

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ СОВМЕСТНЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПОКАЗАТЕЛЬНОГО И СТЕПЕННОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ПЛОТНОСТИ ИХ ЭНЕРГИИ В ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОМ ПРОСТРАНСТВЕ (завершение обзора)

С.В. Дворников^{1*} 

¹Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного,
Санкт-Петербург, 194064, Российская Федерация

*Адрес для переписки: practicdsv@yandex.ru

Информация о статье

УДК 621.391

Статья поступила в редакцию 09.06.2019

Ссылка для цитирования: Дворников С.В. Представление совместных распределений на основе показательного и степенного преобразований плотности их энергии в частотно-временном пространстве: завершение обзора // Труды учебных заведений связи. 2019. Т. 5. № 3. С. 66–74. DOI:10.31854/1813-324X-2019-5-3-66-74

Аннотация: Представлен аналитический обзор оригинальных методов повышения контрастности матриц совместных распределений за счет применения показательных и степенных преобразований плотности их энергии в частотно-временном пространстве. Приведены примеры моделирования, определяющие практическую направленность разработанных подходов. Даны рекомендации по их практическому применению.

Ключевые слова: частотно-временные распределения, степенные и показательные преобразования, методы вторичной обработки совместных распределений.

Введение

Несмотря на то, что теорию билинейных распределений можно рассматривать как самостоятельное направление науки, ее методы продолжают совершенствоваться в соответствии с требованиями, определяемыми их практическим применением. В их основе по-прежнему лежит методология совместной обработки плотности распределения энергии анализируемых процессов в частотно-временной области, предложенная Cohen L. [1].

Следует отметить, что теоретическая база, разработанная в [2–13], достаточно активно используется в прикладных задачах радиотехники [14–34]. Вместе с тем исследования по вторичной обработке матриц совместных распределений энергии [6, 12, 13, 29] определили новое направление совершенствования форм их совместных представлений в частотно-временном пространстве, связанное с повышением контрастности компонент полезного сигнала. В частности, предложенную в [25] модификацию частотно-временных описаний нестационарных процессов на основе показательных и степенных функций.

Методы усовершенствования представлений сигналов на основе показательного и степенного преобразований совместных распределений плотности их энергии

В общем случае возможности псевдораспределений, описанные в работе Claasen T.A.C.M. и Meulenbrauker W.F.G. [30], не позволяют в полной мере обеспечить точное оценивание характеристик быстро изменяющихся процессов.

Прежде всего, это обусловлено тем, что в соответствии с принципом неопределенности Гейзенберга [5] уменьшение размера временного окна так, чтобы оно позволяло локализовать быстрые изменения сигналов, неизбежно приводит к снижению локализации плотности энергии вдоль линии их мгновенных частот. В результате, в условиях шумов инструментальная чувствительность псевдораспределений как инструмента анализа снижается и становится не пригодной к исследованию тонкой структуры обрабатываемых сигналов и энергетических процессов, поскольку возникающая при этом погрешность измерений превышает дисперсию разброса оцениваемой величины.

В целях борьбы с указанным негативным проявлением в [31, 32] предложены интересные подходы к улучшению в частотно-временных распределениях свойств локализации энергии сигналов вдоль линий мгновенных частот. В частности, в [17] для количественной оценки качества частотно-временных описаний предлагается использовать такие показатели, как глобальный и локальный разброс энергии.

Однако их аналитическое вычисление является достаточно сложной задачей. Более того, даже для одного и того же совместного частотно-временного представления расчетные выражения и конечные значения этих показателей будут различаться в зависимости от вида сигнала [6].

Существенного улучшения характеристик частотно-временных описаний удалось достичь за счет применения методов совершенствования масштабно-временных распределений, использующих различные формы вейвлет-преобразований [34]. Более интересным в этом плане видится использование частотно-временных распределений (ЧВР) с адаптивным порогом отображения сигнальным компонентом [16]. Однако практическое применение такого подхода связано с определенными сложностями выбора уровня порога в условиях априорной неопределенности о значениях сигнальных и шумовых компонентом в матрице распределения.

Вместе с тем результаты исследования возможностей улучшения свойств совместных ЧВР по локализации энергии полезного сигнала в частотно-временном пространстве, проведенные в [1, 3, 23, 25, 29], показали, что в формируемой матрице распределения доминирующими являются сигнальные компоненты. Это явление объясняется корреляционной природой формирования ЧВР. Поскольку шумы не коррелированы, то на плоскости матрицы совместных представлений их компоненты распределяются равномерно, в то время как сигнальные компоненты локализируются вдоль линий их мгновенных частот.

Базируясь на указанных свойствах, желательно получить такое частотно-временное представление распределения энергии, которое позволило бы усилить доминирующие значения матрицы, принадлежащие полезным сигналам. Другими словами, целесообразно увеличить абсолютную разность между сигнальными и шумовыми компонентами на обрабатываемых формах ЧВР. В радиотехнике аналогичные функции выполняет операция нелинейного усиления.

Среди известных математических операций, позволяющих осуществить требуемое нелинейное усиление, можно выделить преобразования на основе степенных и показательных функций [25]. Аналитическое представление операции показательного преобразования имеет следующий вид:

$$W_{пп} = A^W, \quad (1)$$

где W – исходная матрица ЧВР; $W_{пп}$ – матрица ЧВР, усовершенствованная за счет применения операции показательного преобразования; A – основание преобразования.

Операции имеют следующий вид:

$$W_{сп} = W^A, \quad (2)$$

где $W_{сп}$ – матрица, усовершенствованная за счет применения операции степенного преобразования.

В общем случае методы усовершенствования равно обусловлены и их применение определяется конкретными условиями. В связи с этим рассмотрим особенности реализации указанных операций. Так, усовершенствование матриц на основе степенного преобразования позволяет получить большее различие между соседними компонентами (числовыми значениями) в области величин, близких к единице. Причем этот эффект усиливается при возрастании абсолютного значения основания преобразования.

В то же время для разделения близлежащих членов в области нулевого значения матрицы предпочтителен метод усовершенствования на основе показательного преобразования (рисунок 1).

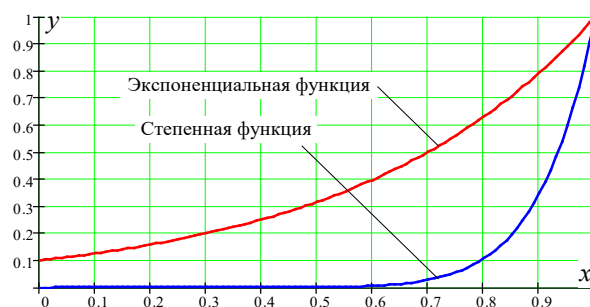


Рис. 1. Нормированные функции степенного и показательного преобразования эталонного ряда

На рисунке 1 показаны функции, полученные на основе степенного и показательного преобразований с равным основанием эталонного ряда чисел $x = \{0; 0,1; \dots; 0,9\}$. Применительно к частотно-временному анализу указанные функции можно рассматривать как результаты усовершенствования временного среза матрицы ЧВР. Тогда по оси абсцисс представлены элементы среза матрицы до усовершенствования $x = \{0; 0,1; \dots; 0,9\}$, а по оси ординат – значения усовершенствованного ряда y после процедур степенного и показательного преобразований.

В интересах сравнения возможностей методов конечные результаты после операций усовершенствования дополнительно нормировались относительно своих максимальных значений. При усовершенствовании рассматривалось значение оснований $A = 10$.

Заметим, что выбор A близким к 1000 позволяет получить для функций показательного преобразования результат, сопоставимый со степенным преобразованием при $A = 10$. Однако применение больших величин для оснований A при степенных преобразованиях обосновано только в случае предварительного временного нормирования матриц [25]. Особую роль в указанных процедурах усовершенствования играет операция временного нормирования, заключающаяся в нормировании всех элементов матрицы ЧВР по частоте для каждого ее среза по времени.

В реальных каналах всегда присутствуют различного рода неоднородности, приводящие к искажению АЧХ тракта. Следовательно, амплитудные значения сигнала даже на несущей частоте в различные моменты времени будут иметь различные величины. Особенно это характерно для каналов с различного рода замираниями. Поэтому применение к такой матрице ЧВР-процедур степенного или показательного преобразования только усугубит имеющиеся различия между сигнальными компонентами, находящимися на различных позициях временных интервалов.

Во избежание указанных проблем в [25] предложено использовать процедуры временного нормирования матриц ЧВР. Применение указанной процедуры позволит обеспечить на энергетической плоскости распределений одинаковый уровень для максимальных компонент на каждом временном срезе. Таким образом, процедуры реализации метода можно свести к реализации следующих процедур:

- формирование (синтез) требуемого (заданного) ЧВР от обрабатываемой реализации;
- временное нормирование матрицы распределения энергии синтезированного ЧВР;
- вычисление степенного (показательного) преобразования над матрицей ЧВР обрабатываемого сигнала (процесса).

Результаты моделирования по реализации методов усовершенствования матриц ЧВР

Для демонстрации возможностей методов усовершенствования матриц ЧВР на основе применения к ним степенного и показательного преобразований проведено моделирование различных тестовых сигналов в условиях аддитивных шумов.

В качестве примера на рисунке 2 изображены спектры тестового сигнала $s(t)$, представляющего собой гармонический радиопульс. В частности, на рисунке 2а показан спектр тестового сигнала без шумов $|F(f)|$, а на рисунке 2б – спектр сигнала в шумах $|\tilde{F}(f)|$, из которого видно, что отношение сигнал/шум составило 8 дБ.

На рисунке 3 представлены ЧВР тестового сигнала в тех же условиях без шумов $W_{ПЧВ}(f, t)$ и в шумах $\tilde{W}_{ПЧВ}(f, t)$. В качестве ЧВР при моделировании

использовано псевдочастотно-временное распределение (псевдо-ЧВР) Вигнера [30]. Очевидно, что при таком уровне шума линия мгновенной частоты в значительной степени неравномерна, что не позволяет на ее основе измерить значение несущей частоты даже на основе псевдо-ЧВР.

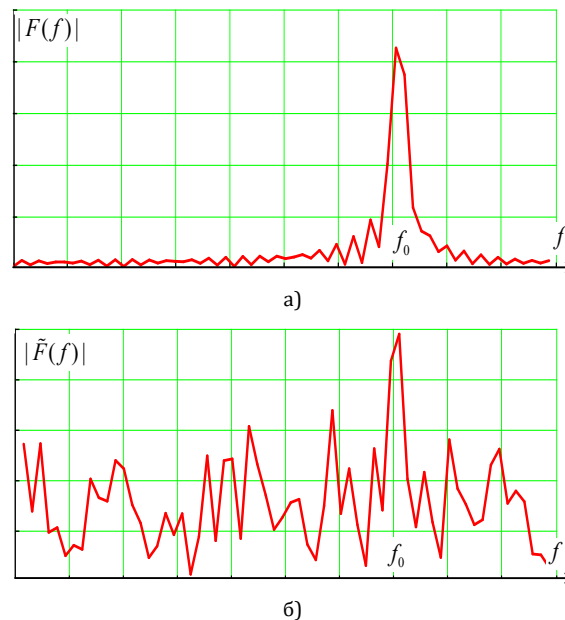


Рис. 2. Спектр тестового сигнала без шумов (а) и в шумах (б)

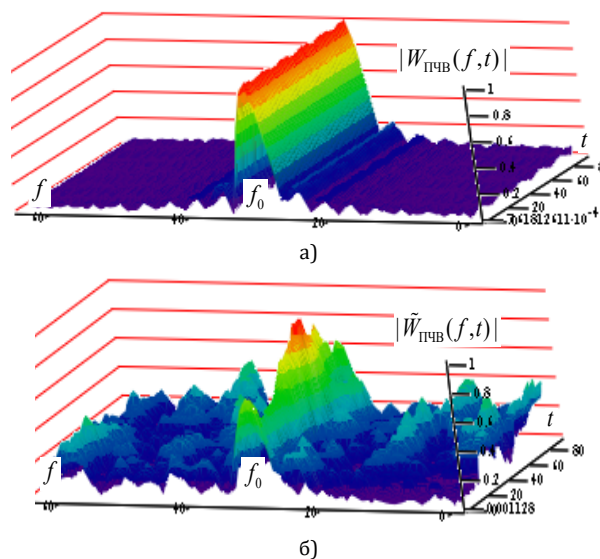


Рис. 3. Псевдо-ЧВР Вигнера тестового сигнала без шумов (а) и в шумах (б)

Далее матрица псевдо-ЧВР Вигнера тестового сигнала была усовершенствована путем применения процедур временного нормирования (рисунок 4а) и затем дополнительно модифицирована за счет степенного преобразования (рисунок 4б). Даже визуальный анализ показывает, что применение процедур временного нормирования в значительной мере выровняло по уровню сигнальные компоненты вдоль линии мгновенной частоты (см. рисунок 4а), тем самым, обеспечив возможность проведения ее измерений на матрице псевдо-ЧВР.

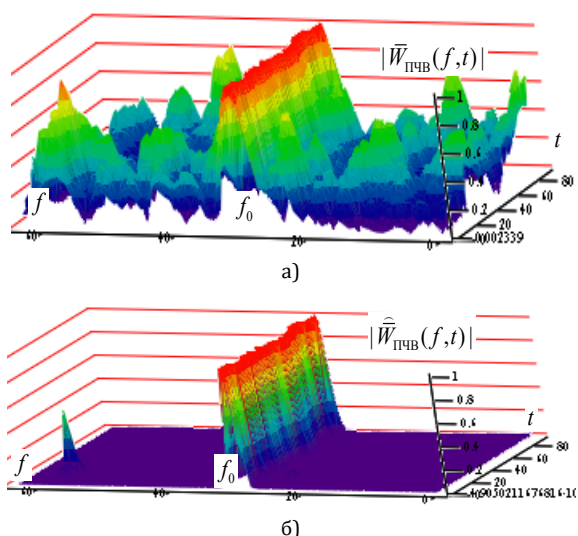


Рис. 4. Псевдо-ЧВР Вигнера тестового сигнала после процедур временного нормирования (а) и после процедур временного нормирования и степенного преобразования (б)

Следует отметить, что значения шумовых составляющих на матрице псевдо-ЧВР все еще велики и, следовательно, они будут затруднять выбор порога принятия решения при реализации более тонких процедур обработки. В то же время, последующие процедуры модифицирования усовершенствованной матрицы псевдо-ЧВР за счет процедур степенного преобразования (см. рисунок 4б) фактически полностью подавили шумовой фон.

В качестве примера на рисунке 5 изображены гистограммы распределений вдоль линий мгновенных частот (по оси x частотные значения представлены в виде дискретных отсчетов) абсолютных значений модифицированной усовершенствованной матрицы псевдо-ЧВР (по оси y представлены нормированные амплитудные значения матрицы в процентах от максимальной величины), превысивших порог по уровню 0,7 от наибольшего значения (истинное положение компонент тестового сигнала вдоль линии дискретных отсчетов $x = 30$).

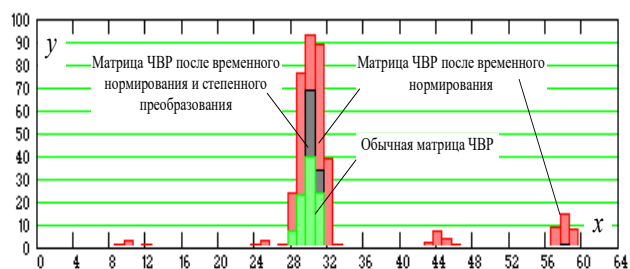


Рис. 5. Распределение сигнальных компонент тестового сигнала вдоль линий мгновенных частот

Теоретические предположения о положительных свойствах процедур степенных и показательных преобразований подтверждаются результатами практических экспериментов в [25]. При этом следует отдельно подчеркнуть значимость проведения процедур предварительного временного нормирования матриц распределений энергии.

Именно данная процедура позволяет выровнять по уровню сигнальные компоненты вдоль линий мгновенных частот. Физическая сущность указанной операции аналогична работе автоматической регулировки усиления в каналах радиотехнических устройств с замираниями.

Вместе с тем, негативным моментом операции временного нормирования является значительная величина дисперсии в пределах каждого временного среза, что нежелательно при измерении и оценке спектральных компонентов. Для снижения негативных последствий применения процедур временного нормирования, целесообразно повышать уровень порога отображения результирующих значений, но при этом уменьшается и общая энергия сигнальных компонент.

Для демонстрации эффекта предложенных процедур модифицирования и усовершенствования матриц распределений энергии показаны двумерные (рисунки 6а, 6в и 6д) и трехмерные матрицы (рисунки 6б, 6г и 6е), полученные автором в [25].

Представленные результаты моделирования (матрицы распределения энергии) нормировались относительно их полной энергии. Основание степени преобразования в эксперименте выбиралось из условия:

$$\tilde{W}_{ПЧВ}(f, t), \tag{3}$$

при $A = 1000$.

Следует отметить, что для приведения матриц распределения энергии к условию (3) может потребоваться проведение дополнительных операций над каждым $K_{f,t}$ -элементом матрицы. В частности, выполнения операции взятие модуля и умножения на число, которые в целом не искажают общей картины распределения энергетических компонент на матрице ЧВР.

Для оценки эффективности рассмотренных процедур модификации в качестве критерия степени различия/схожести с «идеальным ЧВР» в [25] предложен двумерный коэффициент корреляции r_k :

$$r_k = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (w_{m,n} - \bar{w})(v_{m,n} - \bar{v})}{\sqrt{(\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (w_{m,n} - \bar{w})^2)(\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (v_{m,n} - \bar{v})^2)}} \tag{4}$$

где \bar{w} и \bar{v} – математические ожидания элементов матриц.

Использование критерия (4) позволяет достаточно отобразить продуктивность модифицирования. Так, на рисунке 7 представлены результаты сравнения различных видов частотно-временных преобразований с «идеальным ЧВР», где КПФ – кратковременное (оконное) преобразование Фурье; ПВ – псевдораспределение Вигнера; НВП – непрерывное вейвлет-преобразование; ПФС = A – модифицированная спектрограмма на основе показательного преобразования при $A = 2, 10, 100$ и 1000 .

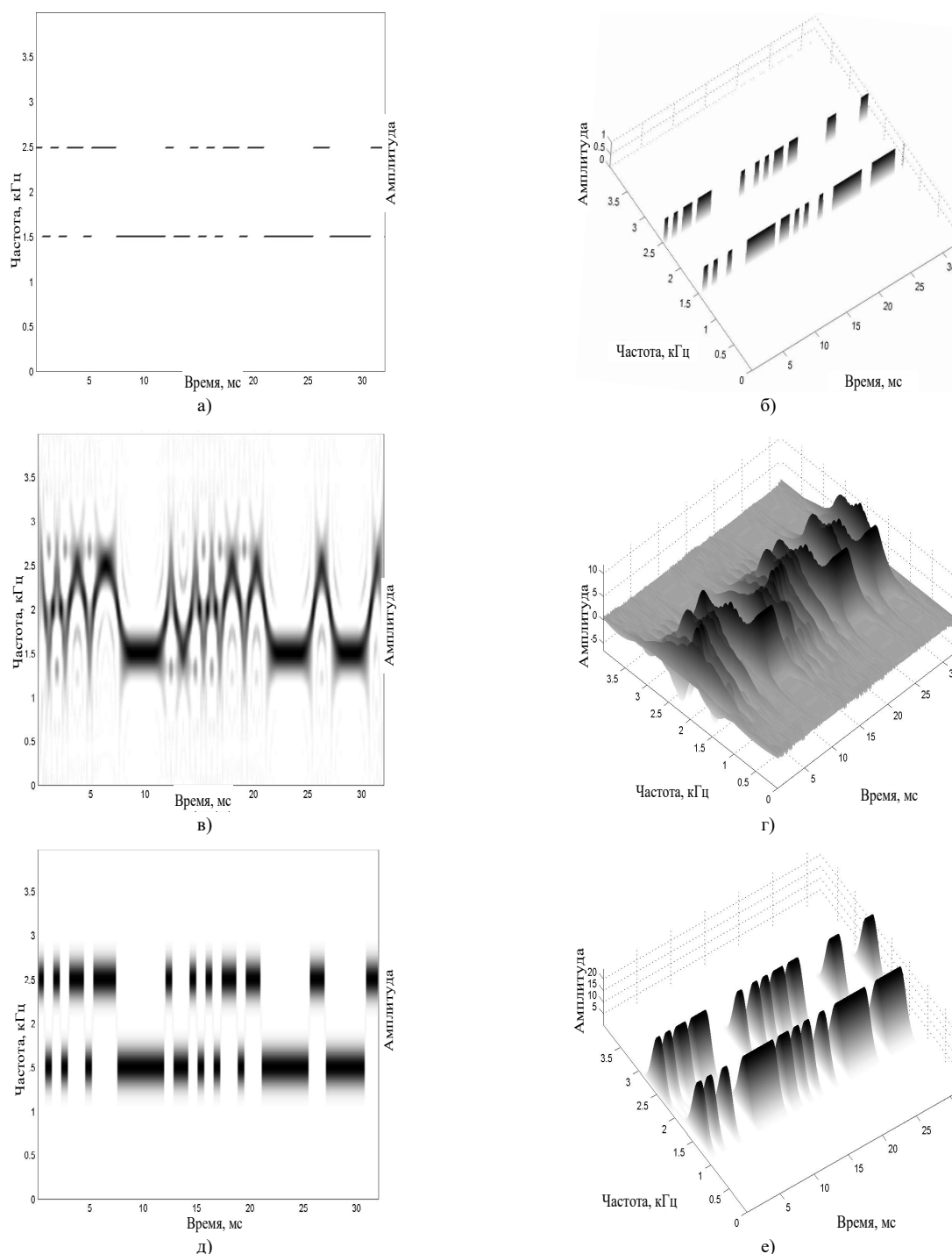


Рис. 6. Представление тестового сигнала ЧМн-2 на основе «идеального ЧВР» (а, б), псевдо-ЧВР Вигнера (в, г) и модифицированной спектрограммы после временного нормирования (д, е)

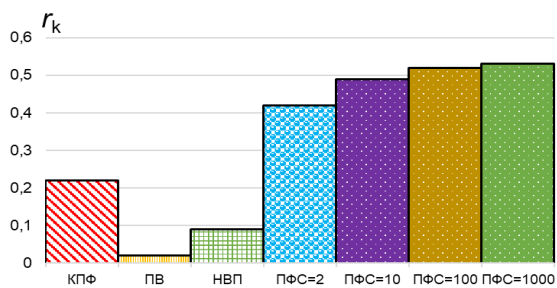


Рис. 7. Соответствие различных ЧВР «идеальному ЧВР» по метрике r_k

Визуальный анализ представленных результатов (см. рисунок 7) позволяет заключить, что наибольшая целесообразность применения процедур модификации обоснована к распределениям, имеющим низкий (подавленный) интерференционный фон, то есть к различным формам сглаженных и псевдо-ЧВР.

Среди прочих, авторами в [25] выделены спектрограммы, в общем случае представляющими собой простейшую форму ЧВР, недостатком которых является значительный дисперсионный разброс

энергии вдоль линии мгновенной частоты. Однако применение процедур модификаций на основе степенных и показательных преобразований позволило существенно уменьшить характер негативных проявлений. С учетом указанных обстоятельств спектрограммы можно рассматривать как наиболее эффективный инструмент анализа нестационарных процессов со сложной частотно-временной структурой.

Очевидно, что степенные и показательные преобразования достаточно трудоемки в вычислительном плане. Причем аналитическая сложность вычислений возрастает с повышением основания A . Вместе с тем анализ представленных результатов показывает, что для получения приемлемых значений по точности и качеству представления матриц распределения энергии достаточно использовать $A = 10$, что позволяет на практике ограничиться данным основанием.

Дальнейшее усовершенствование матриц распределения энергии имеет смысл лишь при условии проведения дополнительных процедур временного нормирования.

Заключение

Формализация представления совместных ЧВР как инструмента анализа тонкой частотно-временной структуры параметров энергетических процессов с высокой нестационарностью их изменения на

интервале обработки позволяет определить основные направления дальнейшего развития теории билинейных распределений.

В рамках настоящей статьи рассмотрены лишь некоторые аспекты, связанные с непосредственным применением процедур степенного и показательного преобразований. Вместе с тем поиск приемлемых форм, основанный на анализе существующих знаний, наверняка позволит определить перспективные направления дальнейших исследований в этом вопросе. Немаловажным аспектом является практическая составляющая приложения методов совместного анализа, в частности, в процедурах принятия решения [35–40].

Разработанные подходы к модификации матриц распределения энергии универсальны и дают возможность осуществлять быстрый синтез инструмента анализа с требуемыми характеристиками. Очевидно, что будущее за применением совместной обработки в задачах радиотехники определено метрологическими возможностями модифицированных матриц по измерению тонкой структуры энергетических процессов. Также можно предположить возможность их применения и в интересах повышения помехоустойчивости передачи информации [41–44], о чем уже указывалось ранее. Большое будущее видится и у метода временного нормирования. В настоящее время эти вопросы активно изучаются.

Список используемых источников

1. Cohen L. Time-Frequency Distribution – a Review // Proceedings of the IEEE. 1989. Vol. 77. Iss. 7. PP. 941–981. DOI:10.1109/5.30749
2. Boashash B. Time-Frequency Signal Analysis // In: Advances in Spectrum Estimation and Array Processing. N. J.: Prentice Hall, 1990. PP. 418–517.
3. Hlawatsch F., Krattenthaler W. Bilinear signal synthesis // IEEE Transactions on Signal Processing. 1992. Vol. 40. Iss. 2. PP. 352–363. DOI:10.1109/78.1249454
4. Cohen L. The scale representation // IEEE Transactions on Signal Processing. 1993. Vol. 41. Iss. 12. PP. 3275–3292. DOI:10.1109/78.258073
5. Cohen L. Time-Frequency Analysis. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1995. 299 p.
6. Дворников С.В. Теоретические основы синтеза билинейных распределений. СПб.: Издательство Политехнического университета, 2007. 268 с.
7. Flandrin P. Time-Frequency / Time-Scale Analysis. San Diego: Academic Press, 1999 (translated by Stöckler from the French editions, Temps-frequency. Paris: Hermes, 1993).
8. Дворников С.В. Теоретические основы синтеза билинейных распределений энергии нестационарных процессов в частотно-временном пространстве: обзор // Труды учебных заведений связи. 2018. Т. 4. № 1. С. 47–60. DOI:10.31854/1813-324X-2018-1-47-60
9. Дворников С.В. Билинейные распределения с пониженным уровнем интерференционного фона в частотно-временном пространстве: продолжение обзора // Труды учебных заведений связи. 2018. Т. 4. № 2. С. 69–81. DOI:10.31854/1813-324X-2018-2-69-81
10. Дворников С.В. Билинейные масштабнo-временные распределения энергии аффинного класса в частотно-временном пространстве: продолжение обзора // Труды учебных заведений связи. 2018. Т. 4. № 3. С. 26–44. DOI:10.31854/1813-324X-2018-4-3-26-44
11. Дворников С.В. Обобщенные гибридные масштабнo-частотно-временные распределения в частотно-временном пространстве: продолжение обзора // Труды учебных заведений связи. 2018. Т. 4. № 4. С. 20–35. DOI:10.31854/1813-324X-2018-4-4-20-35
12. Дворников С.В. Методология совершенствования форм представления совместных распределений в частотно-временном пространстве: продолжение обзора // Труды учебных заведений связи. 2019. Т. 5. № 1. С. 96–106. DOI:10.31854/1813-324X-2019-5-1-96-106
13. Дворников С.В. Совместные распределения с повышенной контрастностью сигнальных компонент в частотно-временном пространстве: продолжение обзора // Труды учебных заведений связи. 2019. Т. 5. № 2. С. 117–125. DOI:10.31854/1813-324X-2019-5-2-117-125

14. Дворников С.В. Теоретические основы синтеза частотно-временных представлений класса Коэна // Информация и космос. 2008. № 3. С. 16–24.
15. Дворников С.В., Кудрявцев А.М. Теоретические основы частотно-временного анализа кратковременных сигналов: монография. СПб.: ВАС, 2010. 240 с.
16. Дворников С.В., Алексеева Т.Е. Распределение Алексеева и его применение в задачах частотно-временной обработки сигналов // Информация и космос. 2006. № 3. С. 9–20.
17. Алексеев А.А., Кириллов А.Б. Технический анализ сигналов и распознавание радиоизлучений. СПб.: ВАС, 1998. 368 с.
18. Дворников С.В. Проблема поиска сигналов источников информации при радиомониторинге // Мобильные системы. 2007. № 4. С. 33–35.
19. Дворников С.В., Бородин Е.Ю., Маджар Х., Махлуф Ю.Х. Частотно-временное оценивание параметров сигналов на основе функций огибающих плотности распределения их энергии // Информация и космос. 2007. № 4. С. 41–45.
20. Дворников С.В., Яхеев А.Ф. Метод измерения параметров кратковременных сигналов на основе распределения Алексеева // Информация и космос. 2011. № 1. С. 66–74.
21. Дворников С.В., Железняк В.К., Храмов Р.Н., Желнин С.Р., Медведев М.В., Симонов А.Н., Сауков А.М. Метод обнаружения радиоизлучений на основе частотно-временного распределения Алексеева // Научное приборостроение. 2006. Т. 16. № 1. С. 107–115.
22. Дворников С.В., Осадчий А.И., Дворников С.С., Родин Д.В. Демодуляция сигналов на основе обработки их модифицированных распределений // Контроль. Диагностика. 2010. № 10. С. 46–54.
23. Яхеев А.Ф., Дворников С.В. Измерение параметров сигналов на основе оптимизации формы распределения Алексеева // Научные технологии. 2009. Т. 10. № 1. С. 25–28.
24. Дворников С.В. Демодуляция сигналов на основе обработки их модифицированных частотно-временных распределений // Цифровая обработка сигналов. 2009. № 2. С. 7–11.
25. Дворников С.В., Сауков А.М. Модификация частотно-временных описаний нестационарных процессов на основе показательных и степенных функций // Научное приборостроение. 2004. Т. 14. № 3. С. 76–85.
26. Дворников С.В., Дворников С.С., Спиринов А.М. Синтез манипулированных сигналов на основе вейвлет-функций // Информационные технологии. 2013. № 12. С. 52–55.
27. Дворников С.В. Теоретические основы представления сигнала в аналитическом виде функциями его огибающей и полной фазы // Научное приборостроение. 2006. Т. 16. № 4. С. 106–111.
28. Дворников С.В., Желнин С.Р., Медведев М.В. Метод формирования признаков распознавания сигналов диапазона декаметровых волн по их вейвлет-коэффициентам, рассчитанным на основе лифтинговой схемы // Информация и космос. 2006. № 2. С. 68–73.
29. Auger F., Flandrin P. Improving the readability of time-frequency and time-scale representation by the reassignment method // IEEE Transactions on Signal Processing. 1995. Vol. 43. Iss. 5. PP. 1068–1089. DOI:10.1109/78.382394
30. Claassen T.A.C.M., Meulenbrauker W.F.G. The Wigner Distribution – a Tool for Time-Frequency Signal Analysis. Part 1, 2, 3 // Philips Journal of Research. 1980. Vol. 35. PP. 217–250, 276–300, 372–389.
31. Hou T.Y., Shi Z. Data-driven time-frequency analysis // Applied and Computational Harmonic Analysis. 2013. Vol. 35. Iss. 2. PP. 284–308. DOI:10.1016/j.acha.2012.10.001
32. Renyi A. On Measures of Entropy and Information // Proceedings of the 4th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability (20 June – 30 July 1960). Berkeley: University of California Press, 1961. Vol. 1. PP. 547–561.
33. Baraniuk R.G., Flandrin P., Janssen A.J.E.M., Michel O.J.J. Measuring time-frequency information content using the Renyi entropies // IEEE Transactions on Information Theory. 2001. Vol. 47. Iss. 4. PP. 1391–1409. DOI:10.1109/18.923723
34. Чуи Ч. Введение в вейвлеты. М.: Мир, 2001. 412 с.
35. Дворников С.В. Метод обнаружения сигналов диапазона ВЧ на основе двухэтапного алгоритма принятия решения // Научное приборостроение. 2005. Т. 15. № 3. С. 114–119.
36. Дворников С.В. Методика оценки имитостойчивости каналов управления роботизированных устройств // Радиопромышленность. 2016. № 2. С. 64–69.
37. Дворников С.В., Дворников А.С., Желнин С.Р., Оков И.Н., Сауков А.М., Симонов А.Н., Яхеев А.Ф. Способ распознавания радиосигналов. Патент на изобретение RUS 2356064 от 24.04.2007. Опубл. 20.05.2009. Бюл. 14. 16 с.
38. Вознюк М.А., Дворников С.В., Винокуров М.Е., Петросян А.П., Романенко П.Г. Работа линий радиосвязи с ППРЧ в условиях преднамеренных помех // Информационные технологии. 2012. № 10. С. 64–67.
39. Дворников С.В., Устинов А.А., Пшеничников А.В., Борисов В.В., Москалец А.Г., Бурькин Д.А. Демодуляция сигналов ОФТ на основе адаптивного порога // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. 2013. № 2. С. 90–97.
40. Дворников С.В. Цифровой синтез спектрально-эффективных сигналов телевидения // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. 2015. № 6. С. 168–173.
41. Дворников С.В., Пшеничников А.В., Манаенко С.С., Бурькин Д.А., Кузнецов Д.А. Теоретические положения повышения помехоустойчивости сигнально-кодовых конструкций квадратурных сигналов // Информация и космос. 2015. № 3. С. 13–16.
42. Дворников С.В., Дворников С.С., Спиринов А.М. Синтез манипулированных сигналов на основе вейвлет-функций // Информационные технологии. 2013. № 12. С. 52–55.
43. Дворников С.В., Пшеничников А.В., Манаенко С.С. Помехоустойчивая модель сигнала КАМ-16 с трансформированным созвездием // Информационные технологии. 2015. Т. 21. № 9. С. 685–689.
44. Дворников С.В., Манаенко С.С., Дворников С.С., Погорелов А.А. Синтез фазоманипулированных вейвлет-сигналов // Информационные технологии. 2015. Т. 21. № 2. С. 140–143.

* * *

PRESENTATION OF JOINT TIME-FREQUENCY DISTRIBUTIONS ON THE BASIS OF INDICATIVE AND POWER-TRANSFORMATION OF THEIR DENSITY OF THEM IN TIME-FREQUENCY SPACE (completion of review)

S. Dvornikov¹ 

¹Telecommunications Military Academy,
St. Petersburg, 194064, Russian Federation

Article info

The article was received 09 June 2019

For citation: Dvornikov S. Presentation of Joint Time-Frequency Distributions on the Basis of Indicative and Power-Transformation of their Density of them in Time-Frequency Space: Completion of Review. *Proceedings of Telecommunication Universities*. 2019;5(3):66–74. (in Russ.) Available from: <https://doi.org/10.31854/1813-324X-2019-5-3-66-74>

Abstract: *In this article it is presented an analytical overview of original methods for increasing the contrast of joint distribution matrices using the demonstrative and exponential transformations of their energy density in a frequency-time space. We see the examples of modelling, which define the focus of developed approaches. We are given the practical recommendations how to use them.*

Keywords: *time-frequency distributions, power and exponential transformations, methods of secondary processing of joint distributions.*

References

1. Cohen L. Time-Frequency Distribution – a Review. *Proceedings of the IEEE*. 1989;77(7):941–981. Available from: <https://doi.org/10.1109/5.30749>
2. Boashash B. Time-Frequency Signal Analysis. In: Haykin S. (eds.) *Advances in Spectrum Estimation and Array Processing*. N. J., USA: Prentice Hall; 1990. p.418–517.
3. Hlawatsch F., Krattenthaler W. Bilinear signal synthesis. *IEEE Transactions on Signal Processing*. 1992;40(2):352–363. Available from: <https://doi.org/10.1109/78.124945>
4. Cohen L. The scale representation. *IEEE Transactions on Signal Processing*. 1993;41(12):3275–3292. Available from: <https://doi.org/10.1109/78.258073>
5. Cohen L. *Time-Frequency Analysis*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall; 1995. 299 p.
6. Dvornikov S.V. *Teoreticheskie osnovy sinteza bilineinykh raspredelenii* [Theoretical Basis for the Synthesis of Bilinear Distributions]. St. Petersburg: Izdatelstvo Politekhnicheskogo universiteta Publ.; 2007. 268 p. (in Russ.)
7. Flandrin P. *Time-Frequency / Time-Scale Analysis*. San Diego: Academic Press; 1999. 386 p. (Translated by Stöckler from the French ed.: *Temps-frequency*. Paris: Hermes; 1993)
8. Dvornikov S. Theoretical Foundations of the Synthesis of Bilinear Energy Distributions of Non-Stationary Processes in the Frequency-Temporary Space: Review. *Proceedings of Telecommunication Universities*. 2018;4(1):47–60. (in Russ.) Available from: <https://doi.org/10.31854/1813-324X-2018-1-47-60>
9. Dvornikov S. Bilinear Time-Frequency Distributions with a Lowered Level of the Interference Background in the Frequency-Temporary Space: Continued Review. *Proceedings of Telecommunication Universities*. 2018;4(2):69–81. (in Russ.) Available from: <https://doi.org/10.31854/1813-324X-2018-2-69-81>
10. Dvornikov S. Bilinear Scale-Temporary Distributions of Energy of the Affine Class in the Frequency-Temporary Space: Continued Review. *Proceedings of Telecommunication Universities*. 2018;4(3):26–44. (in Russ.) Available from: <https://doi.org/10.31854/1813-324X-2018-4-3-26-44>
11. Dvornikov S. Generalized Hybrid Scale-Frequency-Time Distributions in Time-Frequency Space: Continued Review. *Proceedings of Telecommunication Universities*. 2018;4(4):20–35. (in Russ.) Available from: <https://doi.org/10.31854/1813-324X-2018-4-4-20-35>
12. Dvornikov S. Methodology of Improving Forms of Representation of Joint Distributions in the Time-Frequency Space: Continued Review. *Proceedings of Telecommunication Universities*. 2019;5(1):96–106. (in Russ.) Available from: <https://doi.org/10.31854/1813-324X-2019-5-1-96-106>
13. Dvornikov S. Joint Distributions with Improved Contrast of Signal Components in Time-Frequency Space: Continued Review. *Proceedings of Telecommunication Universities*. 2019;5(2):117–125. (in Russ.) Available from: <https://doi.org/10.31854/1813-324X-2019-5-2-117-125>
14. Dvornikov S.V. *Teoreticheskie osnovy sinteza chastotno-vremennykh predstavlenii klassa Koena* [Theoretical Foundations of the Synthesis of Time-Frequency Representations of the Cohen Class]. *Informatsiia i kosmos*. 2008;3:16–24. (in Russ.)

15. Dvornikov S.V., Kudryavtsev A.M. *Teoreticheskie osnovy chastotno-vremennogo analiza kratkovremennykh signalov: monografiia* [Theoretical Foundations of Time-Frequency Analysis of Short-Term Signals. Monograph]. St. Petersburg: Telecommunications Military Academy Publ.; 2010. 240 p. (in Russ.)
16. Dvornikov S.V., Alekseeva T.E. Raspredelenie Alekseeva i ego primeneniye v zadachakh chastotno-vremennoi obrabotki signalov [Alekseev Distribution and Its Application in Frequency-Time Signal Processing Tasks]. *Informatsiia i kosmos*. 2006;3:9–20. (in Russ.)
17. Alekseev A.A., Kirillov A.B. *Tekhnicheskii analiz signalov i raspoznavanie radioizlucheniia* [Technical Analysis of Signals and Recognition of Radio Emission]. St. Petersburg: Telecommunications Military Academy Publ.; 1998. 368 p. (in Russ.)
18. Dvornikov S.V. Searching of information sources in radio-monitoring. *Mobilnye sistemy*. 2007;4:33–35. (in Russ.)
19. Dvornikov S.V., Borodin E.I., Madzhar K., Makhlyuf I.K. Chastotno-vremennoe otsenivanie parametrov signalov na osnove funktsii ogibaiushchikh plotnosti raspredeleniia ikh energii [Frequency-Time Estimation of Signal Parameters Based on Envelope Functions of Their Energy Distribution Density]. *Informatsiia i kosmos*. 2007;4:41–45. (in Russ.)
20. Dvornikov S.V., Jakheev A.F. Metod izmereniia parametrov kratkovremennykh signalov na osnove raspredeleniia Alekseeva [Method for Measuring Short-Term Signal Parameters Based on Alekseev Distribution]. *Informatsiia i kosmos*. 2011;1:66–74. (in Russ.)
21. Dvornikov S.V., Zheleznyak V.K., Khramov R.N., Zhelmin S.R., Medvedev M.V., Simonov A.N., et al. Method of radio signal detection based on alexeev's time-frequency distribution [Method of Detection of Radio Emissions Based on the Time-Frequency Distribution of Alekseev]. *Nauchnoe Priborostroenie (Scientific Instrumentation)*. 2006;16(1):107–115. (in Russ.)
22. Dvornikov S.V., Osadchy A.I., Dvornikov S.S., Rodin D.V. Demodulation Based on Processing the Modified Distributions. *Testing. Diagnostics*. 2010;10:46–54. (in Russ.)
23. Jakheev A.F., Dvornikov S.V. Measurement of Signals' Parameters on the Basis of Advanced Alekseev's Distribution Form. *Science Intensive Technologies*. 2009;10(1):25–28. (in Russ.)
24. Dvornikov S.V. Demodulatsiia signalov na osnove obrabotki ikh modifitsirovannykh chastotno-vremennykh raspredelenii [Demodulation of Signals Based on the Processing of Their Modified Time-Frequency Distributions]. *Digital Signal Processing*. 2009;2:7–11. (in Russ.)
25. Dvornikov S.V., Saukov A.M. Modification of time-frequency descriptions of non-stationary processes Based on Exponential and Power functions. *Nauchnoe Priborostroenie (Scientific Instrumentation)*. 2004;14(3):76–85. (in Russ.)
26. Dvornikov S.V., Dvornikov S.S., Spirin A.M. Syntheses of Manipulated Signals on the Base of Wavelet-Functions. *Information Technology*. 2013;12:52–55. (in Russ.)
27. Dvornikov S.V. Theory of analytic signal presentation by functions of signal envelope and total phase. *Nauchnoe Priborostroenie (Scientific Instrumentation)*. 2006;16(4):106–111. (in Russ.)
28. Dvornikov S.V., Zhelmin S.R., Medvedev M.V. Metod formirovaniia priznakov raspoznavaniia signalov diapazona dekametrovykh voln po ikh veivlet-koeffitsientam rasschitannym na osnove liftingovoi skhemy [The method of Forming Signs of Recognition of Signals in the Range of Decameter Waves by Their Wavelet Coefficients, Calculated on the Basis of a Lifting Scheme]. *Informatsiia i kosmos*. 2006;2:68–73. (in Russ.)
29. Auger F., Flandrin P. Improving the readability of time-frequency and time-scale representation by the reassignment method. *IEEE Transactions on Signal Processing*. 1995;43(5):1068–1089. Available from: <https://doi.org/10.1109/78.382394>
30. Claasen T.A.C.M., Meulenbrauker W.F.G. The Wigner Distribution – a Tool for Time-Frequency Signal Analysis. Part 1, 2, 3. *Philips Journal of Research*. 1980;35:217–250, 276–300, 372–389.
31. Hou T.Y., Shi Z. Data-driven time-frequency analysis. *Applied and Computational Harmonic Analysis*. 2013;35(2):284–308. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.acha.2012.10.001>
32. Renyi A. On Measures of Entropy and Information. *Proceedings of the 4th Berkeley Symposium on Mathematical, Statistics and Probability, 20 June – 30 July 1960*. Berkeley: University of California Press; 1961. vol.1. p.547–561.
33. Baraniuk R.G., Flandrin P., Janssen A.J.E.M., Michel O.J.J. Measuring time-frequency information content using the Renyi entropies. *IEEE Transactions on Information Theory*. 2001;47(4):1391–1409. Available from: <https://doi.org/10.1109/18.923723>
34. Chui Ch. *Vvedenie v veivlety* [Introduction to Wavelets]. Moscow: Mir Publ.; 2001. 412 p. (in Russ.)
35. Dvornikov S.V. HF Signal Detection Method Based on the Two-Phase Decision Making Algorithm. *Nauchnoe Priborostroenie (Scientific Instrumentation)*. 2005;15(3):114–119. (in Russ.)
36. Dvornikov S.V. Procedure of Evaluation of Imitation Stability of Robotic Devices Control Channels. *Radio industry*. 2016;2:64–69. (in Russ.)
37. Dvornikov S.V., Dvornikov A.S., Zhelmin S.R., Okov I.N., Saukov A.M., Simonov A.N., et al. *Sposob raspoznavaniia radiosignalov*. [Method of Recognition of Radio Signals]. Patent RF, no. 2356064, 24.04.2007. (in Russ.)
38. Voznjuk M.A., Dvornikov S.V., Vinokurov M.E., Petrosyan A.P., Romanenko P.G. Operation of Lines of a Radio Communication with PROF in the Conditions of Deliberate Noises. *Information Technology*. 2012;10:64–67. (in Russ.)
39. Dvornikov S.V., Ustinov A.A., Pshenichnikov A.V., Borisov V.V., Moskalets A.G., Burykin D.A. Demodulation of PSK signals based on adaptive threshold. *Voprosy radioelektroniki. Seriya: Tekhnika televideniia*. 2013;2:90–97. (in Russ.)
40. Dvornikov S.V. Digital synthesis of spectral-effective television signals. *Voprosy radioelektroniki. Seriya: Tekhnika televideniia*. 2015;6:168–173. (in Russ.)
41. Dvornikov S.V., Pshenichnicov A.V., Manaenko S.S., Burikin D.A., Kuznetsov D.A. Teoreticheskie polozeniia povysheniia pomekhoustoichivosti signalno-kodovykh konstruksii kvadraturnykh signalov [Theoretical Provisions for Improving the Noise Immunity of Signal-Code Designs of Quadrature Signals]. *Information and Space*. 2015;3:13–16. (in Russ.)
42. Dvornikov S.V., Dvornikov S.S., Spirin A.M. Syntheses of Manipulated Signals on the Base of Wavelet-Functions. *Information Technology*. 2013;12:52–55. (in Russ.)
43. Dvornikov S.V., Pshenichnicov A.V., Manaenko S.S. Increased Noise Immunity Signal 16-QAM Constellation with Transformed. *Information Technology*. 2015;21(9):685–689. (in Russ.)
44. Dvornikov S.V., Manaenko S.S., Dvornikov S.S., Pogorelov A.A. Synthesis PSK Wavelet-Signal. *Information Technology*. 2015;21(2):140–143. (in Russ.)