

Сравнительный анализ помехоустойчивых алгоритмов цикловой синхронизации

О. П. Малофей¹, А. О. Малофей², А. Е. Шаньгина³, Е. А. Кучукова⁴

Северо-Кавказский федеральный университет

¹ opmalofey@yandex.ru, ² yzorsv@gmail.com, ³ shangina_anastasya66@mail.ru, ⁴ e.cat.kuchukova@yandex.ru

Аннотация. Весьма актуальной проблемой при проектировании информационных систем является передача информации с высокой достоверностью и наибольшей скоростью при снижении общего уровня затрат. В системах передачи дискретной информации (СПДИ) с каналами низкого качества достоверность повышается многократным повторением сообщения, число которых не меньше трех. В связи с чем представлен анализ нескольких методов циклового фазирования при многократном повторении, рассмотренном на случаи, когда один сеанс связи включает β -кратное повторение n -разрядной кодовой комбинации сообщения.

Ключевые слова: циклический код; вероятность ложного синхронизма; канал связи; кодовое расстояние; цикловое фазирование; кодовая комбинация

I. ВВЕДЕНИЕ

В СПДИ эффективность использования канала связи зависит от объема сообщения, передаваемого за один сеанс связи, и способа повышения достоверности приема. При этом оптимальный объем сообщения определяется количеством служебной информации в фазирующих сигналах [10].

Качество функционирования СПДИ существенно зависит от работы устройств циклового фазирования [2]. Выбор способа синхронизации – достаточно сложная техническая задача, от решения которой зависит выполнение требований по быстродействию, надежности и экономичности системы цикловой синхронизации [6, 7].

Поскольку в общем случае начало сеанса передачи не выявлено, в СПДИ широко применяются способы, при которых n -разрядная фазирующая комбинация передается столько же раз, сколько n -разрядная комбинация сообщения, а возникшие в сообщении ошибки исправляются мажоритарным методом [1, 3, 5].

При этом фазирующая комбинация может многократно передаваться как в начале сеанса, так и после каждого повторения кодовой комбинации сообщения.

II. МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

Рассмотрим случай, когда один сеанс включает β -кратное повторение n -разрядной кодовой комбинации сообщения и перед каждым из сообщений передается фазирующая m -разрядная комбинация. Передаваемый блок имеет вид

$$\gamma_1 \gamma_2 \dots \gamma_m a_1 a_2 \dots a_n.$$

Если в момент начала приема часть символов первого блока окажется потерянной и прием начнется с какого-либо i -го символа, принятый блок имеет вид

$$\gamma_i \gamma_{i+1} \dots \gamma_m a_1 a_2 \dots a_n \gamma_1 \gamma_2 \dots \gamma_{i-1}.$$

Таким образом, в принятом блоке содержатся все символы фазирующей и информационной кодовой комбинаций, фазовое положение которых устанавливается циклическим сдвигом. Если это не удастся, то после приема первого блока принимают ещё два и производят их мажоритарную обработку. Если и тогда не удастся установить фазовое положение, принимают последующие блоки до полного устранения ошибок. После фиксации фазового положения проверяют достоверность, декодируя информационную часть кодовой комбинации [4]. Реализация метода возможна только при условии (1).

Выполнить такое условие, если значения вероятности P_0 большие, можно лишь при увеличении количества разрядов в передаваемом блоке. Это, в свою очередь, уменьшает скорость передачи, которая, для данного метода определяется выражением (2).

$$\gamma_1 \gamma_2 \dots \gamma_m \neq \begin{cases} \gamma_{i+1} \gamma_{i+2} \dots \gamma_m a_1 a_2 \dots a_i, & 1 \leq i \leq m-1; \\ a_{i+1} a_{i+2} \dots a_{i+m}, & 0 \leq i \leq n-m; \\ a_{i+1} a_{i+2} \dots a_n \gamma_1 \gamma_2 \dots \gamma_{i+m-n}, & n-m+1 \leq i \leq n-1 \end{cases}. \quad (1)$$

$$\gamma_i \gamma_{i+1} \cdots \gamma_n \gamma_1 \gamma_2 \cdots \gamma_{i-1}.$$

Тогда вероятность выделения ложной фазирующей комбинации определяется P_0 , так как однократная ошибка в кодовой комбинации приводит к нарушению условия (1) [4]. Следовательно, вероятность ложного синхронизма оценивается соотношением

$$P_{\text{лс1}} = \frac{\lambda q}{\lambda - P_0} \frac{\lambda^{-\lambda\beta} \mu^{-\mu\beta}}{\sqrt{2\pi\lambda\mu\beta}} P_0^{\lambda\beta} q^{\mu\beta},$$

$$\lambda = (\beta + 1)/2\beta, \quad \mu = 1 - \lambda, \quad q = 1 - P_0,$$

а вероятность ложного синхронизма

$$P_{\text{лс2}} = \left[\frac{1}{2} \frac{\lambda q}{\lambda - P_0} \frac{\lambda^{-3\beta\lambda} \mu^{-3\beta\mu}}{\sqrt{6\pi\lambda\mu\beta}} P_0^{3\beta\lambda} q^{3\beta\mu} \right]^d,$$

$$\gamma_1 \gamma_2 \dots \gamma_m a_1 a_2 \dots a_n a_1 a_2 \dots a_n.$$

где d – кодовое расстояние для циклического кода, которым зашифрован повтор сообщения.

Достоинство рассмотренного способа цикловой синхронизации – высокая достоверность выделения сигнала синхронного запуска. Однако его широкое применение в системах сеансовой связи ограничивается низкой исправляющей способностью, что влечет за собой увеличение числа передаваемых блоков β и, следовательно, снижение скорости передачи информации R .

Существует метод, в значительной степени устраняющий недостатки рассмотренных выше способов. В качестве сигнала фазирования передается та же n -разрядная кодовая комбинация, но развернутая младшим разрядом вперед, причем первый передаваемый разряд инвертируется. Передаваемый блок имеет вид

$$A = \begin{bmatrix} \gamma_{1i}\gamma_{1i+1} & \dots & \gamma_{1n}a_{11}a_{12} & \dots & a_{i-1} \\ a_{2i}a_{2i+1} & \dots & a_{2n}a_{21}a_{22} & \dots & a_{2i-1} \\ a_{3i}a_{3i+1} & \dots & a_{3n}\gamma_{31}\gamma_{32} & \dots & \gamma_{3i-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{3\beta i}a_{3\beta i+1} & \dots & a_{3\beta n}\gamma_{3\beta 1}\gamma_{3\beta 2} & \dots & \gamma_{3\beta i-1} \end{bmatrix},$$

$$a_i = \begin{cases} 1 & \text{при } \mu_i > 1,5\beta; \\ 0 & \text{при } \mu_i < 1,5\beta; \end{cases}$$

$$\gamma_i = \begin{cases} 1 & \text{при } \mu_i > 1,5\beta; \ 0,5\beta < \mu_i < 1,5\beta; \\ 0 & \text{при } \mu_i < 1,5\beta; \ 1,5\beta < \mu_i < 2,5\beta. \end{cases}$$

$$\bar{a}_n a_{n-1} \dots a_1 a_1 a_2 \dots a_n.$$

На приемном конце элементы, симметричные относительно середины принятого блока, сравниваются. Если все n элементов, кроме крайних, совпадают, делается вывод о синхронном положении принимаемых блоков. В том случае, когда прием начат с i -го символа, поступивший блок имеет вид

$$a_{n-i+1} a_{n-i} \dots a_1 a_1 a_2 \dots a_{j-1}.$$

Элементы блока сдвигаются в течение $2n - 1$ тактов. Если за это время фазирующий сигнал обнаружен не будет, продолжают прием последующих блоков.

состоящих из $2n$ зеркально отраженных элементов, до полного устранения ошибок.

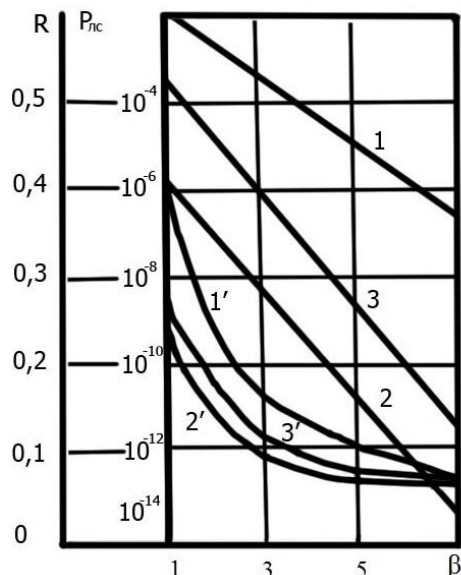


Рис. 1. Зависимость вероятности выделения ложного сигнала синхронизации $P_{лс}$ и скорости передачи R от числа передаваемых блоков β .

Достоинство способа заключается в высокой эффективности исправления ошибок и достоверности выделения фазированного сигнала, поскольку этот метод фазирования эквивалентен проверке на достоверность по критерию «два из двух». Скорость передачи определяется выражением [4]

$$R_3 = k/2\beta n,$$

а вероятность ложного синхронизма

$$P_{лсз} = n \left[\frac{\lambda q}{\lambda - P_0} \frac{\lambda^{-\beta\lambda} \mu^{-\beta\mu}}{\sqrt{2\pi\lambda\mu\beta}} P_0^{\beta\lambda} q^{\beta\mu} \right]^2.$$

III. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Выбирая оптимальный метод циклового фазирования при многократном повторении сообщения, необходимо знать требуемые достоверность выделения фазированного сигнала и скорость передачи информации. По требуемой достоверности рассчитывается необходимое число повторений β и по нему сопоставляются скорости передачи R различных методов циклового фазирования. Изменение вероятности выделения ложного сигнала синхронизации $P_{лс}$ (кривые 1, 2, 3) и скорости передачи R

(кривые 1', 2', 3') в зависимости от числа передаваемых блоков β показаны на рис. 1. Графики соответствуют следующим алгоритмам: 1, 1' – классическому; 2, 2' – μ -проверке; 3, 3' – проверке зеркально отраженных элементов.

IV. ВЫВОД

При анализе полученных зависимостей $P_{лс} = f(\beta)^{R=f(\beta)}$ выявлено, что применение того или иного способа циклового фазирования при многократном повторении сообщения существенно зависит от задач, решаемых СПДИ и качества каналов связи. Так, например, когда необходима высокая достоверность передачи информации в ущерб скорости передачи, предпочтителен второй способ; если требуется компромисс между скоростью передачи и достоверностью, выбирается третий способ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Oleg P. Malofey, Alexander O. Malofey, Anastasia E. Shangina. On the issue of optimization of hardware costs in infotelecommunication systems // 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus). (pp. 342-346). 2017. DOI: 10.1109/EIConRus.2018.8317102
- [2] Гольдштейн Б.С., Соколов Н.А., Яновский Г.Г. Сети связи: Учебник для ВУЗов. СПб.: БХВ-Петербург, 2010. 400с.
- [3] Ключко В.И., Малофеев О.П. Об одном классе устройств адаптивного мажоритарного декодирования кодов с повторением // Радиотехника. Вып. 64. Издательство ХГУ объединение «Вища школа», 1983. С. 73-77.
- [4] Малофеев О.П., Захарова Е.С. Алгоритмы цикловой синхронизации в радиоканалах низкого качества // Циклы природы и общества. 2014. с. 102-104.
- [5] Малофеев О.П., Малофеев А.О., Шаньгина А.Е. Анализ алгоритмов помехоустойчивого кодирования и повышение их эффективности в сложных системах // «Наука. Инновации. Технологии» Научный журнал Северо-Кавказского федерального университета. 2017. вып. 2. с.43-52.
- [6] Малофеев О.П., Малофеев А.О., Шаньгина А.Е. Оценка сложности устройств мажоритарного декодирования // «Охрана, безопасность, связь» Воронежский институт Министерства внутренних дел Российской Федерации. 2017. с. 63-68.
- [7] Малофеев О.П., Малофеев А.О., Шаньгина А.Е. Сравнительный анализ алгоритмов первичной обработки кодов с повторением // Научно-методические проблемы профессиональной и служебной подготовки в органах Внутренних Дел России. 2017 с. 205-209.
- [8] Пат. РФ № 2023448 / О.П. Малофеев, А.О. Малофеев, и др. Устройство для исправления ошибок при многократном повторении; Опубл. 15.11.1994. Бюл. №21.
- [9] Пат. РФ № 2635253 / О.П. Малофеев, А.О. Малофеев, Ю.О. Харечкина и А.Н. Харечкин. Модифицированное устройство коррекции ошибок; Опубл. 09.11.2017. Бюл. №31.
- [10] Пятибратов А.П. Гудыно Н.А. Кириченко А.А. Вычислительные системы, сети телекоммуникации: Учебник. 2-е изд., перераб и доп. М.: Финансы и статистика, 2004. 512 с.