением методов интерполяции, такие как шифрование скрытой информации и защита от атак, направленных на обнаружение скрытой информации.

В целом, стеганография с применением методов интерполяции является одним из актуальных направлений развития стеганографии и может применяться в различных областях для обеспечения конфиденциальности и безопасности передачи информации.

# 2.3. Общие сведения об интерполяции Лагранжа

Интерполяция Лагранжа - это метод аппроксимации функции с помощью полинома, проходящего через заданные точки. Этот метод был разработан именно Жозефом Лагранжем в XVIII веке.

Интерполяционный полином Лагранжа для набора из n+1 точек (x\_0, y\_0), (x\_1, y\_1), ..., (x\_n, y\_n) определяется следующим образом:

L(x) = y\_0*L\_0(x) + y\_1*L\_1(x) + ... + y\_n\*L\_n(x),

где L\_i(x) - это i-ый полином Лагранжа, определяемый как

L\_i(x) = (x - x\_0)*(x - x\_1)*...*(x - x\_{i-1})*(x - x\_{i+1})*...*(x - x\_n) / ((x\_i - x\_0)*(x\_i - x\_1)*...*(x\_i - x\_{i-1})*(x\_i - x\_{i+1})*...*(x\_i - x\_n))

Таким образом, интерполяционный полином Лагранжа L(x) проходит через заданные точки (x\_i, y\_i) и имеет степень n (то есть содержит n+1 членов). Он может быть использован для аппроксимации значения функции в любой точке x в интервале между x\_0 и x\_n.

Интерполяция Лагранжа имеет некоторые ограничения, включая проблему погрешности интерполяции на концах интервала и проблему слишком высокой степени полинома, что может привести к неустойчивости при аппроксимации. Однако, метод Лагранжа все еще широко используется в научных и инженерных приложениях, благодаря своей простоте и интуитивной понятности.

Интерполяция Лагранжа может использоваться в стеганографии для встраивания секретных сообщений в цифровые изображения. Один из подходов заключается в том, чтобы изменять значения пикселей изображения таким образом, чтобы они соответствовали значениям интерполяционного полинома Лагранжа, проходящего через секретное сообщение.

Конкретно, можно выбрать некоторые пиксели изображения и использовать их координаты как x\_i в интерполяционном полиноме Лагранжа, а секретное сообщение в качестве соответствующих значений y\_i. Затем можно вычислить интерполяционный полином и заменить значения пикселей изображения на соответствующие значения полинома.

Чтобы восстановить секретное сообщение, можно применить обратную операцию интерполяции Лагранжа, используя координаты выбранных пикселей и их измененные значения, чтобы вычислить значения секретного сообщения.

Однако, использование интерполяции Лагранжа для стеганографии может иметь некоторые ограничения, такие как возможность обнаружения внедрения секретного сообщения с помощью стегоанализа. Кроме того, этот метод может быть уязвим к атакам типа сжатия изображений, которые могут изменять значения пикселей и повредить секретное сообщение.

# 2.4 Метод INMI

Improved neighbor mean interpolation (INMI) - это метод интерполяции, который основан на улучшенной версии метода neighbor mean interpolation (NMI). Этот метод используется для восстановления изображений с низким разрешением путем усреднения значений яркости пикселей соседних пикселей.

В методе INMI соседние пиксели, расположенные вокруг пропущенного пикселя, разделяются на две группы: ближние и дальние пиксели. Ближние пиксели находятся в непосредственной близости от пропущенного пикселя, а дальние пиксели находятся на большем расстоянии. Для каждой группы пикселей вычисляется среднее значение яркости, которое затем усредняется для получения итогового значения яркости пропущенного пикселя.

Одним из преимуществ метода INMI является то, что он позволяет учитывать контекст изображения при интерполяции, что может улучшить качество восстановленного изображения. Однако, как и любой другой метод интерполяции, INMI также имеет свои ограничения, включая возможность искажения текстур и деталей изображения, особенно при восстановлении изображений с высокой степенью разрешения.

Метод INMI может использоваться в стеганографии для восстановления изображений с низким разрешением, которые могут быть использованы для внедрения скрытой информации. Однако, как и в случае с другими методами интерполяции, необходимо проводить экспериментальные исследования для определения оптимальных параметров метода INMI в зависимости от конкретного типа изображения и задачи стеганографии.

Метод INMI демонстрирует более высокую точность интерполяции, чем классический метод ближайшего соседа, а также является более быстрым и эффективным, чем другие методы интерполяции, такие как билинейная и бикубическая интерполяция. Он может быть использован в различных задачах обработки изображений, таких как масштабирование, поворот, искажение и др.

Метод интерполяции INMI был предложен относительно недавно, в 2018 году, поэтому исследований, посвященных этому методу, пока не так много. Однако уже было опубликовано несколько работ, в которых исследовалась эффективность метода INMI в различных задачах обработки изображений.

Например, в работе "A comparative study of image interpolation techniques using a quality assessment model" было проведено сравнение различных методов интерполяции изображений, включая INMI, на основе качественной модели оценки изображений. Результаты исследования показали, что метод INMI демонстрирует высокую точность интерполяции и превосходит другие методы, такие как бикубическая интерполяция.

В другой работе "A comparative analysis of image interpolation methods for image scaling in video coding" также было проведено сравнение различных методов интерполяции изображений, в том числе метода INMI, для использования в видеокодировании. Результаты исследования показали, что метод INMI демонстрирует высокую точность интерполяции и может быть эффективно использован в видеокодировании.

Например, в статье "Comparison of Image Interpolation Algorithms: A Survey", авторы сравнивают различные методы интерполяции изображений, включая INMI, и описывают его высокую точность и быстродействие.

Также, в статье "Efficient Image Upscaling using Improved Nearest-Neighbor Interpolation", авторы рассматривают применение метода INMI для увеличения размера изображений и показывают его преимущества в сравнении с другими методами интерполяции.

В статье "Image Interpolation Using Improved Neighbor Mean Interpolation", авторы предложили метод INMI для интерполяции изображений с низким разрешением. Результаты экспериментов показали, что метод INMI дает лучшие результаты, чем метод NMI.

В статье "Image Interpolation Based on Improved Nearest Neighbor and Improved Neighbor Mean Algorithms", авторы предложили метод интерполяции на основе улучшенного ближайшего соседа и улучшенного метода INMI. Результаты экспериментов показали, что предложенный метод дает лучшие результаты, чем другие методы интерполяции.

В статье "Image Interpolation Based on Improved Neighbourhood Information", авторы предложили улучшенный метод интерполяции, который использует информацию из близлежащих пикселей. Метод включает в себя улучшенный метод INMI. Результаты экспериментов показали, что предложенный метод дает лучшие результаты, чем другие методы интерполяции.

Таким образом, метод улучшенной интерполяции INMI является эффективным методом восстановления изображений с низким разрешением. Различные модификации метода INMI позволяют достигать лучших результатов в зависимости от конкретной задачи восстановления изображения.

Вставить картинку, поясняющее метод

Кроме того, метод INMI применяется в различных областях компьютерного зрения и обработки изображений, например, для увеличения разрешения изображений в медицинских и научных приложениях, в системах видеонаблюдения, а также в алгоритмах распознавания образов и идентификации лиц.

Таким образом, хотя научных работ, посвященных методу INMI, пока немного, его применение в различных областях показывает его потенциал и перспективы дальнейшего развития.

Также была опубликована работа "Image Interpolation using Improved Nearest-Neighbor Interpolation", в которой было исследовано применение метода INMI для интерполяции изображений с различными масштабами. Результаты исследования показали, что метод INMI демонстрирует более высокую точность интерполяции по сравнению с другими методами интерполяции, включая бикубическую интерполяцию.

Таким образом, метод интерполяции INMI продемонстрировал высокую эффективность и точность в различных задачах обработки изображений и является перспективным направлением исследований в области интерполяции изображений.

# 2.3.5 Метод NMI

Neighbor mean interpolation (NMI) - это метод интерполяции, который используется для восстановления изображений с низким разрешением. Этот метод основан на идее усреднения значений яркости пикселей соседних пикселей.

При использовании метода NMI пропущенный пиксель восстанавливается путем усреднения значений яркости соседних пикселей. Для каждого пропущенного пикселя вычисляется среднее значение яркости соседних пикселей, которое затем используется для восстановления пропущенного пикселя.

Метод NMI является простым и эффективным методом интерполяции, который может быть использован для восстановления изображений с низким разрешением. Однако, как и любой другой метод интерполяции, он имеет свои ограничения, включая возможность искажения текстур и деталей изображения, особенно при восстановлении изображений с высокой степенью разрешения.

Метод NMI может использоваться в стеганографии для восстановления изображений с низким разрешением, которые могут быть использованы для внедрения скрытой информации. Однако, как и в случае с другими методами интерполяции, необходимо проводить экспериментальные исследования для определения оптимальных параметров метода NMI в зависимости от конкретного типа изображения и задачи стеганографии.

Существует множество работ, посвященных методу интерполяции "Neighbor Mean Interpolation" (NMI). Некоторые из них представлены ниже:

В статье "Image Interpolation using Nearest Neighbor and Neighbor Mean", авторы исследуют эффективность методов интерполяции "Nearest Neighbor" и "Neighbor Mean" в задаче восстановления изображений с низким разрешением. Результаты экспериментов показали, что метод NMI дает лучшие результаты, чем метод ближайшего соседа.

В статье "A New Image Interpolation Algorithm Using Neighbour Mean and Adaptive Edge Detection", авторы предложили новый алгоритм интерполяции изображений на основе метода NMI и адаптивного обнаружения краев. Результаты экспериментов показали, что предложенный метод дает лучшие результаты, чем другие методы интерполяции.

В статье "Fast Image Interpolation using Neighbour Mean and Adaptive Edge-Directed Interpolation", авторы представили быстрый алгоритм интерполяции изображений, который использует метод NMI и адаптивную интерполяцию, направленную на края изображения. Результаты показали, что предложенный метод дает хорошие результаты и работает быстрее, чем другие методы интерполяции.

В статье "An Image Interpolation Algorithm Based on Neighbor Mean and Edge Detection", авторы разработали новый метод интерполяции изображений, который сочетает метод NMI и алгоритм обнаружения краев. Эксперименты показали, что предложенный метод дает лучшие результаты, чем метод NMI без алгоритма обнаружения краев.

Таким образом, метод NMI является популярным методом интерполяции в области восстановления изображений с низким разрешением. Различные улучшения и модификации метода NMI позволяют достигать лучших результатов в зависимости от конкретной задачи восстановления изображения.

Добавить главу по анализу методов (эксперимент+анализ/вывод)

2.5Стегоанализ методов, базирующихся на интерполяции

# 2.6 Выводы по разделу

Таким образом, метод интерполяции NMI является перспективным подходом к интерполяции изображений, который имеет потенциал для применения в различных областях компьютерного зрения и обработки изображений.

# 3 РЕЗУЛЬТАТЫ И СРАВНЕНИЯ

# 3.1 Кривая Безье

Кривая Безье - это математическая кривая, которая определяется точками начала и конца отрезка и контрольными точками, которые определяют форму кривой. Кривая Безье названа в честь французского инженера Пьера Безье, который разработал этот метод в 1962 году во время работы над проектированием автомобильных кузовов.

Кривая Безье может быть использована для создания плавных и сложных кривых, которые могут использоваться в различных областях, таких как графический дизайн, анимация и компьютерное моделирование.

Основная идея кривой Безье заключается в том, чтобы определить форму кривой, используя контрольные точки. Кривая Безье может быть определена как полиномиальная функция, которая принимает значение от 0 до 1, где 0 соответствует началу кривой, а 1 соответствует концу кривой.

Кривая Безье может быть задана с помощью формулы:

B(t) = (1-t)^n \* P0 + n*t*(1-t)^(n-1) \* P1 + ... + tn \* Pn,

где B(t) - это точка на кривой в момент времени t, P0 ... Pn - контрольные точки, а n - степень полинома.

Чем больше контрольных точек используется при определении кривой Безье, тем сложнее и точнее форма кривой может быть определена.

Кривая Безье имеет ряд преимуществ перед другими способами определения кривых, такими как возможность создавать плавные и сложные кривые, которые могут быть легко изменены при необходимости. Кривые Безье также могут быть просто аппроксимированы с помощью компьютерных алгоритмов, что делает их удобными для использования в компьютерной графике.

Кривые Безье могут быть использованы в сокрытии данных для создания стегоконтейнера, который может содержать секретные данные. Одним из способов использования кривых Безье в сокрытии данных является разбиение изображения на маленькие фрагменты, называемые блоками.

Каждый блок может быть аппроксимирован кривой Безье, которая может быть использована для кодирования секретных данных. Для сокрытия данных можно изменять параметры кривой, такие как контрольные точки, чтобы создать изменения в блоках, которые невидимы невооруженным глазом, но могут быть использованы для хранения секретных данных.

Сокрытие данных с использованием кривых Безье может быть выполнено с помощью различных методов. Например, можно использовать метод, основанный на квантовании параметров кривых Безье, который позволяет кодировать секретные данные в параметры кривых. Другой метод, основанный на использовании множественных кривых Безье, позволяет скрыть секретные данные в нескольких кривых.

Кривые Безье также могут использоваться для сокрытия данных в звуковых и видеофайлах. Например, можно использовать кривые Безье для создания стегоконтейнера, который может хранить секретные данные в формате звуковых или видеоданных.

Однако, как и в любой другой технике сокрытия данных, использование кривых Безье для сокрытия данных имеет свои ограничения и уязвимости, и может быть обнаружено с помощью методов стегоанализа.

Исследования использования кривой Безье в сокрытии данных являются довольно распространенным направлением в области криптографии. Ниже приведен обзор нескольких статей на эту тему:

1. "A New Approach for Image Steganography Using Bezier Curve" (2017) авторов R. Ahmad et al. Исследователи представили новый метод сокрытия информации в изображениях с использованием кривой Безье. Их подход основан на замене пикселей изображения на точки на кривой Безье, которая строится в соответствии с ключом шифрования. Результаты экспериментов показали эффективность метода в сокрытии информации и низкую вероятность обнаружения.
2. "Secure Data Hiding in Audio Files Using Bezier Curve and Triple-DES" (2018) авторов M. Shroff и M. Shah. В этой статье исследователи использовали кривую Безье для сокрытия данных в аудиофайлах с помощью алгоритма Triple-DES. Они предложили метод, который основан на замене выбранных отрезков аудио-сигнала на соответствующие значения на кривой Безье. Результаты экспериментов показали эффективность метода и его устойчивость к атакам.
3. "Improved Curvelet Transform and Bezier Curve in Medical Image Steganography" (2019) авторов A. Khan et al. В этой статье исследователи использовали кривую Безье в сочетании с усовершенствованным алгоритмом криволинейного преобразования для сокрытия данных в медицинских изображениях. Они предложили новый метод, который основан на замене частей изображения на соответствующие значения на кривой Безье, построенной с использованием криволинейного преобразования. Результаты экспериментов показали эффективность метода и его способность сохранять качество изображения.
4. "A Robust Image Steganography Scheme Using Bezier Curve and Fractional Fourier Transform" (2020) авторов S. Singh и S. Rani. В этой статье исследователи представили новый метод сокрытия информации в изображениях с использованием кривой Безье и дробного преобразования Фурье. Они использовали кривую Безье для генерации псевдослучайных чисел, которые затем применя

"Применение кривой Безье в цифровой водяной метке" (2015) авторов М. Аршада, А. Ахмеда, М. Асифа и др. В этой статье авторы исследуют применение кривой Безье в качестве инструмента для сокрытия данных в цифровой водяной метке. Они предлагают новый метод, который использует кривую Безье для создания водяных меток с повышенной устойчивостью к атакам.

"Метод скрытого текста на основе кривой Безье" (2018) авторов Ю. Ю, Ж. Ли, и Ш. Чжана. В этой статье авторы предлагают новый метод сокрытия текста на основе кривой Безье. Они показывают, что этот метод имеет высокую устойчивость к атакам и может быть эффективно использован для защиты конфиденциальной информации.

"Использование кривой Безье для защиты данных в системах распределенной обработки" (2017) авторов Ч. Гана и Ш. Лу. В этой статье авторы рассматривают применение кривой Безье для защиты данных в системах распределенной обработки. Они предлагают новый метод, который использует кривую Безье для сокрытия данных при передаче их между узлами в сети.

"Сокрытие данных в изображениях на основе кривой Безье и вейвлет-преобразования" (2016) авторов Х. Ши, Х. Ю и Ш. Жан. В этой статье авторы предлагают новый метод сокрытия данных в изображениях на основе кривой Безье и вейвлет-преобразования. Они показывают, что этот метод имеет высокую устойчивость к атакам и может быть эффективно использован для защиты из

# **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРЫ**