

НПП СТ ТИАМАС
97420, Евпатория, ул. Чапаева, 89, а/я 25
E-MAIL: ARS@IEVP.POST.KRIMEA.UA

Развитие космических технологий, предъявление новых требований к системам управления космическими аппаратами, возникновение новых задач в астрономии [1], а так же появление проблемы каталогизации космического мусора привело к необходимости разработки новых радиолокационных методов получения текущих навигационных параметров космических объектов (КО). Это в свою очередь привело к необходимости создания новых алгоритмов обработки получаемой информации.

Один из методов определения координат и скорости КО предложен в работе [2]. Параметрами, которые измеряются являются наклонная дальность, радиальная скорость и времена входа и выхода КО из трех неподвижных, разнесенных и частично пересекающихся диаграмм направленности (ДН) по которым определяются координаты КО, проекции вектора скорости в топоцентрической системы координат и радиус ДН в картинной плоскости. Измерение наклонной дальности и радиальной скорости, проводится обычным радиолокационным методом с использованием непрерывного частотно-модулированного сигнала, а измерение времени входа и выхода КО из трех ДН предлагается производить в цифровом виде с целью уменьшения затрат на техническое переоборудование имеющихся систем и достижение требуемой относительной погрешности измерения времени $\leq 0.01\%$ [3].

Точность измерения времени, как видно на рис.1, будет зависеть от качества фильтрации огибающей отраженного сигнала и точности восстановления формы отраженного сигнала от КО.

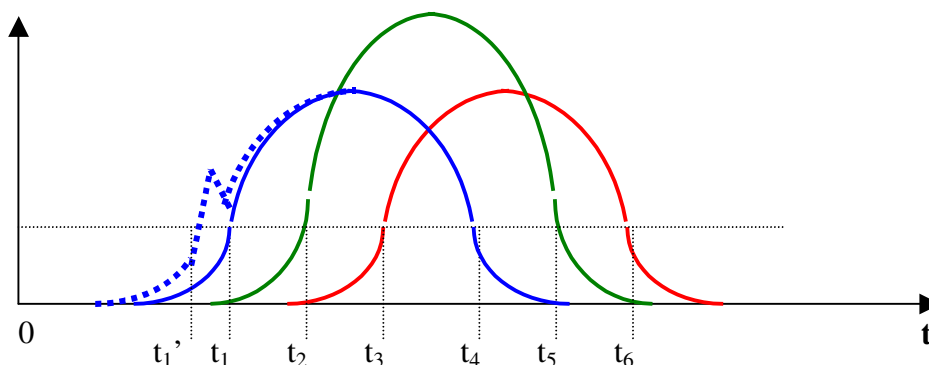


Рис. 1

Для фильтрации видео сигнала в цифровом виде предлагается использовать так называемый фильтр Кальмана [4], работа которого описывается выражением:

$$\hat{x}(k|k) = \hat{x}(k|k-1) + K(k) \cdot [y(k) - H(k) \cdot \hat{x}(k|k-1)]$$

где $\hat{x}(k|k)$ - оценка сигнала на k-ом шаге,

$\hat{x}(k|k-1)$ - оценка экстраполяции на один шаг,

$\tilde{z}(k|k-1)$ - "обновляющий" процесс,

$H(k)$ - матрица наблюдений,

$K(k)$ - матричный коэффициент усиления фильтра;

Известно, что с течением времени матричный коэффициент усиления $K(k)$ фильтра стремится к нулю и, как следствие становится нечувствительным к вновь поступающим данным и в качестве оценки входного сигнала выдает оценку экстраполяции, следовательно использование данного фильтра связано с необходимостью удовлетворения противоречивых требований – с одной стороны нужно обеспечить чувствительность фильтра к новым данным, с другой – высокое качество фильтрации. Этого можно добиться, если использовать переключаемый фильтр, в состав которого входят две фильтрующие системы – одна основная, согласованная с динамикой поведения сигнала, другая – вспомогательная – фильтр с широкой полосой пропускания. Различие оценок данных фильтров обусловлены различными значениями матричных коэффициентов усиления, или другими словами, различной шириной полосы пропускания фильтров.

Выбор оценки одного из фильтров осуществляется с помощью контролирующего устройства в основу работы которого положен последовательный критерий Вальда, решающее правило которого имеет вид [5]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=j}^k S(i) \geq \ln A - \text{принимается оценка второго фильтра} \\ \ln B \leq \sum_{i=j}^k S(i) < \ln A - \text{производится очередное измерение} \\ \sum_{i=j}^k S(i) \leq \ln B - \text{принимается оценка первого фильтра} \end{array} \right.$$

где j -номер оценки по которой не принято решение; k -номер последней оценки; A и B - пороговые значения принятия решений определяются так, чтобы критерий имел наперед заданную силу и зависел от ошибок первого и второго рода. Для построения последовательного критерия у которого вероятность ошибки первого рода не превосходит α , а вероятность ошибки второго рода не превосходит β для всех практических целей достаточно положить $A=(1-\beta)/\alpha$, $B=\beta/(1-\alpha)$; $S(i)$ -статистика вида

$$S(k) = \ln \left[\frac{\det P_Z^1(k)}{\det P_Z^2(k)} \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{2} \cdot \left\{ [Z^1(k|k-1)]^T \cdot [P_Z^1(k)]^{-1} \cdot Z^1(k|k-1) - [Z^2(k|k-1)]^T \cdot [P_Z^2(k)]^{-1} \cdot Z^2(k|k-1) \right\}$$

где $Z^N(k|k-1)$ - «обновляющий» процесс;

$P_Z^N(k)$ - корреляционная матрица «обновляющего» процесса.

В результате работы предложенной методики фильтрации, получены оценки входного сигнала в дискретные моменты времени, по которым необходимо восстановить форму сигнала между полученными оценками.

Для этого целесообразно использовать ряд Котельникова:

где $U(k \cdot \Delta t)$ – отсчеты сигнала, $k=0,1,2,\dots$,

$$U(t) = \sum_{i=0}^k U(k \cdot \Delta t) \cdot \frac{\sin 2 \cdot \pi \cdot F_m \cdot (t - k \cdot \Delta t)}{2 \cdot \pi \cdot F_m \cdot (t - k \cdot \Delta t)}$$

Δt – шаг дискретизации,

F_m - максимальная частота спектра ($F_m=1/2 \cdot \Delta t$).

Полученные оценки сигнала в моменты времени от $k \cdot \Delta t=0$ до $n \cdot \Delta t$ (n - число полученных оценок), ограничивают ряд Котельникова n членами, что устраняет его недостаток, связанный с неточностью описания формы сигнала в моменты времени не лежащие в пределах $t=0$ до $n \cdot \Delta t$.

Полученная аналитическая функция $U(t)$ описывающая форму отраженного сигнала используется в аналитических расчетах времен входа и выхода из соответствующих ДН.

Таким образом, используя два параллельно работающих фильтра Кальмана, выдающих оценки входного сигнала, и последовательный критерий Вальда выбирающий наиболее оптимальную оценку, по критерию минимума среднеквадратической ошибки, выделяют сигнал в дискретном виде на фоне помех. Применение ряда Котельникова для интерполяции дискретного сигнала позволяет получить аналитическую функцию, описывающую форму сигнала в зависимости от времени с требуемой точностью.

По данному алгоритму создана программа проверенная на экспериментальном стенде. Полученные результаты подтвердили теоретические выводы.

Литература.

1. Околосемная астрономия (космический мусор). Сборник научных трудов. М.: Космосинформ, 1998.
2. Малевинский С.В., Сорокин А.Ф., Томилин Ю.Г., Цюх А.М. "Метод многоканальной регистрации космических объектов". Тезисы докладов научной конференции «Околосемная астрономия и проблемы изучения малых тел Солнечной системы». Обнинск, 1999г
3. Власенко В.П., Томилин Ю.Г., Цюх А.М. «Численное моделирование прецизионного измерения текущих навигационных параметров космических объектов». Тезисы докладов II Всеукраинской молодежной научно-практической конференции «Человек и космос». 12-14 апреля 2000 г. Днепропетровск.
4. Гришин Ю.П., Казаринов Ю.М. «Динамические системы устойчивые к отказам», Москва.: Радио и связь. 1981г

DIGITAL PROCESSING OF SIGNALS IN A PRECISION METHOD OF MEASURING NAVIGATIONAL PARAMETERS OF SPACE OBJECTS

Vlasenko V.P.

Development of space process engineering, presentation of the new requirements to control systems of space vehicles, origin of new problems in astronomy [1], and as the occurrence of a problem of cataloguing of space dust has reduced in necessity of development of new radar-tracking methods of deriving of flowing navigational parameters of space objects ($S\hat{I}$). It in turn has reduced in necessity making of new algorithms of handling of the obtained information.

One of methods of definition of coordinates and velocity $S\hat{I}$ is offered in operation [2]. In parameters, which are measured are a slant range, radial velocity both the times of an inlet and exit $S\hat{I}$ from three fixed, diverse and partially intersected directional diagrams (DD) on which are determined coordinates $S\hat{I}$, projection of velocity vector in a topocentric frame and radius DD in a picture plane. The measuring of a slant range and radial velocity, will be carried out by a usual radar-tracking method with use of a continuous frequency-modulated signal, and the measuring of time of an inlet and exit $S\hat{I}$ from three DD is offered to be produced in a numeral aspect with the purpose of a diminution of expenditures on engineering re-equipment of available systems and reaching of a required relative accuracy of measuring of time $E_t \leq 0.01\%$ [3].

The measurement accuracy of time, as it is visible in a fig. 1, will depend on quality of a filtration enveloping of a reflex signal and exactitude of restitution of the shape of a reflex signal from $S\hat{I}$.

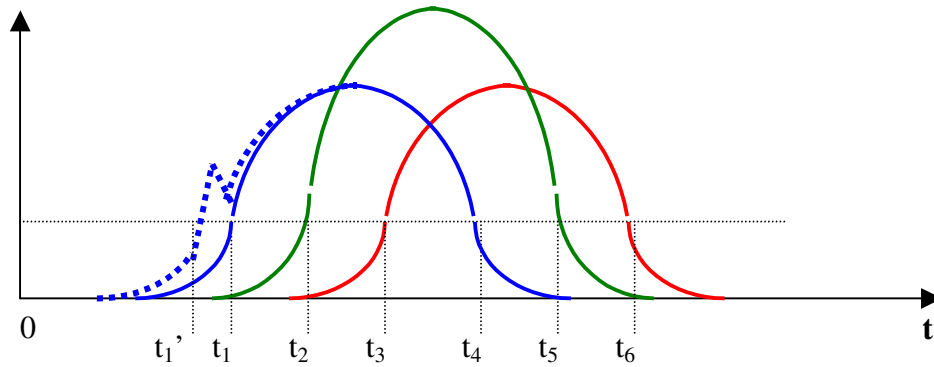


Fig. 1

For a filtration of a signal in a numeral aspect it is offered to use the so-called filter Kalmana [4], which operation is featured by expression:

$$\hat{x}(k | k) = \hat{x}(k | k - 1) + K(k) \cdot [y(k) - H(k) \cdot \hat{x}(k | k - 1)]$$

Where $\hat{x}(k | k)$ - an estimation of a signal on a k a pitch,

$\hat{x}(k | k - 1)$ - estimation of extrapolation on one pitch,

$\tilde{z}(k | k - 1)$ - "updating" process,

$H(k)$ - a matrix of observations,

$K(k)$ - a matrix amplification factor of the filter;

It is known, that with fluxion of time the matrix amplification factor $K(k)$ of the filter aims at zero and, as the corollary becomes insensitive to the again going data and as an estimation of an entering signal produces an estimation of extrapolation. Hence, use of the filter is interlinked to necessity of sufficing of the inconsistent requirements - on the one hand it is necessary to supply sensitivity of the filter to the new data, with another - high quality of a filtration. It can achieve if to use the switched filter, which composition enter two filtering systems one basic, compounded with dynamics of behaviour of a signal, another - auxiliary - filter with a broad transmission band. Difference of estimations of filters are stipulated by various values of matrix amplification factors, or in other words, various bandwidth of a passage of filters.

The choice of an estimation of one of filters is carried out with the help of the inspecting method in a basis of which operation the series test of Wald is put resolving which rule looks like [5].

Wald's criterion

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=j}^k S(i) \geq \ln A - \text{the estimation of the second filter starts} \\ \ln B \leq \sum_{i=j}^k S(i) < \ln A - \text{the next measuring is yielded} \\ \sum_{i=j}^k S(i) \leq \ln B - \text{the estimation of the first filter starts} \end{array} \right.$$

where the j-number of an estimation on which is not accepted a solution; the k-number of last estimation; A and B - the threshold values of a decision making are determined so that the criterion had beforehand given force and depend on errors of the first and second kind. For build-up of series criterion at which the probability of an error of first kind would not exceed, and the probability of an error of second kind does not exceed in for all practical purposes enough to put $A = (1-\beta)/\alpha$, $B = \beta/(1-\alpha)$; $S(i)$ a statistician of an aspect

$$S(k) = \ln \left[\frac{\det P_{Z_z}^1(k)}{\det P_Z^2(k)} \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{2} \cdot \left\{ \left[Z^1(k|k-1) \right]^T \cdot \left[P_Z^1(k) \right]^{-1} \cdot Z^1(k|k-1) - \left[Z^2(k|k-1) \right]^T \cdot \left[P_Z^2(k) \right]^{-1} \cdot Z^2(k|k-1) \right\}$$

where $Z^N(k|k-1)$ - "updating" process;

$P_Z^N(k)$ - correlation matrix "updating" process.

As a result of operation of an offered procedure of a filtration, the estimation of an entering signal in discrete instants are obtained, on which it is necessary to restore the shape of a signal between the obtained estimations.

For this purpose it is expedient to use a equation Kotelnikova:

where $U(k \cdot \Delta t)$ - references of a signal, $k=0,1,2,\dots$,

$$U(t) = \sum_{i=0}^k U(k \cdot \Delta t) \cdot \frac{\sin 2 \cdot \pi \cdot F_m \cdot (t - k \cdot \Delta t)}{2 \cdot \pi \cdot F_m \cdot (t - k \cdot \Delta t)}$$

Δt - pitch of a discretization,

F_m - maximum frequency of a spectrum ($F_m = 1/2 \cdot \Delta t$).

The obtained estimations of a signal in instants from $k \cdot \Delta t = 0$ up to $n \cdot \Delta t$ (n - number of the obtained estimations), restrict a equation Kotelnikova n to terms, that eliminates its shortage, bound with an inaccuracy of exposition of the shape of a signal in instants not lying in limits $t=0$ up to $n \cdot \Delta t$.

The obtained analytical function $U(t)$ circumscribing the shape of a reflex signal is used in analytical calculations of times of an inlet and exit from relevant DD.

Thus, using two in parallel working filters Kalmana, the producing estimation of an entering signal, and series Wald's criterion selecting optimal an estimation, by test of a minimum of a medial quadratic error, select a signal in a discrete aspect on a hum noise of parasites. The application of a equation Kotelnikova for interpolation of a discrete signal allows to receive analytical function circumscribing shape of a signal in a time dependence with a required exactitude.

On the given algorithm the program checked on an experimental bench is created. The obtained outcomes have confirmed theoretical deductions.

The literature.

1. Near-earth astronomy (space dust). The collection of the proceedings. M.: Space inform, 1998.
2. Malevinckiy S.V., Corokin A.F., Tomilin U.G., Thych A.I. " A Method of multichannel filing of space plants ". The theses of the reports of a scientific conference « Near-earth astronomy and problems of study of small skew fields of a solar system ». Obninsk, 1999ã
3. Vlasenko V.P., Tomilin U.G., Thych A.I. « Numerical model operation of a precision determination of flowing navigational parameters of space plants ». The theses of the reports II Ukrainian of a youth scientific - practical conference « The people and space». April 12-14, 2000, Dnepropetrovsk.
4. Grishin U.P., Kazarinov U.I. « Dynamic systems inconvertible against refusals », Moscow.: Radio and communication. 1981.
5. Wald A. A successive analysis. Translation with English. Under edition. Sevastynva A.M.: Fizmatgiz, 1960, p. 253.