

基于平均相关和差分相干累积的 微弱 GPS C/A 码信号精密捕获算法

李新山, 郭伟

(电子科技大学 通信抗干扰技术国家级重点实验室, 四川 成都 611731)

摘 要: 针对弱信号条件下 GPS C/A 码捕获问题, 提出一种基于平均相关和差分相干累积的码捕获算法。首先, 引入相干能量最大值与第二大值的比值作为判决变量, 仿真了各种捕获算法的虚警概率得到最佳的判决门限; 然后, 通过设置的判决门限获得不同多普勒频率偏差及信噪比条件下的检测概率; 最后, 比较了所提差分相干累积算法、相干非相干累积算法以及非相干累积算法的捕获灵敏度。仿真实验表明, 在相同接收数据长度的情况下, 采用差分相干累积算法比其他 2 种算法提高捕获灵敏度约 2 dB。

关键词: FFT; 平均相关; 差分相干累积; 弱 GPS 信号; 码捕获; 门限设定

中图分类号: TN965.5

文献标识码: A

Fine C/A code acquisition algorithm for weak GPS signal based on averaging correlation and differential coherent accumulation

LI Xin-shan, GUO Wei

(National Key Laboratory of Science and Technology on Communications,
University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China)

Abstract: Aiming at the problem of global positioning system (GPS) C/A code acquisition under weak signal conditions, a code acquisition algorithm based on averaging correlation and differential coherent accumulation was proposed. First, the strength ratio of the largest peak to the second largest peak was adopted as the decision variable; optimum decision thresholds can be obtained through the simulation probability of false alarm of all kinds of acquisition algorithms. Second, by setting the decision threshold, the probabilities of detection of different Doppler frequency deviation and signal to noise ratio (SNR) were obtained. Finally, acquisition sensitivities of the code acquisition algorithm based on the differential coherent accumulation were compared with those of the code acquisition algorithm based on coherent and noncoherent accumulation and the code acquisition algorithm based on noncoherent accumulation. Simulation results show that acquisition sensitivities of the code acquisition algorithm based on the differential coherent accumulation are improved by about 2.0 dB than those of the other two acquisition algorithms under the same receiving data length condition.

Key words: FFT; averaging correlation; differential coherent accumulation; weak GPS signal; code acquisition; threshold setting

1 引言

GPS 系统已经广泛应用在民用测量和个人导

航等领域。随着 1996 年美国联邦通信委员会(FCC)颁布了一个行政性命令 Enhanced 911(E911), 要求强制性建立公众安全网络, 无论何时何地都能

收稿日期: 2014-01-12; 修回日期: 2014-04-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61271168); 国家高技术研究发展计划(“863”计划)基金资助项目(2014AA01A701); 国防科技重点实验室基金资助项目(9140C020302130C02007)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (61271168); The National High Technology Research and Development Program of China (863 Program) (2014AA01A701); Foundation of National Key Laboratory of Science and Technology on Communications (9140C020302130C02007)

通过无线信号追踪到该用户的位置，移动定位服务的商业需求不断增加。基于上述原因，近年来森林、隧道及城市建筑内等弱信号条件下的导航定位技术引起了相关专家的广泛研究^[1-3]。因此，微弱信号条件下 GPS 信号的捕获自然成了研究的首要问题，成功捕获到信号是信号跟踪和位置解算的前提条件。

GPS 信号的捕获针对某颗特定的卫星而言是一个伪码相位和载波频率的二维搜索过程^[4,5]。GPS 码捕获技术常用的有串行和并行 2 种方式。GPS 接收机在上世纪末通常采用串行捕获方式，因其捕获时间长，现在已不采用。由于 C/A 码具有周期性的特点，可以通过快速傅立叶变换（FFT）技术并行计算出各个码相位的相关值^[6-8]，从而实现 C/A 码的并行捕获。为实现微弱信号条件下的码捕获，常采用相干累积和非相干累积结合的办法（本文简称相干非相干累积算法）来获得高的处理增益^[1]。鉴于相干累积时间受导航数据比特跳变的影响，在未知导航数据比特的情况下，相干累积的时间不能超过 20 ms，而非相干累积则由于对噪声进行平方运算后存在平方损耗，此种损耗近似与累积次数的对数成正比，在弱信号条件下累积次数通常比较大，这将引起大的平方损耗，这就影响了该方法的使用^[9]。而差分相干累积算法能消除多普勒频率偏差的影响而被广泛采用^[10-13]。文献[10,11]将差分相干累积算法应用于弱 GPS 信号条件下的比特同步，得到了满意的同步效果。文献[12]对差分相关结果进行非相干累积，该算法同样将噪声进行了取模操作，因而处理增益有所下降。此外，该文献考虑的是输入信号和参考信号的码相位和多普勒频移、相位均一致的理想场景。文献[13]对差分相关结果进行相干累积，证明该算法在多普勒频率偏差较大时有很好的捕获效果，但是没有针对微弱信号条件下的捕获进行研究。针对上述情况，有必要对差分相干累积算法进行更深入的研究以确定其弱信号捕获的可行性。本文正是出于这些方面的考虑对该捕获算法的具体实现进行了研究，包括选取合适的判决门限提高检测概率、采用平均相关技术提高码捕获精度降低自相关损耗以及采用差分相干累积算法克服多普勒频率偏差的影响并提高处理增益。最后通过仿真实验对本文所提出的差分相干累积算法与相干非相干累积算法以及非相干累积算法进行了比较，为了公平起见，3 种算法均采用平

均相关技术，证明本文所提出的捕获算法非常适合工程应用。

2 信号模型及算法原理

2.1 信号模型

为简化分析，设接收到的某 GPS 卫星信号经下变频和取样后的中频信号如式(1)所示^[1]。

$$y_n = Ad(t_n)c[(1+\eta)(t_n-\tau)]\cos[2\pi(f_{IF}-f_D)t_n+\phi_0]+v_n \quad (1)$$

其中， y_n 为取样时刻 t_n 的输出信号； n 为样本点序号； A 为信号幅度； $d(t)$ 为每 20 ms 随机取值+1 或者-1 的 GPS 导航数据电文序列； $c(t)$ 为接收信号中的伪随机噪声码（C/A 码）； η 为多普勒频移对 C/A 码码率的影响因子，当信号较强时信号，C/A 码的捕获时间短，该因子的影响可以忽略； τ 为 C/A 码的起始时间偏移； f_{IF} 为接收信号与本地的 L1 载波频率进行混频后的中频频率； f_D 为接收信号的多普勒频移； ϕ_0 为接收信号的初始相位；不计电离层效应，多普勒频移 f_D 与影响因子 η 之间的关系式可表示为 $\eta = f_D / 1575.42 \times 10^6$ ； v_n 为均值为零，方差为 σ_v^2 的高斯噪声信号。

相应地，在 GPS 接收机中将再生出该颗卫星的经 C/A 码调制的中频信号。其同相分量 i_n 和正交分量 q_n 可分别表示为

$$i_n = c[(1+\hat{\eta})(t_n-\hat{\tau})]\cos[2\pi(f_{IF}-\hat{f}_D)t_n] \quad (2)$$

$$q_n = -c[(1+\hat{\eta})(t_n-\hat{\tau})]\sin[2\pi(f_{IF}-\hat{f}_D)t_n] \quad (3)$$

其中， $\hat{\eta}$ 、 $\hat{\tau}$ 和 \hat{f}_D 分别为 η 、 τ 和 f_D 的估计值，且 $\hat{\eta} = \hat{f}_D / 1575.42 \times 10^6$ 。

本地再生的中频信号同相分量 i_n 和正交分量 q_n 与接收中频信号进行相关后的同相分量 I 和正交分量 Q 可分别表示为

$$I = \sum_{n=1}^N y_n i_n \quad (4)$$

$$Q = \sum_{n=1}^N y_n q_n \quad (5)$$

其中， N 为相关周期内的样本点数。

通过式(2)~式(5)，可将本地中频信号与接收中频信号进行相关后的值表示为

$$Y = I + jQ = \sum_{n=1}^N y_n c[(1 + \hat{\eta})(t_n - \hat{\tau})] \cdot \exp\left\{-j\left[2\pi\left(f_{IF} - \hat{f}_D\right)t_n + \phi_0\right]\right\} \quad (6)$$

经过低通滤波处理并忽略影响因子 η 的影响, 式(6)简化为

$$Y = 0.5Ad(t_n)R_c(\Delta\tau)\text{sinc}\left[(\Delta f_D)T_c\right] \cdot \exp\left\{-j\left[2\pi(\Delta f_D)T_c + \phi_0\right]\right\} + w_n \quad (7)$$

其中, $R_c(\Delta\tau)$ 为 C/A 码自相关函数在码相位偏差 $\Delta\tau = \tau - \hat{\tau}$ 处的取值; $\text{sinc}(x) = \sin(\pi x)/\pi x$ 为辛格函数; T_c 为相干积分时间; $\Delta f_D = f_D - \hat{f}_D$ 为多普勒频率偏差。 w_n 为相干积分噪声项。

2.2 平均相关技术

为提高弱信号条件下的 GPS C/A 码捕获灵敏度, 由式(7)可知必须减少 C/A 码的自相关损耗, 也就是减少捕获时的码相位偏差, 实现 C/A 码精密捕获, 这就要求以较高的频率对接收信号进行采样。若采用基于 FFT 的并行码捕获算法, 高的采样率将带来高的运算复杂度, 不利于工程实际应用。因此, 本文考虑采用平均相关技术。

所谓平均相关技术就是以不同的采样点位置预设为 C/A 码码片的起始点进行分组, 并对每个码片内的采样点进行平均获得分组后的接收信号, 最后通过 FFT 处理获得各分组信号与本地复制信号在各个码相位处的相关值^[7]。该技术既可以降低对 FFT 处理芯片的要求, 又可以提高运算速度便于实时处理。

图 1 为采用平均相关技术进行分组的示意图。图中“*”表示接收序列的样本点, 箭头表示进行平均操作时各序列选取的起始样本点(假设每个码片中包含 M 个样本点, 经过平均后的序列图中仅画出 1 个 C/A 码周期), 图中数字仅表示平均后的各序列的码片序号。



图 1 平均相关分组

为了说明 C/A 码精密捕获对捕获灵敏度的影

响, 下面具体计算本文捕获精度与常规捕获精度时的自相关损耗。设 C/A 码采用的是矩形码片, 自相关函数可以表述为

$$R_c(\Delta\tau) = \begin{cases} A^2 \left(1 - \frac{|\Delta\tau|}{T_c}\right), & |\Delta\tau| \leq T_c \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (8)$$

其中, T_c 为 C/A 码的码片宽度。本文的采样频率为 16.368 MHz, 精密捕获的码片误差 $|\Delta\tau| \leq T_c/32$, 相关峰值损耗为

$$20\lg(R(\Delta\tau)/A^2) \leq 20\lg(31/32) \approx -0.276 \text{ dB} \quad (9)$$

当采样常用的码捕获精度(码搜索步长为 1/2 码片)时, 码片误差 $|\Delta\tau| \leq T_c/4$, 此时的相关峰值损耗为

$$20\lg(R(\tau)/A^2) \leq 20\lg(3/4) \approx -2.5 \text{ dB} \quad (10)$$

比较式(9)和式(10)可以看出, 采用本文方案进行精密捕获时的码捕获灵敏度约提高 2.2 dB。

2.3 差分相干累积原理

由于传统方法常采用相干非相干累积算法进行捕获, 而非相干累积会带来平方损耗, 故现在研究较多的是采用差分相干累积进行捕获。

差分相干累积的基本原理是将当前相关积分周期内的相关值与前一相关值的复共轭相乘后得到差分相关值, 然后再对差分相关值进行累积。值得一提的是据目前文献来看, 累积方式又分为相干累积和非相干累积。

文献[12]对差分相关值采用非相干累积, 严格来说此种方法应称为差分非相干累积, 根据式(7)设第 k 个相关值为 Y_k , 则 L 个差分相关值进行非相干累积的结果为

$$Z = \sum_{k=2}^L |Y_{k-1}^* Y_k| \quad (11)$$

其中, *表示复共轭操作。从式(11)可以看出, 若相关值为一个 C/A 码周期的相关输出, 由于对差分相关值进行幅值累积, 因而不受导航数据比特跳变的影响。此外, 对残余的多普勒频率偏差和漂移也不敏感, 能够适应高动态条件下的码捕获。但非相干累积同时也放大了噪声, 处理增益有所下降。

文献[13]采用相干累积, 相应地, L 个差分相关值进行相干累积的结果为

$$Z = \sum_{k=2}^L Y_{k-1}^* Y_k \quad (12)$$

从式(12)可知，导航数据比特符号跳变对累积结果有影响，由于一个导航数据比特包括 20 个 C/A 周期，假设每个导航数据比特符号变化的概率为 50%，因此带来的处理增益损耗仅为 0.22 dB 响较小。但是当存在较大的多普勒频率漂移时，长时间的相干累积会因为相位旋转影响其处理增益，因而不利于高动态条件下的信号捕获。考虑到弱信号条件下多数为低动态的环境，这时采用式(12)获得的处理增益比采用式(11)高，因此，本文捕获算法采用式(12)。

3 基于差分相干累积的捕获算法及性能分析

3.1 捕获算法

本文首次将平均相关和差分相干累积相结合，设计出 C/A 码精密捕获算法，实现捕获的原理如图 2 所示。

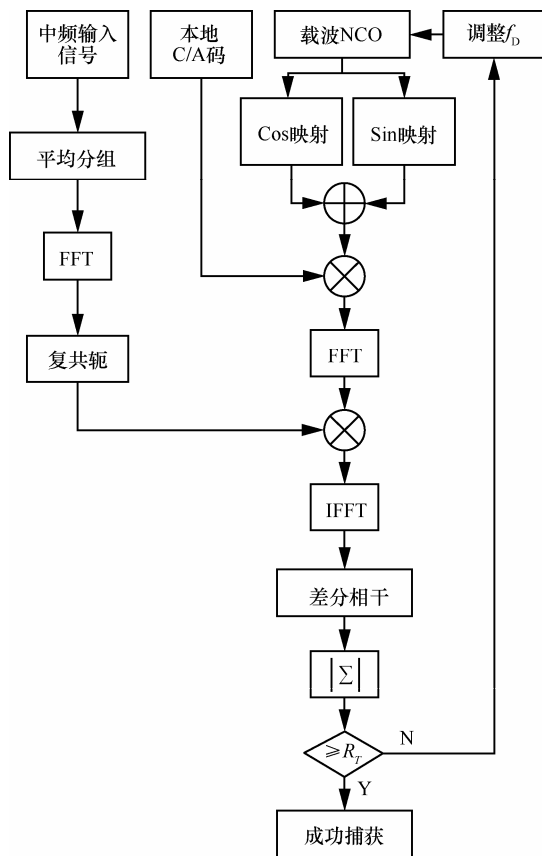


图 2 码捕获原理

针对某特定的卫星发射信号，接收机首先下变频为中频信号，然后对中频信号进行采样和模数转换。由于进行平均的样本起始点的不同，经平均后形成 M (设采样频率为 $M \times 1.023$ MHz) 组

数字中频信号。接收的 M 组数字中频信号经 FFT 运算和复共轭操作后分别与本地再生的该卫星的数字中频信号的 FFT 值相乘。乘积信号经 IFFT 运算后即获得接收信号与本地再生信号在各个码相位处的相关值。将各组相关值经差分相干累积后取绝对值得到相关能量值的幅值。将 M 组相关能量幅值中的最大值与该组相关能量值中的第二大值的比值作为判决变量。将判决变量与判决门限 R_T 做比较，当判决变量大于判决门限时表示捕获成功，此时该最大值对应的多普勒频移和码相位可作为接收信号中相应变量的估计值；如果判决变量小于判决门限，则调整本地再生信号的多普勒频移继续进行捕获直至搜索完预设的多普勒频移范围。

3.2 性能分析

传统的 GPS 测量中，通常采用相关能量值作为判决变量^[14]。然而由于实际的噪声功率无法预测，弱信号条件下测噪比的测量往往非常困难且精度不高^[15]。因此，在本文中并没有直接采用相关能量峰值作为判决变量，而是采用 M 个分组中得到的相关能量值的最大峰值与该组相关能量值中第二大值的比值作为判决变量^[15]。即

$$R = \frac{\max(I_n^2 + Q_n^2)}{\text{sec} \max(I_n^2 + Q_n^2)} \quad (13)$$

采用相关能量的最大峰值与第二大峰值的比值作为判决变量的好处是选取判决门限时不必测量噪声功率的大小 (因为判决变量的大小与噪声方差无关^[15])，而只需根据累积时间的长短自适应地调整判决门限的取值。

衡量捕获性能的常用指标有检测概率和虚警概率以及捕获时间等。捕获时间与算法复杂度紧密相关，暂不作为本文考虑的重点。下面重点分析检测概率和虚警概率。

3.2.1 检测概率

当式(12)中的 L 较大时，由文献[16]可知，式(12)中的差分相干累积值服从高斯分布。设相干积分时间为 1 ms，导航数据比特跳变的概率为 50%，则其均值为

$$m_z = 0.25A^2R_c^2(\Delta\tau)\sin^2\left[(\Delta f_D)T_c\right]\sum_{k=2}^L d(k-1)d(k) \approx 0.25A^2R_c^2(\Delta\tau)\sin^2\left[(\Delta f_D)T_c\right](L-1)\frac{19}{20} \quad (14)$$

方差为

$$\sigma_z^2 = 0.25A^2R_c^2(\Delta\tau)\sin^2c^2[(\Delta f_D)T_c] \cdot 2(L-1)\sigma_w^2 + (L-1)\sigma_w^4 \quad (15)$$

由于判决变量 $|Z|$ 为差分相干累积值的绝对值,因而服从莱斯分布,其概率密度函数为^[17]

$$f(z) = \begin{cases} \frac{z}{\sigma_z^2} e^{-\frac{z^2+m_z^2}{2\sigma_z^2}} I_0\left(\frac{zm_z}{\sigma_z^2}\right), z \geq 0 \\ 0, z < 0 \end{cases} \quad (16)$$

其中, z 表示随机变量的值; $I_0(zm_z/\sigma_z^2)$ 表示零阶修正的贝塞尔函数。

设 $k=1$ 为正确码相位处的分组,那么正确码相位分组取得最大值的概率为

$$P_{\max} = P\left\{|Z_k|_{k=1} > \max(|Z_k|_{k=2,3,\dots,M})\right\} \quad (17)$$

其中, Z_k 表示第 k 个平均分组的差分相干累积幅值最大值。设变量 $U = \max(|Z_k|_{k=2,3,\dots,M})$,可得^[11]

$$P_{\max} = \int_{-\infty}^{\infty} f_{Z_1}(v) \int_{-\infty}^v f_U(u) du dv = \int_{-\infty}^{\infty} f_{Z_1}(v) \prod_{k=2}^M F_{Z_k}(v) dv \quad (18)$$

其中, f_{Z_1} 和 f_U 分别表示正确相位处分组和变量 U 的概率密度函数; F_{Z_k} , $k=2,3,\dots,M$ 为其他码相位处分组的差分相干累积幅值的分布函数。

对于正确码相位分组而言,根据判决门限 R_T ,并设 $Z_{(1)}$ 为各相位处差分相干累积最大值, $Z_{(2)}$ 为差分相干累积第二大值,则检测概率可用公式表示为

$$P_d(R_T) = P\left(\frac{Z_{(1)}}{Z_{(2)}} \geq R_T\right) = \int_0^{\infty} \int_{R_T}^y f_0(x) f(y) dx dy \quad (19)$$

其中, $f_0(x)$ 表示 $Z_{(2)}$ 的概率密度函数,由于本文经平均分组后的码相位数目为1023,其他码相位处的相干值落在C/A码自相关函数的旁瓣,可作为噪声处理,从而服从如下的瑞利分布。

$$f_0(z) = \begin{cases} \frac{z}{\sigma_z^2} e^{-\frac{z^2}{2\sigma_z^2}}, z \geq 0 \\ 0, z < 0 \end{cases} \quad (20)$$

由概率论与数理统计原理^[18],式(19)可进一步表示为

$$P_d(R_T) = \int_0^{\infty} \left[F_0\left(\frac{y}{R_T}\right) \right]^{K-1} f(y) dy = \int_0^{\infty} \left[1 - \exp\left(-\frac{y^2}{2R_T^2\sigma_z^2}\right) \right]^{K-1} \frac{y}{\sigma_z^2} e^{-\frac{y^2+m_z^2}{2\sigma_z^2}} I_0\left(\frac{ym_z}{\sigma_z^2}\right) dy \quad (21)$$

从而可得C/A码精密捕获的检测概率为

$$P_D = P_{\max} P_d(R_T) \quad (22)$$

3.2.2 虚警概率

与没采取平均相关技术的信号捕获算法不同的是,如果精确码相位处的幅值小于其他码相位处的幅值,那么获得的码相位估计值也可能只是较为不精确的估计值,而不是错误估计值。如果仅仅存在多普勒频率偏差,由后续的仿真结果可知其他码相位处幅值大于精确码相位处幅值的概率是非常小的。

由于虚警概率为没有信号存在情况下差分相干累积幅值中最大值与第二大值比值大于判决门限 R_T 的概率,显然与 R_T 选取有关,很难获得闭式的解析表达式。故在仿真实验中对判决门限 R_T 与虚警概率的关系进行了数值仿真并选取最优值作为后续仿真实验中的判决门限。

4 数值仿真及分析

通过Matlab对所提的捕获算法进行了码捕获仿真。仿真的接收中频信号采用式(1)生成,仿真产生第8号卫星信号。产生导航数据比特 $d(t)$ 取值随机变化的仿真数据长度为200ms(在该数据长度内,多普勒频移对码率的影响因子 η 可忽略不计);中频频率为4.092MHz;采样频率为16.368MHz;接收信号初始相位 $\phi_0=0$;噪声为均值为0,方差为1的高斯白噪声;信号幅度由式(23)进行计算^[9]。

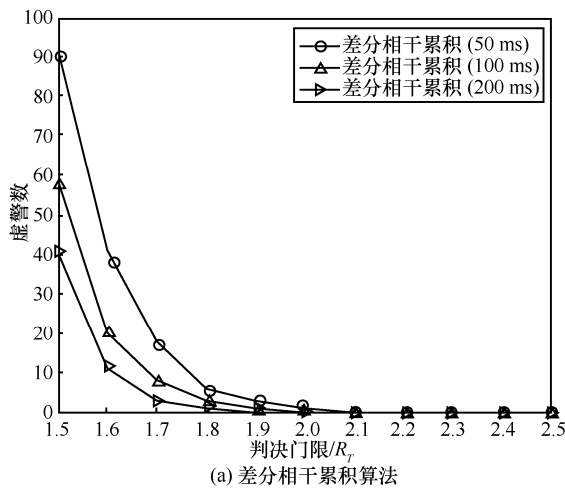
$$A = \sqrt{2}\sigma_v(10^{(S/N)/20}) \quad (23)$$

其中, σ_v 为噪声的标准偏差,本文令 $\sigma_v=1$, S/N 为期望的信噪比,单位为dB。当输入带宽为2.046MHz时,接收机热噪声约为-141dBW,若输入信号的大小为标称功率-160dBW,则 $S/N=-19$ dB。

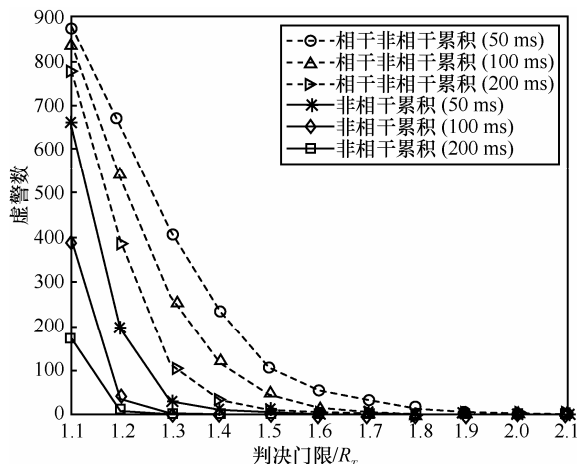
首先,根据累积时间为50ms、100ms和200ms,分别仿真运行基于本文所提出的差分相干累积算

法、相干非相干积累算法以及非相干积累算法的码捕获实验 1 000 次。为公平比较，3 种算法均采用平均相关技术进行精密码捕获。假设中频接收信号中不含被测信号，仿真得到的虚警次数与判决门限 R_T 的关系如图 3 所示。

图 3 (a) 为采用本文所提出的差分相干积累算法的虚警次数与判决门限的关系。从图中可以看出，在相同虚警次数的情况下，随着累积时间的增加，判决门限将降低，当累积时间为 200 ms 时，判决门限 R_T 取值为 1.8 即可达到 10^{-3} 量级的虚警概率。从图 3 (b) 可以看出同样的规律，当累积时间为 200 ms 时，为达到同样的 10^{-3} 量级的虚警概率，采用相干非相干积累算法时的判决门限 R_T 取值为 1.7；而采用非相干积累算法时的判决门限 R_T 取值为 1.3。



(a) 差分相干积累算法



(b) 相干非相干积累算法和非相干积累算法

图 3 虚警次数与判决门限的关系

图 4 比较了采用本文所提出的差分相干积累算法与相干非相干积累算法在多普勒频率偏差分别为 0 Hz、25 Hz、100 Hz 和 250 Hz 时的检测概率。

仿真实验运行 100 次，判决门限采用前述虚警概率为 10^{-3} 量级时的门限值，捕获所用的信号长度为 200 ms。相干非相干算法中相干积累采用交替半比特法^[1]。由图可知，在所有多普勒频率偏差情况下，差分相干积累算法的捕获灵敏度（检测概率为 90% 时的捕获信号强度，以信噪比为单位表示）均为 -46 dB 以上，而相干非相干积累算法当多普勒频率偏差不超过 25 Hz 时约为 -44 dB，此时，采用差分相干积累算法的捕获灵敏度将比采用相干非相干积累算法提高约 2 dB。当多普勒频率偏差为 100 Hz 和 250 Hz 时采用相干非相干积累算法的检测概率为零，这是因为该算法采用 10 ms 的相干积累，要求的多普勒频率搜索间隔最多为 100 Hz，能够容忍的多普勒频率偏差最多为 50 Hz，这将大大增加捕获时间。

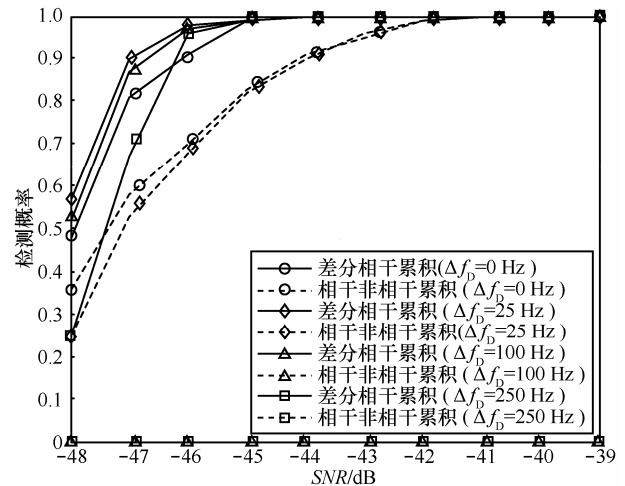


图 4 差分相干积累算法与相干非相干积累算法检测概率的比较

图 5 比较了差分相干积累算法与非相干积累算法的检测概率。由图中可知 2 种算法都能适应较大多普勒频率偏差的情况。当弱信号条件下处理的数据较长（比如 200 ms）时，差分相干积累算法的捕获灵敏度约为 -46 dB，而非相干积累算法的捕获灵敏度约为 -44 dB，因而非相干积累算法由于平方损耗其捕获灵敏度较差分相干积累算法降低 2 dB 左右。

图 6 为采用差分相干积累算法对强度为 -46 dB，多普勒频率偏差为 250 Hz，C/A 码的相位偏移 τ 位于第 1 609 个样本点（即第 101 个码片的第 9 个样本点）处的 200 ms 接收信号进行捕获的仿真结果。图 6(a) 表示各个分组的相关能量峰值。可以看出，即使在 -46 dB 的弱信号条件下，第 9 个分组的相关能量峰值仍明显高于其他分组，与实验假设一致。

图 6(b)为用第 9 个分组的数据进行码捕获的结果。可以看出在正确的码相位 101 处具有明显的相关能量峰值。综合图 6(a)和图 6(b)可知,本算法能对 GPS C/A 码进行精密捕获。

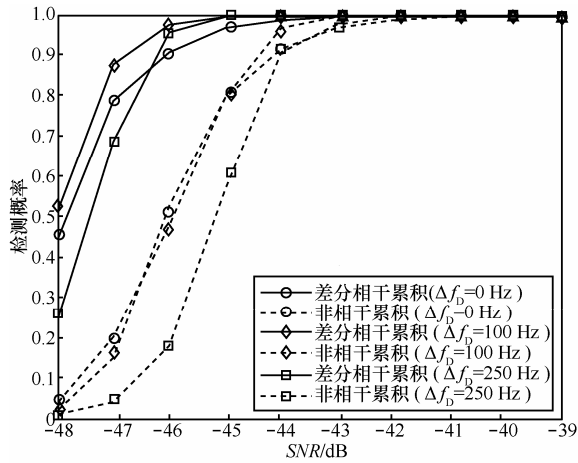
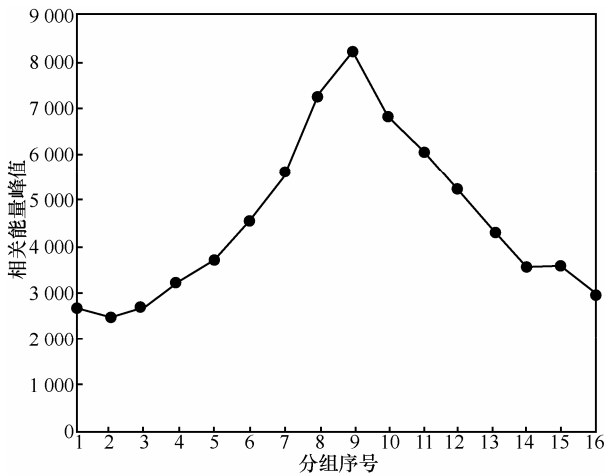
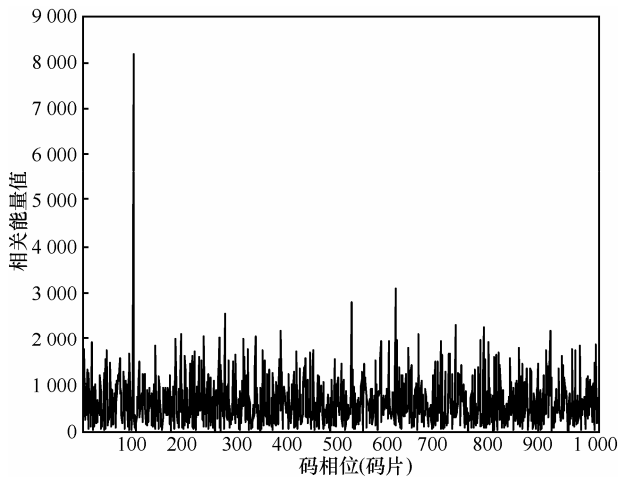


图 5 差分相干积累算法与非相干积累算法检测概率的比较



(a) 各分组的相关能量峰值



(b) 第9个分组各码相位处的相关能量值

图 6 差分相干积累算法码捕获仿真

5 结束语

本文首次提出的采用平均相关与差分相干累积相结合的码捕获算法能克服多普勒频率偏差的影响,适用于微弱 GPS C/A 码信号的精密捕获。通过采用相干能量值的最大峰值与第二大值的比值作为判决变量,可以避免弱信号条件下的信噪比测量过程,自适应地设置判决门限,将码捕获的虚警概率控制在恒定的水平。当多普勒频率偏差较小时,与常用的相干非相干累积算法以及非相干累积算法相比,差分相干累积算法的捕获灵敏度提高约 2 dB。当接收数据长度为 200 ms 时,本文所提出的差分相干捕获算法的捕获灵敏度为 -46 dB。

参考文献:

- [1] PSIAKI M L. Block acquisition of weak GPS signals in a software receiver[A]. ION GPS 2001[C]. Salt Lake City, UT, 2001.2838-2851.
- [2] HE Z, PETOVELLO M, LACHAPELLE G. Improved velocity estimation with high-sensitivity receivers in indoor environments[A]. ION GPS 2012[C]. Nashville, TN, 2012. 1004-1016.
- [3] SHEN Y J, ZHAO M J, ZHONG J, *et al.* Design of acquisition algorithm based on a novel detector for weak GNSS signals[A]. 2011 6th International ICST Conference on Communications and Networking in China[C]. Harbin, China, 2011.384-389.
- [4] PARKINSON B W, SPILKER J J. Global Positioning System: Theory and Applications Vol I[M]. Washington: American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc, 1996.
- [5] MAO W L, CHEN A B. New code delay compensation algorithm for weak GPS signal acquisition[J]. International Journal of Electronics and Communications (AEÜ), 2009, 63(8): 665-677.
- [6] LECLERE J, BOTTERON C, FARINE P. Improving the performance of the FFT-based parallel code-phase search acquisition of GNSS signals by decomposition of the circular correlation[A]. ION GNSS 2012[C]. Nashville, TN, 2012. 1406-1416.
- [7] STARZYK J A, ZHU Z. Averaging correlation for C/A Code acquisition and tracking in frequency domain[A]. IEEE MWSCAS 2001[C]. Dayton, Ohio, 2001.905-908.
- [8] SOUDAN M, GEIGER B C. On the averaging correlation for satellite acquisition in software defined radio receivers[A]. ION GNSS 2010[C]. Portland, OR, 2010. 3284-3289.
- [9] TSUI J B. Fundamentals of Global Positioning System Receivers - A Software Approach[M]. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2005.
- [10] 李新山, 郭伟, 谢先斌. 一种高动态、弱信号 GPS 比特同步方法[J]. 电子与信息学报, 2011, 33(10): 2521-2525.

LI X S, GUO W, XIE X B. A GPS bit synchronization method for

- high-dynamic and weak signal[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2011, 33(10): 2521-2525.
- [11] LI X S, GUO W. Efficient differential coherent accumulation algorithm for weak GPS signal bit synchronization[J]. IEEE Communications Letters, 2013, 17(5):936-939.
- [12] 唐斌, 董绪荣. 基于简易差分相干积累的高灵敏度 GPS 软件接收机捕获算法[J]. 信号处理, 2009, 25(5): 832-836.
TANG B, DONG X R. A new high-sensitivity acquisition method of software GPS receiver based on ingenious differentially coherent integration[J]. Signal Processing, 2009, 25(5): 832-836.
- [13] SHIN O, LEE K B. Differentially coherent combining for double-dwell code acquisition in DS-CDMA systems[J]. IEEE Transactions on Communications, 2003, 51(7):1046-1050.
- [14] GEIGER B C, VOGEL C, SOUDAN M. Comparison between ratio detection and threshold comparison for GNSS acquisition[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. 2012, 48(2): 1772-1779.
- [15] JUNG J. Implementation of correlation power peak ratio based signal detection method[A]. ION GPS 2004[C]. Long Beach, CA, 2004. 486-490.
- [16] SCHMID A, NEUBUER A. Performance evaluation of differential correlation for single shot measurement positioning[A]. ION GNSS 2004[C]. Long Beach, CA, 2004. 1998-2009.
- [17] KAPLAN E D, HEGARTY C J. Understanding GPS: Principles and Applications[M]. Norwood, MA: Artech House, 2006.
- [18] OLOFSSON P, ANDERSSON M. Probability, Statistics, and Stochastic Processes[M]. New Jersey: John Wiley & Sons, 2012.

作者简介:



李新山 (1972-), 男, 湖南涟源人, 电子科技大学博士生, 主要研究方向为微弱 GPS 信号接收、导航信号处理。

郭伟 (1964-), 男, 四川达州人, 电子科技大学教授、博士生导师, 主要研究方向为通信网络技术和无线移动通信技术等。