

基于 ATT7022E 工频量测量方法研究

虞海龙,薄煜明,朱建良
(南京理工大学,江苏 南京 210094)

摘要:针对继电保护数据需要满足快速性和准确性的要求,文中采用基于 IIR 低通滤波器有效值快速计算的方法来提高 ATT7022E 工频量测量的快速性,采用读取芯片有效值寄存器来满足上位机监控对测量值准确性的要求,将两者相结合来达到继电保护对快速性和准确性的要求。根据工频电参量特点推导出对一个电流采样值的平方进行低通滤波,然后进行开方即可得到电流有效值。其只需要一个采样值即可得到电流有效值,具有计算简单、快速性好的优点。在 LPC1778 进行实验验证,结果表明,前者快速性提高了近十倍,后者准确性更高,两种方法相结合能满足多数实际应用中快速性和准确性的要求。

关键词:ATT7022E;工频量;快速性;准确性;有效值

中图分类号:TP301

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2016)04-0172-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2016.04.038

Research on Measuring Method of Main Frequency Parameters Based on ATT7022E

YU Hai-long, BO Yu-ming, ZHU Jian-liang
(Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: The data applied in relay protection requires rapidity and accuracy. In this paper, the rapidity of measuring main frequency parameters by ATT7022E is improved through effective value calculation based on IIR low-pass filter. The accuracy requirement of host computer monitoring is met by reading data from effective value register. Combining the two methods, a practical method of getting electrical data is proposed. In detail, according to the characteristic of main frequency parameters, the square of current sampling value which passed by low-pass filter is equal to the square of the current effective value. It needs only one sampling value, which is very easy and quick to accomplish. The application of the proposed method in LPC1778 demonstrates its validity. The experimental results show that the former is nearly 10 times faster than the latter which is more accurate. In conclusion, the two method o combined is very significant in practical applications.

Key words: ATT7022E; main frequency parameters; rapidity; accuracy; effective value

0 引言

在电力继电保护中,工频有效值测量的快速性对开关动作是至关重要的,整个系统如果失去了快速性,就失去了保护价值^[1-2]。同时,在实际的工程应用中,上位机监控对测量值的准确性又有着较高的要求。然而,高精度计量芯片 ATT7022E 在实际应用中内部有效值寄存器更新速度慢,无法满足快速性的要求,为了将其应用于如继电保护等对快速性要求较高的系统中,必须对其有效值计算算法进行改进。

目前,国内外对有效值快速计算的算法主要有最大值法、积分法、导数法和迭代法。最大值法对采样率

要求较高,积分法需要更多的采样点进行多次平方运算和加法运算,导数法和迭代法则需要进行高次的乘法运算^[3-4]。

考虑上述算法存在的一些问题,以及在实际继电保护的工程应用中对有效值快速性要求高但对准确性要求相对较低,上位机监控对准确性要求高但对快速性要求较低的特点,文中提出了一种在计量芯片 ATT7022E 上对工频量进行有效测量的方法。为了满足系统对快速性的要求,文中采用了基于 IIR 低通滤波器的快速正弦电压电流有效值的新算法。同时,为了满足系统中上位机监控对工频量测量精度的要求,

收稿日期:2015-07-08

修回日期:2015-10-16

网络出版时间:2016-03-22

基金项目:江苏省产学研联合创新资金-前瞻性联合研究项目(BY2013004-04);中央高校基本科研业务费专项资金项目(30920130132002)

作者简介:虞海龙(1990-),男,硕士研究生,研究方向为控制理论与控制工程;薄煜明,博士,研究员,从事导航与制导研究。

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20160322.1519.056.html>

文中采用了每 0.5 s 读取一次 ATT7022E 有效值寄存器的方法。两种方法优势互补,将其在基于 Cortex-M3 架构的 ARM 芯片 LPC1778 上进行实现并对这两种方法进行实验分析和对比研究。结果表明,基于 IIR 低通滤波器的快速有效值算法快速性好,准确度相对较低;读取 ATT7022E 芯片内部有效值寄存器的方法准确度高,快速性慢。将这两种方法结合能够很好地满足多数工程应用中对工频量测量快速性以及准确性的要求。

1 ATT7022E

ATT7022E 是一颗精度高且功能强的多功能三相电能专用计量芯片。它内部集成了七路二阶 19 位的 sigma-delta ADC,采用双端差分信号输入,其中三路用于三相电压采样,三路用于三相电流采样,还有一路可用于零线电流或其他参数的采样,输出采样数据和有效值,使用十分方便。该芯片还集成了参考电压电路以及所有包括基波和全波(基波+谐波,以下简称全波)的各项电参数测量的数字信号处理电路,能够测量各相及合相全波有功功率、无功功率、视在功率、有功能量、无功能量以及视在能量(PQS、RMS 两种方式可选择),基波有功功率、基波有功能量及基波电压、电流有效值,同时还能测量频率、各相电流及电压有效值、功率因数、相角、电压夹角等参数。该芯片还支持全数字域的增益、相位校正,也即是纯软件校表方式,有功、无功电能脉冲输出 CF1、CF2 提供瞬时有功、无功功率信息,其可以直接接到标准表,进行误差的校正。ATT7022E 芯片同时提供了一个 SPI 接口,方便与外部 MCU 之间进行计量参数读取以及校表参数的设置^[5-6]。

2 系统整体设计

2.1 硬件设计

该系统硬件设计主要包含采样电路 ATT7022E、GPRS 模块、液晶、按键、控制继电器线圈的 IO 输出、状态 IO 输入以及控制开关的 IO 输出设计,系统结构如图 1 所示。

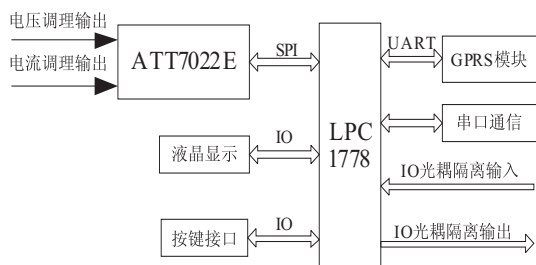


图 1 系统结构框图

文中主要介绍高精度功率计量芯片 ATT7022E 采样电路的设计与实现,其中主控芯片 LPC1778 负责与 ATT7022E 通过 SPI 总线进行电压、电流瞬时值和有效值等工频量信息的读取与计算。

根据 ATT7022E 芯片的特点,其要求 7 路采样输入的交流电压信号有效值不超过 500 mV,因此需要对输电线路上的大电压大电流信号进行调理变换。

在 ATT7022E 芯片的采样电路设计中,对电流的输入采样先经过电流互感器(CT)的耦合,将线路上的交流大电流信号转换成同频同相的毫安级弱电流信号,然后经过精密电阻 R_1, R_2 将其转换成 500 mV 以内的差分交流电压信号, D_1 二极管主要起限制电压幅值作用,防止电压过大损坏采样芯片,再经过由 R_3, R_4, C_1, C_2 组成的阻容抗混叠滤波电路,滤除信号中的高频噪声信号输出到 ATT7022E 的电流信号输入端;对电压的输入采样先经过定值精密电阻 R_0 转换成弱电流信号,然后经过电压互感器的耦合,将被测交流电压隔离转换成同频同相的交流电流信号,再将交流电流信号经过调理电路转换成差分电压,进行抗混叠滤波后输出给 ATT7022E。电压电流输入采样采用这种方式可使芯片与电网很好地隔离,保证电路具有良好的抗干扰性能。电压电流信号采样电路如图 2 所示。

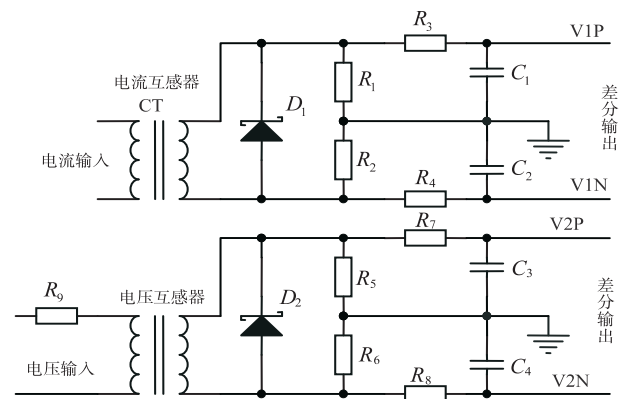


图 2 信号采集电路

2.2 软件设计

基于对 ATT7022E 工频量测量算法的研究,文中主要介绍 ATT7022E 的校表流程以及 500 μ s 定时中断采样流程。

ATT7022E 内部对电压电流有效值的计算是通过变换后的电压采样,对采样值进行平方、开方以及数字滤波等一系列运算得到。电流和电压通道输入有效值 1 mV ~ 500 mV 的信号时,电流有效值的误差小于 0.2%,精度高,满足上位机准确度的要求。然而,ATT7022E 内部有效值寄存器的更新速度慢,无法满足对快速性要求高的应用。

ATT7022E 内部电压电流有效值的计算流程如图 3 所示。

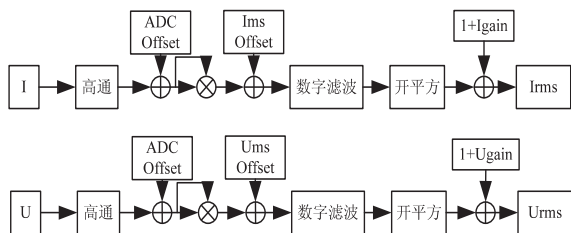


图3 ATT7022E 电压电流有效值计算流程

在主控芯片 LPC1778 上电正常工作后,为了能够正确读取电压电流寄存器的数值,必须在使用前对计量芯片 ATT7022E 进行校正。对校表寄存器进行设置,主要包括对芯片内部的模式配置寄存器、EMU 单元配置寄存器、三相电压电流校表寄存器的配置,其详细配置方法可参考芯片手册。校表流程如图4(左)所示。

LPC1778 是基于 ARM Cortex-M3 的微控制器,其内置了可嵌套向量中断控制器(NVIC),保证了中断响应的实时性^[7]。为了保证快速性和计算结果的较高精度,将 500 μs 定时中断设置为高优先级。中断程序流程:首先通过 SPI 总线读取所需的电流电压瞬时值寄存器的值,进行数值变换计算成实际测量的瞬时值,然后基于 IIR 快速算法进行电压电流有效值的计算,更新快速有效值寄存器的值。超过 0.5 s 则通过 SPI 读取电压电流有效值寄存器的值变换成实际的有效值,更新准确有效值寄存器的值。500 μs 定时中断流程如图4(右)所示。

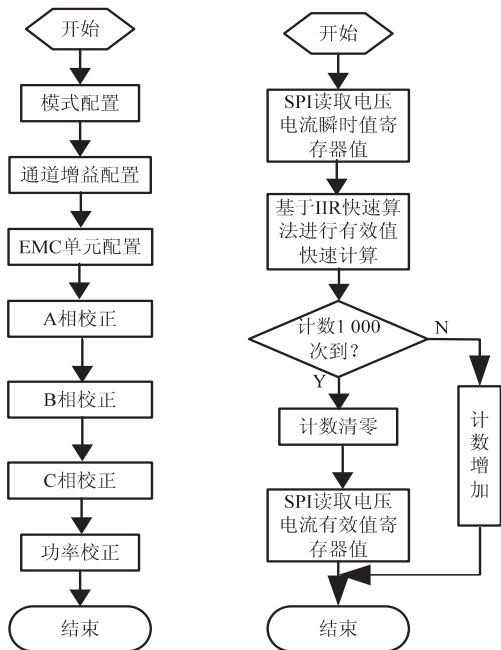


图4 校表流程及定时中断流程图

3 算法研究

当前国内外对工频有效值的快速测量算法大致有最大值法、全周积分法、半周积分法、导数法和迭代法。

最大值法:在半个周期或者一个周期内对工频电流信号均匀采样,选出其中的最大值作为被测量的幅值,根据幅值与有效值的关系得出有效值。采样点的数量以及工频量谐波干扰对该算法的计算结果影响非常严重,其采样频率越高,精度越高。

积分法:对工频量输入信号进行周期采样,然后对采样点根据电工学对电流电压有效值的定义进行半个周期或全周期的积分计算。该算法快速性好,对谐波具有一定的滤波作用;然而,该算法对采样频率要求较高,采样频率越高,计算值越准确,同时对控制芯片也有着较高的要求,每次有效值的更新都需要进行多次的平方和运算以及开方运算,计算量大。

导数法和迭代法:导数法根据工频电压电流信号的导数与工频电流信号的关系推导出有效值与瞬时值的关系,迭代法则根据固定采样周期连续几个采样点的瞬值得到有效值与瞬时值的关系。导数法和迭代法具有只需少量采样点就可得出有效值的优点;然而,其需要进行多次高次乘方运算,对控制芯片要求高,增加了算法的运行时间,不利于在控制芯片上实现。

为了提高 ATT7022E 在实际应用中有效值测量的快速性同时考虑现有算法的优缺点,文中采用了基于 IIR 低通滤波器的快速有效值计算算法。该算法相对于全周积分法和半周积分法,无需多次的乘方运算和开方运算,只需一个采样点;相对于导数法,只需知道一个电流瞬时值就可获得电流有效值;相对于迭代法,避免了高次乘方运算,降低了对控制芯片的要求,具有运算速度快、稳定性高、快速性好,适用于对实时性要求较高的系统的优点^[8-9]。

3.1 基于 IIR 低通滤波器快速算法理论分析

电流有效值的计算公式为:

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} \quad (1)$$

式中: I 为电流有效值; i 为电流瞬时值; T 为交流电流周期。

工频电流信号为正弦交流电流信号:

$$i = I_m \sin(2\pi ft) \quad (2)$$

式中: I_m 为电流最大值; f 为交流频率(50 Hz)。

将式(2)带入式(1)可得:

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I_m^2 \sin^2(2\pi ft) dt} = I_m \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \frac{1 - \cos(4\pi ft)}{2} dt} = I_m \sqrt{\frac{1}{2T} \left(\int_0^T dt - \int_0^T \cos(4\pi ft) dt \right)} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad (3)$$

由式(3)可得,工频电流有效值等于电流峰值除以 $\sqrt{2}$ 。

对式(2)平方可得:

$$i^2 = I_m^2 \sin^2(2\pi ft) = \frac{I_m^2}{2}(1 - \cos(4\pi ft)) = \frac{I_m^2}{2} - \frac{I_m^2}{2}\cos(4\pi ft) \quad (4)$$

由式(4)可得出电流瞬时值的平方是由电流最大值平方的一半的直流分量和一个两倍于电流频率的交流电流信号叠加而成。如果将电流输入信号先平方,再滤除直流以外的交流信号,则可以得到电流最大值平方的一半,再由式(3)可得出该值恰好等于电流有效值的平方。所以只需对低通滤波后的值进行开平方即可得到电流的有效值。

3.2 低通滤波器

滤波器是频率选择电路,只允许输入信号中的某些频率成分通过,而阻止其他频率成分到达输出端。低通滤波器是允许输入信号中较低频率的分量通过而阻止较高频率的分量通过的滤波器^[10]。理想的低通滤波器能完全滤除高于截止频率的信号,而低于截止频率的信号则完全通过。低通滤波器按处理信号类型的不同又可分为模拟低通滤波器和数字低通滤波器。模拟滤波器主要由一系列电子元件如电阻电容放大器组成,受时间、温度、电压漂移等环境因素的影响,这类滤波器会降低滤波效果,可靠性低。数字滤波则是根据输入信号的特点,选择合适的算法对信号进行处理,滤除无用信号,提高有用信号在信号中的比例。数字低通滤波器可以近似地实现理想低通滤波,具有精度高、可靠性好、可编程改变等特性,其更加适用于数字信号处理系统^[11-16]。

理想数字低通滤波器的频率响应为:

$$H(j\omega) = \begin{cases} e^{-j\omega t_0}, & |\omega| \leq \omega_c \\ 0, & |\omega| > \omega_c \end{cases} \quad (5)$$

式中: ω 为角速度(与频率的关系 $\omega = 2\pi f$); ω_c 为截止频率, $0 \sim \omega_c$ 为通频带, ω 在 $0 \sim \omega_c$ 的低频段内信号无失真。

3.3 低通滤波器离散化

文中采用了 IIR 一阶数字低通滤波器,其脉冲传递函数标准表达式为:

$$H(z) = \frac{1 - \alpha}{2} \frac{1 + z^{-1}}{1 - \alpha z^{-1}} \quad (6)$$

对式(6)进行 z 反变换可得其差分方程:

$$y(n) = \alpha * x(n) + (1 - \alpha) * y(n - 1) \quad (7)$$

式中: $y(n)$ 为滤波后的输出值; $x(n)$ 为此次输入值; $y(n - 1)$ 为上一次滤波后的输出值; α 为滤波系数,其与 ω_c 的关系为:

$$\alpha = 2\pi\omega_c T_s \quad (8)$$

式中, T_s 为采样周期。

由式(7)可得出,只需要知道一个电流采样值的平方经过滤波就可得到电流最大值平方的一半,对其开平方即可得到电流有效值。相对于迭代法、积分法、导数法和最大值法,该方法无需繁杂的计算,减少了采样率,并且具有较高的实时性和快速性,降低了对主控芯片的要求,而且易于实现。

4 实验结果与分析

为了验证读取 ATT7022E 有效值寄存器和基于 IIR 低通滤波器快速算法的性能,文中主要从快速性和准确性两方面考虑,对 A 相电流进行了实验验证与对比(A、B、C 三相电压电流测量方法相同)。其中,对电流采样值平方滤波的 IIR 低通滤波器选择了截止频率 1 Hz 来有效地滤除交流分量,从而保证测量值具有较高的精度。

实验采用南京丹迪克公司的 DK-34B1 交流采样变送器校验装置产生标准的工频正弦电流电压信号。首先对 ATT7022E 进行了三相电压电流校正,然后用 DK-34B1 输出标准的 5 A 工频正弦电流信号,在 3 s 左右将输出值调为 6 A,主控芯片 LPC1778 则在 500 μ s 定时中断中读取 ATT7022E 有效值寄存器换算后的电流有效值并计算基于 IIR 低通滤波器快速算法计算的电流有效值,将计算后的结果均通过串口发送给上位机,在上位机中将数据导入 Matlab 进行绘图来验证其动态响应。

图 5 中实线为基于 IIR 低通滤波器快速算法(快速值)的曲线,虚线为读取有效值寄存器的电流有效值(准确值)的曲线。

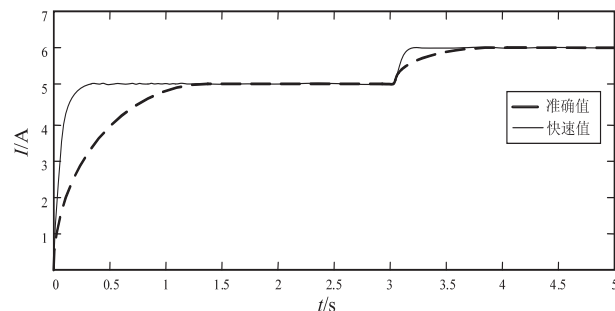


图5 输入突变时准确值以及快速值的波形

由图可看出,在电流输入从 0 A 突然到 5 A 时,基于 IIR 低通滤波器快速算法仅仅需要 0.12 s 就能够有效地快速跟踪,具有较高的快速性。而读取 ATT7022E 有效值寄存器的方法则需要 1.2 s 才能达到 5 A,跟踪慢,时间滞后严重,不适合实时性要求较高的系统。在 3 s 附近,电流输入从 5 A 到 6 A 突变时,前者明显能够更快地跟踪电流的变化,具有较好的实时性。

为了比较两种方法的准确性,对 1.5 ~ 2.5 s 之间两者计算的多个有效值进行对比。从其中的 1 000 组

数据可以得出基于 IIR 低通滤波器有效值快速算法的误差在 3% 以内,读取 ATT7022E 有效值寄存器结果的误差在 0.02% 以内。后者具有更高的精度,满足工业测量和上位机监控精度的要求。随机从中选取六组数据,两种方法误差对比如表 1 所示。

表 1 两种方法准确性对比

IIR 低通滤波快速算法		读取有效值寄存器	
有效值/A	误差/%	有效值/A	误差/%
4.867 6	2.6	5.005 0	0.1
4.953 5	0.9	5.004 6	0.1
5.089 1	1.8	5.005 1	0.1
5.149 2	3.0	5.003 0	0.1
5.015 6	1.2	5.003 3	0.1
5.057 5	1.2	5.006 5	0.1

5 结束语

文中根据 ATT7022E 功率计量芯片的特点,考虑工程实际应用中准确性与快速性的要求,提出了基于 IIR 低通滤波器有效值快速算法和读取 ATT7022E 有效值寄存器相结合的方法,对基于 IIR 低通滤波器有效值快速算法进行了详细推导。将两种方法结合并在 Cortex-M3 芯片 LPC1778 上进行了实现与对比验证。实验结果表明,基于 IIR 低通滤波快速算法具有较好的快速性,读取有效值寄存器的值则具有很好的准确性,将两者相结合可以满足大多工业应用中同时对快速性和准确性要求较高的应用,对工程应用具有一定的参考价值。

参考文献:

[1] 何立志. 工频量快速测量方法的研究[J]. 电测与仪表, 2001,38(4):16-17.

[2] 徐 垦. 新型的真有效值数字测量表[J]. 电测与仪表, 2005,42(6):10-12.

+++++

(上接第 171 页)

实时跟踪方法研究[J]. 航空学报,2013,34(5):1204-1214.

[7] 孙 锐,闫晓星,高 隽. 基于 SIFT 和 PCA 的图像感知哈希方法[J]. 电路与系统学报,2013,18(1):274-278.

[8] 李世林. 基于视频的道路交通参数提取方法研究[D]. 重庆:重庆大学,2014.

[9] 李宏荣,李晓明. 基于 SIFT,PCA-SIFT 和 SURF 特征检测方法的研究[J]. 太原师范学院学报:自然科学版,2012,11(3):74-76.

[10] 刘瑞祯,于仕琪. OpenCV 教程—基础篇[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2007.

[3] 王增平,姜宪国,张执超,等. 智能电网环境下的继电保护[J]. 电力系统保护与控制,2013,41(2):13-18.

[4] 张 立,胡玉贵. 交流采样技术在嵌入式状态监测系统中的应用[J]. 电力系统及其自动化学报,2009,21(3):97-101.

[5] 谢志远,尹亚南,魏佳红,等. 基于 ATT7022E 电能质量监测的谐波分析方法研究[J]. 电测与仪表,2014,51(21):52-56.

[6] 朱 琳. ATT7022B 在电力参数测量中的应用[J]. 测控技术,2007,26(1):9-11.

[7] 范书瑞. Cortex-M3 嵌入式处理器原理与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2011.

[8] 蔡克卫,王宁会,李国锋. 基于 IIR 低通滤波器的快速正弦电压有效值新算法[J]. 大连理工大学学报,2013,53(2):254-260.

[9] 饶志强,叶念渝. FIR 和 IIR 数字滤波器的探讨与实现[J]. 计算机与数字工程,2005,33(7):143-146.

[10] 白 杨,杨家强,曾 争. 谐波检测算法中高性能数字低通滤波器的设计[J]. 浙江大学学报:工学版,2013,47(1):169-173.

[11] 徐 垦. 交流信号真有效值数字测量方法[J]. 华中科技大学学报:自然科学版,2006,34(2):51-54.

[12] 胡广书. 数字信号处理—理论、算法与实现[M]. 北京:清华大学出版社,2003.

[13] Zhang B,Liu H W. The measuring technique research of voltage effective value for military power station[J]. Movable Power Station & Vehicle,2010(3):9-12.

[14] Ding M,Sun G,Zhifei Y U,et al. Detection method of output current effective value of high-voltage cascade frequency converter[J]. Huadian Technology,2013,35(3):32-34.

[15] Sun J X. The method to improve the accuracy of true effective value in ac-sampling measurement[J]. Electrical Measurement & Instrumentation,2011,48(11):20-23.

[16] Zhang C,Dafei H E. Design and application of a high accuracy intelligent electric meter system[J]. Electronic Science & Technology,2013,26(5):95-97.

+++++

[11] 牛夏牧,焦玉华. 感知哈希综述[J]. 电子学报,2008,36(7):1405-1411.

[12] 曾 勇. 图像感知哈希算法及应用[D]. 杭州:浙江理工大学,2012.

[13] Nastar C,Mitschke M,Meihac C. Efficient query refinement for image retrieval[C]//Proceedings of IEEE computer society conference on computer vision and pattern recognition. Santa Barbara,California:IEEE Computer Society,1998:547-552.

[14] Zhan Hongliang,Zhong Di. A scheme for visual feature based image retrieval[C]//Proc of SPIE. Shanghai:[s. n.],2010:369-380.