

A. V. Zuev, V. I. Ivanchura, A. A. Fedorenko

MODELING UNIVERSAL ASSIGNING BLOCK AUTOMATED MANAGERIAL SYSTEM BY DECARBONIZATION PROCESS

The paper considers function and structure assigning element of the automated system of the process. The experimental dependency required powers of the ventilator in functions parameter decarbonizator; parameter of the process and water-gas system are defined and prototyped.

Keywords: automated control system, decarbonization, corroding aggressiveness.

© Зувев А. В., Иванчура В. И., Федоренко А. А., 2009

УДК 621.7(07)

Е. Н. Гарин

АППАРАТУРНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Определено влияние параметров временной шкалы аппаратуры радионавигации на работу систем слежения за сигналом навигационного космического аппарата. Сформированы оценки радионавигационных параметров сигнала.

Ключевые слова: погрешность, измерения, частота, опорный генератор, навигационный космический аппарат, фаза.

На погрешность измерения псевдодальностей оказывает влияние нестабильность опорного генератора (ОГ). Автором было проведено исследование влияния параметров временной шкалы аппаратуры радионавигации (АРН) на работу систем слежения за сигналом навигационного космического аппарата (НКА) и формирование оценок радионавигационных параметров сигнала.

Шкала времени АРН формируется на основе частоты ОГ [1]. Однако следует отметить, что используемые ОГ не идеальны в силу нестабильности их частоты, что отражается на шкале времени АРН. Различают кратковременную и долговременную нестабильность ОГ. При решении задачи определения относительных координат интерес представляет кратковременная нестабильность частоты, т. е. относительно быстрые изменения частоты сигнала ОГ, происходящие, например, на интервале 1 с. Долговременная нестабильность частоты не оказывает влияния на работу следящих систем, поэтому в данном случае ее можно не учитывать.

Необходимо задать модель поведения частоты и фазы ОГ, на основе которых будет сформирована шкала времени АРН. Ниже будет использована модель нестабильности ОГ, основанная на следующих положениях.

Изменение частоты Δf_k , происходящее на интервалах времени постоянной длительности Δt_k , есть случайная величина с нормальным законом распределения и нулевым средним. При этом предполагается, что значение нестабильности частоты δ на соответствующем интервале времени, определяемое в паспортных данных ОГ (например, $1 \cdot 10^{-11}$ за 1 с), представляет собой предельное (3δ) значение случайного изменения частоты Δf_k за этот интервал.

Если значение нестабильности ОГ на некотором интервале времени Δt равно δ , то это означает, что к моменту завершения каждого очередного интервала времени Δt_k текущее значение частоты ОГ f_k может измениться относительно значения частоты $f(k-1)$, действовавшего на начало интервала Δt_k на случайную величину, предельное значение которой определяется выражением

$$\Delta f_{\max} = \delta \cdot f_k. \quad (1)$$

С учетом того что обеспечиваемые ОГ значения отклонения частоты много меньше номинального значения частоты ОГ, в выражении (1) значение частоты $f(k-1)$ можно заменить на значение номинальной частоты ОГ f_n . Тогда

$$\Delta f_{\max} = \delta \cdot f_n. \quad (2)$$

Рассмотрим два варианта модели изменения частоты на интервале времени Δt_k вследствие ее нестабильности: линейный и скачкообразный.

В случае линейного изменения частота ОГ меняется в течение всего интервала времени Δt_k линейно, начиная с нулевого значения и достигая в конце интервала того значения Δf_k , которое случайным образом выпало на данный интервал [2]. Этот вариант является, вероятно, наиболее близким к реальным процессам, происходящим в ОГ. Описываемое такой моделью изменение частоты будет происходить, если производная частоты скачком изменится в начале интервала Δt_k и останется неизменной на всем его протяжении. В таком случае значение производной частоты может быть определено следующим образом:

$$f_k' = \frac{\Delta f_k}{\Delta t}. \quad (3)$$

В соответствии с этой моделью изменение фазы сигнала ОГ $\Delta\varphi_k$ на интервале Δt_k составит

$$\Delta\varphi_k = 2\pi f_k \frac{\Delta t^2}{2} = 2\pi \frac{\Delta f_k \Delta t}{2}, \quad (4)$$

а предельное значение изменения фазы сигнала ОГ будет

$$\Delta\varphi_{\max} = 2\pi \frac{\Delta f_{\max} \Delta t}{2} = 2\pi \frac{\delta \cdot f_n \Delta t}{2}. \quad (5)$$

В случае скачкообразного изменения частота Δf_k меняется скачком в начале каждого интервала Δt_k сразу на всю величину выпавшего на данный интервал изменения частоты и в течение всего интервала Δt_k остается неизменной. Этот малореальный, но, по-видимому, наилучший вариант может использоваться для получения предельных оценок.

Приращение фазы сигнала ОГ $\Delta\varphi_k$ в этом случае определяется как

$$\Delta\varphi_k = 2\pi \Delta f_k \Delta t, \quad (6)$$

а предельное значение изменения фазы ОГ – как

$$\Delta\varphi_{\max} = 2\pi \delta f_n \Delta t. \quad (7)$$

Сравнивая выражения (6) и (7), нетрудно заметить, что изменение фазы сигнала ОГ при скачкообразном изменении частоты в два раза больше, чем при линейной модели. В связи с этим при дальнейшем анализе можно ограничиться рассмотрением варианта линейного изменения частоты с последующей корректировкой соответствующих выводов для случая скачкообразного изменения частоты.

Влияние кратковременной нестабильности ОГ на работу следящих систем анализировалось на примере фильтра, производящего оценку фазы сигнала (и ее производных) с интервалом дискретизации 1 с, 100 и 10 мс.

Номинальное значение частоты ОГ принималось равным 10 МГц, а значение нестабильности частоты δ на интервале 1 с равным $1 \cdot 10^{-11}$. В соответствии с выражением (7) максимальное смещение фазы выходного сигнала ОГ за 1 с для линейного варианта составило $0,018^\circ$, за 100 мс – $0,0018^\circ$, за 10 мс – $0,00018^\circ$. Эти изменения фазы ОГ эквивалентны смещению временной шкалы АРН соответственно на $5 \cdot 10^{-12}$, $5 \cdot 10^{-13}$ и $5 \cdot 10^{-14}$ с.

В результате умножения частоты ОГ схемами фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) при формировании частот гетеродинных (опорных) сигналов АРН (общий коэффициент умножения ~ 160) изменение фазы на несущей частоте НКА составило $\sim 3^\circ$ за время 1 с, $\sim 3^\circ$ за 100 мс и $\sim 0,03^\circ$ за 10 мс.

Полученные значения изменения фазы сигнала, обусловленные нестабильностью частоты ОГ, для всех анализируемых значений интервала дискретизации фильтра являются допустимыми с точки зрения динамической погрешности оценки фазы. Предельным значением этой погрешности можно считать $\sim 9^\circ$ при апертуре дискриминационной характеристики фазового дискриминатора (ФД) $\pm 90^\circ$.

Сравним полученные значения дополнительных флуктуаций фазы входного сигнала фильтра, обусловленных нестабильностью ОГ, с величиной случайной составляющей погрешности (оценки фазы, обусловленной шумами в составе входного сигнала, называемой шумовой погрешностью). При выбранных значениях интервала дискретизации

фильтра максимальные значения интервала когерентного накопления в фазовом дискриминаторе фильтра составят 1 с, 100 мс и 10 мс. Значения шумовой полосы для этих случаев равны 1, 10 и 100 Гц соответственно.

Разумеется, значения интервала дискретизации и интервала когерентного накопления в ФД не обязательно должны совпадать, например при интервале дискретизации 100 мс можно использовать время накопления 10 мс, однако мы будем рассматривать предельный случай.

При минимальном значении энергетического потенциала, обеспечиваемом в АРН ГЛОНАСС/GPS (~ 35 дБ-Гц), шумовая погрешность оценки фазы σ_φ примет следующие значения: для полосы 1 Гц $\sigma_\varphi \approx 1^\circ$, для полосы 10 Гц $\sigma_\varphi \approx 2,5^\circ$, для полосы 100 Гц $\sigma_\varphi \approx 8^\circ$.

Анализ полученных результатов показывает, что для интервалов 10 и 100 мс дополнительные флуктуации фазы, обусловленные нестабильностью ОГ, малы по сравнению с величиной шумовой погрешности. В то же время для интервала накопления 1 с погрешность, связанная с нестабильностью ОГ, является преобладающей. Отсюда можно сделать вывод, что для работы с длительными (≥ 1 с) интервалами когерентного накопления в ФД необходимо использовать ОГ с лучшими характеристиками кратковременной нестабильности, чем в рассматриваемом нами случае.

Предельное значение кратковременной нестабильности частоты ОГ может быть определено как значение, при котором на интервале дискретизации фильтров, производящих оценку фазы входного сигнала, случайное изменение разности фаз входного и опорного сигналов, обусловленное изменением фазы опорных сигналов (в том числе сигналов гетеродинов), станет таким, что приведет к срыву слежения за фазой. Пороговое значение флуктуаций фазы можно принять равным 9° . При различных интервалах дискретизации различные уровни нестабильности ОГ будут приводить к критическому изменению фазы опорного сигнала.

Так, изменение фазы опорного сигнала на 9° произойдет при изменении фазы ОГ на $\sim 0,06^\circ$. Тогда допустимая нестабильность частоты ОГ для интервала дискретизации 1 с составит $3,3 \cdot 10^{-11}$ ($1,6 \cdot 10^{-11}$), для интервала 100 мс – $3,3 \cdot 10^{-10}$ ($1,6 \cdot 10^{-10}$), для интервала 10 мс – $3,3 \cdot 10^{-9}$ ($1,6 \cdot 10^{-9}$).

Аналогичным образом можно оценить значение нестабильности, которое будет являться не просто допустимым, но вполне приемлемым. В качестве критерия примем значение фазовых шумов гетеродина 1° .

Изменение фазы гетеродина на 1° произойдет при изменении фазы ОГ на $\sim 0,006^\circ$. Исходя из этого, требуемое значение нестабильности частоты ОГ для интервала дискретизации 1 с составит $3,5 \cdot 10^{-12}$, для интервала 100 мс – $3,5 \cdot 10^{-11}$, для интервала 10 мс – $3,5 \cdot 10^{-10}$. Смещение метки шкалы времени АРН при указанных значениях нестабильности не превысит $1,6 \cdot 10^{-12}$ с.

Библиографический список

1. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / под ред. А. И. Перова, В. Н. Харисова. 3-е изд., перераб. М. : Радиотехника, 2005.
2. Белов, В. И. Теория фазовых измерительных систем / В. И. Белов ; под ред. Г. Н. Глазова ; Том. гос. акад. систем упр. и радиоэлектроники. Томск, 1994.

INSTRUMENTAL ERROR OF RELATIVE MEASUREMENTS

The influence of provisional scale parameters of radio navigation equipment for tracking loop after the signal of navigation space craft and radio navigation parameters estimation signal are considered.

Keywords: error, measurements, frequency, reference generator, navigation space craft, phase.

© Гарин Е. Н., 2009

УДК 519.85:519.676

Р. Б. Сергиенко

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОЭВОЛЮЦИОННОГО ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА УСЛОВНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Проведено сравнение эффективности коэволюционного генетического алгоритма и индивидуальных стандартных генетических алгоритмов на тестовых и практических задачах условной оптимизации. Показано, что коэволюционный алгоритм не менее эффективен, чем лучший для решаемой задачи индивидуальный стандартный генетический алгоритм.

Ключевые слова: условная оптимизация, генетический алгоритм, коэволюция, инвестиции, кредитование.

В настоящее время в качестве метода решения сложных задач оптимизации широкое распространение получили эволюционные алгоритмы [1]. Однако все еще не решенной проблемой использования эволюционных алгоритмов является высокая сложность и трудоемкость их настройки на решаемую задачу в связи с большим числом возможных комбинаций параметров алгоритма (селекции, мутации, скрещивания и некоторых других). Эффективность одной и той же настройки на разных задачах и различных настроек на одной и той же задаче может изменяться в очень широком диапазоне. Поэтому выбор настроек наугад является неприемлемым, так как многие комбинации параметров алгоритма оказываются неработоспособными, а тщательная настройка под новую задачу является чрезмерно трудоемкой из-за временных, трудовых и материальных затрат. Использование опыта решения аналогичных задач также не дает повода для оптимизма.

Для разрешения указанной проблемы предлагаются различные подходы, одним из которых является коэволюционный алгоритм [2]. В коэволюционном алгоритме параллельно работают, взаимодействуя при этом между собой, индивидуальные генетические алгоритмы с различными настройками. Конкуренция и кооперация индивидуальных алгоритмов обеспечивает самонастройку эволюционного поиска на решаемую задачу в ходе ее однократного решения и снимает проблему «ручного» выбора наилучшего алгоритма.

Автором статьи был разработан коэволюционный генетический алгоритм (ГА) условной оптимизации [3], который обеспечивает автоматический выбор, помимо основных параметров генетического алгоритма, также и

метода учета ограничений, необходимого для адаптации генетического алгоритма на класс задач условной оптимизации.

В данной статье будет проведено экспериментальное сравнение эффективности коэволюционного алгоритма с индивидуальными генетическими алгоритмами на тестовых и практических задачах условной оптимизации.

В качестве тестовых задач условной оптимизации взяты восемь задач с ограничениями-неравенствами и две задачи с ограничениями-равенствами:

– задача 1:

$$\begin{aligned} I(\bar{x}) &= 3 \cdot (x_1 - 4)^2 + 4 \cdot (x_1 - 4) \times \\ &\times (x_2 - 4) + 3 \cdot (x_2 - 4)^2 = \min, \\ x_1 + x_2 &\leq 0, \\ \bar{x}^* &= (0; 0)^T; \end{aligned}$$

– задача 2:

$$\begin{aligned} I(\bar{x}) &= 8 \cdot (x_1 - 3)^2 + 4 \cdot (x_1 - 3) \times \\ &\times (x_2 - 3) + 4 \cdot (x_2 - 3)^2 = \min, \\ -3 &\leq x_1 \leq 3, \\ -3 &\leq x_2 \leq 3, \\ \bar{x}^* &= (3; 3)^T; \end{aligned}$$

– задача 3:

$$\begin{aligned} I(\bar{x}) &= 3 \cdot (x_1 - 6)^2 + (x_1 - 6) \times \\ &\times (x_2 - 6) + 3 \cdot (x_2 - 6)^2 = \min, \\ -3 &\leq x_1 \leq 3, \\ -3 &\leq x_2 \leq 3, \\ \bar{x}^* &= (3; 3)^T; \end{aligned}$$