РАЗДЕЛ IV. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Баулин Ф.Б., Бурый Е.В.

Особенности представления коэффициентами вейвлет-преобразования дальностных портретов, получаемых лазерными локационными системами

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(Россия, Москва)

doi:10.18411/spc-12-06-2018-08

idsp: 000001:spc-12-06-2018-08

Введение

Анализ развития средств лазерной локации свидетельствует о непрерывном росте интереса к созданию систем, обеспечивающих наряду с измерением расстояний и оцениванием ориентации объектов распознавание этих объектов. Понятно стремление к реализации таких систем на основе простых технических средств, применяемых для регистрации и обработки локационных сигналов, выгодно отличающихся от систем на основе регистрации и анализа изображений объекта. Распознавание объектов по зарегистрированным дальностным портретам (ДП) [1], получаемым при регистрации излучения одноэлементным фотоприемником, обеспечивает максимальную энергетическую эффективность системы. Для обработки ДП целесообразно использовать алгоритмы, основанные на использовании ортогонального преобразования, обеспечивающего уменьшение размерности пространства признаков и формирование инвариантов к каким-либо изменениям условий локации объекта.

Основные свойства преобразований дальностных портретов

ДП $u(t, \alpha, \beta)$ формируется при облучении объекта зондирующим импульсом $P(t)$ малой длительности и определяется выражением

$$u(t, \alpha, \beta) = P(t) * G(t) * g(t, \alpha, \beta) * G(t) * h(t),$$

где t – время;

α – азимут, определяющий в системе координат (СК) локационной системы положение вектора наблюдения, задаваемого в направлении объекта;

β – угол места;

$G(t)$ – функция импульсного отклика атмосферного канала;

$g(t, \alpha, \beta)$ – импульсная характеристика рассеяния объекта;

$h(t)$ – импульсная характеристика фотоприемного устройства,

а символом «*» обозначена операция временной свертки.

В результате аналогово-цифрового преобразования непрерывный сигнал $u(t, \alpha, \beta)$ на выходе фотоприемного устройства будет представлен временной последовательностью отсчетов $X(n)$. Поскольку $P(t)$ не является δ -функцией, будет наблюдаться корреляция соседних отсчетов временной последовательности $X(n)$. Это означает, что существуют функциональные пространства, в которых регистрируемый ДП можно представить меньшим числом компонент, чем при его представлении в виде $X(n)$.

Традиционно для этого используют дискретное преобразование Фурье (ДПФ). Также может быть использовано дискретное вейвлет-преобразование (ДВП), а именно – его наиболее известная разновидность, формирующая функциональное пространство на основе парных вейвлетов. В отличие от ДПФ, ДВП обеспечивает:

- формирование множества нулевых элементов матрицы коэффициентов преобразования, что позволяет проводить эффективный синтез множества признаков;

— обоснованность представления результатов преобразования в частотно-временной области.

Базисные функции, формирующие функциональное пространство ДВП, быстро убывают как в частотной, так и во временной областях. Использование такого преобразования будет предпочтительным в случае обработки аperiodических сигналов, к которым относятся ДП реальных объектов.

Расстояние до лоцируемого объекта, как правило, неизвестно. При его оценке также будет иметь место погрешность. В результате зарегистрированные ДП будут локализованы в различных интервалах оси времени – рисунок 1.

Рисунок 1 – Различные положения конического объекта в СК локационной системы и соответствующие этим положениям ДП.

Сдвиг реализации $X(n)$ в направлении оси n будет приводить к вариациям коэффициентов ДВП. При этом наблюдаемые изменения не будут ограничиваться сдвигами максимумов в полученной матрице коэффициентов преобразования, а будут носить более сложный характер. Реализации $XR(n)$, восстановленные по всем коэффициентам вейвлет-преобразования, будут иметь одинаковую форму, однако при восстановлении сигнала по редуцированному множеству коэффициентов ДВП сдвиги исходной реализации $X(n)$ будут приводить к флуктуациям отсчетов восстанавливаемой реализации $XR(n)$. Это обстоятельство затрудняет использование ДВП для редукции пространства признаков.

Для обеспечения формирования инвариантов к этим явлениям часто применяют стационарное вейвлет-преобразование. Недостатками, препятствующими его использованию при редукции пространства признаков, являются отсутствие реализации быстрого преобразования и избыточная размерность получаемых векторов признаков. Альтернативой является применение дискретного комплексного вейвлет-преобразования (ДКВП), описанного в. Рассмотрим преимущества ДКВП при восстановлении сигнала с использованием коэффициентов одного уровня разложения. На рисунке 2 представлены ДП конического объекта, восстановленные по коэффициентам одного уровня ДВП (а) и ДКВП (б). Для наглядной демонстрации вариаций отсчетов восстановленных ДП временные сдвиги, характерные для $XR(n-0)$, $XR(n-1), \dots, XR(n-5)$, элиминированы после расчета $XRДВП(n,i)$, $XRДКВП(n,i)$, где $i \in$ – временной сдвиг.

Рисунок 2 – Вариации отсчетов ДП, восстановленных по редуцированному множеству коэффициентов ДВП (а) и ДКВП (б)

Видно, что временной сдвиг исходных реализаций ДП приводит к существенно меньшим вариациям отсчетов восстановленных реализаций при использовании ДКВП. Отметим, что существует быстрый алгоритм ДКВП, время выполнения которого меньше, чем время выполнения стационарного вейвлет-преобразования, что обеспечивает возможность применения ДКВП в бортовых вычислительных комплексах с ограниченной вычислительной производительностью.

Выводы

Вейвлет-преобразование может быть использовано в лазерных локационных системах для формирования векторов признаков дальностных портретов. Оно имеет определенное преимущество по отношению к дискретному преобразованию Фурье за счет меньшего числа ненулевых элементов матрицы коэффициентов преобразования, передаваемых на вход классификатора.

Эффективность применения дискретного комплексного вейвлет-преобразования оказывается более высокой в сравнении с применением дискретного вейвлет-преобразования: при смещениях дальностного портрета по оси времени процедура редукции приводит к меньшим ошибкам восстановления реализаций дальностных портретов.

1. Бурый, Е.В. Синтез системы распознавания объектов по форме огибающей лазерного импульса при импульсно-периодической локации // Квантовая электроника. 1998. № 5 (25). С. 471–475
2. Бурый, Е.В., Смирнова, Ю.Л. Формирование репрезентативного множества векторов признаков для обучения системы распознавания типов летательных аппаратов методом моделирования распределений коэффициентов рассеяния их поверхностей // Квантовая электроника. 2004. № 4 (16). С. 80–88.
3. Schoemaker, R.M., Benoist K.W. Characterisation of small targets in a maritime environment by means of laser range profiling Proceedings of SPIE, 2011. 1–12 c.
4. Steinvall, O., Tulldahl, M. Laser range profiling for small target recognition // Optical Engineering. 2017. № 3 (56). С. 1–16.
5. Mallat, S. A wavelet tour of signal processing. / S. Mallat — Academic Press, 1998. — 851 p.
6. Baulin, F., Buryi, E., Semerenko, D. Efficiency Analysis of Feature Extraction Methods for Pulse Laser Ranging Systems St Petersburg: IEEE, 2017.
7. Kingsbury, N. Complex Wavelets for Shift Invariant Analysis and Filtering of Signals / N. Kingsbury // Applied and Computational Harmonic Analysis. — 2001. — № 10 — P. 234–253.