

$$\mathbf{P}_x = \mathbf{P}^T \cdot \left(\mathbf{V}_N^T(z_2^1, z_2^2, \dots, z_2^N) \right)^{-1},$$

где $\mathbf{V}_N(z_2^1, z_2^2, \dots, z_2^N)$ – $N \times N$ матрица Вандермонда.

В общем случае, при $r > 2$ принцип разделения остается тем же. То есть проекция $C^r \rightarrow C$ многообразия $\Xi_{k,m}^h(0)$, порожденного ИХ системы, на любую координату нульмерна, а многообразия $\Xi_{k,m}^x(0)$, порожденного информационной последовательностью, как правило, имеет размерность 1.

Результаты математического моделирования

Для оценки эффективности предложенного алгоритма использовалась относительная погрешность восстановления Q , которая рассчитывалась по формуле:

$$Q = M \left\{ \left\| \mathbf{R}_x - \mathbf{P}_x \right\| / \left\| \mathbf{R}_x \right\| \right\}.$$

На рис. 1 представлены графики, отражающие зависимость относительной погрешности восстановления Q от использованного числа реализаций M наблюдаемого случайного процесса. В качестве входной информационной последовательности рассматривался случайный вектор с заданной ковариационной матрицей. Моделирование проводилось для трех следующих типов матриц.

$$1. R_x = \begin{pmatrix} 1 & 0,5 & & 0 \\ 0,5 & 1 & & \\ & & \ddots & 0,5 \\ 0 & & & 0,5 & 1 \end{pmatrix}.$$

$$2. R_x = \begin{pmatrix} d_1 & r_1 & & 0 \\ r_1 & d_2 & r_2 & \\ & r_2 & \ddots & r_{n-1} \\ 0 & & & r_{n-1} & d_n \end{pmatrix}.$$

3. R_x – произвольная симметрическая положительно определенная матрица.

Импульсная характеристика системы была выбрана произвольным образом, но не изменялась в течение всего эксперимента.

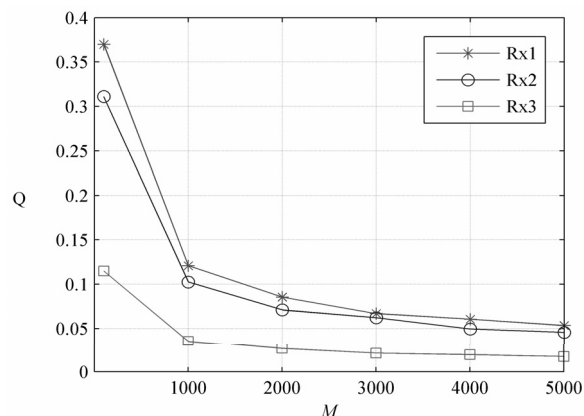


Рис. 1. Относительная погрешность восстановления Q в зависимости от числа реализаций M

Заключение

Представлен метод корреляционного анализа конечных случайных последовательностей. Алгоритм позволяет получить оценку ковариационной матрицы конечной информационной последовательности, прошедшей неизвестную линейную искажающую систему с конечной импульсной характеристикой. При этом на ковариационную матрицу случайной последовательности не накладываются никакие ограничения.

Литература

1. Горячкин О. В. Методы слепой обработки сигналов и их приложения в системах радиотехники и связи. М.: Радио и связь, 2003. – 230 с.
2. Горячкин О.В., Эрина Е.И. Слепая идентификация информационного канала по многообразиям заданной корреляции, порожденным случайными полиномами // Успехи современной радиоэлектроники. №8, 2008 – С. 70-77.

УДК 621.396.4

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЛИНИИ ЗАДЕРЖКИ

Альшеев Ю.В.

В статье приводится математическая модель линии задержки, в основе которой используются указатели и переменные. Эта модель позволяет адекватно описать процессы, происходящие в вычислительном устройстве, на базе которого реализована линия задержки.

Введение

В [1] рассматривались некоторые элементы математического описания переменных x и ука-

зателей ζ в виде пар чисел $(\zeta; x)$. В этой работе были рассмотрены такие элементы (объекты), как одномерный массив и очередь, а также операции, которые могут выполняться над рассматриваемыми объектами. В радиотехнических задачах часто применяется такой элемент как линия задержки (ЛЗ). Реализация данного объекта на базе вычислительной техники достаточно проста. Однако существует несколько вариантов реализаций это-

го объекта. Целью данной работы является математическое описание объекта линии задержки и описание вариантов ее реализаций. Кроме того, предлагается формализовать некоторые операции, которые производятся с линией задержкой, например запись некоторого значения в линию задержки.

Математическая модель линии задержки

Линия задержки представляет собой одномерный массив данных. Поэтому для нее определены действия, подобные операциям, применимым к одномерному массиву [1].

Однако для ЛЗ существуют понятия *входной ячейки* – ячейка, индекс которой равен 0, и *выходной ячейки*, индекс которой равен i_{\max} .

Если в локальной области памяти расположена только 1 ЛЗ, то максимальное значение индекса можно определить как

$$i_{\max} = \max_{\zeta_i \neq -1} i.$$

Создание ЛЗ размером в N элементов – установление адресов, взятых из локальной области памяти, для N пар $(\zeta; d)$ (переход от -1 к реальным адресам), например

$$\zeta_i \leftarrow i, \quad i = \overline{0, N-1} \text{ или } i = \overline{0, i_{\max}}.$$

Обозначение \leftarrow является оператором записи значения в переменную или указатель; i_{\max} – максимальное значение индекса; стрелка вверх показывает порядок изменения переменной i .

Удаление ЛЗ – установка признака отсутствия адреса для всех пар $(\zeta; d)$, образующих массив (переход от реальных адресов к -1)

$$\zeta_i \leftarrow -1, \quad i = \overline{0, i_{\max}}.$$

Взять адрес ячейки ЛЗ

$$\zeta_i \leftarrow \&(d_i).$$

Получить значения по адресу ячейки ЛЗ с индексом i

$$d_i \leftarrow * (\zeta_i).$$

Получить значение элемента массива с индексом i

$$y \leftarrow d_i \text{ или } y \leftarrow d_{\zeta_i}.$$

Если в локальной области памяти расположена только 1 ЛЗ, то максимальное значение индекса можно определить как

$$i_{\max} \leftarrow \max_{\zeta_i \neq -1} i.$$

Получить размер ЛЗ с индексом i

$$N \leftarrow \text{size}(d) = 1 + i_{\max}.$$

Операция циклического сдвига

Ее можно представить в виде

$$\begin{cases} \zeta_{i+1}^{(k+1)} = \zeta_i^{(k)}, & d_{i+1}^{(k+1)} = d_i^{(k)}, & i = \overline{0, i_{\max}-1}, \\ \zeta_0^{(k+1)} = \zeta_i^{(k)}, & d_0^{(k+1)} = d_i^{(k)}, & i = i_{\max}, \end{cases}$$

или

$$\begin{aligned} \zeta_{\left(\left\lfloor \frac{i+1}{i_{\max}+1} - \left\lfloor \frac{i+1}{i_{\max}+1} \right\rfloor\right\right)(i_{\max}+1)}^{(k+1)} &= \zeta_i^{(k)}, \\ d_{\left(\left\lfloor \frac{i+1}{i_{\max}+1} - \left\lfloor \frac{i+1}{i_{\max}+1} \right\rfloor\right\right)(i_{\max}+1)}^{(k+1)} &= d_i^{(k)}, \quad i = \overline{0, i_{\max}}, \end{aligned}$$

здесь $\lfloor \cdot \rfloor$ – операция «округления вниз» до целого числа (отбрасывание дробной части числа), $d_0 \leftarrow y_{\text{вх}}$;

выражение $\left(\frac{i+1}{i_{\max}+1} - \left\lfloor \frac{i+1}{i_{\max}+1} \right\rfloor\right)(i_{\max}+1)$ – выпол-

няет задачу нахождения остатка от целочисленного деления. В языке С, такая операция обозначена символом «%».

Важно обратить внимание, что циклическое переобозначение осуществляется за 1 шаг при переходе от момента времени k к $k+1$. При циклическом сдвиге в реальной программе происходит только изменение значения указателя на входную ячейку.

Операция записи в ячейку с номером i для ЛЗ отсутствует.

Операция сдвига и записи входного значения $y_{\text{вх}}$ во входную ячейку ЛЗ. Здесь существует несколько вариантов реализации. Ниже приведены 3 основных варианта.

$$1. \quad d_{i_{\max}-i} \leftarrow d_{i_{\max}-i-1}, \quad i = \overline{0, i_{\max}-1}, \quad d_0 \leftarrow y_{\text{вх}}.$$

Здесь после выполнения действия не сохраняется соответствия $d \leftrightarrow \zeta$, так как значения переменных перезаписываются по другим адресам:

$$\begin{cases} d_i^{(k+1)} = d_{i+1}^{(k)}, & i = \overline{0, i_{\max}-1}, \\ \zeta_i^{(k+1)} = \zeta_i^{(k)}, & i = \overline{0, i_{\max}}. \end{cases}$$

В этом случае число записей при выполнении операции сдвига растет пропорционально росту размера ЛЗ.

2. При использовании локальной памяти с бесконечной адресацией с сохранением соот-

ветствия при сдвиге ЛЗ, размером в N элементов, должна быть создана следующим образом

$$\zeta_i \leftarrow N - 1 - i, \quad i = \overline{0, N - 1} \text{ или } i = \overline{0, i_{\max}}.$$

В этом случае операция сдвига и записи входного значения $y_{\text{вх}}$ во входную ячейку ЛЗ производится с помощью следующих действий

$$\begin{aligned} \zeta_0^{(k+1)} &\leftarrow k + i_{\max} + 1, \\ d_0^{(k+1)} &\leftarrow y_{\text{вх}}, \\ \zeta_{i_{\max}+1}^{(k+1)} &\leftarrow -1, \\ d_i^{(k+1)} &= d_{i-1}^{(k)}, \quad \zeta_i^{(k+1)} = \zeta_{i-1}^{(k)}, \quad i = \overline{0, i_{\max} - 1}. \end{aligned}$$

Здесь число записей при выполнении операции сдвига не зависит от размера ЛЗ. Однако при каждом считывании входного значения все адреса ячеек ЛЗ неограниченно увеличиваются на 1.

3. Для ЛЗ, использующей циклическую адресацию $d_{i+1}^{(k+1)} = d_i^{(k)}$, $i = \overline{0, i_{\max} - 1}$,

$$\zeta_{\left(\left[\frac{i+1}{i_{\max}+1} - \left\lfloor \frac{i+1}{i_{\max}+1} \right\rfloor\right](i_{\max}+1)\right)}^{(k+1)} = \zeta_i^{(k)},$$

Здесь число записей при выполнении операции сдвига не зависит от размера ЛЗ. При этом запись новых адресов не происходит.

Обозначение некоторых действий над ЛЗ в виде операторов и функций

Для ЛЗ d операция записи входного значения $y_{\text{вх}}$ во входную ячейку ЛЗ обозначим как

$$d \leftarrow y_{\text{вх}},$$

где \leftarrow – оператор записи результата, выдаваемого одним объектом, в другой объект.

Операцию считывания значения из ЛЗ (из выходной ячейки ЛЗ) и запись в переменную $y_{\text{вых}}$ обозначим как

$$y_{\text{вых}} \leftarrow d.$$

Операцию циклического сдвига в ЛЗ без записей в ЛЗ обозначим в виде функции

$\text{shift}(d)$.

Операция создания ЛЗ

$\text{new}(d^{[N]})$.

Операция удаления ЛЗ

$\text{del}(d)$.

Выводы

При описании алгоритма работы радиотехнического объекта, включающего ЛЗ, при операциях записи и считывания данных можно использовать вышеприведенные обозначения.

Кроме того, если алгоритм подразумевает создание новых объектов ЛЗ или их удаление (что может быть использовано в объектно-ориентированных программах), то этот процесс также может быть кратко записан с помощью вышеприведенных обозначений.

Литература

1. Алышев Ю. В. Алгоритм, производящий поиск кратчайшей траектории на решетке дискретных альтернатив // ИКТ. Т.6, №2, 2008. – С. 10-19.

ТЕХНОЛОГИИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

УДК 621.396.4

ДЕКОДИРОВАНИЕ СВЕРТОЧНЫХ КОДОВ НА ВЫХОДЕ КАНАЛА С МСИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫРАВНИВАТЕЛЯ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ ПО РЕШЕНИЮ И МЯГКОГО ДЕКОДЕРА ВИТЕРБИ

Левин А.В., Петров О.А., Хабаров Е.О., Шалковский С.Ю.

В статье рассматриваются два метода декодирования сверточных кодов на выходе канала с МСИ с использованием выравнивателя с обратной связью по решению и мягкого декодера Витерби. Приводятся вероятностные характеристики, полученные методом имитационного моделирования. Показано, что применение указанных методов позволяет улучшить помехоустойчивость декодера.

Предварительные замечания

В современных телекоммуникационных системах широкое применение нашли сигнально-

кодовые конструкции (СКК), в основе которых лежит метод решетчатой модуляции (Trellis-Coded Modulation – TCM), причем наибольшее распространение нашли СКК с использованием сверточных кодов [1-4]. Такие конструкции широко применяются в системах передачи данных, системах мобильной связи и т.д.

При этом следует отметить, значительная часть используемых при этом каналов связи относится к классу каналов с межсимвольной интерференцией (МСИ), что затрудняет реали-