

Труды Международной научно-технической конференции «Перспективные информационные технологии»

При проведении расчетов использовались следующие исходные данные: $m_e = 0.2\kappa r$, $m_1 = 6000\kappa r$, $m_2 = 20\kappa r$, $L_k = 30\kappa m$, a = 4, b = 5, баллистические коэффициенты $\sigma_1 = 1.257 \cdot 10^{-3} m^2 / \kappa r$, $\sigma_2 = 0.015 m^2 / \kappa r$; коэффициенты регулирования $p_1 = 0.243$, $p_2 = 7.824$ [4].

Таким образом, использование номинальной программы развертывания КТС без учета атмосферных возмущений приводит к большим ошибкам в конце развертывания, которые проявляются в колебаниях груза относительно вертикали. Учет аэродинамических сил при построении номинальных траекторий позволяет существенно уменьшить ошибки регулирования. Данный вывод остается в силе при изменении наклонения начальной орбиты центра масс КТС и при учете вращения атмосферы.

Литература

1. Zabolotnov Yu. Intoduction to Dynamics and Control in Space Tether System. Beijing: Science Press, 2013. 140 p.

2. Zabolotnov, Yu.M., Naumov, O.N. Motion of a Descent Capsule Relative to Its Center of Mass when Deploying the Orbital Tether System // J. Cosmic Research. – 2012. – 50 (2). – pp. 177-187.

3. Kruijff, M. Tethers in Space. The Netherlands: Delta - Utec Space Research, 2011. 432 p.

4. Заболотнова, О. Ю. Синтез алгоритмов управления для развёртывания космической тросовой системы // «Полёт». – 2010. – №11. – С. 36-42.

Р.А. Ершов, О.А. Морозов, В.Р. Фидельман

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ В СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ С КОДОВЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ ДОСТУПА В УСЛОВИЯХ ВЛИЯНИЯ ЭФФЕКТА ДОПЛЕРА

(Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского)

В настоящее время важное значение для спутниковых систем связи приобретают задачи обнаружения и позиционирования излучающего объекта методами пассивной пеленгации. Для решения задачи определения координат источников получили распространение многопозиционные пассивные системы. Одним из наиболее распространенных методов определения местоположения источников излучения, используемым в таких системах, является разностнодальномерный метод, требующей оценки взаимных временных задержек распространения сигнала многопозиционной системой приемных устройств [1].

Определение местоположения источника радиоизлучения разностнодальномерным методом основано на решении системы нелинейных уравнений



International Scientific Conference Proceedings "Advanced Information Technologies and Scientific Computing" PIT 2016

$$\begin{cases} \Delta R_{ij} = R_{iM} - R_{jM} = c(\tau_{iM} - \tau_{jM}) = c\Delta\tau_{ij}, \\ R_{iM} = \sqrt{(x_i - x_M)^2 + (y_i - y_M)^2 + (z_i - z_M)^2}, \\ R_{jM} = \sqrt{(x_j - x_M)^2 + (y_j - y_M)^2 + (z_j - z_M)^2}, \end{cases}$$
(1)

где ΔR_{ij} – разности расстояний между точкой излучения (x_M, y_M, z_M) и несколькими точками (искусственными спутниками Земли) приема сигнала с соответствующими координатами (x_i, y_i, z_i) , $\Delta \tau_{ij}$ – временные задержки распространения сигналов от источника между *i*-м и *j*-м приемниками, *c* – скорость света.

В настоящее время в спутниковых системах связи широко используется технология кодового разделения каналов (CDMA). Благодаря высокой спектральной эффективности, кодовое разделение каналов является радикальным решением проблемы эволюции систем связи по сравнению с временным и частотным разделением доступа. Целью данной работы является разработка алгоритма определения местоположения источников излучения в системах связи с кодовым разделением доступа на основе разностно-дальномерного метода.

Согласно (1) для применения разностно-дальномерного метода необходимо определить взаимные временные задержки распространения сигналов в системе. Асимптотически оптимальным в смысле максимального правдоподобия методом оценки временных задержек является метод, основанный на вычислении и анализе взаимной корреляции сигнала $s_1(t)$, который регистрируется с высоким отношением сигнал/шум и принимается за опорный, и сигнала $s_2(t)$, который принимается за исследуемый:

$$R_{12}(\tau) = \frac{1}{T} \int_{0}^{T} s_1(t) s_2^*(t+\tau) dt.$$
⁽²⁾

При этом взаимная временная задержка определяется по положению максимума взаимной корреляции:

$$\tau^* = \arg\max_{\tau} |R_{12}(\tau)|. \tag{3}$$

^т В случае наличия нескольких источников взаимная корреляционная функция имеет несколько максимумов, каждый из которых соответствует одному из источников. По положению максимумов взаимных корреляционных функций можно определить взаимные временные задержки (3), однако в случае обработки CDMA-сигналов при использовании задержек в качестве навигационных параметров разностно-дальномерного метода определения местоположения возникает задача соотнесения максимумов конкретным источникам. При использовании корреляционного метода возникает неоднозначность такого соотнесения.

Для устранения проблемы неоднозначности предлагается следующий алгоритм. Рассмотрим частный случай для трёх источников излучения и трёх ретранслирующих спутников. С помощью корреляционного метода (2, 3) на



Труды Международной научно-технической конференции «Перспективные информационные технологии» ПИТ 2016

первом шаге вычисляется одна из временных задержек Δt_{21} – задержка распространения сигнала от первого источника ко второму спутнику относительно первого спутника. Далее необходимо найти соответствующую данной задержку Δt_{31} распространения сигнала от этого же источника к третьему спутнику. Для этого строится сигнал \tilde{S}_2 путём сдвига сигнала второго спутника на величину задержки Δt_{21} , и вычисляется разность сигналов S_1 и \tilde{S}_2

 $S_{dif} = S_1 - \tilde{S}_2 = x_2(t) - x_2(t + \Delta t_{22} - \Delta t_{21}) + x_3(t) - x_3(t + \Delta t_{23} - \Delta t_{21})$, (4) где x_2, x_3 – сигналы соответственно второго и третьего источников, Δt_{ij} – задержка распространения сигнала от *j*-го источника к *i*-му спутнику. Как можно видеть из (4), разностный сигнал S_{dif} не содержит сигнала $x_1(t)$ от первого источника, поэтому задержку Δt_{31} можно вычислить на основе сравнения корреляционной функции R_{13} сигналов первого и третьего спутников, где присутствуют все корреляционные максимумы, соответствующие источникам (рис. 1а), с корреляционной функцией R_{dif3} разностного сигнала с сигналом S_3 на третьем спутнике, где пропадает корреляционный максимум, соответствующий первому источнику (рис. 16).

Пары задержек (Δt_{21} ; Δt_{31}) достаточно для определения местоположения первого источника. Аналогично определяются пары задержек, соответствующие остальным источникам, и, соответственно, местоположения этих источников на основе решения системы уравнений разностно-дальномерного метода.



Рис. 1. Взаимные корреляционные функции сигналов: а) первого и третьего спутников; б) разностного сигнала и сигнала третьего спутника



International Scientific Conference Proceedings "Advanced Information Technologies and Scientific Computing" PIT 2016

В работе проведено исследование устойчивости предложенного алгоритма к частотным сдвигам в принимаемых сигналах, неизбежно возникающих в спутниковых системах вследствие эффекта Доплера. Неполная компенсация эффекта Доплера влияет на устойчивость предложенного алгоритма. Критерий устойчивости при моделировании представлял собой отношение величин корреляционных максимумов:

$$K = \frac{R_{13}(\tau^*)}{R_{dif3}(\tau^*)},$$
(5)

где $\tau^* = \arg \max R_{13}(\tau).$

Таким образом, введённый критерий (5) характеризует то, насколько уменьшается корреляционный максимум после компенсации сигнала от источника. Исследование показало, что при частотном сдвиге до 200 Гц величина критерия (5) сохраняется достаточно большой, что позволяет дать состоятельные оценки взаимных временных задержек.

Поскольку в спутниковых системах связи могут возникать частотные сдвиги величины большей 200 Гц, то данный алгоритм в этих случаях не позволит достоверно оценить взаимные временные задержки (рис. 2).

Для получения достоверной оценки взаимных временных задержек необходима компенсация доплеровских сдвигов, например путём использования взаимной функции неопределённости сигналов [2-4]:

$$A(\tau,\Delta f) = \int_{0}^{t} s_1(t) s_2^*(t+\tau) \exp(-j2\pi\Delta ft) dt.$$
(6)



Для применения алгоритма «разностных сигналов» к оценке временных задержек распространения сигналов в системе и последующей оценки местоположения источников необходима предварительная обработка сигналов с целью компенсации доплеровского сдвига. Обработка заключается в расчёте взаимных функций неопределённости (6) для оценки доплеровского сдвига, затем выполняется непосредственная компенсация доплеровского сдвига:

$$s'(t) = s(t)\exp(-j2\pi\Delta ft). \tag{7}$$



После проведения компенсации доплеровского сдвига к обработке сигналов может быть непосредственно применен алгоритм «разностных сигналов».

Литература

1. Гришин Ю. П., Казаринов Ю. М., Ипатов П. В. Радиотехнические системы. – М.: Высш. шк., 1990. – 496 с.

2. Stein S. Algorithms for Ambiguity Function Processing // IEEE Transactions on acoustics, speech, and signal processing. Vol. ASSP-29, N. 3, 1981. – P. 588-599.

3. Логинов, А.А., Марычев, Д.С., Морозов, О.А., Фидельман, В.Р. Алгоритм вычисления функции неопределенности в задаче одновременной оценки частотно-временных характеристик сигналов. // Известия вузов. Поволжский регион. Технические науки. №3 (27). – 2013. – С. 62-73.

4. Ершов Р.А., Морозов О.А., Фидельман В.Р. Оценка взаимной временной задержки сигналов с псевдослучайной скачкообразной перестройкой частоты. // Известия высших учебных заведений. Радиофизика, Т. 58, №2, 2015 г. – с. 157-166.

В.Е. Зотеев, А.А. Свистунова

ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОВЕРХНОСТНО УПРОЧНЕННОМ ПОЛУПРОСТРАНСТВЕ

(Самарский государственный технический университет)

При расчете и исследовании полей остаточных напряжений и пластических деформаций в поверхностно упрочненном полупространстве одной из основных задач является задача достоверной оценки параметров аппроксимации экспериментальных зависимостей остаточных напряжений $\sigma_x(z)$. Эта зависимость, как правило, описывается аналитической функцией вида

$$\boldsymbol{\sigma}_{x}(z) = \boldsymbol{\sigma}_{0} \exp\left[-z^{2}\right] - \boldsymbol{\sigma}_{1} \exp\left[-\alpha z^{2}\right]$$
(1)

где σ_0 , σ_1 и α – параметры, подлежащие определению. Известный подход к решению этой задачи не предполагает в своих алгоритмах применения статистических методов обработки результатов эксперимента. Он, как правило, использует информацию о двух, специальным образом выбранных, точках кривой (1) и дополнительное условие, связывающее её параметры. При этом практически все точки эксперимента в вычислениях параметров зависимости (1) не участвуют, что является существенным недостатком такого метода.

Предлагается новый численный метод определения на основе экспериментальных данных параметров напряженного состояния поверхностно упрочненного полупространства. В основе метода лежит среднеквадратичное оценивание коэффициентов разностного уравнения, описывающего результаты экс-



International Scientific Conference Proceedings PIT 2016 "Advanced Information Technologies and Scientific Computing"

перимента для компоненты остаточных напряжений, возникающих в поверхности упрочненного полупространства после процедуры поверхностного пластического деформирования. Алгоритм этого метода включает следующие основные этапы:

– построение рекуррентной формулы, связывающей несколько последовательных дискретных значений зависимости (1) компоненты напряжений $\sigma_x(z)$;

 разработка разностных уравнений, описывающих результаты наблюдений и учитывающих случайный разброс в данных эксперимента;

формирование на основе разностных уравнений обобщенной регрессионной модели, коэффициенты которой известным образом связаны с параметрами исследуемой зависимости (1);

 среднеквадратичное оценивание коэффициентов обобщенной регрессионной модели, в основе которого лежит минимизация суммы квадратов отклонений модели (1) от результатов наблюдений по всем точкам эксперимента;

 вычисление параметров компоненты остаточных напряжений, возникающих в упрочненном слое полупространства;

 оценка погрешности результатов вычислений, а также адекватности построенной модели результатам эксперимента.

Построена система разностных уравнений при отсутствии ограничений, описывающая результаты эксперимента для компоненты напряжений $\sigma_x(z)$, и лежащая в основе численного метода параметрической идентификации напряженно-деформированного состояния:

$$\begin{cases} y_{0} = \lambda_{1} - \lambda_{2} + \varepsilon_{0}, \\ y_{1} = \lambda_{1}m_{1} - \lambda_{2}\lambda_{3}^{(i)} + \varepsilon_{1}, \\ y_{k-2}y_{k} = \lambda_{1}(m_{k}y_{k-2} + m_{k-2}y_{k} - \lambda_{1}^{(i)}m_{k}m_{k-2} + \lambda_{1}^{(i)}\lambda_{3}^{2(i)}m_{k-1}^{2} - 2\lambda_{3}^{(i)2}m_{k-1}y_{k-1}) + \lambda_{3}(\lambda_{3}^{(i)}y_{k-1}^{2}) + \eta_{k}, \\ \eta_{k} = \varepsilon_{k}(y_{k-2} - \lambda_{1}m_{k-2}) + 2\lambda_{3}^{2(i)}\varepsilon_{k-1}(\lambda_{1}^{(i)}m_{k-1} - y_{k-1}) + \varepsilon_{k-2}(y_{k} - \lambda_{1}m_{k}), \\ k = 2, N - 1. \end{cases}$$

где $m_k = \exp(-k^2 (\Delta z)^2)$, $y_k = \sigma_x (k\Delta z)$, k = 0, 1, 2, 3, ..., N - 1, – результаты эксперимента, Δr – шаг дискретизации зависимости (1); N – объем выборки результатов наблюдений; ε_k – случайный разброс в данных эксперимента;

$$\lambda_1 = \sigma_0, \lambda_2 = \sigma_1, \lambda_3 = \exp[-\alpha \tau^2]$$
(3)

Формулы (3) позволяют по найденным среднеквадратичным оценкам коэффициентов разностного уравнения (2) вычислить σ_0 , σ_1 и α модели (1). Если использовать условие, что твердого тела, эпюра напряжения $\sigma_{\theta}^{res}(r)$ должна быть самоуравновешенной, т.е. должно выполняться условие

$$\int_{0}^{\infty} \sigma_{x}(z)dz = 0 \tag{4}$$

(2)