

文章编号: 2095-4980(2021)05-0946-05

基于差分进化算法的 RFID 定位

唐阳坤, 崔英花

(北京信息科技大学, 信息与通信工程学院, 北京 100101)

摘要: 针对传统射频识别(RFID)定位过程繁琐, 系统定位精确度低以及计算较为复杂的问题, 提出一种利用差分进化(DE)算法优化 RFID 定位精确度的方法。该方法首先随机初始参考标签的位置坐标, 通过接收信号强度(RSS)值计算出阅读器与标签之间的测量距离, 再通过优化阅读器与参考标签和待测标签之间的距离误差, 估计出离待测标签最近的位置坐标, 最后与经典 LANDMARC 定位系统做比较。仿真结果表明, 经典 LANDMARC 定位系统的平均定位误差为 1.115 8 m, 而利用差分进化算法优化后的系统平均定位误差为 0.001 2 m, 从而证明利用差分进化算法优化 RFID 定位的方法是有效的。

关键词: RFID 定位; 差分进化算法; 信号强度值; 参考标签; LANDMARC 定位系统

中图分类号: TN925

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA2020296

RFID localization based on differential evolution algorithm

TANG Yangkun, CUI Yinghua

(School of Information and Communication Engineering, Beijing Information Science & Technology University, Beijing 100101, China)

Abstract: Aiming at the problems of conventional Radio Frequency Identification(RFID) positioning process, Differential Evolution(DE) algorithm is proposed to optimize the positioning accuracy of RFID. This method first randomly initializes reference tag location coordinates, calculates the distance between reader and tag by using Received Signal Strength(RSS) value. Then it estimates the location coordinates of the nearest label under test by optimizing the reader and the distance error between the reference labels and tags under test. Finally, it is compared with classical LANDMARC positioning systems. The simulation results show that the average positioning error of the classical LANDMARC positioning system is 1.115 8 m, and that of the system optimized by DE algorithm is 0.001 2 m, which proves that the method of RFID positioning optimized by DE algorithm is effective.

Keywords: RFID positioning; Differential Evolution algorithm; signal strength value; reference label; LANDMARC positioning system

物联网技术的快速发展使人们对定位的需求逐渐增加。射频识别(RFID)定位技术作为室内定位技术的代表, 通常由电子标签、阅读器以及计算机数据库组成^[1]。它具有硬件成本较低, 标签体积小、质量轻, 易于进行各项操作的优点, 且 RFID 技术较成熟, 应用领域广, 是室内无线定位的首选技术^[2]。目前室内定位方法有很多种, 其中常用的基于接收信号强度的测距方法已被证明与传播距离的平方线性负相关, 该方法可以通过计算信号强度的变化得到测量距离^[3]。然而在实际环境中, RSSI 测距方法受到信号反射、散射、绕射等多路径衰减和遮挡影响严重, 测量结果存在较大误差, 因此本文采用差分进化算法对标签定位进一步优化。

差分进化(DE)算法是 1995 年由 Storn 和 Price 提出的, 该算法是一种全局优化能力较强的, 求解非线性、高维和复杂优化问题的随机种群搜索算法^[4]。差分进化算法以种群为根基, 主要包括变异、交叉、选择 3 个操作步骤。其优点是原理简单, 核心步骤较少, 受参数的控制较少, 且变异方式较多, 对于不同的目标函数适应性较强, 实用性好^[5]。将差分进化算法应用于优化 RFID 定位技术, 通过不断降低待测标签与参考标签的位置误

收稿日期: 2020-06-23; 修回日期: 2020-08-22,

基金项目: 北京市自然科学基金面上项目资助(4202024); 国家自然科学基金资助项目(61340005); 促进内涵发展科研水平提高项目重点研究培育项目资助(2020KYNH213)

差，达到提高定位精确度的效果。

1 RFID 定位模型

RFID 定位模型由 4 个阅读器和一组待测标签组成，阅读器中的天线采用全向天线，且本文不考虑天线方向性对定位效率的影响^[6]。待测区域是一个 8×8 的正方形区域，该区域的 4 个顶点处放置阅读器，坐标分别表示为(0,0),(0,8),(8,0),(8,8)，区域内有 20 个待测标签，其坐标随机生成，分别用数字 1~20 表示。

阅读器和待测标签之间的距离，通过基于接收信号强度的测距方法测量得到^[7]。由于信号传播的不确定性，在真实环境下通常假设接收信号强度满足对数正态分布：

$$P_r(d) = P_0(d_0) - \eta 10 \lg \left(\frac{d}{d_0} \right) + X_\sigma \quad (1)$$

式中： $P_0(d_0)$ 表示接收器在距离信号源为 d_0 处接收到的信号强度； η 表示路径损耗因子； X 是服从对数正态分布中的随机变量^[8]。因此，当路径损耗参数确定时，接收器与信号源距离的最大似然估计可以表示为：

$$\hat{d} = d_0 \left(\frac{P_r}{P_0(d_0)} \right)^{-1/\eta} \quad (2)$$

设通过接收信号强度得到阅读器与电子标签的测量距离为 $d_i (i=1,2,3,4)$ ，该测量距离作为估算待测标签位置的参考距离。设待测标签的坐标为 (x_0, y_0) ，阅读器的坐标为 $(x_i, y_i) (i=1,2,3,4)$ ，由此得到第 i 个阅读器与待测标签和该阅读器与参考标签的距离误差，表示成函数如下：

$$f_i = \left| \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2} - d_i \right| \quad (3)$$

因此，对于每个待测标签，都可以依据上式列出一个距离误差函数，再分别进行差分进化算法的变异、交叉和选择操作，多次迭代进化，最终取其距离误差最小值，并将该值作为待测标签的估计位置坐标^[9]。

2 差分进化算法优化 RFID 定位

2.1 差分进化算法

差分进化算法的详细步骤及主要公式如下所述：

步骤 1：种群初始化

差分进化算法采用随机方式生成初始种群，由式(4)产生：

$$X_{i,j} = X_{i_min} + (X_{i_max} - X_{i_min}) \times rand \quad (4)$$

式中： $i=1,2,\dots,N_p$ ， N_p 表示种群个数； $j=1,2,\dots,D$ ， D 表示种群个体的维数； X_{i_max} ， X_{i_min} 分别表示个体维数分量的上、下界； $rand$ 表示[0,1]内均匀分布的随机数^[10]。

步骤 2：变异操作

将生成的初始种群向量，通过变异操作产生对应的变异向量 v_i^k ，由式(5)产生：

$$v_i^k = x_{i3}^k + F \times (x_{i1}^k - x_{i2}^k) \quad (5)$$

式中： F 是变异因子； x_{i1}^k ， x_{i2}^k ， x_{i3}^k 是随机选择的 3 个互不相同的个体。

步骤 3：交叉操作

由第 k 代 $v_{i,j}^k$ ， $x_{i,j}^k$ 之间执行一种离散交叉操作，产生新的测试个体 $u_{i,j}^k$ ，计算公式如下：

$$u_{i,j}^k = \begin{cases} v_{i,j}^k, rand < CR \text{ or } j=r_{1-D} \\ x_{i,j}^k, otherwise \end{cases} \quad (6)$$

式中： j 表示交叉因子，其取值区间为[0,1]； r 是在区间[1, D]中的一个随机整数。

步骤 4：选择操作

差分进化算法采用贪心选择算法^[11]，获取后代优秀的个体，并由式(7)产生新的向量：

$$x_i^{k+1} = \begin{cases} u_i^k, f(u_i^k) < f(x_i^k) \\ x_i^k, otherwise \end{cases} \quad (7)$$

当 $f(u_i^k)$ 小于(或者更优于) $f(x_i^k)$ 时, 把由步骤 3 交叉产生的新向量 u_i^k 赋值给 x_i^{k+1} ; 否则把 x_i^k 赋值给 x_i^{k+1} 。其中 f 表示待优化的目标函数。重复以上操作, 直到达到判断终止条件时停止算法。

2.2 定位基本方案

利用差分进化算法优化 RFID 定位的具体流程如下所示:

1) 设置算法参数: 设置种群规模为 $N_p=16$, 即参考标签的数量为 16 个; 待测标签数量为 20 个; 个体维数为 $D=2$, 表示二维定位区域; 设置变异率为 $F=0.7$; 交叉率为 $C_R=0.8$; 最大迭代次数为 G_m , 实验中分别取 $G_m=5, G_m=15$ 和 $G_m=30$ 观察最终的优化效果。

2) 搭建 RFID 定位模型: 设置定位范围是边长为 8 m 的正方形区域, 正方形的 4 个顶点处分别放置阅读器, 在其中均匀放置 16 个参考标签。

3) 生成目标函数: 首先随机生成 20 个待测标签的坐标, 利用接收信号强度计算阅读器与参考标签之间的参考距离; 再将已知的 16 个参考标签位置作为优化初始坐标, 依据函数距离误差最小来不断优化待测标签的位置坐标, 使得误差逐渐逼近于零。

4) 差分进化算法优化: 将 16 个参考标签坐标作为差分进化算法的输入, 接着采用 DE/rand/1/bin 的变异策略进行变异操作, 再采用二进制方式进行交叉操作, 最后根据距离误差函数最小得到最终的估计坐标。

5) 判断终止条件: 使用两种判断算法终止的条件: 若算法达到最大迭代次数 G_m , 则将此时输出的坐标作为最佳估计坐标; 若算法达到给定距离误差值时, 则输出此时的估计坐标, 并记录算法的迭代次数。

3 仿真结果与分析

所有实验都在 Matlab R2016a 软件上进行仿真。为了验证差分进化算法在 RFID 定位优化方面能得到更好的定位效果, 此处将该算法与 LANDMARC 系统定位方法做比较。图 1 为 LANDMARC 系统定位图, 正方形 4 个顶点放置阅读器, 图内圆点表示待测标签位置, 星点表示估计坐标。由该图计算可得, LANDMARC 系统平均定位误差为 1.115 8 m。当判断终止条件为最大迭代次数时, 结果对应图 2~4。计算可得当 $G_m=5$ 时, 定位误差为 0.335 4 m; $G_m=15$ 时, 定位误差为 0.046 3 m; $G_m=30$ 时, 定位误差为 0.001 2 m。分析得知, 基于差分进化算法优化的 RFID 定位要比经典 LANDMARC 定位系统具有更高的定位精确度。

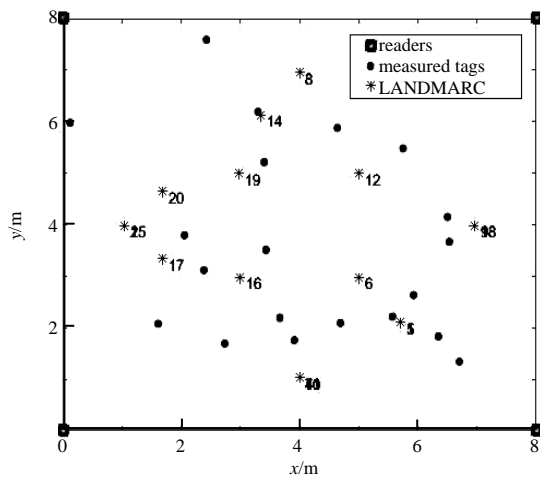


Fig.1 Location result of LANDMARC system
图 1 LANDMARC 系统定位结果图

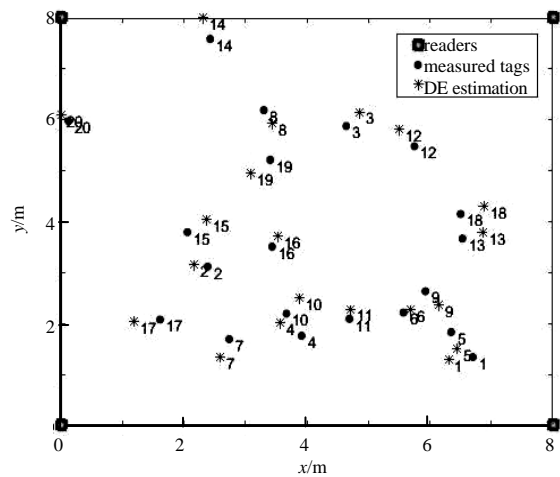


Fig.2 Location result based on DE algorithm($G_m=5$)
图 2 基于 DE 算法定位结果图($G_m=5$)

LANDMARC 定位系统和基于 DE 算法优化的定位误差折线对比图如图 5 所示, 图 5 上方的星型折线表示 LANDMARC 系统定位误差, 下方的 3 条折线分别表示 DE 算法定位误差, 从上到下依次为 $G_m=5, G_m=15, G_m=30$; 由此图分析得, 差分进化算法只经过 5 次迭代优化, 其定位误差就已优于 LANDMARC 定位系统, 而该算法经过 30 次迭代优化以后, 定位误差可精确到 0.001 m。

当判断终止条件为距离误差函数最小值 0.000 1 m 时, 基于差分进化算法的 RFID 定位系统平均需要迭代 48 次。虽然算法迭代的次数增加了, 但是其 MATLAB 软件仿真的运行时间要比 LANDMARC 定位系统的运行时间短, 定位效率有所提高。

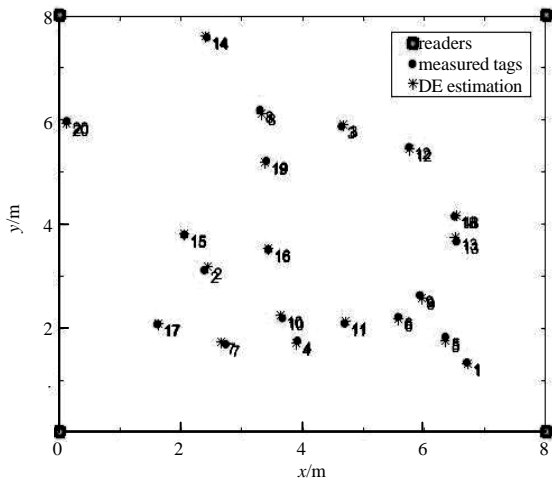


Fig.3 Location result based on DE algorithm($G_m=15$)
图 3 基于 DE 算法定位结果图($G_m=15$)

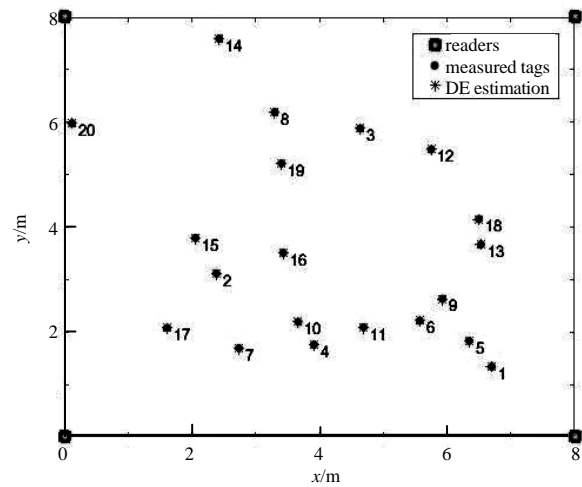


Fig.4 Location result based on DE algorithm($G_m=30$)
图 4 基于 DE 算法定位结果图($G_m=30$)

为了更加全面地分析、比较两种定位方法的定位效果，此处使用均方根误差(RMSE)、平均相对误差(MRE)和平均绝对误差(MAE)这 3 项指标进行评判。这些统计指标对应的公式分别如下：

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sqrt{(y_i - y_0)^2 + (x_i - x_0)^2} \quad (8)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - y_0)^2 + (x_i - x_0)^2} \quad (9)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\left| \frac{(y_0 - y_i)}{y_i} \right| + \left| \frac{(x_0 - x_i)}{x_i} \right| \right) \quad (10)$$

由以上公式得到两种方法的统计指标见表 1：

表 1 两种定位方法统计指标

Table1 Statistical indicators for two positioning methods			
location methods	MSE	RMSE	MAE
LANDMARC system	1.115 8	1.197 1	3.446 4
DE algorithm($G_m=5$)	0.335 4	0.348 0	2.725 2
DE algorithm($G_m=15$)	0.046 3	0.050 6	2.626 5
DE algorithm($G_m=30$)	0.001 2	0.001 5	2.621 7

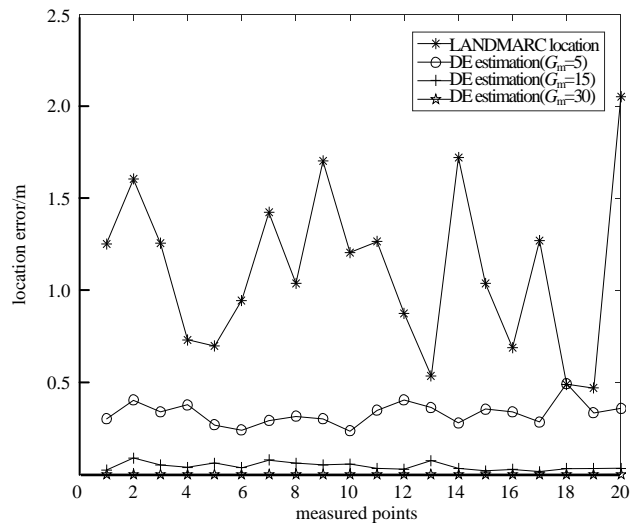


Fig.5 Location error comparison diagram
图 5 定位误差折线对比图

这些统计指标的数值越小，表示定位误差越小，且算法的稳定性越好。由表 1 分析可得，通过差分进化算法优化定位误差，其定位精确度明显提高。

4 结论

本文提出利用差分进化算法优化 RFID 定位系统，输入初始的参考标签位置坐标，经过变异、交叉、选择操作不断优化距离误差，从而提高 RFID 的定位精确度。仿真结果表明，经典 LANDMARC 定位系统所得定位误差为 1.115 8 m，而经过 30 次差分进化算法迭代优化所得定位误差为 0.001 2 m，定位精确度明显提高；且平均经过 48 次迭代优化后定位精确度能达到 0.000 1 m。LANDMARC 定位系统在实际操作中需要额外设置参考标签，而使用差分进化算法不仅减少了实验成本，还降低了实验的复杂性。差分进化算法虽然全局搜索能力较强，但优化 RFID 定位系统最多能支持的待测标签数量，以及该数量对定位效率的影响并不清楚，接下来将着重研究这方面内容，以进一步提高 RFID 的定位效率和精确度。

参考文献:

- [1] BILODEAU J S,BOUZOUANE A,BOUCHARD B,et al. An experimental comparative study of RSSI-based positioning algorithms for passive RFID localization in smart environments[J]. Journal of Ambient Intelligence & Humanized Computing, 2017,9(5):1327-1343.
- [2] WANG Zimin,HE Baiqing. RFID location algorithm[J]. MATEC Web of Conferences, 2016(63):1-5.
- [3] NI L M,LIU Y H. LANDMARC:indoor location sensing using active RFID[J]. Wireless Networks, 2004,10(6):701-710.
- [4] HAN K,CHO S H. Advanced LANDMARC with adaptive k-nearest algorithm for RFID location system[C]// IEEE International Conference on Network Infrastructure & Digital Content. Beijing,China:IEEE, 2010:595-598.
- [5] 肖鹏,邹德旋,张强. 一种高效动态自适应差分进化算法[J]. 计算机科学, 2019,46(S1):124-132. (XIAO Peng,ZOU Dexuan,ZHANG Qiang. Efficient dynamic self-adaptive differential evolution algorithm[J]. Computer Science, 2019,46(S1): 124-132.)
- [6] 杨俊. 差分进化算法的改进及在无线传感器网络定位问题中的应用[D]. 西安:西安电子科技大学, 2016. (YANG Jun. An improved differential evolutionary algorithm and its application in wireless sensor network localization problem[D]. Xi'an,China:Xidian University, 2016.)
- [7] ANNEPU V,RAJESH A. Implementation of self-adaptive mutation factor and cross-over probability based differential evolution algorithm for node localization in wireless sensor networks(Article)[J]. Evolutionary Intelligence, 2019,12(3): 469-478.
- [8] 郑建国,张学煜. 混合粒子群和差分进化的定位算法[J]. 计算机测量与控制, 2019,27(10):192-195. (ZHENG Jianguo, ZHANG Xueyu. Hybrid particle swarm optimization and differential evolution based localization algorithm[J]. Computer Measurement and Control, 2019,27(10):192-195.)
- [9] LIN Meijin,WANG Zhenyu,WANG Fei. Hybrid differential evolution and particle swarm optimization algorithm based on random inertia weight[C]// 2019 34th Youth Academic Annual Conference of Chinese Association of Automation(YAC). Jinzhou,China:[s.n.], 2019:411-414.
- [10] WANG Shihao,LI Yuzhen,YANG Hongyu. Self-adaptive mutation differential evolution algorithm based on particle swarm optimization[J]. Applied Soft Computing Journal, 2019(81):1-22.
- [11] 邓婷. RFID/GPS/BDS技术在危险品运输监控中的应用[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2014,12(5):716-720. (DENG Ting. Dangerous goods transportation monitoring system based on RFID/GPS/BDS[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2014,12(5):716-720.)

作者简介:

唐阳坤(1995-),女,在读硕士研究生,主要研究方向为射频识别定位技术.email:1733231654@qq.com.

崔英花(1973-),女,教授,硕士生导师,主要研究方向为无线射频识别技术.