

Исследование влияния нелинейности на итерационный алгоритм обнаружения – разрешения сложных сигналов

Чеботарев Д.В., Чеботарев А.Д.

Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого.

Хорошо известные преимущества сложных сигналов с большой базой перед простыми импульсными сигналами при решении радиолокационных задач стимулируют поиск новых видов сигналов и совершенствование методов их обработки [1], [2]. В докладе [3] изложен принцип построения итерационного алгоритма обнаружения-разрешения сложных квазинепрерывных сигналов с большой базой, который позволяет существенно снизить влияние мешающих отражений от подстилающей поверхности на обнаружение слабых сигналов. В сущности, он представляет собой циклическое выполнение операций согласованной обработки, порогового обнаружения, измерения параметров обнаруженных сигналов (задержка, доплеровский сдвиг частоты, комплексная амплитуда) и когерентной компенсации обнаруженных сигналов во входной смеси мешающих отражений, полезных сигналов и шума приемника. В этом алгоритме последовательно, начиная с наиболее мощных и заканчивая наиболее слабыми, производится обнаружение сигналов, измерение их параметров и когерентная компенсация, что устраняет маскирование слабых сигналов более сильными.

Важным условием работоспособности рассматриваемого алгоритма, при котором достигается высокая эффективность подавления мешающих отражений, является линейность приемного тракта, устройства согласованной обработки и устройства формирования компенсационного сигнала. Процедура оценки комплексных амплитуд, основанная на вычислении обратной корреляционной матрицы модулирующих последовательностей, параметры которых соответствуют задержкам и сдвигам частоты обнаруженных сигналов, также предполагает выполнение свойства линейности обработки. К сожалению, на практике обеспечение большого динамического диапазона приемных устройств с малыми нелинейными искажениями представляет собой сложную задачу, часто связанную с большими аппаратными и экономическими издержками.

В связи с этим возникает вопрос об устойчивости рассматриваемого алгоритма к нелинейным искажениям. В первую очередь это относится к нелинейности типа «ограничение амплитуды» или близких к ней, которые возникают в приемном тракте. Целью настоящей работы является модификация алгоритма обнаружения-разрешения сложных квазинепрерывных сигналов, учитывающая нелинейные преобразования сигналов, и исследование его эффективности.

Блок-схема исследуемого алгоритма приведена на рис 1. На этой схеме выделены операции нелинейного преобразования, отличающие данный алгоритм от его строго линейного варианта. Как следует из приведенной схемы, кроме нелинейного преобразования, соответствующего искажениям исходного сигнала, в алгоритм введено нелинейное преобразование компенсационного сигнала, которое должно возможно более точно повторять искажения исходного.

В этом случае уточнение истинных оценок параметров отраженных сигналов будет приводить к уменьшению ошибки компенсации, несмотря на нелинейные искажения. Благодаря псевдослучайному характеру модулирующих последовательностей мгновенные значения сигналов с различными задержками и сдвигами частоты могут, как складываться, так и вычитаться. При вычитании амплитуда входной смеси может оказаться ниже порога ограничения, что позволит произвести частичное уточнение оценок комплексных амплитуд отдельных сигналов, входящих в состав смеси. Если ограничение не настолько глубокое, что мгновенные значения входной смеси ниже уровня ограничения полностью отсутствуют, то существуют предпосылки сохранения работоспособности итерационного алгоритма с некоторым ухудшением характеристик по сравнению с линейным вариантом.

Исследование итерационного алгоритма с нелинейностями производилось на имитационной статистической модели, реализованной в вычислительной среде MatLab. В качестве нелинейности, описывающей амплитудную характеристику приемника, рассматривались три функции:

- идеальный ограничитель;

$$f_1(x) = \begin{cases} x & \text{если } x < 1 \\ 1 & \text{если } x \geq 1 \end{cases} \quad (1)$$

- смещенный логарифм;

$$f_2(x) = \ln(x + 1) \quad (2)$$

- сигмоидная функция, сочетающая свойства первых двух характеристик –фиксированный уровень ограничения и плавный переход к нему от линейного участка.

$$f_3(x) = \frac{2}{1 + e^{-2x}} - 1 \quad (3)$$

Для количественной характеристики влияния нелинейного преобразования на случайный сигнал введем определение степени компрессии:

$$K = 20 \lg \left(\frac{\sigma_{вх}}{\sigma_{вых}} \right), \text{ дБ} \quad (3)$$

где $\sigma_{вх}$ и $\sigma_{вых}$ среднеквадратическое значение сигнала на входе и выходе нелинейного преобразователя, соответственно.

В качестве показателя эффективности подавления мешающих отражений использовалась относительная среднеквадратическая ошибка компенсации η_k :

$$\eta_k = 20 \lg \left(\frac{\sigma_{исх}}{\sigma_{ош}} \right), \text{ дБ} \quad (4)$$

где $\sigma_{исх}$ - среднеквадратическое значение исходной смеси помех, сигналов и шума, прошедших нелинейное преобразование; $\sigma_{ош}$ - среднеквадратическое значение ошибки компенсации.

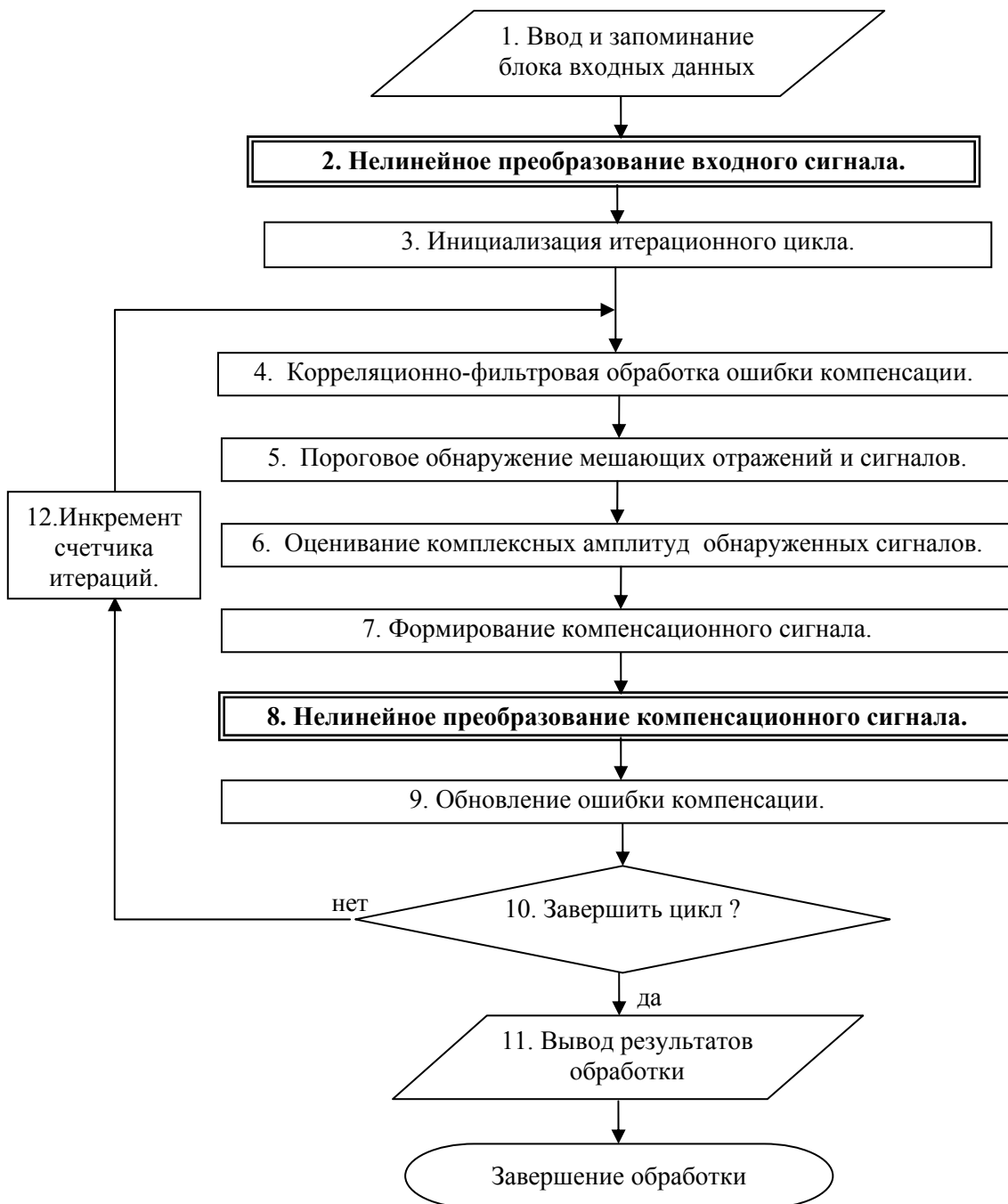


Рис 1 Блок-схема итерационного алгоритма компенсационной обработки сигналов с нелинейными искажениями

На рис 2 представлены результаты моделирования в виде семейства кривых, отражающих зависимость

ошибки компенсации η_k от количества итераций i при различной степени компрессии K . Эти результаты получены для нефлюктуирующих отражений, мощность которых убывает пропорционально кубу расстояния. Моделировался квазинепрерывный режим излучения и приема со средней скважностью 5. База квазинепрерывного фазоманипулированного сигнала $N=1024$, количество анализируемых элементов разрешения по дистанции $ND_{\max}=128$, по скорости - $KF_{\max}=64$. Мощность шума приемника на 80 дБ ниже суммарной мощности отраженных сигналов. В качестве нелинейного преобразователя использовался идеальный ограничитель.

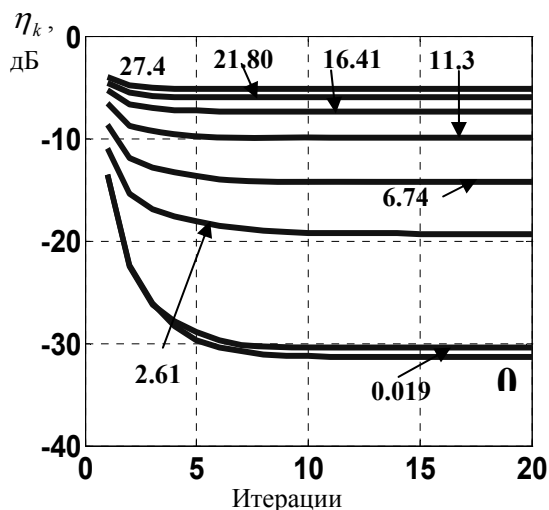


Рис. 2

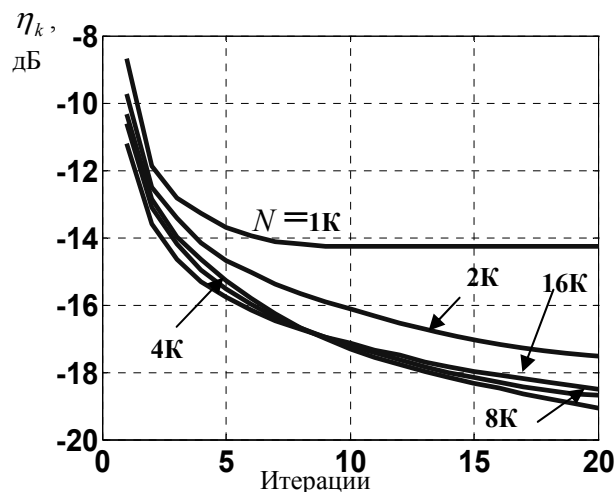


Рис. 3

Как видно из рисунка 2 количество итераций, требуемое для сходимости алгоритма, не превышает 9. Влияние амплитудного ограничителя сводится к постепенному возрастанию ошибки компенсации при увеличении степени компрессии без замедления итерационного процесса. Это объясняется подавлением слабых сигналов более сильными в области ограничения. Таким образом, алгоритм не теряет работоспособности даже при высокой степени компрессии, но эффективность компенсации помех при этом снижается. Аналогичные характеристики, полученные при использовании нелинейностей, описанных выражениями (2) и (3), показали лучшие результаты при большой степени компрессии, особенно логарифмическая амплитудная характеристика.

Влияние базы сложного сигнала на ошибку компенсации иллюстрируется графиками, приведенными на рис. 3. На нем изображено семейство кривых ошибки компенсации η_k в зависимости от количества итераций i для разных баз сигнала N . Степень компрессии K в данном случае фиксирована и равна 6.74 дБ. Мы видим возрастание эффективности компенсации при увеличении базы сигнала, сопровождаемое увеличением количества итераций. Однако, начиная с некоторого значения базы, в данном случае с $N = 4K$, влияние базы снижается. Скорость спадания кривых на рис. 3 во многом зависит от весовой функции, накладываемой на сигнал и формы функции рассеяния. С увеличением базы сигнала возрастает количество отдельно разрешаемых элементов функции рассеяния, что приводит к уменьшению скорости спадания ошибки компенсации. Такая ситуация показана на рисунке 3, где пересекаются кривые с базами 8К, 16К и 4К. Если использовать априорную информацию о распределении целей и мешающих отражений, то можно повысить скорость сходимости алгоритма, сузив диапазон доплеровских сдвигов частоты.

В результате проведенных исследований:

- модифицирован итерационный алгоритм обнаружения-разрешения сложных квазинепрерывных сигналов, для учёта нелинейных преобразований происходящих во входном тракте приемника;
- рассмотрены 3 типа нелинейного преобразования для имитации наиболее распространенных искажений;
- исследована эффективность подавления мешающих отражений при наличии искажений сигнала, вызванных амплитудным ограничением, в зависимости от степени компрессии и базы сигнала.

Литература

1. 1 Levanon N., Mozeson E. Radar signals – Hoboken NJ.: John Wiley & Sons Inc., 2004, - 411p.
2. Гантмахер В.Е., Быстров Н.Е., Чеботарев Д.В. Шумоподобные сигналы. Анализ, синтез, обработка - СПб.: Наука и техника, 2005, -400с.
3. Чеботарев Д.В. Итерационный алгоритм обнаружения-разрешения сложных сигналов. Материалы конференции DSPA-2006.

Nonlinearity influence for iterative algorithm of pseudo-random signal detection-resolution

Chebotarev D., Chebotarev A.

Novgorod State University named Yaroslav-The-Wise.

In reference [1] the principle of iterative algorithm of pseudo-random signal detection-resolution is described. The most important condition for operation of the algorithm is linear amplitude characteristic of receiving path, matched filter and generator of compensational signal. Unfortunately, combination of wide dynamic range and low distortion – is a great problem in practice. So stability issue of the considered algorithm to nonlinear distortion comes up. Most frequently kind of amplitude characteristic in this case is magnitude limiter. The aim of this research work is modification of iterative algorithm of pseudo-random signal detection-resolution provided nonlinear modifying input signal and estimation of its efficiency.

The difference of the modified algorithm from the linear one is nonlinear modification of compensation signal. Differences between distortions of compensation signal and input signal should be minimal.

In this case adjusted estimation value of echo-signal parameters will minimize the compensation error, in spite of nonlinear distortion. Momentary signal values with different signal delays and frequency shifts may sum up or subtract, due to pseudo-random character of modulating sequence. If distortion of signal is not gross, modified algorithm can still be operable with some deterioration of the characteristics, in contrast with linear version of algorithm.

Thus, the results of research are as follows:

- iterative algorithm of pseudo-random quasi-continuous signals detection-resolution is modified; the algorithm has reduced sensitivity to nonlinear distortion of the input signal;
- for imitation of the most wide-spread distortions three types of nonlinear transformation are examined;
- the efficiency of clutter suppression with nonlinear signal distortion is investigated. The behaviour for the number of iterations on various signal bandwidth-duration product and signal compression level are determined.

REFERENCES

1. Chebotarev D. Iterative algorithm of pseudo-random signal detection-resolution. Materials of conference DSPA-2006.