

УДК 621 + 620.179.680 + 681.3.012:51 + 621.395 + 681.396

МОДЕЛИРОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ В МОДУЛЕ ОТОБРАЖЕНИЯ СИСТЕМЫ ЛОГИСТИКИ

*Кондратенко А.В., Мальчева Р.В., Кривошеев С.В.
Донецкий национальный технический университет*

Рассматриваются возможность использования адаптивных фильтров, в модуле отображения системы логистики, для более точного определения координат подвижного объекта. В данном докладе рассматриваются разновидности адаптивных фильтров, а так же выбор оптимального алгоритма определения координат, модификация его для использования в системах логистики.

Введение

В высококачественных системах цифровая обработка сигналов часто ведется в условиях неопределенности системных характеристик. Априорная и текущая информация о параметрах системы является неполной. Кроме того, при эксплуатации системы параметры ее объектов и среды функционирования могут меняться непредвиденным заранее образом и тогда нестационарность выступает как один из видов неопределенности. Стохастичность поведения также является важной чертой, характеризующей обработку сигналов в сложных системах. Это обусловлено наличием источников случайных помех и всякого рода второстепенных (с точки зрения решения задачи) процессов с непредсказуемым поведением.

Одним из наиболее перспективных путей преодоления трудностей, порождаемых этим фактором сложности, является применение методов адаптации. При адаптивной цифровой обработке информация об объекте и внешних воздействиях собирается во время работы устройства и используется для изменения параметров блоков обработки. Адаптивные устройства обработки сигнала действуют по принципу замкнутого контура. Входной сигнал фильтруется или решается в программируемом фильтре для получения выходного сигнала, который затем сравнивается с полезным, стандартным или учебным сигналом для нахождения сигнала ошибки. Затем этот сигнал ошибки используется для корректировки весовых параметров процессора обработки с целью постепенной минимизации ошибки. При этом адаптивной системе требуется минимальный объем исходной информации о сигнале.

Целью данной работы является исследование алгоритмов определения координат в модуле отображения системы логистики. Повышение эффективности в определении координат. Необходимо решить следующие задачи: анализ алгоритмов определения координат, изучение возможности использования алгоритмов в системах логистики.

Актуальность поставленной задачи подтверждается тем, что выбор эффективного алгоритма для определения координат подвижного объекта, это главная составляющая в разработке модуля отображения системы логистики.

1 Базовая идея адаптивной обработки сигнала

Общая структура адаптивного фильтра показана на (рис. 1). Входной дискретный сигнал $x(k)$ обрабатывается дискретным фильтром, в результате чего получается выходной сигнал $y(k)$. Этот выходной сигнал сравнивается с образцовым сигналом $d(k)$, разница между ними образует сигнал ошибки $e(k)$. Назначение адаптивного фильтра - минимизировать ошибку воспроизведения образцового сигнала [1]. С этой целью блок адаптации после обработки каждого отсчета анализирует сигнал ошибки и дополнительные данные, поступающие из фильтра, используя результаты этого анализа для подстройки параметров фильтра.

Возможен и другой вариант адаптации, при котором образцовый сигнал не используется или



Рисунок 1. Общая структура адаптивного фильтра

необходимые параметры сигнала непосредственно не могут быть измерены. Такой режим работы называется адаптацией по косвенным данным или обучением без учителя. Разумеется, в этом случае требуется некоторая информация о структуре полезного входного сигнала (например, знание типа и параметров используемой модуляции). Очевидно, что адаптация по косвенным данным является более сложной вычислительной задачей, чем адаптация с использованием образцового сигнала.

Может показаться, что алгоритмы с использованием образцового сигнала не имеют практического значения, поскольку выходной сигнал должен быть заранее известен. Однако есть целый ряд прикладных задач, при решении которых образцовый сигнал оказывается доступен. Следует отметить, что в ряде случаев при этом полезным сигналом является не выходной сигнал фильтра, а сигнал ошибки, то есть разница между образцовым сигналом и выходным сигналом адаптивного фильтра. В качестве фильтра в структуре, показанной на (рис. 1), наиболее часто используется нерекурсивный цифровой фильтр. Главное его преимущество по сравнению с рекурсивным фильтром - устойчивость при любых значениях коэффициентов. Однако следует помнить, что алгоритм адаптации в любом случае вносит в систему обратной связи, благодаря которым адаптивная система в целом может стать неустойчивой.

Существуют адаптивные алгоритмы и для рекурсивных фильтров, однако при их разработке возникают серьезные проблемы, прежде всего связанные с устойчивостью, поэтому такие фильтры не получили широкого распространения. Еще один класс адаптивных систем - нейронные сети, которые в определенной степени моделируют работу нервной системы живых организмов.

Далее будут рассмотрены три адаптивных алгоритма, RLS, LMS, Kalman, с использованием образцового сигнала, часто применяются на практике в различных системах обработки информации. Для упрощения математических выкладок предположим, что сигналы и фильтры являются вещественными. Однако результирующие формулы легко обобщаются на случай комплексных сигналов и фильтров [2] [4].

2 Анализ алгоритмов определения координат

При поиске оптимальных алгоритмов обработки сигнала неизбежно приходится опираться на некоторые статистические модели сигналов и шумов. Чаще всего при формировании этих моделей используются концепции линейности, стационарности и нормальности [3]. Однако перечисленные принципы далеко не всегда выполняются на практике, а от адекватности выбранной модели в значительной мере зависит качество приема сигнала. Возможным решением проблемы является использование адаптивных фильтров, которые позволяют системе подстраиваться под статистические параметры входного сигнала, не требуя при этом задания каких либо моделей.

2.1 Алгоритм LMS

Один из наиболее распространенных адаптивных алгоритмов основан на поиске минимума целевой функции методом наискорейшего спуска. При использовании данного способа оптимизации вектор коэффициентов фильтра $w(k)$ должен рекурсивно обновляться следующим образом:

$$w(k+1) = w(k) - \frac{\mu}{2} \text{grad}J(w(k)) = w(k) + \mu p - \mu R w(k), \quad (1)$$

где μ – положительный коэффициент, называемый размером шага.

Однако для расчета градиента необходимо знать значения матрицы R и вектора p . На практике

могут быть доступны лишь оценки этих значений, получаемые по входным данным. Простейшими такими оценками являются мгновенные значения корреляционной матрицы и вектора взаимных корреляций, получаемые без какого-либо усреднения.

При использовании данных оценок формула (1) принимает следующий вид:

$$w(k+1) = w(k) + \mu u(k)(d(k) - u^T(k)w(k)), \quad (2)$$

Выражение, стоящее в скобках представляет собой разность между образцовым сигналом и выходным сигналом фильтра на k -м шаге, то есть ошибку фильтрации $e(k)$. С учетом этого выражение для рекурсивного обновления коэффициентов фильтра оказывается очень простым:

$$w(k+1) = w(k) + \mu e(k)u(k), \quad (3)$$

Алгоритм адаптивной фильтрации, основанный на формуле (3), получил название LMS (Least Mean Square, метод наименьших квадратов). Существует большое число модификаций алгоритма LMS, направленных на ускорение сходимости либо на уменьшение числа арифметических операций. Ускорение сходимости может быть достигнуто за счет улучшения используемой оценки градиента, а также за счет преобразования входного сигнала с целью сделать его отсчеты некоррелированными. Уменьшение вычислительной сложности может быть достигнуто, в частности, за счет использования в (3) не самих сигнала ошибки и содержимого линии задержки фильтра, а лишь их знаков. Это позволяет полностью избавиться от операций умножения при обновлении коэффициентов фильтра. В целом следует отметить, что требования ускорения сходимости и сокращения вычислительных затрат являются противоречивыми.

2.2 Алгоритм RLS

В процессе приема сигнала можно на каждом очередном шаге пересчитывать коэффициенты фильтра непосредственно по формуле (4), однако это связано с неоправданно большими вычислительными затратами. Действительно, размер матрицы U постоянно увеличивается и, кроме того, необходимо каждый раз заново вычислять обратную матрицу. Сократить вычислительные затраты можно, если заметить, что на каждом шаге к матрице U добавляется лишь один новый столбец, а к вектору d — один новый элемент. Это дает возможность организовать вычисления рекурсивно. Соответствующий алгоритм называется рекурсивным методом наименьших квадратов (Recursive Least Square, RLS).

$$w = (UU^T)^{-1}Ud, \quad (4)$$

При использовании алгоритма RLS производится рекурсивное обновление оценки обратной корреляционной матрицы, а вывод формул основывается на следующем матричном тождестве:

$$(A + BCD)^{-1} = A^{-1} - A^{-1}B(C^{-1} + DA^{-1}B)^{-1}DA^{-1}, \quad (5)$$

где A и C — квадратные невырожденные матрицы (необязательно одинаковых размеров), а B и D — матрицы совместимых размеров.

Применение формулы (5) для рекурсивного обновления обратной корреляционной матрицы P в сочетании с исходной формулой (4) для коэффициентов оптимального фильтра дает следующую последовательность шагов адаптивного алгоритма RLS.

1. При поступлении новых входных данных $u(k)$ производится фильтрация сигнала с использованием текущих коэффициентов фильтра $w(k-1)$ и вычисление величины ошибки воспроизведения образцового сигнала.
2. Рассчитывается вектор-столбец коэффициентов усиления.
3. Производится обновление оценки обратной корреляционной матрицы сигнала.
4. Наконец, производится обновление коэффициентов фильтра.

Главным достоинством алгоритма RLS является быстрая сходимость. Однако достигается это за счет значительно более высокой (по сравнению с алгоритмом LMS) вычислительной сложности.

2.3 Алгоритм Калмана

Цель фильтра Калмана — минимизировать дисперсию оценки векторного случайного процесса $x(k)$, изменяющегося во времени следующим образом (6):

$$P(k) = P(k-1) - K(k)u^T(k)p(k-1), \quad (6)$$

При использовании фильтра Калмана для решения задачи адаптивной фильтрации отслеживаемым процессом является вектор коэффициентов оптимального фильтра w . Предполагается, что детерминированных изменений коэффициентов не происходит, поэтому матрица перехода Φ является единичной: $\Phi(k) = 1$. В качестве матрицы наблюдения выступает вектор содержимого линии задержки фильтра $u(k)$. Таким образом, выходной сигнал фильтра представляет собой прогнозируемое значение наблюдаемого сигнала, а в качестве самого наблюдаемого сигнала выступает образцовый сигнал адаптивного фильтра. Шум наблюдения в данном случае является ошибкой воспроизведения образцового сигнала, а матрица превращается в скалярный параметр — средний квадрат сигнала ошибки. Как отмечается раньше, величина этого параметра слабо влияет на поведение алгоритма.

Если фильтруется стационарный случайный процесс, коэффициенты оптимального фильтра являются постоянными и можно принять равным 0. Чтобы дать фильтру возможность отслеживать медленные изменения статистики входного сигнала, может использоваться диагональная матрица.

Начальное значение вектора обычно принимается нулевым, а в качестве исходной оценки матрицы P используется диагональная матрица вида CI .

Сравнивая формулы, описывающие алгоритмы RLS и Калмана, легко заметить их сходство. Вычислительная сложность и качественные параметры двух алгоритмов также оказываются весьма близкими. Разница заключается лишь в исходных посылах, использовавшихся при выводе формул, и в трактовке параметров алгоритмов. В некоторых источниках алгоритмы RLS и Калмана применительно к адаптивной фильтрации отождествляются.

3 Модификация алгоритма для использования в системах логистики

В настоящее время в навигационных системах, обеспечивающих определение местоположения подвижных объектов и управления их движением на основе математического вычисления координат, наибольшее распространение получили алгоритмы калмановской фильтрации [5]. Перспективные разработки навигационных систем предусматривают использование до двух десятков разновидностей калмановской фильтрации в едином аппаратно - программном комплексе. Координаты вектора положения управляемого объекта определяются по данным различных судовых, бортовых, наземных и спутниковых систем наблюдения, причем во многих случаях комбинированные системы наблюдения оказываются предпочтительнее. Чаще всего применяются системы навигации, которые позволяют вычислить дальности и их производные, разницы дальностей и угловые координаты (параметры, нелинейно связаны с системой координат, в которой определяется закон движения объекта). Во многих системах управления движением самолетов, морских судов, автотранспортных средств и роботов используются измерения дальности и угловых координат. Если эти координаты измеряются одновременно, то их можно перечислить в декартову систему координат, что обуславливает возможность применения линейного калмановского фильтра для определения местоположения, основанного на линейной модели измерения и движения объекта.

Вывод

Алгоритм фильтра Калмана из-за своей простоты и легкости реализации до сих пор является основным средством обработки измерений в навигационных системах, использующих спутниковый метод определений. Таким образом, фильтр Калмана является инструментом, позволяющим на основе математической модели системы построить оптимальные оценки системных переменных по выполненным измерениям. К достоинствам алгоритма следует отнести его рекуррентную природу, эффективно проявляющуюся при работе в реальном времени, а также возможность априорной оценки точности получаемых результатов средствами самого алгоритма.

Литература

- [1] Уїдроу Б., Стірнз С. Д. Адаптивна обробка сигналів. - М.: Радіо і зв'язок, 1989. – с.267
- [2] Адаптивні фільтри: Пер. з англ. / Под ред. К.ф.н. Коуена і П.М. Гранта .- М.: Мир, 1988. – с.354
- [3] Glentis G.-O., Berberidis K., Theodoridis S. Efficient Least Squares Adaptive Algorithms for FIR Transversal Filtering// IEEE Signal Processing Magazine.- 1999. -V.16. -№.4. –P.13 -41.
- [4] Haykin S. Adaptive Filter Theory. 4-th edition.- Prentice Hall, 2002. – с.322
- [5] Проксіс Дж. Цифрова зв'язок: Пер. з англ. / За ред. Д.Д. Кловського. - М.: Радіо і зв'язок, 2000. – с.469