

УДК 621.391.81 (075.8)

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ ПРИХОДА АПРИОРНО НЕИЗВЕСТНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ С МАЛОЙ БАЗОЙ

А.С. Чудновский, В.М. Агеев

АО «НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ
КОРПОРАЦИЯ «СИСТЕМЫ ПРЕЦИЗИОННОГО
ПРИБОРОСТРОЕНИЯ»

В работе рассмотрен метод определения времени прихода априорно неизвестного импульсного сигнала. Ограничением на класс входных сигналов – возможность их представления в виде отклика линейного дифференциального уравнения m -ого порядка на дельта функцию. Получено, что погрешность определения времени прихода, где время фронта импульсного сигнала, D -отношение сигнал/шум.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: база сигнала, регуляризирующий фильтр, минимум ошибки уклонения, дифференциальное уравнение.

Измерение времени прихода однократных импульсных сигналов в присутствии аддитивного шума является одной из важнейших задач пассивной локации. Следует отметить, что большинство таких сигналов имеют малую базу. Под сигналами с малой базой подразумевается общепринятое условие произведения полосы прозрачности на длительность сигнала, равно $\Delta\omega\Delta t=1$ [1]. Сигналы с малой базой, как правило, имеют большую погрешность определения времени прихода для априорно неизвестных сигналов. Рассмотрим нахождение времени прихода с использованием метода обратной задачи. Принятая реализация поступает на вход аналогового фильтра, оцифровывается и далее поступает на вход цифрового фильтра, повышающего отношение сигнал/шум на выходе. Затем решается обратная задача, где входной сигнал рассматривается как отклик линейного дифференциального уравнения m -ого порядка на свертку импульсных характеристик аналогового и цифрового фильтров. После этого входная реализация снова восстанавливается как отклик линейного дифференци-

METHOD OF DETERMINING OF A-PRIORI UNKNOWN SHORT BASE SIGNALS ARRIVAL TIME

L.S. CHUDNOVSKIY, V.M. AGEEV

In this paper the method of determining the time of arrival of the physical priori unknown pulse signals using the data pulse input characteristics of the analog filter and a digital filter was analyzed. Class and the impulse characteristics of filters had been chosen from the conditions of absence of Gibbs effect and high time resolution. Input signal model was taken as the impulse response of a linear differential equation of m -th order. Differential equation coefficients were determined by implementing the filtered input.

KEYWORDS: arrival time, registering filter, digital filter, differential equation, restored implementation, deviation errors.

ального уравнения с найденными коэффициентами на входной сигнал, представляющий свертку импульсных характеристик аналогового и цифрового фильтров. Время прихода определяется по минимуму ошибки уклонения входной реализации и восстановленного сигнала. Поскольку время прихода неизвестно, восстановление сигнала осуществляется в некоторой временной области для каждого гипотетического времени прихода. Предположение о линейности порождающей системы является ограничением на класс входных сигналов.

Рассмотрим решение задачи определения времени прихода на модельном примере. В качестве входного сигнала примем оптические излучения молниевых разрядов [2]. Амплитудно-частотные характеристики аналогового фильтра и регуляризирующего фильтра выберем в виде $k(\omega)=i\omega\tau(1+i\omega\tau)^{-3}$; $R(\omega)=(1+i\omega\epsilon)^{-4}$. Данные фильтры имеют малую длительность импульсной характеристики [2] при удовлетворительной частотной избирательности. Величина τ была выбрана равной 64 мкс, а ϵ в каждом конкретном случае определяется

из условия максимального отношения сигнал/шум на выходе цифрового фильтра. Особо оговорим выбор аналогового фильтра. Амплитудная характеристика фильтра $g(\omega)=(1+i\omega\tau)^{-2}$ соответствует спектральной плотности оптического излучения одиночного молниевых разряда [2]. Поскольку оптическое излучение молниевых разряда регистрируется при наличии большой фоновой засветки, то входной сигнал дополнительно обрабатывается дифференцирующей цепочкой с частотной характеристикой $j(\omega)=i\omega\tau(1+i\omega\tau)^{-1}$. Под воздействием суммарной аналоговой фильтрации $k(\omega)=g(\omega)j(\omega)$ зарегистрированный сигнал становится двухполярным (с уменьшением амплитуды в два раза), постоянная фоновая засветка не регистрируется, а сам уровень фона переходит в дополнительный дробовый шум. Применение фильтра $k(\omega)$ позволяет регистрировать оптические излучения молниевых разряда при уровне фоновой засветки, превышающий сигнал до 10^6 раз.

Координаты оптического излучения молниевых разряда будем определять разностно-дальномерным методом, регистрируя сигналы в разнесенных пунктах приема с известными координатами и определяя времена прихода излучения в каждом пункте приема. Все пункты регистрации имеют единую систему времени. Поскольку время и координаты оптического излучения неизвестны, то задача решается по временам прихода излучений. Сложность определения времени прихода в пунктах приема состоит в том, что из-за облачного покрова принимаемые излучения будут разными (рис. 1) (для наглядности исходный сигнал имеет меньшую амплитуду). Видно, что времена максимумов излучений для разных точек приема различны и в нашем случае могут различаться до десятков мкс [2]. При погрешности определений времен прихода 1 мкс, погрешность определения координат может достигать более 600 м, поэтому погрешность определения времени прихода не должна зависеть от трассовых искажений.

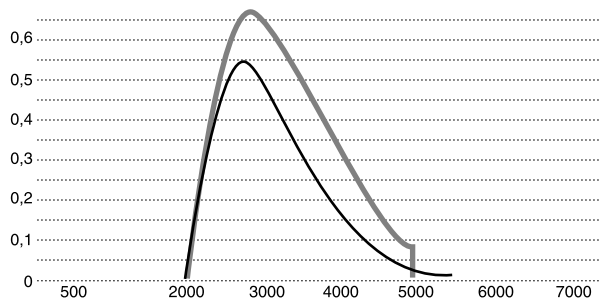


Рис. 1.

Оптический неискаженный импульс (меньшей амплитуды) и прошедший трассу распространения (большей амплитуды) время в мкс

Задача дополнительно усложняется наличием аддитивного шума. На рис. 2 показаны отклики на выходе аналогового фильтра и цифрового фильтра для входного отношения сигнал/шум +20 дБ. Входное отношение сигнал/шум определялось как отношение максимального значения сигнала к среднеквадратичному уровню шума. Данные рис. 2 показывают эффективное подавление шумового сигнала на выходе цифрового фильтра. После цифровой фильтрации решается обратная задача, когда находят коэффициенты линейного дифференциального уравнения 6-го порядка. На рис. 3 показан восстановленный входной сигнал, который идентичен входному сигналу, показанному на рис. 2, но с подавленным аддитивным шумовым компонентом. Аналогично восстанавливается и сигнал на выходе цифрового фильтра. Именно этот сигнал на выходе цифрового фильтра и восстановленный используются для определения ошибки уклонения. Погрешность определения времени прихода для данного примера составила 1 мкс.

Метод определения времени прихода проверялся на различных импульсных сигналах. Для сигнала с временем фронта 60 мкс и спада 300 мкс при соотношении сигнал/шум +20 дБ погрешность определения времени прихода составила 1,5 мкс, а для времени фронта 300 мкс и спада 1,5 мс при соотношении сигнал/шум +40 дБ погрешность составила 0,5 мкс. Полученная погрешность определения времени прихода на

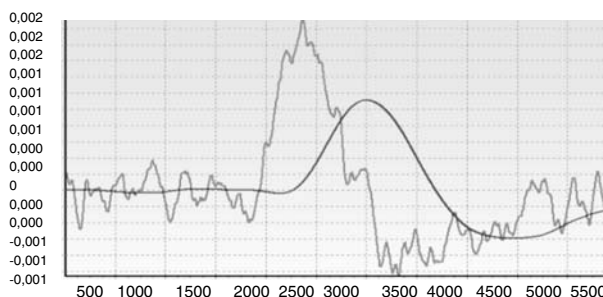


Рис. 2.

Входной сигнал рис.1 на выходе аналогового и цифрового фильтров (отношение сигнал/шум на выходе аналогового фильтра +20 дБ), время в мкс

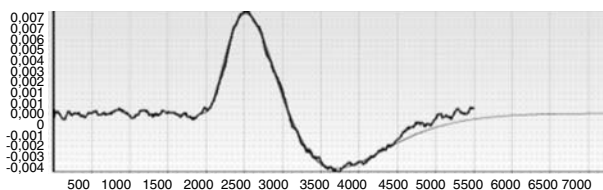


Рис. 3.

Восстановленный сигнал на выходе аналогового фильтра и исходный модельный, время в мкс

модельных сигналах оказалась меньше чем $\delta t < t_{фр} D^{-1}$, где $t_{фр}$ – время фронта импульсного сигнала, D – отношение сигнал/шум.

Знание коэффициентов линейного дифференциального уравнения позволяет восстановить входной сигнал. Точность восстановления исходного сигнала оказалась выше, чем восстановление сигнала на выходе аналогового фильтра (рис. 3). Восстановленный сигнал практически полностью совпал с импульсом, прошедшим трассу распространения (рис. 1). Точность восстановления предлагаемым методом выше, чем при использовании метода регуляризации [2]. Следует отметить, что восстановление исходного сигнала произошло по ее производной.

Сформулируем основные выводы. Малая погрешность определения времени прихода достигнута благодаря тому, что:

– частота дискретизации выбрана гораздо выше, чем по Котельникову, что обеспечило малую погрешность расчетов и привело к малому временному эквидистанту определения самого времени прихода;

– амплитудно-частотные характеристики входного и регуляризирующего фильтров выбраны в классе многозвенных интегрирующих цепочек первого порядка, что обеспечило высокое временное разрешение метода определения времени прихода [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Варакин Л.Е. Теория сложных сигналов. М.: Советское радио, 1970. 376 с.
2. Чудновский А.С., Агеев В.М. Расчет избирательных фильтров устройства первичного анализа речевых сигналов // Акустический журнал. 2014. Т. 60, № 4. С. 407–412.
3. Чудновский В.С., Чудновский А.С. и др. Регистрация излучений молниевых разрядов в разностно-дальномерных системах космического мониторинга // Электромагнитные волны и электронные системы. 2011. Т. 16, № 3. С. 51–57.

Чудновский Леонид Семенович,
д.т.н., с.н.с, главный научный сотрудник ОАО «Научно-производственная корпорация «Системы прецизионного приборостроения»,

Агеев Вячеслав Михайлович,
ведущий инженер ОАО «Научно-производственная корпорация «Системы прецизионного приборостроения»,

☎ 111250, г. Москва, Авиамоторная, д. 53,
тел.: +7 (495) 988-21-60 (доб. 1292),
e-mail: lsc2004@mail.ru, vma58@yandex.ru