doi:10.13442/j.gnss.1008-9268.2017.04.001

卫星导航信号码片形状监测算法研究

李瑞丹，唐小妹，欧钢

（国防科技大学 电子科学与工程学院 卫星导航定位技术工程研发中心，湖南 长沙 410073）

摘　要：信号质量监测技术是保障卫星导航系统高服务性能的重要手段之一。多相关器法是一种传统的信号质量监测算法，但它也存在一些局限性，如不能直观地反映异常信号波形特征、检测量效果随着信号调制方式的不同而不同、随着相关器的增多计算复杂度增大。针对以上问题，同时为了提高监测性能，本文采用了一种能获取码片过渡段的算法，并对检测量构成形式进行扩充，提出了一种高效检测量的筛选算法。最后本文对码片监测算法和多相关器算法进行了仿真与实测数据分析，验证了检测量选择算法能一定程度提高监测性能；码片监测算法相对多相关器法提高了监测敏感度，且有在实际实现时有更小的计算量及对其他体制信号更强的适用性。

关键词：卫星导航；信号质量监测；信号畸变；检测量选择

中图分类号：P228.4　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1008-9268(2017)04-0001-09

0 引　言

卫星导航系统在为用户提供服务的同时，要保证导航服务的质量，否则可能会造成不可预计的后果。而信号质量监测（SQM）技术[1]，可实现在卫星信号发生故障时及时报警，避免用户误用故障信号。

1993 年，GPS SV19 号卫星信号功率谱畸变，SQM 技术成为各国学者的研究重点，2001 年 Phelts 提出了“2nd-order step”（2OS）模型，并研究了多相关器法检测信号故障的技术[2]，自此，多相关器法广泛应用于 SQM 技术，文献[3-5]针对不同类型的异常事件，用多相关器法进行检测，均达到了较好的监测效果。但是多相关器法也存在局限性，包括检测量形式单一、随着相关器的增多计算复杂度增大、不能直观地反映发生异常的信号波形特征、检测效果随着信号调制方式的不同而不同。随着卫星导航系统的不断发展，多相关器法逐渐不能满足监测用户的需求，针对这些问题已有部分学者做出研究，文献[6]提出码减载波的监测方法，减小了计算复杂度，但牺牲了部分监测性能；文献[7]分析了如何选择高效检测量，但检测量形式单一仅限于线性检测量；文献[8]改进了现有的 SQM2b 监测算法，保证了对 L5 频段信号一定的适用性，但效果较差，只能通过限制前端带宽和相关间隔来提高监测性能。

本文采用一种基于码片形状的信号质量监测算法来克服以上缺点，它的技术基础来自诺瓦泰公司提出的 vision 相关器技术[9]，这种技术最初被提出是为了抑制多径，但它得到的码片测量值也能用于信号质量监测，文献[4]分析了这种算法的可行性，但仅试用了非常简单的检测量，监测性能仍有提升空间。本文扩充了该算法下的检测量，并提出了一种检测量的筛选算法，这种筛选算法同时适用于多相关器法以及码片监测算法。文章最后对两种监测算法及检测量筛选算法进行了仿真和实测分析，结果证明检测量筛选算法提供的检测量具有更高的监测性能，同时码片监测算法不仅克服了多相关器算法的部分缺点，还能提高监测性能。

1 信号畸变模型

由于信号带限以及通道非理想等因素，接收的

收稿日期：2017-04-20

联系人：李瑞丹 E-mail：liruidan@qq.com

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

信号不可能完全与理想波形一致，为了防止过大的定位误差，这些不一致常被约束在一定范围内。信号质量监测的目的之一就是监测信号波形是否处于约束范围内。为了模型化常见的信号畸变，方便信号质量监测算法的设计，国际民航组织(ICAO)提出了信号畸变模型[2]描述星上设备引起的信号码片畸变，该模型由三个参数组成，其中 Δ 描述数字畸变时码片上升沿/下降沿的超前或滞后，用阻尼频率 f_d 与阻尼因子 σ 描述模拟畸变造成的振铃效应及三个参数结合描述混合畸变。这些信号畸变将造成信号相关峰的畸变从而引入测距误差，如图 1 示出了一种模拟畸变发生前后信号的码片形状、相关峰。该畸变模型可以作为信号质量监测算法性能评估的重要依据。

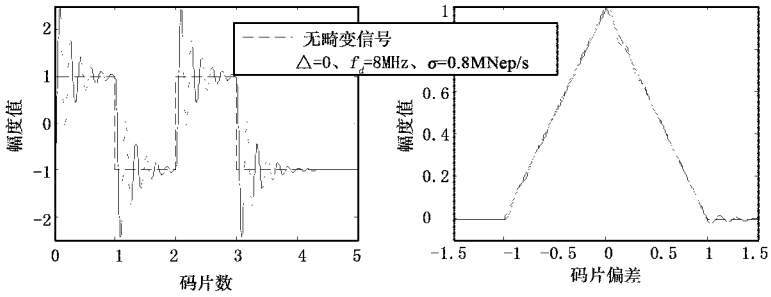

图 1 Δ=0，f_d=6 MHz，σ=3.8MNep/s 时信号发生模拟畸变前后的码片形状、相关峰

2 传统多相关器监测算法

多相关器法用一对窄相关间隔的早迟相关器对信号进行跟踪，其他相关器看做从属于这一对相关器，它用早迟相关器跟踪的结果来调整做相关的位置得到不同位置的相关函数值，实现实时监测相关峰。图 2 示出了拥有位于相关峰[0 ±0.025 ±0.05 ±0.075 ±0.1]的九相关器相关峰测量点。

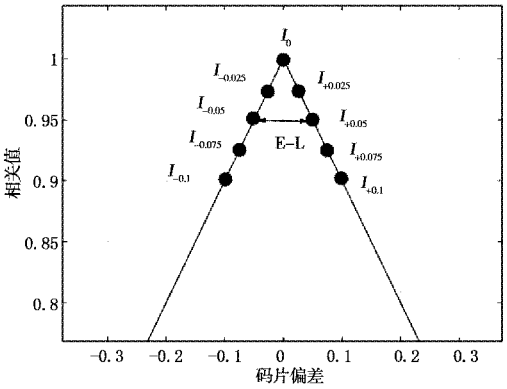

图 2 多相关器法相关峰测量位置举例

将相关器输出线性组合，可以得到一些检测量，将这些检测量与标准结果对比，可以反映相关峰的斜率、对称性等，从而反映相关峰的畸变情况。常用的检测量有：

$$\Delta_{\pm d_1/2,\pm d_2/2} = \Delta_{\pm d_1/2-\Delta\pm d_2/2} = \frac{I_{-d_1/2-I+d1/2}}{I_p} - \frac{I_{-d_2/2-I+d_2/2}}{I_p}, \tag{1}$$

$$R_{\pm d_i/2,p} = \frac{I_{-d_i/2} - I_{+d_i/2}}{2 \cdot I_p},$$

$$R_{+d_i/2,p} = \frac{I_{+d_i/2}}{I_p}, R_{-d_i/2,p} = \frac{I_{-d_i/2}}{I_p}, \tag{2}$$

其中：Δ为Δ检测量；R为比值检测量；I为相关器输出，下标 $d/2$ 表示位于相关峰的位置。进行信号质量监测时，检测量根据其参考分布均设有门限，一旦实测检测量超过门限则判定信号可能发生故障。

多相关器法已经在监测 GPS L1 C/A 信号上已取得了较大的成功，但仍存在着不可忽视的缺点：

1) 不同体制信号相关峰特征差异大，旧的检测量可能对新体制信号监测性能较差；

2) 相关峰不能直观体现信号波形的畸变情况；

3) 若要获取详细的相关函数信息需要进一步增加相关器个数，增加硬件复杂度。

为了克服以上缺点可以对多相关器算法进行改进，直接对信号码片形状进行质量监测。

3 基于码片形状的监测算法

3.1 算法基本原理

为了获取码片形状测量值，本文利用了一种

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

vision 相关器技术，它利用信号码片翻转阶段的相似性，可实现在不利用高增益天线刻意放大载噪比的情况下，实时输出码片翻转段特定位置测量值。

vision 相关器技术将一段伪码看成多个重复的如图 3 所示的码片翻转组成，每个翻转段只存在符号的不同。它以码片值过零点为中心，将一个完整的码片翻转分为多个不重叠的码相位区间，为每一个码相位区间配置一个累加器，利用传统超前、即时、滞后三个支路实现码跟踪，估计当前采样点码相位，判断当前采样点属于划分的哪一个码相位区间，然后将该信号送入相应区间的累加器与本地复制码信号进行累加，即可得到当前码相位区间码片测量值。图 3 示出了 vision 相关器技术下实际码片形状与码片测量值之间的关系。设图 3 所示的 8 个测量点中第 i 个测量点为 b_i，可以利用这些测量值组成非常直观的检测量：

$$m_i = \frac{1}{p'} b_i, \tag{3}$$

式中：$p' = d \cdot I_0$，I_0 为即时支路的相关值；d 为码相位区间长度，最终的判决式可为

$$\gamma = \max_i \left\{ \frac{|m_i - \mu_{mi,0}|}{T_i} \right\} \geqslant 1. \tag{4}$$

即判决信号故障发生，其中 $\mu_{mi,0}$ 为码片测量值均值，T_i 为码片测量值门限。除了将简单的码片测量值作为检测量之外，还可对检测量进行扩充，将码片测量值组成与多相关器检测量类似的形式，即 $m_i = \frac{(b_X \pm b_Y)}{b_Z}$，本文 3.2 节提出了一种检测量筛选算法可从中挑选高效检测量，从而提高监测性能。

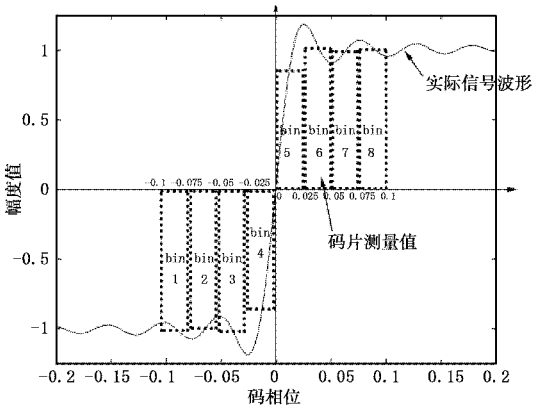

图 3　实际码片波形与码片测量值示意图

3.2　检测量选择算法

为了既充分利用扩充的检测量，又保证检测量数目不冗余。本文考虑了一种高效检测量的筛选算法，利用信号畸变模型，对候选检测量进行事前分析，在保证监测尽可能多的异常事件同时仅采用较少数量的检测量。这种算法不仅能在检测量过多时为码片监测算法筛选检测量，还同样适用于为多相关器法。本文挑选指标时主要依据以下两个事实：

1）一个检测量是否适用于检测某一异常事件取决于异常发生时检测量的偏离值相对于标准差的大小；

2）最终选择的检测量组合要对所有可能发生的异常事件均具有较高的检测性能。

根据以上两个准则，检测量筛选步骤如下：

1）计算信号无异常时的检测量参考值：接收正常信号，计算参考的码片测量值 $b_{i\,ref}$，i 表示码片测量值编号，利用这些值求出候选检测量参考值 $m_{i\,ref}$，i 表示候选检测量的编号；

2）计算码片测量值标准差 σ_{bi_ref} 和检测量标准差 σ_{mi_ref}：码片测量值 b 和即时支路相关输出 I_0 可看做高斯分布，利用载噪比 C/N_0 和积分时间 T 得到估计的均值与方差之间的关系为

$$\mu_b = d \cdot \sqrt{2 \cdot 10^{\frac{C/N_0}{10}} \cdot T}, \tag{5}$$
$$\sigma_b{}^2 = 2 \times d、\qquad \sigma_{b1}\sigma_{b2} = 0,$$

$$\mu_{10} = \sqrt{2 \cdot 10^{\frac{C/N_0}{10}} \cdot T},$$
$$\sigma_{I0}{}^2 = 1, \sigma_b \sigma_{I0} = d \times \sigma_{I0}{}^2. \tag{6}$$

式中：μ 为均值；σ 为标准差；d 为码相位区间长度。利用以上得到的结果，计算理论上检测量的标准差为

$$\boldsymbol{D}(m) = \boldsymbol{A} \cdot \boldsymbol{D}(b) \cdot \boldsymbol{A}^{\mathrm{T}},$$

$$\boldsymbol{D}(b) = \begin{bmatrix} \sigma_{b1}{}^2 & \sigma_{b1}\sigma_{b2} & \sigma_{b1}\sigma_{b8} \\ \sigma_{b1}\sigma_{b2} & \sigma_{b2}{}^2 & \sigma_{b2}\sigma_{b8} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \sigma_{b1}\sigma_{b8} & \sigma_{b2}\sigma_{b8} & \sigma_{b8}{}^2 \end{bmatrix}. \tag{7}$$

式中：$\boldsymbol{D}(m)$ 为检测量 m 的方差；$\boldsymbol{A}$ 为雅克比矩阵；$\boldsymbol{D}(b)$ 为码片测量值方差阵可由式(5) 直接得到，异常前后检测量标准差视为不变；

3）利用 ICAO 规定的信号异常模型，模拟所有可能的信号畸变：三个参数的取值如下：$\Delta \in [0, 0.12]$ 码片，每 0.01 码片取一个点；f_d 模拟畸变情况下在 4 ～ 17 MHz 间取值、混合畸变情况下在 7.3 ～ 13 MHz 间取值，每 0.1 MHz 取一个点；σ 在 0.8 ～ 8.8 MNep/s 间取值，每 0.5 MNep/s 取一个点，共有 14 072 组畸变参数取值将纳入考虑；

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

4）计算检测量对不同异常事件的敏感度：对每一组畸变参数取值，计算每一检测量在该畸变参数取值下的测量值 m_{i_ewf}，计算检测量的偏离值相对于检测量参考标准差的比值 $ratio = \frac{m_{\mathrm{i_ewf}} - m_{\mathrm{i_ref}}}{\sigma_{\mathrm{mi_ref}}}$；

5）挑选检测量：根据式(4)中结果求得每组畸变参数下 $ratio$ 的最大值，对每个候选检测量，统计其 $ratio$ 是否大于 $max(ratio)\times 0.9$（即判断该检测量是否是针对该异常事件的高效检测量），在所有检测量里找到适用最多异常事件的检测量，选择该检测量并输出检测量编号；

6）更新候选畸变参数取值组合：将式(5)选择的检测量适用的异常事件对应的畸变参数取值从候选畸变参数取值中删除；

7）从剩余畸变参数取值组合中重复步骤式(5)和式(6)，直到剩余的的畸变参数取值组数＜0.1%×14072 或已选择的检测量数目大于等于 8.

以上检测量筛选算法可由图 4 直观的表示。

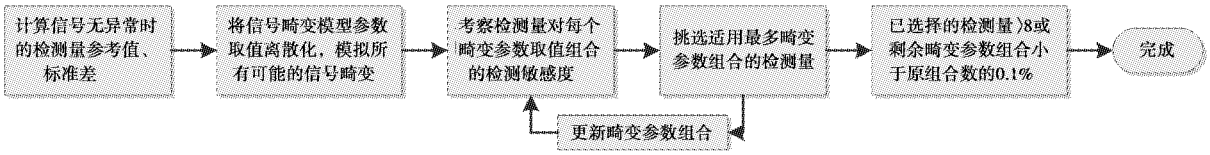

图 4 检测量筛选算法流程图

3.3 码片监测算法执行流程

选择实际利用的检测量后，即可执行码片监测算法，对信号质量进行监测，具体流程为

1）初始化：接收正常信号，获取检测量的均值、标准差参考值以及对应的载噪比；

2）进入监测状态：计算检测量测量值，对检测量测量值做平滑，根据当前载噪比、检测量平滑时间、检测量标准差求得估计的检测量标准差；

3）确定门限，进行判决：将同一载噪比下畸变前后检测量标准差视为不变，且均为高斯分布，不同的只有均值，根据统计判决理论，对于检测量 m_i：

$$|m_{\mathrm{i_ewf}} - m_{\mathrm{i_ref}}| > TH_i = \sqrt{2\sigma_{mi}^2}\times erfc^{-1}(2P_{FA}) = k\cdot\sigma_{mi}. \quad (8)$$

即判决故障发生，其中 TH_i 为门限，由预设虚警概率 P_{FA} 及检测量方差 σ_{mi}^2 决定，文中选取 $k=5$，保证了一定的监测敏感度的同时理论上虚警概率小于 0.0001%. 因此 $\gamma = \max_i\left\{\frac{|m_i - \mu_{mi}, 0|}{5\cdot\sigma}\right\} \geqslant 1$ 即判决故障发生。

4 仿真验证与实测数据分析

4.1 不同监测方案的仿真验证

通过仿真试验，对仿真的正常信号、畸变信号进行接收，采用三种监测方案对信号进行监测，各方案均用 8 个检测量，具体的参数设置为：

多相关器算法：相关器位置：[0 ±0.025 ±0.05 ±0.075 ±0.1]，采用筛选后的 8 个 Δ、比值检测量 $m_1 \sim m_8 = \{R_{+0.025,p}、R_{-0.025,p}、\Delta_{\pm0.075,\pm0.025}、R_{+0.075,p}、\Delta_{\pm0.1,\pm0.05}、\Delta_{\pm0.1,\pm0.075}、R_{+0.1,p}、R_{+0.05,p}\}$ 码片监测算法：码片测量区间划分与多相关器法的相关器位置选取相同，可以得到 8 个码片测量值，采用的检测量有两个方案。

方案 1：直接码片测量值 $m_1 \sim m_8 = b_1 \sim b_8$；

方案 2：3.2 节算法筛选的检测量：$m_1 \sim m_8 = \left\{\frac{b_5 - b_7}{b_4}、\frac{b_6 - b_8}{b_4}、\frac{b_6 + b_7}{b_5}、\frac{b_2 - b_8}{b_4}、\frac{b_2 + b_3}{b_7}、\frac{b_2 - b_7}{b_4}、\frac{b_6 - b_8}{b_5}、\frac{b_1 + b_2}{b_4}\right\}$

以上三种方案均采用同一跟踪环路进行跟踪，1 000 ms 的累加时间对检测量进行平滑，每 100 ms 出一次检测结果，首先跟踪载噪比为 45 dBHz 的正常无畸变信号以获取各检测量参考值、参考标准差，然后输入相同载噪比的畸变信号，本文考虑了各种类型的信号畸变如表 1 所示，测量了畸变前后不同监测方案各检测量的测量值，表 2 挑选地示出了不同监测方案下对表 1 设置的异常事件具有最高检测概率的检测量的测量值。

表 1 畸变信号参数设置

异常事件编号	f_d/(MHz)	σ/(MNep/s)	Δ/(chip)
case1(TMC)	11	0.8	−0.04
case2(TMB)	6	3.8	0
case3(TMA)	0	0	−0.1

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

表 2　信号畸变前后不同监测算法具有最高检测概率的检测量对应测量值

异常事件编号	监测方案	最有效检测量	参考值		异常发生时均值	$\frac{\lvert m_i-\mu m_i,0\rvert}{5\cdot\sigma}$ 均值
			检测量参考值	标准差		
case1 (TMC)	多相关器	$\Delta_{\pm0.075,\pm0.025}$	0	0.001 8	0.013 0	1.459 9
	码片监测方案 1	b_7	0.986 5	0.035 3	1.302 7	1.789 3
	码片监测方案 2	$(b_6+b_7)/b_5$	2.637 5	0.138 0	0.883 1	4.146 8
case2 (TMB)	多相关器	$2R_{+0.1,P}$	1.904 5	0.001 7	1.845 3	6.833 6
	码片监测方案 1	b_7	0.986 5	0.035 3	2.351 7	7.729 8
	码片监测方案 2	$(b_6+b_7)/b_5$	2.637 5	0.138 0	22.821 7	29.250 2
case3 (TMA)	多相关器	$2R_{+0.05,P}$	1.954 6	0.001 2	1.997 5	6.902 1
	码片监测方案 1	b_6	0.986 5	0.035 3	0.130 2	5.197 3
	码片监测方案 2	$(b_2-b_8)/b_4$	2.604 1	0.136 7	−64.720 7	98.532 0

由于判决条件为 $\gamma=\max_i\left\{\frac{\lvert m_i-\mu_{mi,0}\rvert}{5\cdot\sigma}\right\}\geqslant 1$，结合表 2 中的信息，对比畸变情况下三种监测方案的 $\frac{\lvert m_i-\mu_{mi,0}\rvert}{5\cdot\sigma}$ 均值可得，三种监测方案均可实现对事件 2、3 有效监测，而对事件 1，多相关器法的 γ 可能在门限上下浮动，即多相关器法对事件 1 检测概率较低，若载噪比进一步降低，检测量标准差增大，造成门限提高，可能无法检测出该事件，而码片形状监测算法的 γ 值明显高于门限，检测概率更高，同时，检测量方案 2 的 γ 值最高，这说明即使信号的载噪比下降造成门限提高，检测量方案 2 仍具有一定的检测能力。

4.2　不同监测方案下实测数据分析

利用以上三种监测方案对北斗的 B1I 信号进行了实际信号质量监测。使用软件接收机对北斗 1～7 号卫星在轨 B1I 信号进行实测。由于采用了高增益天线对信号进行接收，接收信号的载噪比在 62 dBHz 左右，减少了检测量的标准差，为了保持与 4.1 节同等监测水平减少了检测量的平滑时间，利用式(5)、式(6)，三种监测方案采用 20 ms 的检测量平滑时间，每 2 ms 出一次检测结果。

实测时首先跟踪了以往北斗 1～7 号卫星正常 B1I 信号获取各检测量参考值、参考标准差，由于实测信号的载噪比不像仿真信号一样稳定，因此在初始化阶段计算参考值时需要给出对应的载噪比，而在实际监测阶段要根据测量的载噪比调整各检测量的门限。图 5 示出了实测北斗 GEO-1 卫星 B1I 信号的载噪比、多相关器法检测量 $R_{+0.025,P}$ 值及其门限值随时间的变化图。利用以上方法，对不同监测方案的多个检测量进行测量，可以获得最终监测结果。图 6 示出了三种监测方案下，实测的北斗 GEO-1 卫星 B1I 信号监测结果，由图可见三种监测方案都没有报警，信号工作正常，其他卫星信号的监测结果与 GEO-1 卫星类似，此处予以省略。

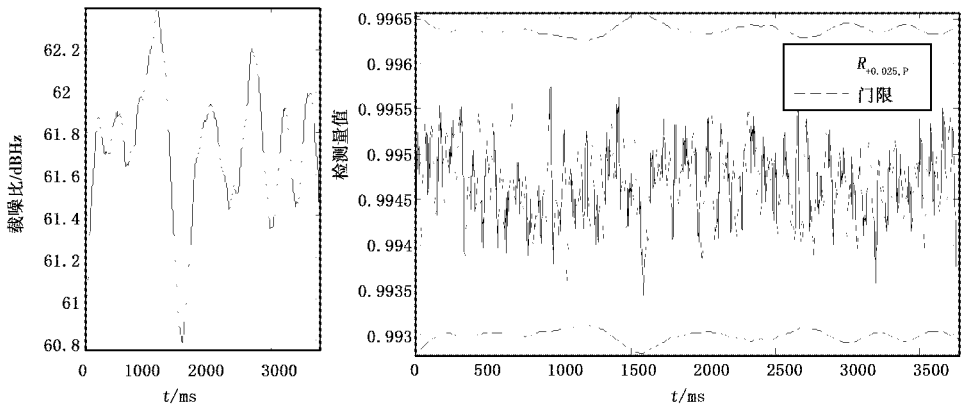

图 5　北斗 GEO-1 卫星 B1I 信号载噪比、检测量值及其门限值随时间的变化

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

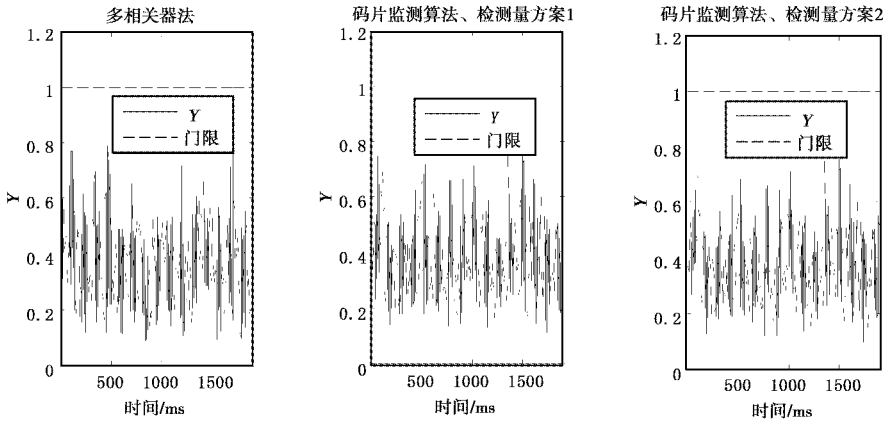

图 6 实测的北斗 GEO-1 卫星 B1I 信号三种监测方案的监测结果

由于实际卫星信号出现异常的几率很小，本文对实测信号进行处理，将其通过了一个非线性相位巴特沃斯滤波器，模拟实际信号生成与接收过程中通道非理想特性造成的信号畸变，相比上节直接利用畸变模型仿真畸变信号更具实际意义。利用前文获得的参考值，输入通过滤波器的信号，监测结果如图 7 所示。由图可见三种监测方案均能很好地对异常进行识别，三种监测方案敏感程度不同，由于针对的是特定异常事件，不能反映监测算法整体监测性能，因此本文以畸变参数模型为参考，分析了不同畸变参数取值下各监测算法的检测能力，具体在下一节进行阐述。

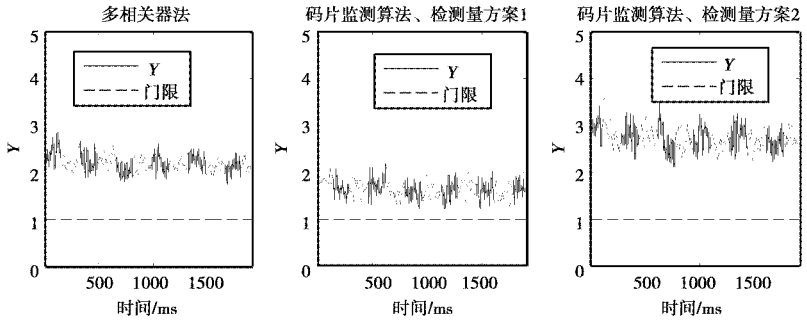

图 7 实测信号通过滤波器后三种监测方案的监测结果

5 监测算法性能对比

5.1 监测效果对比

为了讨论三种方案对不同异常事件的监测效果，用类似 3.2 节的方法对信号畸变参数进行了离散化，共讨论三种监测方案对 14 072 组畸变事件的监测能力，本文在分析监测能力时，不再将高于门限值作为异常可被检测的标准，而是要求异常事件发生时检测量相对参考值的偏差大于噪声标准差的 8 倍，即 $\max_i\left\{\frac{|m_i-\mu_{mi,0}|}{8\times\sigma_i}\right\}\geqslant 1$ 则判定异常事件可被所用的监测方案所检测。这样可以保证虚警概率小于 0.0001% 的同时，漏警概率小于 0.3%. 图 8 示出了载噪比 45 dBHz，检测量平滑时间为 1 000 ms 时，最小不可检测的异常事件数目随使用的检测量数的变化。由图中可以看出不管使用的检测量数目为多少，码片监测方案 2 都是效果最好的监测算法，除了使用 2 个检测量的情况，码片监测方案 1 监测效果略好于多相关器法。从图中还可以看出检测量数>5 后提高检测量个数对监测效果几乎没有提高，但这不说明使用 5 个检测量就可达到最佳效果。图 9 示出了不同监测方案下检测量平滑时间为 1 000 ms 时最小不可检测异常事件数随载噪比的变化，图中每个点旁数字表示达到该监测效果需使用的最小检测量数。由图可见，并不仅需要 5 个检测量就可达到最佳监测效

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

果，尤其是载噪比较小时，由于噪声标准差增大，门限提高，经过筛选后的不同检测量对异常事件的针对性因此体现出来，但是码片监测方案 1 仅需要 5 个检测量就可达到该监测方案的最佳监测效果，这是由于码片测量值直接用作监测，没有事先筛选检测效果有所重合的检测量。同时随着载噪比的提升，每一种监测方案的监测效果都有提升，码片监测方案 2 是三种监测方案中监测效果最好的，说明了本文提出的检测量选择算法的有效性，以及码片监测算法的优异性，改变检测量平滑时间与改变载噪比的效果类似在此不予赘述。

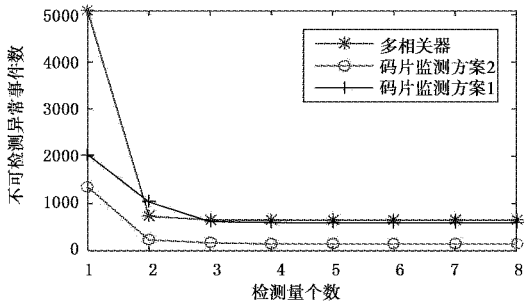

图 8　不同方案下最小不可检测异常事件数随使用的检测量数目的变化情况

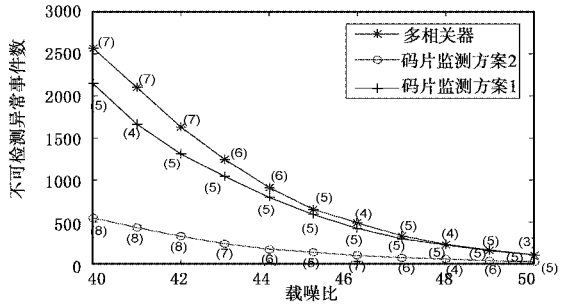

图 9　不同方案下最小不可检测异常事件数随载噪比的变化

5.2　工程应用中的实现与性能对比

目前码片监测算法在实际信号质量监测中的应用仍较少，但利用 vision 相关器技术进行多径抑制已有工程实现，结合已有研究成果及本文研究内容，本文分为三个方面对码片监测算法的实际工程实现进行了构想，并将其与多相关器法进行了对比。

1）检测量筛选算法在工程应用中的实现方法

检测量筛选算法是基于畸变前后的信号特征对检测量的检测性能进行事前分析，需预先将信号无异常时的码片形状作为参考。本文讨论的是将理想带限码片作为参考的检测量筛选算法，可以筛选出针对理想码片的高效检测量。但是不同的接收机具有不同的相关前带宽、相关间隔，不同接收机的参考码片测量值不可能相同，直接利用本文算法只能筛选出比较高效的检测量，实际应用中，可针对特定接收机获取码片测量值，然后执行本文算法。由于所有过程是事前分析，因此在实际进行监测时应用检测量筛选算法与否对计算复杂度没有影响，仅是使用的检测量形式发生了改变。

2）两种监测算法在工程实现时的硬件复杂度

码片监测算法获得的码片测量值利用了vision相关器技术，而多相关器技术已比较成熟，vision相关器与多相关器技术硬件构成分别如图 10、图 11 所示。图中对鉴相、滤波部分进行了简化，重点描述码片测量值与相关结果的获取过程。由以上两图可知，多相关器法若想增加相关输出，需增加相关器，而码片监测算法只用进一步细分码相位区间，并增加一个累加器，但计算量没有增加，不管获

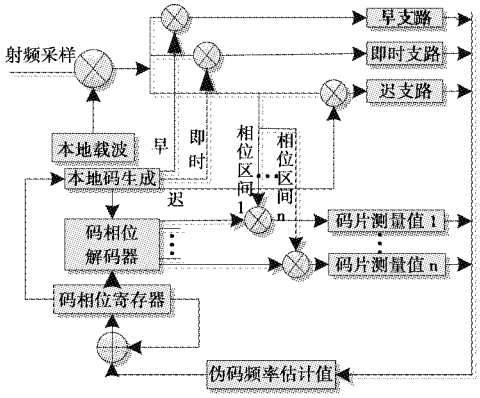

图 10　vision 相关器硬件构成

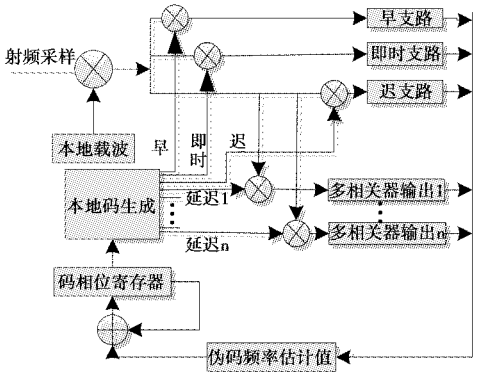

图 11　多相关器的硬件构成

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

取多少个测量结果都只是将一次码相关分割成多个累加结果。因此,码片监测算法的硬件实现复杂度与计算量均优于多相关器法。

3) 两种算法在实际应用中的适用范围:

前文主要围绕 BPSK 信号分析了不同的监测算法,但新体制下 BOC 类信号相关峰的多峰特性使相关峰发生变化,同一相关峰检测量在发生同一畸变时可能对 BPSK 信号很敏感,但对 BOC 类信号不敏感,因此相关峰信息对监测新体制信号虽然也具有一定监测能力,但实际应用中要保证与 BPSK 信号同等的监测效果,相关间隔和检测量的选择需要根据新体制信号相关峰畸变模型重新进行分析。

而不管是何种体制信号,只要接收带宽相同,码片过渡段十分相似,采用同一畸变参数,畸变的码片波形也十分相似[4]。因此可以推出若采用同一接收带宽,同一位置的码片测量值变化不大。因此码片监测算法相较多相关器算法对其他体制信号有更强的适用性,无需复杂变换即可将码片监测算法直接移植用于监测新体制信号。

6 结束语

本文首先介绍了信号质量监测技术的发展现状,及广泛应用于信号质量监测的多相关器算法,分析了该算法的局限性。

针对这些局限性,本文采用了一种利用码片形状测量值的信号质量监测算法,同时为了提高监测性能,扩充了检测量构成形式,并提出一种同时适用于多相关器法、码片监测算法这两种监测算法的检测量筛选算法。

最后,对不同监测算法、不同检测量选择方案进行了仿真验证与实测分析,结果表明利用的检测量选择算法筛选检测量后的监测算法相对使用传统检测量的监测算法性能有所提升;同时还论证了码片监测算法监测性能优于多相关器法,在实际应用时也具有更小的硬件复杂度以及更广泛的适用性,但在这一方面仅进行了简单地理论分析,下一步工作是验证码片监测算法对其他体制信号的适用性。

参考文献

[1] CHRISTIE J R I. GPS signal quality monitoring system [C]//Proceedings of International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, 2004:2239-2245.

[2] PHELRTS R E. Multi-correlator techniques for robust mitigation of threats to GPS signal quality [D]. Standford University, Palo Alto, Calif, USA, 2001.

[3] GAN X. multi-correlators techniques for GPS signal quality monitoring [J]. Chinese Space Science & Technology, 2011, 31(4):30-37.

[4] PHELRTS R E, WONG G, WALTER T, *et al*. Signal deformation monitoring for dual-frequency WAAS[C]. //Proceedings of the International Technical Meeting of the Institute of Navigation, 2013:93-106.

[5] ALI K, MANFREDINI, DOVIS E G. Vestigial signal defense through signal quality monitoring techniques based on joint use of two metrics[C]//In Proceedings of the 2014 IEEE/ION PLANS 2014:1240-1247.

[6] SHLOSS P. A simple method of signal quality monitoring for WAAS LNAV/VNAV [C]//Proceedings of International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, 2002:800-808.

[7] PHELRTS R E, WALTER T, ENGE P. Toward real-time SQM for WAAS: Improved detection techniques [C]//Proceedings of the 16th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, ION GPS 2003:2739-2751.

[8] THEVENON P, JULIEN O, TESSIER Q, *et al*. Detection performances of evil waveform monitors for the GPS L5 signal [C]//Ion Gnss + International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, 2014:3312-3322.

[9] FENTON P C, JONES J. The theory and performance of NovAtel Inc.'s vision correlator [C]//Proceedings of the 19 th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, 2006:2178-2186.

作者简介

李瑞丹 (1993—),女,硕士研究生,主要从事卫星导航信号处理。

唐小妹 (1982—),女,副研究员,主要从事卫星导航系统、导航应用、导航信号体制等领域的教学科研及工程研制工作。

欧钢 (1969—),男,教授,博士生导师,主要从事卫星导航定位、导航信号处理、导航信息处理及工程技术实现等研究工作。

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

Satellite Navigation Signal Monitoring Algorithm Based on Chip Shape

LI Ruidan, TANG Xiaomei, OU Gang

(*Satellite Navigation R&D Center, School of Electronic Science and Engineering, National Univ. of Defense Technology, Changsha* 410073, *China*)

Abstract: Signal quality monitoring technology is one of the significant means to guarantee the high performance of satellite navigation system. Multi-correlator technique is a commonly used method for signal quality monitoring. However, it also has some shortcomings. For example, it cannot show directly characteristics of distorted waveform, has different monitoring performance due to signal modulation and its hardware complexity increases with the increase of correlator. To solve these problems and improve the monitoring performance, this paper uses an algorithm that can measure the transition shape of the code and proposes an algorithm to expand metrics' form and selects efficient metrics. Finally, this paper uses simulation and real data to compare Multi-correlator algorithm and chip shape monitor algorithm. The result proves that selected metrics is more effective than raw metrics. The result also shows that chip shape monitor algorithm is more sensitive for distorted waveform, has stronger applicability to other modulation and has smaller calculation complexity.

Keywords: Satellite navigation; SQM; signal distortion; metric select

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn