

信标漂移场景下基于加权 DS 证据理论的目标定位

胡青松, 程 勇

(中国矿业大学 信息与控制工程学院, 江苏 徐州 221116)

摘要: 移动目标定位一般利用位置已知的信标节点确定目标位置. 然而, 部分信标节点可能受到外部因素的影响而偏离原来位置, 即信标漂移, 它使得定位结果误差增大甚至定位失败. 为此, 本文提出一种基于加权 DS(Dempster-Shafer) 证据理论的漂移节点重定位算法, 它通过确定节点是否发生漂移并判断其可信度, 进而选取未发生漂移或漂移小的节点作为重定位的信标节点, 利用这些新信标节点即可实现移动目标的定位. 此外, 为了使得定位结果更加精确, 算法还计算了外部因素对节点漂移的影响, 将其作为权值对定位结果进行加权优化. 仿真结果表明, 本文算法在漂移距离总和、定位精度和可定位节点比例等方面具有明显优势: 在 $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ 区域内, 多数情况下重定位信标漂移距离总和在 $0 \sim 2\text{ m}$ 范围内, 重定位误差在 $0 \sim 3\text{ m}$ 范围内, 可定位节点比例超过 80% .

关键词: 节点漂移; DS 证据理论; 可信度; 目标定位

中图分类号: TP 393 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1964(2019)05-1162-07

Target localization based on weighted DS evidence theory under beacon drifting scenarios

HU Qingsong, CHENG Yong

(School of Information and Control Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou, Jiangsu 221116, China)

Abstract: A positioning system generally uses beacon nodes whose coordinates are known to determine the locations of moving targets. However, some beacon nodes may deviate from the original positions, which is called beacon drifting and may cause large localization errors or even failure. To resolve this problem, a localization algorithm based on weighted DS (Dempster-Shafer) evidence theory under beacon drifting scenarios is proposed. In this proposed algorithm, the confidence levels are calculated after we determine whether the drifting occurs or not. Then the nodes that do not drift or drift a little can be selected as the new beacons. With these new beacons, the localization of moving targets can be implemented again. Moreover, the influence of external factors on the node drifting is also calculated as a weighted value in order to make the positioning results more accurate. The simulation results show that the proposed algorithm outperforms other methods in terms of the sum of drifting distances, positioning errors and the ratio of localizable nodes which belong to $0 \sim 2\text{ m}$, $0 \sim 3\text{ m}$ and 80% plus respectively in most cases of a $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ observation area.

收稿日期: 2019-05-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(51874299); 江苏省科技成果转化专项资金(BA2016016)

通信作者: 胡青松(1978—), 男, 四川省岳池县人, 副教授, 博士, 从事目标定位、矿山物联网和救灾通信方面的研究.

E-mail: hqsong722@163.com Tel: 0516-83590815

引用格式: 胡青松, 程 勇. 信标漂移场景下基于加权 DS 证据理论的目标定位[J]. 中国矿业大学学报, 2019, 48(5): 1162-1168.

HU Qingsong, CHENG Yong. Target localization based on weighted DS evidence theory under beacon drifting scenarios[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2019, 48(5): 1162-1168.

Key words: node drifting; DS evidence theory; confidence level; target localization

基于测距的定位方法由于精度更高、稳定性更强,因此比非测距定位应用范围广泛得多。基于测距的定位的核心是利用位置已知的节点作为信标节点接收移动目标(也称为未知节点或待定位节点)的信号,测量该信号的信号强度(receives signal strength indication, RSSI)^[1]、到达时间(time of arrival, TOA)^[2]、到达角度(angle of arrival, AOA)^[3]或到达时间差(time difference of Arrival, TDOA)^[4],进而计算出与移动目标之间的距离。例如,文献[5]提出了一种基于超宽带(ultra wideband, UWB)联合估计的无线传感器网络(wireless sensor networks, WSNs)定位方案;文献[6]采用了基于 RBF(radial basis function)神经网络的 TDOA/AOA 算法,利用 RBF 神经网络对 NLOS 传播的误差进行修正,再使用 TDOA/AOA 算法进行定位;文献[7]提出了基于 AOA/TDOA 和 UWB 传输技术的 WSN 节点三维定位算法。

1 信标节点漂移研究概况

信标节点会受到自然因素(如风吹、振动等)、人为触碰或意外事故而发生漂移。以煤矿巷道场景为例,节点可能随着事故而偏离原位置,安装在振动设备上的节点可能由于长时间振动而掉落,温度或压力的骤然变化而导致节点安装位置的岩石破裂也可能使得节点漂移。一旦发生漂移,信标节点将偏离原来位置(见图1),再利用其初始安装位置进行定位会出现较大误差,甚至完全错误。因此,在信标节点漂移场景下,选择那些没有发生漂移或漂移量较小的节点作为新的信标节点,并确定这些选择出的信标节点的可信度,是重新进行目标定位(简称重定位)的关键。

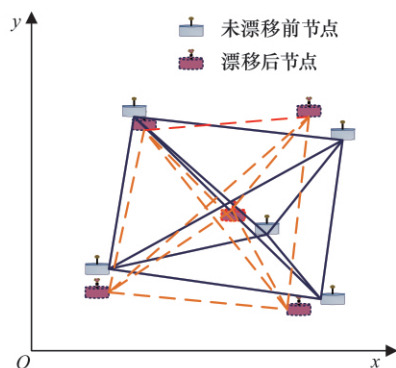


图1 节点漂移示意

Fig.1 Schematic diagram of node drifting

当前,针对信标漂移场景的重定位研究已经取

得初步成果。KUO 等人重点研究了信标节点移动检测问题^[8],通过节点间的 RSSI 变化检测哪些节点的位置发生了变化,文献[9]则对信标节点进行区域划分并在此基础上判定节点是否发生漂移并设置可信度值。节点可信度有多种描述方法^[10],文献[11-12]通过稳定四边形构建定位可信度模型,用以反应节点间的几何分布情况。也有文献将定位点为中心的圆内概率作为定位可信度^[13],据此进行漂移监测,比如采用节点自评分和协商机制^[14]或灰色关联分析法判断节点是否发生漂移^[15-16]。判断出移动性后,可以丢弃被判定为移动的信标节点^[17],但是会减少信标节点的数量,从而影响未知节点的精确定位,因此比较合理的方式是从中选择可信度高的节点作为重定位信标节点。

本文提出基于加权 DS 证据理论的漂移节点重定位算法,根据加权 DS 证据理论计算节点是否发生漂移以及漂移的可信度,选取未发生漂移或漂移小的节点作为重定位的信标节点,对网络中节点进行重定位,减小重定位误差。

2 基于加权 DS 证据理论的漂移节点重定位

2.1 DS 证据理论

DS 证据理论是一套基于“证据”和“组合”来处理不确定性推理问题的数学方法^[18]。令 U 表示证据理论的样本空间,则函数 $m:2^U \rightarrow [0,1]$ 满足下列条件:(1) $m(\varphi) = 0$, (2) $\sum_{A \subseteq U} m(A) = 1$, $m(A)$ 称为 mass 函数。那么对于 $\forall A \subseteq U$, U 上的 n 个 mass 函数 m_1, m_2, \dots, m_n 的 Dempster 组合规则为:

$$(m_1 \oplus m_2 \oplus \dots \oplus m_n)(A) = \frac{1}{K} \sum_{A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_n = A} m_1(A_1) \cdot m_2(A_2) \cdot \dots \cdot m_n(A_n), \quad (1)$$

其中 K 为归一化常数

$$K = \sum_{A_1 \cap \dots \cap A_n \neq \varphi} m_1(A_1) \cdot m_2(A_2) \cdot \dots \cdot m_n(A_n) = 1 - \sum_{A_1 \cap \dots \cap A_n = \varphi} m_1(A_1) \cdot m_2(A_2) \cdot \dots \cdot m_n(A_n). \quad (2)$$

2.2 重定位信标节点选择策略

如何选取重定位信标节点是重定位问题的关键。只有合适选取重定位信标节点,才能准确确定待定位节点的坐标位置,其难点是无法预先知晓哪

些节点发生了漂移以及漂移的程度.为此,需要对区域内节点进行漂移检测,选取未发生漂移或漂移程度小的节点作为重定位信标节点,进而确定区域内其它待定位节点坐标位置.

漂移检测可通过如下步骤完成:

1) 通过信息交互采集各个节点之间的 RSSI 值,根据无线信号传输损耗模型求得节点 i 和点 j 之间的距离 d_{ij} ;

2) 将 d_{ij} 与未漂移前的节点间距离 d'_{ij} 进行对比,得到各个节点的距离变化 $\Delta d_{ij} = |d_{ij} - d'_{ij}|$;

3) 利用式(3)求解节点 i 的漂移度.

$$I_{\text{drift}_i} = \frac{\sum_{j=1}^{n-1} \Delta d_{ij}}{n-1}, \quad (3)$$

式中 n 为定位区域中节点的节点总数.

在式(3)的基础上,根据漂移度构造参考数列,它是一个距离变化矩阵

$$x_0 = [I_{\text{drift}_1} \quad I_{\text{drift}_2} \quad \cdots \quad I_{\text{drift}_n}]. \quad (4)$$

接下来考虑环境因素的影响.假定共有 m 个环境因素可能导致节点漂移,对每一个影响因素都构造一个单因素影响度矩阵 $I_i = [a_{i1} \quad a_{i2} \quad \cdots \quad a_{in}]$, $i = 1, 2, \dots, m$,进而利用 m 个单因素影响度矩阵构造综合影响度矩阵:

$$I = [I'_1, \quad I'_2, \quad \cdots, \quad I'_m] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{21} & \cdots & a_{m1} \\ a_{12} & a_{22} & \cdots & a_{m2} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{1n} & a_{2n} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix}, \quad (5)$$

式中 I'_i 为 I_i 的转置.

为了研究各节点在不同环境下的漂移情况,这里引入离线漂移率的概念,记为 dp_i , $i = 1, 2, \dots, n$,其获得方法是离线阶段通过给测试节点施加各种环境因素影响,统计节点发生漂移的概率.

在实际工作中(即在线阶段),根据(6)式求得环境因素对各个节点产生漂移的影响权值 w_i , $i = 1, 2, \dots, n$,进而得到权值矩阵 $w = [w_1 \quad w_2 \quad \cdots \quad w_n]$.将 w 这些权值分别与综合影响度矩阵 I 的每一列相乘,得到加权综合影响度矩阵 II ,进而得到各影响因素情况下各节点的漂移概率,见表 1.该漂移概率又称为在线漂移率,简称漂移率.

$$w_i = \frac{(1 - dp_i) \sum_{j=1}^n \left(\frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^m a_{ji}} \right)}{n}, \quad (6)$$

$$II = \begin{bmatrix} w_1 \cdot a_{11} & w_1 \cdot a_{21} & \cdots & w_1 \cdot a_{m1} \\ w_2 \cdot a_{12} & w_2 \cdot a_{22} & \cdots & w_2 \cdot a_{m2} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ w_n \cdot a_{1n} & w_n \cdot a_{2n} & \cdots & w_n \cdot a_{mn} \end{bmatrix}.$$

表 1 节点在不同影响因素发生漂移的概率

Table 1 Probability of nodes drifting in different influencing factors

节点编号	mass 函数				
	$m_1(\cdot)$	$m_2(\cdot)$	$m_3(\cdot)$	\cdots	$m_t(\cdot)$
Node ₁	I_{drift_1}	$w_1 \cdot a_{11}$	$w_1 \cdot a_{21}$	\cdots	$w_1 \cdot a_{m1}$
Node ₂	I_{drift_2}	$w_2 \cdot a_{12}$	$w_2 \cdot a_{22}$	\cdots	$w_2 \cdot a_{m2}$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
Node _n	I_{drift_n}	$w_n \cdot a_{1n}$	$w_n \cdot a_{2n}$	\cdots	$w_n \cdot a_{mn}$

随后,对表 1 利用加权 DS 证据理论计算各个节点的可信度 r_i , $i = 1, 2, \dots, n$,见式(7)和式(8).

$$r_i = (m_1 \oplus m_2 \oplus \cdots \oplus m_n)(Node_i) = \frac{1}{K} \cdot m_1(Node_i) \cdot m_2(Node_i) \cdots m_n(Node_i). \quad (7)$$

$$K = \sum_{i=1}^n m_1(Node_i) \cdot m_2(Node_i) \cdots m_t(Node_i). \quad (8)$$

选取可信度高(漂移程度小)的节点作为重定位信标节点,对区域内其它待定位节点进行重定位,通过计算误差分析基于加权 DS 证据理论的目标重定位方法对漂移节点重定位的影响.

2.3 基于重定位信标节点的目标定位流程

一旦确定出重定位信标节点,便可利用三边定位法等经典方法解算出目标的空间位置.下面结合图 2,描述本文所提出算法的完整流程.

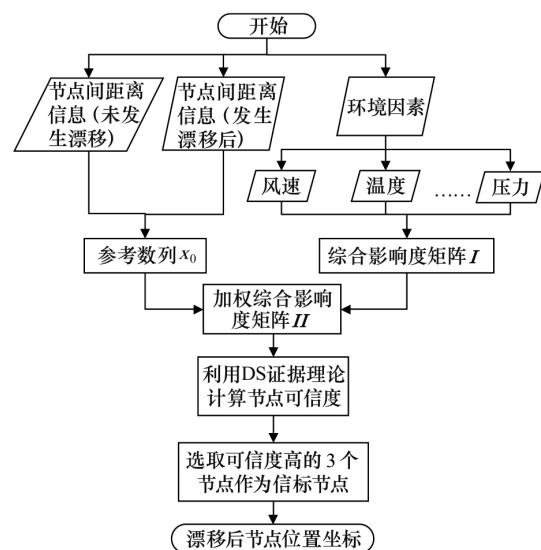


图 2 算法流程

Fig.2 Algorithm flow chart

1) 通过节点之间的信息交换计算漂移后节点

之间的距离 d_{ij} , 将其与漂移前的节点间距离 d'_{ij} 做比较, 利用式(3)和式(4)得到参考数列 x_0 .

2) 根据节点所布置区域的环境因素构造综合影响度矩阵 I , 随后利用离线漂移率 dp_i 计算各个影响因素的权值 w_i , 得到加权综合影响度矩阵 II .

3) 对表 1 利用加权 DS 证据理论计算各个节点的可信度 $r_i, i=1, 2, \dots, n$.

4) 重定位: 选取可信度高的节点作为重定位信标节点, 计算发生漂移后各个节点的位置坐标.

下面利用伪代码的方式描述本文算法, 见 Procedure1.

Procedure1 WDS-ReLoc ()

Begin

Input: RSSI and environmental information

Output: the re-localization results

Calculate d_{ij} based on RSSI information

Construct x_0 using Formulae (4)~(5)

Construct integrated affection matrix I and weighted

integrated affection matrix II

Calculate confidence level r_i using formula (7)

Choose less more than anchors with highest confidence level

Finish localization by trilateral positioning method or other ways

End

3 重定位性能分析

为了验证所提出算法的性能和效果, 本节使用 MATLAB 对其进行仿真分析, 并与文献[10]进行对比. 检测出漂移节点后, 选取可信度高的节点作为重定位信标节点, 再根据定位算法求得漂移后各节点位置坐标, 将求得的位置坐标与发生漂移前坐标对比, 分析比较不同算法的性能.

默认参数设置如下: 节点随机分布在 $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ 的二维平面场景中, 节点数量 n 为 10, 节点最大漂移距离 d_{drift} 为 2 m , 节点的漂移率 r 为 0.5, 定位允许存在误差 Error 为 0.5 m .

采用 3 个指标度量算法性能, 分别是漂移距离总和、定位误差和可定位节点比例. 在检测出漂移信标节点后, 对选取出的 3 个重定位信标节点漂移距离求和, 求得的值简称为漂移距离总和, 显然该值越小越好; 定位误差是根据选取的重定位信标节点对区域内节点进行定位产生的误差; 可定位节点比例是进行重定位后节点的定位误差 $error_i$ 满足 $error_i \leq \text{Error}$ 的数量占区域内节点总数量的比例.

1) 漂移距离总和

在下文中, 若无特殊说明, 在改变某个参数的时候, 其它参数都保持默认值. 将节点的漂移率从 0.1 增加 0.9, 观察漂移率对漂移距离总和的影响, 见图 3 (蓝色 Normal 曲线表示的是仅根据距离的变化大小作为可信度选取重定位的信标节点进行定位误差). 将节点数量从 5 增加到 25, 观察节点数量对漂移距离总和的影响, 见图 4; 将最大漂移距离从 1 m 增加到 5 m , 观察节点最大漂移距离对漂移距离总和的影响 (见图 5). 从图 3~5 可以看出, 通过加权 DS 理论方法选取出的重定位信标节点的漂移距离总和最小, 其原因是因为加权 DS 证据理论合成规则综合了不同环境因素影响权重来计算节点发生漂移的可信度.

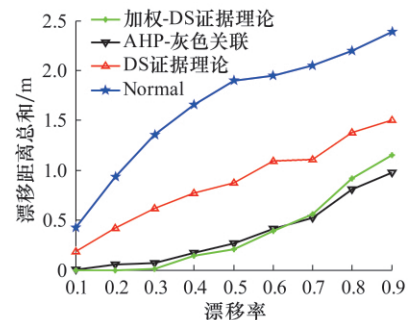


图 3 节点漂移率对漂移距离总和的影响

Fig.3 Effect of node drift rate on sum of drift distance

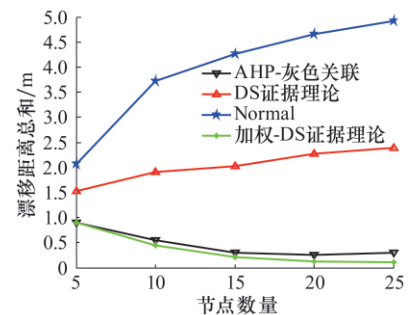


图 4 节点数量对漂移距离总和的影响

Fig.4 Effect of the number of nodes on sum of the drift distance

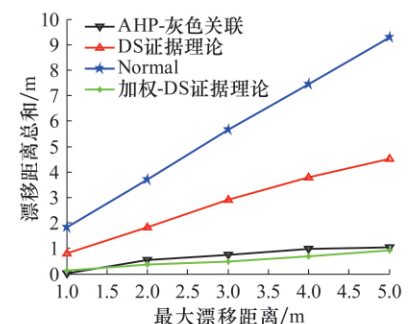


图 5 最大漂移距离对漂移距离总和的影响

Fig.5 Effect of maximum drift distance on sum of drift distance

2) 定位误差

首先研究漂移率对定位误差的影响.图 6 是将节点的漂移率设置为 0.1~0.9(间距为 0.1),其它参数按照默认值设置的仿真图(蓝色(Normal)曲线表示的是仅根据距离的变化大小作为可信度选取重定位的信标节点进行定位误差).由图 6 可知,不同方法重定位的误差都随着漂移率的增大而变大,由于基于加权 DS 证据理论方法选取的重定位信标节点漂移距离最小,因此降低了定位误差,提高了定位精度.

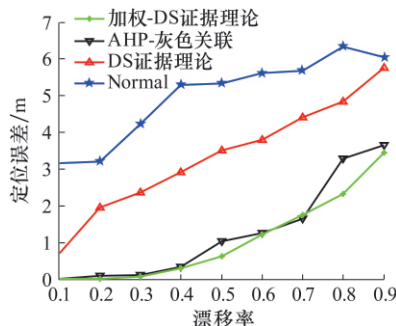


图 6 节点漂移率对定位误差的影响

Fig.6 Effect of node drift rate on positioning error

接下来考察节点数量变化对定位误差的影响.将节点数量设置为 5~25,其他参数按照默认值设定,仿真图如图 7 所示.由图 7 可知,Normal,DS 证据两种方法重定位的误差都随着节点数量的增大而变大,而加权 DS 证据和 AHP-灰色关联方法在总体趋势上是重定位的误差都随着节点数量的增大而减小.

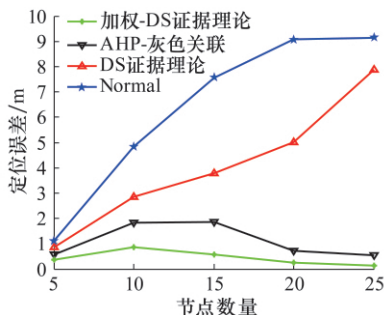


图 7 节点数量对定位误差的影响

Fig.7 Effect of node number on positioning error

随后研究节点的最大漂移距离对定位误差的影响,将节点的最大漂移距离从 1 m 增加到 5 m,其他参数按照默认值设定.仿真图如图 8 所示,不同方法重定位的误差都随着最大漂移距离的增大而变大,这是因为基于加权 DS 证据理论方法选取的重定位信标节点漂移距离最小,因此降低了定位误差,提高了定位精度.

3) 可定位节点比例

首先研究漂移率对可定位节点比例的影响.将

节点的漂移率从 0.1 增加到 0.9,其他参数按照默认值设定,可定位节点比例的仿真图如图 9 所示,不同方法可定位节点比例都随着漂移率的增大而减小,由于基于加权 DS 证据理论方法选取的重定位信标节点漂移距离最小,因此提高了满足设定的定位误差范围内节点的数量.

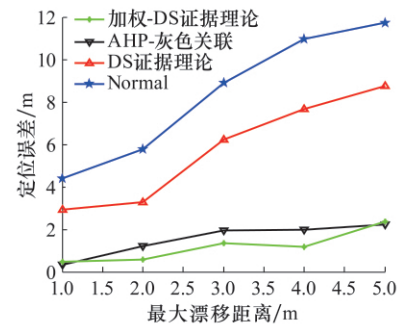


图 8 最大漂移距离对定位误差随的影响

Fig.8 Effect of maximum drift distance on positioning error

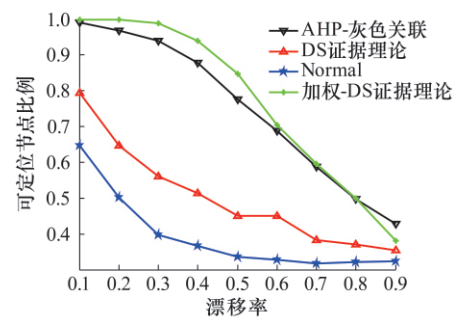


图 9 节点漂移率对可定位节点比例的影响

Fig.9 Effect of node drift rate on the localizable node rate

随后考察节点数量变化对可定位节点比例的影响.将区域内节点数量从 5 增加到 25,其他参数按照默认值设定.如图 10 所示,Normal,DS 证据两种方法重定位的可定位节点比例都随着节点数量的增大而减小,而加权 DS 证据和 AHP-灰色关联方法是重定位的可定位节点比例都随着节点数量的增大而增大.

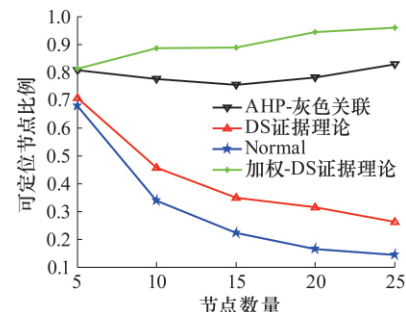


图 10 节点数量对可定位节点比例的影响

Fig.10 Effect of node number on the localizable node rate

最后研究节点最大漂移距离对可定位节点比例的影响,将节点最大漂移距离设置为 1~5 m,其

他参数按照默认值设定.由图 11 可知,不同方法重定位的可定位节点比例都随着最大漂移距离的增大而减小,这是因为基于加权 DS 证据理论方法选取的重定位信标节点漂移距离最小,因此提高了满足设定的定位误差范围内节点的数量.

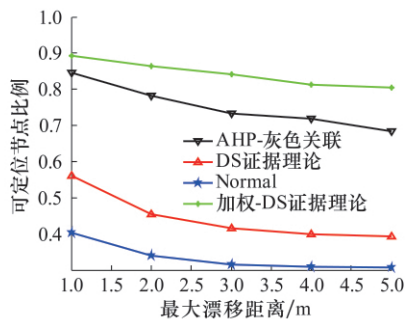


图 11 最大漂移距离对可定位节点比例的影响

Fig.11 Effect of maximum drift distance on the localizable node rate

4 结 论

1) 信标节点会因为灾害事件、环境影响或人为碰触而会发生漂移,致使移动目标定位系统定位误差增大甚至定位失败,本文通过加权 DS 理论计算节点的漂移量并判断结果的可信度,进而选取出未发生漂移或漂移量小的节点作为重定位信标.

2) 与仅根据距离的变化大小选取重定位信标节点和采用灰色关联法计算可信度进行重定位相比,本文方法在漂移距离总和、定位精度和可定位节点比例等方面具有明显优势:在 $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ 区域内,多数情况下重定位信标漂移距离总和在 $0 \sim 2\text{ m}$ 范围内,重定位误差在 $0 \sim 3\text{ m}$ 范围内,可定位节点比例超过 80% .

3) 漂移场景的先验知识(比如不同系统之间的关联性)能够进一步提高重定位信标选取的准确度和定位精确性,后续工作中我们将对此进行研究.

参考文献:

- [1] 胡青松,吴立新,张 申,等.煤矿工作面定位 WSN 的部署与能耗分析[J].中国矿业大学学报,2014,43(2):351-355.
HU Qingsong, WU Lixin, ZHANG Shen, et al. Placement of positioning WSN in coal face and energy consumption analysis[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2014, 43(2): 351-355.
- [2] 王福豹,史 龙,任丰原.无线传感器网络中的自身定位系统和算法[J].软件学报,2005,16(5):857-867.
WANG Fubao, SHI Long, REN Fengyuan. Self-positioning system and algorithm in wireless sensor networks[J]. Journal of Software, 2005, 16(5): 857-867.
- [3] CHU S I, LIEN C Y, LIN W C, et al. A survey of localization in wireless sensor network[J]. International Journal of Distributed Sensor Networks, 2012, 8(12): 385-391.
- [4] MESMOUDI A, FEHAM M, LABRAOUI N. Wireless sensor networks localization algorithms: a comprehensive survey[J]. International Journal of Computer Networks & Communications, 2013, 5(6): 748-755.
- [5] 肖 竹,谭光华,李仁发,等.无线传感器网络中基于超宽带的 TOA/AOA 联合定位研究[J].计算机研究与发展,2013,50(3):453-460.
XIAO Zhu, TAN Guanghua, LI Renfa, et al. Joint localization of TOA/AOA based on UWB in wireless sensor networks[J]. Computer Research and Development, 2013, 50(3): 453-460.
- [6] 毛永毅,李明远,张宝军.基于 RBF 神经网络的 TDOA/AOA 定位算法[J].计算机工程,2008(3): 52-55.
MAO Yongyi, LI Mingyuan, ZHANG Baojun. TDOA/AOA localization algorithm based on RBF neural network[J]. Computer Engineering, 2008(3): 52-55.
- [7] 廖兴宇,汪伦杰.基于 UWB/AOA/TDOA 的 WSN 节点三维定位算法研究[J].计算机技术与发展,2014, 24(11):61-64.
LIAO Xingyu, WANG Lunjie. Research on WSN node 3D localization algorithm based on UWB/AOA/TDOA[J]. Computer Technology and Development, 2014, 24(11): 61-64.
- [8] KUO S P, KUO H J, TSENG Y C. The beacon movement detection problem in wireless sensor networks for localization applications [J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2009, 8(10): 1326-1338.
- [9] 何文秀,夏 明,赵小敏,等.WSN 中信标节点移动情况下的定位方法研究[J].小型微型计算机系统,2011,32(11):2259-2262.
HE Wenxiu, XIA Ming, ZHAO Xiaomin, et al. Research on positioning method under the condition of beacon node movement in WSN[J]. Miniature Micro-computer System, 2011, 32(11): 2259-2262.
- [10] 胡青松,曹 灿,吴立新,等.面向矿井目标的双标签高精度定位方法[J].中国矿业大学学报,2017, 46(2):437-442.
HU Qingsong, CAO Can, WU Lixin, et al. A dual-tag high precision localization method for coal mine objects[J]. Journal of China University of Mining &

- Technology, 2017, 46(2): 437-442.
- [11] MOORE D, LEONARD J, RUS D, et al. Robust distributed network localization with noisy range measurements[C]//Proceedings of the 2nd International Conference on Embedded Networked Sensor Systems, Baltimore: ACM, 2004: 50-61.
- [12] KANNAN A A, FIDAN B, MAO G. Robust distributed sensor network localization based on analysis of flip ambiguities[C]//IEEE GLOBECOM 2008, New Orleans: IEEE, 2009: 1-6.
- [13] ZHENG Yang, LIU. Quality of trilateration: Confidence based iterative localization[C]//International Conference on Distributed Computing Systems, Beijing: IEEE, 2008: 22-29.
- [14] 赵小敏, 张海洋, 金 言, 等. 信标节点漂移情况下的无线传感器网络节点定位机制[J]. 通信学报, 2015, 36(2): 42-51.
ZHAO Xiaomin, ZHANG Haiyang, JIN Yan, et al. Positioning mechanism of wireless sensor network nodes in the case of beacon node drift[J]. Journal of Communications, 2015, 36(2): 42-51.
- [15] CHEN Z H, HU Q S, LI H, ULES. Underwater localization evaluation scheme under beacon node drift scenes[J]. IEEE Access, 2018(6): 70615-70624.
- [16] SHENG P K, HSISON J K, YU C T, et al. Detecting movement of beacons in location-tracking wireless sensor networks[C]//IEEE 66th Vehicular Technology Conference, Baltimore: IEEE, 2007: 362-366.
- [17] ZHANG K, ZHANG Y, QU P. Comprehensive multivariate grey incidence degree based on principal component analysis[J]. Journal of Systems Engineering and Electronic, 2014, 25(5): 840-847.
- [18] MONEMIAN M, MAHDAVI M, OMIDII M J. Optimum sensor selection based on energy constraints in cooperative spectrum sensing for cognitive radio sensor networks[J]. IEEE Sensors Journal, 2016, 16(5): 1829-1841.

(责任编辑 姚志昌)