

# РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ДЛЯ КОНТРОЛЯ АРМИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОРАДАРА

Усачёв К.А.

Усачёв Константин Алексеевич – бакалавр,  
кафедра специальной робототехники и мехатроники,  
Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана, г. Москва

**Аннотация:** оценка качества и состояния железобетонных конструкций после строительства является важной проблемой для инженеров. Для преодоления существующих трудностей оценки параметров арматурной сетки был использован метод георадиолокации. В статье анализируются проблема автоматической обработки данных, полученных в результате георадиолокационного сканирования. Учитывая уровень работ в мире и основные требования к конечному продукту, предлагается разработать алгоритм, который автоматически обрабатывает радарограмму с целью детектирования элементов арматуры в бетонной стене. Для решения проблемы используются простые и достаточно известные методы обработки изображений.

**Ключевые слова:** георадиолокация, обработка радарограмм, неразрушающий контроль.

УДК 550.83

В современном мире начинают широко применяться методы неразрушающего контроля, позволяющие провести оценку параметров конструкций, не нарушая целостность бетона. Набирает популярность метод георадиолокации. Метод георадиолокации – один из основных методов изучения железобетонных конструкций и армированных покрытий. Основными преимуществами этого метода является высокая детальность и производительность, отсутствие нарушения структуры обследуемых материалов, а также возможность осуществлять площадную съемку (используется при поиске заложенных отверстий, проемов и т.д.).

В данной статье рассматривается алгоритм, который позволяет определять координаты залегания элементов арматуры первого слоя в бетонной стене. Данная проблема является актуальной, так как существующие на сегодняшний день программные продукты для улучшения данных с георадара в большинстве случаев позволяют провести только предварительную обработку данных. Программы для поиска арматурной сетки на радарограмме в автоматическом режиме практически отсутствуют, поэтому новые разработки в данной тематике представляют большой практический интерес. В ходе выполнения работы был проведен анализ существующих методов и выбран оптимальный набор алгоритмов для определения положения элементов арматуры первого слоя.

Радарограмма представляет собой массив данных в котором записан набор одиночных трасс, полученных в результате измерений в каждой точке, который может рассматриваться в виде изображения, в котором горизонтальная ось отображает расстояние в метрах, а вертикальная ось представляет собой ось времени с началом в момент посылки зондирующего импульса. Так как радарограмма представлена в виде изображения то для выделения полезного сигнала удобно пользоваться методами для обработки изображений.

Для начала необходимо избавиться от помех и переотражений от искомым объектов. Для этого к исходным данным (рис. 1) был применен метод свертки с маской.

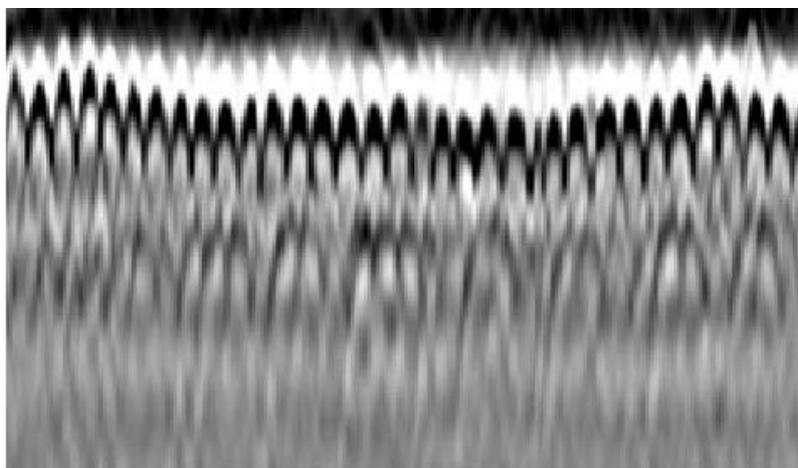


Рис. 1. Радарограмма до обработки

Свертка с маской, или линейная оконная фильтрация изображений в пространственной области, это метод, который заключается в вычислении комбинации значений точек, находящихся в окне фильтрации с коэффициентами матрицы весов фильтра, называемой также маской или ядром линейного фильтра. Традиционно, в качестве ядра свертки выбирают двумерное окно с центром в точке фильтрации.

Рассмотрим вычисление такой линейной комбинации на примере окна фильтрации размером 3x3. При этом маска фильтра представляется матрицей вида:

$$\begin{matrix} Mask_{-1,-1} & Mask_{0,-1} & Mask_{1,-1} \\ Mask_{-1,0} & Mask_{0,0} & Mask_{1,0} \\ Mask_{-1,1} & Mask_{0,1} & Mask_{1,1} \end{matrix}$$

Тогда фрагмент изображения с точкой  $Im_{0,0}$  в центре:

$$\begin{matrix} Im_{-1,-1} & Im_{0,-1} & Im_{1,-1} \\ Im_{-1,0} & Im_{0,0} & Im_{1,0} \\ Im_{-1,1} & Im_{0,1} & Im_{1,1} \end{matrix}$$

Результат такой фильтрации для данного окна будет описываться следующим выражением:

$$A_{x,y} = \sum_i \sum_j (A_{x+i,y+i} * Mask_{x+i,y+i}), \quad (1)$$

$$i = -hX..hX, \quad j = -hY..hY \quad (2)$$

Где  $hX$ ,  $hY$  – полуширина и полувысота окна фильтрации соответственно. Если применить свертку к каждому пикселю изображения, то в результате получится некий эффект, зависящий от выбранного ядра свертки.

В результате проведения эксперимента было выявлено, что для получения радарограммы без шумов и большого количества переотражений необходимо использовать ядро свертки вида 3x3. При использовании маски размером 5x5 результат является неудовлетворительным, так как полезный сигнал смазывается и возникают дополнительные сложности для интерпретации радарограммы.

На следующем этапе необходимо избавиться от оставшихся лишних деталей изображения и от толщины линий, которые не представляют дальнейшего интереса для интерпретации радарограммы. Для решения данной задачи необходимо использовать методы выделения границ. Метод выделения границ - процесс обнаружения точных разрывов яркости на изображении. Существует множество методов выделения границ, например, оператор Кирша, метод Лапласа, метод Собеля, преобразование Робертса, метод Канни [1]. В результате проведения экспериментов был выбран метод детектирования границ Канни. Метод Канни позволяет избавляться от шума на контурах, и при этом максимально сохранить границы. Алгоритм выделяет как можно больше контуров, существующих на изображении, при этом выделенные контура должны располагаться как можно ближе к границе на изображении, и каждый контур отмечается один раз и, если это возможно, не должно создаваться контуров, возникающих из-за шумов [2].

Далее необходимо привести изображение к виду, более удобному для интерпретации. Для этой цели необходимо использовать морфологические операции (эрозия, дилатация, закрытие и открытие бинарных площадей). Проанализировав и применив перечисленные методы и их комбинации, был сделан вывод, что наилучшими методами обработки для устранения разрывов является сочетание операций замыкания и эрозии [3].

Следует заметить, что области, где располагаются искомые объекты, находятся на пиках первого вхождения. Для выделения линии первого вхождения была применена простая операция для удаления нижней границы. Для этого последовательно алгоритм проходит по каждому столбцу бинарного изображения поочередно, и ищет первый пиксель, значение которого больше нуля, а остальные в этом столбце приравниваются к нулю. В результате данной операции получается изображение, в котором каждому столбцу соответствует лишь один пиксель, значение которого больше нуля.

На следующем этапе для выделения локальных максимумов необходимо преобразовать полученные данные в одномерный массив в котором каждому ненулевому элементу соответствует элемент, порядковый номер которого является номером столбца, а значение является номером строки. Далее необходимо сравнить соседние элементы и выбрать из них минимальные в окрестности из 3 элементов, именно они и являются искомыми максимумами на исходной радарограмме. После выполнения алгоритма на изображении остаются лишь точки, определяющие положение арматуры. Для наглядности максимумы изображены на исходной радарограмме (рис. 19).

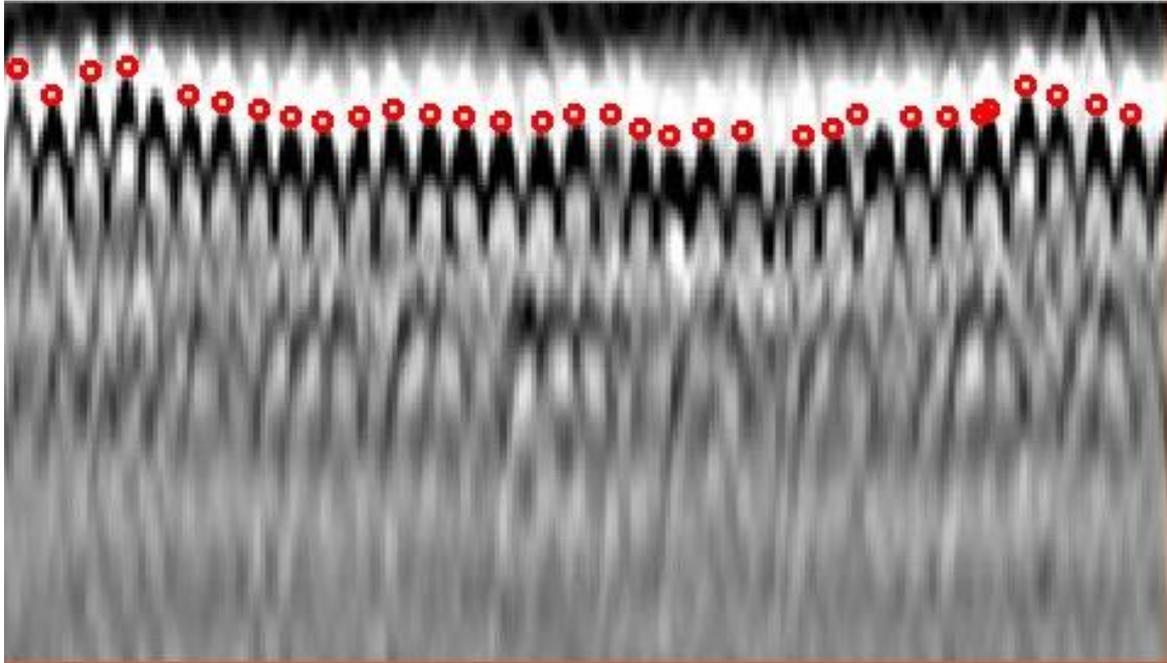


Рис. 2. Результат детектирования объектов на радарограмме

Исходя из результатов, можно получить глубину залегания и шаг арматурной сетки. При известном положении арматуры координаты залегания определяются в точках, которые нужно перевести в миллиметры. При движении по трассе отдельный локальный объект наблюдается не только в точке непосредственно над ним, но также на некотором удалении по обе стороны. Фиксируется время приема отраженного сигнала и, следовательно, можно вычислить глубину залегания объектов по формуле:

$$h = \frac{ct}{2\sqrt{\epsilon}} \quad (3)$$

где  $t$  – время задержки сигнала над объектом,  $c$  – скорость света,  $\epsilon$  - диэлектрическая проницаемость (для бетона  $\epsilon = 4.5$ )

Для определения шага арматурной сетки необходимо определить расстояние между соседними элементами арматуры. Все полученные значения сравниваются и те значения, которые значительно выбиваются из общей массы не берутся в расчет среднего шага арматурной сетки, и выводятся оператору. Оператор далее решает такой результат вызван ошибкой строителей или сбоем в программе (рис. 3). Средняя глубина залегания находится как среднее значение между строками массива в которых расположен прут арматуры (в данном случае средняя глубина 120 мм, а шаг 140 мм).

```
armatura? 4-5
armatura? 21-22
armatura? 24-25
glub=0.12m
shag=0.14m
```

Рис. 3. Результат определения шага и глубины залегания арматурной сетки

В результате проделанной работы экспериментальным путем были выбраны наиболее подходящие методы для обработки изображений, а также разработан алгоритм, который определяет наличие и координаты арматурной сетки. Для того чтобы определить характеристики разработанного алгоритма детектирования элементов необходимо провести испытания на выборке исходных данных. Проверка проводится на выборке из 14 радарограмм, с различным количеством элементов арматуры. Тестирование алгоритма проводится на программе, написанной на языке C++, с использованием пакета Open CV.

По результатам проведенных испытаний можно сделать вывод о том, что на данной выборке алгоритм определяет верно 93% объектов, а количество ложных срабатываний составляет 9%, в среднем время обработки одной трассы составляет  $t = 0.86$  мс.

#### Список литературы / References

1. *Стругайло В.В.* Обзор методов фильтрации и сегментации цифровых изображений // Наука и образование. № 5, 2012. Рр. 270-279.
2. *Sanny J.A* Computational Approach to Edge Detection // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine. Vol. 8. № 6, 1986.
3. *Горьков А.* Математическая морфология. [Электронный ресурс], 2011. Режим доступа: <https://habrahabr.ru/post/113626/> (дата обращения: 12.4.2017).