

## Минимально-параметрическое моделирование в задачах обработки радиолокационных сигналов

**77-30569/252091**

# 11, ноябрь 2011

Нефедов С. И.

УДК 621.396.96

НИИ РЭТ МГТУ им. Н.Э. Баумана

[nefedov@bmstu.ru](mailto:nefedov@bmstu.ru)

Как для узкополосного, так и для широкополосного сигнала при локации в когерентном режиме, значительный объем полезной информация будет содержаться в гармониках вторичной модуляции принятой реализации этого сигнала. Для ее использования необходимо применить специальные алгоритмы сигнальной обработки радиолокационной информации, оптимальные или квазиоптимальные именно с этой точки зрения.

Применение для этого обработки на сигнальном уровне не является очевидным решением рассматриваемой задачи. Известно большое количество работ, в которых на сигнальном уровне применяются заведомо неоптимальные алгоритмы обработки, а затем полученные распределенные цели каким-либо способом преобразуются в отсчеты с измеренными координатами или признаки распознавания [1, 2]. В работе [3] автором доклада был предложен подход на основе так называемого преобразования свертки в системе эталонных функций, развитый затем в нескольких последующих публикациях. Такое преобразование является развитием технологий классической доплеровской фильтрации [4] и фильтрации на основе алгоритмов вейвлет преобразований [5].

Основной особенностью преобразования свертки в системе эталонных функций является фокусировка энергии в некоторую точку с координатами, определяемыми структурой преобразования. При выборе в качестве координат частоты, а в качестве формы сигнала - синусоиды преобразование свертки в системе эталонных функций переходит в преобразование Фурье. При выборе в качестве опорной функции вейвлета это преобразование будет трансформироваться в вейвлет преобразование. Основной особенностью преобразования свертки в системе эталонных функций является отказ от

требования ортогональности. Тем самым удается сравнительно легко согласовать рассматриваемое преобразование со структурой принимаемого сигнала, а не со спецификой математических преобразований, обеспечивающих строгость и универсальность. При решении радиолокационных задач преобразование свертки позволяет полностью уйти от понятия распределенной цели, что способствует, в значительной степени, упрощению и прозрачности процедур обнаружения, оценивания, распознавания. Недостатком рассматриваемого преобразования является появление специфических боковых лепестков, являющихся платой за неортогональность рассматриваемого преобразования. В наиболее общем виде преобразование свертки в системе эталонных функций было приведено в работах [6, 7] в виде

$$K(\hat{\Lambda}) = \int_0^{\infty} u(t) \cdot G(\hat{\Lambda}, t) \cdot dt, \quad (1)$$

где  $u(t)$  - комплексная огибающая принятого длительного когерентного сигнала;  $G(\hat{\Lambda}, t)$  - ядро преобразования, которое аппроксимирует ожидаемый сигнал  $u_s(t)$  как с учетом статического описания рассматриваемых объектов (отражательные характеристики), так и с учетом их динамики;  $\hat{\Lambda}$  - вектор параметров движения рассматриваемого объекта, оцененный в процессе наблюдения.

Выражение свертки в системе эталонных функций дает обширные возможности для синтеза оптимальных алгоритмов обработки локационной информации на сигнальном уровне. Наиболее интересной является возможность применения данного преобразования при решении задач радиовидения, поскольку в этом случае удается использовать свойство структурной согласованности рассматриваемого преобразования с сигналом. Ключом к обобщению рассматриваемого преобразования на широкий класс задач будет являться механизм поиска ядер, согласованных со структурой принимаемого сигнала для удобной линейной трансформации к искомому виду. Наиболее точной интерпретацией понятия "удобный вид" будем считать некоторое пространство координат, в которое будет отображаться сигнал из временного представления путем применения к нему синтезированного преобразования. Из выражения (1) нетрудно понять, что искомое пространство координат будет определять набор параметров  $\hat{\Lambda}$ , входящих в рассматриваемое преобразование. Для поиска этих параметров необходимо построить математическую модель сигнала, основанную на понимании физики процесса, его порождающего.

Искомая модель может быть получена путем трансформации к удобному виду системы функциональных зависимостей фазы и амплитуды от искомых параметров,

связанных с порождающим сигнал моделируемым процессом. Очевидно, что таких функций может быть бесконечное число, поскольку для любого процесса можно выделить бесконечно большое число формальных параметров, применяя к нему любое из известных в математике разложений в ряд. В то же время, информативность таких параметров будет невысока, поскольку они никак не отражают физику процесса. А интерес представляют именно те параметры, которые позволяют получить количественные оценки именно этой физики. Таким образом, модель должна описывать сигнал через набор функций, параметры которых описывают сигнал с необходимой с точки зрения для решения поставленной задачи, а их количество является для этого минимально достаточным. Такая модель сигнала будет в дальнейшем носить название минимально параметрической модели сигнала или процесса. А процесс подбора или нахождения параметров для выражения (1) будет носить название минимально параметрического моделирования.

Определение, данное для минимально параметрической модели, является трудно формализуемым математически, поскольку носит скорее концептуальный и обобщающий характер. Для каждой конкретной задачи рассматриваемая модель будет иметь свой уникальный вид. Однако, целесообразно синтезировать данные модели таким образом, чтобы под заданное в них описание попадал бы целый класс однотипных целей, в отношении которых происходит решение задачи сигнальной обработки информации.

Механизм минимально параметрического моделирования открывает значительные возможности в части построения адаптивных алгоритмов. Адаптация понимается, при этом, в смысле устранения априорной неопределенности в отношении объекта в системе координат, связанной с выбранным минимально достаточным пространством параметров.

Синтез минимально параметрической модели может применяться не только при разработке алгоритма обработки информации, но и как неотъемлемая часть собственно рассматриваемого алгоритма. Тем самым понятие моделирования от предварительного описания поведения какого-либо объекта или системы трансформируется в составную часть алгоритмов реального времени со всем комплексом проблем, связанных с данным понятием. Действительно, в соответствии с концепцией двухэтапных алгоритмов обработки информации можно представить процедуру обработки таким образом, что на первом этапе оцениваются некоторые параметры преобразования с помощью классических алгоритмов обработки, а затем над теми же самыми алгоритмами производятся операции, позволяющие синтезировать минимально-параметрическую модель и провести обработку сигнала в соответствии с ней. Такой подход можно считать развитием методов двухэтапной обработки информации.

Таким образом, концепция минимально параметрического моделирования является основой некоторой новой философии обработки радиолокационной информации, перетягивающей вес обработки на сигнальный уровень и обеспечивающей новое качество целому ряду алгоритмов. В эту концепцию входит:

- структурный синтез ядра преобразования свертки в системе эталонных функций как в процессе выполнения рабочего алгоритма, так и заранее при его разработке;

- применение адаптации на уровне сигнальной обработки информации по параметрам минимально-параметрической модели с целью выявления истинной природы наблюдаемого с помощью принятого сигнала физического явления и максимизации при этом отношения сигнал-шум;

- применения специализированных двухэтапных процедур, позволяющих синтезировать рассматриваемую модель на этапе выполнения рабочего алгоритма;

- применение системы обратных связей между вторичной, первичной и сигнальной процедурой обработки информации с целью повышения качества обработки и передачи управляющих и регулирующих воздействий на модель и на фильтрацию на ее основе.

Дополнительно к разработке и исследованию перечисленных выше составных частей концепции минимально параметрического моделирования требуется проведение исследований ее оптимальности в рассматриваемом классе решаемых задач, а также синтез специализированных быстрых вычислительных процедур, ориентированных на реализацию данных алгоритмов в системах реального времени.

Список использованных источников:

1. Когерентное последовательное обнаружение сигналов в импульсно-доплеровских РЛС / В.А. Родзивилов [и др.] // Радиотехника. 1998. № 4. С. 96-98.

2. Митрофанов Д.Г. Метод построения радиолокационных изображений аэродинамических летательных аппаратов // Полет. 2006. №11, С.52-60.

3. Нефедов С.И., Слукин Г.П. Разрешение объектов радиолокационного наблюдения при обработке когерентных сигналов с использованием эталонных функций // Радиолокация, навигация, связь: Труды XIII международной научно-технической конф. Воронеж. 2002. Т. 3. С. 1587 - 1593.

4. Марпл - мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения /Пер. с англ. М.: Мир, 1990. 584 с.

5. Мала С. Вэйвлеты в обработке сигналов. Пер. с англ. под ред. Я.М. Жилейкина. М.: Мир, 2005. 672 с.

## Minimal-parametric modelling in radar signal processing

**77-30569/252091**

# 11, November 2011

Nefedov S.I.

Bauman Moscow State Technical University  
[nefedov@bmstu.ru](mailto:nefedov@bmstu.ru)

The author considers a conception of minimal parametric modelling in high-quality radar signal processing. Convolution transform in reference functions system is given as base integral transform of the proposed conception of minimal parametric modeling. Basic requirements for minimal parametric signal model and phono-target situation are discussed.

---

**Publications with keywords:** [processing](#), [minimal-parametric modelling](#), [radar signal](#), [convolution transform in reference functions system](#)

**Publications with words:** [processing](#), [minimal-parametric modelling](#), [radar signal](#), [convolution transform in reference functions system](#)

---

### Reference:

1. V.A. Rodzivilov, et al., Radiotekhnika 4 (1998) 96-98.
2. Mitrofanov D.G., Polet 11 (2006) 52-60.
3. Nefedov S.I., Slukin G.P., in: Proceedings of XIII international scientific and technical conference on Radiolocation, Navigation and Communication, Voronezh, Vol.3, 2002, pp. 1587-1593.
4. Marple, jr. S.L.. Digital spectral analysis and its applications, Moscow, Mir, 1990, 584 p.
5. Mala S., Wavelets in signal processing, Moscow, Mir, 2005, 672 p.