

26. *Medvedev M.Yu.* Algoritmy adaptivnogo upravleniya ispolnitel'nymi privodami [Adaptive control algorithms for Executive drives], *Mekhatronika, avtomatizatsiya i upravlenie* [Mechatronics, Automation, Control], 2006, No. 6, pp. 17-22.
27. *Bessekerskiy V.A., Popov E.P.* Teoriya sistem avtomaticheskogo upravleniya [Theory of automatic control systems]. St. Petersburg, 2003, 752 p.
28. *Aleksandrov A.G.* Optimal'nye i adaptivnye sistemy: Ucheb. posobie dlya vuzov po spets. «Avtomatika i upr. v tekhn. sistemakh» [Optimal and adaptive systems: textbook for high schools on a speciality "Automatics and management in technical systems"]. Moscow: Vyssh. shk, 1989, 263 p.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор А.В. Павленко.

Пшихопов Вячеслав Хасанович – Южный федеральный университет; e-mail: pshichop@rambler.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел./факс: 88634371694; кафедра электротехники и мехатроники; зав. кафедрой; д.т.н.; профессор.

Медведев Михаил Юрьевич – e-mail: medvmihal@gmail.com; кафедра электротехники и мехатроники; д.т.н.; профессор.

Шевченко Виктор Александрович – e-mail: droogg@mail.ru; тел.: +79054550532; кафедра электротехники и мехатроники; аспирант.

Pshikhopov Vyacheslav Khasanovich – Southern Federal University; e-mail: pshichop@rambler.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone/fax: +78634371694; the department of electrical engineering and mechatronics; head the department; dr. of eng. sc.; professor.

Medvedev Mikhail Yur'evich – e-mail: medvmihal@gmail.com; the department of electrical engineering and mechatronics; dr. of eng. sc.; professor.

Shevchenko Viktor Alexandrovich – e-mail: droogg@mail.ru; phone: +79054550532; the department of electrical engineering and mechatronics; postgraduate student.

УДК 621.82

Л.К. Самойлов

СТРУКТУРНЫЙ ПОДХОД К ВЫБОРУ ЧАСТОТЫ ДИСКРЕТИЗАЦИИ СИГНАЛОВ ДАТЧИКОВ И ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Предлагается структурный подход к выбору значения частоты дискретизации сигналов датчиков и исполнительных устройств системы управления, когда сигнал каждого i -го датчика (из n возможных) принимает участие в выработке управляющего сигнала для j -го исполнительного устройств (из s возможных) с учетом коэффициента влияния; в основе структурного подхода лежит использование двух частот дискретизации по каждому из $S \cdot n$ каналов системы (f_{Δ}^{jin} – частота дискретизации с точки зрения погрешности наложения спектров (γ_{H}^{ij}) и f_{Δ}^{jgs} – частота дискретизации с точки зрения методической погрешности восстановления ($\gamma_{вос}^{ijM}$)); каждая из $2 \cdot n \cdot s$ частот дискретизации определяется на основе решения прямой задачи распределения погрешностей для каждого из $S \cdot n$ каналов относительно погрешностей γ_{H}^{ij} и $\gamma_{вос}^{ijM}$; итоговая частота дискретизации по каждому из $S \cdot n$ каналов определяется как максимальная из пары (f_{Δ}^{jgs} ; f_{Δ}^{jgs}), а также может быть оптимизирована ($f_{\Delta}^{jgs} = f_{\Delta}^{jgs}$) в результате итерационного процесса перераспределения погрешностей γ_{H}^{ij}

и $\gamma_{\text{вос}}^{ijM}$ между собой при постоянстве их суммы; частота дискретизации i -го датчика ($f_{\text{д}}^i$) определяется как максимальная частота дискретизации этого датчика по всем каналам управления, в которых этот датчик принимает участие; при вводе сигналов датчиков в модуль реализации алгоритма управления необходимо выполнение условия кратности частоты дискретизации i -го датчика частоте дискретизации датчика с минимальной частотой, а также равенства интервалов опроса i -го датчика в цикле программы опроса n датчиков, что иногда требует увеличения суммарной частоты дискретизации n датчиков на 60-80%; сигналы на входе модуля реализации алгоритма управления должны поступать с одинаковой частотой и в один и тот же момент времени, что требует в общем случае постановки устройства промежуточного восстановления сигналов датчиков.

Частота дискретизации; система управления; погрешность наложения спектров; методическая погрешность восстановления.

L.K. Samoilov

THE STRUCTURAL APPROACH TO A CHOICE OF FREQUENCY OF DIGITIZATION OF SIGNALS OF GAUGES AND ACTUATION MECHANISMS IN CONTROL SYSTEMS

In article the structural approach to a choice of value of frequency of digitization of signals of gauges and control system actuation mechanisms is offered, when the signal of each i -th gauge (from n possible) takes part in development of an operating signal for j -th executive devices (from s possible) taking into account influence factor; At the heart of the structural approach use of two frequencies of digitization on each of $s \cdot n$ system channels ($f_{\text{д}}^{jin}$ - frequency of digitization from the point of view of an error of imposing of spectra (γ_H^{ij}) and $f_{\text{д}}^{ije}$ - frequency of digitization from the point of view of a methodical error of restoration ($\gamma_{\text{вос}}^{ijM}$)) lays; Each of $2 \cdot n \cdot s$ frequencies of digitization is defined on the basis of the decision of a direct problem of distribution of errors $s \cdot n$ channels concerning errors γ_H^{ij} and $\gamma_{\text{вос}}^{ijM}$; total frequency of digitization on each of $s \cdot n$ channels is defined as maximum of pair ($f_{\text{д}}^{ije}$; $f_{\text{д}}^{ije}$), and also can be optimised ($f_{\text{д}}^{ije} = f_{\text{д}}^{ije}$) as a result of iterative process of redistribution of errors γ_H^{ij} and $\gamma_{\text{вос}}^{ijM}$ among themselves at a constancy of their sum; Frequency of digitization of i -th gauge ($f_{\text{д}}^i$) is defined as the maximum frequency of digitization of this gauge on all control paths in which this gauge takes part; At input of signals of gauges in the module of realisation of algorithm of management performance of a condition of frequency rate of frequency of digitization of i -th gauge is necessary for frequency of digitization of the gauge with the minimum frequency, and also equalities of intervals of interrogation of i -th gauge in a cycle of the program of interrogation n gauges, that sometimes demands increase in total frequency of digitization n gauges on 60–80 %; Signals on an input of the module of realisation of algorithm of management should arrive with identical frequency and during the same moment of time that demands generally statement of the device of intermediate restoration of signals of gauges.

Frequency of digitization; a control system; an error of imposing of spectra; a methodical error of restoration.

Введение. В системе управления один датчик может принимать участие в выработке управляющего воздействия для нескольких исполнительных устройств, а сигнал, подаваемый на исполнительное устройство, может зависеть от сигналов нескольких датчиков. Это не позволяет использовать традиционные способы распределения требуемых частот временной дискретизации [3, 6, 7, 9, 13, 14].

Программы ввода – вывода сигналов в системе управления через интерфейсную шину также накладывают свои условия на частоты дискретизации.

Другими словами, частоты дискретизации аналоговых сигналов датчиков и исполнительных устройств в системах управления должны выбираться с учетом структуры системы.

В статье предлагается методика решения этой комплексной задачи.

Постановка задачи. Структурная схема системы управления на основе цифровой интерфейсной шины [1–4] приведена на рис. 1.

В состав системы управления входит:

- ◆ объект управления;
- ◆ блок ввода данных;
- ◆ блок вывода данных;
- ◆ блок управления;
- ◆ интерфейсная шина.

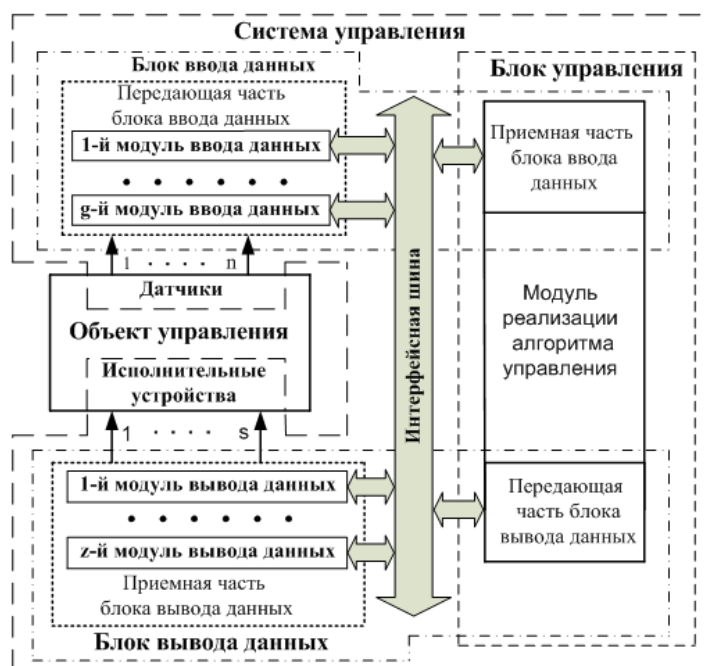


Рис. 1. Структурная схема системы управления на основе цифровой интерфейсной шины

Объект управления имеет n датчиков и s исполнительных устройств. Сигнал каждого i -го датчика ($1 \leq i \leq n$) вводится в систему управления с помощью передающей части блока ввода данных, которая состоит из g модулей ввода данных.

В свою очередь, сигналы для каждого j -го исполнительного устройства ($1 \leq j \leq s$) выводятся с помощью приемной части блока вывода данных, которая состоит из z модулей вывода данных.

Блок управления состоит из модуля реализации алгоритма управления, приемной части блока ввода данных и передающей части блока выдачи данных.

В цепочке датчик – исполнительное устройство происходят временная дискретизация аналогового сигнала датчика и восстановление цифрового сигнала в аналоговый сигнал.

В одноканальной структуре на основании оценки этих процессов происходит выбор частоты дискретизации [3, 6, 7, 9, 13, 14].

Но в системе управления рис.1 такая оценка должна проводиться с учетом структуры системы.

Целью данной статьи является рассмотрение предлагаемого алгоритма нахождения итоговой частоты дискретизации сигналов n датчиков, которые входят в процесс выработки сигнала управления для s исполнительных устройств.

Как показано в работах [5, 10, 11], оптимальная частота временной дискретизации в системе управления может быть выбрана в результате решения прямой задачи распределения погрешностей:

$$(\gamma_{об}^{ij})^2 = (K_{вл}^{ij} \cdot \gamma_H^j)^2 + (\gamma_{вос}^{ijM})^2 = (\gamma_{об}^{ij})^2 - \left\{ (K_{вл}^{ij} \cdot \gamma_{сд}^{ij})^2 + (\gamma_{св}^{ij})^2 + (\gamma_{снв}^{ij})^2 \right\} \quad (1)$$

В этой формуле: i – номер датчика, $i=1,2, \dots, n$, n – число датчиков; j – номер исполнительного устройства, $j=1, 2, \dots, s$, s – число исполнительных устройств; $\gamma_{об}^{ij}$ – среднеквадратическая погрешность в цепочке блоков и устройств системы управления, которая в явном виде определяет величину частоты дискретизации; $\gamma_{об}^{ij}$ – суммарное значение среднеквадратической погрешности ij -го канала управления; $\gamma_{сд}^{ij}$ – среднеквадратическая погрешность цепочки блоков и устройств системы управления для ввода сигнала i -го датчика для управления j -м исполнительным устройством (от i -го датчика до системы управления); γ_H^j – погрешность наложения спектров, которая возникает при дискретизации сигнала i -го датчика в процессе получения сигнала управления для j -го исполнительного устройства; $\gamma_{снв}^{ij}$ – среднеквадратическая погрешность цепочки блоков и устройств системы управления для вывода сигнала для j -го исполнительного устройства под воздействием i -го датчика (от системы управления до j -го исполнительного устройства); $\gamma_{вос}^{ijM}$ – методическая погрешность восстановления сигнала управления для j -го исполнительного устройства при формировании сигнала управления от i -го датчика; $\gamma_{св}^j$ – среднеквадратическая погрешность реализации алгоритма управления для j -го исполнительного устройства.

Введенный в формулу (1) коэффициент $K_{вл}^{ij}$ учитывает степень влияния канала i -го датчика на j -й канал управления. Всегда $K_{вл}^{ij} \leq 1$.

Если i -й датчик не участвует в формировании управляющего сигнала для j -го исполнительного устройства, то соответствующий коэффициент $K_{вл}^{ij} = 0$.

Величину коэффициента $K_{вл}^{ij}$ устанавливают в соответствии с алгоритмом управления по каждому каналу.

В каждой из $n \cdot s$ цепочки погрешностей системы (1), определяющей прямую задачу распределения погрешностей, имеются погрешности, в явном виде определяющие величину частоты дискретизации.

Это погрешность наложения спектров γ_H^j и методическая погрешность восстановления $\gamma_{вос}^{ijM}$ [5, 10, 12–14].

Погрешность γ_H^{ij} определяет величину частоты временной дискретизации сигнала i -го датчика с точки зрения погрешности наложения спектров (f_δ^{ijn}).

Погрешность $\gamma_{\text{вос}}^{ijM}$ определяет частоту временной дискретизации сигнала управления для j -го исполнительного устройства (f_δ^{ije}) с точки зрения методической погрешности восстановления.

Тогда в соответствие с (1) в системе управления рис. 1 в предельном случае будет $2 \cdot n \cdot s$ частот дискретизации.

Из них с точки зрения погрешностей наложения спектров будет $n \cdot s$ частот дискретизации (f_δ^{ijn}):

$$f_\delta^{ijn} = F_n(\gamma_H^{ij}); \quad (2)$$

С точки зрения методических погрешностей восстановления также будет $n \cdot s$ частот дискретизации (f_δ^{ije}):

$$f_\delta^{ije} = F_m(\gamma_{\text{вос}}^{ijM}). \quad (3)$$

Но эти частоты необходимо рассматривать парами:

$$\{f_\delta^{ijn}; f_\delta^{ije}\} \quad (4)$$

Далее можно использовать один из двух алгоритмов [3], [6], [7], [5], [10], [11]. В соответствии с первым алгоритмом [3], [6], [7] из пары (4) выбирается максимальная частота ($f_\delta^{ij, \text{макс}}$):

$$f_\delta^{ij, \text{макс}} = \{f_\delta^{ijn}; f_\delta^{ije}\}_{\text{макс}}. \quad (5)$$

В соответствие со вторым итерационным алгоритмом [5], [10], [11] производится перераспределение погрешностей γ_H^{ij} и $\gamma_{\text{вос}}^{ijM}$ между собой до тех пор, пока не будет равенство частот

$$f_\delta^{ijn} = f_\delta^{ije}. \quad (6)$$

Каждый i -й датчик будет иметь в предельном случае S частот дискретизации.

Из этих S частот дискретизации выбирается максимальная частота. Эта частота и будет частотой дискретизации i -го датчика.

Каждое j -е исполнительное устройство будет иметь в предельном случае n частот дискретизации.

Среди этих частот выбирается максимальная частота. Эта частота и будет частотой выдачи информации на j -е исполнительное устройство.

На рис. 2 показана работа предлагаемого алгоритма определения частот дискретизации для произвольной системы управления.

Система управления с набором датчиков и исполнительных устройств, приведенным на рис. 2, определяется набором уравнений:

$$\begin{aligned} F_{\text{ИУ}}^1 &= \{F_{\text{Д}}^{11}, F_{\text{Д}}^{12}, F_{\text{Д}}^{13}\}; \\ F_{\text{ИУ}}^2 &= \{F_{\text{Д}}^{23}, F_{\text{Д}}^{2n}\}; \\ &\dots \\ F_{\text{ИУ}}^s &= \{F_{\text{Д}}^{s2}, F_{\text{Д}}^{s3}, F_{\text{Д}}^{sn}\}. \end{aligned} \quad (7)$$

В соответствие с (7) система управления вырабатывает s управляющих воздействий ($F_{\text{ИУ}}^j$).

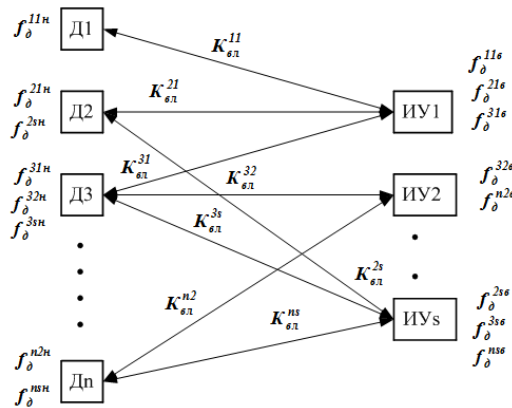


Рис. 2. Работа предлагаемого алгоритма определения частот дискретизации для произвольной системы управления

Эти воздействия получаются в результате реализации с функций управления типа:

$$\{F_D^{11}, F_D^{12}, \dots, F_D^{ij}, \dots, F_D^{sn}\}. \quad (8)$$

Аргументами функций управления (8) являются сигналы n датчиков.

Содержательная часть функции управления определяется используемым алгоритмом управления.

Анализируя каждую функцию управления можно установить величину коэффициента влияния $K_{вл}^{ij}$.

Каждая связь i -го датчика с j -м исполнительным устройством имеет свою задачу распределения погрешностей.

В результате решения этой задачи распределения погрешностей могут быть получены две частоты дискретизации: f_{δ}^{ijn} и f_{δ}^{ije} .

Эти частоты дискретизации получаются по методикам, рассмотренным в [3, 5–7, 10, 11].

Число частот дискретизации, которое будет иметь каждый i -й датчик, равно числу исполнительных устройств, которые используют его сигнал.

Число частот дискретизации, которое будет иметь каждое j -е исполнительное устройство, равно числу датчиков, сигналы которых участвуют в формировании управляющего воздействия.

Итоговые частоты дискретизации сигналов i -го датчика или j -го исполнительного устройства (f_{δ}^{in} и f_{δ}^{je}) будут равны максимальным частотам дискретизации из всех частот, которые получены для i -го датчика или j -го исполнительного устройства.

Для варианта, изображенного на рис. 2, эти частоты приведены в (9) и (10):

$$\begin{aligned} f_{\delta}^{1n} &= \{ f_{\delta}^{11n} \} ; \\ f_{\delta}^{2n} &= \{ f_{\delta}^{21n}, f_{\delta}^{2sn} \}_{max} ; \\ f_{\delta}^{3n} &= \{ f_{\delta}^{31n}, f_{\delta}^{32n}, f_{\delta}^{3sn} \}_{max} ; \\ &\dots \\ f_{\delta}^{nn} &= \{ f_{\delta}^{n2n}, f_{\delta}^{nsn} \}_{max} . \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned}
 f_{\delta}^{1e} &= \{ f_{\delta}^{11e}, f_{\delta}^{21e}, f_{\delta}^{31e} \}_{max}; \\
 f_{\delta}^{2e} &= \{ f_{\delta}^{32e}, f_{\delta}^{n2e} \}_{max}; \\
 &\cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\
 f_{\delta}^{se} &= \{ f_{\delta}^{2se}, f_{\delta}^{3se}, f_{\delta}^{nse} \}_{max}.
 \end{aligned} \tag{10}$$

Как показано в работах [15–18], требуемая частота дискретизации канала цифрового интерфейса ввода–вывода для ввода сигналов п датчиков и вывода сигналов для s исполнительных устройств (f_{Σ}) определяется суммой частот работы модулей ввода (f_{Σ}^{δ}) и вывода (f_{Σ}^{uy}) данных:

$$f_{\Sigma} = f_{\Sigma}^{uy} + f_{\Sigma}^{\delta}.$$

Для рассматриваемого случая, в соответствие с (9) и (10), можно записать:

$$f_{\Sigma}^{\delta} = \sum_{i=1}^n f_{\delta}^{in}; \tag{11}$$

$$f_{\Sigma}^{uy} = \sum_{j=1}^s f_{\delta}^{je}. \tag{12}$$

Как показано в [15], на практике полученные значения частот подвергаются корректировке:

$$(f_{\Sigma}^{\delta})_{кор} = K_1^{\delta} K_2^{\delta} f_{\Sigma}^{\delta}. \tag{13}$$

$$(f_{\Sigma}^{uy})_{кор} = K_1^{uy} K_2^{uy} f_{\Sigma}^{uy} \tag{14}$$

Коэффициенты K_1^{δ} и K_2^{δ} в (13), а также K_1^{uy} и K_2^{uy} в (14) больше единицы.

Коэффициенты K_1^{δ} и K_1^{uy} определяются процедурой приведения количества команд ввода – вывода в цикле к целым числам [15, 18].

Коэффициенты K_2^{δ} и K_2^{uy} определяются необходимостью равномерного размещения команд ввода – вывода внутри цикла [15, 18].

Корректировка связана с тем, что отношение $\frac{f_{\delta}^{in}}{(f_{\delta}^{in})_{min}}$ должно быть целым чис-

лом и делитель суммы (11) $\frac{f_{\Sigma}^{\delta}}{f_{\delta}^{in}}$ для каждого i также должен быть целым числом.

Аналогично, $\frac{f_{\delta}^{je}}{(f_{\delta}^{je})_{min}}$ должно быть целым числом и делитель

суммы (12) $\frac{f_{\Sigma}^{uy}}{f_{\delta}^{je}}$ для каждого j также должен быть целым числом.

Как показано в [15–18], учет коэффициентов $K_1^{\delta}, K_2^{\delta}$ и K_1^{uy}, K_2^{uy} может привести в отдельных случаях к увеличению частоты дискретизации на 60–80 %.

Для нормальной работы системы управления цифровые отсчеты всех п датчиков на входе модуля реализации алгоритма управления должны быть с одинаковой частотой дискретизации.

Кроме этого, эти отсчеты должны быть взяты в один и тот же момент времени (в один и тот же такт).

Другими словами, цифровые сигналы n датчиков на входе модуля реализации алгоритма управления должны быть синхронны (иметь одинаковую частоту дискретизации f_{δ}^n) и синфазны (иметь одно и то же время взятия отсчета).

Не трудно видеть, что общей для всех датчиков частотой будет частота датчика, имеющего максимальное значение частоты из (6.41):

$$f_{\delta}^n = \left\{ f_{\delta}^{1n}, f_{\delta}^{2n}, \dots, f_{\delta}^{nn} \right\}_{max}; \quad (15)$$

Условие (6.47) можно выполнить двумя способами.

В первом варианте всем n датчикам назначается одинаковая частота дискретизации f_{δ}^n (15).

Во втором варианте каждый датчик имеет свою частоту дискретизации (9) с учетом корректирующих коэффициентов $K_1^{\delta}, K_2^{\delta}$.

Но во втором варианте перед подачей цифровых отсчетов в модуль реализации алгоритма управления происходит передискретизация цифровых сигналов датчиков с использованием операции промежуточного восстановления цифрового сигнала [19, 20].

Во втором варианте цифровой сигнал датчика с максимальной частотой дискретизации f_{δ}^n подается на вход модуля реализации алгоритма управления без изменения.

Цифровые сигналы остальных датчиков на входе модуля реализации алгоритма управления подвергаются операции передискретизации с назначением новой частоты f_{δ}^n .

Передискретизация производится путем восстановления недостающих отсчетов с использованием процедуры экстраполяции или интерполяции.

В результате на входе модуля реализации алгоритма управления частота дискретизации каждого датчика становится равной f_{δ}^n .

Оба этих варианта имеют достоинства и недостатки.

В первом варианте достоинством является простота выполнения условия равенства частот.

Недостатком первого варианта является высокая требуемая частота работы цифрового интерфейса ввода-вывода, которая в некоторых вариантах может в десятки и сотни раз превосходить первоначальную суммарную частоту дискретизации всех датчиков (11).

Во втором варианте достоинством является оптимальная частота работы цифрового интерфейса ввода – вывода.

Недостатком второго варианта является необходимость реализации операций цифрового восстановления сигналов датчиков (экстраполяция или интерполяция) для передискретизации, что дает дополнительную задержку сигнала и увеличивает погрешность процедуры ввода сигнала.

Но в одном частном случае этот недостаток второго варианта может быть исключен.

Если в системе управления для восстановления сигналов исполнительных устройств используются полиномы нулевого порядка, то при промежуточном восстановлении сигналов с целью передискретизации на входе модуля реализации алгоритма управления также целесообразно использовать экстраполяцию нулевого порядка.

Реализация операции экстраполяции нулевого порядка практически не требует дополнительных программных или аппаратных затрат.

Таким образом, можно утверждать, что блок ввода информации, у которого применен второй вариант выбора частоты дискретизации с использованием экстраполяции нулевого порядка для промежуточного восстановления цифровых сигналов датчиков на входе модуля реализации алгоритма управления, является наиболее оптимальным.

Выводы. Предложен способ описания процессов в системе управления с учетом особенностей структуры, что позволяет находить оптимальные значения частот дискретизации сигналов датчиков и исполнительных устройств.

Система управления, в структуру которой входят n датчиков и s исполнительных устройств, может иметь в предельном случае $s \cdot n$ каналов управления.

В основе структурного подхода к определению частоты дискретизации сигналов системы управления лежит использование двух частот дискретизации, которые можно установить по каждому из $s \cdot n$ каналов системы (f_{δ}^{jin} – частота дискретизации с точки зрения погрешности наложения спектров (γ_H^{ij}) и f_{δ}^{ije} – частота дискретизации с точки зрения методической погрешности восстановления ($\gamma_{вос}^{ijM}$));

Частоты f_{δ}^{jin} и f_{δ}^{ije} определяются в результате решения прямой задачи рас-пределения погрешностей относительно погрешности дискретизации – восстановления в пределе для каждого из $n \cdot s$ каналов управления.

Предельное число частот дискретизации системы управления равно $2 \cdot n \cdot s$

Предельное число этих частот дискретизации можно сократить до значения $n \cdot s$ путем выбора в каждом канале управления или максимальной из двух частот или оптимальной частоты ($f_{\delta}^{jin} = f_{\delta}^{ije}$), которую можно получить в результате применения итерационного алгоритма перераспределения погрешностей наложения спектров и методической погрешности восстановления в каждом канале.

Число частот дискретизации каждого датчика равно числу исполнительных устройств, в выработке сигналов управления которых принимает участие сигнал данного датчика согласно структуры системы управления.

Частота дискретизации сигнала датчика определяется максимальной из этих частот.

При вводе данных происходит увеличение частоты дискретизации сигнала датчика за счет процедуры приведения числа опросов к целому числу и обеспечения равенства интервалов опроса.

На входе модуля реализации алгоритма управления все датчики должны иметь одну и ту же частоту дискретизации. Это условие можно выполнить двумя способами:

- ◆ путем задания всем датчикам максимальную частоту дискретизации, что может в сотни и тысячи раз увеличить требуемую частоту работы интерфейса ввода – вывода;
- ◆ путем промежуточного восстановления информации на входе модуля реализации алгоритма управления.

Если при восстановлении информации в системе управления используется экстраполяция нулевого порядка, то это существенно упрощает реализацию системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Парк Дж. Маккей С. Сбор данных в системах контроля и управления. Практическое руководство. – М.: ООО «Группа ИТД», 2006. – 504 с.

2. *Денисенко В.В.* Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. – М.: Горячая линия-Телеком, 2009. – 608 с.
3. *Цапенко М.П.* Измерительные информационные системы: Структуры и алгоритмы, системотехническое проектирование: Учеб. пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
4. *Редькин П.П.* Прецизионные системы сбора данных семейства MSC12xx фирмы Texas Instruments: архитектура, программирование, разработка приложений. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2006. – 608 с.
5. *Самойлов Л.К.* Итерационные алгоритмы выбора частоты дискретизации аналоговых сигналов в цифровых системах управления и контроля // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 2 (127). – С. 43-53.
6. *Баранов Л.А.* Квантование по уровню и временная дискретизация в цифровых системах управления. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 304 с.
7. *Макс Ж.* Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях: В 2-х т. Т. 1. – М.: Мир. 1983. – 312 с.
8. *Тревис Дж.* LabVIEW для всех. – М.: ДМК Пресс: Прибор комплект, 2005. – 544 с.
9. *Цикин И.А.* Дискретно-аналоговая обработка сигналов. – М.: Радио и связь, 1982. – 160 с.
10. *Самойлов Л.К., Палазиенко А.А., Сарычев В.В., Ткаченко Г.И.* Дискретизация сигналов по времени (практика, алгоритмы). Монография. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000. – 81 с.
11. *Самойлов Л.К., Жуков А.В.* Выбор частоты дискретизации реальных сигналов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2009. – № 1. – С. 31-36.
12. *Самойлов Л.К.* Динамические погрешности аналоговых мультиплексоров // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 2 (115). – С. 118-122.
13. *Maheshwari R., Bharadia M., Gupta M.* Multirate DSP and its technique to reduce the cost of the analog signal conditional filters // International Journal of Computer Applications. – August 2010. – Vol. 4, № 10. – P. 27-34.
14. *Crochiere R.E., Rabiner L.R.* Interpolation and Decimation of digital signals. A Tutorial Review // Proceedings of the IEEE. – March 1981. – Vol. 69, № 3. – P. 300-332.
15. *Самойлов Л.К.* Алгоритмы работы аналоговых интерфейсов цифровых систем управления и контроля // Известия Высших учебных заведений. Северо-кавказский регион. Технические науки. – 2012 – № 5 (168). – С. 66-72.
16. *Сарычев В.В., Ткаченко М.Г., Ткаченко Г.И.* Реализация программного опроса первичных преобразователей в информационно-измерительных системах // Известия ТТИ ЮФУ-Дон НТУ: Материалы IX Международного научно-практического семинара «Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы». – Таганрог. Изд-во ТТИ ЮФУ. Кн. 1. – 2008. – № 8. – С. 186-193.
17. *Сарычев В.В., Ткаченко М.Г., Ткаченко Г.И.* Программный опрос в медицинских информационно-измерительных системах // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2008. – № 5 (82). – С. 108-112.
18. *Самойлов Л.К.* Выбор тактирующей частоты аналоговых интерфейсов цифровых систем управления // Труды конференции «Актуальные проблемы современности: человек, общество, техника» (АПС_12). – Таганрог, 2012. Ч. 3. – С. 47-54.
19. *Самойлов Л.К.* Промежуточное восстановление сигналов датчиков в системах управления // Авиакосмическое приборостроение. – 2013. – № 5. – С. 3-15.
20. *Самойлов Л.К., Чернов А.М.* Аналитическое представление восстанавливающего оператора при интерполяции по Лагранжу // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 2 (91). – С. 233-236.

REFERENCES

1. *Park Dzh. Makkey S.* Sbor dannykh v sistemakh kontrolya i upravleniya. Prakticheskoe rukovodstvo [The data collection systems of control and management. A practical guide]. Moscow: ООО «Группа ITD», 2006, 504 p.
2. *Denisenko V.V.* Komp'yuternoe upravlenie tekhnologicheskim protsessom, eksperimentom, oborudovaniem [Computer process control, experiment, equipment]. Moscow: Goryachaya liniya-Telekom, 2009, 608 p.
3. *Tsapenko M.P.* Izmeritel'nye informatsionnye sistemy: Struktury i algoritmy, sistemotekhnicheskoe proektirovanie: Ucheb. posobie dlya vuzov [Measuring information systems: Structures and algorithms, engineering design: a textbook for high schools]. Moscow: Energoatomizdat, 1985.

4. *Red'kin P.P.* Pretsizionnye sistemy sbora dannykh semeystva MSC12xx firmy Texas Instruments: arkhitektura, programmirovaniye, razrabotka prilozheniy [Precision data collection system MSC12xx family of Texas Instruments: architecture, programming, application development]. Moscow: Izdatel'skiy dom «Dodeka-KhKhI», 2006, 608 p.
5. *Samoylov L.K.* Iteratsionnye algoritmy vybora chastoty diskretizatsii analogovykh signalov v tsifrovyykh sistemakh upravleniya i kontrolya [The iterative algorithms of a determination of analogue signals sampling frequency in the control and the supervising systems], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2012, No. 2 (127), pp. 43-53.
6. *Baranov L.A.* Kvantovanie po urovnyu i vremennaya diskretizatsiya v tsifrovyykh sistemakh upravleniya [The quantization level and the temporal discretization in digital control systems]. Moscow: Energoatomizdat, 1990, 304 p.
7. *Maks Zh.* Metody i tekhnika obrabotki signalov pri fizicheskikh izmereniyakh [Methods and techniques of signal processing by physical measurements]: V 2-kh tomakh. Vol. 1. Moscow: Mir, 1983, 312 p.
8. *Trevis Dzh.* LabVIEW dlya vseh [LabVIEW for everyone]. Moscow: DMK Press: Pribor komplekt, 2005, 544 p.
9. *Tsikin I.A.* Diskretno-analogovaya obrabotka signalov [Discrete analog signal processing]. Moscow: Radio i svyaz', 1982, 160 p.
10. *Samoylov L.K., Palazienko A.A., Sarychev V.V., Tkachenko G.I.* Diskretizatsiya signalov po vremeni (praktika, algoritmy) [Sampling of signals in time (practice, algorithms)]. Monografiya. Taganrog: Izd-vo TRTU, 2000, 81 p.
11. *Samoylov L.K., Zhukov A.V.* Vybory chastoty diskretizatsii real'nykh signalov [The choice of sampling rate real signals], *Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika* [Instruments and Systems: Monitoring, Control, and Diagnostics], 2009, No. 1, pp. 31-36.
12. *Samoylov L.K.* Dinamicheskie pogreshnosti analogovykh mul'tipleksorov [Dynamic errors of analogue multiplexers], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2011, No. 2 (115), pp. 118-122.
13. *Maheshwari R., Bharadia M., Gupta M.* Multirate DSP and its technique to reduce the cost of the analog signal conditional filters, *International Journal of Computer Applications*, August 2010, Vol. 4, No. 10, pp. 27-34.
14. *Crochiere R.E., Rabiner L.R.* Interpolation and Decimation of digital signals. A Tutorial Review, *Proceedings of the IEEE*, March 1981, Vol. 69, No. 3, pp. 300-332.
15. *Samoylov L.K.* Algoritmy raboty analogovykh interfeysov tsifrovyykh sistem upravleniya i kontrolya [Algorithms analogue interfaces of digital systems management and control], *Izvestiya Vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-kavkazskiy region. Tekhnicheskie nauki* [University news. North-caucasian region. Technical sciences series], 2012, No. 5 (168), pp. 66-72.
16. *Sarychev V.V., Tkachenko M.G., Tkachenko G.I.* Realizatsiya programmogo oprosa pervichnykh preobrazovateley v informatsionno-izmeritel'nykh sistemakh [Implementation of a survey of primary transducers in information-measuring systems], *Izvestiya TTI YuFU-Don NTU: Materialy IX Mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo seminar «Praktika i perspektivy razvitiya partnerstva v sfere vysshey shkoly»* [Proceedings of the TSURE-Dong NTU: Materials of IX International scientific-practical seminar "Practice and prospects of development of partnership in the sphere of higher education"]. Taganrog. Izd-vo TTI YuFU. Kn. 1, 2008, No. 8, pp. 186-193.
17. *Sarychev V.V., Tkachenko M.G., Tkachenko G.I.* Programmnyy opros v meditsinskikh informatsionno-izmeritel'nykh sistemakh [The program inquire of commutators in medic information-measurement systems], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2008, No. 5 (82), pp. 108-112.
18. *Samoylov L.K.* Vybory taktiruyushchey chastoty analogovykh interfeysov tsifrovyykh sistem upravleniya [Selection of a clock frequency analogue interfaces of digital control systems], *Trudy konferentsii «Aktual'nye problemy sovremennosti: chelovek, obshchestvo, tekhnika» (APS_12)* [Proceedings of the conference "Actual problems of the present: people, society, technology" (APS)]. Taganrog, 2012, Part 3, pp. 47-54.
19. *Samoylov L.K.* Promezhutochnoe vosstanovlenie signalov datchikov v sistemakh upravleniya [Intermediate recovery of signals of sensors in control systems], *Aviakosmicheskoe priborostroenie* [Aerospace Instrument-Making], 2013, No. 5, pp. 3-15.

20. *Samoylov L.K., Chernov A.M. Analiticheskoe predstavlenie vosstanavlivayushchego opera-tora pri interpolatsii po Lagranzhu [Analytical presentation of the reducing operator interpolation Lagrange], Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2009, No. 2 (91), pp. 233-236.*

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Я.Е. Ромм.

Самойлов Леонтий Константинович – Южный федеральный университет; e-mail: lksamoilov@sfedu.ru; 347928, Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: +78634311193; д.т.н.; профессор.

Samoilov Leonty Konstantinovich – Southern Federal University; e-mail: lksamoilov@sfedu.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +786343111193; dr. of eng. sc.; professor.

УДК 620.9

В.В. Соловьев, И.О. Шаповалов, В.В. Шадрина

ПЛАНИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА С ПРИМЕНЕНИЕМ ДИАГРАММЫ ВОРОНОГО*

Целью работы является решение задачи планирования перемещения подвижного объекта в среде с априорной неопределенностью с применением диаграммы Вороного. Для решения задачи выполнен анализ зарубежных работ в результате которого установлено, что планирование перемещения подвижного объекта в среде с неопределенным расположением препятствий вычислительно затратный процесс. В результате предложен алгоритм картографирования среды на базе информации с локатора, установленного на подвижном объекте, позволяющий решать задачу планирования траектории в реальном времени. Показаны этапы алгоритма кластеризации координат и определения принадлежности к препятствию. Предложен вариант анализа кластеров координат через пересечение многоугольников. Рассмотрена процедура анализа данных сенсора при совпадении информации с данными в базе координат. Рассмотрены базовые режимы движения подвижного объекта в среде: движение между препятствиями, движение слева и справа от препятствий, движение без препятствий. Показан механизм обхода препятствий на базе приращения координат крайних точек принадлежащих одному объекту. Рассмотрено движение между препятствиями по ребру диаграммы Вороного, соответствующего случаю неполной дорожной карты. Проведены модельные эксперименты для некоторых базовых режимов, в случае расположения препятствия рядом с целью и случая равномерного расположения препятствий в среде. Полученные результаты свидетельствуют об эффективности предложенных алгоритмов для решения задачи безопасного перемещения подвижного объекта в среде с препятствиями.

Планирование траектории; диаграмма Вороного; картографирование среды; автономные подвижные объекты.

V.V. Soloviev, I.O. Shapovalov, V.V. Shadrina

PLANNING OF THE PATH MOBILE OBJECT USING THE VORONOI DIAGRAM

The aim of the paper is to solve the problem of a vehicle motion planning in the environment with a priori uncertainty using a Voronoi diagram. For the problem solution, the analysis of some representative papers was carried out and confirmed that the vehicle motion planning in the environment with uncertain location of obstacles is a computationally expensive process. As a result, an algorithm for the environment mapping on the basis of data from the range finder mounted on the vehicle was proposed. This algorithm allows solution the problem of path planning in real time. The steps of the

* Материалы статьи подготовлены в рамках выполнения работ по гранту Российского научного фонда (№ 14-19-01533) в Южном федеральном университете.