

УДК 621.398.1

## ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ПРЕДЕТЕКТОРНОГО ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОГО СИГНАЛА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ КОНТРОЛЯ ТМИ СТАНДАРТА IRIG

*Лукашов Н.А., инженер-программист 1 категории, филиал ФГУП «ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс» - ОКБ «Спектр», 4370@spectr.ryazan.ru*

*Петров П.И., инженер-программист, филиал ФГУП «ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс» - ОКБ «Спектр», 4370@spectr.ryazan.ru*

*Тихомиров С.А., начальник сектора, филиал ФГУП «ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс» - ОКБ «Спектр», 4370@spectr.ryazan.ru*

**Ключевые слова:** ТМИ, обработка, анализ, контроль.

В существующей практике обработки ТМИ стандарта IRIG (стандарт ТМИ США) существует задача обработки преддетекторного телеметрического сигнала (ПТМС), то есть модулированного для передачи в эфир. В настоящее время для записи ТМИ IRIG используется аппаратура компании SYPRIS /Metrum-Datatype (Sypris Data System inc., США). Технология записи данных измерений компании SYPRIS позволяет проводить преддетекторную регистрацию и запись широкополосного телеметрического сигнала передаваемого на различных частотах. Ранее применяемая технология позволяла производить запись ТМИ стандарта IRIG только в постдетекторном виде (ТМИ IRIG) [9].

Отличительной особенностью ПТМС и ТМИ IRIG является различие форматов записи данных содержащих телеметрическую информацию и объема исходных данных для обработки ТМИ. Так ТМИ IRIG, либо демодулирована, либо в сопроводительных данных содержится полное описание для ее демодуляции. Формат записи ПТМС – преддетекторный радиотехнический сигнал модулированный несущей с частотой  $1/(Nd_x)$  и оцифрованный с частотой дискретизации  $1/d_x$  и, для которого отсутствуют данные по его обработке и способам получения телеметрической информации.

Для контроля ТМИ IRIG решаются следующие задачи:

- запись ТМИ в унифицированный цифровой формат на компьютерный носитель информации в виде группового телеметрического сигнала (ГТС);
- определение параметров ГТС (способ записи слов, скорость записи слов, применяемые методы модуляции и кодирования и пр.);
- формирование шкалы времени ГТС;
- демодуляция и декодирование ГТС;
- монтаж и анализ качества ГТС;
- обработка ГТС с целью выделения параметров контроля;
- анализ и контроль параметров;
- информационная поддержка анализа и обработки ТМИ IRIG.

В данной статье приведен способ организации вычислительного процесса при обработке и анализе преддетекторного телеметрического сигнала при проведении контроля ТМИ стандарта IRIG. Выдвинута задача определения параметров телеметрического сигнала. Проанализированы все известные методы демодуляции оцифрованного радиотехнического сигнала. Приведено описание метода квадратурного детектирования как универсального метода демодуляции сигнала.

Структурная схема вычислительного процесса контроля ТМИ IRIG приведена на рис. 1.

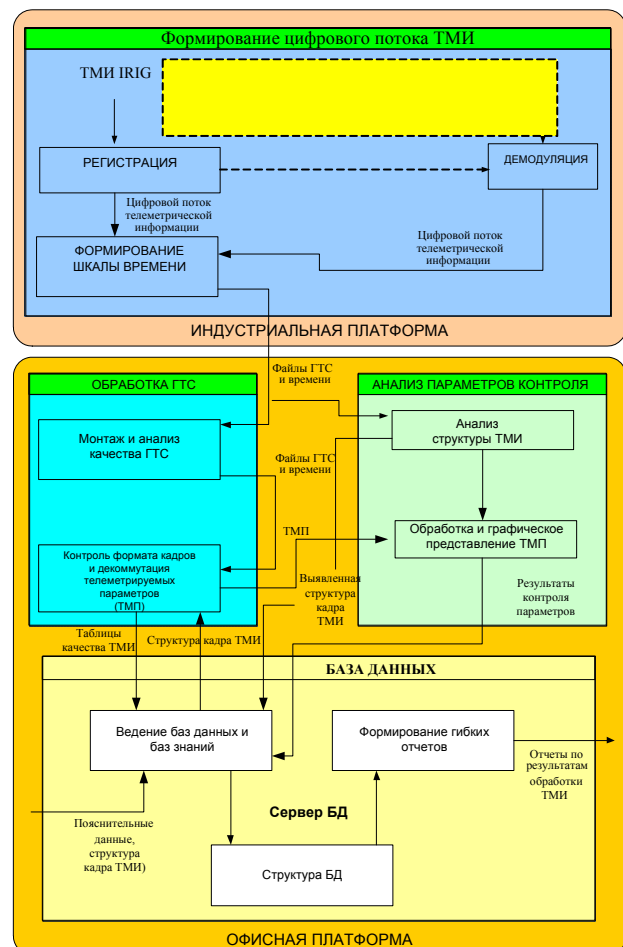


Рис. 1. Схема вычислительного процесса обработки и анализа ТМИ IRIG



В соответствии со схемой вычислительный процесс для контроля ТМИ можно разбить на три этапа:

- 1) формирование цифрового потока ТМИ (группового телеметрического потока или просто ГТС);
- 2) обработка ГТС;
- 3) анализ параметров контроля и формирование отчетов по результатам анализа.

Проведем анализ этапов контроля ТМИ IRIG.

**На первом этапе** производится первичная обработка информации, представленной на первичных носителях ТМИ, с целью получения циклической структуры ТМИ и временной шкалы [7,8]:

- 1) для ТМИ IRIG производится:
  - определение параметров телеметрического сигнала (в соответствии с заданными исходными данными);
  - регистрация информации методом оцифровки сигналов от специальных магнитных регистраторов Метрум (СМР) и запись ТМИ в унифицированный цифровой формат на компьютерный носитель информации виде группового телеметрического сигнала (ГТС);
  - демодуляция в соответствии с исходными данными методом квадратурного детектирования;
  - формирование шкалы времени методом регистрации меток времени записанной на магнитной ленте по отдельной дорожке;
- 2) для ПТМС в виде файлов на компьютерных носителях должны производиться:
  - конвертирование файла в унифицированный цифровой формат на компьютерный носитель информации виде группового телеметрического сигнала (ГТС);
  - определение параметров радиотехнического сигнала, содержащего ТМИ, методами спектрального, корреляционного (временного) и статистического анализа;
  - демодуляция в соответствии с определенными параметрами методом квадратурного детектирования;
  - формирование шкалы времени методом восстановления меток времени с привязкой к характерным событиям, по которым имеются точные временные измерения (начало регистрации ТМИ, окончание регистрации ТМИ, скорость записи цифровых слов);

**На втором этапе** производится обработка ГТС с целью выделения параметров контроля и получения таблиц качества ТМИ:

- оценка качества методом контроля параметров: счетчика, маркеров и констант;
- монтаж ГТС в автоматическом и ручном режимах методами обработки таблиц фрагментов качественной информации и выбором наиболее качественной информации из зарегистрированных участков;
- декоммутация параметров (по априорным данным для анализа или по выявленной структуре) методом битовой сборки ТМП из ГТС;
- контроль формата кадров методом корреляционного анализа и контроля параметра – счетчика, маркеров и констант;

**На третьем этапе** производится анализ телеметрируемых параметров с целью контроля и формирование отчетов по результатам анализа ТМИ:

- обработка ТМП известными математическими методами (интегрирование, дифференцирование, логарифмирование и пр.);

- анализ (выявление) структуры ТМИ методом статистического и корреляционного анализа структурных характеристик информации по накопленным данным в базе знаний результатов обработки [6];

- графическое представление методом отображения на битовые матрицы, графики зависимости по времени, гистограммы.

- формирование отчетов методом графического программирования форм представления и запроса к данным.

Как видно из анализа этапов обработки и анализа ТМИ, наиболее важным и ответственным с точки зрения обработки ПТМС является этап формирования цифрового потока ТМИ (ГТС). Остальные задачи второго и третьего этапов являются традиционными для обработки ТМИ IRIG. Так, задача «определение параметров телеметрического сигнала» для ТМИ IRIG выполняется путем ввода заданных исходных данных. Для определения параметров ПТМС необходим аппарат идентификации параметров телеметрического сигнала и демодуляции для получения ТМИ IRIG.

### Решение задачи демодуляция ГТС

При реализации данной задачи проанализированы все известные методы демодуляции оцифрованного радиотехнического сигнала и сделан выбор метода квадратурного детектирования как универсального метода демодуляции.

Метод квадратурного детектирования основан на квадратурном представлении сигнала, которое заключается в выражении синусоидального колебания с произвольной фазой и амплитудой как линейной комбинации синусоидального и косинусоидального колебаний с нулевыми начальными фазами [2,5].

$$s(x) = A(x) \cos(\varepsilon + f(x)) = A(x) \cos(\varepsilon + \psi(x)) \cos(2\pi u_0 x) - A(x) \sin(\varepsilon + \psi(x)) \sin(2\pi u_0 x) \quad (1)$$

где  $f(x)$  и  $A(x)$  - отклонения фазы и амплитуды сигнала соответственно;

$\varepsilon$  - начальная фаза и  $\psi(x)$  - отклонение фазы,  
 $2\pi u_0 x$  - значение фазы опорного сигнала (несущей),  
 $A(x) \cos(\varepsilon + \psi(x))$  и  $-A(x) \sin(\varepsilon + \psi(x))$  - квадратурные составляющие сигнала.

Соответственно, по этой методике входной сигнал для демодуляции можно представить в виде:

$$s(x) = s_0(x) + s_c(x) \cos(2\pi u_0 x) + s_s(x) \sin(2\pi u_0 x), \quad (2)$$

где:

$s_0(x)$  - помеха;

$$s_s(x) = s_m(x) \sin[\varepsilon + \psi(x)]; \quad (3)$$

$$s_c(x) = s_m(x) \cos[\varepsilon + \psi(x)]. \quad (4)$$

Квадратурные составляющие (3) и (4) содержат информацию об огибающей:

$$s_m(x) = a + A(x) = \sqrt{s_s^2(x) + s_c^2(x)}, \quad (5)$$

и о фазе:

$$\varphi(x) = \varepsilon + \psi(x) = \arctg \left[ \frac{s_s(x)}{s_c(x)} \right], \quad (6)$$

В результате линейной обработки данных можно получить оптимальные оценки начальной фазы  $\varepsilon$

(амплитуды  $a$ ) и отклонений фазы  $\psi(x)$  (амплитуды  $A(x)$ ). Составляющие (3) и (4) можно найти с использованием синхронного детектирования исходного сигнала (2) на частоте  $u_0$  при синусоидальном и косинусоидальном дискретных опорных сигналах, как это показано на рис. 2.

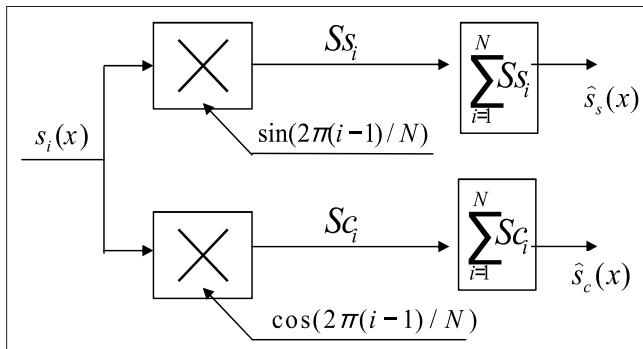


Рис. 2. Блок-схема дискретного синхронного квадратурного детектирования [3].

где  $s_i(x)$  – последовательность данных входного сигнала за период несущей ( $Ndx$ ),  
 $dx$  – период дискретизации сигнала.

При обработке опорные сигналы формируются в  $N$  дискретных точках на периоде изменения фазы  $2\pi$  рад (на тактовом интервале). Тогда, в соответствии с (3, 4) и (6), значения фазы вычисляются по очевидной формуле:

$$\varphi(x) = \arctg \left[ \frac{\sum_{i=1}^N s_i(x) \sin[2\pi(i-1)/N]}{\sum_{i=1}^N s_i(x) \cos[2\pi(i-1)/N]} \right] = \arctg \left[ \frac{\hat{s}_s(x)}{\hat{s}_c(x)} \right], \quad (7)$$

В соответствии с (3, 4) и (5), значение амплитуды (огоняющей) вычисляются по формуле:

$$s_m(x) = \sqrt{\left( \sum_{i=1}^N s_i(x) \sin[2\pi(i-1)/N] \right)^2 + \left( \sum_{i=1}^N s_i(x) \cos[2\pi(i-1)/N] \right)^2}, \quad (8)$$

$$s_m(x) = \sqrt{(\hat{s}_s(x))^2 + (\hat{s}_c(x))^2}$$

Соответственно любой входной сигнал можно представить в виде ряда  $(\hat{s}_s(x), \hat{s}_c(x))$ . При этом принято интегральную характеристику синфазной и квадратурной составляющей на тактовом интервале  $Ndx$  обозначать согласно формулам:

$$\text{Im}(s) = \hat{s}_s(x) = \sum_{i=1}^N s_i(x) \sin[2\pi(i-1)/N], \quad (9)$$

$$\text{Re}(s) = \hat{s}_c(x) = \sum_{i=1}^N s_i(x) \cos[2\pi(i-1)/N]. \quad (10)$$

В соответствии с вышесказанным, значению демодулируемого символа  $\text{SIM}_i(x)$  будет соответствовать пара значений  $(\hat{s}_s(x)_i, \hat{s}_c(x)_i)$  из множества возможных символов для данного вида модуляции  $\{\text{SIM}=(\hat{s}_s(x), \hat{s}_c(x))\}$

На основе теоретической модели вычислительный процесс демодуляции можно свести к выполнению следующих последовательных операций:

а) подготовка исходных данных: задание несущей

частоты, задание вида модуляции (параметров сигнального созвездия: параметры  $n^2$  уровней  $(\hat{s}_s, \hat{s}_c)$ , для  $n$ -позиционной модуляции или  $n^2$  волновых функций  $(\hat{s}_s(x), \hat{s}_c(x))$ , для модуляций с непрерывной фазой), задание величины символического интервала (или частоты следования бит).

б) чтение из памяти отсчетов сигнала и формирование опорных синусоидального и косинусоидального сигнала на промежуточной частоте;

с) формирование потоков синфазной и квадратурной составляющей из сигнала ПЧ;

д) оценка ближайшего из  $n^2$  уровней (или волновых функций, для модуляций с непрерывной фазой) по методу наименьших квадратов, к которому принадлежит уровень каждой из составляющих символического интервала;

е) составление из полученных символов, информационной последовательности.

Процесс вычисления функционирует в бесконечном цикле б)-е) (до окончания приема сигнала).

### Решение задачи определения параметров телеметрического сигнала

Другой, не менее важной, задачей обработки ПТМС является задача определения параметров телеметрического сигнала:

- несущей частоты,
- вида модуляции,
- величины символического интервала (или частоты следования бит)

Для определения несущей частоты необходимо:

1) провести спектральный анализ сигнала (формула 11) [4] на  $M_{0,1}$  дискретных участках длительностью 0,1 с (точность временной привязки ТМИ IRIG для проведения последующей обработки с учетом погрешности регистрации сигнала от подвижного объекта).

$$X(n, M) = \sum_{k=0}^{N_g-1} S(MN_g + k) \exp \left[ -j \frac{2\pi nk}{N_g} \right], \quad (11)$$

$$n = \overline{1(1)N_g}, M = \overline{1(1)M_{0,1}},$$

где  $X(n, M)$  - коэффициенты ряда Фурье для  $M$  исследуемого участка сигнала  $S(x)$ ;

$N_g$  – количество исследуемых гармоник сигнала (отсчетов в промежутке длительностью 0,1 с).

2) вычислить максимальные коэффициенты ряда Фурье для каждого дискретного участка  $M$  и определить для него частоту по формулам:

$$F_{\text{несущей}}(M) = \frac{n_{\max(X(n,m))}}{N_g T}, \quad M = \overline{1(1)M_{0,1}}, \quad (12)$$

или

$$N(M) = \frac{N_g}{n_{\max(X(n,M))}}, \quad M = \overline{1(1)M_{0,1}}, \quad (13)$$

где  $T$  – период дискретизации сигнала, с;

$n_{\max(X(n,M))}$  - номер гармоники, для которой коэффициент ряда Фурье принимает максимальное значение,

$N(M)$  – количество отчетов формируемых с частотой дискретизации  $1/T$  за период несущей частоты на участке  $M$  сигнала  $S(x)$ .

Для определения остальных параметров необходимо провести квадратурное детектирование с использованием *mod* количества методик демодуляций известных сигналов. Критерием правильности подбора (выбора) метода демодуляции является получение *l* участков на которых автокорреляционная функция от полученной последовательности информационных символов  $SIM(x)$

постоянна. При этом минимальное значение длительности таких участков должно быть наибольшим (по сравнению с другими методами) и, по крайней мере, в три раза больше значения  $1/F_{несущей}(M)$  (минимальное требование помехоустойчивости сигнала).

Блок-схема определения параметров демодуляции приведена на рис. 3.

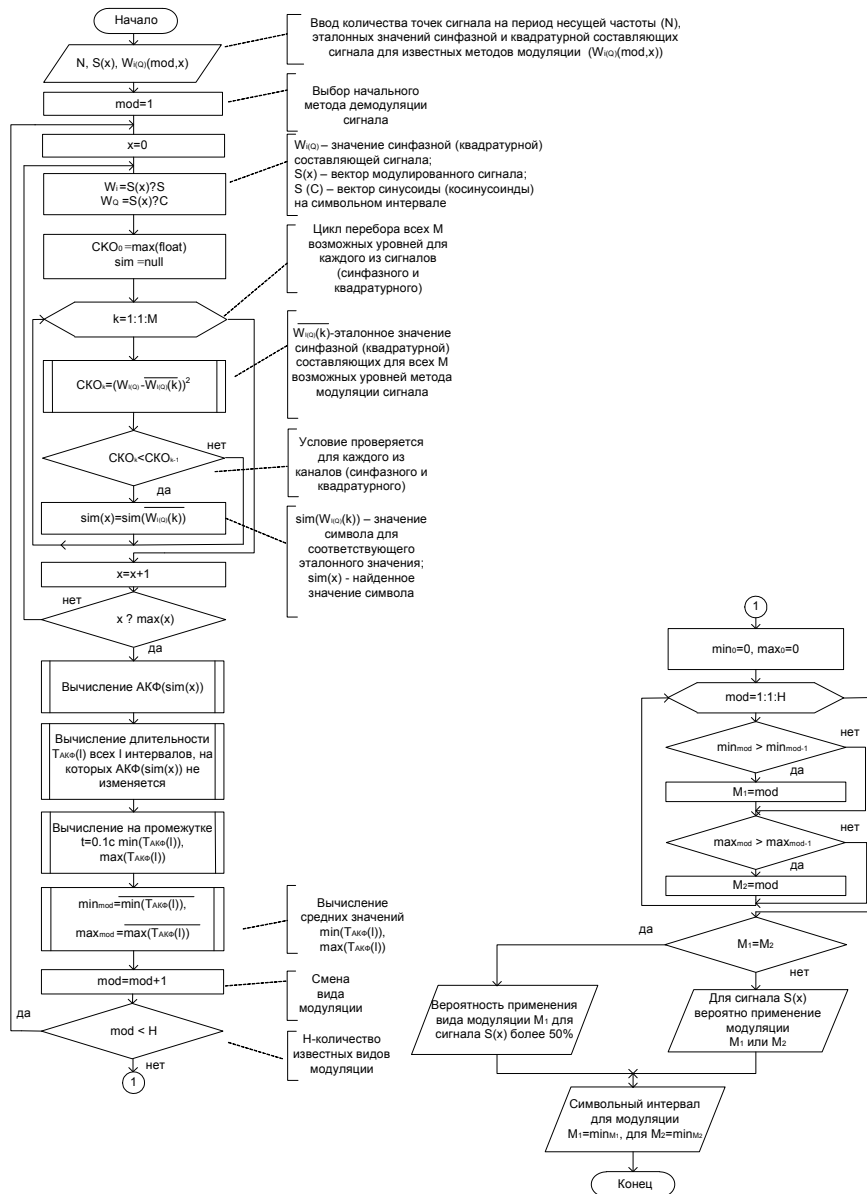


Рис. 3. Блок-схема определения основных параметров демодуляции сигнала.

## Заключение

Приведенный способ обработки преддетекторных телеметрических сигналов позволяет проводить сквозную обработку и анализ ТМИ стандарта IRIG без наличия каких либо априорных исходных данных о параметрах сигнала и структуре ТМИ.

## Литература

1. Прокис Дж. Цифровая связь, М, Радио и связь, 2000, 797 с.
2. Рихтер С.Г.. Цифровое радиовещание. М. «Горячая линия - Телеком», 2004. с. 89
3. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Издание второе., М., Вильямс,

2003, с196-231,

4. Сергиенко А.Б.. Цифровая обработка сигналов. Издание второе, М., Питер, 2006, с 296-297;
5. Кукушкин С.С., Потапов М.В. Оценка характеристик циклической информации. /Проектирование ЭВМ. Межвузовский сборник научных трудов. Рязань, 1994. 112 с.
6. Standart IRIG 106-86. 1991 (<http://www.spiraltechinc.com/otis/download.html>).
7. Standart IRIG 106-00. 2000 (<http://www.spiraltechinc.com/otis/download.html>).
8. Сайт компании «Sypris Data Systems Inc» (<http://www.sypris.com>).