

ВЛИЯНИЕ ПЕРИОДИЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ НАВИГАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ В ЦИФРОВЫХ ПРИЕМОИНДИКАТОРАХ СПУТНИКОВЫХ РНС НА ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА

Стребков В.В.

Московский государственный технический университет гражданской авиации

К периоду дискретизации навигационных параметров (НП) T предъявляются противоречивые требования. С одной стороны, желательно уменьшить T , поскольку это приводит к повышению точности измерений в связи с уменьшением влияния флуктуаций движения объекта. В то же время, частое решение навигационной задачи (НЗ) может оказаться невозможными из-за ограниченной производительности вычислителя аппаратуры потребителя (АП). Поэтому обычно стремятся увеличить T до значений, при которых еще обеспечивается заданная точность местоопределения, а необходимый темп выдачи навигационной информации обеспечить с помощью экстраполяции координат объекта, не требующей пересчета координат космических аппаратов (КА) рабочего созвездия.

На практике используются три метода определения координат подвижного объекта (ПО) по измерениям НП: метод наименьших квадратов (МНК) метод оптимальной линейной фильтрации (ОЛФ) и метод квазиоптимальной линейной фильтрации (КЛФ), предусматривающий обработку с помощью МНК сигналов, прошедших оптимальный линейный фильтр в каждом из каналов измерений.

Среди статистических методов обработки измерений наибольшее распространение имеет МНК. Хотя в АП СРНС этот метод в чистом виде (без предварительной фильтрации в каналах измерения) не применяется, рассмотрим его как основу для сравнения с другими методами.

Рассмотрим зависимость ошибки от периода дискретизации для решения НЗ с помощью МНК по одномоментной выборке. В качестве величины, характеризующей точность местоопределения, будем использовать радиальную среднеквадратическую ошибку (СКО) определения координат

$$\sigma_r = (\mathbf{P}_{xx} + \mathbf{P}_{yy} + \mathbf{P}_{zz})^{1/2}, \quad (1)$$

где \mathbf{P}_{xx} , \mathbf{P}_{yy} , \mathbf{P}_{zz} - диагональные члены ковариационной матрицы \mathbf{P} ошибок оценок вектора состояния ПО, равные дисперсиям ошибок по каждой из декартовых координат x , y и z , соответственно. При этом для СКО определения координат по МНК имеем

$$\sigma_{r_{\text{МНК}}} = \left[(\Gamma_r \cdot \sigma_p)^2 + \frac{NT^3}{2} \right]^{1/2}, \quad (2)$$

где Γ_r - геометрический фактор ошибки трехмерного местоопределения, σ_p - СКО измерений РНП, предполагающихся равноточными, N - интенсивность шума по каждой из координат в модели флуктуаций параметров движения ПО, описываемых диффузионным гауссовским марковским процессом.

На рис. 1 показаны расчетные зависимости $\sigma_r(T)$ при обработке измерений НП по МНК (штрих-пунктирная линия), с помощью ОЛФ (сплошная линия) и КЛФ (пунктирная линия) для случая измерения трех координат по трем КА дальномерным методом в предположении, что бортовой опорный генератор (ОГ) является абсолютно точным. При этом СКО измерения псевдодальности принята равной $\sigma_p = 6$ м, СКО измерения радиальной скорости $\sigma_v = 0,6$ м/с, СКО флуктуаций скорости подвижного объекта $\sigma_{v_{\text{ПО}}} = 2,24$ м/с, эффективная ширина спектра флуктуаций $\gamma = 0,02$ с⁻¹, геометрический фактор $\Gamma_r = 2,65$, условные координаты ПО (0,0,1), а матрица условных координат КА равна

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

На рис. 2 показаны зависимости $\sigma_r(T)$ при обработке измерений НП по МНК и с помощью ОЛФ для представляющего наибольший практический интерес случая измерения трех координат ПО и сдвига шкалы времени бортового ОГ по четырем КА при следующих исходных данных: относительная нестабильность частоты ОГ $\sigma_f / f = 10^{-9}$, $\sigma_p = 5$ м, $\sigma_v = 0,1$ м/с, $\sigma_{v_{\text{ПО}}} = 1$ м/с, $\gamma = 0,05$ с⁻¹, $\Gamma_r = 4,00$, условные координаты ПО (0,5; 0,5; -0,5), матрица условных координат КА

$$X = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot 1 \quad (4)$$

Из кривых рис. 1 и 2 видно, что при малых значениях T использование ОЛФ обеспечивает значительный выигрыш в точности по сравнению с МНК. Этот выигрыш зависит, в основном, от характеристик сопутствующих параметров σ_r и σ_f/f .

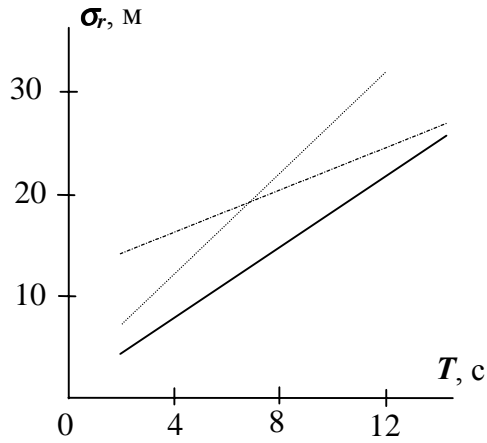


Рис. 1

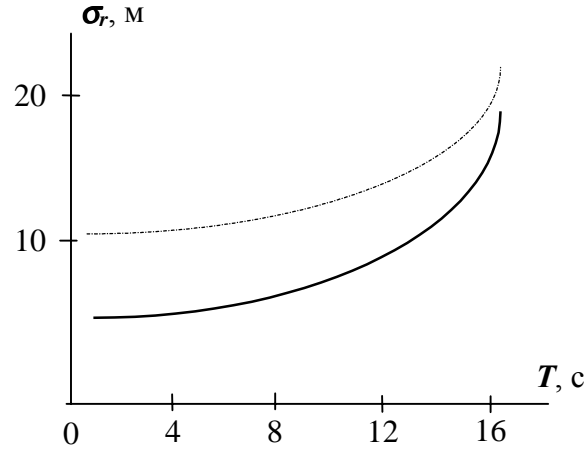


Рис. 2

При этом при малых значениях T ошибка при использовании КЛФ незначительно превышает ошибку ОЛФ, однако при росте T эта ошибка возрастает и даже начинает с некоторого момента превышать ошибку, имеющую место при МНК. Этот эффект можно объяснить тем, что при раздельной фильтрации в каждом из каналов измерения теряется информация о корреляции измерений в разных каналах. За счет этого КЛФ всегда уступает в точности ОЛФ, а в области больших T , где точность ОЛФ стремится к точности МНК, КЛФ обеспечивает точность, худшую, чем МНК.



EFFECT OF NAVIGATION PARAMETERS MEASUREMENTS PERIODICITY IN DIGITAL GPS/GLONASS RECEIVERS ON POSITIONING ACCURACY OF MOBILE OBJECTS

Strebkov V.

This research investigates the radial one-sigma position error (σ_x) dependence on the navigation parameters epoch T for each of three methods which are currently used in practice for computation of the mobile object (aircraft or ground vehicle) coordinates, namely 1) least-square method (LSM), 2) optimum linear filtration method (OLF), 3) quasi-optimum linear filtration method (the signals pass through optimum filter in each of the measurements channels and subsequently are least-square processed) (QLF).

It is shown that in case if the coordinates computation based on the optimum linear filtration method and the magnitude of T is small this method provides significant advantage of accuracy over LSM. The advantage, however, mostly depends on the following parameters: one-sigma radial velocity error, relative frequency instability of the onboard oscillator. In this connection, with T of small magnitude and using the quasi-optimum method the resulting error is somewhat higher than that of OLF but with T increasing the error also tends to increase and at some point even begins to exceed the error we get using the least-square method. This effect can be explained by the fact that measurements correlation information in different channels is lost during the separate filtration in each of the channels. Due to the latter, quasi-optimum linear filtration is always inferior in accuracy to optimum linear filtration and with T relatively high the accuracy provided by OLF tends to approach the accuracy of LSM. The third method, QLF, provides lower accuracy than that resulted using the least-square method.