

# АЛГОРИТМЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ АНАЛОГОВОГО СИГНАЛА С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТСЧЕТОВ ПРОИЗВОДНОЙ

Кириллов С.Н., Бузыкканов С.Н.

Рязанская Государственная Радиотехническая Академия.  
390024 Рязань, ул. Гагарина, д.59, каф РУС.  
т.(0912)36-82-44, e-mail: snk@rinf.ryazan.ru.

Реферат: Рассмотрены алгоритмы восстановления аналогового сигнала с использованием информации о его производной в цифровых системах обработки. Показано, что использование данных алгоритмов позволяет упростить практическую реализацию систем восстановления сигнала. При одинаковой частоте дискретизации точность восстановления по критерию среднеквадратического отклонения оказывается выше, чем при использовании алгоритмов на основе теоремы Котельникова.

**Введение.** Алгоритмы цифровой обработки сигналов [1] в современных радиотехнических системах часто используются для решения обратной задачи- восстановления аналогового сигнала на выходе.

Данная задача традиционно решается с помощью низкочастотного фильтра, что, как было показано Котельниковым в [2], при определенных условиях обеспечивает идеальное восстановление сигнала. Практическая реализация данного алгоритма затруднена, а применяемые алгоритмы цифровой фильтрации требуют повышения частоты дискретизации для уменьшения ошибки восстановления сигнала [3].

Для уменьшения ошибки восстановления предлагается использовать не только отсчеты сигнала, но и отсчеты его производной. Возможность такого восстановления сигнала была показана при реализации алгоритма Хургина-Яковлева [4].

**Алгоритм восстановления сигналов в пространстве  $L_2$ .** Для случая представления отсчетов цифрового сигнала и его производной получено уравнение для определения в общем виде частотных характеристик восстанавливающих фильтров, при условии идеального восстановления. Показана связь между частотными характеристиками восстанавливающих фильтров отсчетов сигнала и отсчетов производной, что позволяет использовать при восстановлении наиболее простые для реализации в конкретной системе фильтры.

**Алгоритм восстановления сигналов в модифицированном пространстве Соболева  $W_2^1$ .** Рассмотрено восстановление сигналов в модифицированном пространстве Соболева  $W_2^1$ , накладывающем ограничения на энергию сигнала и его производной [5]. Получены частотные и импульсные характеристики фильтров, обеспечивающих точное восстановление аналогового сигнала в пространстве Соболева  $W_2^1$ . Показано, что синтезированные восстанавливающие фильтры в пространстве  $W_2^1$  являются частным случаем восстанавливающих фильтров, полученных для пространства  $L_2$ .

Рассмотрена задача восстановления в случае цифровой реализации восстанавливающих фильтров с конечной импульсной характеристикой. Показано, что синтезированные фильтры обеспечивают выигрыш до 20% по критерию среднеквадратического отклонения при восстановлении аналогового сигнала по сравнению с восстанавливающими фильтрами на основе теоремы Котельникова [3].

## Литература

1. Голд Б., Рэйдер Ч. Цифровая обработка сигналов. М.: Сов. радио, 1973. -367с.
2. Котельников В.А. О пропускной способности "эфира" и проволоки в электросвязи. – М.: Энергетический комитет, 1933.
3. Мановцев А.П. Основы теории радиотелеметрии. М.: Энергия, 1973 -592с.
4. Хургин Я.И. , Яковлев В.П. Методы теории целых функций в радиофизике, теории связи и оптике. М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1962. -220с.
5. Кириллов С.Н., Бузыкканов С.Н. Алгоритмы цифровой обработки сигналов в модифицированном пространстве Соболева //3-я международная конференция и выставка "Цифровая обработка сигналов и ее применение" Тез. докладов. Москва, 2000г. т.3 с.167-169.

## ALGORITHMS OF RESTORATION OF THE ANALOG SIGNAL WITH ADDITIONAL USE OF READOUT OF THE DERIVATIVE

Kirillov S., Buzykanov S.

The Ryazan State Radio engineering Academy.  
390024 Ryazan, street. Gagarin, д.59.  
т. (0912)36-82-44, e-mail: snk@rinf.ryazan.ru.

**The abstract:** Algorithms of restoration of an analog signal with use of the information on its derivative are considered. It is shown, that use of the given algorithms allows to simplify practical realization of systems of signal restoration. At identical frequency of digitization accuracy of restoration by criterion root-mean-square deviations appears above, than at use of algorithms on the basis of Kotelnikov's theorem.

**Introduction.** Wide application of digital signal processing in modern radio engineering systems results in necessity of the decision of a return problem- restoration of an analog signal on an output.

The given problem traditionally is solved with the help of the low-frequency filter, that as it has been shown in, under certain conditions provides ideal restoration of a signal. Practical realization of the given algorithm is impossible, and various used methods of approximation result in necessity of increase of frequency of digitization of a signal.

For elimination of the given lack it is offered to use for restoration not only readout of a signal, but also readout of its derivative.

**Algorithm of restoration of signals.** The equation for definition of frequency characteristics of restoring filters for the common case, under condition of ideal restoration of a signal is deduced. Connection between frequency characteristics of the filter of signal readout and the filter of derivative readout that allows to use for restoration the most convenient for realization in concrete system filters is shown.

**Algorithm of restoration of signals in modified Sobolev space.** As an example restoration of signals in modified Sobolev space  $W_2^1$  is considered. The given space initially uses the information on a signal derivative for its restoration that makes natural consideration of space  $W_2^1$  at the decision of the given problem. Frequency and pulse characteristics of the filters providing exact restoration of an analog signal in Sobolev space are found. It is shown, that the given filters satisfy to a condition of ideal restoration of the signals, deduced for the generalized case.

The real problem of restoration of a signal under condition of a physical realizability of filters is considered. It is shown, that the given filters provide a prize up to 20 % by criterion среднеквадратического deviations at restoration of an analog signal in comparison with approximated Kotelnikov's algorithm.