

жения, вычитания, умножения и деления. Кроме того, для вывода информации на 5-и разрядный дисплей и считывания данных с дисплея разработаны подпрограммы перевода чисел из формата с плавающей запятой в двоично-десятичный код и обратно.

Кроме вышеперечисленного использование ОЭВМ позволило добавить ряд сервисных функций, таких как связь с компьютером по интерфейсу RS-232, просмотр параметров электродной системы, на которые настроен преобразователь, их модификацию, накопление и архивирование данных измерения и т.п.

Для сохранения высокой эквивалентной точности измерения, характерной для аналоговых рН-метров, в которых реализован дифференциальный метод измерения с использованием прецизионных дорогостоящих элементов с ручным переключением внешних переключателей с последующей настройкой, в рассмотренном рН-метре использован аналого-цифровой преобразователь – К572ПВ6, использование которого позволило отказаться от применения дифференциального метода измерения с сохранением высокой точности (до сотых долей процента) во всех поддиапазонах измерения.

Метрологическое обеспечение рН-метров производится с использованием стандартных буферных растворов, приготавливаемых из стандарт-титров. Значения показателя pH этих растворов гарантируются с высокой степенью точности (0.01 pH) и их температурные изменения хорошо изучены. Всего имеется семь основных стандартных буферных растворов (1.10; 1.68; 3.56; 4.01; 6.86; 9.18; 12.45 при 20°C). Отличительной особенностью этих растворов является то, что области изменения показателя pH , при изменении температуры от 0 до 100°C, не пересекаются. Это обстоятельство позволяет идентифицировать буферный раствор по показателю pH , измеренному рН-метром, настроенным всего лишь по номинальным значениям $pH_{и}$ и $E_{и}$. Таким образом, имея в памяти программы значения pH стандартных буферных растворов и их изменения в функции температуры можно организовать работу рН-метра с автоматической идентификацией значения pH буферного раствора, что существенно облегчит процедуру настройки.

Литература

1. Макаров А.К., Свердлин В.Н. Приборы для измерения рН.–Л.: Энергия, 1970.
2. Кирасиров А.Ф., Карпов В.А. Измерительные цепи рН-метров.– Гомель: ИПП “СОЖ”, 1997.

О ДЕКОДЕРЕ ПСЕВДОСЛУЧАЙНОЙ ДВОИЧНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ, АДАПТИРУЮЩЕМСЯ К УРОВНЮ ШУМОВ

А. С. Шагинян, Е. А. Храбров

*Гомельский государственный технический университет
им. П. О. Сухого, Республика Беларусь*

При передаче телеграфных сообщений, в телеметрии, в сейсморазведке [1, 5, 6] и в других областях техники применяются устройства фазового пуска, использующие псевдослучайные двоичные последовательности. Они обеспечивают синхронный прием передающихся после них сигналов. В радиолокации, сейсморазведке и испытательной технике [6, 7] рабочие (зондирующие) сигналы часто также основаны на таких последовательностях. На таких последовательностях обычно базируются коды помехоустойчивых систем передачи информации с подавлением ошибок.

В сейсморазведке при проведении полевых работ от сейсмостанции к компактной группе вибраторов по радиоканалу посылается сигнал общего пуска, основанный на псевдослучайной последовательности. Благодаря ему все вибраторы одновременно начинают излучать сейсмический сигнал, а на сейсмостанции при этом формируется синхронный с вибраторами опорный сигнал, используемый при дальнейшей корреляционной обработке принятого сейсмостанцией отраженного сейсмического сигнала.

При приеме псевдослучайную последовательность декодируют, превращая в одиночный импульс, который означает наличие определенной последовательности в определенный момент времени. Работа таких декодеров основана на накоплении неискаженных символов известной последовательности (или одной из некоторого ансамбля известных последовательностей). При накоплении неискаженных символов до заданного порога декодер формирует разрешение на образование импульса в конце принимаемой последовательности.

Известно много типов псевдослучайных двоичных последовательностей, приведенных в [6], которые можно использовать для надежного синхронного запуска (фазового пуска), или в качестве помехоустойчивого локационного сигнала, но среди них линейные рекуррентные двоичные последовательности, называемые часто последовательностями Хаффмена, получили наибольшее распространение благодаря своим хорошим корреляционным свойствам, простоте формирования и большому ансамблю реализаций для каждой разрядности.

Надежность цифровой системы синхронного запуска можно оценить, согласно [4], с помощью двух параметров: вероятности $p_{л}$ ложного срабатывания декодера в отсутствие запускающего сигнала, и вероятности $p_{н}$ неприема запускающего сигнала. Известны два принципа обработки псевдослучайных двоичных последовательностей: захватный и корреляционный, а также основанный на их совокупности комбинированный декодер. В отсутствие сигнала запуска вероятность появления в входном шуме символов "1" и "0" равна 0,5. Вероятность $p_{л}$ ложного срабатывания комбинированного декодера, т. е. вероятность того, что из n символов шума сначала произойдет ложный захват сигнала, а затем еще и ошибочная контрольная проверка, как показано в [4], равна:

$$p_{л} = 0,5^{r+k3} (2^r - r - k3 - n2) \sum_{i=k4}^{n2} C_{n2}^i \times 0,5^{n2}, \quad (1)$$

где r – число разрядов формирователя последовательности, равное $r = \log_2(n+1)$; $k3$ – порог срабатывания счетчика совпадений схемы захвата комбинированного декодера; $n2$ – число символов, используемых для его контрольной проверки; $k4$ – порог срабатывания счетчика совпадений схемы контрольной проверки комбинированного декодера.

Вероятность неприема сигнала синхронного запуска может быть определена, согласно [9], следующим образом:

$$p_{н} = 1 - \sum_{i=1}^{\lfloor n/(r+k3) \rfloor} (-1)^{i-1} p_T^{i-1} (1-p_T)^{is} (C_{n-i(r+k3)}^{i-1} + p_T C_{n-i(r+k3)}^i) + \sum_{i=n2-k4+1}^{n2} C_{n2}^i p_T^i (1-p_T)^{n2-i} - \left(1 - \sum_{i=1}^{\lfloor n/(r+k3) \rfloor} (-1)^{i-1} p_T^{i-1} (1-p_T)^{is} (C_{n-i(r+k3)}^{i-1} + p_T C_{n-i(r+k3)}^i) \right) \cdot \sum_{i=n2-k4+1}^{n2} C_{n2}^i p_T^i (1-p_T)^{n2-i}, \quad (2)$$

где p_T – вероятность искажения одного символа сигнала.

Для адаптации такого декодера к условиям прохождения сигнала, к его зашумленности, предлагается способ его декодирования, заключающийся, в основном, в следующем: после опознания в декодере сигнала следует *измерять* вероятность искажения одного символа сигнала в данных условиях приема, исходя из полученной вероятности p_T искажения одного символа надо *изменять* разрядность узлов декодера таким образом, чтобы при ухудшении условий приема повышалась определяемая разрядностью узлов декодера вероятность приема сигнала, и, наоборот; в энергонезависимой памяти *хранить* суммарное значение отработанного данным декодером время, умножаемое на каждом этапе работы на мгновенное значение вероятности ложного срабатывания, рассчитываемое по текущим показателям разрядности узлов декодера, и при достижении содержимым памяти установленного предела, сигнализировать о недопустимости дальнейшей работы данного декодера в таком режиме.

Возможности такой перестройки параметров комбинированного декодера путем изменения разрядности его узлов показаны на рис. 1.

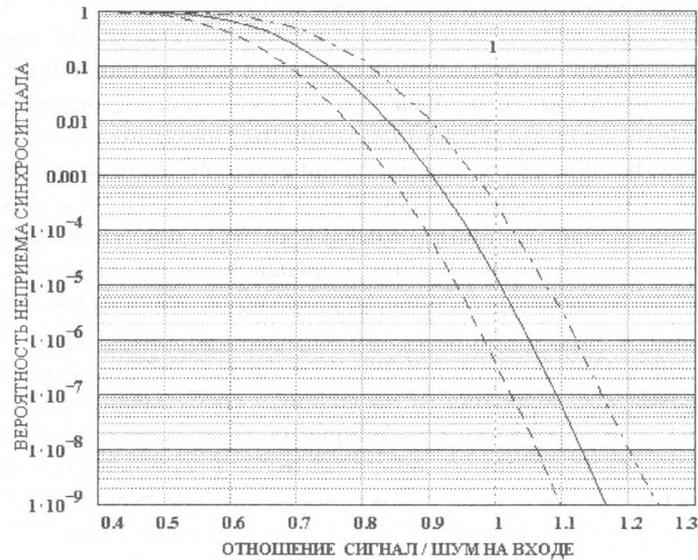


Рис. 1. Пример влияния числа разрядов узлов комбинированного декодера на его характеристики в условиях сильных шумов на его входе при $n = 1023$, $n_2 = 250$:

- · · · — $r+k_3 = 14$, $k_4 = 190$, $p_{\text{Л}} = 2,013 \cdot 10^{-18}$;
- — — — $r+k_3 = 12$, $k_4 = 185$, $p_{\text{Л}} = 2,0108 \cdot 10^{-15}$;
- — — — $r+k_3 = 10$, $k_4 = 180$, $p_{\text{Л}} = 1,202 \cdot 10^{-12}$.

При отношении сигнал/шум на входе декодера, значительно большем 1, в декодере должно обеспечиваться число разрядов, соответствующее правой кривой, показанной на рис. 1 точечной линией. Малая вероятность $p_{\text{Л}}$ ложного срабатывания, присущая данной кривой, позволит работать с уверенностью, что не случится авария, связанная с ложным запуском вибратора.

Когда вибратор временно попадает в условия плохой радиосвязи и отношение сигнал/шум на входе декодера становится значительно меньше 1, на это время узлы декодера автоматически переключаются на разрядность, обуславливающую левую кривую, показанную на рис. 1 штриховой линией. Сравнительно большая вероятность ложного срабатывания, присущая данной кривой, не позволяет долго работать в таком режиме, но зато, как видно из рис. 1, малая вероятность неприема сигнала обеспечивает надежный прием всех сигналов фазового пуска, поступающих от сейсмостанции. После устранения причин плохой связи декодер возвращается к исходному или хотя бы к среднему состоянию, показанному на рис. 1 сплошной линией.

Общие (суммарные) вероятности $p_{\text{ЛМ}}$ ложного срабатывания и $p_{\text{НМ}}$ неприема сигнала адаптивным декодером за все время работы в m различных интервалах времени $T_i = T_1, T_2, \dots, T_m$, считая, что в пределах каждого из них соотношение сигнал/шум на входе и разрядность узлов декодера, а значит и текущие вероятности $p_{\text{Л}i}$ ложного срабатывания и $p_{\text{Н}i}$ неприема сигнала не меняются, будут равны:

$$p_{\text{ЛМ}} = \sum_{i=1}^m p_{\text{Л}i} \cdot T_i / \sum_{i=1}^m T_i, \quad (3)$$

$$p_{\text{НМ}} = \sum_{i=1}^m p_{\text{Н}i} \cdot T_i / \sum_{i=1}^m T_i. \quad (4)$$

Рассмотрим на упрощенном примере эффективность предложенной адаптации. Пусть условия работы сейсмостанции с группой вибраторов таковы, что в среднем на 10 дней, благоприятных для прохождения сигнала запуска, приходится один неблагоприятный день работы, и в благоприятные дни отношение сигнал/шум на входе декодера равно 1,2, а в неблагоприятные – 0,8.

Первый декодер без адаптации к шуму, имеющий характеристики, соответствующие правой кривой рис. 1, т. е. обеспечивающий достаточно низкую вероятность ложного запуска, равную $2,013 \cdot 10^{-18}$, при такой работе в неблагоприятные дни имеет вероятность неприема сигнала, равную 0,124, т. е. каждый восьмой запуск не пройдет, что явно недопустимо.

Второй неадаптивный декодер, имеющий характеристики, соответствующие левой кривой рис. 1, у которого вероятность неприема сигнала в неблагоприятные дни достаточно мала и равна 0,004, при такой работе имеет большую вероятность ложного запуска, равную $1,2 \cdot 10^{-12}$, что может привести к аварийной ситуации.

Декодер с адаптацией к шуму, имеющий в благоприятные дни характеристики, соответствующие правой кривой рис. 1, а в неблагоприятные дни – левой кривой рис. 1, при такой работе имеет общую вероятность неприема сигнала, равную $3,843 \cdot 10^{-4}$, что более чем на порядок лучше, чем у первого декодера без адаптации к шуму, и это при общей вероятности ложного срабатывания, равной $1,093 \cdot 10^{-13}$, что более чем на порядок лучше, чем у второго неадаптивного декодера.

Оптимальным по критерию Неймана–Пирсона [3] считается такой способ обработки принятого сигнала, при котором обеспечивается минимальная вероятность неприема сигнала для данного соотношения сигнал/шум при заданной вероятности ложного срабатывания. Использовать приведенные здесь выражения для расчета оптимального адаптивного декодера можно следующим образом. По формулам (1, 3) по известной вероятности $p_{л}$ ложного срабатывания и заданному числу n символов сигнала запуска путем подбора, начиная с $k_4 = n/2$ определяют пороги k_3 и k_4 срабатывания декодера по ближайшей снизу к известной вероятности $p_{л}$ ложного срабатывания, а по формулам (2, 4) в соответствии с найденными порогами k_3 и k_4 срабатывания декодера и вероятностью p_T трансформации одного входного символа вычисляется вероятность p_H неприема сигнала запуска.

Проведенный здесь анализ достоверности работы адаптивного декодера сигнала, основанного на последовательности Хаффмена, позволяет построить схемы, оптимальные для конкретных условий применения. Так, в условиях Беларуси сейсморазведка часто производится в лесу, среди деревьев, поглощающих и отражающих радиоволны канала связи между сейсмостанцией и отрядом вибраторов. Здесь много промышленных предприятий, линий электропередач и прочих источников промышленных радиопомех, поэтому в таких условиях предпочтительно использовать декодеры с повышенной помехоустойчивостью, аналогичные предложенному в данной статье. Дополнительно повысить помехоустойчивость можно, согласно [1], если использовать декодер сигнала фазового пуска, основанный на помощи со стороны лучшего вибратора в пользу худшего, и/или декодер в соответствии с [2], где применен особо помехоустойчивый способ обработки сигнала фазового пуска, основанный на дополнительной проверке захвата сигнала фазового пуска.

Литература

1. А. с. 913 298 СССР. МКИ³ G 01 v 1 / 04. Устройство синхронизации источников сейсмических сигналов / В. А. Пантелеев, Е. А. Храбров, А. Г. Слободов, А. С. Быков и Н. М. Кобин (СССР). – №2949867/18–25 02; Заявлено 07. 80; Опубл. 15. 03. 82, Бюл. № 10 // Открытия. Изобретения. – 1982. – № 10. – С. 106.

2. А.с. 1 103 168 СССР. МКИ³ G 01 v 1 / 13. Устройство синхронизации источников сейсмических сигналов / В. А. Пантелеев, Н. И. Давиденко, Е.А. Храбров и А. С. Быков (СССР).– № 2743509/18–25; Заявлено 28. 03. 79; Опубл. 15. 07. 84, Бюл. № 26 // Открытия. Изобретения.–1984.–№ 26.– С.96.
3. Игнатов В.А. Теория информации и передачи сигналов: Учебник для вузов. – 2–е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1991. – 280 с.
4. Храбров Е. А. О влиянии достоверности запуска сейсмических вибраторов на эффективность сейсморазведки на нефть и газ // Материалы научно – практической конференции "Стратегия развития нефтедобывающей промышленности Республики Беларусь на 2000 – 2015 годы". – Гомель: ПО "Белоруснефть". – С.196–204
5. Шагинян А. С., Храбров Е. А. Принципы управления сейсмическими вибраторами // Вибросейсмические методы исследования: Сб. ст. / Акад. наук СССР. Сиб. отд-ние.; Под ред. А.С. Алексева. – Новосибирск, 1981.– С.107–116
6. Шумоподобные сигналы в системах передачи информации / Под ред. проф. В.Б. Пестрякова. – М.: Сов. Радио, 1973. – 424 с.
7. Combisweep Techniques, Encoded sweep Techniques. (Методики комбинированного свипа и кодированного свипа) // Pracla – seismos information ¹ 27. – Hannover, 1981. – 8 с.

О ПОГРЕШНОСТИ ВЫЧИСЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТИ НЕПРИЕМА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ХАФФМЕНА ЗАХВАТНЫМ ДЕКОДЕРОМ

Е. А. Храбров, В. В. Ерошенко, Е. Н. Герасименко
*Гомельский государственный технический университет
им. П. О. Сухого, Республика Беларусь*

Широко используемая [3, 4] формула для определения вероятности p_H неприема последовательности Хаффмена захватным декодером, приведенная в [2, с.173], получена при условии, что вероятность p_T неприема (искажения, трансформации) одного (каждого) символа из принимаемой последовательности Хаффмена достаточно мала ($p_T = 10^{-3}$). Это условие было принято для того, чтобы можно было пренебречь некоторыми составляющими при выводе этой формулы и получить простой ее вид:

$$p_H = 1 - \sum_{i=1}^{\lfloor n/(r+k) \rfloor} (-1)^{i-1} p_T^{i-1} (1 - p_T)^{i(r+k)} (C_{n-i(r+k)}^{i-1} + p_T C_{n-i(r+k)}^i), \quad (1)$$

где n – число символов последовательности; r – число разрядов формирователя последовательности, равное $r = \log_2(n+1)$; k – порог срабатывания счетчика совпадений схемы захвата декодера.

Использовать эту формулу для расчета вероятности p_H неприема последовательности в условиях плохой связи, когда уровень шума становится сравнимым с величиной сигнала без дополнительного анализа влияния больших значений вероятности p_T трансформации одного символа из принимаемой последовательности, не корректно.

Вероятность p_T трансформации одного символа в симметричном канале можно определить из соотношения сигнал/шум с помощью выражения [2, с.73]:

$$p_T = \int_{-\infty}^0 \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot P_{\text{ш}}}} \cdot \exp\left[-\frac{(x - \sqrt{m_c})^2}{2m_{\text{ш}}}\right] dx, \quad (2)$$

где $P_{\text{ш}}$ – мощность входного шума; P_c – мощность входного сигнала.

При $P_c/P_{\text{ш}} = 1$ вероятность $p_T = 0,159$.

Для вывода уточненной формулы вероятности p_H неприема последовательности в условиях плохой связи было отброшено условие малости вероятности p_T трансформации одного символа и проведены все те же стадии вывода формулы, что и в [1]. В результате