

Жестко соединенная с ножкой крепи наклонная упорная стойка, представляющая собой дополнительную опору арки на почву, позволяет перераспределить общее давление на комплект крепи между этими двумя опорами. При этом за счет снижения величины давления на ножку крепи уменьшается величина вдавливания в почву выработки.

Библиографический список

1. Черняк И. Л., Ярунин С. А. Управление состоянием массива горных пород. М.: Недра, 1995. – 395 с.
2. Литвинский Г. Г., Гайко Г. И., Кулдыраев Н. И. Стальные рамные крепи горных выработок. К.: Техніка, 1999. – 216 с.
3. Бондаренко Ю. В., Соловьев Г. И., Захаров В. С. Изменения деформаций контура кровли выемочной выработки при использовании каркасной крепи усиления // Известия Донецкого горного института. 1999. №1. С.66-70.
4. Соловьев Г. И., Панфилов Ю. Н., Толкачев А. Ф., Малышева Н. Н. Определение рациональных параметров арочной крепи с усиливающим сегментом жесткости // Вісті Донецького гірничого інституту, №1, 2005 р., С.39-46.
5. Соловьев Г. И., Панфилов Ю. Н., О продольно-жестком усилении основной крепи подготовительных выработок глубоких шахт // Известия Тульского государственного университета, 2005. С.177-185.
6. Справочник по теории упругости (для инженеров-строителей). Под ред. П.М.Варвака и А.Ф.Рябова. Будівельник, 1971. – 420 с.
7. Шевченко Ф. Л., Жеданов С. А. Опір матеріалів. Спеціальний курс. Метод початкових параметрів. К.: НМК ВО, 1992. – 228 с.

© Соловьев Г. И., Толкачев А. Ф., Формос В. Ф., Нефедов В. Е., Панфилов Ю. Н., 2006

УДК 626.7.018.7:621.396.96

Канд. техн. наук. ПАСЛЕН В. В., инж. ЩЕРБОВ И. Л., инж. МОТЫЛЕВ К. И., инж. МИХАЙЛОВ М. В. (ДонНТУ)

СОВМЕСТНАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ ТРАЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ НАЗЕМНЫХ И ВОЗДУШНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ

Мониторинг больших площадей земной поверхности для целей топографии, геологии, экологии эффективно выполнять с различных летательных аппаратов (ЛА). Борт ЛА используется в качестве носителя съемочной аппаратуры. Для выполнения этой работы необходимо знать пространственные координаты ЛА в любой момент времени.

При конструировании и исследовании летных характеристик самолетов и вертолетов в авиастроении применяются высокопроизводительные информационно-измерительные системы (ИИС), базирующихся на данных радиолокационных (РЛС) и кинотеодолитных станций (КТС). В основе математического метода лежат пространственная засечка ЛА. Для повышения точности и достоверности положения ЛА используется избыточная информация о траектории полета, получаемая с большой частотой с одной или более РЛС или КТС.

Пространственная избыточность (ПИ) [1] является следствием определения положения ЛА более чем с одной РЛС. Временная избыточность (ВИ) [1] связана с высоким темпом съема информации (для КТС – 3–4 раза в секунду; для РЛС – 1 раз в секунду). Эти два вида избыточности используются как отдельно, так и в комплексе, для повышения точности конечных результатов [1, 2].

Уровень прикладных методов обработки информации в значительной мере определяется возможностями техники измерений. Различные аспекты решения задач обработки данных траекторных измерений рассматривались в работах отечественных и зарубежных авторов: П.А. Агаджанова, В.Е. Дулевича, Б.Ф. Жданюка, Н.Д. Огородничука [1], В.К. Бакличкого, В.В. Паслена [2], Д. Андрюса, Н. Хьюбера, и других [3–5].

В начале 60-х годов на основе критерия наименьших квадратов профессором Огородничуком Н. Д. был разработан обобщенный (статистический) метод [1], предусматривающий реализацию пространственной избыточности.

Используя пространственно-избыточную информацию можно было бы составить из нее некоторое число сочетаний минимального объема (по три координаты) и, обработав их простыми методами, усреднить результаты. Но найденная таким образом оценка не учитывает неравноточность измерений различных первичных параметров, кроме того простые способы обработки не приводят к решению, если точка пересечения поверхностей положения вследствие ошибок измерения отсутствует.

Обобщенный метод обработки информации лишен указанных недостатков. Основа метода заключается в отыскании точки, равноудаленной от поверхностей положения с учетом погрешности средств измерений [1].

Рассмотрим реализацию пространственной избыточности. Для упрощения пояснения основы метода рассмотрим решение в двумерном пространстве (см. рис. 1).

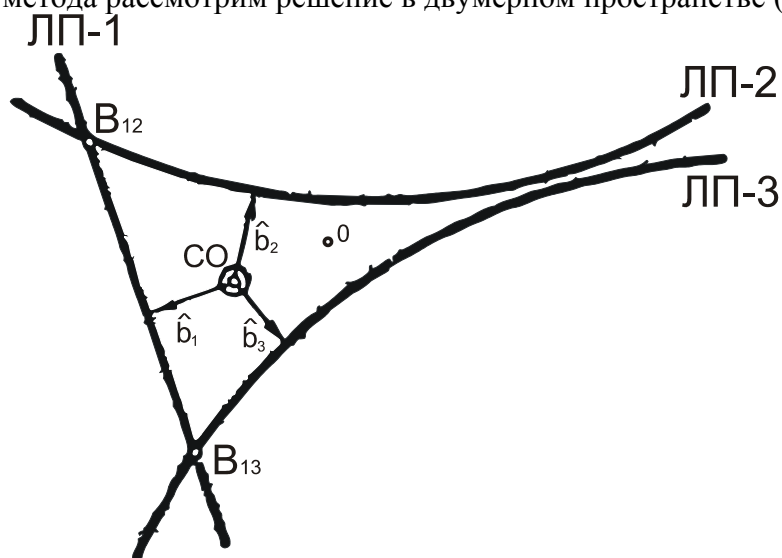


Рис. 1. Нахождение положения объекта обобщенным методом

Пусть точка O – точка положения исследуемого объекта, ЛП1 и ЛП2 – линии положения, полученные от одной станции в результате измерения. ЛП3 – линия положения взятая от второй станции. Тогда при использовании простых методов за положение объекта приняли бы точку V₁₂ или V₁₃ (точки пересечения линий). При использовании обобщенного метода решением будет точка CO, которая равноудалена от линий положения.

Для отыскания точки СО применяется обобщенный метод Ньютона. Формула рекуррентного соотношения для последовательного приближения к точке СО имеет вид:

$$\widehat{r}_{\nu+1} = \widehat{r}_{\nu} + \left(\sum_{j=1}^m \frac{f_{j\nu} f_{j\nu}^T}{\sigma_{\xi_j}^2} \right)^{-1} \sum_{j=1}^m \frac{f_{j\nu}}{\sigma_{\xi_j}^2} [\xi_j - \xi_j(\widehat{r}_{\nu})],$$

где $\widehat{r}_{\nu+1}$ - пространственные координаты в $(\nu + 1)$ -м приближении;

\widehat{r}_{ν} - пространственные координаты в ν -м приближении;

$\sigma_{j\nu}^2$ - дисперсия ошибки области искомой оценки;

$f_{j\nu}$ - вектор-столбец частных производных;

ξ_j - уравнение поверхности положения.

В случае обработки равноточных измерений получим:

$$\widehat{r}_{\nu+1} = \widehat{r}_{\nu} + \left(\sum_{j=1}^m f_{j\nu} f_{j\nu}^T \right)^{-1} \sum_{j=1}^m f_{j\nu} [\xi_j - \xi_j(\widehat{r}_{\nu})]$$

Для применения алгоритма необходимо выполнение следующих условий:

– данные со всех станций снимаются одновременно или приводятся к единым моментам времени;

– влияние систематических ошибок исключено введением поправок;

– дисперсия $\sigma_{\xi_j}^2$ ошибок измерения известна.

Применение данного метода позволяет [1]:

– обеспечивать оптимальную (по точности) обработку избыточной информации;

– производить обработку минимально-необходимого объема измерительной информации с сохранением точности соответствующих простых методов;

– обрабатывать сбойные измерения (т.е. устойчив к ним);

– сочетаться с любыми методами реализации временной избыточности (т. е. сглаживанием) при последовательной обработке данных измерений;

– параллельно с обработкой осуществлять самоконтроль точности измерительных станций;

– позволяет получить координаты исследуемого объекта в выбранной системе координат (например, привязанной к центру Земли).

Средняя квадратическая ошибка оценки местоположения объекта определяется по формуле [5]:

$$\sigma_r^2 = Sp \left(\sum_{j=1}^m \frac{f_j f_j^T}{\sigma_{\xi_j}^2} \right)^{-1},$$

где Sp – сумма диагональных членов (след) матрицы;

Матричная форма оценки точности очень компактна и едина для пространства любой мерности. Однако для практического применения ее необходимо преобразовать к другим форматам, более подходящим для этих целей.

Алгебраическая форма математического ожидания квадрата модуля ошибки σ_r^2 принимает вид:

$$\sigma_r^2 = \frac{\sum_{j=1}^m \frac{f_{jx}^2}{\sigma_{\xi j}^2} \sum_{j=1}^m \frac{f_{jy}^2}{\sigma_{\xi j}^2} - \left(\sum_{j=1}^m \frac{f_{jx} f_{jy}}{\sigma_{\xi j}^2} \right)^2 + \sum_{j=1}^m \frac{f_{jx}^2}{\sigma_{\xi j}^2} \sum_{j=1}^m \frac{f_{jz}^2}{\sigma_{\xi j}^2} - \sum_{j=1}^m \frac{f_{jx}^2}{\sigma_{\xi j}^2} \sum_{j=1}^m \frac{f_{jy}^2}{\sigma_{\xi j}^2} \sum_{j=1}^m \frac{f_{jz}^2}{\sigma_{\xi j}^2} - \sum_{j=1}^m \frac{f_{jx}^2}{\sigma_{\xi j}^2} \left(\sum_{j=1}^m \frac{f_{jy} f_{jz}}{\sigma_{\xi j}^2} \right)^2 - \sum_{j=1}^m \frac{f_{jy}^2}{\sigma_{\xi j}^2} \left(\sum_{j=1}^m \frac{f_{jx} f_{jz}}{\sigma_{\xi j}^2} \right)^2 - \left(\sum_{j=1}^m \frac{f_{ix} f_{jz}}{\sigma_{\xi j}^2} \right)^2 + \sum_{j=1}^m \frac{f_{jy}^2}{\sigma_{\xi j}^2} \sum_{j=1}^m \frac{f_{jz}^2}{\sigma_{\xi j}^2} - \left(\sum_{j=1}^m \frac{f_{jy} f_{jz}}{\sigma_{\xi j}^2} \right)^2 - \sum_{j=1}^m \frac{f_{iz}^2}{\sigma_{\xi j}^2} \left(\sum_{j=1}^m \frac{f_{jx} f_{jy}}{\sigma_{\xi j}^2} \right)^2 + 2 \sum_{j=1}^m \frac{f_{jx} f_{jy}}{\sigma_{\xi j}^2} \sum_{j=1}^m \frac{f_{jx} f_{jz}}{\sigma_{\xi j}^2} \sum_{j=1}^m \frac{f_{jy} f_{jz}}{\sigma_{\xi j}^2}}$$

Предположение о взаимной некоррелированности ошибок измерений в большинстве случаев действительно является вполне реальным и подтвержденным фактом [1]. Однако это не исключает возможности возникновения взаимной корреляции ошибок первичных параметров при определенных условиях измерений и обработки информации.

Одно из таких условий выполняется при совместной обработке информации различных измерительных средств, расположенных на больших расстояниях друг от друга и от начала общей системы координат, что неизбежно при совместной обработке наземной и воздушной информации [6]. Взаимная корреляция возникает вследствие преобразования первичных параметров данной станции из одной местной системы координат в другую, развернутую параллельно общей системе координат. Такое преобразование необходимо в связи с тем, что при практическом использовании алгоритмов обобщенного метода все входящие в них величины должны быть представлены в единой системе координат.

При значительном удалении станции от начала общей системы координат приходится применять более сложный, но точный и универсальный метод. Для его осуществления необходимо проделать следующую очередность операций:

- дополнить множество первичных координат, измеренных станцией в данный момент времени, до минимально-необходимого объема введением фиктивных координат с нулевой дисперсией;
- преобразовать тройки первичных координат (включая дальность) с помощью соответствующего простого метода в прямоугольные декартовы координаты местной системы;
- повернуть оси местной системы координат параллельно осям геоцентрической системы координат;
- повернуть оси полученной системы параллельно осям общей системы координат;
- преобразовать прямоугольные декартовы координаты развернутой местной системы в первичные координаты ξ ;
- определить матрицу взаимной корреляции ошибок (B_{ξ})

Общая взаимокорреляционная матрица B ошибок преобразованных первичных параметров составляется из элементов матрицы B_{ξ} . В нее не включаются элементы, связанные с фиктивными первичными параметрами.

Статистическая оценка может быть найдена путем минимизации квадрата Δ -длины вектора отклонений:

$$\Delta \xi_{\Lambda}^2 = (\xi - \xi(r))^T \Lambda (\xi - \xi(r)),$$

которая приводит к уравнению вида:

$$F^T \Lambda (\xi - \xi(r)) = 0,$$

где $F^T = (f_1 \dots f_j \dots f_m)$ - транспонированная матрица частных производных (Якобиева матрица);

$\Lambda = B^{-1}$ - весовая матрица, обратная матрице взаимной корреляции ошибок измерений.

Ввиду нелинейности полученного уравнения относительно r его решение находится методом последовательных приближений с помощью рекуррентного соотношения:

$$\hat{r}_{v+1} = \hat{r}_v + (F_v^T \Lambda F_v)^{-1} F_v^T \Lambda [\xi - \xi(\hat{r}_v)],$$

являющегося обобщением итеративного метода Ньютона.

Средняя квадратическая ошибка оценки местоположения объекта определяется так:

$$\sigma_{\hat{r}}^2 = Sp(F^T \Lambda F)^{-1},$$

В результате исследования обработки данных внешнетраекторных измерений ЛА получены следующие результаты:

– для повышения точности определения вторичных координат объектов необходима последовательная обработка пространственной и временной избыточности данных внешнетраекторных измерений;

– применение обобщенного метода и алгоритма адаптивного линейного оптимального сглаживания позволяет существенно повысить точность конечных результатов.

Также были получены следующие практические результаты:

– исследования области применения предложенных методов показало их пригодность и реализуемость на современном ПЭВМ для определения трехмерных координат любых объектов;

– созданы программные реализации исследуемых алгоритмов.

Библиографический список

1. **Огороднийчук Н. Д.** Обработка траекторной информации. Ч. 1. – К.: КВВАИУ, 1981. – 141 с.
2. **Паслен В. В.** Исследование алгоритмов сглаживания данных траекторных измерений// Збірник тез VI Міжнародної молодіжної науково-практичної конференції “Людина і космос”. – Дніпропетровськ: НЦАОМУ, 2002. – 372 с.
3. **Михайлов И.В., Паслен В.В.** К истории развития методов обработки данных внешнетраекторных измерений// Міжнародна молодіжна науково-практична конференція “Людина і космос”: Збірник тез. – Дніпропетровськ: НЦАОМУ, 2005. – С.33.
4. **Михайлов М.В., Мотылев К.И., Щербов И.Л., Паслен В.В.** История возникновения и развития обобщенных методов и адаптивных алгоритмов обработки траекторной информации// Матеріали ІV Міжнародної науково-практичної конференції “Динаміка наукових досліджень 2005”. Том 25. Історія. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2005. – 48с.
5. **Мотылев К.И., Михайлов М.В., Паслен В.В.** Обработка данных траекторных измерений, обладающих пространственной избыточностью// Наукові космічні дослідження: Школа-семинар для молодих науковців: Матеріали виступів: (с.Жукін, Київська область, 2005р.)/Уклад.: Н.М.Куссуль, А.Ю.Шелестов, А.М.Лавренюк К.: ІВЦ “Видатництво “Політехніка”, 2005. – 37-39с.
6. **Огороднийчук Н.Д., Паслен В.В.** Алгоритм совместной реализации пространственной и временной избыточности данных внешнетраекторных измерений// Радиоэлектронное оборудование летательных аппаратов. Вып. 3. – К.: КВВАИУ. 1989. – с. 85–89.

© Паслен В. В., Щербов И. Л., Мотылев К. И., Михайлов М. В., 2006