

УДК 621.398:681.51

## СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ СОБЫТИЙ В СИСТЕМАХ ТЕЛЕМЕХАНИКИ

Артюшенков С.Н.<sup>1</sup>, Баин А.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Общество с ограниченной ответственностью "АРСИС", Москва, Россия (124460, Москва, г. Зеленоград, 2-й Западный проезд, д.1, стр.1, офис 107), e-mail: tdutybq1971@mail.ru

<sup>2</sup>Национальный исследовательский университет "МИЭТ", Москва, Россия (124498, Москва, Зеленоград, проезд 4806, дом 5), e-mail: evgen\_uis@mail.ru

**В статье рассматривается один из возможных путей решения задачи регистрации «событий» в системе телемеханики при передаче информации по каналу связи устройства связи с объектом и центральным пунктом управления. Предложенный способ не зависит от структуры соединений контролируемого пункта с центральным пунктом управления и не требует синхронизации времени устройства связи с объектом и центральным пунктом управления. Способ основан на формировании элементами трассы доставки информации от датчика контролируемого пункта в персональную ЭВМ центрального пункта управления относительной метки времени, сформированной по определенным правилам и учитывающей задержку, вносимую каждым элементом. Кроме того, разработанный подход к определению реального времени фиксации дискретных «событий» позволяет обеспечивать максимальную погрешность определения времени события, не превышающую 4 мс.**

Ключевые слова: система телемеханики, дискретность, скорость передачи данных, событие, метки времени, канал связи, погрешность измерения.

## EVENT REGISTRATION ACCURACY INCREASING METHOD FOR REMOTE CONTROL SYSTEMS

Artyushenkov S.N.<sup>1</sup>, Bain A.M.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Limited Liability Company "ARSIS", Moscow, Russia (124498, Moscow, Zelenograd, 2nd Zapadny proezd, 1, building 1, office 107), e-mail:tdutybq1971@mail.ru

<sup>2</sup>National Research University of Electronic Technology, Moscow, Russia (124498, Moscow, Zelenograd, travel 4806, 5), e-mail: evgen\_uis@mail.ru

**The article describes one of the possible ways of solving the problem of events registration in the remote control system by information transmitting over object communication device's channels with a central control point. The proposed method does not depend on the structure of compounds controlled point with central control and does not require time synchronization of the device with the object and a the central control point. The method is based on the formation of trace elements delivering information from sensor-controlled item in the central control point's computer of a relative timestamps generated by certain rules and considering the delay introduced by each element. Moreover, this approach to the definition of real-time discrete events fixation, provides maximum error in determining the time of the event, not to exceed 4 ms.**

Keywords: remote control system, resolution, bit rate, remote event, timestamp, communication channel, measurement error.

Одним из важных критериев оценки качества систем телемеханики (СТМ) является точность фиксации последовательности дискретных сигналов - изменений состояния датчиков дискретных сигналов (далее «событий»). Правильно зафиксированная последовательность «событий» позволяет идентифицировать и разделить причины и следствия возникновения аварийных ситуаций [5-7]. В соответствии с рекомендациями ЦДУ ЕЭС России для оперативно-информационного контура (ОИК) погрешность определения реального времени «событий» и их последовательности не должна превышать 5 мс. Эти условия должны распространяться не только на «события», произошедшие на одном объекте контроля, но и на разных объектах при возможном существенном различии скорости

передачи информации. Важно также, чтобы указанная предельная погрешность определения реального времени «событий» не была превышена для любых структур соединения устройств связи с объектом (УСО) с центральным пунктом управления (ЦПУ) – радиальных, магистральных, цепочечных.

Обычно для достижения высокой точности регистрации времени «событий» используется либо синхронизация системного времени УСО по сигналам, поступающим от ЦПУ, либо от таймера. Первый способ применим при использовании высокоскоростных (порядка 256 Кбит/с) каналов связи, что делает его реализацию практически нереальной в большинстве систем телемеханики, особенно, если в структуре СТМ присутствуют транзитные (цепочечные) или магистральные каналы связи. В связи со сложностью практически нереализуем и второй способ установки в УСО точного системного времени.

Очевидно, что разработка способа привязки «событий» к системному времени для широко используемых низкоскоростных (100...600 бит/с) каналов связи и произвольных структур связи между ЦПУ и УСО, весьма актуальна.

Предлагаемый способ основан на формировании элементами трассы доставки информации от датчика контролируемого пункта (КП) в ПЭВМ ЦПУ относительной метки времени, сформированной по определенным правилам и учитывающей задержку, вносимую каждым элементом. Полученная комбинация меткок времени используется в ОИК для восстановления реального времени «событий».

Проведем анализ предложенного способа с учетом компонент трассы передачи информации от датчиков дискретных сигналов ( $ДС_1 \dots ДС_j$ ) – источников «событий», до приемника – ПЭВМ обрабатывающего центра ЦПУ.

Рассмотрим отдельные составляющие погрешности фиксации времени «событий».

1. Дребезг контактов датчика – нерегулируемое время задержки от «события» до сигнала датчика ( $t_{др}$ ) и задержка, вносимая фильтром ( $t_{ф}$ ), установленным между датчиком ДС и модулем ввода сигналов от датчиков ДС, должны быть учтены в виде постоянных составляющих (или минимизированы схмотехническими методами).
2. Дискретность регистрации событий определяется: установленным периодом опроса всех датчиков, подключенных к модулю ввода информации; используемым методом повышения достоверности полученной от датчиков информации [1,3,8,9].

Особенностью используемого метода является совмещение узла ввода данных и кодера, в котором применен специально разработанный биимпульсный условно корреляционный код [2,4].

Указанные выше методы требуют проведения дополнительных этапов опроса и диагностики, т.е. снижают реакцию модуля на изменение состояния датчиков. Поэтому целесообразно проанализировать динамические характеристики устройства.

Рассмотрим максимальное время реакции ( $t_p$ ) устройства ввода дискретных событий (УВДС), равное:

$$t_p = t_{\text{опрос}} + t_{\text{тест}}, \quad (1)$$

где  $t_{\text{опрос}}$  – время, затрачиваемое на опрос состояния датчиков и диагностику исправности цепей связи с ними;  $t_{\text{тест}}$  – время тестирования узлов выбора датчиков.

$$t_{\text{опрос}} = n_{\text{цикл}} n_{\text{дс}} t_3, \quad (2)$$

где  $n_{\text{дс}}$  – число контролируемых датчиков;  $t_3$  – длительность одного этапа,  $n_{\text{цикл}}$  – количество циклов опроса состояния датчиков.

В свою очередь

$$t_3 = \sum_{i=1}^4 \beta_i \cdot t_{\text{такт}}, \quad (3)$$

где  $\beta_i$  – число операций для реализации ввода, обработки, коррекции базы данных и подготовки к очередному этапу;  $t_{\text{такт}}$  – длительность одного машинного такта, т.е. времени проведения одной операции.

Учитывая, что при проведении тестовых проверок проводятся только операции ввода и обработки тестовых последовательностей из восьми сигналов (по четыре для каждой из тестовых проверок), получим:

$$t_{\text{тест}} = 8 n_{\text{дс}} \sum_{i=1}^2 \beta_i \cdot t_{\text{такт}}. \quad (4)$$

Тогда с учетом выражений (1) – (4) получим

$$t_p = n_{\text{цикл}} n_{\text{дс}} t_{\text{такт}} \sum_{i=1}^4 \beta_i + 8 n_{\text{дс}} \sum_{i=1}^2 \beta_i \cdot t_{\text{такт}} = n_{\text{дс}} t_{\text{такт}} \left( n_{\text{цикл}} \sum_{i=1}^4 \beta_i + 8 \sum_{i=1}^2 \beta_i \right). \quad (5)$$

Принимая во внимание, что для обнаружения изменения состояния датчиков применяется сравнение данных двух смежных циклов, каждый из которых включает один этап контроля состояния датчика и один из двух режимов диагностики, т.е.  $n_{\text{цикл}} = 4$ , получим

$$t_p = 4 n_{\text{дс}} t_{\text{такт}} \left( \sum_{i=1}^4 \beta_i + 2 \sum_{i=1}^2 \beta_i \right). \quad (6)$$

Встроенная в устройство ввода дискретных сигналов микроЭВМ характеризуется следующими параметрами:  $t_{\text{такт}} = 10^{-7}$  с,  $\beta_i = 10^2$ . Тогда с учетом возможности одновременного опроса 128 датчиков получаем время реакции на изменение состояния датчиков, равное  $t_p =$

0,04 с, что существенно ниже оговоренного в нормативных документах. Погрешность регистрации событий составляет  $\delta t_p = 2$  мс.

3. Погрешность фиксации реального времени по относительным меткам времени зависит от величины расхождения реальной и паспортной частот импульсов кварцевого резонатора. Тогда при времени фиксации последовательности дискретных событий  $t_{фк}$ , ее погрешность  $\delta t_{фк}$  составит

$$\delta t_{фк} = z t_{фк}. \quad (7)$$

Для используемых стандартных резонаторов расхождение равно  $z = \pm 5$  ppm (т.е. максимально 10 частей на миллион) и при времени фиксации последовательности дискретных событий  $t_{фк} = 10$  с, указанная погрешность составит  $\delta t_{фк} = 0,05$  мс.

4. Время от момента завершения ввода информации от датчиков ДС до момента вывода информации из устройства и ее ввода в линейный адаптер для передачи в ЦПУ или другой УСО – ретранслятор фиксируется специально введенным в устройство счетчиком – таймером. Погрешность из-за ненормированного ожидания ввода зафиксированной в устройство информации в линейный адаптер УСО определяется дискретностью фиксации этого времени в счетчике – таймере модуля. Как правило, в микро ЭВМ модуля используется один и тот же счетчик для формирования периодов опроса датчиков (дискретности ввода информации от датчиков ДС) и времени ожидания начала вывода данных в линейный адаптер. Таким образом,  $\delta T_{\text{начало ввода в ЛА}} = \pm 0,35$  мс. Время ожидания  $T_{\text{начало ввода в ЛА}}$  учитывается в ЦПУ при расчете системного времени «событий» по относительным меткам.

5. Время ввода данных в линейный адаптер ( $T_{\text{ввод в ЛА}}$ ) определяется частотой тактовых импульсов, используемых для информационных обменов между модулями одного устройства по внутреннему интерфейсу ( $f_{\text{ввода}}$ ), и длиной передаваемого сообщения ( $m$ ). При  $f_{\text{ввода}} = 2 \cdot 10^5$  Гц и  $m < 100$  время ввода данных не превышает 2 мс. С учетом п.3 погрешностью из-за расхождения реальной и паспортной частот резонатора при указанном времени ввода можно пренебречь. Для исключения влияния указанной составляющей на точность фиксации времени «события» достаточно полученное время  $T_{\text{ввода в ЛА}} = 2$  мс учесть в виде постоянной составляющей при расчете реального времени.

6. Время от момента завершения ввода информации от датчиков ДС в линейный адаптер до момента начала передачи в ЦПУ или другой КП – ретранслятор фиксируется специально введенным в микро ЭВМ линейного адаптера счетчиком – таймером. Погрешность определения задержки начала передачи данных, занесенных в линейный адаптер КП, в линию связи ( $\delta T_{\text{начало передачи в ЛС}}$ ) определяется дискретностью ввода данных в счетчик – таймер. Время задержки определялось от момента завершения ввода данных до момента начала передачи в линию связи. С учетом п.4  $\delta T_{\text{начало передачи в ЛС}} = \pm 0,35$  мс.

7. Время передачи данных в канал связи ( $T_{\text{передачи в ПУ}}$ ) определяется частотой тактовых импульсов передающего генератора (т.е. скоростью передачи данных) и числом бит в сообщении. С учетом протокола передачи данных HDLC время передачи оказывается равным:

$$T_{\text{передачи в ПУ}} = \sum_1^6 n_i + 6m,$$

где  $n_i$  – длина (в байтах) составляющих (компонентов) рабочего цикла при передаче данных,

$n_1 = 2$ , двухбайтный маркер начала передачи – «открывающий флаг»,

$n_2 = 1$ , однобайтный код адреса источника информации,

$n_3 = 1$ , однобайтный код текущего режим работы,

$n_4 = 10...34$ , информационное поле, содержащее данные, отображающие последовательность «событий» и соответствующие «событиям» текущие состояния датчиков дискретных сигналов,

$n_5 = 2$ , двухбайтное поле защиты, контрольная последовательность для циклического кода, соответствующего  $n_2 + n_3 + n_4$ , при образующем полиноме  $2^{15} + 2^{12} + 2^5 + 1$ ,

$n_6 = 1$ , однобайтный закрывающий флаг,

$m$  – число модулей – ретрансляторов информации на трассе от источника до приемника,

$b$  – дополнительная длина (в байтах) сообщения, привносимая каждым ретранслятором.

Второе слагаемое учитывает возможность построения цепочечных (транзитных) каналов связи. Естественно, что при прямых радиальных или магистральных каналах связи второе слагаемое формулы равно нулю.

С учетом п.3 погрешность  $\delta T_{\text{передачи в ПУ}}$  является частью общей погрешности из-за расхождения паспортной и реальной частот задающего кварцевого резонатора.  $T_{\text{передачи в ПУ}}$  вводится в формулу расчета реального времени.

Недостаток указанного способа расчета реального времени «событий» с учетом времени передачи сообщений по каналам связи – необходимость учета реальной скорости передачи по всем каналам связи, входящим в трассу доставки данных в ПЭВМ ЦПУ. Большой гибкостью обладает метод формирования линейным адаптером передатчика и ретранслятора дополнительного сообщения, включающего модифицированный адрес устройства – передатчика или ретранслятора, двухбайтную метку, равную в миллисекундах отрезку времени от начала до завершения передачи информационного сообщения в линию связи.

При использовании второго метода формирования метки времени погрешность «привязки события» из-за указанного фактора  $\delta T_{\text{передачи в ПУ}} = \pm 0,35$  мсек (с учетом того, что для формирования метки времени в дополнительном сообщении используется тот же счетчик, что и для формирования метки времени основного сообщения).

8. Погрешность определения времени ожидания вывода данных из «последнего» линейного адаптера-ретранслятора, в линейный адаптер, сопряженный с ПЭВМ ПУ ( $\delta T_{\text{задержки начала вывода из ЛА ретр}}$ ), определяется дискретностью фиксации этого времени в счетчике – таймере модуля. Как отмечалось ранее, погрешность определения времени «события» от указанного фактора не превышает  $\pm 0,35$  мс.

В связи с невозможностью однозначного определения суммарной задержки ввода данных в ПЭВМ ЦПУ из-за девиации в достаточно широких пределах поступления из регистров СОМ порта ПЭВМ смежных байтов информационного сообщения, в указанный линейный адаптер – передатчик данных в СОМ порт ПЭВМ ЦПУ вводится дополнительный счетчик относительного времени. В счетчик непрерывно вводятся тактовые импульсы с периодом 1 мсек. Любое информационное сообщение, передаваемое в СОМ порт, сопровождается дополнительной меткой времени – кодом текущего состояния счетчика. При обработке данных учитывается разность между текущими состояниями счетчика для двух смежных сообщений. В результате влияние девиации времени трансляции сообщения от СОМ порта до рабочей программы исключается, точнее, погрешность фиксации реального времени «событий» из-за возможных девиаций времени задержки при передаче по СОМ порту уменьшается до величины

$$\delta T_{\text{ввода в ЛА сопряж. с ПЭВМ}} + \delta T_{\text{задержки вывода из ЛА сопряж с ПЭВМ}} < \pm 0,5 \text{ мс.}$$

9. Реальное время «события» определяется по формуле

$$T_{\text{реальное время}} = T_{\text{системное время ПЭВМ}} - (T_{\text{дребезг}} + T_{\text{фильтр}} + T_{\text{регистр.}} + T_{\text{время фиксации}} + T_{\text{начало ввода в ЛА}} + T_{\text{ввод в ЛА}} + T_{\text{начало передачи в ЛС}} + T_{\text{передачи в ПУ}} + T_{\text{задержки начала вывода из ЛА ретр}} + T_{\text{ввода в ЛА сопряж. с ПЭВМ}} + T_{\text{задержки вывода из ЛА сопряж с ПЭВМ}})$$

10. Максимальная погрешность ( $\delta_{\text{макс}} T_{\text{реальное время}}$ ) определения последовательности «событий», зафиксированных в разных КП, равна

$$\begin{aligned} \delta_{\text{макс}} T_{\text{реальное время}} &= \delta T_{\text{регистр.}} + \delta T_{\text{начало ввода в ЛА}} + \delta T_{\text{начало передачи в ЛС}} + \\ &\delta T_{\text{задержки начала вывода из ЛА ретр}} + \delta T_{\text{задержки вывода из ЛА сопряж с ПЭВМ}} + \delta T_{\text{реальное время}} = \\ &6 \cdot (2 \cdot 0,35) + 1 = 4,2 + 1 = 5,2 \text{ мс.} \end{aligned}$$

Средняя (наиболее вероятная) погрешность  $\delta_{\text{среднее}} T_{\text{реальное время}} = \pm 2,6$  мс, причем погрешность определения времени последовательности «событий», зафиксированных на одном КП, не превышает 0,7 мсек.

### Выводы

1. Показано, что в системах телемеханики, использующих низкоскоростные каналы связи произвольной структуры, без синхронизации системного времени КП по отношению к ЦПУ можно добиться «привязки событий» – изменений состояния датчиков дискретных сигналов, к системному времени ОИК ЦПУ с погрешностью, меньшей 10 мс.

2. Проведены практические испытания корректности предложенного способа, для двух КП, передающих информационные сообщения в ЦПУ со скоростями 100 и 300 бит/сек, соответственно. Испытания показали, что усредненная по 200 экспериментам погрешность фиксации в ПЭВМ ЦПУ времени и последовательности «событий» при изменении состояния ДС одновременно на обоих КП меньше  $\pm 3,5$  мс при девиации от 1,5 до 5,5 мс.

### Список литературы

1. Баин А.М. Новые теоретические подходы к созданию многофункциональных систем управления в энергетике повышенной достоверности // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 3 (часть 4). – С.701-705.
2. Баин А.М., Дубовой Н.Д., Портнов Е.М., Чумаченко П.Ю. Способ повышения достоверности телесигнализации в системах управления энергообеспечением объектов различного назначения // *Оборонная техника*. – 2012. – № 4–5. – С.40-41.
3. Баин А.М., Портнов Е.М. Методика синтеза многофункциональных систем управления энергообеспечением. XXXVIII Международная конференция «Информационные технологии в науке, социологии, экономике и бизнесе» // *Труды конференции, Украина, Крым, Ялта-Гурзуф, 2012*. – С.154-157.
4. Баин А.М., Портнов Е.М., Касимов Р.А. Интегральная достоверность как обобщающий критерий качества информационно-управляющих систем в теплоэнергетике // *Естественные и технические науки*. – 2011. – № 4. – С.424-425.
5. Портнов Е.М., Слюсарь В.В. Энергосберегающие комплексы повышенной достоверности // *Оборонная техника*. – 2012. – № 4–5. – С.12-16.
6. Портнов Е.М. Интегрированный информационно-вычислительный комплекс с кластерной архитектурой для АСУ сложных производств // *Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России: Межотр. науч.-техн. журнал*. – М.: ФГУП «ВИМИ», 2002. – № 3. – С.41-44.
7. Портнов Е.М. К вопросу создания интегрированных информационно-управляющих систем в энергетике // *Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России*. – 2011. – № 4. – С. 77-80.
8. Портнов Е.М., Баин А.М., Чумаченко П.Ю., Касимов Р.А. Модель информационных потоков многофункциональной системы управления энергообеспечением // *Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России*. – 2012. – № 3. – С. 17-22.

9. Портнов Е.М., Каунг Сан. Разработка способа повышения эффективности информационных обменов по магистральным каналам связи // Интернет журнал «Наукоедение». – 2013. – Вып.6. – <http://naukovedenie.ru/PDF/29TVN613.pdf>

**Рецензенты:**

Портнов Е.М., д.т.н., профессор кафедры «Информатика и программное обеспечение вычислительных систем» Национального исследовательского университета «МИЭТ», г. Москва.

Гагарина Л.Г., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Информатика и программное обеспечение вычислительных систем» Национального исследовательского университета «МИЭТ», г. Москва.