

ADAPTIVE PLAYOUT BUFFER BASED ON ROBUST KALMAN FILTERS

Kobrin A.V., Tour B.S.
Kharkiv National University of Radio Electronics
14, Lenina Ave., Kharkov, Kharkov reg., 61000, Ukraine
Ph.: (057) 7025592, e-mail: kobrin.artem@gmail.com

Abstract — The algorithm for an adaptive playback buffer, which allows smoothing hops and emissions, is presented. The algorithm uses a robust Kalman filter. The robust filter ignores single delay bursts and rapidly switches to a new delay value when the trend is changed or the level of delays that occur due to a burst of batch activity, the filter allows switching quickly, owing to a certain window of observation allowing making a decision about a spike's type.

АДАПТИВНЫЙ БУФЕР ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ НА ОСНОВЕ РОБАСТНОГО ФИЛЬТРА КАЛМАНА

Кобрин А. В., Тур Б. С.
Харьковский Национальный Университет Радиозлектроники
просп. Ленина, 14, Харьков, Харьковская обл., 61000, Украина
тел.: (057) 7025592, e-mail: kobrin.artem@gmail.com

Аннотация — Предложен алгоритм адаптивного буфера воспроизведения, позволяющий сглаживать скачки и выбросы. В основе алгоритма используется робастный фильтр Калмана. Фильтр, благодаря своей робастности, позволяет игнорировать единичные всплески задержки и быстро переключаться на новое значение задержки при изменении тренда или уровня задержки, которые происходят из-за всплеска пакетной активности, фильтр позволяет быстро переключиться, благодаря некоторому окну наблюдения позволяющему принять решение о типе выброса.

I. Введение

Интеграция передачи данных и мультимедиа трафика реального времени в сетях с коммутацией пакетов по-прежнему является серьезной проблемой. Одна из проблем передачи голоса в реальном времени по пакетным сетям в том, как преодолеть джиттер. Эта задача может быть решена на основе некоторого алгоритма, который может компенсировать джиттер сети.

II. Основная часть

Достаточно конструктивной моделью случайного динамического процесса, является формирующий фильтр, описываемый уравнением состояния.

$$x(k+1) = F(k+1, k)x(k) + G(k)\zeta(k), \quad (1)$$

где $F(k+1, k)$ — матрица перехода, $G(k)$ — порождающий коэффициент, $\zeta(k)$ — порождающий Гауссовый белый шум (ГБШ), со спектральной плотностью мощности N_ζ .

Процесс измерения задержки будем считать линейным. Уравнение наблюдения в линейном приближении представляется в виде:

$$y(k) = Hx(k) + v(k), \quad (2)$$

где $v(k)$ — фазовый шум ошибки измерения, являющийся белым Гауссовым шумом со спектральной плотностью мощности N_v , некоррелированный с процессом $\zeta(k)$.

Как показывают многочисленные исследования в статистике, модель описанная уравнением (1), является идеализированной, в реальных же ситуациях процесс задержки претерпевает различные случайные скачки и выбросы, обусловленные наличием инерционных элементов, таких как буферы, маршрутизаторы и др.

Очевидно, указанные выбросы и скачки можно представить, как уравнение состояния (1) так и как уравнение наблюдения (2). Учитывая то, что для оценки задержки будем использовать рекуррентный фильтр Калмана, оставим уравнение состояния (1) без изменения и преобразуем уравнение наблюдения (2). При наличии кратковременных выбросов компонента помех $v(k)$ соответственно преобразовывается, с учетом вероятности появления выброса r_v . Данная компонента приобретает вид:

$$v(k) = (1 - r_v)L(v(k)) + r_vL(v_v(k)), \quad (3)$$

где $L(v_v(k))$ представляет собой случайный процесс выброса, а $0 \leq r_v \leq 1$ представляет собой вероятность появления выброса относительно стационарного случайного процесса $v(k)$.

Иная ситуация при появлении скачка, который влияет на уравнение наблюдения в целом, после скачка в уравнение наблюдения появляется смещение, изменяющее несколько последующих состояний, это уравнение представлено в виде:

$$y(k) = (1 - r_s)L(y(k)) + r_sL(y_s(k)), \quad (4)$$

где $L(y_s(k))$ представляет собой уравнение наблюдения случайного процесса скачка, а $0 \leq r_s \leq 1$ представляет собой вероятность появления скачка.

Учитывая то, что в рассматриваемой модели имеет место два типа уравнения наблюдения: для выброса и для скачка, необходимо дополнительное устройство, предназначенное для идентификации типа изменений.

Поскольку задержка в соответствии с уравнением (2) наблюдается на фоне Гауссового белого шума, а само значение задержки случайно из-за множества факторов формирующих эту случайность. В резуль-

тате можно утверждать, что в силу центральной предельной теоремы распределение случайной задержки также подчиняется нормальному закону. Знание закона распределения и использование в таких случаях минимума среднеквадратичного отклонения позволяет рассчитывать на то, что полученные оценки окажутся более точными из-за их оптимальности.

Уравнение оценки в виде условного среднего значения задержки с использованием фильтра Калмана имеет вид:

$$\hat{x}(k+1) = F\hat{x}(k) + K(k)\Delta y, \quad (5)$$

где $\Delta y = HF\hat{x}(k) - y(k)$ — невязка, $K(k)$ — коэффициент, обеспечивающий устойчивость и сходимость процедуры, в частности $K(k)$ может быть константой $K(k) \leq 1$. Коэффициент усиления фильтра Калмана $K(k)$ является функцией от апостериорной дисперсии $v(k)$, что ускоряет его сходимость:

$$K(k) = V(k)H^T N_v^{-1}.$$

Очевидно, что с использованием модернизированного уравнения наблюдения, ФК становится не оптимальным, а его сходимость к установившемуся состоянию проблематичной. Существует несколько методов, позволяющих обеспечить сходимость ФК среди которых метод кусочно-линейной аппроксимации, метод дискретно-непрерывных моделей и др. Данные методы являются близкими к оптимальным, но достаточно громоздкими, поэтому рассмотрим робастный фильтр Калмана (РФК), который является более простым и обеспечивает получение устойчивого решения в широком диапазоне входных воздействий.

Воспользуемся методологией работы [2]. Короткий выброс задержки в уравнении (3) и возвращение ее в стационарное состояние, является как правило ложным и основной задачей фильтра, является сгладить данный выброс обеспечив текущую величину этого значения неизменной по сравнению с прошлым шагом. Процедура Калмана-Бьюси при этом приобретает следующий вид:

$$\hat{x}(k+1) = F(k+1, k)\hat{x}(k) + K(k)\Delta y \min\left\{1, \frac{b}{|K(k)\Delta y|}\right\}, \quad (6)$$

где b является некоторым ограничителем изменения значения функции. Это предложение убирает проблему неограниченного изменения оценки за один шаг в классическом фильтре Калмана, оставаясь при этом достаточно простой. Если $b \geq |K(k)\Delta y|$, то

$\min\left\{1, \frac{b}{|K(k)\Delta y|}\right\} = 1$ и фильтр работает в обычном

режиме как ФК (5). Если же $b < |K(k)\Delta y|$, то из этого следует, что произошел выброс и невязка умножается на понижающий коэффициент, равный $\frac{b}{|K(k)\Delta y|}$, что опять же приводит РФК к обычному виду (5).

Следуя рекомендации [2] РФК для ситуации скачка приобретает вид:

$$\hat{x}(k+1) = F(k+1, k)\hat{x}(k) + H(k)[I - H(k)K(k)\Delta y] \times \min\left\{1, \frac{b}{|I - H(k)K(k)\Delta y|}\right\} \quad (7)$$

где b тот же аргумент, ограничивающий изменение значения функции, что и для РФК для ситуации выброса (6), но фильтр ведет себя наоборот: при обнаружении скачка

Очевидно, одновременная фильтрация возможна только с некоторой задержкой $\Delta \tau$. Это необходимо для принятия решения о типе выброса. Вследствие выброса скорее всего увидим один большой всплеск (3), а в следствии скачка — подряд целую последовательность (4). РФК может быть реализован следующим образом [2]: РФК для ситуации скачка работает по умолчанию и всякий раз, когда ширина выброса больше окна наблюдения $\Delta \tau$, единожды используется процедура РФК для ситуации скачка. Сравним предложенный алгоритм с известным алгоритмом адаптивного буфера [3] (рис. 3).

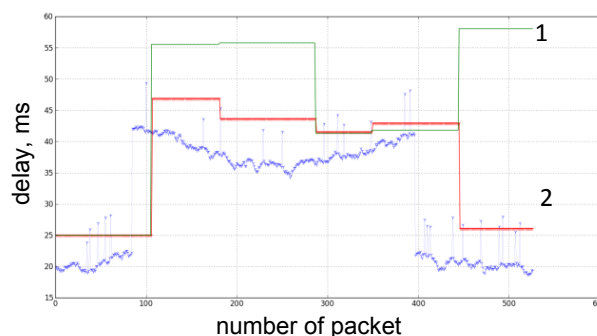


Рис. 1. Изменение размера буфера от задержки: 1) адаптивный алгоритм [3]; 2) алгоритм на основе фильтра Калмана.

Fig. 1. Change of the size of the delay buffer: 1) the adaptive algorithm [3], 2) the algorithm based on Kalman filter

III. Заключение

Предложен алгоритм адаптивного буфера воспроизведения, учитывающий на основе робастного фильтра Калмана. Фильтр позволяет определять типы выбросов и правильно на них реагировать. Предложенный алгоритм позволяет улучшить качество передачи речи через IP сети во время не стабильной сетевой задержки на 10-20% в сравнении с адаптивным алгоритмом [3]

IV. References

- [1] Popovskij V.V., Olejnik V.F. *Matematicheskie osnovy upravlenija i adaptacii v telekommunikacionnyh sistemah* [Mathematical basis of control and adaptation at telecommunication systems]. Har'kov, SMIT, 2011. 362 p.
- [2] Ruckdeschel P. Optimally robust kalman filtering. *Berichte des Fraunhofer ITWM*, 2010, No 185, pp. 53.
- [3] Pinto J., Christensen K.J. *An algorithm for playout of packet voice based on adaptive adjustment of talkspurt silence periods*. Manuscript. Florida, 1999. 8 p.