

ISSN 1991-3494

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

Х А Б А Р Ш Ы С Ы

ВЕСТНИК

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

THE BULLETIN

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

1944 ЖЫЛДАН ШЫҒА БАСТАҒАН
ИЗДАЕТСЯ С 1944 ГОДА
PUBLISHED SINCE 1944

6

АЛМАТЫ
АЛМАТЫ
ALMATY

2015

ҚАРАША
НОЯБРЬ
NOVEMBER

Б а с р е д а к т о р

ҚР ҰҒА академигі

М. Ж. Жұрынов

Р е д а к ц и я а л қ а с ы :

биол. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Айтхожина Н.А.**; тарих ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Байпақов К.М.**; биол. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Байтулин И.О.**; биол. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Берсімбаев Р.И.**; хим. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Газалиев А.М.**; а.-ш. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Дүйсенбеков З.Д.**; а.-ш. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Елешев Р.Е.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Қалменов Т.Ш.**; фил. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Нысанбаев А.Н.**; экон. ғ. докторы, проф., ҰҒА академигі **Сатубалдин С.С.**; тарих ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Әбжанов Х.М.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Әбішев М.Е.**; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Әбішева З.С.**; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Абсадықов Б.Н.** (бас редактордың орынбасары); а.-ш. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Баймұқанов Д.А.**; тарих ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Байтанаев Б.А.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Давлетов А.Е.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Қалимолдаев М.Н.**; геогр. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Медеу А.**; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Мырхалықов Ж.У.**; биол. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Огарь Н.П.**; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Таткеева Г.Г.**; а.-ш. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Үмбетаев И.**

Р е д а к ц и я к е ñ е с і :

Ресей ҒА академигі **Велихов Е.П.** (Ресей); Әзірбайжан ҰҒА академигі **Гашидзе Ф.** (Әзірбайжан); Украинаның ҰҒА академигі **Гончарук В.В.** (Украина); Армения Республикасының ҰҒА академигі **Джрбашян Р.Т.** (Армения); Ресей ҒА академигі **Лаверов Н.П.** (Ресей); Молдова Республикасының ҰҒА академигі **Москаленко С.** (Молдова); Молдова Республикасының ҰҒА академигі **Рудик В.** (Молдова); Армения Республикасының ҰҒА академигі **Сагиян А.С.** (Армения); Молдова Республикасының ҰҒА академигі **Тодераш И.** (Молдова); Тәжікстан Республикасының ҰҒА академигі **Якубова М.М.** (Тәжікстан); Молдова Республикасының ҰҒА корр. мүшесі **Лупашку Ф.** (Молдова); техн. ғ. докторы, профессор **Абиев Р.Ш.** (Ресей); техн. ғ. докторы, профессор **Аврамов К.В.** (Украина); мед. ғ. докторы, профессор **Юрген Аппель** (Германия); мед. ғ. докторы, профессор **Иозеф Банас** (Польша); техн. ғ. докторы, профессор **Гарабаджиу** (Ресей); доктор PhD, профессор **Ивахненко О.П.** (Ұлыбритания); хим. ғ. докторы, профессор **Изабелла Новак** (Польша); хим. ғ. докторы, профессор **Полещук О.Х.** (Ресей); хим. ғ. докторы, профессор **Поняев А.И.** (Ресей); профессор **Мохд Хасан Селамат** (Малайзия); техн. ғ. докторы, профессор **Хрипунов Г.С.** (Украина)

Главный редактор

академик НАН РК

М. Ж. Журинов

Редакционная коллегия:

доктор биол. наук, проф., академик НАН РК **Н.А. Айтхожина**; доктор ист. наук, проф., академик НАН РК **К.М. Байпаков**; доктор биол. наук, проф., академик НАН РК **И.О. Байтулин**; доктор биол. наук, проф., академик НАН РК **Р.И. Берсимбаев**; доктор хим. наук, проф., академик НАН РК **А.М. Газалиев**; доктор с.-х. наук, проф., академик НАН РК **З.Д. Дюсенбеков**; доктор сельскохоз. наук, проф., академик НАН РК **Р.Е. Елешев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Т.Ш. Кальменов**; доктор фил. наук, проф., академик НАН РК **А.Н. Нысанбаев**; доктор экон. наук, проф., академик НАН РК **С.С. Сатубалдин**; доктор ист. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Х.М. Абжанов**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.Е. Абишев**; доктор техн. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **З.С. Абишева**; доктор техн. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Б.Н. Абсадыков** (заместитель главного редактора); доктор с.-х. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Д.А. Баймуканов**; доктор ист. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Б.А. Байтанаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **А.Е. Давлетов**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.Н. Калимолдаев**; доктор геогр. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **А. Медеу**; доктор техн. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Ж.У. Мырхалыков**; доктор биол. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Н.П. Огарь**; доктор техн. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Г.Г. Таткеева**; доктор сельскохоз. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **И. Умбетаев**

Редакционный совет:

академик РАН **Е.П. Велихов** (Россия); академик НАН Азербайджанской Республики **Ф. Гашимзаде** (Азербайджан); академик НАН Украины **В.В. Гончарук** (Украина); академик НАН Республики Армения **Р.Т. Джрбашян** (Армения); академик РАН **Н.П. Лаверов** (Россия); академик НАН Республики Молдова **С. Москаленко** (Молдова); академик НАН Республики Молдова **В. Рудик** (Молдова); академик НАН Республики Армения **А.С. Сагиян** (Армения); академик НАН Республики Молдова **И. Тодераш** (Молдова); академик НАН Республики Таджикистан **М.М. Якубова** (Таджикистан); член-корреспондент НАН Республики Молдова **Ф. Лупашку** (Молдова); д.т.н., профессор **Р.Ш. Абиев** (Россия); д.т.н., профессор **К.В. Аврамов** (Украина); д.м.н., профессор **Юрген Аппель** (Германия); д.м.н., профессор **Иозеф Банас** (Польша); д.т.н., профессор **А.В. Гарабаджиу** (Россия); доктор PhD, профессор **О.П. Ивахненко** (Великобритания); д.х.н., профессор **Изабелла Новак** (Польша); д.х.н., профессор **О.Х. Полещук** (Россия); д.х.н., профессор **А.И. Поняев** (Россия); профессор **Моход Хасан Селамат** (Малайзия); д.т.н., профессор **Г.С. Хрипунов** (Украина)

«Вестник Национальной академии наук Республики Казахстан». ISSN 1991-3494

Собственник: РОО «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы)

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации и архивов Министерства культуры и информации Республики Казахстан №5551-Ж, выданное 01.06.2006 г.

Периодичность: 6 раз в год

Тираж: 2000 экземпляров

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, ком. 219, 220, тел. 272-13-19, 272-13-18.

www: nauka-nanrk.kz, bulletin-science.kz

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2015

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75

Editor in chief

M. Zh. Zhurinov,
academician of NAS RK

Editorial board:

N.A. Aitkhozhina, dr. biol. sc., prof., academician of NAS RK; **K.M. Baipakov**, dr. hist. sc., prof., academician of NAS RK; **I.O. Baitulin**, dr. biol. sc., prof., academician of NAS RK; **R.I. Bersimbayev**, dr. biol. sc., prof., academician of NAS RK; **A.M. Gazaliyev**, dr. chem. sc., prof., academician of NAS RK; **Z.D. Dyusenbekov**, dr. agr. sc., prof., academician of NAS RK; **R.Ye. Yeleshev**, dr. agr. sc., prof., academician of NAS RK; **T.Sh. Kalmenov**, dr. phys. math. sc., prof., academician of NAS RK; **A.N. Nysanbayev**, dr. phil. sc., prof., academician of NAS RK; **S.S. Satubaldin**, dr. econ. sc., prof., academician of NAS RK; **Kh.M. Abzhanov**, dr. hist. sc., prof., corr. member of NAS RK; **M.Ye. Abishev**, dr. phys. math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **Z.S. Abisheva**, dr. eng. sc., prof., corr. member of NAS RK; **B.N. Absadykov**, dr. eng. sc., prof., corr. member of NAS RK (deputy editor); **D.A. Baimukanov**, dr. agr. sc., prof., corr. member of NAS RK; **B.A. Baytanayev**, dr. hist. sc., prof., corr. member of NAS RK; **A.Ye. Davletov**, dr. phys. math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **M.N. Kalimoldayev**, dr. phys. math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **A. Medeu**, dr. geogr. sc., prof., corr. member of NAS RK; **Zh.U. Myrkhalykov**, dr. eng. sc., prof., corr. member of NAS RK; **N.P. Ogar**, dr. biol. sc., prof., corr. member of NAS RK; **G.G. Tatkeeva**, dr. eng. sc., prof., corr. member of NAS RK; **I. Umbetayev**, dr. agr. sc., prof., corr. member of NAS RK

Editorial staff:

E.P. Velikhov, RAS academician (Russia); **F. Gashimzade**, NAS Azerbaijan academician (Azerbaijan); **V.V. Goncharuk**, NAS Ukraine academician (Ukraine); **R.T. Dzhrbashian**, NAS Armenia academician (Armenia); **N.P. Laverov**, RAS academician (Russia); **S.Moskalenko**, NAS Moldova academician (Moldova); **V. Rudic**, NAS Moldova academician (Moldova); **A.S. Sagiyan**, NAS Armenia academician (Armenia); **I. Toderas**, NAS Moldova academician (Moldova); **M. Yakubova**, NAS Tajikistan academician (Tajikistan); **F. Lupaşcu**, NAS Moldova corr. member (Moldova); **R.Sh. Abiyev**, dr.eng.sc., prof. (Russia); **K.V. Avramov**, dr.eng.sc., prof. (Ukraine); **Jürgen Appel**, dr.med.sc., prof. (Germany); **Joseph Banas**, dr.med.sc., prof. (Poland); **A.V. Garabadzhiu**, dr.eng.sc., prof. (Russia); **O.P. Ivakhnenko**, PhD, prof. (UK); **Isabella Nowak**, dr.chem.sc., prof. (Poland); **O.Kh. Poleshchuk**, chem.sc., prof. (Russia); **A.I. Ponyaev**, dr.chem.sc., prof. (Russia); **Mohd Hassan Selamat**, prof. (Malaysia); **G.S. Khripunov**, dr.eng.sc., prof. (Ukraine)

Bulletin of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.
ISSN 1991-3494

Owner: RPA "National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan" (Almaty)

The certificate of registration of a periodic printed publication in the Committee of Information and Archives of the Ministry of Culture and Information of the Republic of Kazakhstan N 5551-Ж, issued 01.06.2006

Periodicity: 6 times a year

Circulation: 2000 copies

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, 220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19, 272-13-18,

<http://nauka-nanrk.kz/>, <http://bulletin-science.kz>

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2015

Address of printing house: ST "Aruna", 75, Muratbayev str, Almaty

UDC 621.396.2

INTERPOLATION IN THE DEVELOPMENT
OF COMMUNICATION CHANNELS

V.S.Hachikjan, A.V.Antoncev, L.B.Yessenturayeva

laura.yessenturayeva@gmail.com

Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev, Almaty,

Key words: OFDM, interpolation, channel.

Abstract. The mobile communication channel is characterized by multipath propagation of the signal it causes a change in the amplitude and phase of the received signal. High-performance OFDM systems when operating in channels with multiple reflections makes them suitable for high-speed data transmission systems in terrestrial communication systems. But in real mobile communication systems accurate information about a channel available for the receiver, must calculate the parameters of the channel, followed by analysis of the impact of the estimation error immunity of a communication system. The parameters of the channel may change significantly over time equal to the time interval between adjacent pilot - signals. Constantly increasing need for communication channel all large volumes of data, this leads to the necessity of getting rid of redundancy with a further possibility of full recovery of the signal at the receiving end. To do this, attracted by the possibility of interpolation.

УДК 621.396.2

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕРПОЛЯЦИИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ КАНАЛОВ СВЯЗИ

В.С. Хачикян, А.В.Антонцев, Л.Б. Есентураева

laura.yessenturayeva@gmail.com

Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева, Алматы

Ключевые слова: OFDM, интерполяция, канал.

Аннотация. Мобильный канал связи характеризуется *многолучевым распространением*, это вызывает изменение амплитуды и фазы принимаемого сигнала. Высокая эффективность систем OFDM при работе в каналах с многократными отражениями делает их пригодными для высокоскоростных систем передачи данных в наземных системах связи. Но в реальных системах подвижной связи точная информация о канале недоступна для приемника, необходимо вычисление параметров канала с последующим анализом влияния ошибки оценивания на помехоустойчивость системы связи. Параметры канала могут существенно измениться за время, равное временному интервалу между соседними пилот – сигналами. Постоянно возрастает необходимость передачи по каналу связи все больших объемов информации, это приводит к необходимости избавления от избыточности с дальнейшим возможно полным восстановлением сигнала на приемном конце. Для этого привлекается возможности интерполяции.

1. Введение. Мобильный канал связи сигнал характеризуется чаще всего [1, 19]: *многолучевым распространением радиосигнала* из-за отражения, рассеяния и дифракции электромагнитных волн при взаимодействии сигнала с различными объектами при следовании по маршруту движения. Таким образом, сигнал в приемной антенне содержит сумму волн с различными задержками, амплитудами и фазами. Суперпозиция этих волн приводит к изменению амплитуды и фазы принимаемого сигнала.

При моделировании и проектировании канала связи для перемещающихся объектов необходимо учитывать возможный доплеровский набег частоты, доплеровское расширение

спектра, которые пропорциональны частоте несущей и скорости движения абонента [2]. Особенно это необходимо учитывать при движении на высоких скоростях, в том числе и при движении по магистралям мегаполисов. Это вызывает изменение амплитуды и фазы принимаемого сигнала во времени. Даже небольшие перемещения, соизмеримые с длиной волны передаваемого сигнала, могут вызывать существенные изменения параметров принимаемого сигнала. Чем меньше разнесение между несущими в сигнале OFDM, тем более восприимчива система к доплеровскому расширению спектра. Всё это может привести к ослаблению или даже потере сигнала, противодействие этому является более сложной задачей и требует применения сложной обработки сигнала как на приемной, так и на передающей стороне [3].

Мобильный радиоканал характеризуется переменным во времени импульсным откликом $h(\tau, t)$ или переменной во времени передаточной функцией канала $H(f, t)$. Импульсный отклик канала как отклик канала в момент времени t на импульс, возникший в момент времени $t - \tau$ [4]. Мобильный радиоканал рассматривается как стационарный в широком смысле случайный процесс, т.е. замирания остаются неизменными в течение короткого времени или на небольших расстояниях. При многолучевом распространении импульсный отклик канала содержит большое число рассеянных импульсов, принятых как различные лучи.

При высоких скоростях передачи применяется метод передачи данных, который состоит в том, что поток передаваемых данных распределяется по множеству частотных подканалов и передача ведется параллельно на всех этих подканалах [5]. При этом высокая скорость передачи достигается именно за счет одновременной передачи данных по всем каналам, а скорость передачи в отдельном подканале вполне может быть невысокой. Поскольку в каждом из частотных подканалов скорость передачи данных можно сделать не слишком высокой, это создает предпосылки для эффективного подавления межсимвольной интерференции.

При частотном разделении каналов необходимо, чтобы ширина полосы частот отдельного канала была, с одной стороны, достаточно узкой для минимизации искажения сигнала в этом канале, а с другой - достаточно широкой для обеспечения требуемой скорости передачи [6,7]. Кроме того, для экономного использования всей полосы частот канала, разделяемого на подканалы, желательно как можно более плотно расположить частотные подканалы, но при этом избежать межканальной интерференции, чтобы обеспечить полную независимость подканалов друг от друга. Частотные каналы, удовлетворяющие перечисленным требованиям, называются ортогональными [8]. Несущие сигналы всех частотных подканалов (а точнее, функции, описывающие эти сигналы) ортогональны друг другу. Важно, что, хотя сами частотные подканалы могут частично перекрывать друг друга, ортогональность несущих сигналов гарантирует независимость каналов друг от друга, а, следовательно, и отсутствие межканальной интерференции.

Данный способ деления широкополосного канала на ортогональные частотные подканалы – это ортогональное частотное мультиплексирование. Сигнал в системе с OFDM имеет разбиение на множество несущих, что обеспечивает небольшое количество символов на одну несущую и снижает межсимвольную интерференцию. Дополнительно применяется защитный интервал - циклический префикс, добавляемый в начало каждого символа. Для эффективной работы такого подхода максимальная задержка в канале не должна превышать длину циклического префикса. Высокая эффективность систем OFDM при работе в каналах с многократными отражениями делает их пригодными для высокоскоростных систем передачи данных в наземных системах связи [9].

В реальных системах подвижной связи точная информация о канале недоступна для приемника. Необходимо вычисление параметров канала с последующим анализом влияния ошибки оценивания на помехоустойчивость системы связи, помехоустойчивость характеризуется относительной частотой ошибки на кадр. Параметры канала могут существенно измениться за время, равное временному интервалу между соседними пилот - сигналами, из-за наличия в канале шумов и замираний сигнала, а также доплеровского расширения спектра [10]. Алгоритм экстраполяции в этом случае не способен с необходимой точностью экстраполировать вычисленные значения параметров канала на все информационные временные интервалы. Так возникает неточность оценивания, которая характеризуется дисперсией ошибки оценивания.

Величина дисперсии ошибки оценивания принималась равной величине дисперсии шума наблюдения в канале связи. Такое предположение можно считать достаточно реалистичным, т.к. алгоритмы оценивания вынуждены работать в условиях шумов, интенсивность которых пропорциональна интенсивности шумов в канале передачи данных.

2. Анализ методов оценивания комплексных амплитуд канала связи.

Существует множество различных подходов к оцениванию параметров канала. Условно их можно разделить на два подкласса: методы, использующие пилот - сигналы и методы, использующие известную информацию о передаваемом сигнале [11].

Точность оценивания параметров канала связи при применении алгоритмов, использующих пилот - сигналы, обычно высокое, хотя наличие пилот - сигналов приводит к снижению скорости передачи данных. Это ограничивает применение таких алгоритмов в системах подвижной связи, где параметры канала могут быстро меняться во времени.

Оценивание параметров канала в алгоритмах, использующих пилот - сигналы, основано на возможности довольно точно вычислить значения комплексных амплитуд в моменты времени, где передаются пилот - сигналы. Затем полученные оценки экстраполируются на соседние информационные интервалы. Такой подход подразумевает неизменность параметров канала в течение интервала наблюдения, что справедливо, если скорость движения абонента сравнительно мала [12]. В случае высокой скорости движения абонента, значения комплексных амплитуд могут существенно изменяться в течение интервала наблюдения и даже на временном интервале между соседними пилот - сигналами. В этом случае использования для оценивания только пилот - сигналов может оказаться недостаточно или потребуются слишком частая их расстановка, что ухудшает пропускную способность системы связи. В случае, когда в работе алгоритма оценивания участвуют не только пилот - сигналы, но также и информационные сигналы, позволяет улучшить точность оценивания без существенного повышения вычислительной сложности алгоритма и избежать увеличения числа пилот - сигналов в системе связи.

В основном, различные подходы к оцениванию параметров канала с использованием пилот - сигналов отличаются различной обработкой принятых пилот - сигналов для получения оценок, а также различными методами экстраполяции. Наиболее распространенными являются методы наименьших квадратов, минимума среднеквадратической ошибки, **метод максимального правдоподобия, алгоритмы с обратной связью по решению.**

После того, как оценка комплексных коэффициентов передачи получена для позиций, на которых расположены пилот - сигналы, необходимо экстраполировать полученные оценки на соседние позиции, на которых расположены информационные символы. Экстраполяция может быть линейной, кубической, сплайновой или использовать алгоритмы фильтрации [13].

3. Кодирование

При кодирования речи на основе метода линейного предсказания по линии связи передаются не параметры речевого сигнала, как такового, а параметры некоторого фильтра, в известном смысле эквивалентного голосовому тракту, и параметры сигнала возбуждения этого фильтра. В качестве такого фильтра используется фильтр линейного предсказания [14]. Задача кодирования на передающем конце линии связи заключается в оценке параметров фильтра и параметров сигнала возбуждения, а задача декодирования на приемном конце - в пропускании сигнала возбуждения через фильтр, на выходе которого получается восстановленный сигнал речи. Различные варианты алгоритмов кодирования отличаются один от другого набором передаваемых параметров фильтра, методом формирования сигнала возбуждения и тому подобными деталями.

Метод линейного предсказания предполагает, что очередная выборка речевого сигнала S_n с некоторой степенью точности предсказывается линейной комбинацией M предшествующих выборок:

$$S'_n = \sum_{i=1}^M a_i S_{n-i} ,$$

где a_i - коэффициенты линейного предсказания, M - порядок предсказания. Разность между истинным и предсказанным значениями выборки определяет ошибку предсказания (остаток предсказания):

$$e_n = S_n - S'_n = S_n - \sum_{i=1}^M a_i S_{n-i} ,$$

В результате z-преобразования этого разностного уравнения получаем

$$E(z) = S(z) - \sum_{i=1}^M a_i S(z)z^{-i} = S(z)A(z),$$

где функция $A(z)$

$$A(z) = 1 - \sum_{i=1}^M a_i z^{-i},$$

интерпретируется как передаточная характеристика некоторого фильтра (инверсного фильтра или фильтра-анализатора), частотная характеристика которого обратна по отношению к частотной характеристике голосового тракта. При подаче речевого сигнала на вход инверсного фильтра на выходе фильтра получается сигнал возбуждения, подобный (с точностью до ошибок, определяемых конечностью порядка предсказания M и погрешностью оценки коэффициентов предсказания) сигналу возбуждения на входе фильтра голосового тракта.

Полученное выражение для $A(z)$ соответствует структуре трансверсального фильтра (рис. 1). Порядок предсказания выбирается из условия компромисса между качеством передачи речи и пропускной способностью линии связи; практически M берется порядка 10.

Значения коэффициентов предсказания, постоянные на интервале кодируемого сегмента речи (на практике длительность сегмента составляет 20 мс), находятся из условия минимизации среднеквадратического значения остатка предсказания на интервале сегмента [15].

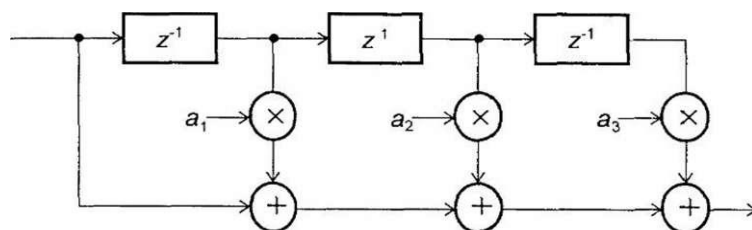


Рис.1. Анализирующий трансверсальный фильтр при порядке предсказания $M = 3$

Для этого частные производные $\partial(\sum e_n^2)/\partial a_i$ приравняются к нулю, что приводит к системе M линейных уравнений с M неизвестными коэффициентами a , Матрица системы и метод ее решения оказываются несколько различными в зависимости от того, какими свойствами наделяется речевой сигнал на интервале преобразуемого сегмента речи [16].

Если речевой сигнал на этом интервале считается стационарным случайным процессом (автокорреляционный метод оценки коэффициентов предсказания), то фильтр-синтезатор получается заведомо устойчивым.

4. Дискретизация сигнала и интерполяция функций

Практически любое сообщение является в определенной степени избыточным. Поэтому стремление передать по каналу связи возможно больший объем информации приводит к необходимости избавления от этой избыточности с дальнейшим возможно полным восстановлением сигнала на приемном конце [17].

Передадим по каналу аналоговое сообщение $u(x)$, для экономии объема передаваемого сообщения целесообразно придерживаться следующей тактики: выберем на графике (рис. 2) некоторое число так называемых узловых точек (места пересечения сплошной и штриховой линий на рис.2), определим для них значения функции $u_0, u_1, u_2, u_3, \dots, u_n$, и только их передадим по каналу связи. На приемном конце, пользуясь известными в математике правилами интерполяции функции по ее значениям в узловых точках, по ряду принятых дискретных значений функции u_k восстановим с определенной точностью исходное аналоговое сообщений. Восстановленное сообщение $Z(x)$ в точности совпадает с исходным $u(x)$ в узловых точках и несколько отличается при промежуточных значениях (рис.2, график показанный точками). Таким образом,

дискретизация сигнала при передаче с дальнейшим восстановлением при приеме позволяет разгрузить канал связи и повысить его пропускную способность.

В этой связи остановимся более подробно на проблеме интерполяции, позволяющей по дискретным значениям функции в узловых точках с высокой точностью восстанавливать в целом исходный сигнал.

Обозначим исходную функцию как $y(x)$, а функцию, полученную в результате интерполяции, называемую интерполяционным многочленом, как $Z(x)$, для которого запишем:

$$Z(x) = y_0L_0(x) + y_1L_1(x) + y_2L_2(x) + \dots + y_nL_n(x) \quad (1)$$

где функции $L_0(x), L_1(x), L_2(x), \dots, L_n(x)$ обладают таким свойством:

$$L_i(x_i) = 1 \text{ и } L_i(x_k) = 0 \text{ при } i \neq k, \quad (2)$$

в результате чего в узловых точках значения интерполяционного многочлена в точности совпадают с исходной функцией

$$Z(x_i) = y(x_i) \quad (3)$$

Где: $i = 0, 1, 2, 3, \dots, n$, а в промежутках могут несколько отличаться друг от друга.

Пример таких функций $y(x)$ и $Z(x)$, удовлетворяющих условию (3), представлен в рассмотренном примере на рис. 2, где графики функций совпадают в узловых точках с координатами $x = 0, 1, 2, \dots, 7$.

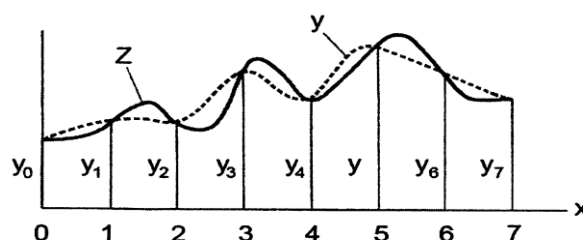


Рис. 2.

Интерполяция характеризуется интервалом $w = (x_n - x_0)$, числом узловых точек N на этом интервале, шагом между соседними узловыми точками $\Delta = w/N$, временем счета и точностью интерполяции, т.е. максимальным расхождением между исходной $y(x)$ и восстановленной $Z(x)$ функциями. Интерполяция на значительных интервалах при большом количестве узловых точек приводит к существенному увеличению времени счета. Вместе с тем уменьшение числа узловых точек и связанное с этим увеличение шага между ними снижает точность восстановления исходной функции [18]. Для преодоления этого противоречия между временем счета и точностью расчетов применяют сплайн-интерполяцию. Сущность последней состоит в делении общего интервала на участки, внутри которых интерполяция проводится по относительно небольшому числу точек с малым шагом, после чего производится «сшивание» результатов расчета на месте стыка участков.

Известно несколько форм интерполяционных многочленов. Наиболее известным среди них является формула Лагранжа:

$$\begin{aligned} Z(x) = & \frac{(x-x_1)(x-x_2)\dots(x-x_n)}{(x_0-x_1)(x_0-x_2)\dots(x_0-x_n)} y_0 + \\ & + \frac{(x-x_0)(x-x_2)\dots(x-x_n)}{(x_1-x_0)(x_1-x_2)\dots(x_1-x_n)} y_1 + \dots \\ & \dots + \frac{(x-x_0)(x-x_1)\dots(x-x_{n-1})}{(x_n-x_0)(x_n-x_1)\dots(x_n-x_{n-1})} y_n \end{aligned} \quad (4)$$

Из (3.43) получим $Z(x_0) = y_0, Z(x_1) = y_1, Z(x_2) = y_2, \dots, Z(x_n) = y_n$, т.е. в узловых точках исходная функция $y(x)$ и восстановленная функция $Z(x)$ имеют одинаковые значения, а между узловыми точками несколько расходятся. Таким образом, формула Лагранжа удовлетворяет условиям (2) и (3) по интерполяции функций.

В основе другой интерполяционной формулы лежит функция типа $\sin x/x$, а сам интерполяционный многочлен имеет вид

$$Z(x) = \sum_{i=0}^n y_i L_i(x), \quad (5)$$

где

$$L_i(x) = \frac{\sin\left(\pi\left(\frac{x}{\Delta} - i\right)\right)}{\pi\left(\frac{x}{\Delta} - i\right)} = \frac{\sin(\omega(x - i\Delta))}{\omega(x - i\Delta)}, \quad (6)$$

Δ – шаг дискретизации (рис.2), $\omega = \pi/\Delta$, i – порядковый номер шага.

Анализ функции (6) при $i = 0, 1, 2, 3$ показывает, что интерполяционный многочлен (6) отвечает условиям интерполяции (2) и (3).

Составим программу по интерполяции непрерывной функции любого вида, заданной графически или в табличной форме (рис. 3.). Используем в этой программе два способа интерполяции функции. В основу первого способа положим сплайновую интерполяцию, предоставляемую математическим пакетом программ Mathcad (функции `cspline` и `interp`), в основу второго – интерполяционный многочлен (5). На рис. 3 за узловые выбраны точки, в которых функция резко меняет свой характер [20]. К таким точкам относятся все локальные экстремумы, в которых производная функции $dy/dt = 0$. Значения функции в этих узловых точках $y_0, y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$ сведем в матрицу исходных данных U . В программе Δ – шаг дискретизации, $\omega = \pi/\Delta$, N – число шагов.

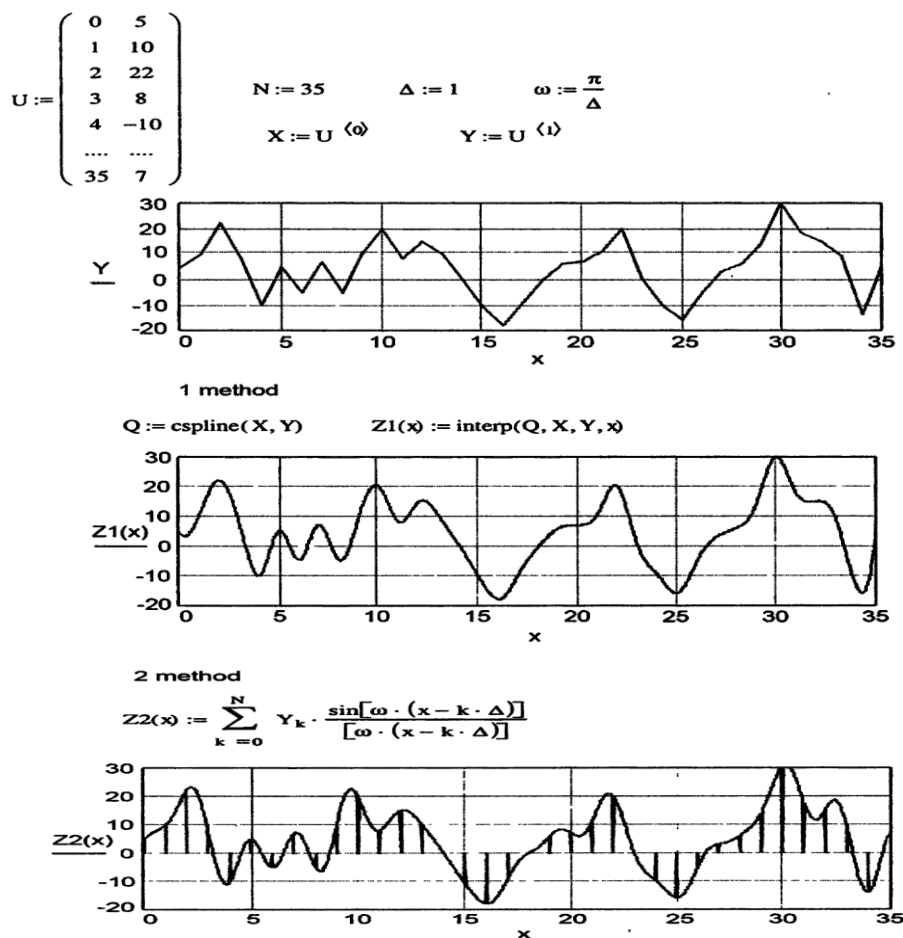


Рис. 3.

Данный и подобный примеры расчёта показывают, что оба выбранные метода интерполяции (с помощью функций `cspline – interp` и $\sin x/x$) позволяют восстановить исходную функцию по ряду

её дискретных значений. Точность совпадения результатов интерполяции по обоим методам вполне удовлетворительная.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] S. Kaider, "Performance of multi-carrier CDM and COFDM in fading channels", Proc. IEEE Globecom Conf., pp. 847-51, December 1999.
- [2] Ярлыков М.С. Применение марковской теории нелинейной фильтрации в радиотехнике. - М.: Сов. радио, 1980.
- [3] Огарков М.А. Методы статистического оценивания параметров случайных процессов, М.: Энергоатомиздат, 1990, 220 с.
- [4] Сейдж Э., Меле Дж. Теория оценивания и ее применение в связи и управлении / пер. с англ. под ред. проф. Б.Р.Левина, М.: Связь, 1976, 402 с.
- [5] Золотарев В.В., Овечкин Г.В. Помехоустойчивое кодирование. Методы и алгоритмы: Справочник / Под ред. чл.-корр. РАН Ю.Б.Зубарева. М.: Горячая линия - Телеком, 2004, 122 с.
- [6] Кендалл М., Стюарт А. Статистические выводы и связи. Пер с англ. М.: Наука, 1973, 810 с.
- [7] Склар Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение, 2-е издание.: Пер. с англ. - М.: Издательский дом "Вильямс", 2003, 1002 с.
- [8] Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Радио и связь, 1989.
- [9] Немировский М.С. Цифровая передача информации. М.: Связь, 1980.
- [10] Феер К. Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра: Пер. с англ. / Под ред. В.И.Журавлева.- М.: Радио и связь, 2000.
- [11] Сухарев А.Г., Тимохов А.В., Федоров В.В. Курс методов оптимизации.-М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1986.
- [12] Шлома А.М., Бакулин М.Г., Крейнделин В.Б., Шумов А.П. Новые технологии в системах мобильной радиосвязи. / Под ред. Шломы А.М. М.: МТУ СИ, 2005. 352 с.
- [13] K. Bagadi, S. Das, MIMO-OFDM Channel Estimation Using Pilot Carries. International Journal of Computer Applications, Volume 2 - No.3, May 2010. с 72-74.
- [14] K. Fazel, S.Kaiser, Multi-Carrier and Spread Spectrum Systems. Chichester, U.K.: John Wiley & Sons, 2003. 200p.
- [15] V. Tarokh, New Directions in Wireless Communications Research. Springer Science+Business Media, LLC 2009. 372p.
- [16] Y. Gay Guo. Advances in Mobile Radio Access Networks. Boston, Artech House, 2004, 244p.
- [17] S. B. Weinstein, Paul M. Ebert, "Data Transmission by Frequency-Division Multiplexing Using the Discrete Fourier Transform", IEEE Transactions on Communication Technology, Vol. COM-19, No. 5, October 1971, pp. 548 -552
- [18] Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов. Пер с англ./Под ред. Ю.К.Беляева. - М.: Мир, 1976, 652 с.
- [19] Джонстон Д. Дж. Стандарт IEEE 802.16 WirelessMAN ускоряет распространение беспроводного широкополосного доступа // Technology@Intel, 2003.
- [20] Есентураева Л.Б., Хачикян В.С., Антонцев А.В. Проблемы современных систем подвижной связи // Труды Международных Сатпаевских чтений «Роль и место молодых ученых в реализации стратегии Казахстан - 2050», посвященных 80-летию КазНТУ им. К.И. Сатпаева. – 2014. – Т. III. – с. 116-121.

REFERENCES

- [1] S. Kaider, "Performance of multi-carrier CDM and COFDM in fading channels", Proc. IEEE Globecom Conf., pp. 847-51, December 1999.
- [2] Yarlykov M.S. Application of Markov theory of nonlinear filtering in the radio. - M.: Sov. Radio, 1980.
- [3] Ogarkov M.A. Method of statistical estimation of parameters of stochastic processes MA: Energoatomizdat, 1990, 220 p.
- [4] Sage E., Mele J. Estimation Theory and its application in communication and control / tran. from English. ed. prof. B.R.Levin, M.: Communications, 1976, 402 p.
- [5] Zolotarev V.V., Ovechkin G.V. Noiseless coding. Methods and Algorithms: Manual / Ed. corr. RAS Yu.B.Zubarev. M.: Hotline - Telecom 2004, 122 p.
- [6] Kendall M., Stuart A. Statistical inference and communication. Translated from English. Nauka, 1973, 810 p.
- [7] Sklar B. Digital communication. Theoretical bases and practical application, 2nd edition.: Trans. from English. - M.: Publishing House "Williams", 2003, 1002.
- [8] Levin B.R. Theoretical foundations of statistical radio engineering. - 3rd ed., Rev. and add. - M.: Radio and Communications, 1989.
- [9] Nemirovsky M.S. Digital transmission of information. M.: Communications, 1980.
- [10] Feher K. Wireless digital communications. Methods of modulation and expanding the range: Trans. from English. / Ed. V.I.Zhuravleva.- M.: Radio and Communications, 2000.
- [11] Sukharev A.G., Timokhov A.V., Fedorov V.V. Course methods optimizatsii. M.: Science, Home edition of Physical and Mathematical Literature, 1986.
- [12] Shloma A.M., Bakulin M.G., Kreindel V.B., Noise A.P. New technologies in mobile radio systems. / Ed. Shlomo A.M. M.: MTU SI, 2005. 352 pp.Ya

- [13] K. Bagadi, S. Das, MIMO-OFDM Channel Estimation Using Pilot Carriers. International Journal of Computer Applications, Volume 2 - No.3, May 2010. s 72-74.
- [14] K. Fazel, S.Kaiser, Multi-Carrier and Spread Spectrum Systems. Chichester, U.K.: John Wiley & Sons, 2003. 200p.
- [15] V. Tarokh, New Directions in Wireless Communications Research. Springer Science+Business Media, LLC 2009. 372p.
- [16] Y. Gay Guo. Advances in Mobile Radio Access Networks. Boston, Artech House, 2004, 244p.
- [17] S. B. Weinstein, Paul M. Ebert, "Data Transmission by Frequency-Division Multiplexing Using the Discrete Fourier Transform", IEEE Transactions on Communication Technology, Vol. COM-19, No. 5, October 1971, pp. 548 -552
- [18] Anderson T. Statistical analysis of time series. Translated from English. / Ed. Yu.K.Belyaev. - М.: Mir, 1976, 652 p.
- [19] Johnston D.J. Standard IEEE 802.16 WirelessMAN accelerates the spread of wireless broadband // Technology @ Intel, 2003.
- [20] Esenturaeva L.B., Khachikian V.S., Antontsev A.V. Problems of modern mobile systems // Proceedings of the International Satpayev Readings "The role and place of young scientists in the implementation of the strategy Kazakhstan - 2050", dedicated to the 80th anniversary of KazNTU. KI Satpayev. - 2014 - V. III. - p. 116-121.

БАЙЛАНЫС АРНАЛАРЫН ҚҰРУДА ИНТЕРПОЛЯЦИЯНЫ ҚОЛДАНУ

В.С. Хачикян, А.В.Антонцев, Л.Б. Есентураева

laura.yessenturayeva@gmail.com

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы,

Түйін сөздер: OFDM, интерполяция, канал.

Аннотация. Ұялы байланыс арнасы арқылы көпсәулелі сигнал қабылданғанда сигналдың амплитудасына және фазасына өзгерту туғызатындығын сипаттайды. Жерүсті байланыс жүйесі жоғары жылдамдықпен деректерді каналға беру кезінде OFDM жүйесінің тиімділігі жоғары. Бірақ нақты ұялы байланыс жүйелерінде қабылдағыш үшін канал туралы ақпарат қол жетімсіз, байланыс жүйесін бөгеуілге қате бағалауының әсерін талдаудан кейін, каналдың параметрлерін есептеу керек. Канал параметрлері көршілес пилот сигналдар арасындағы уақыт аралығы тең уақыт ішінде айтарлықтай өзгеруі мүмкін. Байланыс арнасында деректерді әрдайым ірі көлемін ұлғайту қажеттілігі, одан әрі қабылдау соңында сигналды толық өтеуіне әкеледі. Бұл әрекетті орындау үшін, интерполяцияның мүмкіндігі ерекше.

Сведения об авторах

Хачикян В.С., к.ф.–м.н., доцент,
Антонцев А.В., магистр,
Есентураева Л.Б., докторант.

Поступила 22.09.2015 г.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

[www:nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz)

<http://www.bulletin-science.kz/index.php/ru/>

Редакторы *М.С. Ахметова, Д.С. Аленов, Т.А. Апендиев*
Верстка на компьютере *С.К. Досаевой*

Подписано в печать 11.12.2015.
Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.
15,2 п.л. Тираж 2000. Заказ 6.