

# МНОГОСЛОЙНЫЙ ПЕРСЕПТРОН В ЗАДАЧЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПО ФАЗОВОМУ СПЕКТРУ\*

Апальков И.В., Приоров А.Л., Соколенко Е.А., Хрящев В.В.

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова  
150000, Россия, Ярославль, ул. Советская, 14. Тел. (0852) 79-77-75. E-mail: dcslab@uniyar.ac.ru

**Реферат.** Описаны нейросетевой и комплексный методы восстановления изображений по фазовому спектру. Приводятся результаты работы при наличии зашумленных входных данных. Параметры работы алгоритмов сравниваются с итерационным методом Герхберга-Закстона.

## 1. Постановка задачи

В общем случае процесс искажения / восстановления изображения можно представить следующим образом [1].

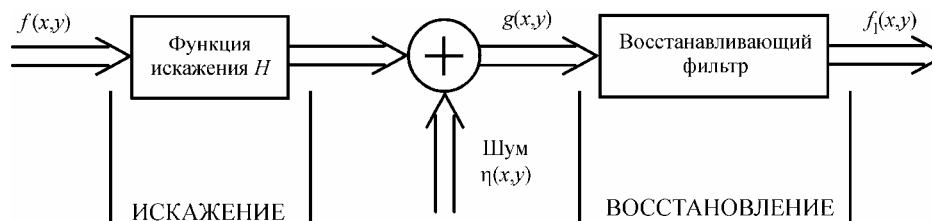


Рис. 1. Модель процесса искажения / восстановления изображений

Здесь  $f(x, y)$  — входное изображение;  $g(x, y)$  — искажённое изображение;  $f_1(x, y)$  — оценка входного изображения;  $H$  — функция искажения;  $\eta(x, y)$  — аддитивный шум.

Задача восстановления состоит в получении оценочного изображения  $f_1(x, y)$  по искажённому изображению  $g(x, y)$  и имеющейся информации о  $H$  и  $\eta(x, y)$ . В предположении если  $H$  — линейный, инвариантный к сдвигу процесс, то

$$g(x, y) = h(x, y) * f(x, y) + \eta(x, y)$$

Или в частотной области

$$G(u, v) = H(u, v) \cdot F(u, v) + N(u, v).$$

Так как, обычно мало что известно об искомом и искажающем сигналах, деконволюция двух сигналов в общем случае является сложной задачей. Однако в частном случае, когда об искажающем сигнале известно, что фаза его Фурье-образа равна нулю, спектральная фаза искомого сигнала является неискаженной [2]. Такая ситуация встречается, по крайней мере приблизительно, при длительном экспонировании через турбулентную атмосферу или в случае, когда изображения размыты из-за сильной дефокусировки линзы с круглыми диафрагмами [3].

Предложенный для решения данной задачи итерационный метод, построенный на алгоритме Герхберга-Закстона прост в реализации, однако имеет ряд недостатков [4]

- число итераций, требуемых для сходимости алгоритма достаточно велико;
- во время каждой итерации приходится вычислять прямое и обратное ДПФ, что повышает вычислительную сложность алгоритма;
- алгоритм может сходиться к разным решениям;
- возможны ситуации останова алгоритма до получения решения.

Все это делает актуальным задачу разработки новых алгоритмов восстановления изображений по фазовому спектру.

## 2. Нейросетевой метод

Нейросетевой метод основан на рассмотрении задачи восстановления изображения как задачи многомерной аппроксимации [5]. Для решения используется двухслойный персептрон, на вход которой подаются отсчеты фазового спектра неизвестного сигнала, а с выхода снимаются отсчеты самого сигнала. Обучение проводится на совокупности пар «фазовый спектр – временной сигнал», после чего нейронная сеть (НС) должна восстановить неизвестное изображение по его фазовому спектру.

Для сигналов длительностью  $M$  и  $N$ -точечным ДПФ нейронная сеть имеет  $M$  выходных нейронов и, поскольку фаза ДПФ вещественного сигнала асимметрична,  $N/2$  входов. Число нейронов в скрытом слое также равно  $N/2$ , т.е. совпадает с числом входов. Для каждого нейрона в качестве нелинейной функции активации используется сигмоидная функция [6].

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 02-02-17500)

При обучении ставилась задача так обучить сеть, чтобы она имела наилучшие обобщающие свойства. Наибольшая устойчивость сети к переобучению наблюдалась при использовании квазиньютоновского алгоритма Левенберга-Марквардта. Эффективность работы сети контролировалась по среднему и максимальному значениям среднеквадратичного отклонения сигнала, сгенерированного сетью по фазе ДПФ тестового сигнала от самого этого сигнала (рис.2).

Для проверки устойчивости методов к присутствию в изображении шума проводилось восстановление сигнала по отсчетам фазовой характеристики, к которым добавлялся белый гауссов шум с заданным отношением сигнал/шум. На рис. 3 показано среднее выходное отношение сигнал/шум в зависимости от входного для 500 сигналов. Анализ этих результатов показывает, что нейронная сеть гораздо более устойчива к присутствию шума во входных данных, чем алгоритм Герхберга-Закстона. Для него усиление шума иногда настолько преобладает над усилением полезного сигнала, что последний становится неразличимым на фоне шумов (отрицательное отношение сигнал/шум на выходе).

### 3. Комплексный метод

Был разработан и протестирован комплексный подход к проблеме восстановления амплитуды. Он работает по следующей схеме

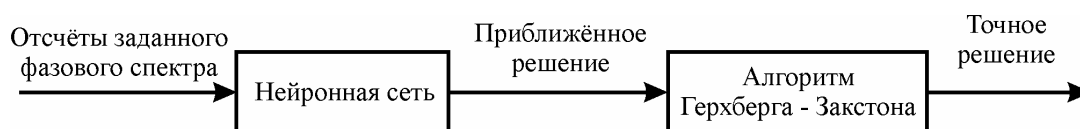


Рис.4. Комплексный метод восстановления

Объединение двух алгоритмов позволяет существенно уменьшить объём вычислений по сравнению с «чистым» методом Герхберга-Закстона. Используя комбинированный метод для данных, в которых отсутствует шум, можно обнаружить, что число итераций, необходимых для сходимости алгоритма будет в среднем в 40 раз меньше, чем при инициализации метода случайным сигналом.

В табл. 1 сравнивается время получения решения тремя методами. Видно, что нейросетевой метод работает значительно быстрее и при увеличении длительности сигнала затрачиваемое на получение решения время для него растет гораздо медленнее, чем для итерационного метода. Комплексный метод позволяет объединить достоинства двух методов — скорость нейросетевого и точность итерационного. Уменьшение времени получения решения достигается за счёт значительного уменьшения числа итераций, необходимых для сходимости итерационного метода.

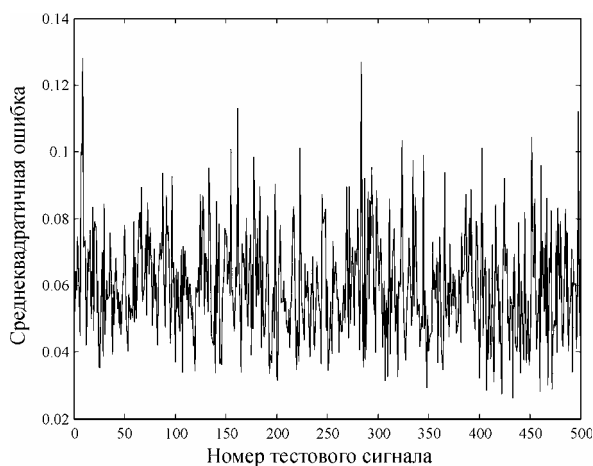


Рис. 2. Результат тестирования сети сигналами, не входившими в обучающую выборку

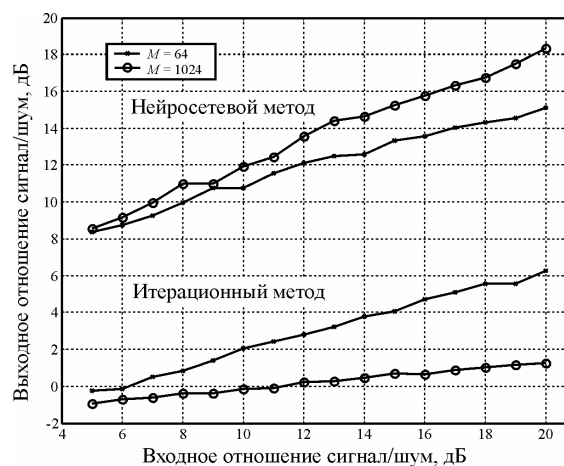


Рис. 3. Результат сравнения нейросетевого и итерационного методов при зашумленных входных данных

Таблица 1. Время получения решения для различных алгоритмов восстановления

Метод	Количество точек в изображении $M$	Число коэффициентов ДПФ $N$	Среднее значение времени выполнения
Итерационный	64	256	1.563 с
	1024	4096	45.985 с
Нейросетевой	64	256	90 мс
	1024	4096	860 мс
Комплексный	64	256	246 мс

ый	1024	4096	5.46 с
----	------	------	--------

#### **4. Выводы**

Объём вычислений, необходимых для формирования изображения по фазовой характеристике его ДПФ при помощи НС существенно меньше, чем для итерационного метода. Если шум в данных отсутствует, то метод Герхберга-Закстона предпочтительнее, т.к. позволяет получить точное решение, не содержащее ошибок. В этом случае можно уменьшить время вычислений и увеличить точность, объединив оба метода. Поскольку сигнал, получаемый на выходе НС, является очень близким к точному решению, то достаточно небольшого количества итераций для получения точного решения.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. R. Gonzalez, R.Woods, Digital Image Processing. Prentice-Hall, 2002.
2. Andrews H.C., Hunt B.R., Digital Image Restoration, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1977.
3. Реконструкция изображений. Под редакцией Г.Старка. М. Мир 1992 г., 635 с.
4. Хряшев В.В., Соколенко Е.А., Приоров А.Л. Нейросетевое восстановление амплитуды дискретного сигнала по его фазовому спектру. // 5-я Международ. конф. «Цифровая обработка сигналов и ее применение». Докл. Т.2. Москва. 2003. С.622-624.
5. Ланнэ А.А. Нейронные цепи, тринадцатая проблема Гильберта и задачи обработки сигналов // Вестник молодых ученых, 2001. №7. С. 3-26.
6. Галушкин А.И. Теория нейронных сетей. Книга 1. – М.: ИПРЖР, 2000. – 416 с.