

改进的 RFID 室内定位算法

段本亮¹, 李建雄¹, 陈明省¹, 毛陆虹²

(1. 天津工业大学 电子与信息工程学院, 天津 300387; 2. 天津大学 电子信息工程学院, 天津 300072)

摘要: 针对射频识别定位系统中 RSSI 线性定位算法的边界标签定位精度低问题, 提出了一种改进的算法. 该算法在边缘区域布置参考标签, 并在这些布置参考标签的区域采用 LANDMARC 算法, 而其它区域仍采用 RSSI 线性定位算法. 使用 MATLAB 软件对算法进行仿真, 结果表明: 针对边界区域的定位标签, 改进的算法比 RSSI 线性定位算法具有更好的定位精度, 提高了整体定位区域的定位准确性; 与 LANDMARC 算法相比, 改进的算法由于使用较少的参考标签, 所以降低了成本并且减少了算法的运行时间, 从而提高了定位系统的实时性.

关键词: 射频识别; 参考标签; 接收信号强度指示; 定位精度

中图分类号: TP311 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-024X(2013)04-0066-05

Improved RFID indoor localization algorithm

DUAN Ben-liang¹, LI Jian-xiong¹, CHEN Ming-sheng¹, MAO Lu-hong²

(1. School of Electronics and Information Engineering, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China; 2. School of Electronic Information Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: To solve the problem of the low location accuracy of tracking tags near the boundary of detection area in RSSI linear location algorithm of radio frequency identification location system, an improved algorithm is proposed. The algorithm operating principle is that place reference tags in the boundary of detection area and use the LANDMARC algorithm in this area, use RSSI Linear location algorithm in the other area. MATLAB software is used to simulate the algorithm. The simulation results show that the improved algorithm achieves a higher accuracy towards tracking tags near the boundary of detection area compared with the original algorithm, consequently improves location accuracy of the whole area; compared with the LANDMARC algorithm, the improved algorithm uses the less reference tags, so reduces the cost and the running time of the algorithm, improves the positioning system's real time.

Key words: radio frequency identification (RFID); reference tag; RSSI; location accuracy

近年来,随着移动通信技术、无线技术的飞速发展,更多的应用需要确定物体的位置信息,定位技术越来越受到人们的关注.根据环境的不同,定位可以分为室外定位和室内定位.目前最常用的室外定位误差主要有卫星定位和蜂窝网定位技术2种,其定位方法都在米数量级,在室外环境中可以较好地满足用户需求,然而建筑物的屏蔽作用令其室内定位精度大打折扣,而且高昂的成本使其直接应用于室内环境也存

在困难.为了更好的实现室内定位,必须采用新的方法与技术.目前较常用的室内定位技术主要有超声波、红外线、蓝牙、超宽带(UWB)和射频识别(RFID)^[1].红外线和超宽带定位技术造价昂贵、系统复杂;蓝牙定位技术定位精度较差;而RFID技术以其非接触、非视距、成本低且定位精度高等优点,逐渐成为了室内定位领域的优选技术,被业界公认为是本世纪最有价值的应用技术之一^[2-4].RFID定位系统一般由阅读器、

收稿日期: 2013-04-11

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61072010)

第一作者: 段本亮(1988—),男,硕士研究生

通信作者: 李建雄(1969—),男,副教授,硕士生导师.E-mail:lijianxiong@tjpu.edu.cn.

标签和应用软件系统3部分组成,通过检测到的标签反射回来的信号强度来表征阅读器与标签之间的几何距离,是一种基于接收信号强度指示(received signal strength indicator, RSSI)的定位技术^[6].本文首先介绍现有的2种基于RFID的室内定位算法即RSSI线性定位算法和LANDMARC算法,分析其优缺点,结合2种算法给出了改进的RFID室内定位算法,并进行了仿真分析和总结.

1 RSSI 线性定位算法

1.1 传播路径信号损耗模型

基于理论和测试的传播路径模型指出,经过多径信道接收到的信号强度一般服从对数正态分布.常用的对数距离路径损耗模型遵从公式^[6]:

$$P(d) = P(d_0) + 10n \lg\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma \quad (1)$$

式中: $P(d)$ 表示经过距离 d 后的路径损耗值; $P(d_0)$ 表示经过距离 d_0 后的路径损耗值, d_0 为参考距离,一般取值为1m; n 表示路径损耗指数,表示路径损耗随距离增长的速率,它主要受周围环境和建筑物的影响,取值范围一般为2~4; X_σ 是均值为0、标准差为 δ 的高斯分布随机数, δ 的范围一般为4~10.

路径损耗 $P(d)$ 与阅读器接收到的信号强度 $P_r(d)$ 及系统发射功率 P_t 之间存在以下关系:

$$P_r(d) = P_t - P(d) \quad (2)$$

为了得到阅读器接收到的信号强度与距离之间的关系,将式(1)代入式(2),整理可得对数距离路径损耗模型的另一表达式:

$$P_r(d) = P_r(d_0) - 10n \lg\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma \quad (3)$$

式中: $P_r(d)$ 表示阅读器在距离标签 d 时接收到的信号强度,即RSSI,单位为dBm; $P_r(d_0)$ 表示阅读器在参考点 d_0 时接收到的信号强度.本文采用式(3)对阅读器接收到的RSSI进行处理得到距离关系.

1.2 RSSI 线性定位算法

通过硬件设施完成信号的接收及信号强度的测量,根据上述建立的传播路径信号损耗模型计算出各个阅读器与待定位标签之间的距离,然后根据距离方程组使用最小二乘法便可计算出待定位标签的坐标.假设共有 n 个阅读器,坐标分别为 (x_i, y_i) , $(i = 1, 2, \dots, n)$,各个阅读器与待定位标签之间计算出的距离为 d_i ,待定位标签的坐标为 (x, y) ,所列出的距离方程组如下:

$$\begin{cases} (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = d_1^2 \\ (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 = d_2^2 \\ \vdots \\ (x - x_n)^2 + (y - y_n)^2 = d_n^2 \end{cases} \quad (4)$$

将方程组的前 $(n-1)$ 个方程分别减去第 n 个方程,从而达到把二次方程线性化的目的,得到下列方程组:

$$\begin{cases} 2(x_n - x_1)x + 2(y_n - y_1)y = \\ d_1^2 - d_n^2 - (x_1^2 + y_1^2) + (x_n^2 + y_n^2) \\ 2(x_n - x_2)x + 2(y_n - y_2)y = \\ d_2^2 - d_n^2 - (x_2^2 + y_2^2) + (x_n^2 + y_n^2) \\ \vdots \\ 2(x_n - x_{n-1})x + 2(y_n - y_{n-1})y = \\ d_{n-1}^2 - d_n^2 - (x_{n-1}^2 + y_{n-1}^2) + (x_n^2 + y_n^2) \end{cases} \quad (5)$$

定义:

$$\theta = [x \ y]^T \quad (6)$$

$$Q = \begin{bmatrix} 2(x_n - x_1) & 2(y_n - y_1) \\ 2(x_n - x_2) & 2(y_n - y_2) \\ \vdots & \vdots \\ 2(x_n - x_{n-1}) & 2(y_n - y_{n-1}) \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$b = \begin{bmatrix} d_1^2 - d_n^2 - (x_1^2 + y_1^2) + (x_n^2 + y_n^2) \\ d_2^2 - d_n^2 - (x_2^2 + y_2^2) + (x_n^2 + y_n^2) \\ \vdots \\ d_{n-1}^2 - d_n^2 - (x_{n-1}^2 + y_{n-1}^2) + (x_n^2 + y_n^2) \end{bmatrix} \quad (8)$$

则(5)式可写为:

$$Q\theta = b \quad (9)$$

用最小二乘法(LS)求解可得:

$$\theta = (Q^T Q)^{-1} Q^T b \quad (10)$$

向量 θ 里的元素即为计算出来的待定位标签的坐标值 (x, y) .

RSSI线性定位算法^[7]是目前最常用的室内定位算法之一,其原理简单,数据处理量小,系统实时性好.当然RSSI线性算法也存在着一些不足,最大的缺点就是定位精度不是很高,要想进一步提高定位精度,就需要增加阅读器的数目,从而导致成本的提高.根据文献[8]所述,阅读器与标签距离越远,测距误差就越大.由此可知,当定位边缘区域的标签距离个别阅读器较远时,测距误差较大,从而定位误差变大,甚至有时无法实现定位.所以非常有必要对此算法进行改进,解决边缘区域定位差的问题,从而使该算法更具有适用性.

2 LANDMARC 算法

LANDMARC (location identification based on dynamic active rfid calibration) 定位算法^[9]是一种经典的基于有源 RFID 系统的室内定位算法, 设计思想是采用固定参考标签辅助定位, 通过待定位标签的信号强度值与参考标签的信号强度值之间的比较, 采用“最近邻居”权重思想, 计算出定位标签的坐标. LANDMARC 算法具有较高的定位精度, 可扩展性好, 能处理比较复杂的环境, 是一种非常实用的定位算法.

假设有 n 个阅读器、 m 个参考标签和 u 个待定位标签. 待定位标签的坐标为 (x_i, y_i) , ($i = 1, 2, \dots, u$). 阅读器分别读出所有参考标签和待定位标签的场强值. 待定位标签坐标求解过程如下:

(1) 定义待定位标签的信号强度矩阵 S :

$$S = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ S_{u1} & S_{u2} & \cdots & S_{un} \end{bmatrix}$$

式中: S_{ij} ($i = 1, 2, \dots, u; j = 1, 2, \dots, n$) 表示第 j 个阅读器读取到第 i 个待定位标签的信号强度. 定义参考标签的信号强度矩阵 θ :

$$\theta = \begin{bmatrix} \theta_{11} & \theta_{12} & \cdots & \theta_{1n} \\ \theta_{21} & \theta_{22} & \cdots & \theta_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \theta_{m1} & \theta_{m2} & \cdots & \theta_{mn} \end{bmatrix}$$

式中: θ_{pj} ($p = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$) 表示第 j 个阅读器读取到第 p 个参考标签的信号强度.

定义待定位标签与参考标签的欧几里德距离矩阵 E :

$$E = \begin{bmatrix} E_{11} & E_{12} & \cdots & E_{1m} \\ E_{21} & E_{22} & \cdots & E_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ E_{u1} & E_{u2} & \cdots & E_{um} \end{bmatrix}$$

式中:

$$E_{ip} = \sqrt{\sum_{q=1}^n (E_{iq} - S_{pq})^2} \quad (i = 1, 2, \dots, u; p = 1, 2, \dots, m) \quad (11)$$

E_{ip} 越小说明它们之间的距离越近.

(2) 为了计算出待定位标签的坐标, 人为地选择 k 个参考标签, 其坐标记为 (x'_r, y'_r) ($r = 1, 2, \dots, k$), 这些参考标签与待定位标签 i 的欧几里德距离是 $(E_{i1}, E_{i2}, \dots, E_{im})$ 中最小的 k 个值, 记为 E'_{ir} ($r = 1, 2, \dots,$

k). 待定位标签 i 的坐标可以通过这 k 个参考标签的坐标及其权重得到

$$(x_i, y_i) = \sum_{r=1}^k \omega_r \cdot (x'_r, y'_r) \quad (12)$$

式中: ω_r 为待定位标签 i 的第 r 个邻居参考标签的权重 ($r = 1, 2, \dots, k$), 距离越近的标签所占的权重越大. ω_r 可根据经验公式得到:

$$\omega_r = \frac{1/E'^2_{ir}}{\sum_{i=1}^k (1/E'^2_{ir})} \quad (13)$$

(3) 定义估计误差: 通过比较待定位标签的估算坐标与实际坐标, 可以计算出他们之间的误差值:

$$e_i = \sqrt{(x_i - x_{i0})^2 + (y_i - y_{i0})^2} \quad (14)$$

式中: (x_i, y_i) 为估算的待定位标签坐标位置; (x_{i0}, y_{i0}) 为待定位标签的实际坐标位置.

LANDMARC 算法具有以下 3 个方面的优势:

(1) 采用多个廉价的参考标签代替了昂贵的阅读器, 降低了整个定位系统的成本;

(2) 待定位标签和参考标签处于同样的环境中, 环境因素的影响可以很大程度地抵消;

(3) 定位精度较高.

但是, 它也有一些不足之处:

(1) 定位精度与参考标签密度有关, 要想获得更高的定位精度, 必须布置更多的参考标签, 一方面增加了系统成本和标签布局难度, 另一方面太多的参考标签还会造成标签之间的信号干扰;

(2) 该算法在确定邻近参考标签时, 需要计算所有的参考标签与待定位标签之间的欧几里德距离, 从而会导致大量的不必要的计算而影响定位实时性.

3 定位算法的改进

3.1 改进方法

RSSI 线性定位算法的定位误差虽然比 LANDMARC 算法要大一些, 但其不需要布置大量的参考标签, 既可以节省一部分成本, 又避免了特殊空间难以布置参考标签的问题, 所以在精度要求不太高的场合仍有着较大的应用价值. 由前文分析可知 RSSI 线性定位算法边缘区域定位误差较大, 所以本文借鉴 LANDMARC 算法定位精度较高的优势, 在定位边缘区域布置少量参考标签, 并在布置参考标签的区域采用 LANDMARC 算法, 而其他区域仍采用 RSSI 线性定位算法. 这样不仅解决了 RSSI 线性定位算法边缘区域定位误差大的问题, 而且相比整个区域全部使用 LANDMARC 算法

降低了一些成本,减少了算法运行时间.该算法流程图如图 1 所示.

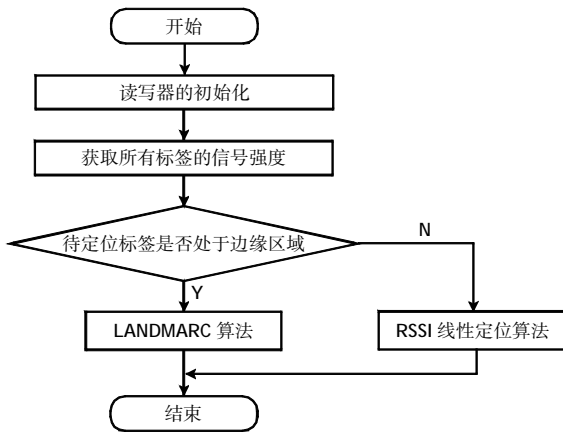


图 1 改进算法流程图

Fig.1 Improved algorithm flow chart

3.2 仿真与分析

在路径损耗指数 $n = 2.2$ 、标准差 $\delta = 5$ 的环境下,按照图 2(a)所示位置在 $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ 的空间边缘区域放置 68 个参考标签,参考标签间距为 2 m ,4 个阅读器位于空间边界的角上,并在定位区域设置 10 个待定位标签.图 2(b)除了没有放置参考标签以外,其它条件与图 2(a)相同.图 2(c)是在所有的区域都放置上参考标签,总数为 117 个,其它条件与图 2(a)和图 2(b)完全相同.

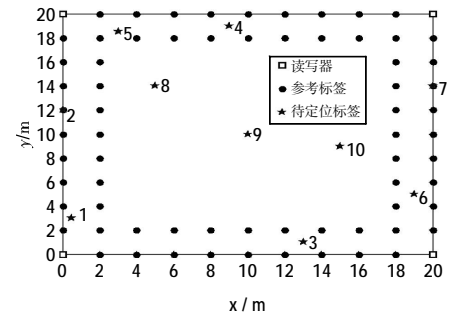
由图 2 可知,待定位标签 Tag1、Tag2、Tag3、Tag4、Tag5、Tag6、Tag7 位于边缘区域,待定位标签 Tag8、Tag9、Tag10 位于非边缘区域.

采用 MATLAB 数学软件分别对 RSSI 线性定位算法、LANDMARC 算法和本文改进算法仿真 50 次.

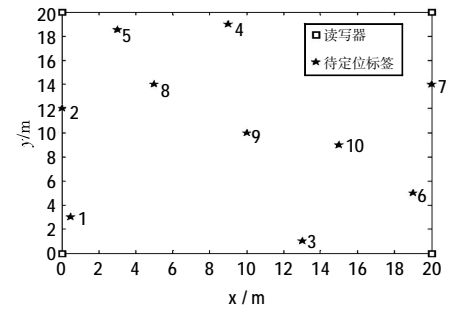
定义计算出来的待定位标签的坐标为 $(x_{t,c}, y_{t,c})$ ($t = 1, 2, \dots, 10; c = 1, 2, \dots, 50$),待定位标签的实际坐标为 (x_t, y_t) ($t = 1, 2, \dots, 10$),计算出来的坐标与实际坐标的欧式距离为 $e_{t,c} = \sqrt{(x_{t,c} - x_t)^2 + (y_{t,c} - y_t)^2}$ ($t = 1, 2, \dots, 10; c = 1, 2, \dots, 50$).利用每个待定位标签的平均误差 $\bar{e}_t = \frac{1}{50} \sum_{c=1}^{50} e_{t,c}$ ($t = 1, 2, \dots, 10$) 和

所有标签的平均误差 $\bar{e} = \frac{1}{10} \sum_{t=1}^{10} \bar{e}_t$ ($t = 1, 2, \dots, 10$) 评估本文提出的算法性能,结果如图 3 所示.

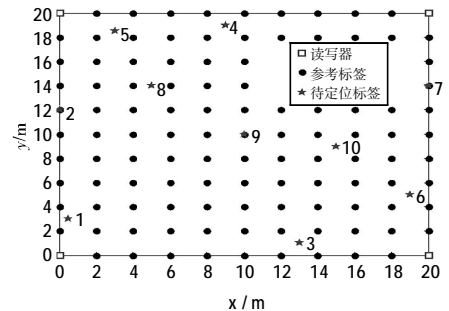
由图 3 可知,相对于 RSSI 线性定位算法,采用改进算法后,边界待定位标签 Tag1、Tag2、Tag3、Tag4、Tag5、Tag6、Tag7 的定位误差得到了显著下降,精确度得到有效提高.7 个边界待定位标签的估计误



(a) 采用改进算法



(b) 采用 RSSI 线性定位算法



(c) 采用 LANDMARC 算法

图 2 不同算法情况下的阅读器与标签布局图

Fig.2 Reader and Tag layout diagram on different algorithms

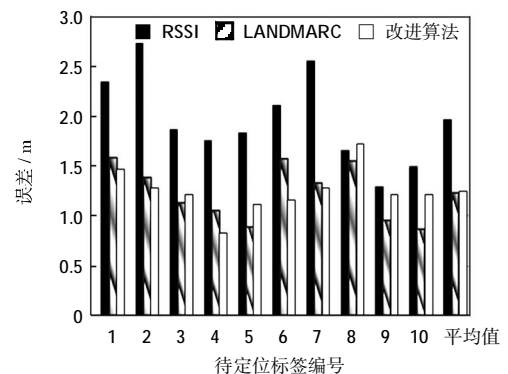


图 3 标签定位误差对比图

Fig.3 Tag positioning error comparison diagram

差与 RSSI 线性算法相比降低了 35.8%~60.4%.使用 RSSI 线性定位算法、LANDMARC 算法和本文改进算法时的所有标签平均定位误差分别为 1.97、1.23、1.25,由此可见本文改进算法与 LANDMARC 算法的

定位精度非常接近. 3 种算法相比较, RSSI 线性定位算法用时 0.004 398 s, LANDMAR 算法用时 0.040 603 s, 改进算法用时 0.029 161 s. RSSI 线性定位算法定位误差最大, 但用时最少, LANDMARC 算法比改进算法的定位精度稍高, 但算法执行时间更长, 并且需要更多的参考标签, 所以改进的算法相比 LANDMARC 算法而言实时性更好, 成本更低一些.

4 结束语

本文提出的改进算法在没有增加太多成本的基础上解决了 RSSI 线性定位算法在边缘区域定位精度差的问题, 提高了整体系统的定位精度, 扩大了该算法的适用范围. 由于该算法只是在边缘区域布置参考标签, 所以与 LANDMARC 算法相比, 减少了参考标签的使用数目进而降低了系统成本和减小了系统布局的难度. 由于该算法只是在边缘区域才使用 LANDMARC 算法, 所以算法计算量比单纯使用 LANDMARC 算法减少了许多, 从而提高了系统的实时性. 在定位精度要求不太严格的场合, 该改进算法有很大的使用价值.

参考文献:

[1] 张文锦, 李建雄, 毛陆虹. 基于多波束切换的便携式

RFID 阅读器设计 [J]. 天津工业大学学报, 2013, 31 (1): 52-56.

- [2] SHIRAIISHI T, KOMURO N, UEDA H. Indoor location estimation technique using UHF band RFID [C]//Information Networking, 2008 International Conference. Busan : [s.n], 2008: 1-5.
- [3] SHIH S, HSIEH K, CHEN P. An improvement approach of indoor location sensing using active RFID [C]//Innovative Computing, Information and Control, 2006 First International Conference. Beijing: [s.n], 2006: 453-456.
- [4] DAI H, SU D. Indoor location system using RFID and ultrasonic sensors [C]//Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2006 IEEE 17th International Symposium. Kunming: [s.n], 2006: 1179-1181.
- [5] 陈永光. 基于信号强度的室内定位技术 [J]. 电子学报, 2004, 32(9): 1456-1458.
- [6] 杨大成. 移动传播环境理论基础、分析方法和建模技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [7] 顾宗海. 基于 RSSI 测距的室内定位算法研究 [D]. 郑州: 郑州大学, 2011.
- [8] 黄涛. 物联网短距离定位算法研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2011.
- [9] NI L, LIU Y, LAU Y, et al. LANDMARC: Indoor location sensing using active RFID [C]// Proceedings of the First IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (Per-Com2003). Dallas: [s.n], 2003: 407-415.

(上接第 59 页)

- [3] MOGHAVVEMI Oghavvemi M, MEHRKANOON S. Detection of the onset of epileptic seizure signal from scalp EEG using blind signal separation [J]. Biomedical Engineering, 2009, 21 (4): 287-290.
- [4] 邹凌, 王新光, 马正华. 基于独立分量分析提取仿真脑电诱发电位信号 [J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2009, 13(17): 3265-3267.
- [5] 罗志增, 曹铭. 基于最大信噪比盲源分离的脑电信号伪迹滤波算法 [J]. 电子学报, 2011, 32 (12): 2926-2931.
- [6] LEWICKI M S, SEJINOWSKI T J. Learning overcomplete representations [J]. Neural Computation, 2000, 12(2): 337-365.
- [7] THEIS F J, LANG E W, WESTENHUBER T, et al. Overcomplete ICA with a geometric algorithm [J]. Artificial Neural Networks, 2002, 2415: 1049-1054.
- [8] LI Y, CICHOCKI A, AMARI S. Sparse component analysis for blind source separation with less sensors than source [C]//Proceeding of ICA. Nara: [s.n.], 2003: 89-94.
- [9] 李志农, 吕亚平, 范涛, 等. 基于经验模态分解的机械故障

欠定盲源分离方法 [J]. 航空动力学报, 2009, 24(8): 1886-1892.

- [10] 刘佳, 杨士莪, 朴胜春. 基于 EEMD 的地声信号单通道盲源分离算法 [J]. 哈尔滨工程大学学报, 2011, 32(2): 194-199.
- [11] ZHANG Wei-tao, LIU Ning, LOU Shun-tian. Joint approximate diagonalization using bilateral rank-reducing household transform with application in blind source separation [J]. Chinese Journal of Electronics, 2009, 18(3): 471-476.
- [12] 陈晓军, 成昊, 唐斌. 基于 ICA 的雷达信号欠定盲分离算法 [J]. 电子与信息学报, 2010, 32(4): 919-924.
- [13] 刘霖雯, 刘超, 江成顺. EMD 新算法及其应用 [J]. 系统仿真学报, 2007, 19(2): 446-447, 464.
- [14] QIU Wei, CHANG Chun qi, LIU Wen Qing. Real-time data-reusing adaptive learning of a radial basis function network for tracking evoked potentials [J]. IEEE Trans Biomed Eng, 2006, 53(2): 226-237.
- [15] 姚志湘, 刘焕彬, 粟晖. 盲信号分离输出与源信号的一致性判断 [J]. 华南理工大学学报, 2007, 35(5): 50-53.