

上海光源DCCT系统置信度算法

熊云^{1,2} 冷用斌¹ 易星^{1,2} 赖龙伟^{1,2} 张宁^{1,2} 王宝鹏^{1,2}

1 (中国科学院上海应用物理研究所 上海 201800)

2 (中国科学院研究生院 北京 100049)

摘要 介绍上海光源直流流强监测系统数据可靠性指标评估方法。建立 DCCT 系统的卡尔曼(Kalman)滤波模型, 预测 DCCT 系统实测数据的真值。通过对 DCCT 系统数据的统计分析, 定义数据的置信度阈值, 编程实现在线的数据置信度评估及置信度指标的发布, 实时给出束流流强、寿命数据置信度因子, 提高系统可用性。

关键词 数据预测算法, 卡尔曼滤波算法, 直流流强监测系统, 置信度算法

中图分类号 TN911.72

电子储存环的束流直流流强、束流注入率、束流损失率和束流寿命等参数, 是光源质量的重要标志, 它们都由直流流强监测系统(DCCT, DC Current Transformer)给出^[1]。由于上海光源窄带流强信号中存在随机方波噪声, 直流流强监测系统给出的束流直流流强以及寿命等参数可能存在偏差。因此, 有必要研究流强、寿命数据的可靠性指标评估方法, 以该检测系统提供数据的可信度, 提高系统可用性。本文介绍上海光源直流流强监测系统的置信度算法, 其对系统每次给出的束流直流流强以及寿命等参数, 实时提供相应的置信度因子。

1 数据预测算法^[2-5]

直流流强监测系统每次给出的束流直流流强以及寿命等参数值, 是实测值, 要评估该检测系统所提供数据的可信度, 就须得到束流直流流强及寿命等参数的真实值。

卡尔曼滤波器是一中软件滤波方法, 系最优化自回归数据处理算法, 即使不知道模型的确切性质, 也可用以估计信号的过去和当前状态, 甚至能估计将来的状态。它由一系列递归数学公式描述, 可高效地估计过程的状态。卡尔曼滤波的基本思想是: 以最小均方误差为最佳估计准则, 采用信号与噪声的状态空间模型, 利用前一时刻的估计值和当前时刻的观测值来更新对状态变量的估计, 求出当前时刻的估计值, 算法根据建立的系统方程和观测方程对需处理的信号做出满足最小均方误差的估计^[6]。

我们用卡尔曼滤波算法做数据预测算法, 建立了符合上海光源直流流强监测系统的卡尔曼滤波器

模型, 利用流强及寿命等参数前一时刻的估计值和当前时刻的观测值, 更新对状态变量的估计, 求出当前时刻的估计值, 并认为这个估计值更接近当前时刻参数的真值。由于卡尔曼(Kalman)滤波器的最优化自回归特性, 若卡尔曼滤波器收敛, 则对参数当前时刻的估计值就是真实可信的。

该直流流强监测系统没有系统控制输入, 因此我们建立的卡尔曼滤波器计算模型为:

$$X_{k|(k-1)} = X_{(k-1)|(k-1)} \quad (1)$$

$$P_{k|(k-1)} = P_{(k-1)|(k-1)} + Q \quad (2)$$

$$G_k = P_{k|(k-1)} / (P_{k|(k-1)} + R) \quad (3)$$

$$X_{k|k} = X_{k|(k-1)} + G_k(Z_k - X_{k|(k-1)}) \quad (4)$$

$$P_{k|k} = (1 - G_k)P_{k|(k-1)} \quad (5)$$

$$E_k = X_{k|k} - Z_k \quad (6)$$

各式中, $X_{k|(k-1)}$ 是参数 k 时刻的估计值, $X_{(k-1)|(k-1)}$ 是参数 $k-1$ 时刻的最优值; $P_{k|(k-1)}$ 是 $X_{k|(k-1)}$ 对应的协方差, $P_{(k-1)|(k-1)}$ 是 $X_{(k-1)|(k-1)}$ 对应的协方差; Q 是过程噪声的方差; G 为卡尔曼增益; R 是量测噪声的方差; $X_{k|k}$ 是参数 k 时刻的最优值, Z_k 是参数 k 时刻的实测值; $P_{k|k}$ 是 $X_{k|k}$ 对应的协方差; E_k 是参数 k 时刻的最优值 $X_{k|k}$ 与实测值 Z_k 的差值。给定的初始值为: 测量噪声的方差 R , 过程噪声的方差 Q , 第一点的预测值 $X_{1|0}$, 协方差 $P_{1|1}$ 。若自动收敛, 则 k 时刻的最优值 $X_{k|k}$ 是 k 时刻的真值的最优估计。

第一作者: 熊云, 男, 1983 年 10 月出生, 硕士研究生, 主要研究方向为电子束流信号及信息处理

通讯作者: 冷用斌, leng@sinap.ac.cn

收稿日期: 2012-05-30, 修回日期: 2012-06-25

2 束流流强置信度算法

根据上述数据预测算法,对于收敛后的卡尔曼滤波器模型,把 k 时刻直流流强监测系统测得的束流直流流强值 Current_k 作为输入,通过卡尔曼滤波器可以得到束流直流流强的最优值 $I_{k|k}$ 。以某时刻束流流强的实测值 Current_k 与 $I_{k|k}$ 的差值 E_{jk} 作为评估置信度的依据。 E_{jk} 介于不同区间时,置信度水平不同。对于区间的确定,就需要统计分析系统束流流

强的变化规律。这样就可以在给出束流的直流流强时,同步给出流强的置信度水平。

我们统计了 C15 及 C17 单元 DCCT 系统 Decay 模式下束流流强变化规律。图 1 是 DCCT 系统 Decay 模式下前后两个流强值的差值。图 2 为流强差值的统计直方图。C15 与 C17 单元 DCCT 系统流强差值相差较大,这是由于 C17 单元 DCCT 系统环境较为恶劣,束流流强信号存在较严重的随机方波信号。

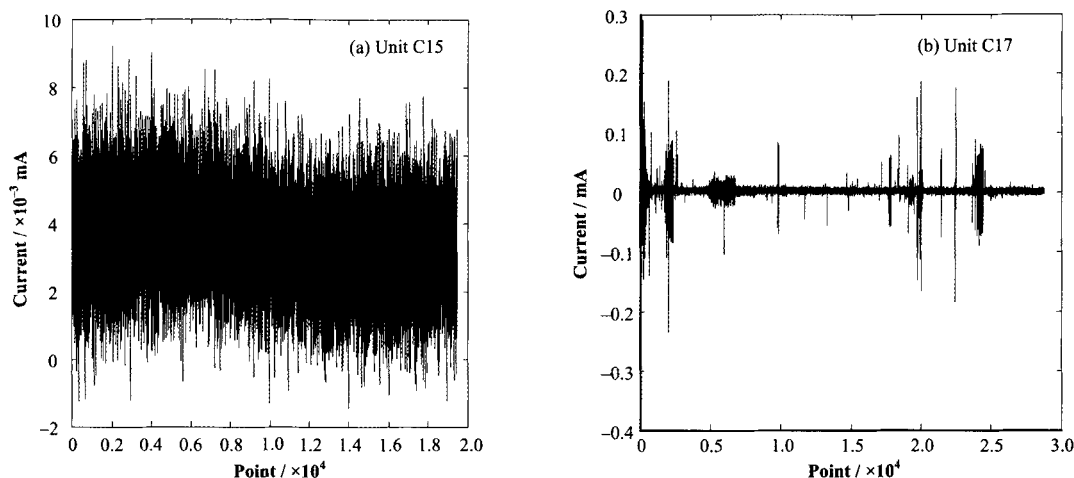


图 1 Decay 模式束流流强差值

Fig.1 D-value of beam current on the mode of Decay.

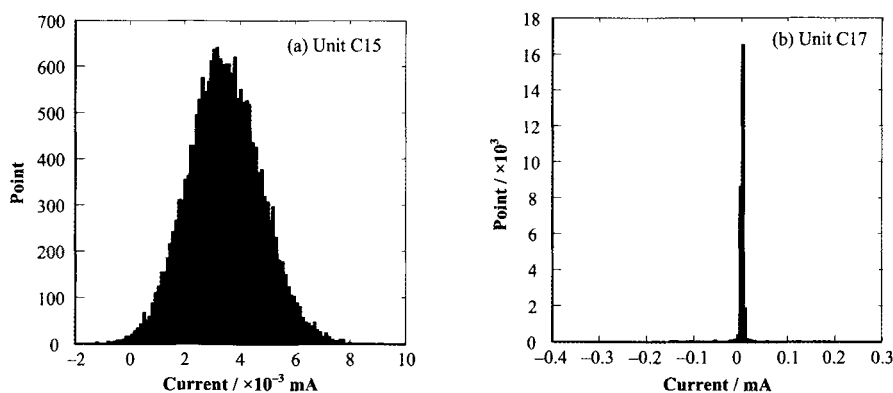


图 2 Decay 模式束流流强差值统计直方图

Fig.2 Statistical histogram of D-value of beam current on the mode of Decay.

图 3 是流强差值的统计比例图。由图 3,在 Decay 运行模式下,对于 C15 单元 DCCT 系统、时间前后相差 1 s 的两个流强值及 97.0% 的束流流强数据而言,它们的差值不会大于 0.006 mA;对 C17 单元 DCCT 系统、时间相差 1 s 的前后两个流强值及 85.5% 的束流流强数据来说,它们的差值也不会大于 0.006 mA。基于此统计规律,对 C15 单元 DCCT 系统,可以认为,当某时刻的实测值与最优值的差值小于 0.006 mA 时,此刻给出的束流流强值是完

全可信的,其置信度为 1。当某时刻的实测值与最优值的差值为 0.006–0.01 mA 时,此刻给出的束流流强值不完全可信,置信度为 0.9,同理,给出其它的置信度区间以及置信度水平。

通过对 DCCT 系统 Decay 模式下流强变化规律的统计分析,我们确定了置信度水平的评估标准。图 4 是 C17 单元 DCCT 系统 Decay 模式下流强的差值以及置信度水平。

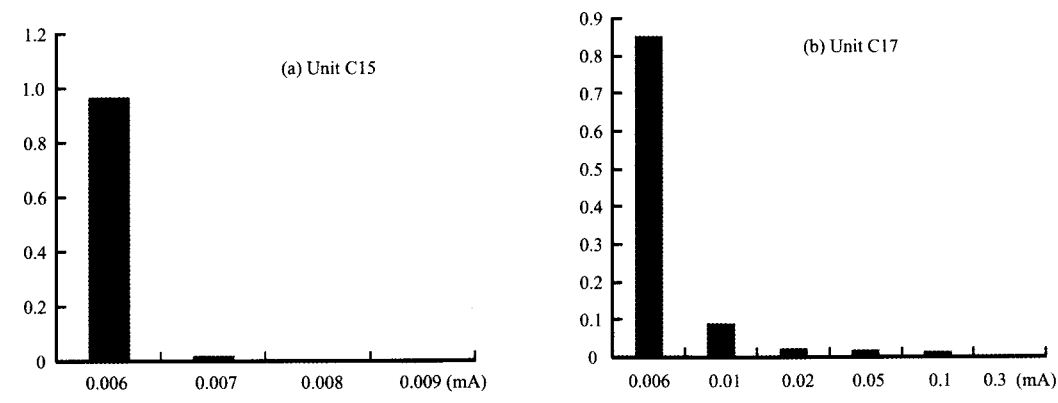


图 3 Decay 模式束流流强差值统计图

Fig.3 Cartogram of D-value of beam current on the mode of Decay.

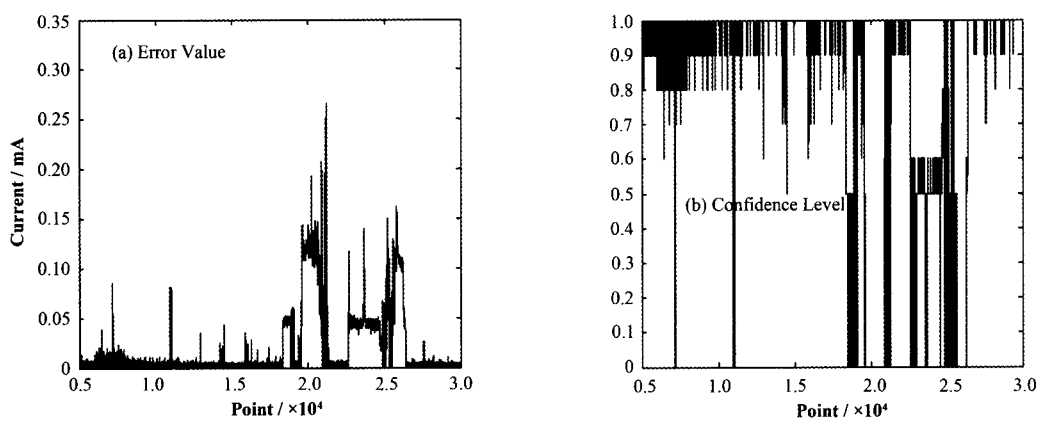


图 4 C17 单元束流流强差值及置信度

Fig.4 D-value of beam current and confidence of Unit C17.

3 束流寿命置信度算法

与束流流强自信度算法类似，把 k 时刻直流流强监测系统测得的束流寿命值 $Lifetime_k$ 作为输入，通过卡尔曼滤波器后，可以得到束流直流流强的最

优值 $Life_{k/k}$ 。以某时刻束流寿命的实测值与最优值的绝对差值 $E_{Life\ k}$ 作为评估置信度的依据。 $E_{Life\ k}$ 于不同的区间，置信度水平不一样。至于区间的确定，同样需要统计分析系统束流寿命的变化规律。

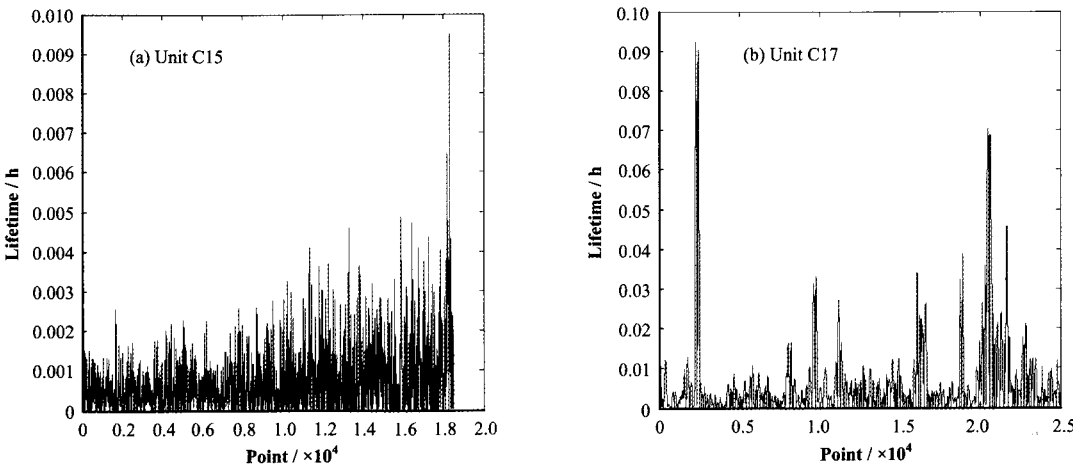


图 5 Decay 模式束流寿命差值

Fig.5 D-value of beam lifetime on the mode of Decay.

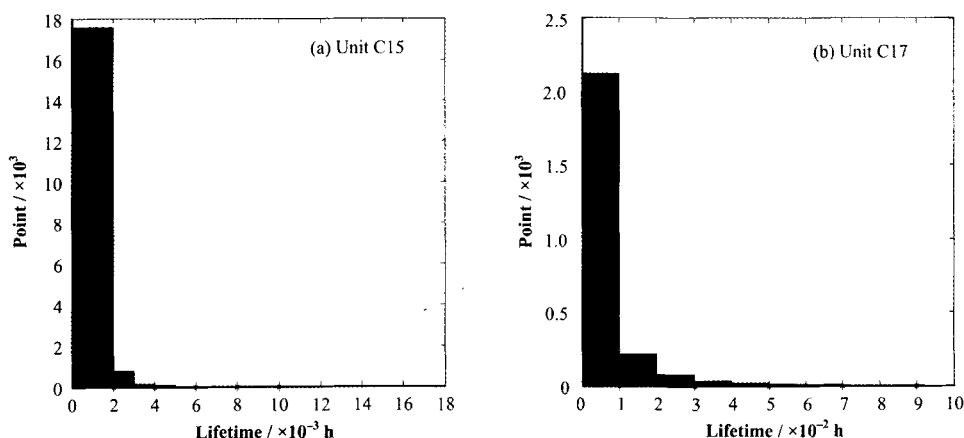


图 6 Decay 模式束流寿命差值统计直方图

Fig.6 Statistical Histogram of D-value of beam lifetime on the mode of Decay.

我们统计了 C15 及 C17 单元 DCCT 系统 Decay 模式下寿命变化规律。图 5 所示为 DCCT 系统 Decay 模式下前后两个流强寿命的差值。图 6 是 C15 单元及 C17 单元 DCCT 系统 Decay 模式下束流寿命差值的统计直方图。由图 6, C15 与 C17 单元 DCCT 系统流强寿命差值相差较大, 是因为 C17 单元 DCCT 系统环境比较恶劣, 束流流强信号存在较严重的随机方波信号, 而束流寿命又是通过对流强进行曲线拟合的方法计算所得导致的。

图 7 是束流寿命差值的统计比例图。由图 7, 在 Decay 运行模式下, 对于 C15 单元 DCCT 系统和

94.9% 的束流寿命数据而言, 它们的差值不会大于 0.002 h; 对于 C17 单元 DCCT 系统及 84.9% 的束流寿命数据而言, 它们的差值不会大于 0.01 h。基于这个统计规律, 对 C15 单元 DCCT 系统而言, 可以认为当某时刻的实测值与最优值的差值小于 0.002 h 时, 此刻刻给出的束流寿命是完全可信的, 置信度为 1。当某时刻的实测值与最优值的差值为 0.002–0.003 h 时, 此刻刻给出的束流流强值不完全可信, 置信度为 0.9。同理, 给出其它的置信度区间以及置信度水平。

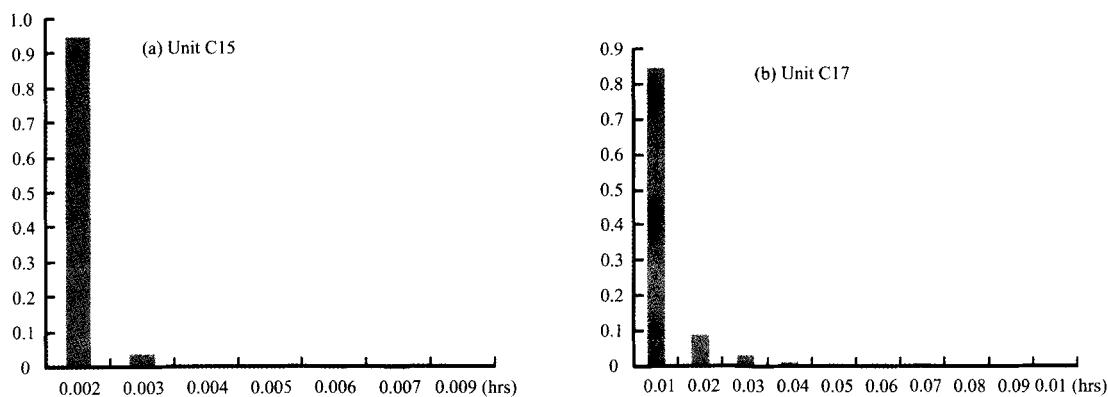


图 7 Decay 模式束流寿命差值统计比例图

Fig.7 Cartogram of D-value of beam lifetime on the mode of Decay.

通过对 DCCT 系统 Decay 模式下寿命变化规律的统计分析, 我们确定了置信度水平的评估标准。图 8 是 C17 单元 DCCT 系统 Decay 模式下寿命的差值以及置信度水平图。

当束流处于注入状态或者掉束状态时, 我们认为束流的实测值就是最优值, 置信度为 1。上海光源提供束流注入信号, 只需对所获取的注入信号进行判定就可知道此时是否为注入模式。至于是否掉束, 在 IOC 中须进行软件判断。本文研究了流强、

寿命数据可靠性指标评估方法, 提出了针对上海光源直流流强监测系统的置信度算法, 实时提供参数置信度因子, 提高系统可用性。通过对卡尔曼滤波器的研究, 建立了符合上海光源直流流强监测系统的数据预测算法模型, 预测系统参数的最优值。统计分析了 DCCT 数据的特性, 定义系统数据的参考基准, 研究相对于此基准的置信度阈值, 代码实现了在线的数据置信度评估及置信度指标的发布。

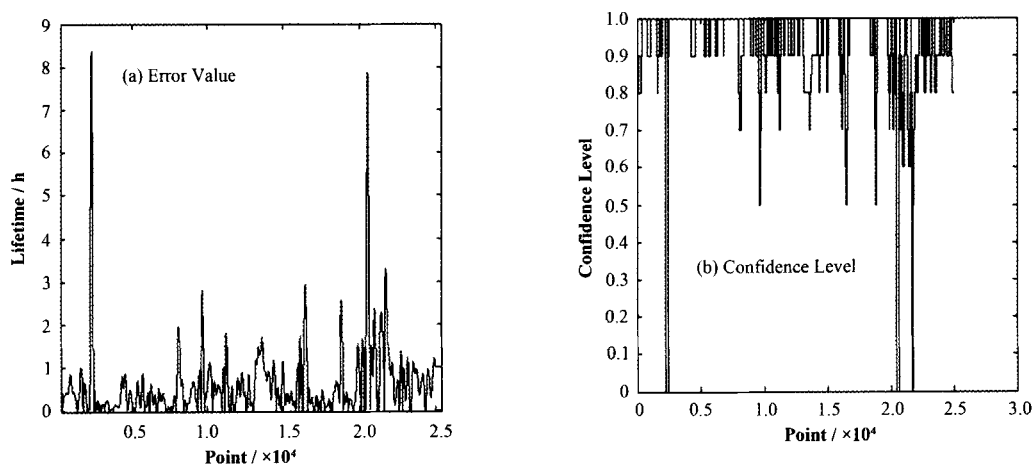


图8 Decay 模式束流寿命差值及置信度
Fig.8 D-value of beam lifetime and Confidence on the mode of Decay.

参考文献

- 金玉明. 电子储存环物理[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2001
Jin Y M. Physics of electron storage ring[M]. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 2001
- Greg Welch, Gary Bishop. An Introduction to the Kalman Filter, TR 95-041UNC-Chapel Hill, July 24, 2006
- <http://www.intechopen.com/books/kalman-filter>, May 30, 2012
- <http://www.stanford.edu/class/ee363/lectures/kf.pdf>, May 30, 2012
- MI Ribeiro, Kalman and Extended Kalman Filters: Concept, Derivation and Properties, Institute for Systems and Robotics, Instituto Superior Tcnico, Feb, 2004
- 彭丁聪. 卡尔曼滤波的基本原理及应用[J]. 软件导刊, 2009, 8(11): 32-34
PENG Dingcong. The basic principle and application of Kalman filter[J]. Software Guide, 2009, 8(11): 32-34

The algorithm of confidence level of DCCT system for SSRF

XIONG Yun^{1,2} LENG Yongbin¹ YI Xing^{1,2} LAI Longwei^{1,2}
ZHANG Ning^{1,2} WANG Baopeng^{1,2}

1 (Shanghai Institute of Applied Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China)

2 (Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract In this paper, we report our work on the method of data reliability assessment of the DC currency transformer (DCCT) system of SSRF. In order to predict the true value of parameter of DCCT system, the Kalman filtering model for the DCCT system is established. Through statistical analysis of the DCCT data, the confidence threshold is defined, and real time confidence level of the DCCT data is provided with a computer code. In this way, availability of the DCCT system has been improved.

Key words Data prediction algorithm, Kalman filter algorithm, DCCT, Confidence level algorithm
CLC TN911.72