

УДК 621.396.69

Потенциальная точность трехканального пеленгационного фазово-фазового чувствительного элемента с эллипсообразным расположением точек приема

Савинов М.В.

Аннотация

В работе выполнена задача сравнения характеристик потенциальной точности измерений угловых координат трех- и широко распространенных четырехканальных пеленгационных моноимпульсных фазово-фазовых чувствительных элементов с условно-произвольным расположением точек приема по эллипсу в плоскости равных фаз, оптимальных по критерию максимального правдоподобия. Показано, что в области низких отношений сигнал-шум трехканальный чувствительный элемент обладает до двух раз большей потенциальной точностью измерений угловых координат локационного объекта.

Ключевые слова

Трехканальный моноимпульсный фазово-фазовый пеленгационный чувствительный элемент; потенциальная точность измерения угловых координат.

Введение

Задача повышения точности современных локационных систем управления сегодня является одной из актуальных. В свете этого повышение эффективности системы измерений угловых координат, как элементов систем управления, является важной научно-практической задачей. Наиболее полно чувствительные элементы этих систем описываются точностью, характеризующей ошибки измерений. Важнейшей из составляющих ошибок измерений является флюктуационная составляющая, характеризующая потенциальную точность и обусловленная тепловыми шумами приемников,

Потенциальную точность измерения угловых координат моноимпульсным фазово-фазовым трехканальным чувствительным элементом, точки приема которого условно-произвольно расположены в плоскости равных фаз по эллипсу в определенной закономерности [1], можно оценить по одному импульсу полезного сигнала моноимпульсного измерения относительно тех же характеристик четырехканального чувствительного элемента, хорошо известного в практических применениях [2]. Оценку можно выполнить при равных условиях для сравнения: вся возможная совокупность пространственных положений точек приема сравниваемых чувствительных элементов принадлежат равным эллипсам, а при четырехканальной структуре осей эллипса; приемные каналы идентичны, шумы приемных каналов не коррелированы между собой и их мощности равны; суммы энергий полезного сигнала в каналах сравниваемых чувствительных элементов равны; антенное звено всенаправлено.

Пространственно-временной процесс в n -м канале приема $y_n(\alpha, \beta, t)$ представлен суммой информативной составляющей в n -м канале и мешающего воздействия $\xi_n(t)$, приведенного к входу антенны:

$$y_n(\alpha, \beta, t) = \sqrt{P_c/N} \exp\{j\varphi(t) + j\Psi_n(\alpha, \beta)\} + \xi_n(t), \quad (1)$$

где P_c/N – мощность полезного сигнала в приемном канале ($N = 3\forall 4$ – число приемных каналов), $\varphi(t)$ – полная мгновенная фаза информативного процесса в центральной точке эллипсообразного раскрыва, α и β – азимут и угол места локационного объекта,

$$\Psi_n(\alpha, \beta) = \frac{\pi d_x}{\lambda} (\cos(\gamma + 2\pi n/N) \sin \alpha + \rho \sin(\gamma + 2\pi n/N) \sin \beta), \quad (2)$$

информативная составляющая фазы полезного сигнала, учитывающая пространственное положение n -й точки приема, в соответствии с закономерностью расположения [1], d_x – размер эллипса по оси OX , ρ – отношение осей эллипса. Выражение, определяющее алгоритм функционирования оптимального по критерию максимального правдоподобия чувствительного элемента [1] с произвольным числом точек приема и оптимальным при низких входных отношениях сигнал-шум инерционным нормированием по суммарной мощности сигналов в каналах имеет вид:

$$\begin{aligned} U_{N\alpha}(\hat{\alpha}, t) &= Q_{N\alpha}^{-1}(\alpha, \beta) \sum_{n=0}^{N_k-1} a_{nmN} \operatorname{Im}\{y_n(\alpha, \beta, t) y_m^*(\alpha, \beta, t)\}, \\ U_{N\beta}(\hat{\beta}, t) &= Q_{N\beta}^{-1}(\alpha, \beta) \sum_{n=0}^{N_k-1} b_{nmN} \operatorname{Im}\{y_n(\alpha, \beta, t) y_m^*(\alpha, \beta, t)\}, \end{aligned} \quad (3)$$

где нормирующий множитель имеет выражение:

$$Q_{N\alpha}(\alpha, \beta) = \frac{P_c}{N} (1 + Nq^{-2}) \sum_{n=0}^{N_k-1} a_{nmN}^2, \quad Q_{N\beta}(\alpha, \beta) = \frac{P_c}{N} (1 + Nq^{-2}) \sum_{n=0}^{N_k-1} b_{nmN}^2, \quad (4)$$

а весовые коэффициенты:

$$a_{nmN} = \frac{2\pi}{\lambda} d_x \sin \frac{\pi(m-n)}{N} \sin \left(\gamma + \frac{\pi(n+m)}{N} \right), \quad (5)$$

$$b_{nmN} = \frac{2\pi}{\lambda} d_y \sin \frac{\pi(m-n)}{N} \cos \left(\gamma + \frac{\pi(n+m)}{N} \right).$$

В (5) $m = (n + (N-1)/2) \bmod N$ для трехканального чувствительного элемента и $m = n + 2$ для четырехканального, λ – длина волны, γ – произвольный угол поворота совокупности точек приема, обуславливающий расположение всей возможной совокупности трех точек приема по эллипсу. Поскольку каналы приема идентичны, обозначим входное отношение сигнал-шум по напряжению в полосе приема каналов как $q = \sqrt{P_c/P_u}$, считая, что мощность мешающего воздействия в n -м канале $\int \xi_n^2(t) dt/t$ равна приведенной к входам антенны мощности шума P_u .

Дисперсия флюктуационной погрешности в азимутальной и угломестной плоскости $\sigma_{N\alpha}^2$ и $\sigma_{N\beta}^2$ при $\alpha = 0, \beta = 0$ для соответствующего чувствительного элемента может быть представлена в виде флюктуаций в чувствительном элементе $\Phi_{N\alpha}(\alpha, \beta), \Phi_{N\beta}(\alpha, \beta)$ отнесенных к квадрату крутизны его дискриминационной характеристики [2].

$$\sigma_{N\alpha}^2 = \frac{\Phi_{N\alpha}(0, 0)}{(dM[U_{N\alpha xx}(0, 0)]/d\alpha)^2}, \quad \sigma_{N\beta}^2 = \frac{\Phi_{N\beta}(0, 0)}{(dM[U_{N\beta xx}(0, 0)]/d\beta)^2}. \quad (6)$$

Знаменатель (6) – производная математического ожидания (3), определяющего дискриминационные характеристики чувствительных элементов. В силу центрированности шумовых составляющих сигналов в приемных каналах $\times \xi_n(t)$, знаменатель (6) приобретает вид:

$$dM[U_{N\alpha}(0, t)]/d\alpha = dM[U_{N\beta}(0, t)]/d\beta = (1 + Nq^{-2})^{-1}. \quad (7)$$

Флюктуации в трехканальном чувствительном элементе при $\alpha = 0, \beta = 0$ из (3) имеют выражение:

$$\Phi_{3\alpha}(0, 0) = \frac{\lambda^2 q^{-2} (1 + q^{-2})}{\pi^2 d_x^2 (1 + 3q^{-2})^2}, \quad \Phi_{3\beta}(0, 0) = \frac{\lambda^2 q^{-2} (1 + q^{-2})}{\pi^2 d_x^2 \rho^2 (1 + 3q^{-2})^2}. \quad (8)$$

В четырехканальном чувствительном элементе из (3) приобретают вид:

$$\Phi_{4\alpha}(\alpha, \beta) = \frac{\lambda^2 q^{-2} (1 + 2q^{-2})}{\pi^2 d_X^2 (1 + 4q^{-2})^2}, \quad \Phi_{4\beta}(\alpha, \beta) = \frac{\lambda^2 q^{-2} (1 + 2q^{-2})}{\pi^2 d_X^2 \rho^2 (1 + 4q^{-2})^2}, \quad (9)$$

что с учетом крутизны преобразования (7) позволяет определить дисперсии флюктуационной погрешности измерений. Значение дисперсии флюктуационной погрешности чувствительного элемента для угломестной плоскости совпадает со значением в азимутальной с точностью до множителя ρ^{-2} .

Для сравнения потенциальной точности измерений угловых координат трех- и четырехканальным чувствительным элементом рассмотрим их отношение при различных значениях сигнал-шум:

$$\begin{aligned} \sigma_{3\alpha}^2 / \sigma_{4\alpha}^2 &= (q^2 + 1) / (q^2 + 2) \\ \sigma_{3\beta}^2 / \sigma_{4\beta}^2 &= (q^2 + 1) / (q^2 + 2) \end{aligned} \quad (10)$$

Выражение (10) представлено на рисунке 1.

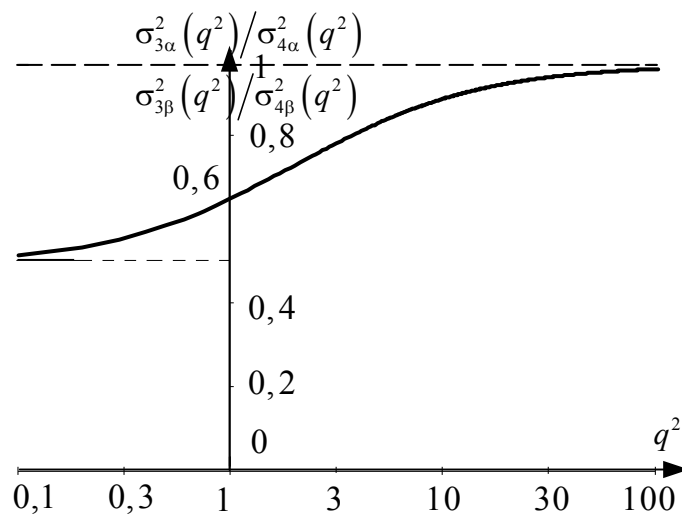


Рисунок 1 – Отношение дисперсий флюктуационных погрешностей трех- и четырехканального пеленгационных моноимпульсных фазово-фазовых чувствительных элементов

Можно заключить, что при высоких отношениях сигнал-шум ($q^2 > 30$) у сравниваемых чувствительных элементов дисперсии флюктуационной погрешности измерений почти равны, что говорит о равных потенциальных точностях измерений угловых координат. Отношению сигнал-шум ($q^2 < 30$) соответствует область, в которой трехканальный чувствительный элемент обладает преимуществом, вплоть до двукратного

снижения дисперсии флюктуационной погрешности и соответствующего увеличения точности пеленгования.

Заключение

1. Чувствительный элемент с числом точек приема равным трем лучше четырехканального не только из-за более простой аппаратной части, но и вследствие улучшения характеристик потенциальной точности измерений в области низких отношений сигнал-шум – в наиболее важной области диапазона q^2 , в которой флюктуации измерений ограничивают максимальную дальность работы локационной системы в целом.

2. Такой результат должен обеспечивать трехканальному чувствительному элементу при работе в составе контура сопровождения локационного объекта более устойчивую работу, поскольку при ее отклонении от опорного направления или захвате на сопровождение потенциальный барьер, который необходимо преодолеть флюктуационной составляющей выше и более выгоден.

3. Отношения дисперсий флюктуационных погрешностей измерений угловых координат в соответствующей плоскости пеленгования не зависят от размеров эллипса в этой плоскости.

Библиографический список

[1] Савинов М.В., Павлов В.С.. Статистический пространственный синтез моноимпульсного фазово-фазового дискриминатора системы АСН по критерию максимального правдоподобия. Научно-практический журнал “Информационно-управляющие системы”, 2007, №4 (29), ГУАП, СПб, с 17-21.

[2] Леонов А.И., Фомичев К.И. Моноимпульсная радиолокация. М.: Радио и связь. 1984., 548 с

Сведения об авторах

Савинов Максим Владимирович, ассистент СПбГУАП, negur@list.ru, 8-951-666-1391, 192029, Санкт-Петербург ул. Ольминского д.8. кв.82