第 24 卷 第 2 期
1998 年 3 月

自 动 化 学 报
ACTA AUTOMATICA SINICA

Vol. 24, No. 2
March., 1998

中心 B 样条二进小波多尺度边缘提取

贾天旭 郑南宁 张元亮
(西安交通大学人工智能与机器人研究所 西安 710049)

摘 要 分析了截尾的 Canny 算子在多尺度边缘提取时对运算速度造成的影响,提出了中心 B 样条二进小波多尺度边缘提取. 详尽地研究了 Canny 算子与中心 B 样条函数的若干性质,中心 B 样条函数具有紧支集,以极快的速度逼近高斯函数,四阶中心 B 样条函数的导数比 Canny 算子更接近最佳边缘检测滤波器,四阶中心 B 样条函数是二阶平滑问题的唯一最优解,并且它的时频测不准关系值非常接近时频测不准关系下界. 从对计算结果的讨论中也得出中心 B 样条二进小波优于 Canny 算子的结论.

关键词 边缘提取,中心 B 样条函数,二进小波

1 引言

图像最基本的特征是边缘,边缘提取是完成计算视觉任务的基础. 文献[1]对多尺度奇异性检测进行了深入的研究,构造了一个四阶中心 B 样条二进小波,虽然这种方法能够检测象多尺度阶跃边缘一类的信号奇异性,但是,采用这种滤波器检测到的阶跃边缘,是否为最优检测,以及在什么准则下的最优. 文献[2]给出了关于边缘提取的三个最优准则,并且得出用高斯函数的导数作为滤波器时,能够近似满足这三个最优准则,这就是著名的 Canny 算子;但是,Canny 算子不满足二进小波的稳定条件,不能构成稳定的二进小波,不易给出快速、有效的多尺度算法. 然而中心 B 样条二进小波与 Canny 算子有什么关系呢?

本文首先分析了开窗截尾的 Canny 算子在多尺度边缘提取时的不足,提出了中心 B 样条二进小波; 证明了中心 B 样条二进小波优于 Canny 算子;讨论了中心 B 样条二进小波多尺度边缘提取及 Canny 算子边缘提取的计算问题.

2 最佳边缘检测准则及 Canny 算子分析

在文献[2]中 Canny 提出了三个最佳边缘检测准则,它们是:1)不漏检真实存在的边缘,也不把非边缘点作为边缘点检出,使得输出的信噪比最大; 2)检测到的边缘点的位置距实际边缘点的位置最近; 3)每一实际存在的边缘点和检测到的边缘点一一对应. 设滤波器的冲激响应为 $f(x)$,边缘的数学模型为 $G(x)$, 阶跃边缘发生在 $x=0$ 处,信号中的噪声 $n(x)$为高斯白噪声,其方差为 n_0^2. 则第一和第二个最优边缘检测准则可以表示为

收稿日期 1995-12-19

$$\max\left\{\left|\int_{-W}^{W}G(-x)f(x)\mathrm{d}x\right|\left|\int_{-W}^{W}G'(-x)f'(x)\mathrm{d}x\right|\Big/\left[n_0^2\sqrt{\int_{-W}^{W}f^2(x)\mathrm{d}x\int_{-W}^{W}f'^2(x)\mathrm{d}x}\right]\right\}. \tag{1}$$

对(1)式应用 Schwarz 不等式,可得,当 $f(-x)=G(x)$时,(1)式可以达到其上界;但是,当 $f(-x)=G(x)$时,由于噪声和纹理的影响,在边缘附近引起许多极大值点. 因此,需要估计由于噪声引起的峰-峰值之间距离的极大值.

文献[2]给出 $f(x)$对高斯噪声响应的相邻极大值之间的距离为

$$\chi_{\max}(f)=2\pi\left(\int_{-\infty}^{\infty}f'^2(x)\mathrm{d}x\Big/\int_{-\infty}^{\infty}f''^2(x)\mathrm{d}x\right)^{1/2}, \tag{2}$$

Canny 所提出的边缘检测的第三个准则要求(2)式中的 $\chi_{\max}$尽可能地大.
若 $G(x)$是理想的阶跃边缘, 则(1)式为

$$\max\left\{A^2\left|f'(0)\int_{-W}^{0}f(x)\mathrm{d}x\right|\Big/\left[n_0^2\sqrt{\int_{-W}^{W}f^2(x)\mathrm{d}x\int_{-W}^{W}f'^2(x)\mathrm{d}x}\right]\right\}. \tag{3}$$

A 为阶跃边缘的幅度. 文献[2]用变分法对(3)式求解,得出一个函数族能够达到(3)式的极大值. 根据这个原则去选择一最优滤波器:由于多重响应引起误检边缘的概率和由于阈值选择不当引起误检边缘的概率相等.

在 $x=0$ 处, $f(x)$对于阶跃边缘响应二阶导数的幅度为$|Af'(0)|$, 如果$|Af'(0)|$大于 $f(x)$对于高斯噪声响应的二阶导数 S_n 时,在真实边缘的中心附近只有一个极大值点. S_n 大于$|Af'(0)|$的概率 P_m 是正态分布

$$P_m=1-\Phi((A|f'(0)|)/n_0\delta_s), \tag{4}$$

由于阈值选择不当引起误检边缘的概率

$$P_f=1\ \Phi((A\Sigma)/n_0), \tag{5}$$

其中

$$\Sigma=\left|\int_{-W}^{0}f(x)\mathrm{d}x\right|\Big/\sqrt{\int_{-W}^{W}f^2(x)\mathrm{d}x},$$

令(4),(5)式相等,则得

$$|f'(0)|/\delta_s=\Sigma. \tag{6}$$

事实上,(6)式一般不成立,要增加一个系数因子使之成立, 即$|f'(0)|/\delta_s=r\Sigma$. 这时,要求 r 尽可能地接近 1.

文献[2] 给出了一组最优滤波器指标 $\chi_{\max}=1.2$, $\Sigma\Lambda=1.12$, $r=0.576$, 其中新的参量

$$\Sigma\Lambda=\left|f'(0)\int_{-\infty}^{0}f(x)\mathrm{d}x\right|\Big/\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty}f^2(x)\mathrm{d}x\int_{-\infty}^{\infty}f'^2(x)\mathrm{d}x}$$

文献[2]指出,高斯函数的导数

$$f(x)=-(x/\delta^2)\exp(-x^2/(2\delta^2)), \tag{7}$$

能够近似达到最佳滤波器指标. 采用(7)式高斯函数的导数作为最佳边缘检测算子就是 Canny 算子. 由于多维高斯函数的可分离性, 很容易将一维 canny 算子推广到高维空间中去.

不失一般性,令(7)式中 $\delta=1$, 则

$$f(x) = -x\exp(-x^2), \tag{8}$$

这时 $\Sigma\Lambda \approx 0.92$，$r \approx 0.521$ 和 $\chi_{\max} = 0.89$. (8)式不是有限支集函数，在实际应用中，必须对(8)式进行开窗截尾；需要对 Canny 算子开多大的窗口才能使得截尾 Canny 算子近似满足边缘检测的三个最优准则呢？

在实际应用中，对(8)式以原点为中心，对称开窗截尾，当 W 取离散值时，计算对应的 $\Sigma\Lambda$ 和 r，可得表 1

表 1 离散的窗口尺寸 W 与 $\Sigma\Lambda, r$ 的关系

W	1	2	3	4	5
$\Sigma\Lambda$	0.788 565	0.907 414	0.921 204	0.921 318	0.921 318
r	0.735 424	0.528 76	0.516 463	0.516 398	0.516 398

从表 1 知，当 Canny 算子的采样半径大于 3 时，其最优化特性就基本不再发生变化，这种良好的收敛特性是由于 Canny 算子的指数衰减带来的；但是，当窗口半径为 3 时，对于二维离散的 Canny 算子，就得到一个 7 * 7 的卷积模板，对于单尺度的边缘提取，从运算速度上看，虽然欠佳，但仍然是可以接受的算子；当进行多尺度边缘提取时，如果尺度增大一倍，对于原来 7 * 7 的模板，就成为 13 * 13 的模板，即卷积模板的元素数随着尺度的增大呈四倍地增大；所以，当利用 Canny 算子进行多尺度边缘提取时，不能算作一个理想的算子.

3 中心 B 样条函数及其二进小波

定义 1. 设 $\Psi \in L^1 \cap L^2$，且 $\hat{\Psi}(0) = 0$，则按如下方式生成的函数族 $\{\Psi_{s,u}\}$

$$\{\Psi_{s,u}(x)\} = s^{-1/2}\Psi((x-u)/s),\ u \in R,\ s \in R - \{0\}, \tag{9}$$

叫连续小波，Ψ 叫基本小波或母小波.

当积分小波变换中的尺度参数 S 以二进尺度采样时，即对积分变换以 2^j 为伸缩步长时，而平移参数 u 仍采用连续参量，就得到二进小波 $\psi_{2^j}(t) = 2^{-\frac{j}{2}}\psi(t \cdot 2^{-j})$，定义二进小波变换 $W_{2^j}f(x) = 2^{-j/2}Wf(2^j, x) = 2^{-j/2}f * \Psi_{2^j}(x)$，称序列 $Wf = (W_{2^j}f(x))_{j \in Z}$ 为函数 $f(x)$ 的二进小变波换，W 是二进小波算子.

定义 2. 存在两个正常数 A, B，有 $0 < A \leqslant B < \infty$，使得

$$\forall\ \omega \in \mathscr{R}, \qquad 0 < A \leqslant \sum_{j=-\omega}^{\infty} |\hat{\psi}(2^j\omega)|^2 \leqslant B\ ,$$

几乎处处成立，则 $\psi(x)$ 是稳定的二进小波，若 $A = B$，则称为最稳定性条件.

定义 3. m 阶中心 B 样条函数

$$N_m(x) = (N_{m-1} * N_1)(x) = \int_{-0.5}^{0.5} N_{m-1}(x-t)\mathrm{d}t,$$

其中 $N_1(x) = \chi_{[-0.5,\,0.5]}$，$*$ 表示卷积.

这样定义的 m 阶中心 B 样条函数的支集为 $[-m/2, m/2]$，偶数阶中心 B 样条函数 $N_{2m}(x)$ 具有整数节点，其傅里叶变换

$$\hat{N}_{2m}(\omega) = [(\sin(\omega/2))/(\omega/2)]^{2m}, \tag{10}$$

显然有$\lim_{x\to\infty} tN_{2m}(x)=0$ 和 $\int_{-\infty}^{\infty} N_{2m}(x)\mathrm{d}x = 1$. 因此,$N_{2m}(x)$可以作为二进小波的光滑函数. 由(10)式可得

$$\sum_{k=-\infty}^{\infty} |\hat{N}_{2m}(2x + 2\pi k)|^2 = \left[\frac{\sin^{2m}x}{(2m-1)!}\frac{d^{2m-1}}{dx^{2m-1}}\mathrm{ctg}(x)\right]^2.$$

由上式可以算出偶数阶中心 B 样条函数的 Riesz 界. 所以,它是 Riesz 基. 文献[1]将四阶中心 B 样条作为平滑函数,其导数作为二进小波进行信号的多尺度奇异性检测.

4　中心 B 样条函数的导数与 Canny 算子比较

上节讨论了中心 B 样条函数及其导数可以分别构成光滑函数和二进小波函数,利用文献[1]提出的二进小波快速算法进行二进小波快速分解,检测信号的奇异性. 然而,中心 B 样条二进小波与 Canny 算子的关系如何呢? 文献[3]证明了如下定理.

定理 4. 中心 B 样条函数 $N_{2m}(x)$其傅氏变换为 $\hat{N}_{2m}(\omega)$, 当 m 趋于无穷大时,它们分别趋于高斯函数

$$\lim_{m\to+\infty} \hat{N}_{2m}(6^{0.5}\omega/m^{0.5}) = \exp(-\omega^2/2), \tag{11}$$

$$\lim_{m\to+\infty} (m/6)^{0.5}N_{2m}((m/6)^{0.5}x) = (2\pi)^{-0.5}\exp(-x^2/2)\ . \tag{12}$$

对于上述定理有一个很平凡的推论,即:中心 B 样条函数的导数收敛于高斯函数的导数. 将(11)式两边乘以 $j\omega$,等式仍然成立,在时域中等同于

$$\lim_{m\to+\infty} \frac{m}{6}N'_{2m}(y)\,|_{y=(m/6)^{-\frac{1}{2}}x} = -x(2\pi)^{\frac{1}{2}}\exp(-x^2/2)\ . \tag{13}$$

式(11),(13)说明中心 B 样条函数收敛于高斯函数,中心 B 样条函数的导数收敛于高斯函数的导数. 但是,当 m 取有限阶时,其逼近精度如何呢? 对式(11－13)在原点进行泰勒展开不难得到,中心 B 样条函数及其付氏变换对高斯函数的逼近,和中心 B 样条函数的导数对 Canny 算子的逼近都至少是 $1/m$ 阶的.

以 N_2, N_4, N_6, N_8 为例说明式(12),(13)的渐近速度,数值计算函数空间中两个函数之间的距离

$$A_m = \max|(m/6)^{0.5}N_{2m}((m/6)^{0.5}x) - (2\pi)^{-0.5}\exp(-x^2/2)|,$$

$$B_m = \max|\frac{m}{6}N'_{2m}(y)\,|_{y=(m/6)^{0.5}\chi} + x\exp(-x^2/2)(2\pi)^{-0.5}|.$$

可得表 2,由表 2 知用中心 B 样条及其导数可以很快地逼近高斯函数及其导数.

表 2　近似计算 A_m 和 B_m

m	1	2	3	4
A_m	0.027 313 1	0.010 467 3	0.006 454 18	0.004 803 59
B_m	0.118 014	0.012 805 9	0.009 081 89	0.006 686 28

当采用中心 B 样条函数的导数作为滤波器进行边缘提取时,它对边缘提取的最优准则满足程度如何呢? 为此,计算出当采用中心 B 样条函数的导数作为边缘检测算子时,可得表 3. 由表 3 知,四阶中心 B 样条函数的导数比 Canny 算子更接近最优边缘检测滤波

器. 也就是说,四阶中心B样条函数的导数比高斯函数的导数更能满足最佳边缘提取的要求.

表3 中心B样条函数的导数作为边缘检测算子时的最优指标

样条函数阶数	0	1	2	3	4	5	6	7	8
r	0.509 175	0.027 802	0.112 737	0.103 634	0.545 552	0.504 044	0.518 806	0.515 235	0.516 182
$\chi_{\max}$	0.037 163	0.040 380	0.054 147	0.302 574	1.153 554	1.369 391	1.488 988	1.595 425	1.694 988
$\Sigma\Lambda$	0.410 936	0.032 981	3.260 152	0.605 256	0.990 504	0.853 393	0.884 085	0.883 368	0.889 472

所以要在求导之前先对图象进行平滑,是因为原图象中含有噪声,而微分算子对于噪声是不适定的. 以受噪声污染的一维信号为例,设原一维信号为 $d(x)$,低通滤波器为 $g(x)$

$$y(x) = d(x) * g(x) . \tag{14}$$

平滑之后的信号,希望它一方面尽可能的光滑,另一方面又尽可能的接近原始数据. 对函数光滑性一个可能的度量是利用函数的导数. 为此,定义函数的光滑度量

$$I_p(y) = \int_{-\infty}^{\infty} [y^{(p)}(x)]^2 \mathrm{d}x, \tag{15}$$

$y^{(p)}(x)$表示对函数 $y(x)$的 p 阶导数. 一般地讲,求导次数 p 增加,$I_p(y)$会迅速增加,如果 $y(x)$具有 p 阶连续导数,称它是 p 阶光滑的. $y(x)$对 $d(x)$的逼近准则可以用以下 $E(y)$度量

$$E(y) = \int_{-\infty}^{\infty} [d(x) - y(x)]^2 \mathrm{d}x . \tag{16}$$

事实上,(15)式给出的平滑度量和(16)式给出的逼近度量是一对相互矛盾的指标,若要求 $y(x)$尽可能的光滑,则 $y(x)$就必然不能最好地逼近 $d(x)$,若 $y(x)$最大限度地逼近 $d(x)$,则 $y(x)$的光滑性的要求就要降低;一个极端的情况是 $y(x)=d(x)$,这时,$y(x)$逼近 $d(x)$是最优的,但是却没有经过任何光滑.

在未知 $d(x)$的光滑性时,若要求 $y(x)$是 p 阶光滑的. 只要 $g(x)$是 p 阶光滑的即可. 因为

$$y^{(p)}(x) = d(x) * g^{(p)}(x) . \tag{17}$$

当 $g(x)$取高斯函数时,由于高斯函数是无限光滑的函数,这时 $y(x)$也是无限光滑的函数. 事实上,利用一阶导数的局部极值检测边缘时,只要 $y(x)$的二阶导数有界即可. 过分地光滑,必然降低 $y(x)$对 $f(x)$的逼近,所以,对于 Canny 算子,利用高斯函数的导数作为边缘检测算子,从逼近度量和平滑度量两方面看,是对原函数过度平滑,而逼近不够的;而中心B样条函数具有可调整的平滑度,随着样条阶数的增加,平滑度增加,如:当 $g(x)$为三阶样条函数时,$y(x)$为二阶光滑;当 $g(x)$为四阶样条时,$y(x)$为三阶光滑的函数. 采用多大阶数的中心B样条函数,才能把逼近和平滑都兼顾得较好呢?使它们的综合指标达到最佳呢?有如下定理:

定理 5. 对于被噪声污染的函数 $d(x)\in[a,b]$,给定间$[a,b]$上的一个分划 $a=x_1<x_2<\cdots<x_{n-1}<x_n=b$,和各节点的值 $d(x_i)$,四阶中心B样条函数 $N_4(x)$是使泛函

$$J(y) = \int_a^b [y''(x)]^2 \mathrm{dx} + \sum_{i=1}^n \rho_i [d(x_i) - y(x_i)]^2,$$

极小化的唯一解，其中 $\rho_1 > 0$，$d(x)$ 和 $y(x)$ 的关系由(14)式给出. 文献[4]给出了该定理的严格证明.

该定理表明：当只需要平滑后的二阶导数时，最佳的卷积核是四阶中心 B 样条函数，而不是高斯函数. 如果用中心 B 样条函数作为卷积核，可以根据原图像中噪声的强弱，选用不同阶数的样条函数. 当噪声比较严重时，这时的主要矛盾是去除噪声，可以选用阶数较高的样条函数，这样平滑作用较强，而逼近性差一些，以利于去除噪声和逼近有用的信号；当噪声较弱时，可以选用较低阶的样条函数，在去除少量的噪声同时，尽可能地逼近原数据. 因此，可以根据信号信噪比的高低，选用合适的样条函数阶数，达到较好地抑制噪声的同时，又尽可能地逼近原数据. 而高斯卷积核，却是不论信号的信噪比如何，都一视同仁地进行平滑. 显然，从平衡平滑掉噪声和逼近有用数据这一对矛盾来看，中心 B 样条函数优于高斯函数.

高斯函数是可以达到测不准关系下界的唯一实函数，计算中心 B 样条函数的时频测不准关系值，对于 1,2,3,4,5 阶中心 B 样条函数的时频测不准关系值与其测不准下界的差占下界的百分比分别为 8.242%，0.787%，0.2368%，0.142%，0.055 2%，对于四阶中心 B 样条函数的时频测不准关系值已经和时频测不准关系的下界只差 0.142%，已经非常接近时频测不准关系的下界.

至此，已经从渐近特性、边缘提取最佳滤波器准则、数据的平滑和逼近、时频测不准关系等方面，讨论了中心 B 样条函数及其导数与 Canny 算子，结果表明中心 B 样条二进小波的边缘提取特性优于 Canny 算子，特别倾向于使用四阶中心 B 样条二进小波.

5　二维中心 B 样条小波和多尺度边缘提取

设图像为 $d(x,y)$，采用 $\theta(x,y)=N_{2m}(x)N_{2m}(y)$ 作为光滑函数，计算 $d(x,y)$ 经光滑之后在梯度方向上的局部极大值，检测并连接边缘点，勾划出边缘. 对于二维二进小波，文献[1]给出了快速算法，在同一尺度下，采用二进小波快速算法，对于一幅 $N\times N$ 的图像，其小波分解算法的复杂度为 $O(N^2\log N)$；而采用高斯函数的导数作为边缘检测算子，当图像为 $N\times N$，对高斯函数的导数开窗大小为 $M\times M$ 时，计算高斯平滑后的梯度，其运算复杂度为 $O(N^2\times M^2)$. 因此，从计算量上看，中心 B 样条二进小波多尺度边缘提取远优于 Canny 算子.

6　结论

本文从分析开窗截尾的 Canny 算子出发，指出 Canny 算子在多尺度边缘提取中运算量过大的不足，并提出了中心 B 样条二进小波多尺度边缘提取算法. 通过深入地分析 Canny 算子和中心 B 样条函数的导数得出

1) 中心 B 样条函数具有紧支集，Canny 算子不具有紧支集；

2) 中心 B 样条函数趋向于高斯函数，中心 B 样条函数的导数趋向于 Canny 算子，并

且当样条函数的阶数较低时，它们的逼近效果已相当好；

3）四阶中心 B 样条函数的导数比 Canny 算子更接近最佳边缘检测滤波器；

4）四阶中心 B 样条函数是二次平滑问题的唯一最优解；而且可以通过选择不同的样条函数阶数，平衡对数据的平滑和逼近，以适应不同信噪比的信号，而高斯函数则是对任何信号都进行同样的平滑和逼近；

5）中心 B 样条函数的时频测不准关系值可以很快地逼近时频测不准关系下界；

6）中心 B 样条函数的导数可以构成二进小波，存在多尺度边缘提取快速算法；而对于 Canny 算子则不易给出快速有效的多尺度算法；

7）最后从计算量上证实了中心 B 样条二进小波相对于 Canny 算子的优越性.

参 考 文 献

1 Mallat S G, Zhong S. Characterizing of signals from multiscales edges *IEEE Trans. Pattern Anal. & Mach. Intell.*, 1992, **14**(2):710—732

2 Canny J. A computation approach to edge detection. *IEEE Trans. Pattern Anal. & Mach. Intell.*, 1986, **8**(2): 679—698

3 Unser M, Aldroubi A, Eden M. On the asymptotic convergence of B-spline wavelets to Gabor functions. *IEEE Trans. Inf. Theory*, , 1992, **38**(2):864—872

4 程正兴. 数据拟合. 西安:西安交通大学出版社,1986 年

CENTER B SPLINE DYADIC WAVELET MULTISCALE EDGE DETECTION

JIA TIANXU ZHENG NANNING ZHANG YUANLIANG

(*Institute of Artificial Intelligence and Robotics, Xi'an Jiaotong University, Xi'an* 710049)

Abstract We first analyse the effect of cutting off the Canny operator on the calculation speed for multiscale edge detection, and then propose the center B spline spline dyadic wavelet multiscale edge detection algorithm. Some properties of the Canny operator and center B function are studied in detail: 1) the center B spline function has compact support and the Canny operator does not; 2) the center B spline function converges to the Gaussian function and the derivative of center B spline function converges to Canny operator; 3) the derivative of the fourth order center B spline function is more like the optimal edge detection filter than the Canny operator is; and 4) the fourth order center B spline function is the only solution to the second order smoothing problem and its time-frequency uncertainty value is very close to the optimal value. The result of the multiscale edge detection shows that the center B spline dyadic wavelet is superior to the Canny operator.

Key words Edge detection, center B spline function, dyadic wavelet

贾天旭 1965 年生. 1987 年毕业于郑州大学无线电系，1991 年于北京航空航天大学获工学硕士学位. 后在航空航天工业部第四十四研究所从事科研与项目开发工作. 于 1996 年获西安

交通大学自动化理论及应用专业工学博士学位. 现在郑州大学电子工程系工作. 主要研究领域为自动控制理论及其应用,人工智能与模式识别,计算视觉与图象处理.

郑南宁　1952 年生. 教授、博士生导师、IEEE 高级会员. 1975 年毕业于西安交通大学. 1981 年获本校自动控制理论及其应用专业硕士学位. 1985 年获日本庆应大学工学博士学位. 已先后在国内外发表论文多篇,编著有"数字信号处理"、"计算机视觉与模式识别". 现主要从事机器视觉与模式识别,神经元网络,并进行处理的研究.

《自动化学报》征稿简则

一、《自动化学报》是中国自动化学会和中国科学院自动化所主办的全国性高级学术期刊,双月刊. 在美国出版英译版,季刊.

二、本刊刊载自动化科学与技术领域的高水平理论性和应用性学术论文. 内容包括:1. 自动控制理论;2. 系统理论与系统工程;3. 自动化技术及其在国民经济各领域中的创造性应用;4. 自动化系统计算机辅助技术;5. 机器人与自动化;6. 人工智能与智能控制;7. 自动控制系统中的新概念、新原理、新方法、新设计;8. 自动化学科领域的其它重要问题.

三、本刊以发表论文和短文为主,并不定期地发表长论文、综述文章、问题讨论、书刊评论、国内外学术活动信息等.

四、本刊不接受已在国内外期刊上发表(包括待发表)的稿件,但不排除已在国内外学术会议上发表或准备发表的优秀论文(对于此种情况,作者必须在稿件首页脚注说明).

五、稿件内容的正确性、真实性和可靠性由作者自行负责.

六、来稿一式三份寄北京中关村中国科学院自动化所《自动化学报》编辑部. 邮编 100080. 编辑部在收稿后一周内寄送回执. 作者请自留底稿,稿件概不退还. 稿件是否录用一般在半年内通知作者.

七、稿件刊登与否由本刊编委会最后审定,已被录用的稿件需严格按审查意见和《作者加工稿件须知》修改并一式两份寄编辑部.

八、编委会有权对来稿作适当文字删改或退请作者修改. 文章发表后,按篇酌致稿酬,并赠送 30 本抽印本,在稿件的修改及联系过程中,如果不特殊说明,本刊只与第一作者联系.

九、来稿格式及要求:

1. 来稿要求论点明确,论证严格,语言通顺,文字简练. 一般定稿时长论文 12000 字;普通论文尽量不超过 6000 字;短文不超过 3000 字;其它形式文章视具体内容由编辑部决定.

2. 文章结构请参照本刊近期发表的文章格式,论文摘要限制在 200 字左右,其内容包括研究目的、方法、结果和结论等. 文中非标准缩写词(中文或英文)须在首次出现时定义清楚,公式、图、表均须分别用阿拉伯数字全文统一编号.

3. 计量单位一律采用法定计量单位,即 SI 单位. 名词术语必须规范化、标准化,前后一致. 外国人名、地名、书刊名称除已通用者外一律用原文.

4. 参考文献按文中出现的先后次序排列. 期刊的格式为:编号　作者(姓在前,如 Wiener L N, Kalmn R E, Wang H 等). 文章题目. 期刊名(外文可根据国际惯例使用缩写词),年,卷号(期号):页码顺序编排. 图书的格式为:编号　作者(姓在前). 书名. 出版地点:出版者,年份,页码顺序编排. 正文未引用的文献及未公开发表的文献不得列入参考文献栏目.

5. 文末附英文摘要(内容与中文一致). 摘要包括英文标题、作者姓名和工作单位、文章摘要、关键词. 摘要一般不超过 250 个单词.

6. 来稿最好用方正打印. 打印稿请用四号字,行间空距不小于 7 毫米. 文中符号、大小写等必须清楚.