

Обзор работ В.А. Сойфера в области статистической теории связи

О.В. Горячкин¹

¹Институт систем обработки изображений РАН - филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, Молодогвардейская 151, Самара, Россия, 443001

Аннотация. Рассматриваются работы академика РАН В.А.Сойфера 70-х годов прошлого века, посвященные развитию статистической теории связи. Анализируется значение этих работ для развития теории и практики телекоммуникаций в настоящее время.

1. Введение

Время, которое мы проживаем, довольно часто характеризуется понятием «информационный век», т.е. век взрыва информационных технологий, который был предопределен в 20-м веке бурным развитием технологий связи и вычислительной техники.

Теория связи на тот период переживала стадию интенсивной реализации на практике идей, сформулированных в основополагающих теоретических работах К. Шеннона, Д. Миддлтона, Р. Хемминга, Д. Слепяна, И. Рида, В.А. Котельникова, Л.М. Финка, А.А. Харкевича, А.М. Заездного и др.

Научные работы Виктора Александровича Сойфера [1-10], выполненные в период 1969-1976 гг., посвящены развитию статистической теории связи.

В 60-е годы, в Самаре (в те годы гор. Куйбышев), в Куйбышевском электротехническом институте связи (КЭИС), профессором Д.Д. Кловским (учеником профессора Ленинградского электротехнического института связи А.М.Заездного) была создана и эффективно работала научная школа по проблемам оптимальной обработки сигналов в каналах связи.

Даниил Давидович Кловский (1929-2004гг.) - заслуженный деятель науки и техники Российской Федерации, доктор технических наук, заведующий кафедрой теоретических основ радиотехники и связи КЭИС (в настоящее время Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики) с 1964 г. по 2004 г., один из основоположников статистической теории связи. В 1960 г. впервые в мире им была опубликована работа по оптимальному когерентному поэлементному приему дискретных сообщений в каналах с межсимвольной интерференцией (МСИ), с нулевой задержкой решения, с периодическим зондированием канала и использованием обратной связи по решению (ОСР).

В работах Д.Д. Кловского и его учеников исследовалась общая гауссовская модель стохастического пространственно-временного канала связи; выполнен анализ помехоустойчивости последовательных систем передачи дискретных сообщений по таким каналам; разработаны основы синтеза антенн с оптимальной диаграммой направленности (по критерию минимума средней вероятности ошибки). В дальнейшем профессор Кловский и его ученики разработали субоптимальные алгоритмы поэлементного приема в каналах с МСИ и

аддитивными помехами, использующие периодическое зондирование канала и ОСР при произвольной задержке решения, а также алгоритмы совместной демодуляции-декодирования в таких каналах при применении блоковых и сверточных помехоустойчивых кодов, в том числе при перемежении символов на передаче [11-13].

В 70-е годы Даниил Давидович руководил работой группы аспирантов Куйбышевского авиационного института (КуАИ), выпускников радиотехнического факультета: В.А. Соифера, М.А. Кораблина, Б.А. Есипова, В.А. Бочкарёва. В 1971 году под руководством Д.Д. Кловского В.А. Соифер защитил кандидатскую диссертацию по теме «Моделирование обобщенного гауссова канала для анализа и синтеза систем передачи информации. Сотрудничеством с научной школой профессора Кловского обусловлена направленность работ В.А. Соифера в области статистической теории связи [12].

2. Работы по прикладной теории информации

К числу задач, которые имели огромное практическое значение и в значительной мере сдерживавших развитие техники связи тех лет, следует отнести проблемы передачи информации по каналам с различного вида случайными замираниями, вызванными рассеянием передаваемого сигнала по времени и частоте.

К таким каналам в то время относились каналы дальней КВ радиосвязи, спутниковые трансионосферные каналы, каналы тропосферной связи; в наше время это практически все каналы беспроводной связи.

Трудности с разработкой эффективных технологий преодоления ограничений в таких каналах были вызваны не только наличием случайных аддитивных помех (методология борьбы с которыми была в основном создана в 50-е годы), но, в большей степени, возникновением т.н. «обратной проблемы», математические основы для решения которой в те годы только закладывались в работах Н. Винера и А.Н. Тихонова.

Дополнительно необходимо отметить невозможность практической реализации в те годы цифровых технологий приема и передачи информации. Фактически, единственным способом борьбы с помехами данного типа были различные методы пространственного разнесения приемных позиций.

К числу актуальных для того времени работ, где исследовались особенности реализации и потенциальные возможности передачи информации в каналах связи с рассеянием, относятся работы [1,2], в которых рассмотрена пропускная способность многолучевых каналов в условиях медленных замираний. Пропускная способность каналов связи в этих работах определялась как в условиях отдельного приема, так и в условиях невозможности отдельного приема, что является важным дополнением работы [14].

3. Пространственно-временная обработка сигналов

Несмотря на отсутствие в те годы цифровых технологий, микроэлектроники, развитие статистической теории связи не сдерживалось технологическими и практическими ограничениями, поэтому именно тогда была заложена методология современных систем беспроводной связи.

В частности, обобщение задачи оптимального приема в каналах с многолучевым распространением и пространственным разнесением на случай оптимального приема в пространственно-временных каналах в тот период носило во многом чисто умозрительный характер. Даже в 90-х годах практическая реализация пространственно-временной обработки сигналов в телекоммуникационных системах не имела практических примеров.

Однако сегодня, спустя 45 лет, развитие современных цифровых технологий программно-ориентированного радио, технологий цифровых адаптивных активных фазированных решеток (АФАР), технологий передачи, использующих несколько передающих и приемных антенн одновременно (ММО), делает подходы, разработанные в те годы, актуальными в практических задачах. В этой связи стоит упомянуть серию работ В.А. Соифера и Д.Д. Кловского [3-9] и монографию [10], в которых рассмотрены вопросы пространственно-временной обработки сигналов.

4. «Слепая» обработка сигналов

Помимо общих вопросов оптимальной пространственно-временной обработки сигналов в системах передачи информации, в ряде работ В.А. Сойфера рассматривались вопросы оценивания характеристик канала связи в том числе, в [9] была сформулирована идея «слепой» оценки пространственно-временного канала связи; т.е. оценки характеристик канала по информационным символам. Необходимо отметить, что это работа, поступила в редакцию в апреле 1974 г., опубликована в начале 1975 г. и оказалась, не только пионерской работой на русском языке, но и одной из первых работ в мировой литературе. Например, одна из первых работ [15], в которой рассмотрена задача слепой оценки только чисто временного канала, поступила в редакцию в феврале 1974 г. и была опубликована в декабре 1974 г.

В общем виде задачу слепой обработки можно сформулировать как цифровую обработку неизвестных сигналов, прошедших линейный канал с неизвестными характеристиками на фоне аддитивных шумов. Сегодня слепая обработка сигналов (blind signal processing) - это современная технология цифровой обработки сигналов (ЦОС), получившая широкое применение в задачах обработки сигналов в системах радиотехники, в том числе в системах радиосвязи, радиолокации, радионавигации, радиоастрономии, цифрового телевидения, в задачах цифровой обработки речи [16].

5. Заключение

В настоящее время исследования, начатые В.А. Сойфером под руководством профессора Д.Д. Кловского в области пространственно-временной обработки сигналов, продолжают по многим направлениям, как в научной школе академика РАН В.А. Сойфера (технологии распределенного сбора, хранения и обработки видеоданных, в том числе дистанционного зондирования Земли [17-23] и создание устройств оптической обработки сигналов и перспективных информационных технологий [24-27]), так и широким рядом отечественных и зарубежных ученых [28-34]. Передовые технологии телекоммуникаций часто используют идеи и методы, разработанные в 60-е, 70-е годы прошлого века. Оптимальная обработка сигналов в пространственно-временных каналах, пространственное кодирование, технологии ММО, методы «слепой» обработки сигналов - составные части современных и будущих технологий беспроводной связи 5-го и 6-го поколения. На примере анализа ранних работ академика РАН В.А.Сойфера можно отметить сопоставимый уровень теоретических работ в СССР и мире в области статистической теории связи, а также лишней раз убедиться в справедливости афоризма, приписываемого Густаву Кирхгофу: "Нет ничего практичнее хорошей теории!"

6. Литература

- [1] Сойфер, В.А. Оценка времени запаздывания импульсных сигналов, прошедших обобщенный радиоканал // Радиотехника. – 1969. – Т. 24, № 3. – С. 34-39.
- [2] Кловский, Д.Д. Пропускная способность многолучевых каналов / Д.Д. Кловский, В.А. Сойфер / Проблемы передачи информации. – 1972. – Т. 8, № 1. – С. 16-25.
- [3] Кловский, Д.Д. Различение двух ортогональных сигналов в обобщенном радиоканале / Д.Д. Кловский, В.А. Сойфер // Труды учебных институтов связи. – 1970. – Т. 48. – С. 48-53.
- [4] Кловский, Д.Д. Оптимальный приём дискретных сообщений в каналах с частотно-временной селективностью / Д.Д. Кловский, В.А. Бочкарёв, В.А. Сойфер // Радиотехника. – 1971. – Т. 26, № 2. – С. 36-44.
- [5] Кириллов, Н.Е. Пространственно-временные характеристики линейных каналов с переменными параметрами / Н.Е. Кириллов, В.А. Сойфер // Проблемы передачи информации. – 1972. – Т. 8, № 2. – С. 40-46.
- [6] Кловский, Д.Д. Помехоустойчивость широкополосной системы с противоположными сигналами при оптимальной пространственно-временной обработке / Д.Д. Кловский, В.А. Сойфер // Радиотехника и электроника. – 1972. – Т. XVII, № 12. – С. 2609-2612.
- [7] Сойфер, В.А. Измерение пространственно-временных характеристик линейных каналов с рассеянием // Радиотехника. – 1973. – Т. 28, № 10. – С. 12-17.

- [8] Кловский, Д.Д. Оптимальная обработка пространственно-временных полей в каналах с селективными замираниями / Д.Д. Кловский, В.А. Соифер // Проблемы передачи информации. – 1974. – Т. 10, № 1. – С. 73-79.
- [9] Соифер, В.А. Алгоритм обработки полей, использующий линейные оценки канала // Проблемы передачи информации. – 1975. – Т. 11, № 3. – С. 98-100.
- [10] Кловский, Д.Д. Обработка пространственно-временных сигналов (в каналах передачи информации) / Д.Д. Кловский, В.А. Соифер – М.: Радио и связь, 1976. – 208 с.
- [11] Брайнина, И.С. Профессор Д.Д. Кловский: биографический очерк / И.С. Брайнина, О.В. Горячкин, В.Г. Карташевский, Б.И. Николаев, В.А. Шилкин / Инфокоммуникационные технологии. – 2006. – Т. 4, № 1. – С. 9-11.
- [12] Горячкин, О.В. Эллипсы памяти (хрестоматия по истории радиотехники и связи): учебное издание / О.В. Горячкин, Б.И. Николаев, В.А. Шилкин, Е.О. Хабаров – Самара: ПГУТИ, 2018. – 103 с.
- [13] Быховский, М.А. Пионеры информационного века: История развития теории связи – М.: Техносфера, 2006. – 376 с.
- [14] Proakis, J. Channel identification for high speed digital communications // IEEE Transactions on Automatic Control. – 1974. – Vol. 19(6). – P. 916-922.
- [15] Costas, J.P. Information capacity of fading channels under conditions of intense interference // Proceedings of the IEEE. – 1963. – Vol. 51(3). – P. 451-461.
- [16] Горячкин, О.В. Методы слепой обработки сигналов и их приложения в системах радиотехники и связи – М.: Радио и связь, 2003. – 230 с.
- [17] Kazanskiy, N.L. The distributed vision system of the registration of the railway train / N.L. Kazanskiy, S.V. Popov // Computer Optics. – 2012. – Vol. 36(3). – P. 419-428.
- [18] Kazanskiy, N.L. Distributed storage and parallel processing for large-size optical images / N.L. Kazanskiy, S.V. Popov // Proceedings of SPIE. – 2012. – Vol. 8410. – 84100I. DOI: 10.1117/12.928441.
- [19] Казанский, Н.Л. Сравнение производительности систем потокового анализа данных в задаче обработки изображений скользящим окном / Н.Л. Казанский, В.И. Проценко, П.Г. Серафимович // Компьютерная оптика. – 2014. – Т. 38, № 4. – С. 804-810.
- [20] Kazanskiy, N.L. Performance analysis of real-time face detection system based on stream data mining frameworks / N.L. Kazanskiy, V.I. Protsenko, P.G. Serafimovich // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 201. – P. 806-816. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.09.602.
- [21] Зимичев, Е.А. Пространственная классификация гиперспектральных изображений с использованием метода кластеризации k-means++ / Е.А. Зимичев, Н.Л. Казанский, П.Г. Серафимович // Компьютерная оптика. – 2014. – Т. 38, № 2. – С. 281-286.
- [22] Соифер В.А. Перспективные информационные технологии дистанционного зондирования Земли – Самара: Новая техника, 2015. – 255 с.
- [23] Соифер В.А. Нанопотоника и ее применение в системах ДЗЗ – Самара: Новая техника, 2016. – 384 с.
- [24] Bykov, D.A. Optical computation of the Laplace operator using phase-shifted Bragg grating / D.A. Bykov, L.L. Doskolovich, E.A. Bezus, V.A. Soifer // Optics Express. – 2014. – Vol. 22(21). – P. 25084-25092.
- [25] Емельянов, С.В. Дифференцирование пространственно-временного оптического сигнала резонансными структурами нанопотоники / С.В. Емельянов, Д.А. Быков, Н.В. Головастикова, Л.Л. Досколович, В.А. Соифер // Доклады Академии наук. – 2016. – Т. 467, № 1. – С. 29-32.
- [26] Bykov, D.A. Coupled-mode theory and Fano resonances in guided-mode resonant gratings: the conical diffraction mounting / D.A. Bykov, L.L. Doskolovich, V.A. Soifer // Opt. Express. 2017. – Vol. 25(2). – P. 1151-1164.
- [27] Soifer, V.A. Diffractive nanophotonics and advanced information technologies // Herald of the Russian Academy of Sciences. – 2014. – Vol. 84(1). – P. 9-20.

- [28] Фетисова, Н.В. Алгоритм выделения интенсивных аномальных изменений во временном ходе параметров ионосферы // Компьютерная оптика. – 2019. – Т. 43, № 6. – С. 1064-1071. DOI: 10.18287/2412-6179-2019-43-6-1064-1071.
- [29] Arlazarov, V.V. MIDV-500: a dataset for identity document analysis and recognition on mobile devices in video stream / V.V. Arlazarov, K. Bulatov, T. Chernov, V.L. Arlazarov // Computer Optics. – 2019. – Vol. 43(5). – P. 818-824. DOI: 10.18287/2412-6179-2019-43-5-818-824.
- [30] Chen, H. Traffic extreme situations detection in video sequences based on integral optical flow / H. Chen, S. Ye, A. Nedzvedz, O. Nedzvedz, H. Lv, S. Ablameyko // Computer Optics. – 2019. – Vol. 43(4). – P. 647-652. DOI: 10.18287/2412-6179-2019-43-4-647-652.
- [31] Борзов, С.М. Исследование эффективности классификации трудноразличимых типов растительности по гиперспектральным изображениям / С.М. Борзов, М.А. Гурьянов, О.И. Потатуркин // Компьютерная оптика. – 2019. – Т. 43, № 3. – С. 464-473. DOI: 10.18287/2412-6179-2019-43-3-464-473.
- [32] Лебедев, Л.И. Комплексный анализ и мониторинг состояния окружающей среды на основе данных ДЗЗ / Л.И. Лебедев, Ю.В. Ясаков, Т.Ш. Утешева, В.П. Громов, А.В. Борусьяк, В.Е. Турлапов // Компьютерная оптика. – 2019. – Т. 43, № 2. – С. 282-295. DOI: 10.18287/2412-6179-2019-43-2-282-295.
- [33] Кропотов, Ю.А. Метод прогнозирования изменений параметров временных рядов в цифровых информационно-управляющих системах / Ю.А. Кропотов, А.Ю. Проскуряков, А.А. Белов // Компьютерная оптика – 2018. – Т. 42, № 6. – С. 1093-1100. DOI: 10.18287/2412-6179-2018-42-6-1093-1100.
- [34] Парфенов, В.И. Помехоустойчивость алгоритмов приёма сигналов с многоимпульсной позиционно-импульсной модуляцией / В.И. Парфенов, Д.Ю. Голованов // Компьютерная оптика. – 2018. – Т. 42, № 1. – С. 167-174. DOI: 10.18287/2412-6179-2018-42-1-167-174.

Review of V.A. Soifer's work in the field of statistical communication theory

O.V. Goryachkin¹

¹Image Processing Systems Institute of RAS - Branch of the FSRC "Crystallography and Photonics" RAS, Molodogvardejskaya street 151, Samara, Russia, 443001

Abstract. The paper deals with the works of academician V. A. Soifer of the Russian Academy of Sciences in the 70s of the last century, devoted to the development of statistical communication theory. The author analyzes the significance of these works for the development of the theory and practice of telecommunications at the present time.