

## 噪声在脉冲耦合神经网络图像增强中的作用

梁晓冰<sup>1</sup> 刘希顺<sup>1\*</sup> 刘安芝<sup>1</sup> 王博亮<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(国防科技大学电子科学与工程学院,长沙 410073)

<sup>2</sup>(厦门大学计算机科学系,厦门 361005)

**摘要:** 神经系统中广泛存在着噪声,大量研究表明噪声有助于弱信号的检测和传输。脉冲耦合神经网络是建立在生物神经系统上的第三代人工神经网络,被广泛应用于图像处理。为了研究噪声对脉冲耦合神经网络图像处理的影响,通过在网络中引入加性噪声,用于图像增强。直观视觉效果和图像直方图均表明适当的噪声有助于图像增强,噪声过小或过强则减弱图像增强效果;图像的峰值信噪比随噪声强度增强呈现倒钟形,表明存在随机共振现象。本研究表明适当强度的噪声能够提高脉冲耦合神经网络图像处理的效果,并显示出随机共振,有助于开展基于生物神经系统的智能化图像处理方法的研究。

**关键词:** 脉冲耦合神经网络; 图像增强; 噪声; 随机共振

### Enhancement of Digital Image by Pulse Coupled Neural Networks with Noise

LIANG Xiao-Bing<sup>1</sup> LIU Xi-Shun<sup>1\*</sup> LIU An-Zhi<sup>1</sup> WANG Bo-Liang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(College of Electronic Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073)

<sup>2</sup>(Department of Computer Science, Xiamen University, Xiamen 361005)

**Abstract:** Noise has been found in many kinds of neural systems and thought to be helpful in detecting and processing weak signals. The pulse coupled neural network (PCNN) is a kind of artificial neural network based on the biological experiments, and has been widely applied to image processing. To investigate the influence of noise on the image processing by PCNN, we added a noise to the net to realize image enhancement. The images and their histograms showed that noise of suitable intensity was helpful to the image enhancement, while the noise with smaller or stronger intensities produced harmful effects on the results. The curve of peak signal-to-noise ratio (PSNR) versus noise intensity was reversed-bell like, representing the characteristic of stochastic resonance. It was showed that noise could improve the image enhancement by PCNN through stochastic resonance, being beneficial to the neural system for realizing intelligent signal processing.

**Key words:** pulse coupled neural network; contrast enhancement; noise; stochastic resonance

中图分类号 TP391 文献标识码 A 文章编号 0258-8021(2009)04-0485-05

## 引言

脉冲耦合神经网络(pulse coupled neural network, PCNN)是 Eckhorn 根据猫大脑视觉皮层实验观察到的与特征相关的神经元同步行为提出的,是第三代神经网络的一个重要分支<sup>[1]</sup>。PCNN 为单层模型神经网络,与以往的经典神经网络模型相比,不需要训练过程,在图像处理时比传统方法具有优越性,因此

被广泛应用于图像处理领域<sup>[2-8]</sup>。图像增强是一种重要的基本图像处理技术,通过一定的处理方法提高图像的视觉效果。常用的增强技术包括直方图均衡化和直方图规定化等。衡量标准可采用主观的视觉效果、均方根、峰值信噪比和直方图等参量。

另外,噪声广泛存在于自然界的各种系统中,视觉上往往表现为负面的影响。但是大量研究表明噪声可以通过随机共振现象(stochastic resonance)表现

收稿日期: 2008-09-10, 修回日期: 2009-05-15

\*通讯作者。 E-mail: xishunliu@163.com

出有利于系统的一面。1981年 Benzi 首次引入了随机共振现象,用于解释地球冰川的周期现象<sup>[9]</sup>。随机共振,即噪声在适当的强度时,可使得非线性系统对阈下激励响应最优。一般通过系统的信噪比、传输信息等参数来表征,随机共振发生时这些参数随噪声的变化曲线呈倒钟形。随后在多种非线性系统中,研究人员都发现了这种现象,如生物、化学、物理、神经等系统<sup>[10]</sup>。特别是针对神经系统的大量实验和理论研究发现,噪声有助于神经系统的阈下弱信号的检测<sup>[11-17]</sup>,但是此类研究大多是针对一维弱信号的,二维信号的研究还不多见。有研究发现在图像中加入适当噪声可以提高图像的视觉效果<sup>[18-20]</sup>。Jha 等还通过随机共振提高了图像的对比度<sup>[21]</sup>,但是这些研究均建立在简单的二值阈值系统上,与实际复杂的人类视神经系统相去甚远。

依据哺乳动物视神经系统建立的 PCNN 网络中加入噪声后是否存在随机共振现象?能否改善图像质量?为此本研究采用一种简化 PCNN 模型对一低对比度的图像进行了图像增强,然后在模型中引入高斯白噪声,通过逐渐增强噪声强度发现,在适当的噪声强度处图像的视觉效果最好,峰值信噪比-噪声曲线呈倒钟形,即存在随机共振现象。另外直方图也显示与未引入噪声时的图像增强相比效果得到改善。说明噪声有助于 PCNN 的图像处理,而噪声与网络是有生物学依据的,因此本研究有助于探索神经系统的信号处理机制,研究智能化的信号处理方法。

## 1 模型

简化的 PCNN 模型公式为

$$F_{ij}[n] = I_{ij} \quad (1)$$

$$L_{ij}[n] = \sum_{kl} w_{ijkl} Y_{kl}[n-1] \quad (2)$$

$$U_{ij}[n] = F_{ij}[n](1 + L_{ij}[n]) \quad (3)$$

$$Y_{ij}[n] = \begin{cases} 1, & U_{ij}[n] > \theta_{ij}[n-1] \\ 0, & U_{ij}[n] \leq \theta_{ij}[n-1] \end{cases} \quad (4)$$

$$\theta_{ij}[n] = \exp(-\alpha) \theta_{ij}[n-1] \quad (5)$$

式中,  $F_{ij}$  为网络的外部输入,本研究中为像素  $I_{ij}$ ;  $L_{ij}$  为来自邻近神经元的连接输入,通过与外部输入融合产生内部反应  $U_{ij}$ ;  $w_{ijkl}$  是连接系数;  $w_{ijkl}$  代表神经元间的突触增益强度;  $Y_{ij}$  代表神经元的输出;  $\theta_{ij}$  为神经元的放电阈值;  $\alpha$  为阈值衰减常数。PCNN 的网络响应原理详见文献[1-2]。

网络的算法步骤为:

步骤 1:确定网络参数和变量初值;

步骤 2:计算神经元邻域信号  $L_{ij} = \sum_{kl} w_{ijkl} Y_{kl}$  和内部调制信号  $U_{ij} = F_{ij}(1 + L_{ij})$ ;

步骤 3:若  $U_{ij} > \theta_{ij}$ ,神经元点火,同时像素点亮度增加一个步长  $\Delta$ ;若  $U_{ij} \leq \theta_{ij}$ ,神经元不点火,像素点亮度减少一个步长  $\Delta$ 。 $\Delta_1$  和  $\Delta_2$  为预设值;

步骤 4:调整神经元的放电阈值  $\theta_{ij}$ ;

步骤 5:进入下一次循环,继续步骤(2),直至循环结束。

另外,高斯白噪声将以加性噪声的形式在网络的输入部分引入,如式(6)所示,  $D$  为  $\theta_{ij}$  的强度。为了减少随机波动的影响,仿真足够长的时间,增强处理重复 50 次,然后对输出图像取均值。

$$F_{ij}[n] = I_{ij} + D \theta_{ij} \quad (6)$$

除了直观的图像视觉效果比较外,我们还对图像的直方图及与标准图像的峰值信噪比 (peak signal-to-noise ratio, PSNR) 来衡量图像增强的效果, PSNR 的计算公式如式(7)所示,其中  $M \times N$  为灰度图像的尺寸,  $f(x, y)$  为标准图像,  $f(x, y)$  代表本方法处理后的图像。

$$\text{PSNR} = 10 \lg \left[ \frac{255^2}{\frac{1}{M \times N} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} |f(x, y) - f(x, y)|^2} \right] \quad (7)$$

## 2 实验结果

网络模型的参数通过手动实验后确定,  $\theta_{ij}[0] = 100$ ,  $\alpha = 0.08$ ,  $\Delta_1 = 2.5 = 3 \Delta_2$ ,网络循环次数为  $N = 65$ ,  $w = [0.5 \ 1 \ 0.5; 1 \ 0 \ 1; 0.5 \ 1 \ 0.5]$ 。这里的确定采用文献[8]的方法,为图像灰度值归一化后的均方差。

实验针对 256 像素  $\times$  256 像素的 256 级灰度图像 Lena 进行了处理。低对比度的 Lena 图像(见图 1(a))采用直方图均衡化方法处理后得到的增强图像(见图 1(e)),灰度级数较少,牺牲了很多细节,出现伪影,与理想的 Lena 图像(见图 1(c))有差距。从与它们相对应的直方图上也可以体现。

采用无噪声的 PCNN 对图像进行增强,结果如图 2(a)所示,可见灰度级得到了提高和拉伸,使亮度增强,对比度提高;图 2(b)显示灰度级数相对直方图均衡化法增加,细节保留较好。加入高斯白噪声后的 PCNN 图像增强结果如图 2 中(c)~(h)所示。噪声强度较弱时,  $D = 5$ ,由图 2(c)可见图像增

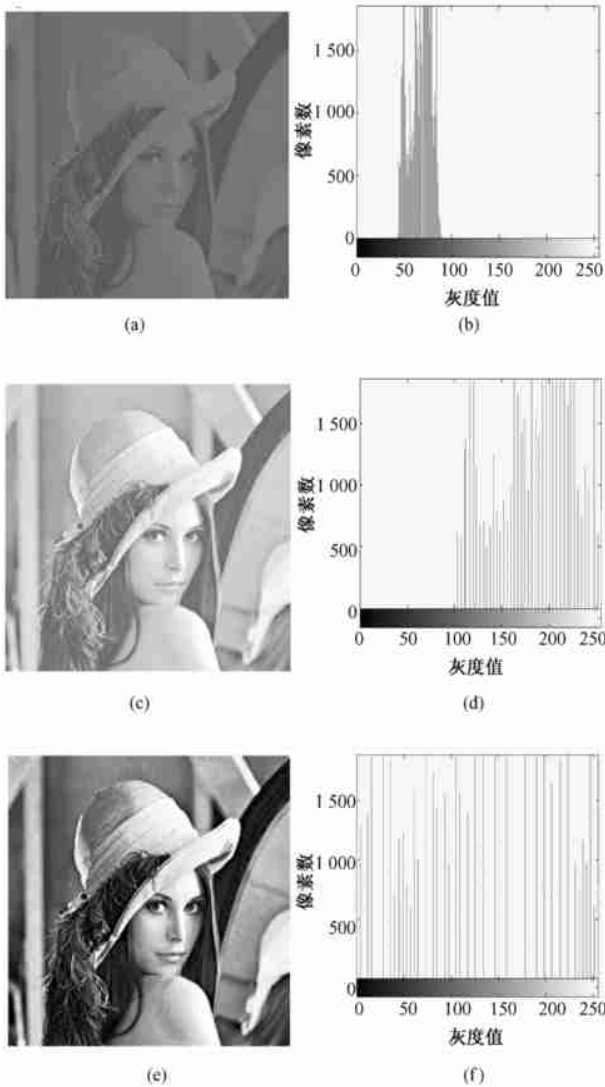


图1 Lena 图像和相应的直方图。(a)和(b)原始图像及直方图;(c)和(d)理想图像及直方图;(e)和(f)直方图均衡化图像及直方图

Fig.1 Lena and the corresponding histograms. (a) and (b) the original image; (c) and (d) the standard image; (e) and (f) the image processed by the histogram equalization method

强,灰度级宽度增加,但是不同灰度值的像素数差值小,图像可见性较差;当噪声强度增加到  $D = 12.5$  时,结果如图 2 中(e)和(f)所示,可见灰度直方图进一步变宽,级数也显著增加,说明细节更明显,整体对比度和可见性增加;噪声增强到  $D = 25$  时,结果如图 2 中(g)和(h)所示,图像出现明显噪点,细节显示不足,高灰度值的像素数量减少,图像质量变差。可见当加入适当强度的噪声时,PCNN 的图像处理结果最优,过弱或过强的噪声会降低 PCNN 的图像处理效果。但是,受 PCNN 算法本身的局限性,噪声

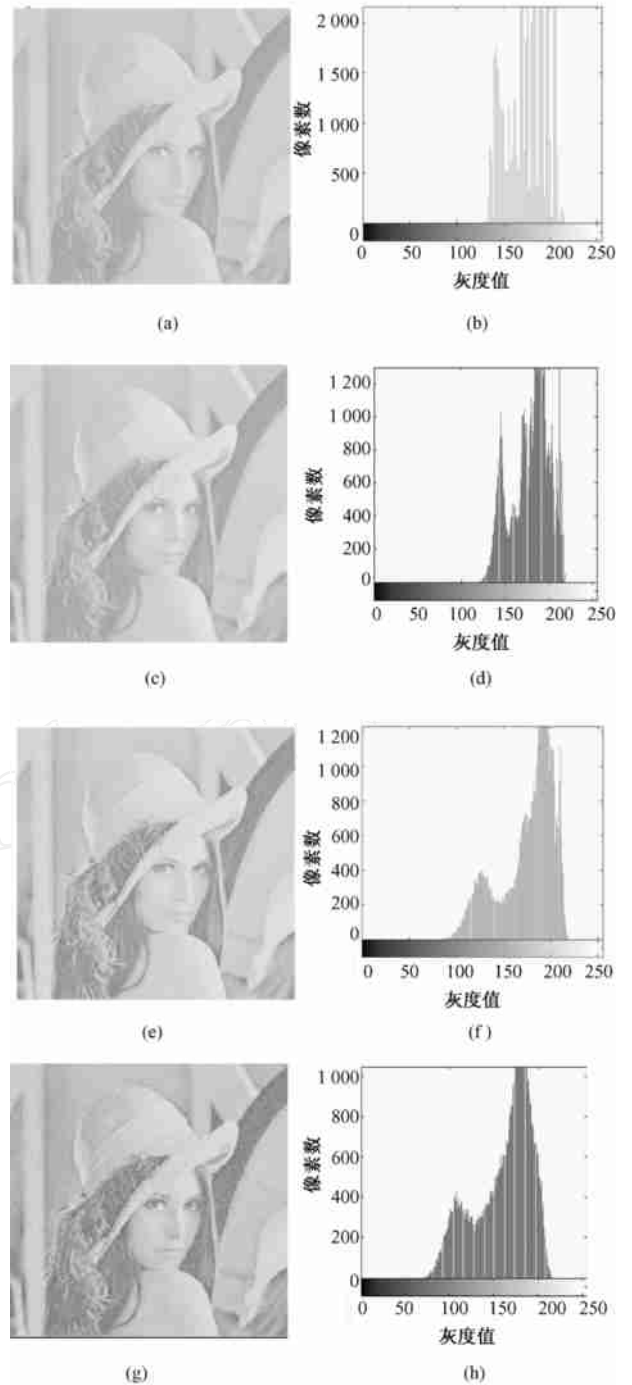


图2 PCNN和加噪 PCNN处理的 Lena 图像和相应的直方图。(a)和(b) PCNN;(c)和(d)加噪 PCNN ( $D = 5$ ); (e)和(f)加噪 PCNN ( $D = 12.5$ );(g)和(h)加噪 PCNN ( $D = 25$ )

Fig.2 Enhanced Lena by PCNN and noisy PCNN and their corresponding histograms. (a) and (b) PCNN; (c) and (d) noisy PCNN,  $D = 5$ ; (e) and (f) noisy PCNN,  $D = 12.5$ ; (g) and (h) noisy PCNN,  $D = 25$

只在一定程度上提高了 PCNN 的图像处理效果,要

达到理想的图像处理效果有待于 PCNN 算法的改进。

加噪 PCNN 增强后的图像与理想图像的 PSNR 随噪声强度的变化曲线如图 3 所示,为一倒钟形曲线,表征了随机共振的存在,且在  $D = 12.5$  时 PSNR 达到最大值 23.555 dB,而直方图均衡化方法的 PSNR 仅为 11.613 dB。

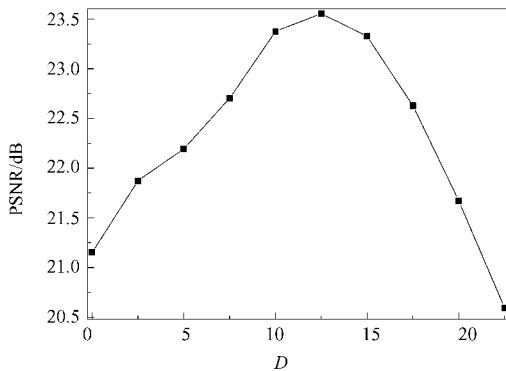


图 3 加噪 PCNN 增强图像的 PSNR 与噪声强度  $D$  曲线

Fig. 3 The PSNR of Lena enhanced by noisy PCNN vs  $D$

### 3 讨论和结论

通过上述图像的直观视觉、直方图可见,噪声在 PCNN 图像增强中扮演了有益的角色,适当强度的噪声能够明显提高 PCNN 的图像增强能力,且倒钟形 PSNR 曲线揭示了随机共振的存在。早在 1993 年, Douglass 等就发现鳌虾等生物的神经系统中噪声对弱信号的检测起到了不同寻常的作用,存在随机共振现象,因此他们推测噪声在神经系统中通过随机共振扮演着重要角色<sup>[11]</sup>。PCNN 是建立在猫的视觉皮层神经同步机制上的,具有极强的生物近似性,因此本研究在神经系统的二维模型中,证明了前人对于噪声角色的推测,这对于今后进一步开展神经网络建模,仿真神经生物和生理现象,揭示神经信号处理机制具有重要意义。

另外需要指出的是,以往关于神经模型中随机共振的研究一般都是针对一维信号的,这里则是针对二维图像信号的,虽然研究相对复杂,但是更易于转化到工程应用领域,有助于开展新的具有生物智能基础的图像处理方法的研究。

PCNN 网络的参数人工确定是阻碍此研究的一大障碍,因此不能方便地对噪声的引入方式和位置等问题开展深入的探索,影响了对噪声在 PCNN 图像处理中的作用的全面研究。今后的研究方向应针对 PCNN 自适应随机模型展开。

通过一个简化的 PCNN 及其加噪模型实现了低对比度图像的增强,效果显著。而且加噪的 PCNN 在图像增强过程中存在随机共振现象,即增强效果和峰值信噪比随噪声的强度变化存在峰值现象,有最优噪声强度存在。PCNN 是建立在哺乳动物的视神经基础上的,且噪声也是在神经系统中普遍存在的,因此本研究的结果有助于探索神经系统的信号处理机制,及智能信号处理方法的研究。文中的 PCNN 网络是一个非常简化的模型,复杂的、参数自适应的 PCNN,及噪声的类型、引入方式对图像处理的影响将是今后研究的重点。

### 参考文献

- [1] Eckhorn R, Reitboeck HJ, Arndt M, et al. Feature linking via synchronization among distributed assemblies: simulations of results from cat visual cortex [J]. *Neural Computation*, 1990, 2(3): 293 - 307.
- [2] Ranganath HS, Kuntimad G. Image segmentation using pulse coupled neural networks [A]. In: *Proceeding of IEEE International Conference of Image Processing* [C]. Orlando: IEEE, 1994. 1285 - 1290.
- [3] Gu Xiaodong, Guo Shide, Yu Daoheng. A New approach for automated image segmentation based on unit-linking PCNN [A]. In: *The First International Conference on Machine learning and Cybernetics* [C]. Beijing: IEEE, 2002. 175 - 178.
- [4] Johnson JL, Padgett ML. PCNN models and applications [J]. *IEEE Transaction on Neural Networks*, 1999, 10(3): 480 - 498.
- [5] Kuntimad G, Ranganath HS. Perfect image segmentation using pulse coupled neural networks [J]. *IEEE Transaction on Neural Networks*, 1999, 10(3): 591 - 598.
- [6] Ranganath HS, Kuntimad G. Object detection using pulse coupled neural networks [J]. *IEEE Transaction on Neural Networks*, 1999, 10(3): 615 - 620.
- [7] Ma Yide, Wang Zhaobin, Wu Chenghu. Feature extraction from noisy image using PCNN [A]. In: *Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Information Acquisition* [C]. Weihai: IEEE, 2006. 20 - 23.
- [8] 于江波, 陈后金, 王巍, 等. 脉冲耦合神经网络在图像处理中的参数确定 [J]. *电子学报*, 2008, 36(1): 81 - 85.
- [9] Benzi R, Sutera S, Vulpiani A. The mechanism of stochastic resonance [J]. *Journal of Physics A*, 1981, 14(11): 453 - 457.
- [10] Sagues F, Sancho JM, Garcia-Ojalvo J. Spatiotemporal order out of noise [J]. *Review of Modern Physics*, 2007, 79(3): 829 - 882.
- [11] Douglass JK, Wilkens L, Pantazidou E, et al. Noise enhancement of the information transfer in crayfish mechanoreceptors by stochastic resonance [J]. *Nature*, 1993, 365: 337 - 340.
- [12] Gluckman BJ, Netoff TI, Neel EJ, et al. Stochastic resonance in a neuronal network from mammalian brain [J]. *Physical Review Letters*, 1996, 77(19): 4098 - 4010.

- [13] Pikovsky AS, Kurths J. Coherence resonance in a noise-driven excitable system [J]. *Physical Review Letters*, 1997, **78**(5): 775 - 778.
- [14] Longtin A, Chialvo DR. Stochastic and deterministic resonance for excitable systems [J]. *Physics Review Letters*, 1998, **81**(18): 4012 - 4015.
- [15] Liu Feng, Wang Jiafu, Wang Wei. Frequency sensitivity in weak signal detection [J]. *Physical Review E*, 1999, **59**(3): 3453.
- [16] Wang Qingyun, Lu Qishao, Chen Guanrong. Spatio-temporal patterns in a square-lattice Hodgkin-Huxley neural network [J]. *European Physics Journal B*, 2006, **54**(2): 255 - 261.
- [17] Moss F, Ward LM, Sannita WG. Stochastic resonance and sensory information processing: a tutorial and review of application [J]. *Clinical Neurophysiology*, 2004, **115**(2): 267 - 281.
- [18] Simomotto E, Riani M, Seife C, *et al.* Visual Perception of Stochastic Resonance [J]. *Physical Review Letters*, 1997, **78**(6): 1186 - 1189.
- [19] Tao Yang, Adaptively optimizing stochastic resonance in visual system [J]. *Physics Letters A*, 1998, **245**(8): 79 - 86.
- [20] 冷永刚,王太勇,李瑞欣,等. 视觉信息的随机共振 [J]. *天津大学学报*, 2004, **37**(6): 480 - 484.
- [21] Jha RK, Biswas PK, Chatterji BN. Enhancement of Digital Images using Stochastic Resonance [A]. In: *Proceeding of the IEEE Region 10 Conference* [C]. Melbourne: IEEE, 2005. 11: 1 - 6.

## (上接第 484 页)

- induction[J]. *Phys Med Biol*, 2005, **50**: 5175 - 5187.
- [2] Wang Hao, Liu Guoqiang, Jiang Lingtong, *et al.* 3D Inverse problem of magnetoacoustic tomography with magnetic induction[A]. In: *Proceedings of the 5th International Conference on Information Technology and Application in Biomedicine* [C] Shenzhen, China, 2008, 78 - 81.
- [3] 刘国强,王浩,蒙蒙,等. 一维感应式磁声成像重建算法研究. [A]. 见: 2007 中国生物医学工程联合学术年会论文集(下册) [C] 西安:2007 中国生物医学工程联合学术年会, 2007, 1669 - 1671.
- [4] 李琦,朱善安. 基于时间反演方法的三维磁感应成像电导率重建[J]. *中国生物医学工程学报*, 2009, **28**(1): 48 - 52.
- [5] Wang Weiping, Eisenberg SR. Three-dimensional finite element method for computing magnetically induced currents in tissues[J]. *IEEE Trans on Magnetics*, 1994, **30**(6): 5015 - 5023.
- [6] Li Xu, Xu Yuan, He Bin. Magnetoacoustic tomography with magnetic induction for imaging electrical impedance of biological tissue[J]. *Appl Phys*, 2006, **99**: 066112.
- [7] 张星辉. 圆电流磁感线的分布及磁感应强度的函数表达式 [J]. *大学物理*, 2006, **25**(1): 32 - 37.
- [8] Li Xu, Xu Yuan, He Bin. Imaging electrical impedance from acoustic measurements by means of magnetoacoustic tomography with magnetic induction (MAT-MI) [J]. *IEEE Trans on Biomed Eng*, 2007, **54**(2): 323 - 330.