DOI: 10.17117/na.2016.10.03.153

Поступила (Received): 03.10.2016

<http://ucom.ru/doc/na.2016.10.03.153.pdf>**Ерохин В.В.****Оптимальное управление мощностью
псевдоспутника на основе радиовещательного
автоматического зависимого наблюдения****Erokhin V.V.****Pseudolite optimal power control on the automatic
dependent surveillance-broadcast basis**

Для повышения точности навигационных определений применяют псевдоспутники (ПС). Основной проблемой использования ПС является эффект ближний-дальний. Для устранения данной проблемы предлагается использовать оптимальное управление мощностью ПС на основе оценки дальности в канале передачи данных ADS-B, что позволит обеспечить одновременный прием сигналов навигационных спутников и ПС

Ключевые слова: псевдоспутник, ближний-дальний, радиовещательное автоматическое зависимое наблюдение (АЗН-В), управление мощностью

To improve the accuracy of navigation definitions used pseudolites (PLs). The main problem of the use of PL is the effect of the near-far. To resolve this problem, we propose to use the optimum power control of the PL based on the evaluation range in the data transmission channel ADS-B, which will allow the simultaneous reception of navigational satellite signals and the PL

Key words: pseudolite, near-far, automatic dependent surveillance-broadcast (ADS-B), power control

Ерохин Вячеслав Владимирович

Кандидат технических наук, доцент
Московский государственный технический
университет гражданской авиации (филиал)
г. Иркутск, ул. Коммунаров, 3

Erokhin Vyacheslav Vladimirovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Moscow state technical university of civil aviation
(branch)
Irkutsk, Kommunarov st., 3

Современные спутниковые радионавигационные системы ГЛОНАСС/GPS позволяют определить координаты потребителя с высокой точностью, что удовлетворяет требованиям по точности навигационных определений воздушных судов (ВС) при маршрутных полётах и полётах в аэродромных зонах, включая некатегорированный заход на посадку. Выполнение высоких требований к точности навигационных определений при обеспечении захода на посадку по категориям ИКАО может быть достигнуто с помощью дифференциальных методов спутниковой навигации [1].

При реализации дифференциальной системы с использованием псевдоспутников (ПС) возникает ряд проблем, которые нужно преодолевать, чтобы обеспечивать высокую точность позиционирования. Излучаемые ПС сигналы могут создавать помеху для навигационной аппаратуры ГЛОНАСС/GPS ВС

совершающего заход на взлетно-посадочную полосу [2, 3]. Данная проблема известна как проявление эффекта «ближний-дальний» (в зарубежной литературе «Near-Far»), которая происходит из-за изменения мощности принимаемого сигнала ПС [4, 5]. Решение задачи управления мощностью ПС в работе основано на измерении псевдодальности в каналах обмена данными радиовещательного автоматического зависимого наблюдения (АЗН-В). Измеренная псевдодальность d между объектами сети определяется по временной задержке момента τ_i приема сигнала i -м объектом относительно априорно известного момента τ_j излучения этого сигнала j -м объектом.

Рассмотрим задачу оптимального управления мощностью в постановке, когда у объекта, подверженного действию случайных возмущений, нельзя непосредственно измерить состояние, а можно лишь получить оценку переменных состояния с помощью измерительной системы, которая также подвержена действию случайных возмущений, приводящим к ошибкам измерения [6, 7]. Пусть модели объекта управления и измерений описываются уравнениями:

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_{v+1} &= \mathbf{A}_v \mathbf{x}_v + \mathbf{B}_v \mathbf{u}_v + \mathbf{w}_v, v = 0, 1, \dots, N-1, \mathbf{x}(0) = \mathbf{x}_0, \\ \mathbf{y}_v &= \mathbf{C}_v \mathbf{x}_v + \mathbf{v}_v, v = 0, 1, \dots, N-1, \end{aligned} \quad (1)$$

где $\mathbf{x}$ – вектор состояния, $\mathbf{x} \in R^n$; $\mathbf{Y}$ – вектор измерений, $\mathbf{Y} \in R^m$; $\mathbf{A}$, $\mathbf{B}$, $\mathbf{C}$ – матрицы размера $(n \times n)$, $(n \times q)$, $(m \times n)$, соответственно, на управление ограничений не наложено, т.е. $\mathbf{u} \in R^q$; где $\mathbf{w}_v$, $\mathbf{v}_v$ – последовательности взаимно независимых гауссовских случайных величин с известными ковариационными матрицами $\mathbf{R}_{1,v}$ и $\mathbf{R}_{2,v}$.

Множество допустимых управлений образуют функции $\mathbf{u}_v = \mathbf{u}(v, \mathbf{y}_0^v)$, зависящие от предыдущих измерений, причем $\forall v = 0, 1, \dots, N-1$, $\mathbf{u} \in R^q$. Функционал качества управления имеет вид [6, 7]

$$J = M \left\{ \sum_{v=0}^{N-1} [\mathbf{x}_v^T \mathbf{S}_v \mathbf{x}_v + \mathbf{u}_v^T \mathbf{Q}_v \mathbf{u}_v] + [\mathbf{x}_N^T \mathbf{\Lambda} \mathbf{x}_N] \right\}, \quad (2)$$

где $\mathbf{S}_v, \mathbf{\Lambda}$ – неотрицательно определенные симметричные матрицы размера $(n \times n)$, а $\mathbf{Q}_v$ – положительно определенная симметрическая матрица $(q \times q)$.

Требуется найти управление $\mathbf{u}^*(v, \mathbf{y}_0^v)$ из множества допустимых, обеспечивающее минимум функционала (2). Оптимальное управление $\mathbf{u}^*(v, \mathbf{y}_0^v)$ в сформулированной задаче, имеет вид [6, 7]

$$\mathbf{u}_v^* = \mathbf{u}^*(v, \mathbf{y}_0^v) = -\mathbf{L}_v \hat{\mathbf{x}}_v, \quad (3)$$

где $\hat{\mathbf{x}}_v = M\{\mathbf{x}_v | \mathbf{y}_0^v\}$ – апостериорная оценка вектора состояния модели объекта управления по результатам наблюдений, удовлетворяющее уравнению

$$\hat{\mathbf{x}}_v = \tilde{\mathbf{x}}_v + \mathbf{K}_v [\mathbf{y}_v - \mathbf{C}_v \tilde{\mathbf{x}}_v], \quad (4)$$

$\tilde{\mathbf{x}}_v$ – априорная оценка вектора состояния $\mathbf{x}_v$ до проведения измерения $\mathbf{y}$

:

$$\tilde{\mathbf{x}}_{v+1} = \mathbf{A}_v \hat{\mathbf{x}}_v + \mathbf{B}_v \mathbf{u}_v^*,$$

K – матрица коэффициентов усиления фильтра (4) размера $(n \times m)$, которая определяется по формуле

$$K_v = \tilde{\Gamma}_v C_v^T [C_v \tilde{\Gamma}_v C_v^T + R_{2,v}]^{-1},$$

здесь $\tilde{\Gamma}_v = M\{[x_v - \tilde{x}_v][x_v - \tilde{x}_v]^T\}$ – ковариационная матрица ошибки $\varepsilon_v = x_v - \tilde{x}_v$ априорной оценки $\tilde{x}_v$

$$\tilde{\Gamma}_{v+1} = A_v \Gamma_v A_v^T + R_{1,v},$$

$\Gamma_v = M\{[x_v - \hat{x}_v][x_v - \hat{x}_v]^T\}$ – ковариационная матрица ошибки $\varepsilon_v = x_v - \hat{x}_v$ апостериорной оценки $\hat{x}_v$ после проведения измерения y_v ,

$$\Gamma(k) = \tilde{\Gamma}(k) - \tilde{\Gamma}(k) C^T(k) [C(k) \tilde{\Gamma}(k) C^T(k) + R_2(k)]^{-1} C(k) \tilde{\Gamma}(k),$$

L_v – матрица коэффициентов усиления регулятора (3) размера $(q \times n)$,

$$L_v = [Q_v + B_v^T P_{v+1} B_v]^{-1} B_v^T P_{v+1} A_v,$$

P_v – матрица размера $(n \times n)$, которая удовлетворяет уравнению

$$P_v = S_v + L_v^T Q_v L_v + [A_v - B_v L_v]^T P_{v+1} [A_v - B_v L_v].$$

а)

б)

Рис. 1. Характеристики оценки переменных вектора состояния

Исследование характеристик предложенного алгоритма проводилось методами имитационного моделирования. В ходе моделирования предполагалось,

что транспондеры всех объектов системы настроены на одну частоту, т.е. ВС и наземная станция АЗН-В, находящиеся на расстоянии прямой видимости, можно считать связанными одним цифровым радиоканалом. Наземная станция, зафиксировав момент прихода сообщения, измеряет задержку распространения сигнала и формирует сигнал управления мощностью ПС.

Вектор состояния в задаче управления представим в виде $x = |P_r, d, V_d|^T$, матрица перехода пространства состояний в пространство измерений $C = [0, 1, 0]$. С учетом $\sigma = 3,65$ dB и $\gamma = 3,71$, рассчитанные значения ошибки оценки и среднего квадратического отклонения представлены на рис. 1 (а). На рис. 1 (б) представлены графики расчетных значений ошибки оценки и среднеквадратического отклонения σ_{V_d} .

а) ошибка оценки $d - \hat{d}$ и СКО σ_d дальности;

б) ошибка оценки $V_d - \hat{V}_d$ и СКО σ_{V_d} скорости изменения дальности.

Анализ результатов моделирования показывает высокую точность оценки дальности. Графики динамики мощности передатчика ПС и мощности сигнала, принимаемого на борту ВС в зависимости от дальности, показаны на рис. 2.

Рис. 2. Энергетические характеристики сигнала ПС

а) зависимость управляемой мощности ПС от дальности;

б) динамика мощности принимаемого сигнала как функция дальности (1 – обычный ПС; 2 – ПС с управляемой мощностью).

Синтезированный алгоритм позволяет измерять с высокой точностью дальность до ВС и формировать управляющее воздействие на изменение мощности передачи ПС. Оптимальное управление мощностью позволяет уменьшить динамический диапазон уровня принимаемого сигнала на 30 ... 40 дБВт. Результаты моделирования показывают, что мощность принимаемого сигнала от ПС будет соизмерима с мощностью спутниковых сигналов на уровне -130 ... -150 дБм.

Анализ результатов исследований показывает, что за счет оптимального управления мощностью передатчика ПС мощность принимаемого сигнала на борту ВС будет соизмерима с уровнем сигналов, приходящих от навигационных спутников ГЛОНАСС/GPS.

Список используемых источников:

1. Крыжановский Г.А. Концепция и системы CNS/ATM в гражданской авиации. М.: ИКЦ Академкнига, 2003. 415 с.
2. Зуев Д. В. Бортовое оборудование локальной системы посадки воздушных судов на базе псевдоспутников // Молодёжь и наука. Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2011.
3. Борсоев В.А., Галеев Р.Г., Гребенников А.В., Кондратьев А.С. Использование псевдоспутников ГЛОНАСС/GPS в системах посадки воздушных судов. Научный вестник МГТУ ГА, № 164, М.: 2011. С. 17-24.
4. Ch.V. Naga Bhaskar, K. J. Silva Lorraine, D. Venkata Ratnam. Analysis of Near-Far Problem using Power Control Technique for GNSS based Applications/ Research Inventy: International Journal Of Engineering And Science, Vol.4, Issue 11 (November2014), PP 01-08.
5. Silva Lorraine, D.Ajay Kumar, Ch.V.Naga Bhaskar, K.Rosili Sipora. Analysis of Near-Far Effect and Multipath Mitigation. Techniques for Pseudolite Based Positioning Applications. IJECT Vol. 5, IssuE Spl – 3, Jan – March 2014.
6. Сейдж Э.П., Уайт Ч.С. Оптимальное управление системами. М.: Радио и связь, 1982. 392 с.
7. Черноусько, Ф. Л. Оптимальное управление при случайных возмущениях / Ф.Л. Черноусько, В.Б. Колмановский. М.: Наука, 1978. 352 с.

© 2016, Ерохин В.В.

Оптимальное управление мощностью псевдоспутника на основе радиовещательного автоматического зависимого наблюдения

© 2016, Erokhin V.V.

Pseudolite optimal power control on the automatic dependent surveillance-broadcast basis