$x(t_3)$, как начальное состояние движения на интервале $[t_3, \infty)$ можно вычислить минимальное значение функционала.

Библиографические ссылки

1. *Нахушев А.М.* Нагруженные уравнения и их применение. М.: Наука, 2012.
2. *Барсегян В.Р.* Задача управления для одной системы линейных нагруженных дифференциальных уравнений с неразделенными многоточечными промежуточными условиями // Изв. Ирк. гос. ун-та. Сер. Матем. 2017. Т. 21. С. 19-32.
3. *Барсегян В.Р.* Управление составных динамических систем и систем с многоточечными промежуточными условиями. М.: Наука, 2016.
4. *Barseghyan V.R.* Control of stage by stage changing linear dynamic systems // Yugoslav Journal of Operations Research. 2012. Vol. 22. № 1. P. 31-39.
5. *Барсегян В.Р., Шагинян С.Г., Барсегян Т.В.* Об одной задаче оптимальной стабилизации линейными составными системами // Известия НАН РА, Механика. 2014. Т. 67. № 4. С. 40-52.
6. *Альбрехт Э.Г., Шелементьев Г.С.* Лекции по теории стабилизации. Свердловск. 1972.
7. *Красовский Н.Н.* Проблемы стабилизации управляемых движений // Малкин Н.Г. Теория устойчивости движения. Доп. 4. М.: Наука, 1966. – С. 475-514.

ЗАДАЧА МУЛЬТИЛАТЕРАЦИИ ПО НЕСКОЛЬКИМ МОМЕНТАМ ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛА

Д.А. Бедин

Институт математики и механики им Н.Н. Красовского УрО РАН

Софьи Ковалевской 16, 620990 Екатеринбург, Россия

bedin@imm.uran.ru

Задача мультilaterации состоит в следующем: в некоторый неизвестный момент времени t объект, за которым ведётся наблюдение и который находится в точке r , передаёт радиосигнал. Этот сигнал принимают несколько станций с известными координатами $\{r_i\}_{i=1}^m$ в моменты времени t_i , измерение которых производится с случайными ошибками w_i . Можно записать следующее уравнение наблюдения (c — скорость света):

$$\begin{cases} t_i = t + \frac{1}{c} \|r - r_i\| + w_i, \\ i = 1, \dots, m. \end{cases}$$

По измерениям $\{t_i\}_{i=1}^m$ необходимо выработать оценку положения $\hat{r}$, минимизируя ошибку оценивания, например $\mathbf{E}\{(r - \hat{r})^2\}$.

Задача мультilaterации по математической постановке совпадает с задачей глобального позиционирования, решаемой в приёмниках GPS, и отличается тем, какие типичные значения принимают координаты станций r_i , с какой точностью возможно измерение времени, а также некоторыми другими техническими особенностями. Так, станции, как правило, располагаются на поверхности Земли, наблюдаемый объект (самолёт) обычно также находится недалеко от поверхности. Как следствие, все векторы $\{r - r_i\}_{i=1}^m$ близки к одной и той же плоскости (местного горизонта), и это затрудняет численное решение задачи, а в некоторых случаях делает его невозможным. Особенно велика ошибка оценивания по вертикальному направлению. С другой стороны, из-за переотражений или затенения сигнала какими-либо объектами на поверхности Земли достаточно часто сигнал «пропадает» — отсутствует приём на какой-то станции, и нет соответствующего t_i .

Такие особенности привели к идее объединять измерения, полученные от нескольких моментов передачи сигнала, и строить по ним общую оценку. Можно было бы использовать все доступные с начала наблюдения измерения, и осуществлять фильтрацию с задействованием модели движущегося объекта. Но такое решение не выглядит универсальным — для разных объектов приходилось бы использовать разные фильтры со специфическими настройками. Объединение измерений в небольшую «пачку» и использование самого простого предположения о движении — прямолинейного и равномерного — лишено такого недостатка. С другой стороны, такая обработка позволяет уменьшить влияние пропадающих измерений и увеличить точность наблюдения.

Модель наблюдения для задачи с несколькими моментами передачи следующая. Обозначим неизвестные моменты передачи сигнала t^j , а их количество — n , моменты времени измерений и их случайные ошибки — t_i^j и w_i^j , соответственно, тогда

$$\begin{cases} t_i^j = t^j + \frac{1}{c} \|r + v(t^j - t^n) - r_i\| + w_i^j, \\ i \in I_j, j = 1, \dots, n. \end{cases} \quad (1)$$

Здесь I_j — набор индексов станций, принявших сигнал, отправленный в момент t^j ; r , v — подлежащие определению положение и скорость объекта в момент времени t^n .

Решение задачи мультilaterации производится путём минимизации

ции функционала невязок, полученных по уравнению (1):

$$J = \sum_{j=1}^n \sum_{i \in I_j} \left(t_i^j - t^j - \frac{1}{c} \|r + v(t^j - t^n) - r_i\| \right)^2. \quad (2)$$

Функционал (2) не является выпуклым. Кроме того, значительную трудность доставляет различный масштаб переменных. Поэтому его оптимизация не является простой. Задача решена следующим образом. Представим $t^j = t^n + \Delta t^j$. Разности Δt^j можно определить с достаточной степенью точности, анализируя только t_i^j и не привлекая (1). Далее, с зафиксированными значениями Δt^j производится минимизация функционала (2) численным методом на основе метода Левенберга – Марквардта с динамически изменяемой константой регуляризации. Задача минимизации решается достаточно эффективно: получаемая точность определения горизонтальной компоненты r близка к границе точности Рао – Крамера [1].

Работа подготовлена при поддержке программы президиума РАН №30 «Теория и технологии многоуровневого децентрализованного группового управления в условиях конфликта и кооперации».

Библиографические ссылки

1. *Chernyak, V.* Using potential accuracy of object localisation with multilateration systems // Proceedings of ESAV'08, September 3–5, 2008, Capri, Italy.

МНОГОГИПОТЕЗНЫЙ АЛГОРИТМ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТРАЕКТОРИИ ВОЗДУШНОГО СУДНА

Д.А. Бедин, А.Г. Иванов, А.А. Федотов

Институт математики и механики им Н.Н. Красовского УрО РАН
Софьи Ковалевской 16, 620990 Екатеринбург, Россия
{bedin,iagsoft}@imm.uran.ru, andreyfedotov@mail.ru

Рассматривается задача восстановления траектории воздушного судна (ВС) по поступающим радиолокационным замерам в текущем времени: после поступления очередного радиолокационного замера алгоритм должен «мгновенно» выдать оценку положения ВС [1].

В алгоритме производится построение пучка траекторий, представляющих наиболее возможные варианты траекторного движения ВС.