

**федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение
высшего образования
«Казанский национальный исследовательский университет
им. А.Н. Туполева-КАИ»**

**Научный доклад об основных результатах подготовленной
научно-квалификационной работы на тему:
«Разработка и анализ потенциальных характеристик алгоритмов
оценивания параметров многомерных сигналов в
инфокоммуникационных системах»**

аспиранта очной формы
4 года подготовки
кафедры РТС
Подкуркова Ивана Алексеевича

направление подготовки:
11.06.01 «Электроника, радиотехника и
системы связи»

направленность (профиль):
05.12.13 «Системы, сети и устройства
телекоммуникации»

отрасль науки: технические
научный руководитель:
д.ф.-м.н., профессор Надеев Адель
Фирадович

Казань 2020

Оглавление

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Общая характеристика работы | 3 |
| 2 | Заключение | 8 |
| | Публикации автора по теме диссертации | 9 |

1. Общая характеристика работы

Актуальность темы исследования. Развитие новых методов модуляции с множеством поднесущих и систем передачи данных с множеством входных и выходных портов (ММО) увеличивают количество получаемой информации и приводят к тому, что сигналы в таких системах могут быть описаны как многомерные массивы данных - тензоры, представляющие собой дискретизацию многомерных непрерывных сигналов.

Тензорное представление сигналов и моделей каналов связи открывает новые возможности к оцениванию параметров таких сигналов с помощью тензорных разложений. Такие тензорные разложения обладают свойствами уникальности и идентифицируемости, которые необходимы для корректного извлечения полезной информации из принимаемых сигналов и, помимо этого, могут сами нести полезную информацию в определённых сценариях.

Вместе с тем, увеличение объёма получаемой информации приводит к увеличению требований к вычислительным ресурсам таких систем. Моделирование передаточных функций каналов связи как полностью случайных и неизвестных стохастических величин приводит к нереализуемым методам и алгоритмам. Поэтому, в данной работе рассматриваются параметрические модели каналов связи [1], позволяющие уменьшить количество свободных параметров каналов связи тем самым снизив требования к вычислительным ресурсам систем связи, а также увеличив эффективность их эквализации.

Новые инфокоммуникационные системы, в погоне за растущими потребностями в пропускной способности, постоянно наращивают используемые ресурсы, чаще всего за счёт использования большей полосы частот. Увеличение относительных полос частот этих систем приводит к несостоятельности традиционных моделей данных в них, и, как следствие, алгоритмов оценивания параметров [2; 3]. В данной работе предлагается общая методика обработки получаемых данных, позволяющая применять узкополосные алгоритмы оценивания параметров каналов связи - направлений прихода сигналов на массив антенн - в широкополосных системах.

Сферическая модель фронта волны даёт возможность оценивать с помощью массива антенн не только направления прихода сигналов, но и расстояния до источника сигнала или его последнего отражения [4; 5]. Получение с помощью тензорных разложений несмещенных оценок фазовых сигнатур приходящих на массив антенн сигналов позволяет применять новые методы определения местоположения источников сигналов и их отражателей в ближнем геометрическом поле [6]. В данной работе предлагается новый алгоритм оценивания направлений прихода сигналов и расстояния до его источника в ближнем геометрическом поле.

Растущая насыщенность частотного спектра приводит к усложнению внутренних и внешних помех в современных инфокоммуникационных системах, что, в свою очередь, приводит к несостоятельности простых статистических моделей аддитивных помех в виде часто используемого белого шума с нормальным распределением [7; 8]. Это оправдывает использование более сложных статистических моделей аддитивных помех в таких системах, например, таких как смеси нормальных распределений. Введение более сложных моделей аддитивных помех приводит к необходимости анализа потенциальных характеристик оценивания параметров сигналов, в качестве которых распространено использование нижней границы Крамера-Рао [9; 10]. В данной работе предлагается обобщенный метод расчёта потенциальных характеристик оценивания параметров каналов связи с учётом негауссовских распределений аддитивных помех.

Объектом исследования беспроводные инфокоммуникационные системы с множеством приёмных и/или передающих антенн.

Предметом исследования алгоритмы оценивания параметров многомерных сигналов в беспроводных инфокоммуникационных системах.

Степень разработанности темы. В работе Richter A. [1], в которой даётся крайне общее описание параметрической модели радиочастотного канала связи, учитывающей все основные физические эффекты, влияющие на распространение электро-магнитных волн. Однако в данной работе не развивается представление передаточной функции канала связи как многомерного массива данных - тензора, которое ведёт к новым подходам, методам и алгоритмам обработки и оценивания параметров каналов связи.

Описание моделей широкополосных каналов связи и соответствующих алгоритмов оценивания их параметров можно найти в таких работах как [11—21].

Работы по локализации источников сигналов в ближнем геометрическом поле можно найти в [4—6].

Исследования и алгоритмы оценивания для систем с негауссовским распределением аддитивных помех можно найти в [7; 8].

Целью данной работы является повышение эффективности инфокоммуникационных систем путём разработки новых алгоритмов оценивания параметров каналов связи, в том числе для широкополосных каналов связи, каналов связи с отражателями в ближнем геометрическом поле, а также для каналов связи с негауссовым распределением аддитивных помех.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие **задачи**:

1. Исследовать и систематизировать параметрические модели каналов связи, в том числе модели широкополосных каналов связи, модели каналов связи с отражателями в ближнем геометрическом поле и модели каналов связи с негауссовым распределением аддитивных помех.
2. Разработать методику обработки принятых сигналов для широкополосных каналов связи.
3. Разработать алгоритм оценивания параметров канала связи с отражателями в ближнем геометрическом поле с использованием сферической модели фронта волны.
4. Разработать метод вычисления границы Крамера-Рао оценивания параметров каналов связи с негауссовым распределением аддитивной помехи.

Научная новизна:

1. Впервые предложен метод предварительной обработки многомерных сигналов в широкополосных системах, позволяющий применять алгоритмы оценивания параметров каналов связи, разработанные для узкополосных систем.
2. Разработан новый алгоритм оценивания параметров канала связи с отражателями в ближнем геометрическом поле с использованием сферической модели фронта волны.
3. Впервые исследована граница Крамера-Рао для задач оценки параметров каналов связи с негауссовым распределением аддитивной помехи, заданным смесью нормальных распределений с ненулевыми средними значениями компонент.

Теоретическая и практическая значимость работы Теоретическая значимость работы состоит в следующем:

- доказана эффективность метода предварительной обработки многомерных сигналов в широкополосных системах с относительной полосой частот, превышающей 10%;
- показано, что разработанный алгоритм оценивания параметров канала связи с отражателями в ближнем геометрическом поле более эффективен чем существующие алгоритмы;
- показано, что использование более сложных моделей аддитивных помех потенциально позволяет увеличить точность работы алгоритмов оценивания параметров каналов связи.

Практическая значимость работы состоит в следующем:

- программная реализация предложенных алгоритмов;
- разработаны компьютерные модели, имитирующие работу инфокоммуникационных систем с предложенными алгоритмами и оценивающие эффективность их работы.

Методология и методы исследования. При решении поставленных задач научного исследования использовались алгоритмы тензорных разложений, методы линейной алгебры, теория оценивания, теория вероятностей и статистики, методы обработки цифровых сигналов, методы компьютерного моделирования (в частности, метод Монте-Карло) и экспериментального исследования. . . .

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Предложенный метод предварительной обработки многомерных сигналов в широкополосных системах существенно повышает точность алгоритмов оценки параметров каналов связи, разработанных для узкополосных систем. Улучшение точности оценивания увеличивается при увеличении относительной полосы частот рассматриваемой широкополосной системы.
2. Разработанные алгоритм оценивания параметров канала связи с отражателями в ближнем геометрическом поле обеспечивает лучшую точность оценивания в сравнение с существующими методами.
3. Исследование границы Крамера-Рао для систем с негауссовским распределением аддитивной помехи, выраженным смесью нормальных

распределений, показало потенциальный задел на увеличение эффективности алгоритмов оценивания параметров каналов связи в таких системах.

Достоверность Достоверность результатов, полученных в ходе данной работы, подтверждается соответствием результатов теоретического анализа результатам имитационного моделирования, а также результатам других авторов.

Апробация работы.

Личный вклад. Все результаты, приведённые в основных положениях, выносимых на защиту, получены автором самостоятельно. Из работ, опубликованных в соавторстве, в диссертацию включена та их часть, которая получена автором лично.

Публикации. Основные результаты по теме диссертации изложены в 9 печатных изданиях, 2 из которых изданы в журналах, рекомендованных ВАК, 3 — в периодических научных журналах, индексируемых Web of Science и Scopus, 5 — в тезисах докладов.

2. Заключение

Основные результаты работы заключаются в следующем:

1. На основе анализа ...
2. Численные исследования показали, что ...
3. Математическое моделирование показало ...
4. Для выполнения поставленных задач был создан ...

Публикации автора по теме диссертации

- A0. Efficient multidimensional parameter estimation for joint wideband radar and communication systems based on OFDM [текст] / J. Zhang [et al.] //. — New Orleans, LA : IEEE, 2017. — P. 3096—3100. — (Scopus).

Список литературы

1. *Richter, A.* Estimation of radio channel parameters: Models and algorithms [текст] / A. Richter //. — ISLE. 2005.
2. *Tuan-Do-Hong.* Signal processing for wideband smart antenna array applications [текст] / Tuan-Do-Hong, P. Russer // IEEE Microwave Magazine. — 2004. — т. 5, вып. 1. — с. 57—67.
3. *Raimondi, F.* Wideband multilinear array processing through tensor decomposition [текст] / F. Raimondi, P. Comon, O. Michel // 2016 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). — IEEE. 2016. — с. 2951—2955.
4. *Singh, P. R.* Near field targets localization using bistatic MIMO system with spherical wavefront based model [текст] / P. R. Singh, Y. Wang, P. Chargé // 2017 25th European Signal Processing Conference (EUSIPCO). — IEEE. 2017. — с. 2408—2412.
5. *Singh, P. R.* Near field targets localization using bistatic MIMO system with symmetric arrays [текст] / P. R. Singh, Y. Wang, P. Chargé // 2017 25th European Signal Processing Conference (EUSIPCO). — IEEE. 2017. — с. 2403—2407.
6. *Singh, P. R.* Bistatic MIMO radar for near field source localisation using PARAFAC [текст] / P. R. Singh, Y. Wang, P. Chargé // Electronics Letters. — 2016. — т. 52, № 12. — с. 1060—1061.
7. *Kozick, R.* Maximum-likelihood array processing in non-Gaussian noise with Gaussian mixtures [текст] / R. Kozick, B. Sadler // IEEE Transactions on Signal Processing. — 2000. — т. 48, вып. 12. — с. 3520—3535.

8. *Kalyani, S.* On CRB for Parameter Estimation in Two Component Gaussian Mixtures and the Impact of Misspecification [текст] / S. Kalyani // IEEE Transactions on Communications. — 2012. — т. 60, вып. 12. — с. 3734—3744.
9. *H., C.* Mathematical Methods of Statistics (PMS-9) [текст]. Vol. 4 / C. H. — The address : Princeton University Press, 07/1999. — P. 575. — An optional note.
10. *M., K. S.* Fundamentals of statistical signal processing: estimation theory [текст]. Vol. 4 / K. S. M. — The address : Prentice-Hall, 07/1993. — P. 264. — An optional note.
11. *Doran, M. A.* Coherent wide-band processing for arbitrary array geometry [текст] / M. A. Doran, E. Doron, A. J. Weiss // IEEE Transactions on Signal Processing. — 1993. — янв. — т. 41, № 1. — с. 414—.
12. *Hung, H.* Coherent wide-band ESPRIT method for directions-of-arrival estimation of multiple wide-band sources [текст] / H. Hung, M. Kaveh // IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing. — 1990. — февр. — т. 38, № 2. — с. 354—356.
13. *Ottersten, B.* Direction-of-arrival estimation for wide-band signals using the ESPRIT algorithm [текст] / B. Ottersten, T. Kailath // IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing. — 1990. — февр. — т. 38, № 2. — с. 317—327.
14. *Veen, B. D. V.* Beamforming: a versatile approach to spatial filtering [текст] / B. D. V. Veen, K. M. Buckley // IEEE ASSP Magazine. — 1988. — апр. — т. 5, № 2. — с. 4—24.
15. *Wang, H.* Coherent signal-subspace processing for the detection and estimation of angles of arrival of multiple wide-band sources [текст] / H. Wang, M. Kaveh // IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing. — 1985. — авг. — т. 33, № 4. — с. 823—831.
16. *Krolik, J.* Focused wide-band array processing by spatial resampling [текст] / J. Krolik, D. Swingler // IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing. — 1990. — февр. — т. 38, № 2. — с. 356—360.
17. *Friedlander, B.* Direction finding for wide-band signals using an interpolated array [текст] / B. Friedlander, A. J. Weiss // IEEE Transactions on Signal Processing. — 1993. — апр. — т. 41, № 4. — с. 1618—1634.

18. *Clergeot, H.* New simple implementation of the coherent signal subspace method for wide band direction of arrival estimation [текст] / H. Clergeot, O. Michel // Proc. Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). — 05.1989. — 2764—2767 vol.4.
19. *Krim, H.* Two decades of array signal processing research: the parametric approach [текст] / H. Krim, M. Viberg // IEEE Signal Processing Magazine. — 1996. — июль. — т. 13, № 4. — с. 67—94.
20. *Simanapalli, S.* Broadband focusing for partially adaptive beamforming [текст] / S. Simanapalli, M. Kaveh // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. — 1994. — янв. — т. 30, № 1. — с. 68—80.
21. *Chen, Y. H.* Directions-of-arrival estimations of multiple coherent broadband signals [текст] / Y. H. Chen, R. H. Chen // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. — 1993. — июль. — т. 29, № 3. — с. 1035—1043.