

# ИНФОРМАТИКА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

---

УДК 681.053

Ю.К. Исаев, Д.А. Кляпнев

## АЛГОРИТМ СБОЕЗАЩИТЫ ПРИ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКЕ ИНФОРМАЦИИ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ

ОАО АНПП «ТЕМП-АВИА»

Представлены решения задач по снижению ошибок, вызванных искажением кода измеряемого параметра при передаче по каналам связи и оптимизации загрузки каналов связи датчиков первичной информации с внешним вычислителем бесплатформенной инерциальной навигационной системы.

*Ключевые слова:* инерциальная навигация, датчик угловой скорости, акселерометр, цифровой канал связи, снижение ошибок.

Известен алгоритм обработки информации измерительных устройств [1], заключающийся в аналого-цифровом преобразовании (АЦП) выходного параметра измерительного устройства, чтении результата преобразования и размещении цифрового кода измеренного параметра для последующего чтения внешним обрабатывающим устройством.

Недостатком данного алгоритма является слабая защита цифрового кода измеренного параметра. В соответствии с известным способом по каналу связи с обрабатывающим устройством передается измеряемая величина. Искажение кода при передаче или приеме кода может приводить к ошибкам в работе обрабатывающего устройства. Если измерительным устройством является акселерометр или датчик угловой скорости, а обрабатывающим устройством является вычислитель бесплатформенной инерциальной навигационной системы (БИНС), то прием цифрового кода или прием ложной информации приведет к возрастающей ошибке навигационной информации БИНС.

Для исключения ошибок передачи цифрового кода параметра по линии связи в данном алгоритме может быть использована защита данных посредством корректирующего кода [2]. Однако этот алгоритм требует передачи более длинного кода и выполнения соответствующего количества проверок. Кроме того, проблема остается нерешенной при приеме кода, поэтому на практике защита с использованием корректирующего кода в системах реального времени не используется.

Задачей, на решение которой направлена представляемая работа, является снижение ошибок, вызванных искажением кода измеряемого параметра при передаче по каналу связи, и оптимизация загрузки канала связи с внешним вычислителем БИНС. Поставленная задача решается за счет того, что в способе обработки информации инерциального датчика БИНС дополнительно, до размещения цифрового кода в область чтения вычислителем БИНС, производят суммирование цифровых кодов. Текущий цифровой код суммы ограничивают до необходимой разрядности и полученный код размещают в область чтения внешним вычислителем БИНС.

Суммирование кодов измеряемого параметра до его размещения в область чтения обрабатывающим устройством позволяет минимизировать ошибки, вызванные искажением информации при передаче по каналу связи. Ограничение кода суммы до необходимой разрядности позволяет оптимизировать загрузку канала связи, а, следовательно, минимизировать запаздывание от момента готовности кода до его размещения в вычислителе БИНС. Минимизация ошибки происходит за счет того, что ошибки БИНС, обусловленные искажением информации при передаче по каналу связи, устраняются без запаздывания.

Инерциальный датчик своим выходом соединен с входом АЦП, выход которого подключен к входу промежуточного вычислительного устройства, в состав которого входит область чтения внешним вычислителем БИНС, которая связана с внешним вычислителем БИНС. В качестве аналого-цифрового преобразователя использован сигма-дельта АЦП [3], а в качестве промежуточного вычислительного устройства – микроконтроллер. Обобщенная схема устройства приведена на рис. 1.



Рис. 1. Обобщенная схема устройства

Алгоритм обработки информации реализуют следующим образом. Инерциальный датчик формирует на выходе напряжение, пропорциональное величине измеряемого параметра (линейного ускорения или угловой скорости). Выход инерциального датчика соединен с входом АЦП, который преобразует входное напряжение в цифровой код. Выход АЦП соединен с входом промежуточного вычислительного устройства, которое читает текущий цифровой код на выходе АЦП. Промежуточное вычислительное устройство суммирует принятый от АЦП цифровой код с текущей накопленной суммой кодов данного АЦП, затем копирует текущий код суммы в промежуточную ячейку памяти, преобразует его в код заданной разрядности и размещает полученный результат в область чтения внешним вычислителем БИНС. Внешний вычислитель БИНС читает код результата из области чтения промежуточного вычислительного устройства.

Предлагаемое техническое решение, а именно, защита кода измеренного параметра суммированием и оптимизация длины кода, может быть реализовано в составе АЦП или инерциальном датчике с цифровым выходом.

Современные АЦП (например, сигма-дельта АЦП [3]) обладают хорошими точностными характеристиками. Погрешности, вносимые АЦП, по уровню соизмеримы с погрешностями, обусловленными передачей измерений АЦП по каналу связи с вычислителем БИНС. Канал связи может исказить код передаваемого параметра или не обеспечить его передачу. В первом случае обрабатывающее устройство получит неверный параметр, во втором случае параметр не будет передан в обрабатывающее устройство. Вычислитель БИНС в случае непереданности параметра или при идентификации передачи ложного параметра использует в своих вычислениях предыдущее достоверное значение параметра. Основная идея предлагаемого метода состоит в том, чтобы по каналу связи передавать коды параметров минимальной длины, содержащие в себе средства защиты от ошибок канала связи.

В правильно построенном канале связи вероятность двойной или более кратной ошибки пренебрежимо мала. Для исправления одинарной ошибки может быть использован приведенный далее алгоритм коррекции, размещаемый в вычислителе БИНС.

Пусть

$$\Delta_i = s_i - s_{i-1},$$

где  $s_i$  – переданная по каналу связи сумма измеренного параметра на  $i$ -м шаге;  $s_{i-1}$  – переданная по каналу связи сумма измеренного параметра на  $i-1$ -м шаге;  $\Delta_i$  – значение измеренного параметра на  $i$ -м шаге

Если  $s_i$  не получено или установлено, что передано ложное значение  $s_i$ , то в вычислителе БИНС принимают  $\Delta_i = \Delta_{i-1}$ . Таким образом, в качестве текущего измерения принимают его значение на предыдущем шаге.

При однократном сбое в канале связи можно минимизировать ошибку вычислителя БИНС, выполнив следующие операции.

Найдем величину

$$\Delta_{i=s_{i+1}-s_{i-1}} \text{ и } \Delta_{i+1} = \Delta_i^2 - \Delta_{i-1},$$

где  $\Delta_i^2$  – разность между достоверными значениями, принятой вычислителем БИНС суммы.

Величину  $\Delta_{i+1}$  используем при расчетах в качестве измеренного параметра на шаге  $i+1$ .

Аналогичным образом строится защита от кратных ошибок передачи параметра по каналу связи с внешним вычислителем БИНС.

Точность расчета навигационной информации БИНС зависит от точности измерения ускорений и угловых скоростей и точности представления (разрядности) измеренных параметров.

Оценка разрядности представления может быть получена по формуле

$$N = \log_2 \left( \frac{D}{\delta} \right) + 1,$$

где  $D$  – диапазон измерения;  $\delta$  – цена младшего разряда (величина квантования по уровню).

Пусть:

- для акселерометра диапазон измерения  $D = 100 \text{ м/с}^2$ , точность представления  $\delta = 10^{-3} \text{ м/с}^2$ ;
- для датчика угловой скорости (ДУС) диапазон измерения  $D = 200^\circ/\text{с}$ , точность представления  $\delta = 0.1^\circ/\text{ч}$ .

Тогда разрядность кода акселерометра должна быть не менее разрядов

$$N = \log_2 \left( \frac{100}{10^{-3}} \right) + 1 = 18 \text{ [разрядов]},$$

разрядность кода ДУС должна быть не менее разрядов

$$N = \log_2 \left( \frac{200 * 3600}{0.1} \right) + 1 = 24 \text{ [разряда]}.$$

При интегральном съеме разрядность представления параметра кроме диапазона измерения и точности представления определяется также частотой съема информации. Расчетная формула оценки разрядности для интегрального съема

$$N = \log_2 \left( \frac{D}{f * \delta} \right) + 1,$$

где  $f$  – частота съема измерений.

При 100 Гц частоте съема разрядность акселерометров с  $\delta = 10^{-2} \text{ м/с}$  составит 8 разрядов, разрядность ДУС с  $\delta = 10''$  составит 11 разрядов.

При организации защиты от сбоев в канале связи предлагаемым способом необходимо иметь в коде суммы один дополнительный разряд для защиты от одиночных сбоев и два дополнительных разряда для защиты от трех последовательных сбоев.

Предлагаемый алгоритм обеспечивает защиту от ошибок передачи измеренного параметра по каналу связи. При этом устранение такой ошибки происходит с минимальным запаз-

дыванием. Определен алгоритм выбора разрядности кода, размещаемого в область чтения, в соответствии с которым может быть рассчитана оптимальная длина кода для передачи по каналу связи с внешним вычислителем БИНС. Таким образом, поставленная техническая задача решена, что подтверждено патентом автора [4].

#### Библиографический список

1. **Агеев, В.М.** Приборные комплексы летательных аппаратов и их проектирование / В.М. Агеев, Н.В. Павлова. – М.: Машиностроение, 1990. – 196.
2. **Агеев, В.М.** Приборные комплексы летательных аппаратов и их проектирование / В.М. Агеев, Н.В. Павлова. – М.: Машиностроение, 1990. – 183 с.
3. **Бондаренко, А.А.** Высокоточный цифровой преобразователь аналоговых сигналов // Аэрокосмическая техника и высокие технологии – 2002: сб. ст. / Пермский государственный университет. Пермь. 2002. С. 47.
4. Патент РФ № 2341820. Способ ввода информации инерциального датчика бесплатформенной инерциальной навигационной системы / Исаев Ю.К., Ульянов В.П., Халеев К.И. опублик. 20.12.2008, Бюл. № 1/

*Дата поступления  
в редакцию 30.03.2010*

**Yu.K. Isaev, D.A. Klyapnev**

#### **FAULT-TOLERANT ALGORITHM FOR DIGITAL PROCESSING OF INERTIAL SENSORS DATA**

The problem to which solution this study is intended is to reduce errors caused by the measured parameter code garbling while passing through the communication channel and to optimize loading of the channel for communication with the strapdown inertial navigation system external computer.

*Key words:* inertial navigation, rate sensor, accelerometer, digital communication channel, errors reduce.