

УДК 621.372

АНДРЕЕВ В.Г., ПАЛЬЧИК О.В.

МЕТОД НАХОЖДЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ЦЕНТРА ОДИНОЧНОГО ИМПУЛЬСА

Предложен метод нахождения оценки энергетического центра одиночного импульса, позволяющий уменьшить дисперсию оценки по сравнению с аналогичным показателем метода центра тяжести. В основу предлагаемого метода положена рекурсивная процедура вычисления циклической свертки, обеспечивающая простоту реализации.

Во многих прикладных и теоретических задачах требуется знание энергетического центра одиночного импульса. В явном виде это формулируется, например, в задаче оценки доплеровской фазы, в оптических измерениях. Выбор метода для поиска энергетического центра основан на компромиссе между допустимыми погрешностями и необходимым быстродействием измерительной системы. Так, для популярных триангуляционных измерителей характерно, что система может оказаться более критичной к точности.

Поскольку невозможно для реальных сигналов точно оценить положение центра, то приведенные здесь результаты получены на стохастических последовательностях u длиной N в виде одиночных импульсов s с аддитивным квазибелым шумом n : $u = s + n$.

Рассмотрим наиболее распространенные методы нахождения энергетического центра и дадим их сравнительные характеристики.

Аппроксимация по методу наименьших квадратов [1] позволяет получить наиболее качественные оценки. Ограничение этого метода — необходимость использования пороговой обработки при адаптации к параметрам (значениям центра и ширины) импульса s . Для выбора порога не существует универсальных рекомендаций, а безадаптивный подход требует значительных вычислительных затрат ввиду высокого порядка аппроксимирующего поли-

нома и необходимости поиска глобального максимума. Основную вычислительную нагрузку метода составляет процедура обращения матрицы размера $n \times n$, где n — порядок аппроксимирующего полинома, которая, например, для метода исключения Гаусса, требует число операций умножения (деления) пропорциональное n^3 . Суммарные вычислительные затраты на аппроксимацию составят примерно $(n^3 + 2nN)$. Кроме того, для данного алгоритма требуется объем оперативной памяти не менее $2n^2$ ячеек.

Поиск энергетического центра импульса s **методом центра тяжести** интерпретируется как поиск среднего геометрического последовательности u :

$$\hat{M} = \sum_{g=0}^{N-1} g \cdot u[g] / \sum_{g=0}^{N-1} u[g], \quad (1)$$

где $u[g]$ — отсчеты анализируемой последовательности u , \hat{M} — оценка энергетического центра u .

Данный метод характеризуется простотой реализации и при использовании современной элементной базы позволяет достичь высокого быстродействия — требуется лишь $(N + 1)$ умножений (делений), что часто позволяет реализовать алгоритм в реальном масштабе времени. Промежуточные данные требуют только 2 ячейки памяти для хранения текущих состояний накапливающих сумматоров, описываемых числителем и знаменателем (1).

К недостаткам метода можно отнести значительную, по сравнению с оптимальным методом, дисперсию оценки \hat{M} при сопоставимых мощностях шума и полезного сигнала, а также смещение оценки к величине $N / 2$ при наличии ненулевой постоянной составляющей шума n . Использование пороговой обработки приближает оценки к оптимальным, однако, как сказано выше, универсальных рекомендаций по выбору порога не существует.

Медианный метод основан на поиске энергетического центра как номера отсчета k , слева и справа от которого площади сигнала равны [2]. Алгоритм данного метода сложно реализовать в темпе поступления данных, т. к. вычислительные затраты определяются числом итераций (до $N / 2$) по N операций суммирования. Требование к объему оперативной памяти — необходимость запоминать N отсчетов входных данных. Очевидное ограничение метода — требование неотрицательности входных данных. В противном случае требуется операция взятия по модулю, что увеличивает вычислительные затраты. Медианный метод компромиссен в силу меньшей зависимости от уровня порога при сопоставимой с методом центра тяжести точностью.

Из приведенных сравнений следует, что удастся реализовать крайние возможности — высокое быстродействие и простоту реализации при низком качестве оценок или наоборот. Это делает актуальным поиск метода, занимаю-