

基于粗时段导航与 RAIM 算法的 A-GNSS 室内定位

黄志勇^{1,2} 赵冬青² 张爽娜^{3,4} 吴 昊² 田翌君²

1 中国天绘卫星中心,北京,102102
2 信息工程大学地理空间信息学院,郑州,450052
3 航天恒星科技有限公司,北京,100086
4 天地一体化信息技术国家重点实验室,北京,100086

摘 要:针对 GNSS 接收机在室内环境中面临的强烈的信号衰减、非视距传播和互相关效应的问题,提出了一种基于粗时段导航和 RAIM 算法解决 A-GNSS 室内定位问题的方法,并利用 BDS 数据验证了该方法的可靠性。结果表明,粗时段导航算法能够提供连续可靠的定位结果,应用于微弱信号环境;基于组合 FDE 的 RAIM 算法能够增加定位结果可用率,解决室内卫星信号存在的非视距传播和互相关效应的问题。基于粗时段导航与 RAIM 算法的 A-GNSS 定位技术能够应用于室内定位,仿真定位结果水平方向 RMS 在 10 m 以内。
关键词:辅助 GNSS;辅助 BDS;粗时段导航;接收机自主完好性监测;室内 GNSS
中图法分类号:P228 **文献标志码:**A

GNSS 接收机在室内定位中的应用近 10 年在国际上受到了相当大的关注,主要集中在提高接收机灵敏度、减少多路径和抗干扰及阻塞等方面^[1]。辅助 GNSS (assisted-GNSS, A-GNSS) 的出现拓展了 GNSS 接收机的使用范围,使得其在“城市峡谷”、浓密树下、室内等强烈衰减的信号环境下仍能实现定位^[2]。关于 A-GNSS 灵敏度测试的一系列验证实验^[3-5]表明了 GNSS 具有解决室内定位的能力。然而,在实际问题中却受到各种各样因素的限制,特别是深度室内环境中,接收机面临着强烈的信号衰减、相当大的多路径和非视距传播信号以及强弱卫星信号的之间互相关效应^[6]时,使得室内定位问题面临着极大的挑战。

1) 强烈的信号衰减

GNSS 卫星信号从发射到接收机接收大约要衰减 190 dB。以 GPS 卫星为例,每颗 GPS 卫星信号发射的总功率约为 27 W,然而由于卫星距地面高度超过 20 000 km,当信号到达地球时,接收到的功率仅为 100 阿托 ((atto, aW.), 表示 10^{-18})。当接收机位于室内时,信号还要衰减 10~100 倍,在大型建筑物中衰减 100~1 000 倍甚至更多,这时,在室内收到的信号将只有 10^{-19} W 甚至更弱,即 -190 dBW。然而,许多实验都证实

了 A-GNSS 具有极高的灵敏度及捕获微弱信号的能力。Singh 证实了 A-GNSS 的在信号低至 -182 dBW 的情况下仍能完成捕获^[3]。Bryant 等验证了在辅助星历、历书和概略时间与坐标的辅助下^[4],捕获灵敏度能达到 -185 dBW。从理论上说,在使用大量平行相关器及采用较长的相干积分加上非相干积分的情况下,信号衰减至 -190 dBW 时仍能实现捕获。

2) 非视距传播与多路径效应

在室内环境中,视距 (line of sight, LOS) 传播的直射信号往往受到强烈的衰减,而非视距 (non line of sight, NLOS) 传播的反射信号反而具有较高的灵敏度。然而,由于非视距传播产生了额外路径,测量的伪距存在较大的误差,很容易达到 100 m 量级,如果不进行处理,会产生 100 m 量级的定位误差^[7]。典型的室内环境下接收到的信号情况如图 1 所示。

发射的信号进入室内时由于受到天花板或墙壁的遮挡,会产生一系列的反射、折射、散射现象,穿过墙体遮挡被用户接收的直射信号具有正确的路径,却受到极大的衰减;绕过墙体从门窗进入室内的信号具有较强的功率,该信号经过的路径即最小阻力路径 (path of least resistance)^[8],然而

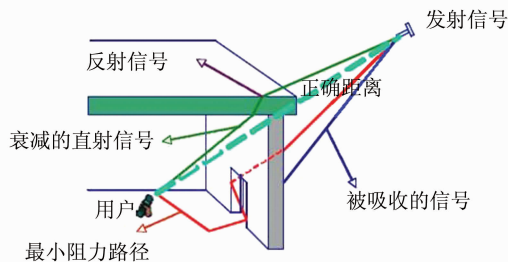


图 1 典型室内环境下的信号传播路径^[8]
Fig. 1 Signal Propagation Path Under Typical Indoor Environment

该路径却含有很大的伪距误差。

对于含有较大误差的反射信号,一个较好的方法是使用接收机自主完好性监测技术。Ghnamo 提出了一种针对于 A-GNSS 的组合 FDE (fault detection and exclusion) 技术^[9],较好地解决了 A-GNSS 室内定位可靠性的问题。该方法考虑了可见星不足的情况下,利用 Enhanced Cell-ID 技术来提高 RAIM 可用性,然而该算法没有考虑室内情况下信号微弱导致只能获得伪码相位值的问题。

3) 互相关效应

在室内靠窗环境下很容易出现接收到的从窗外传播进来的信号较强,而其他经过天花板、墙壁折射传播的信号将产生较大衰减,强信号和弱信号之间可能产生一个错误的互相关峰,峰值高于弱信号的自相关峰,这种效应即为互相关效应,或称为“远近效应”^[6]。长度为 1 023 的 Gold 码互相关峰为 -24 dB,普通 GNSS 接收机捕获弱信号能力较弱,较少遇到该问题。然而 A-GNSS 和高灵敏度 GNSS (high sensitivity GNSS, HSGNSS) 接收的信号动态范围很大,为 -123 ~ -160 dBm^[7],很容易产生互相关效应。

互相关效应会产生很大的伪距误差,接收机得到错误的互相关峰将导致一个亚 ms 级^[7]的任意错误的伪距,最大达到 300 km。在 A-GNSS 接收机中,由于提供了捕获辅助信息,减少了搜索空间,如再采用合理的搜星次序,可以大大减少发生互相关效应的概率。另外,在捕获卫星后,可以利用 RAIM 技术来检测并剔除误差较大的测量值。

针对 A-GNSS 室内定位中遇到的问题,本文提出利用粗时段导航与 RAIM 算法相结合来实现利用弱信号进行 A-GNSS 室内定位。文章接下来分别介绍了粗时段导航算法和 RAIM 算法,并利用 BDS 数据验证了算法的可靠性。

1 粗时段导航算法

当接收机处于室内等微弱信号环境时,由于信号即为微弱,导航电文解调误码率 (bit error rate, BER) 太高^[10],无法完成位同步、帧同步和解码导航电文,无法获得准确的卫星信号发射时间,仅能通过捕获与跟踪获得亚 ms 级的卫星信号发射时刻,此时只能获得伪码相位值。仅利用伪码相位值进行导航定位且没有优于 10 ms (对于 GPS 卫星来说,对应于 10m 左右的卫星位置误差) 的精时间辅助问题叫做粗时段导航,不过该问题除具有三个位置参数、一个接收机钟差参数外,还具有一个额外的粗时状态参数。针对粗时段导航问题, Syrjarinne 首先提出了“时间恢复”^[11]的概念,即利用辅助手段恢复完整的信号发射时刻,但该算法的计算量受接收机初始位置误差和初始钟差影响较大,当上述两个误差较大时算法计算量非常大以至于难以实现。Sirola 提出了一种 Lambda-Fraction 函数法^[12]消除卫星信号发射时刻整数 ms 模糊度问题,但该算法对初始位置有限制,且计算量较大。van Diggelen 提出了一种重构全伪距法,解决整数 ms 模糊度的问题^[13],但对先验位置与时间的取值范围有一定的要求,此时可以利用参考基站提供辅助的概略坐标与时间信息。

网络提供的辅助时间精度与网络是否具有时间同步有关,CDMA 时间精度为 μs 级,能提供精时间辅助,而 GSM、UMTS、WCDMA 网络辅助时间精度 1 ~ 2 s。精确周内的时间 (time of week, TOW) 可以通过解码周内时的转换字 (handover word, HOW) 来获得,但这需要耗费数秒的时间。而且在信号极其微弱的情况下,难以完成位同步和帧同步,无法获得 HOW。由于卫星的相对运动引起了粗时段导航的问题,可以通过计算每颗卫星的相对速度,运用导航方程去求解用户位置和接收机公共偏差 b 以及粗时误差 t_c 。即可以求出时间,而不依赖于解码得到它,这样也缩短了首次定位时间。与普通的四状态导航方程相比,多了一个粗时误差参数,因此叫做五状态粗时段导航。

对于每颗卫星, $\delta\rho^{(k)}$ 和 5 个先验参数的更新值 $\delta_x = (\delta_{x,y,z}, \delta_b, \delta_{t_c})$ 之间的关系为:

$$\delta\rho^{(k)} = \rho^{(k)} - \hat{\rho}^{(k)} = -e \cdot \delta x_{xyz} + \delta_b + v^{(k)} \cdot \delta_{t_c} + \epsilon^{(k)} \quad (1)$$

式中, $\rho^{(k)}$ 表示实测伪距; $\hat{\rho}^{(k)}$ 表示预测伪距; $\delta\rho^{(k)}$

表示伪距残差; $v^{(k)}$ 是伪距速率, 用 $\dot{\delta}_i^{(k)}$ 表示卫星时钟钟漂, 可得伪距速率为:

$$\mathbf{v} = (\mathbf{e}^{(k)} \cdot \mathbf{v}^{(k)} - \dot{\delta}_i^{(k)}) \quad (2)$$

对于 k 颗卫星, 可得到矩阵方程:

$$\partial \mathbf{p} = \mathbf{H} \delta \mathbf{x} + \boldsymbol{\varepsilon} \quad (3)$$

然而, 实测的伪距值 $\rho^{(k)}$ 并未得到, 只能由捕获过程测得伪码相位值 (code phase), 即亚 ms 伪距 (fractional pseudoranges), 因此, 如何利用伪码相位值获得全伪距值是解决粗时段导航问题的关键。van Diggelen 根据给定的先验位置和粗时间, 提出了一种避免产生整数 ms 模糊度的重构全伪距法^[13], 该算法流程如下。

1) 选择一颗卫星作为参考卫星 (最好选择高度角较高的卫星), 指定该卫星的整数 ms 模糊度为 $N^{(1)}$, 测得的伪码相位值为 $z^{(1)}$, 这样得到第一颗卫星的测量伪距为:

$$\rho^{(1)} = N^{(1)} + z^{(1)} \quad (4)$$

2) 将测量伪距与几何距离联系起来, 有:

$$N^{(1)} + z^{(1)} = r^{(1)} - \delta_i^{(1)} + b + \varepsilon^{(1)} = \hat{r}^{(1)} - d^{(1)} - \delta_i^{(1)} + b + \varepsilon^{(1)} \quad (5)$$

式中, $r^{(1)}$ 是真实的几何距离; $\hat{r}^{(1)}$ 是粗卫星发射时刻下的卫星位置与接收机先验位置获得的粗几何距离; $d^{(1)}$ 是 $\hat{r}^{(1)}$ 中存在的误差, 由先验位置和时间误差引起; $\delta_i^{(1)}$ 是已知的卫星钟差; b 是公共偏差 (接收机钟差); $\varepsilon^{(1)}$ 是测量误差。对于其他卫星, 假定其整数 ms 模糊度为 $N^{(k)}$, 同理可得:

$$N^{(k)} + z^{(k)} = \hat{r}^{(k)} - r_d^{(k)} - \delta_i^{(k)} + b + \varepsilon^{(k)} \quad (6)$$

3) 将式 (6) 减去式 (5), 消去相同的公共误差, 可得:

$$N^{(k)} = N^{(1)} + z^{(1)} - z^{(k)} + (\hat{r}^{(k)} - r_d^{(k)} - \delta_i^{(k)} + b + \varepsilon^{(k)}) - (\hat{r}^{(1)} - r_d^{(1)} - \delta_i^{(1)} + b + \varepsilon^{(1)}) \quad (7)$$

要想获得正确的 $N^{(k)}$ 值, 使先验的位置和时间误差必须满足:

$$(-r_d^{(k)} + \varepsilon^{(k)} + r_d^{(1)} - \varepsilon^{(1)}) < 150 \text{ km} \quad (8)$$

这样便可得 $N^{(k)}$ 的表达式如下:

$$N^{(k)} = \text{round}(N^{(1)} + z^{(1)} - z^{(k)} + (\hat{r}^{(k)} - \delta_i^{(k)}) - (\hat{r}^{(1)} - \delta_i^{(1)})) \quad (9)$$

由伪码相位值恢复了其他卫星的伪距值, 由此可得到粗时段导航的伪距残差方程为:

$$\partial \rho = N + z - \hat{\rho} \quad (10)$$

2 RAIM 算法

RAIM 技术是利用接收机自身的冗余观测值

进行卫星故障的检测识别。它无需外部设备的辅助, 花费较低, 容易实现, 是目前应用较为广泛的一种完好性监测算法^[14]。

由于室内环境中, 接收的直射信号存在着很大的多路径, 某些情况下只能接收到纯反射 (echo-only) 信号, 此时测量伪距含有更大的误差。当互相关效应发生时, 最大会导致 300 km 的伪距误差。此时, 如果可用卫星数足够, 观测到 6 颗卫星能够检测 (fault detection, FD) 出含误差的伪距, 观测到 7 颗以上卫星能检测并剔除 (FDE) 该卫星^[15]。

基本的 RAIM 算法包含单个检验和整体检验两步。设观测矩阵为 \mathbf{H} , 观测值权阵为 \mathbf{P} , 由最小二乘原理可知, 观测值的平差值 $\hat{\mathbf{X}}$ 的权逆阵 $\mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{X}}}$ 为:

$$\mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{X}}} = [\mathbf{H}^T \mathbf{P} \mathbf{H}]^{-1} \quad (11)$$

将其转到站心系, 得:

$$\mathbf{Q}_{\text{ENU}} = \mathbf{R}_L \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{X}}} \mathbf{R}_L^T \quad (12)$$

式中, \mathbf{R}_L 为旋转矩阵。距离均方根误差为:

$$D_{\text{RMS}} = \sqrt{\sigma_e^2 + \sigma_n^2} \quad (13)$$

从计算结果获得的误差模型可用于执行一个验证过程, 旨在检测是否存在一个或多个离群观测数据。该方法包括以下两步测试^[16]:

1) 单个测试: 检查每个后验残留并比较其与定义的阈值;

2) 整体测试: 检查总体观测值是否符合预期的分布。

(1) 单个检验

归一化残差 w_i 可以由观测值的残差值 v_i 、验前标准差 σ_0 和权逆阵中估计的方差值表示:

$$w_i = \frac{v_i}{\sigma_0 \sqrt{(\mathbf{Q}_v)_{ii}}} \quad (14)$$

$$\mathbf{Q}_v = \mathbf{P}^{-1} - \mathbf{H}(\mathbf{H}^T \mathbf{P} \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}^T \quad (15)$$

原假设 H_0 没有异常值, 在原假设下, v_i 服从正态分布, w_i 服从标准正态分布。取置信水平为 $1-\alpha$, 每个归一化残差与标准正态分布相比的测试的阈值取决于置信水平 $1-\alpha$ 。

$H_0: w_i \leq n_{1-\alpha}$, 没有异常值, 接受原假设

$H_a: w_i > n_{1-\alpha}$, 存在异常值, 拒绝原假设

(2) 整体检验

对整体进行检验, 原假设 H_0 , 整体没有异常值; 备选假设 H_a , 存在一个或多个异常值。在原假设下, 总体服从 χ^2 分布; 备选假设下, 总体服从非中心化 χ^2 分布。

$H_0: \mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v} \leq \chi_{1-\alpha, n-p}^2$, 完好性检验通过。

$H_a: \mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v} > \chi_{1-\alpha, n-p}^2$, 完好性检验不通过。

虽然 GNSS 星座的卫星总数在迅速增多,然而在室内环境中要求具有 7 颗可见卫星往往十分困难,特别是消费级接收机可能支持较少的 GNSS 系统。这时,可以利用蜂窝网络 Enhanced Cell-ID 定位技术来获取定位结果增加冗余度。Enhanced Cell-ID 适用于异步时间网络,该定位算法不需要基站时间同步,通过测量接收到的信号强度来获取终端位置。在基站比较密集的城市地区精度较高,可达到 125 m;在郊区定位精度达到 550 m^[17],而发起定位请求的用户大多位于城市地区。125 m 的定位精度足以作为排除异常值的一个冗余条件,特别是在可见卫星为 6 颗,能检测到错误而不能排除错误的伪距观测值的情况下,可以分别利用 5 颗卫星分别计算定位结果与 Enhanced Cell-ID 技术获得的定位结果进行比较,与其较接近的 5 颗卫星所得的定位结果视为获得的终端位置。当然,利用 Enhanced Cell-ID 获得的定位结果来排除错误的伪距观测值的前提是其能提供可靠的位置信息。可以设置一个检测限值,当 5 颗卫星解算获得的位置与 Enhanced Cell-ID 获得的位置误差超过限值时,Enhanced Cell-ID 获得的定位结果视为不可靠,不能执行提出的组合 FDE 算法。此时无法检测出错误的伪距观测值,RAIM 算法失效,此时需要重新接收卫星信号。组合 FDE 算法检测流程图如图 2 所示。

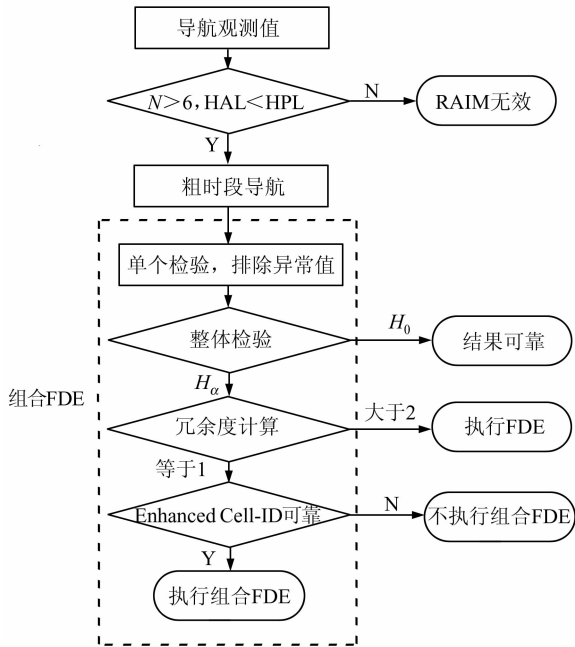


图 2 组合 FDE 算法流程图

Fig. 2 Flowchart of Combination FDE Algorithm

3 仿真实验

选取在上海地区采用和芯星通公司生产的 UB240-CORS 北斗/GPS 双系统四频接收机获取的采样间隔为 30 s 的 2 652 个历元的 GNSS 数据,选取其中的 BDS 数据进行粗时段导航算法和 RAIM 算法的仿真验证实验。

3.1 室外粗时段导航算法验证

粗时段导航算法中无法获取完整的伪距观测值,而实际获得的数据可以获得完整伪距值,因此利用对伪距取模 1 ms 值来获得码相位值(暂不考虑 NH 的影响)。为了使算法在粗时段导航模式下进行,忽略了卫星信号发射时间,并且取粗时误差分别为 1 s、5 s、20 s,来验证不同粗时误差对定位精度的影响。得到粗时误差为 1 s 时,东(E)、北(N)、天(U)3 个方向的误差序列图,并且统计得到不同粗时误差下的 5-状态导航 RMS 与 4-状态导航 RMS 统计表(表 1)。

表 1 5-状态粗时段导航与 4-状态伪距导航 RMS 对比

Tab. 1 5-State Coarse-time Navigation and 4-State Pseudorange Navigation

定位结果	E/m	N/m	U/m
4-状态导航(0 s)	1.868	5.558	7.021
5-状态导航(1 s)	1.716	6.026	5.464
5-状态导航(5 s)	1.914	7.078	5.819
5-状态导航(20 s)	8.738	28.798	30.145

由图 3 可知,在粗时误差为 1 s 时,5-状态粗时段导航提供的定位精度水平方向上在 15 m 以内,高程方向在 20 m 以内,表明 5-状态粗时段导航能够提供精度较高的定位结果。

由表 1 可知,粗时段导航提供的定位结果水平方向 RMS 在 6 m 左右,接近于 4-状态伪距导航,并且在粗时误差为 20 s 时仍能获得定位结果,水平方向 RMS 在 30 m 以内。

3.2 室内粗时段导航与 RAIM 算法验证

在室内环境中,信号面临着极大的衰减,虽然 A-GNSS/HSGNSS 接收机能够捕获到微弱信号,然而信号受热噪声的影响很大。另外,室内环境中面临着显著的信号非视距传播,即只能接收到纯反射信号的情况,这时该信号含有较大的伪距粗差,很容易达到 100 m。为了模拟热噪声,在每个历元中对所有观测值加入服从正态分布的随机热噪声误差 ϵ_1 ;为了模拟反射信号,在每个历元中对 1~3 个观测值加入服从正态分布的非视距传播误差 ϵ_2 , ϵ_1 、 ϵ_2 服从的分布如下:

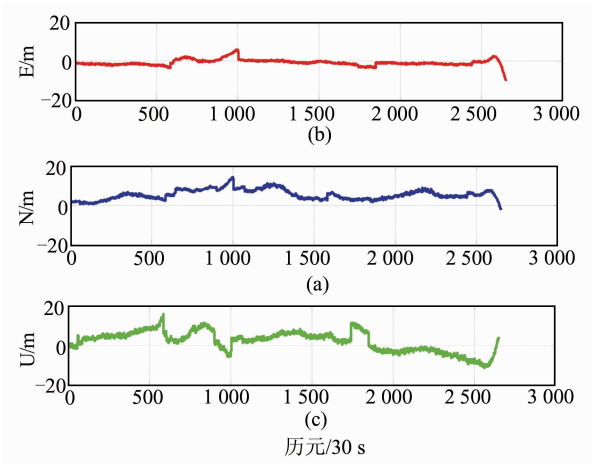


图 3 5-状态粗时段导航东、北、天三方向的误差序列图
Fig. 3 Error Sequence Diagram of 5-State Coarse-time Navigation in E,N and U

$$\begin{cases} \epsilon_1 \sim N(0, (0.05 \text{ chip})^2) \\ \epsilon_2 \sim N(100, 5^2) \end{cases} \quad (16)$$

其中,chip 表示北斗码片的宽度,约为 146.5 m,良好条件下,接收机的码对齐精度优于 1/100,因此这里取微弱信号条件下对齐精度为 1/20。而对于深度室内环境来说,1~3 个观测值存在较大粗差是一个较为乐观的估计,算法验证时,分别加入 1、2、3 个粗差,来验证提出的 RAIM 算法的可用性。算法验证时取 Enhanced Cell-ID 的精度为 100 m,并且视为可用。分别利用粗时段导航算法、粗时段导航加 RAIM 算法进行定位解算,取置信水平为 0.95,将 E、N 方向 RMS 大于 50 m 和最终整体检验不通过的结果视为不可用,得到如下的定位结果可用率和三个方向 RMS 统计表(表 2~表 4)。

表 2 含一个较大伪距误差时的定位结果可用性及 RMS
Tab. 2 Positioning Availability and RMS when Containing One Larger Pseudorange Error

定位模式	可用率/%	E/m	N/m	U/m
粗时段导航	66.3	1.921	29.191	48.225
粗时段导航与 RAIM	92.8	0.806	8.499	11.386

表 3 含两个较大伪距误差时的定位结果可用性及 RMS
Tab. 3 Positioning Availability and RMS when Containing Two Larger Pseudorange Errors

定位模式	可用率/%	E/m	N/m	U/m
粗时段导航	51.9	2.201	41.575	58.313
粗时段导航与 RAIM	61.8	1.861	7.506	37.618

表 4 含三个较大伪距误差时的定位结果可用性及 RMS
Tab. 4 Positioning Availability and RMS when Containing Three Larger Pseudorange Errors

定位模式	可用率/%	E/m	N/m	U/m
粗时段导航	37.0	2.458	47.286	68.130
粗时段导航与 RAIM	33.7	2.448	7.027	61.028

由以上可知,当加入 1 个粗差时,RAIM 算法能够极大提高定位可用率,由 60% 提高到 90%,并且 3 个方向 RMS 也有很大提高;而当加入 2 个粗差时,定位可用率仅能提高 10%,而水平方向 RMS 仍有很大提高;当加入 3 个粗差时,采用 RAIM 算法定位可用率反而降低,而精度则有一定提高。原因是当含有粗差的观测值较多时,由于观测值有限,RAIM 算法不能正确地排除错误的观测值,导致可用率降低,这时,必须具有更多的观测信息才能保证 RAIM 算法有效。而很多情况下观测值有限,采用 Enhanced Cell-ID 提供一个坐标参考可以提高一个冗余度。

本实验采用的观测数据观测值最少的情况下为 8 个,当观测值仅含有 1 个粗差时,观测值冗余度为 2,不需要执行组合 FDE 算法,所以 Enhanced Cell-ID 贡献率为 0;当含有 2 个粗差时贡献率为 2.32%;含 3 个粗差时,贡献率为 3.30%。而当粗差数较多时,观测值冗余度可能出现为 1 的情况,这时需要执行参考 Enhanced Cell-ID 定位结果的组合 FDE 算法。

4 未来 A-GNSS 室内应用前景

单个全球覆盖的北斗卫星导航系统未来在室外虽然能提供大于 6 颗卫星的观测卫星(特别是亚太地区),然而在室内时卫星数却显得尤为不足,而未来将具有更多的 GNSS 卫星,而且未来的卫星信号具有更好的设计,再者,利用其他定位技术来辅助 GNSS 进一步增大了 A-GNSS 室内应用的可用性。

1) 更多的 GNSS 卫星

到 2020 年,所有全球性的导航系统(GPS、GLONASS、BDS、Galileo)加上地区性的导航系统(QZSS、IRNSS、SBAS(WAAS、EGNOS、MSAS、GAGAN))计划发射的卫星都成功升空的话,全球的 GNSS 卫星将达到 140 多颗。届时,在室内也能收到足够多的可用卫星,这样很好地解决了观测量冗余度不足的问题。特别地,对于亚太地区的北斗用户来说,将有 5 颗北斗 GEO 卫星一直具有较高的高度角,能很好地解决室内特别是城市峡谷的定位问题。

2) 更多的民用信号和更好的信号设计

最近几年,GPS 卫星已经开始新的民用信号:L2C(1.2276GHz)和 L5(1.17645 GHz),并且 L5 发射功率将增加 6dB, Galileo 的发射功率将更高:E1(+5dB),E5(+8dB)和 E6

(+5dB)^[71]。并且 L5 和 Galileo 将使用导频通道,导频通道包含的导频信号仅经过扩频码调制而不包含数据信息,这样可以进行较长的相干积分而不用考虑数据比特翻转的问题,并且导频可以提高码跟踪的精度。新的民用信号,如 L5 和 Galileo 大多使用副码结构,采用副码可以产生一个比主码更长的码片以减少互相关效应的影响。并且对于粗时段导航算法来说,对于提供的初始状态精度要求将更低,将减小粗时段导航算法的计算量。另外,Galileo 的 E1 信号采用 BOC 调制,提高了码跟踪精度和抗多径误差的能力。

3) 组合定位技术

单纯的 GNSS 在解决深度室内问题时面临着极大的挑战,与其他定位技术的整合是必然的趋势。对于消费型 GNSS 用户来说,越来越多的 WiFi 热点为室内定位提供了便利。MEMS 技术的发展使得智能手机中拥有了更多的传感器,如加速度计和陀螺仪、磁罗盘、气压计,MEMS 与 GNSS 技术的结合将很好地解决深度室内的问题。另外,其他定位技术,如 Bluetooth、无线网络定位技术(AFLT, MRL, and Cell-ID)、伪卫星定位技术、IMES(indoor measurement system)技术等等,更好实现 GNSS 技术与这些定位技术的整合对于室内定位问题的解决具有广阔应用前景。

参 考 文 献

[1] Petovello M G, Curran J T. Investigation of Doppler Measurements for Static Indoor Positioning [C]. ION Pacific PNT 2013, Honolulu, HI, 2013

[2] van Diggelen F. Down and Deep[J]. *GPS World*, 2010(12):24-26

[3] Singh S. Comparison of Assisted GPS and High Sensitivity GPS in Weak Signal Conditions[D]. Calgary: University of Calgary, 2006

[4] Bryant R, Dougan S, Glennon E. GPS Receiver Algorithms and Systems for Weak Signal Operation [C]. ION GPS 2001, Salt Lake, UT, 2001

[5] van Diggelen F, Abraham C. Indoor GPS Technology[C]. CTIA Wireless-Agenda, Dallas, 2001

[6] Seco-Granados G, Lopez-Salcedo J A, Jimenez-Banos D, et al. Challenges in Indoor Global Navigation Satellite Systems: Unveiling Its Core Features in Signal Processing [J]. *Signal Processing Magazine*, IEEE, 2012, 29(2): 108-131

[7] van Diggelen F. A-GPS, GNSS and SBAS [M]. Boston, London: Artech House Inc, 2009

[8] Lachapelle G. GNSS Indoor Location Technologies [J]. *Journal of Global Positioning Systems*, 2004,

3(1/2): 2-11

[9] Ghinamo G, Boiero G, Lovisolo P, et al. Hybrid Fault Detection Technique in Assisted GNSS[C]. IEEE/ION, Indian Wells, CA, 2010

[10] Song Cheng. Research on the Key Techniques of Assisted GPS Positioning System[D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2009(宋成. 辅助型 GPS 定位系统关键技术研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2009)

[11] Syrjärinne J. Possibilities for GPS Time Recovery with GSM Network Assistance [C]. ION GPS 2000, Salt Lake City, UT, 2000

[12] Sirola N. A Method for GPS Positioning Without Current Navigation Data[D]. Tampere: Tampere University of Technology, 2001

[13] van Diggelen F. Method and Apparatus for Time-free Processing of GPS Signals [P]. US, US6417801B1, 2002

[14] Chen Ting, Lv Rong, Shi Yanfang. Research on Autonomous Integrity Monitoring Algorithms of GNSS Receiver[J]. *Electronic Design Engineering*, 2013, 21(2): 97-99 (陈婷, 侣荣, 史彦芳. GNSS 接收机自主完好性监测算法研究[J]. 电子设计工程, 2013, 21(2): 97-99)

[15] Kuusniemi H, Wieser A, Lachapelle G E, et al. User-level Reliability Monitoring in Urban Personal Satellite-navigation[C]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, New York, 2007

[16] Torre A D, Ghinamo G, Detoma E, et al. Analysis of the Accuracy of Indoor GNSS Measurements and Positioning Solution[C]. European Navigation Conference 2008, Toulouse, France, 2008

[17] Zhongliang D, Dejun Z, Jianming H, et al. The Assisted GNSS Boomed up Location Based Services [C]. Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, Beijing, 2009

[18] Hu Xiulin, Tang Zuping, Zhou Hongwei, et al. Analysis on Design Principles of GPS and Galileo Signal Structure[J]. *Systems Engineering and Electronics*, 2009, 31(10): 2 286-2 293(胡修林, 唐祖平, 周鸿伟, 等. GPS 和 Galileo 信号体制设计思想综述[J]. 系统工程与电子技术, 2009, 31(10): 2 286-2 293)

[19] Schmid A. Single Shot Positioning [C]. IGNS 2007, Sydney, Australia, 2007

[20] Tian Hui, Xia Linyuan, Mo Zhiming, et al. Signals of Opportunity Assisted Ubiquitous Positioning and Its Key Elements for Outdoor/Indoor Environment [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2009, 34(11): 1 372-1 376(田辉, 夏林元, 莫志明, 等. 泛在无线信号辅助的室内外无缝定位方法与关键技术[J]. 武汉大学学报·信息科学

版. 2009, 34(11): 1 372-1 376)

A-GNSS Indoor Positioning Based on Coarse-time Navigation and RAIM Algorithm

HUANG Zhiyong^{1,2} ZHAO Dongqing² ZHANG Shuangna^{3,4} WU Hao² TIAN Yijun²

- 1 China Aerospace Surveying & Mapping Center, Beijing 102102, China
- 2 School of Mapping and Surveying, Information Engineering University, Zhengzhou 450052 ,China
- 3 Spacet Star Technology CO. Ltd, Beijing 100086, China
- 4 State Key Laboratory of Space-Ground Integrated Information Technology, Beijing 100086, China

Abstract: For the existing problem of GNSS receiver in the indoor environment facing for strong signal attenuation, the NLOS propagation and cross correlation effects, this text proposes a coarse time navigation and RAIM algorithm to solve the problem of AGNSS indoor positioning and use BDS data to verify the reliability of the method. The experiment showed that the coarse time navigation algorithm is able to provide successive and reliable positioning results. It can also be used in weak signal environments. RAIM algorithm based on a combination FDE can increase the availability of the positioning result and solve the problems of NLOS propagation and cross correlation effects of indoor satellite signals. The AGNSS technology based on coarse time navigation and RAIM algorithm can be applied to indoor positioning, and its simulation result of horizontal RMS is less than 10 m.

Key words: assisted-GNSS; assisted-BDS; coarse-time navigation; RAIM ; indoor GNSS

First author: HUANG Zhiyong, master, specializes in GNSS data processing and A-GNSS indoor positioning technology. E-mail: Lanruo_hzy@qq.com

Foundation support: The National Natural Science Foundation of China, No. 41274045; the Open Research Fund of the Academy of Satellite Application, No. 2014_CXJJ-DH_14.

.....

(上接第 308 页)

carrier-phase-derived Doppler measurements. The testing is conducted with static data from IGS stations and kinematic data collected by car campaign by using conventional method and the proposed method. The results show that, receiver velocity suffered significantly from clock jumps, and the impact on static velocity estimation reaches up to cm/s and dm/s for 30s sampling data and 1 s sampling data respectively, and the standard deviation reaches 25 cm/s for kinematic data.

Key words: GPS; receiver clock jumps; carrier-phase-derived Doppler measurements; velocity determination; single receiver

First author: ZHENG kai, PhD candidate, specializes in date processing GNSS precision velocity and acceleration determination. E-mail: zhengkai@whu.edu.cn

Corresponding author: ZHANG Xiaohong, PhD, professor. E-mail: xhzhang@sgg.whu.edu.cn

Foundation support: the Spark Program of Earthquake Sciences, No. XH16053; Specialized Research Fund for the Doctoral Program of Higher Education of China, No. 20130141110001; the Special Scientific Research Fund for Public Welfare Profession of China, No. 201512002.