

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.

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 (1929–2004 гг.) – 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. Сойфера, М.А. Кораблина, Б.А. Есипова, В.А. Бочкарёва. В 1971 году под руководством Д.Д. Кловского В.А. Сойфер 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. Сойфера в области статистической теории связи [12].

1. 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 трансферные 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 раздельного приема, так и в условиях невозможности раздельного приема, что является важным дополнением работы [14].

2. 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 (MIMO), делает подходы, разработанные в те годы, актуальными в практических задачах. В этой связи стоит упомянуть серию работ В.А. Сойфера и Д.Д. Кловского [3–9] и монографию [10], в которых рассмотрены вопросы пространственно-временной обработки сигналов.

3. «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].

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 лишним раз убедиться в справедливости афоризма, приписываемого Густаву Кирхгофу: «Нет ничего практичнее хорошей теории!»

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. Сойфер // Проблемы передачи информации. – 1974. – Т. 10, № 1. – С. 73-79.
- [9] Сойфер, 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. Сойфер – 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.B. 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.B. 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] Соيفер 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. Головастиков, 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. Проскураков, 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.