

捷联惯导/北斗高精度组合导航方法研究

周 懿, 汪小飞, 田永锋, 郑永梅

(中航飞机股份有限公司汉中飞机分公司, 陕西 汉中 723213)

摘要: 提出采用紧组合方式进行捷联惯导/北斗组合导航设计, 首先对捷联惯导与北斗系统进行误差分析与建模, 将捷联惯导系统误差、北斗等效时钟误差相应的距离(伪距误差)以及等效时钟频率误差相应的距离率(伪距率误差)作为组合导航系统状态; 利用捷联惯导位置输出与北斗接收机星历输出构造获得等效伪距, 将其与北斗接收机测量的伪距对应相减作为量测, 推导建立对应的量测方程, 采用卡尔曼滤波设计捷联惯导/北斗组合导航滤波算法; 仿真结果表明, 该组合导航方法的速度精度达到 ± 0.05 m/s, 位置精度达到 ± 3.2 m, 水平姿态精度达到 $\pm 0.4'$, 航向精度达到 $\pm 1.6'$ 。

关键词: 捷联惯导系统; 北斗导航系统; 组合导航; 紧组合; 伪距

Research on SINS/BDS Precise Integrated Navigation Method

Zhou Yi, Wang Xiaofei, Tian Yongfeng, Zheng Yongmei

(AVIC Aircraft Co. Ltd. Branch in Hanzhong, Hanzhong 723213, China)

Abstract: Tightly coupled model was adopted to design strapdown inertial navigation system (SINS) / Bei Dou system (BDS) integrated navigation algorithm. Errors of SINS and BDS were analyzed and modeled firstly. Errors of SINS, pseudo range error and pseudo range rate error of BDS were chosen as states of the integrated navigation system. Position outputs of SINS and satellite ephemeris outputs of BDS receiver were taken to construct the equivalent pseudo range. Then the difference between the equivalent pseudo range and the pseudo measured by BDS receiver was chosen as the measurement, thus the measurement equation is built. Kalman filter was adopted design SINS/BDS integrated navigation filtering algorithm. Simulation results showed that, the velocity accuracy of this integrated navigation method reached ± 0.05 m/s, the position accuracy reached ± 3.2 m, the horizontal attitude accuracy reached $\pm 0.4'$, and the heading accuracy reached $\pm 1.6'$.

Keywords: strapdown inertial navigation system; Beidou system; integrated navigation; tightly coupled; pseudo range

0 引言

高精度导航是制导炸弹、制导炮弹、导弹等高端武器实现精确打击的根本保证。目前, 国外在诸多制导武器中广泛采用了惯性/GPS组合导航方式, 如美国最新研制的高超巡航导弹 HyTech 计划, 采用 INS/GPS 制导方式, 命中精度达到 9 m^[1]; 美军在科索沃战争中使用的联合制导炸弹 JDAM 采用紧组合方式将惯性测量部件 (IMU) 与 GPS 进行组合制导, 圆概率误差达到 10 m。但是, GPS 受美国国防部直接控制, 使用权受制于人, 对于我国在战时使用势必遇到很大困难, 因此惯性/GPS 组合导航系统难以直接用于我国国防装备。

目前, 我国已经初步建立拥有绝对主权的北斗卫星导航系统, 这意味着可以不依赖于 GPS 而实现高精度导航定位, 为此可将惯导系统与北斗系统结合起来进行组合导航。文献 [2-4] 研究了采用一代北斗与惯导进行组合导航的方法, 其中文献 [2, 3] 将惯导与北斗的位置输出对应相减作为量测, 文献 [4] 将两者的位置、速度输出共同作为量测, 两种滤波方法均获得有效收敛, 但是其组合导航精度有限, 定位精度约为 30 m^[4]。文献 [5] 基于北斗二代接收机, 采用 H_∞ 滤波用于惯性/北斗位置、速度组合模式, 有效提高了滤波的稳定性, 但组合导航精度仍然有限。文献 [6] 研究了三星+高度表的无源北斗/INS 组合导航方法, 将一代北斗接收机测得的伪距

作为量测, 采用 UKF 解决量测方程的非线性问题, 有效提高了组合导航精度, 但滤波算法较为复杂, 而且要求北斗的 3 颗星均能有效搜获; 文献 [7] 将北斗二代接收机输出的伪距作为量测, 并采用人工鱼群粒子滤波算法来解决量测方程的非线性问题。

由于基于卫星伪距信息的紧组合方式能够有效提高组合导航系统的抗干扰性^[8], 同时能够提高组合导航精度, 为此本文采取紧组合方式进行捷联惯导/北斗组合导航设计, 并为了避免量测方程的非线性问题, 利用捷联惯导位置输出与北斗接收机星历输出解算获得等效伪距, 将其与北斗接收机测量的伪距对应相减作为观测量, 采用卡尔曼滤波研究组合导航滤波算法。

1 捷联惯导/北斗高精度组合导航方案

由于采取紧组合方式进行捷联惯导/北斗组合导航设计, 因此直接利用北斗接收机输出的伪距、星历数据以及捷联惯导输出的导航数据来构造组合导航量测信息, 并采用间接法滤波设计, 即以捷联惯导和北斗的系统误差作为组合导航滤波器的系统状态。

首先, 根据捷联惯导输出的载体位置参数与北斗接收机输出的星历数据, 利用相关算法实时解算获得等效伪距 ρ_I ; 然后, 利用该等效伪距 ρ_I 与北斗接收机实际输出的伪距 ρ_B 相减作为组合导航的量测; 接着, 将量测送入组合导航滤波器中进行滤波计算, 获得系统状态的最优估计结果; 最后, 利用该估计结果实时地对捷联惯导系统进行误差校正 (如图 1 所示)。

收稿日期:2015-10-19; 修回日期:2015-11-11。

作者简介:周懿(1982-),男,硕士,工程师,主要从事机载航电系统及测试技术方向的研究。

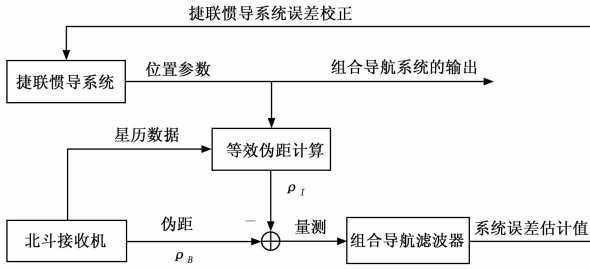


图 1 捷联惯导/北斗高精度组合导航的原理方案框图

2 捷联惯导/北斗组合导航系统误差模型与状态方程

为了实现捷联惯导/北斗组合导航滤波器的设计，首先需要分析建立捷联惯导与北斗系统的误差模型，并以此选取组合导航滤波器的系统状态、建立状态方程。

2.1 捷联惯导系统的误差模型

由于惯性器件误差是捷联惯导系统最主要的误差源，为此需先建立陀螺仪和加速度计的误差模型。在组合导航设计中，为了尽量降低滤波器状态的维数，同时经过有效的标定补偿后，陀螺仪误差主要考虑常值漂移和白噪声。因此，陀螺仪的误差模型可建立如下：

$$\epsilon_i(t) = \epsilon_{bi}(t) + \omega_{gi}(t) \quad (i = x, y, x) \quad (1)$$

其中： ϵ_{bi} 为陀螺的常值漂移，可用随机常数来描述，即 $\dot{\epsilon}_{bi} = 0$ ； ω_{gi} 为陀螺的白噪声，即 $E[\omega_{gi}(t)\omega_{gi}(\tau)] = q_{gi}\delta(t-\tau)$ ， q_{gi} 为白噪声的方差强度。

同样，加速度计误差则主要考虑常值误差和白噪声，因此其误差模型为：

$$\nabla_i(t) = \nabla_{bi}(t) + \omega_{ai}(t) \quad (i = x, y, x) \quad (2)$$

其中： ∇_{bi} 为加速度计的常值误差，同样用随机常数来描述，即 $\dot{\nabla}_{bi} = 0$ ； ω_{ai} 为加速度计的白噪声，即 $E[\omega_{ai}(t)\omega_{ai}(\tau)] = q_{ai}\delta(t-\tau)$ ， q_{ai} 为白噪声的方差强度。

由于惯性器件本身存在误差，这就导致捷联惯导系统参数也存在一定误差，具体包括数学平台姿态误差、速度误差、位置误差，上述误差的模型方程可参见有关文献，本文在此就不再赘述。

2.2 北斗导航系统的误差模型

北斗导航系统的定位误差实质上是由测距误差所引起，因此直接对其测距误差进行分析建模；而且，文中在设计组合导航滤波算法时采用伪距组合方式，建立北斗系统的测距误差模型（即伪距误差模型）有利于滤波算法设计。

北斗导航系统的大部分测距误差都可以从导航电文中提取相关信息进行有效修正，但是经过修正仍然会存在一些随机误差，这些误差中最主要的是由接收机时钟误差所引起的。因此，北斗导航系统的测距误差可以等效成时钟误差对应的距离，而接收机时钟误差与时钟频率误差之间的关系建模则比较清楚，通常用一阶马尔可夫过程来描述。从而，根据上述分析，北斗导航系统的测距误差模型可以描述如下：

$$\dot{\delta\rho} = \delta\eta + \omega_\rho \quad (3)$$

$$\dot{\delta\eta} = -\beta\delta\eta + \omega_\eta \quad (4)$$

其中： $\delta\rho$ 为等效时钟误差相应的距离（即伪距误差）， $\delta\eta$ 为等效时钟频率误差相应的距离率（即伪距率误差）， β 为反相关

时间常数， ω_ρ 、 ω_η 为白噪声。

2.3 捷联惯导/北斗组合导航的系统状态方程

结合前面所建立的捷联惯导系统与北斗导航系统误差模型，选取捷联惯导/北斗组合导航的状态变量为：捷联惯导的数学平台失准角 ϕ_E 、 ϕ_N 、 ϕ_U ，速度误差 δv_E 、 δv_N 、 δv_U ，位置误差 δL 、 $\delta\lambda$ 、 δh ，陀螺随机常值漂移 ϵ_{bx} 、 ϵ_{by} 、 ϵ_{bz} ，加速度计随机常值误差 ∇_{bx} 、 ∇_{by} 、 ∇_{bz} ；北斗导航系统伪距误差 $\delta\rho$ ，伪距率误差 $\delta\eta$ 。即组合导航系统状态向量 \mathbf{X} 为：

$$\mathbf{X} = [\phi_E, \phi_N, \phi_U, \delta v_E, \delta v_N, \delta v_U, \delta L, \delta\lambda, \delta h, \epsilon_{bx}, \epsilon_{by}, \epsilon_{bz}, \nabla_{bx}, \nabla_{by}, \nabla_{bz}, \delta\rho, \delta\eta]^T \quad (5)$$

根据捷联惯导与北斗的系统误差模型，可列出捷联惯导/北斗组合导航的系统状态方程为：

$$\dot{\mathbf{X}} = \mathbf{F}\mathbf{X} + \mathbf{G}\mathbf{W} \quad (6)$$

其中： \mathbf{F} 为系统状态矩阵（17×17）； \mathbf{G} 为系统噪声驱动阵（17×8）；系统白噪声 $\mathbf{W} = [\omega_{gx}, \omega_{gy}, \omega_{gz}, \omega_{ax}, \omega_{ay}, \omega_{az}, \omega_\rho, \omega_\eta]^T$ 。

3 捷联惯导/北斗组合导航的量测方程

捷联惯导/北斗组合导航采用紧组合方式，将捷联惯导位置输出对应的等效伪距与北斗接收机输出的伪距分别对应相减作为量测，为此需要首先根据捷联惯导输出的位置信息与北斗接收机输出的星历数据，构造获得与捷联惯导位置输出对应的等效伪距 ρ_i 。

设捷联惯导输出位置在地球坐标系中的坐标为 (x_I, y_I, z_I) ，其可以利用捷联惯导输出的经纬度和高度经过计算而获得；已知北斗导航系统第 i 颗卫星 t 时刻在地球坐标系中位置坐标为 (x_{si}, y_{si}, z_{si}) ，则与捷联惯导位置输出对应的等效伪距 ρ_{li} （对应于第 i 颗卫星）为：

$$\rho_{li} = [(x_I - x_{si})^2 + (y_I - y_{si})^2 + (z_I - z_{si})^2]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

由于式（7）是非线性方程，需要进行线性化处理，将其相对于载体位置真实值 (x, y, z) 处展开成泰勒级数，忽略高阶项，只取前两项可得：

$$\rho_{li} = [(x - x_{si})^2 + (y - y_{si})^2 + (z - z_{si})^2]^{\frac{1}{2}} + \frac{(x - x_{si})(x_I - x)}{[(x - x_{si})^2 + (y - y_{si})^2 + (z - z_{si})^2]^{\frac{1}{2}}} + \frac{(y - y_{si})(y_I - y)}{[(x - x_{si})^2 + (y - y_{si})^2 + (z - z_{si})^2]^{\frac{1}{2}}} + \frac{(z - z_{si})(z_I - z)}{[(x - x_{si})^2 + (y - y_{si})^2 + (z - z_{si})^2]^{\frac{1}{2}}} \quad (8)$$

设捷联惯导的位置误差（在地球系中）分别为 δx 、 δy 、 δz ，即 $\delta x = x_I - x$ ， $\delta y = y_I - y$ ， $\delta z = z_I - z$ ，并记 $r_i = [(x - x_{si})^2 + (y - y_{si})^2 + (z - z_{si})^2]^{\frac{1}{2}}$ ，则根据式（8）可得

$$\rho_{li} = r_i + \frac{(x - x_{si})\delta x}{r_i} + \frac{(y - y_{si})\delta y}{r_i} + \frac{(z - z_{si})\delta z}{r_i} \quad (9)$$

记 $\frac{x - x_{si}}{r_i} = e_{i1}$ ， $\frac{y - y_{si}}{r_i} = e_{i2}$ ， $\frac{z - z_{si}}{r_i} = e_{i3}$ ，则根据式（9）可将对应于捷联惯导位置输出的等效伪距 ρ_{li} （对应于第 i 颗卫星）表示为：

$$\rho_{li} = r_i + e_{i1}\delta x + e_{i2}\delta y + e_{i3}\delta z \quad (10)$$

由于北斗导航系统的伪距误差为 $\delta\rho$ ，则北斗接收机输出的伪距 ρ_{Bi} （对应于第 i 颗卫星）可表示为：

$$\rho_{Bi} = r_i + \delta\rho + v_{\rho i} \quad (11)$$

其中: $v_{\rho i}$ 为北斗接收机输出伪距的白噪声。

将计算获得的捷联惯导等效伪距 ρ_{Bi} 与北斗接收机输出的伪距 ρ_{B_i} ($i=1, 2, 3, 4$, 分别对应于 4 颗卫星) 相减作为组合导航的量测, 记为 \mathbf{Z} , 即:

$$\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} \rho_{B1} - \rho_{B1} \\ \rho_{B2} - \rho_{B2} \\ \rho_{B3} - \rho_{B3} \\ \rho_{B4} - \rho_{B4} \end{bmatrix} \quad (12)$$

将式 (10) 与 (11) 代入到式 (12) 中可得:

$$\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} e_{11}\delta x + e_{12}\delta y + e_{13}\delta z - \delta\rho - v_{\rho 1} \\ e_{21}\delta x + e_{22}\delta y + e_{23}\delta z - \delta\rho - v_{\rho 2} \\ e_{31}\delta x + e_{32}\delta y + e_{33}\delta z - \delta\rho - v_{\rho 3} \\ e_{41}\delta x + e_{42}\delta y + e_{43}\delta z - \delta\rho - v_{\rho 4} \end{bmatrix} \quad (13)$$

而捷联惯导系统在地球坐标系中的位置误差 $\delta x, \delta y, \delta z$ 与其在地理坐标系中的位置误差 $\delta L, \delta \lambda, \delta h$ 之间满足如下关系:

$$\delta x = \delta h \cos L \cos \lambda - \delta L (R_N + h) \sin L \cos \lambda - \delta \lambda (R_N + h) \cos L \sin \lambda \quad (14)$$

$$\delta y = \delta h \cos L \sin \lambda - \delta L (R_N + h) \sin L \sin \lambda + \delta \lambda (R_N + h) \cos L \cos \lambda \quad (15)$$

$$\delta z = \delta h \sin L + \delta L \cos L (R_N - R_N f^2 + h) \quad (16)$$

于是, 将式 (14) ~ (16) 代入到式 (13) 中, 经整理可得:

$$\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} a_{11}\delta L + a_{12}\delta \lambda + a_{13}\delta h - \delta\rho - v_{\rho 1} \\ a_{21}\delta L + a_{22}\delta \lambda + a_{23}\delta h - \delta\rho - v_{\rho 2} \\ a_{31}\delta L + a_{32}\delta \lambda + a_{33}\delta h - \delta\rho - v_{\rho 3} \\ a_{41}\delta L + a_{42}\delta \lambda + a_{43}\delta h - \delta\rho - v_{\rho 4} \end{bmatrix} \quad (17)$$

其中: $a_{i1} = -e_{i1}(R_N + h)\sin L \cos \lambda - e_{i2}(R_N + h)\sin L \sin \lambda + e_{i3}\cos L (R_N - R_N f^2 + h)$, $a_{i2} = -e_{i1}(R_N + h)\cos L \sin \lambda + e_{i2}(R_N + h)\cos L \cos \lambda$, $a_{i3} = e_{i1}\cos L \cos \lambda + e_{i2}\cos L \sin \lambda + e_{i3}\sin L$ ($i=1, 2, 3, 4$)。

从而, 结合组合导航系统状态向量 \mathbf{X} , 根据式 (17) 可以列出捷联惯导/北斗组合导航的量测方程之一为:

$$\mathbf{Z} = \mathbf{H}\mathbf{X} + \mathbf{V} \quad (18)$$

其中: \mathbf{H} 为量测矩阵 (4×17), 量测白噪声 $\mathbf{V} = [v_{\rho 1}, v_{\rho 2}, v_{\rho 3}, v_{\rho 4}]^T$ 。

获得组合导航的状态方程和量测方程以后, 需要先对它们进行离散化处理, 才能使用离散型卡尔曼滤波方程进行组合导航滤波计算。由于量测方程 (18) 式本身已经是离散的, 因此只需将连续的状态方程 (6) 式离散化为如下形式:

$$\mathbf{X}_{k+1} = \Phi_{k+1,k}\mathbf{X}_k + \mathbf{W}_k \quad (19)$$

式中, $\Phi_{k+1,k}$ 为状态一步转移矩阵, \mathbf{W}_k 为离散化后系统白噪声, 其噪声方差阵为 \mathbf{Q}_k 。

这里需要说明的是, 上述组合导航量测的计算公式 (12) 和量测方程式 (18) 是对应于能够搜到 4 颗卫星的情况下建立的, 而如果北斗卫星信号因受丛林、山谷等遮挡导致接收机输出的伪距信息少于 4 颗卫星, 此时只需相应减少量测的维数和量测矩阵的行数, 仍可以继续组合导航滤波计算。

4 仿真验证与结果分析

设计并仿真载体的飞行运动轨迹, 设置捷联惯导系统与北斗接收机的参数条件, 对捷联惯导/北斗组合导航算法进行计算机仿真验证。飞行轨迹中加入加速、转弯、爬升、俯冲等多

种机动, 最大飞行速度为 240 m/s, 飞行时间为 2 400 s, 仿真生成的飞行轨迹如图 2 所示。设陀螺常值漂移为 $0.02^\circ/\text{h}$, 随机游走为 $0.002^\circ/\sqrt{h}$; 加速度计常值误差为 $5 \times 10^{-5} \text{ g}$, 随机游走为 $10^{-5} \text{ g} \cdot \sqrt{s}$; 捷联惯导水平对准精度 $2'$, 方位对准精度 $5'$, 初始速度误差 0.1 m/s, 初始位置误差 10 m; 北斗接收机伪距白噪声均方差 10 m; 组合导航仿真时间为 2 400 s。捷联惯导/北斗组合导航的仿真结果如图 3~5 所示。

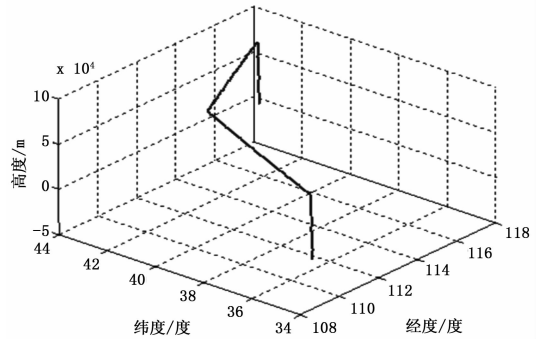


图 2 载体飞行运动轨迹曲线

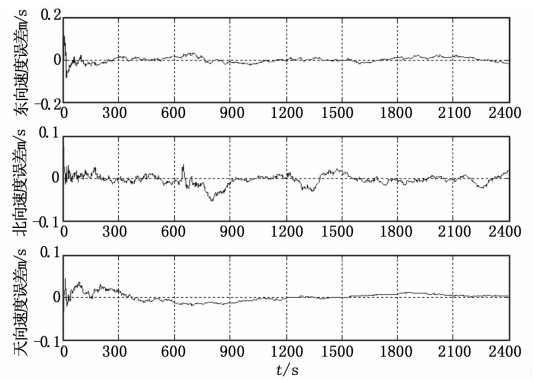


图 3 捷联惯导/北斗组合导航的速度误差

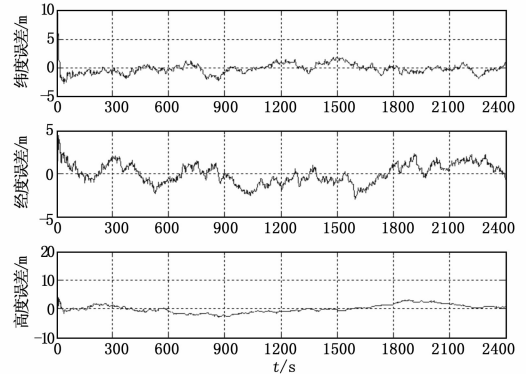


图 4 捷联惯导/北斗组合导航的位置误差

根据上述仿真结果可以看出, 捷联惯导系统与北斗导航系统采用紧组合方式后, 获得了较高的组合导航精度: 速度精度达到 $\pm 0.05 \text{ m/s}$ 以内, 位置精度达到 $\pm 3.2 \text{ m}$ 以内, 水平姿态精度达到 $\pm 0.4'$ 以内, 航向精度达到 $\pm 1.6'$ 以内。这就说明, 捷联惯导/北斗组合导航有效克服了纯捷联惯导误差随时间积累的致命缺陷, 而且实现了比北斗导航系统更高的导航定位精度。与此同时, 仿真结果还表明, 尽管飞行过程中载体的运动

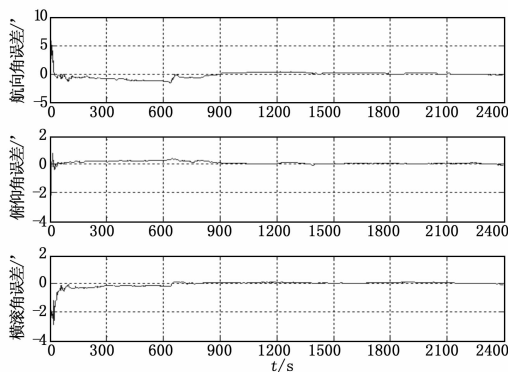


图 5 捷联惯导/北斗组合导航的姿态误差

存在多种机动,但系统导航精度仍然保持稳定,这就意味着载体机动没有对捷联惯导/北斗组合导航精度造成显著影响,从而说明文中所研究的组合导航算法具有较好的鲁棒性。

5 结束语

本文研究了利用捷联惯导系统与北斗导航系统进行高精度组合导航的方法,提出采用紧组合方式进行组合导航设计,将捷联惯导位置输出的等效伪距与北斗接收机测量的伪距对应相减作为量测,并采用卡尔曼滤波研究获得相应的组合导航滤波算法,仿真结果验证了方法的可行性。该方法有效避免了北斗

卫星信号因受遮挡而导致定位精度很差的问题,而且实现了较高的组合导航精度,特别是对于我国使用具有绝对自主权。因此,在军事应用领域内将具有重要的意义,非常适用于制导炸弹、制导炮弹、导弹等武器的高精度导航制导。

参考文献:

[1] 李大光. 世界各国高超声速武器发展现状 [J]. 国防技术基础, 2007 (5): 45-48.

[2] 黄显亮, 刘建业, 林雪原, 等. 北斗双星/SINS组合导航系统滤波模型的一致性研究 [J]. 中国惯性技术学报, 2005, 13 (5): 29-32.

[3] 赖际舟, 刘建业, 林雪原, 等. 基于北斗双星定位系统的组合导航滤波算法实现研究 [J]. 宇航学报, 2005, 26 (1): 107-111.

[4] 扈光锋, 马小艳, 王艳东, 等. 北斗双星/SINS组合导航实时滤波方法 [J]. 弹箭与制导学报, 2005, 25 (2): 39-41.

[5] 李艳辉, 杨琦. 惯性/北斗组合导航系统的鲁棒 H_{∞} 滤波 [J]. 吉林大学学报, 2015, 33 (3): 261-266.

[6] 胡攀, 高社生, 倪龙强, 等. UKF滤波在INS/无源北斗组合导航系统中的应用 [J]. 弹箭与制导学报, 2009, 29 (5): 69-72.

[7] 李家森, 席志红, 赵彦青. 北斗/INS组合导航中人工鱼群粒子滤波的应用 [J]. 电子科技, 2013, 26 (6): 157-161.

[8] Vlada S, Goran D, Rade D. Integration of INS, GPS, magnetometer and barometer for improving accuracy navigation of the vehicle [J]. Defence Science Journal, 2013, 63 (5): 451-455.

(上接第 252 页)

勘探开发各个业务流程,加载近两万平方米的三维地震数据和数万口测井各类数据。为大数据量的地震解释、三维可视化、地震属性分析、反演等提供远程交互解释。该模式下系统整体效率大大提高,以东营大连片三维地震工区为例,该工区覆盖面积近一万平方米、1300口井,从构造解释成图、储层预测描述等研究时效上看,“瘦客户端”模式能满足该工区30多个地质研究人员同时使用,使用效率是单机模式的30~40倍,其反映速度比C/S模式快1~2倍。该模式通过集中服务和动态管理软件资源,在研究高峰期有效使用有限的业务软件许可,最大限度提高用户排队使用的等候时间。该模式下有效的管理制度和业务流程规范也使业务系统应用更加方便有序,支撑更多用户的使用。“瘦客户端”模式通过近两年的试运行,可以支持150个客户端同时进行综合解释工作,是本领域的主流模式,同时也是满足多用户同时解释所需要的一种模式。

4 结语

以网络系统为纽带,后台合理配置PC机群、服务器群、高性能工作站群,前端配置Windows微机客户端,由此形成的“瘦客户端”运行模式可以为用户提供统一的资源使用入口,使远程用户能够透明地、方便地、快捷地使用软硬件资源。在该模式下配以国际领先的专业解释软件系列和富有特色、自主开发的专业应用软件,形成覆盖整个勘探开发业务流程的综合解释系统,大大提高了软硬件及网络资源的综合利用效率,提供了更为强大、适用灵活的专业软件应用能力。

参考文献:

[1] 王正生, 王振升, 张连雪, 等. 瘦客户端技术在石油勘探开发地震解释系统中的应用 [J]. 信息与电脑 (理论版), 2011, 10: 49-50.

[2] 王成, 李少元, 郑黎晓, 等. Web前端性能优化方案与实践 [J]. 计算机应用与软件, 2014, 12: 89-95, 147.

[3] 林德树, 程彩凤. 基于移动Agent的瘦客户端手机LBS系统的设计与实现 [J]. 长江大学学报 (自科版), 2014, 01: 33-35.

[4] 徐涵. 谷歌云战略指向瘦客户端 Chrome重要性超过Android [J]. IT时代周刊, 2014, 09: 46-47.

[5] 张冬. 开放环境中瘦客户机的应用 [J]. 电脑知识与技术, 2013, 29: 6650-6653.

[6] 周乐钦, 燕彩蓉, 苏厚勤. 基于Web-Socket协议的推送数据技术在监控系统中的应用研究 [J]. 计算机应用与软件, 2013, 05: 229-232.

[7] 吴佳兴, 李爱国. 基于云计算的智能家居系统 [J]. 计算机应用与软件, 2013, 07: 240-243, 314.

[8] 邱丽丽, 俞烽. 异构数据动态交互平台设计与实现 [J]. 计算机应用与软件, 2013, 03: 182-185.

[9] 张航航. 浅析公共图书馆电子阅览室中瘦客户机的应用优势 [J]. 科技情报开发与经济, 2013, 02: 89-91.

[10] 王淑彦, 张石状, 王怡. 瘦客户机架构下办公系统的安全控制技术研究 [J]. 信息技术, 2013, 12: 98-101.

[11] 胡扬帆, 杨刚, 胡颖石. 结合LBS和信息推送的博物馆APP的设计实现 [J]. 计算机应用与软件, 2013, 12: 108-112.

[12] 李强. 浅析瘦客户机在图书馆电子阅览室中的应用优势 [J]. 内蒙古科技与经济, 2012, 19: 89-90.