

С.-Петербургский Государственный Электротехнический Университет  
каф. МИРС

Центральной проблемой радиотехники была и остается проблема помехоустойчивой связи. Традиционные системы обработки сигналов, например, согласованные фильтры (корреляторы), работают по принципу сходства принимаемого сигнала, с тем сигналом, на который они настроены. Такие системы будут пропускать все реализации сигналов, различные по амплитуде и задержке, независимо от того какой сигнал был принят и обработан на предыдущей стадии фильтрации. Это обусловлено тем, что в основе традиционных методов обработки сигналов положено допущение о том, что искажение сигнала является известным и инвариантным во времени. Классические методы способны принять очень слабый сигнал на фоне шумов, спрятать сигнал в шумах, различить копии сигнала, незначительно разнесенные во времени, но они неспособны смоделировать канал распространения. А именно эта задача как раз и является одной из основных при передаче информационных сообщений. В настоящее время широкое распространение получили адаптивные фильтры, в которых поступающая новая информация используется для непрерывной корректировки ранее сделанной оценки сигнала.

В частности представляет безусловный интерес применение адаптивных фильтров в борьбе с многолучевым распространением сигнала в радиоканале. Задача, связанная с многолучевым распространением, состоит в том, что переданный сигнал поступает в приемник различными путями и на приемной стороне наблюдается комбинация копий сигнала. Для того чтобы отфильтровать сигнал, пришедший по наикратчайшему пути (предположительно без переотражения), используется адаптивная фильтрация. Применяя адаптивную фильтрацию к задаче компенсации переотражений многолучевого канала, мы идентифицируем функцию передачи канала связи (импульсную характеристику). В основу адаптивной фильтрации положено то обстоятельство, что пропустив известный сигнал через некую систему затем можно сопоставить выходной сигнал системы (отклик) с подаваемым на нее сигналом, и таким образом найти функцию передачи системы для данного сигнала. При передаче информации невозможно иметь на приемной стороне полностью известный сигнал, но это и не нужно, в передаваемый сигнал включаются периодически повторяющиеся импульсы, форма и период которых полностью известны на приемной стороне, т.к. в приемнике генерируется сигнал с такими характеристиками. Остается синхронизировать генерируемый в приемнике сигнал с импульсами принятой последовательности, пришедшими без переотражения. После этого находится функция передачи системы (на практике обратная этой функции). И полный информационный сигнал пропускается через фильтр с функцией передачи обратной функции передачи системы, таким образом устраняются искажения (переотражения). В качестве известных импульсов используют сигналы, применяющиеся в системах передачи другого назначения, например, сигнал кадровой развертки.

Таким образом, адаптивная фильтрация, появившись сравнительно недавно, быстро нашла широкое применение в системах передачи информации, навигации, локации и используется как в профессиональной, так и в бытовой аппаратуре.

В настоящее время существует большое количество возможных комбинаций структур фильтров и законов адаптивного управления ими. В свете этого появилась задача исследования и моделирования адаптивного фильтра, предназначенного для компенсации переотражений в канале связи, использующего два основных алгоритма адаптации: рекурсивный метод наименьших квадратов (РНК), дающий максимальную скорость адаптации, но использующий огромное число операций, и градиентный метод, скорость адаптации которого намного уступает первому.

В исследованиях в качестве цифрового фильтра была выбрана нерекурсивная структура, которая является самой простой. Это линейный фильтр с конечной импульсной характеристикой, для которого каждая выборка выходного сигнала фильтра является линейной комбинацией конечного числа предшествующих выборок входного сигнала. Фильтр не является рекурсивным (т. е. не содержит обратной связи). Отмеченное свойство приводит к исключительно простым адаптивным алгоритмам.

Нерекурсивный (с конечной импульсной характеристикой - КИХ) фильтр устойчив и для него разработаны общие методы адаптации, чего нет у рекурсивных (БИХ) фильтров, которые устойчивы лишь при наложении ограничений на коэффициенты фильтра. Не создано еще общей теории адаптации БИХ —фильтров, хотя они широко применяются.

Были проведены исследования возможностей применения адаптивных алгоритмов для защиты от переотражений. Путем моделирования была произведена оценка характеристик алгоритмов и затраты на реализацию. Было показано, что рекурсивный алгоритм Наименьших Квадратов с экспоненциальным взвешиванием работает лучше градиентного алгоритма, но по

объему вычислений и требованиям, предъявляемым к аппаратуре, градиентный алгоритм более предпочтителен.

Моделирование показало, что количество переотражений и наложение их друг на друга и на сигнал, на процесс адаптации сильного влияния не оказывает. При компенсации переотражений с экспоненциально - коррелированными параметрами канала связи было установлено, что сильное влияние на процесс адаптации оказывает интервал корреляции. На длину адаптивного фильтра главное влияние оказывает амплитуда переотраженного сигнала и его задержка относительно входного сигнала.

При сравнении РНК и градиентного алгоритма было установлено, что у градиентного алгоритма ошибка при установившихся коэффициентах намного превышает ошибку фильтра РНК. Время адаптации градиентного алгоритма больше времени адаптации РНК.

При рассмотрении изменений коэффициентов фильтра в процессе адаптации при различных условиях и алгоритмах была установлена закономерность их изменения, и было показано, что в процессе адаптации коэффициенты стремятся установиться в некое постоянное значение. Поведение всех коэффициентов идентично и представляет собой резкое изменение при приеме сигнала и последующее ступенчатое приближение к некому значению. Со временем эти скачки уменьшаются и могут прекратиться, если порядок фильтра достаточно большой.

В результате можно сделать следующий вывод: сигнал следует выбирать как можно более коротким во времени, а период повторения достаточно большим по сравнению с задержкой переотражения, тогда адаптивный алгоритм будет моделировать обратную функцию многолучевого канала распространения.

Исследования при наличии шумов показали, что адаптивный фильтр шумов не фильтрует и его высокая точность подавления переотражений теряется в шумах. Таким образом, при сильном шуме выгоднее использовать градиентный алгоритм, если не требуется быстрая обработка сигнала, т. к. точностные характеристики из-за шума практически становятся одинаковыми, а вычислительная сложность РНК значительно больше. В случаях, когда требуется высокая скорость и точность лучше использовать алгоритм адаптации РНК. Рассматриваемые различные значения длительности импульса показывают, что надо брать по возможности короче.

Следовательно, для построения системы с адаптивной фильтрацией переотражений следует использовать короткие импульсы с большим периодом повторения, при сильных шумах рекомендуется использовать градиентный метод адаптации, а при слабых шумах или при необходимости быстрой адаптации и высокой точности – алгоритм РНК. Период повторения сигнала следует выбирать намного длиннее, чем интервалы корреляции параметров канала связи.

Исходя из приведенных исследований, можно сделать вывод о целесообразности применения адаптивных алгоритмов для защиты канала связи от переотражений. В качестве аппаратной реализации системы с адаптивной фильтрацией можно предложить использование цифровых сигнальных процессоров. Например, цифровой сигнальный процессор фирмы Analog Device ADSP21xx или фирмы Texas Instruments TMS320C31. При использовании подобных процессоров возможно построение системы компенсации в реальном времени переотражений в канале связи, как и с использованием градиентных алгоритмов адаптации, так и с использованием рекурсивного метода наименьших квадратов.



PROBING ALGORITHMS OF MULTIPLE-ECHO COMPENSATION IN COMMUNICATION CHANNELS

Kopilov W.

Now there is a great many of possible combinations of structures of filters and laws of adaptive handle by them. In a light it the research problem and simulation analysis of the adaptive filter intended for a multiple-echo compensation in a communication channel, operating two fundamental algorithms of adapting has appeared: the recursive least squares method (RLS), giving a top speed of adapting, but operating huge number of operations, and gradient method, the rate of which adapting much more yields first.

The simulation analysis has shown, that the quantity of reflections and overlap them against each other and on a signal, on the process of adapting of strong influence does not render. At a multiple-echo compensation with is exponential - by the correlated parameters of a communication channel was retrieved, that the strong influence to the process of adapting renders an interval of correlation. On a length of the adaptive filter the main influence is rendered by amplitude of a reflected signal and its delay concerning an input signal.

At matching RLS and the lapse rate of algorithm was retrieved, that for a lapse rate of algorithm the error at established of coefficients much more exceeds an error of the filter RLS. The time of adapting a lapse rate of algorithm is more than time of adapting RLS.

By viewing variations of coefficients of the filter during adapting under different conditions and algorithms the legitimacy of their variation was retrieved and was shown, that during adapting the coefficients tend to be retrieved in a certain fixed value. The behavior of all coefficients identically also represents sharp variation at reception of a signal and the subsequent step-by-step approach to nobody value. In due course these jumps diminish and can stop, if the order of the filter it is enough major.

In result it is possible to make the following lead-out: the signal should be sampled as it is possible for more short in time, and recurrence interval major enough in comparison with a delay of reflection, then the adaptive algorithm will simulate an inverse function of the multibeam channel of propagation.

The probing at presence of noises have shown, that the adaptive filter noises does not filter also its split-hair accuracy of suppression of reflections is lost in noises. Thus, at strong noise more favorably to use a lapse rate algorithm, if not the fast processing of a signal,  $\tau$  is required, accuracy of the characteristics because of noise practically become identical, and the computing complexity RLS is much more. In cases, when the high speed and accuracy better to use algorithm of adapting RLS is required. The viewed different values of a pulse length display, that it is necessary to take whenever possible more shortly.

Therefore, for build-up of a system with an adaptive filtering of reflections it is necessary to use short pulses with a major recurrence interval, at strong noises the gradient method of adapting is recommended to use, and at feeble noises or if necessary of fast adapting and split-hair accuracy - algorithm RLS. The recurrence interval of a signal should be sampled much more longly, than intervals of correlation of parameters of a communication channel.

Radiating from reduced probing, it is possible to make a lead-out about expediency of application of adaptive algorithms for protection of a communication channel against reflections. As hardware implementation of a system with an adaptive filtering it is possible to offer usage of digital signal processors. For example, digital signal processor of the corporation Analog Device ADSP21xx or corporation Texas Instruments TMS320C31. At usage of similar processors the build-up of a system of compensation in actual time of reflections in a communication channel, as well as with usage a lapse rate of algorithms of adapting, and with usage of the recursive least squares method is possible.