

基于 DV-Hop 定位算法的改进

夏少波*, 连丽君, 王鲁娜, 朱晓丽, 邹建梅

(山东广播电视大学 计算机与通信学院, 济南 250014)

(*通信作者电子邮箱 xia_shaobo64@aliyun.com)

摘要:针对 DV-Hop 算法采用跳数乘以平均每跳跳距估算节点间的跳距,利用三边测量法或极大似然估计法估算节点坐标信息,算法过程存在缺陷而造成定位误差过高的问题。为此提出一种基于节点密度区域划分的 DV-Hop 改进算法(DZDV-Hop),依据网络的连通度和节点密度限制参与估算的信标节点的跳数,采用加权质心法估算定位坐标。Matlab 仿真测试结果表明,在相同的网络硬件和拓扑结构环境下,改进后的算法能有效地减少节点通信量,且平均定位误差率比传统的 DV-Hop 算法减少了 13.6% 左右,提高了定位精度。

关键词:无线传感器网络;密度区域划分;节点定位;限跳机制

中图分类号: TP393 **文献标志码:** A

Improvement of DV-Hop based localization algorithm

XIA Shaobo*, LIAN Lijun, WANG Luna, ZHU Xiaoli, ZOU Jianmei

(College of Computer and Telecommunications, Shandong TV University, Jinan Shandong 250014, China)

Abstract: DV-Hop algorithm uses the hop number multiplied by the average distance per hop to estimate the distance between nodes and the trilateral measurement or the maximum likelihood to estimate the node coordinate information, which has defects and then causing too many positioning errors. This paper presented an improved DV-Hop algorithm based on node density regional division (Density Zoning DV-Hop, DZDV-Hop), which used the connectivity of network and the node density to limit the hop number of the estimated node coordinate information and the weighted centroid method to estimate the positioning coordinates. Compared with the traditional DV-Hop algorithm in the same network hardware and topology environment, the result of Matlab simulation test shows that, the communication amount of nodes can be effectively reduced and the positioning error rate can be reduced by 13.6% by using the improved algorithm, which can improve the positioning accuracy.

Key words: Wireless Sensor Network (WSN); density regional division; node localization; limiting hop mechanism

0 引言

现代电子技术、检测技术和信号处理等技术的进步,促进了低功耗、多功能智能传感器的快速发展^[1]。无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)是指由大量成本低廉的具有智能感知能力、计算能力、无线通信能力的传感器节点组成的网络,它可以感知、采集和处理网络覆盖区域内目标对象的信息^[2-3]。作为一种新型信息获取的系统,WSN 广泛应用于军事、环境监测、城市交通、灾难防控等众多领域^[4]。节点定位问题是传感器网络进行目标识别、监控、定位等应用的前提,也是传感器网络应用的关键技术之一^[5-7]。研究节点定位算法的意义主要体现在两方面:一是,WSN 中的多数应用都依赖于传感器节点或者被检测目标的地理位置信息,不知检测目标位置而获取的任何信息都是没有意义的^[8];二是,WSN 网络的运行和管理需要节点位置信息的支持。因此,准确估算节点位置,在传感器网络的应用中起着至关重要的作用。

节点定位技术分为基于测距(Range Based)的定位算法

和无需测距(Range Free)的定位算法两类^{[3][1283, [5]39, [8]3]}。基于测距的定位算法原理是:通过测量节点与节点间的直线距离或角度信息估算未知节点的坐标位置,目前这类测距技术主要有 RSSI (Received Signal Strength Indicator)、TOA (Time of Arrival)、TDOA (Time Difference on Arrival)和 AOA (Angle of Arrival)等^{[1]77, [5]40}。基于测距定位算法的优点是定位精度较高,缺点是网络中的节点需要增加特殊的测距设备,从而导致节点成本较高。而无需测距的定位算法原理是:不需要测量节点间的实际距离以及节点间的方位角,只根据网络中节点间的连通性、同向性等信息,就可以估算出未知节点的坐标位置,常用的无需测距技术有:APIT (Approximate Point-in-Triangulation test)、质心算法、DV-Hop (Distance Vector-Hop)和 Amorphous 等算法^{[5]40, [9]}。无需测距定位算法的优点是:组网成本低、网络资源开销少,缺点是定位误差率稍高。实践证明无需测距定位技术更能适合多数 WSN 的应用,而在众多无需测距的定位算法中,DV-Hop 算法以其算法过程的简单性和实效性成为目前应用较多的种类之一^{[7]2468}。WSN 中的节点分为两类:一类是预先已知自身位置信息的传感器节点,称

收稿日期:2013-11-21;修回日期:2013-12-25。 基金项目:山东省自然科学基金面上项目(ZR2012FM033)。

作者简介:夏少波(1964-),男,山东烟台人,教授,主要研究方向:无线传感器网络节点定位、信号处理;连丽君(1984-),女,山东威海人,讲师,硕士,主要研究方向:无线传感器网络、过程控制;王鲁娜(1982-),女,山东济南人,讲师,硕士,主要研究方向:自动化控制、无线网络优化。

之为信标节点(或“锚节点”),信标节点的坐标信息既可以通过全球定位系统(Global Positioning System, GPS)等技术自动获得,也可以在部署网络时靠人工设置^{[8]6};第二类节点是预先并不知道自身的位置,通常称之为待定位节点或者未知节点。这些未知节点的位置信息就需要利用本文和相关研究所探讨的相关定位算法进行估算。

1 经典 DV-Hop 算法描述

美国 Rutgers University 的 Niculescu 等将距离矢量路由与 GPS 原理相结合提出了一系列分布式定位算法(Ad Hoc Positioning System, APS)^[10]。APS 共包括 DV-Hop、DV Distance、Euclidean、DV Coordinate、DV Bearing 和 DV Radial 等 6 种类型。其中应用较多的是 DV-Hop, DV-Hop 的执行过程可归纳为以下 3 个阶段^{[1]77, [5]40, [11]}。首先,接收并存储未知节点与它邻近的每个信标节点间最小跳数;信标节点向邻居节点广播包含自身地理位置信息的分组,这样网络中的所有节点都能记录下自己到每个信标节点的最小跳数。其次,计算未知节点与信标节点的跳距;每个信标节点根据上述第一个阶段的操作,记录下了自己与其他信标节点的坐标值以及它们间的跳数。最后利用式(1),就可以估算出自己的平均每跳跳距。其中: (x_i, y_i) 、 (x_j, y_j) 是信标节点 i 和 j 的坐标, h_j 是信标节点 i 与 j 之间的跳数。

平均每跳跳距:

$$HopSize_i = \left(\sum_{j=1}^n \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \right) / \left(\sum_{j=1}^n h_j \right) \quad (1)$$

每个信标节点将计算出的平均每跳跳距作为校正值得用带有生存期字段的分组通过可控洪泛法广播到网络中。网络中的未知节点只记录它接收到的第一个平均每跳跳距,这样就保证大多数未知节点都能从最近的信标节点接收平均每跳跳距。未知节点利用接收到的平均每跳跳距乘以第一阶段记录下的跳数,就可以计算出自己到联通范围内的每个信标节点间的估算跳距。最后,未知节点利用第二阶段操作中估算出的自己到 3 个(或以上)信标节点间的跳距,采用三边测量法或极大似然估计法估算出自己的坐标值。

2 DV-Hop 算法举例

图 1 所示, X_1, X_2, X_3 是信标节点, $1, 2, \dots, n$ 是未知节点。经过第一阶段和第二阶段操作,能够计算出信标节点 X_1, X_2, X_3 间的实际距离和跳数。假设信标节点 X_1 与 X_2, X_2 与 X_3, X_3 与 X_1 之间的实际距离分别为 35 m, 80 m 和 100 m。

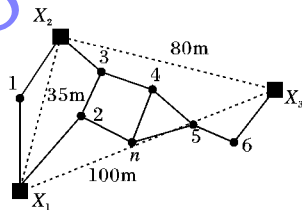


图 1 DV-Hop 节点定位算法示意图

对于未知节点 n, X_1 与它之间的跳数是 2 跳,在这个局部范围内属于最小跳数,因此 n 从 X_1 获取平均每跳跳距。据图可知 X_1 广播的 平均每跳跳距是 $(35 \text{ m} + 100 \text{ m}) / (2 + 5) = 19.3 \text{ m}$, 节点 n 就可以据此估算出自己与周围 3 个信标节点

之间的跳距,分别是: n 与 X_1 间为 $2 \times 19.3 \text{ m}$, n 与 X_2 间为 $3 \times 19.3 \text{ m}$, n 与 X_3 间为 $3 \times 19.3 \text{ m}$ 。最后利用三边测量法等数学理论,估算出 n 在网络中的坐标值。

一般情况下, DV-Hop 算法在网络平均连通度为 10, 信标节点所占比例为 10%, 且在节点均匀分布的密集网络中, 平均定位精度大约为 33% 左右^[12]。

3 DV-Hop 算法的改进

3.1 经典 DV-Hop 算法误差原因分析

DV-Hop 算法的不足之处主要体现在以下两个环节:

1) 在 DV-Hop 算法中,采用最近信标节点的平均每跳跳距与跳数的乘积求得未知节点与每个信标节点之间的距离。而在实际的网络拓扑结构中,信标节点到未知节点通常大多是折线路径而不是直线路径^{[9]1155}。因此当网络中未知节点和信标节点之间的跳数等于或大于 2 跳时,误差将会被累计,导致 DV-Hop 算法的估算距离与实际距离值存在较大的误差,且误差与跳数成正比,从而使定位精度下降。

2) 在实际 WSN 环境中,检测区域内节点密度很难满足均匀分布的要求,且分布于网络不同区域的节点,其密度可能有较大差异(如 C 型网络等),必然造成跳段长度不是平均分配的,这就会导致较大的估算误差。

3.2 改进的 DV-Hop 算法——DZDV-Hop

基于 DV-Hop 算法的改进研究是 WSN 技术研究的热点之一。文献[9]对算法的改进主要体现在定位过程的第二步中平均每跳跳距的估计和第三步中对已定位节点位置的进一步修正,在计算未知节点到各个信标节点距离时,考虑到离该未知节点最近的信标节点到其他信标节点的距离及跳数的不同,计算出不同的平均每跳跳距,使其更接近于实际平均每跳跳距,文献[9]还对初步定位结果进行了循环位置修正;文献[11]也是对定位过程的第二步做了改进,利用整个网络的平均每跳跳距对局部信标节点的平均跳跳距加以修正,并对可参考信标节点数小于 3 的未知节点进行估计定位,消除了因拓扑结构而造成的不可定位节点;文献[12]采用将已定位的未知节点升级为信标节点,新旧信标节点共同参与剩下的未知节点的定位。上述算法都一定程度提高了定位精度。

3.2.1 增加限跳机制

针对 DV-Hop 算法中存在的不足,在不增加网络硬件成本的条件下,本文提出一种基于节点密度区域划分的 DV-Hop 定位算法(Density Zoning DV-Hop, DZDV-Hop)。DV-Hop 算法对于连通性好且各向同性、均匀分布的密集网络,可以得到较合理的平均每跳跳距,达到适当的定位精度。但对于拓扑结构不规则、节点密度分布不够均匀的网络, DV-Hop 算法的定位精度就会急剧下降。通常情况下 WSN 中的节点分布是随机的,使得检测范围内不同区域的节点密度存在较大差异,这种差异将导致不同区域内节点之间的平均每跳跳距不可能相同,且随着跳数的增加由于误差的累计会给节点间跳距的计算带来更大误差。鉴于此,本文提出引入限跳机制,即限制参与计算信标节点跳数的方法,未知节点接收到的节点位置信息分组后,分组中跳数值若小于 N ,则保留该分组并将分组中的跳数值加 1 广播给它邻近的节点;若大于 N ,则抛弃该分组不予以广播。这样设置就会保证网络中的节点只接收、保留

和传播 N 跳以内局部区域信标节点的信息,而在这个局部区域内,节点的在网络中的密度、分布可以近似看成是均匀的。

限跳的 N 值大小依据网络的连通度和节点密度设定,这样既大大减少了节点间通信量,节省能源,增加网络寿命;还能更加准确地估算出适合于网络中不同区域内节点的平均每跳跳距。限跳 N 的取值由式(2)确定:

$$N > \frac{1}{r} \sqrt{\frac{L^2 \times M}{A \times \rho \times \pi}} \quad (2)$$

式中: r 表示节点的通信半径, L 表示整个检测正方形区域的边长, A 表示网络内所有节点总数, M 表示定位未知节点需要的最小信标节点个数, ρ 表示信标节点所占比例。为提高节点定位率和定位精度, N 的取值通常要比理论计算值稍大一点。

3.2.2 加权质心法估算坐标

假设在 N 跳这个局部区域内,未知节点 W 记录下了 M 个信标节点的信息,并将这 M 个信标节点按跳数由小到大 $M_1, M_2, M_3, \dots, M_m$ 排序,跳数越小估算出的跳距误差就越小。经 DV-Hop 算法第二步分别估算出 W 到 $M_1, M_2, M_3, \dots, M_m$ 的跳距按由近及远排序分别是 $d_1, d_2, d_3, \dots, d_m$,再采用 M_1, M_2 依次和 M_3, \dots, M_m 相结合,共进行 $M-2$ 次三边测量法定位。即: M_1, M_2 和 M_3 组合估算出 W 的坐标为 (X_1, Y_1) , M_1, M_2 和 M_4 组合估算出 W 的坐标为 (X_2, Y_2) , M_1, M_2 和 M_5 组合估算出 W 的坐标为 (X_3, Y_3) ,依此类推, M_1, M_2 和 M_m 组合估算出 W 的坐标为 (X_{m-2}, Y_{m-2}) 。最后再采用加权质心法估算出 W 的最终坐标 (X_w, Y_w) 为:

$$X_w = \sum_{i=3}^{m-2} \frac{\frac{X_1}{d_1 + d_2 + d_3} + \frac{X_2}{d_1 + d_2 + d_4} + \dots + \frac{X_i}{d_1 + d_2 + d_{i+2}}}{\frac{1}{d_1 + d_2 + d_3} + \frac{1}{d_1 + d_2 + d_4} + \dots + \frac{1}{d_1 + d_2 + d_{i+2}}} \quad (3)$$

$$Y_w = \sum_{i=3}^{m-2} \frac{\frac{Y_1}{d_1 + d_2 + d_3} + \frac{Y_2}{d_1 + d_2 + d_4} + \dots + \frac{Y_i}{d_1 + d_2 + d_{i+2}}}{\frac{1}{d_1 + d_2 + d_3} + \frac{1}{d_1 + d_2 + d_4} + \dots + \frac{1}{d_1 + d_2 + d_{i+2}}} \quad (4)$$

调整限跳值 N ,就可以调整选取参与计算信标节点的个数 M ,调整节点的通信半径也可以影响 M 值,且加权质心法的权值与跳距成反比,在局部区域内参与定位的信标节点个数越多,定位误差就会越小。

4 仿真测试与结果分析

为评估所提出的改进算法的有效性和实用性,利用 Matlab 7.0 分别对传统的 DV-Hop 算法、文献[9]、文献[12]改进算法及本文提出的 DZDV-Hop 算法进行仿真实验,并对实验数据分析比较。仿真实验的网络模型主要参数如下:将总数 200 个节点随机分布在 $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$ 的正方形区域内,尽量保证节点的分布具有一定的均匀性,节点的通信半径 r 在 $10 \sim 15 \text{ m}$ 范围内调整,使节点通信范围内被检测区域节点数目逐渐增加。整个仿真过程,本文对四种算法各进行了 50 次分布测试,最终取它们的算术平均值。

由图 2 可以看出,在相同的检测环境下,随着节点通信范围内节点数的增加,本文算法测距误差率与 DV-Hop 相比降

低了约 9 个百分点,与文献[9]、文献[12]相比降低了约 4 个百分点,效果显著。

图 3 和图 4 描述了在相同的检测环境下,检测区域内节点总数为 200,限跳 N 值分别取 3 和 4 时,随着信标节点占比的提高,传统的 DV-Hop 算法、文献[9]、文献[12]改进算法和 DZDV-Hop 算法的定位误差率的比较情况。测试结果可以看出,在信标节点占比相同的情况下,随着限跳 N 值的增大,定位精度得到提高。本文算法与传统的 DV-Hop 算法、文献[9]、文献[12]改进算法相比,其节点的定位精度提高幅度较大,随着信标节点占比的增加且达到一定数值后,四种算法的定位误差率均趋于稳定。图 3 中当 $N = 3$ 时,本文算法比传统 DV-Hop 算法的平均定位误差率减少了约 15.6%,与文献[9]、文献[12]相比减少了约 7.2%;图 4 中当 $N = 4$ 时,本文算法比传统 DV-Hop 算法的平均定位误差率减少了约 12.8%,与文献[9]、文献[12]相比减少了约 4.6%。DZDV-Hop 算法定位估算更准确,有一定的实用和推广价值。

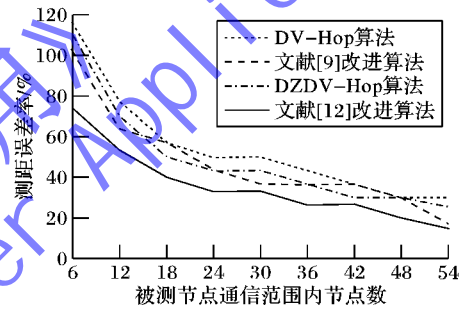


图2 通信范围内节点数对测距误差率的影响

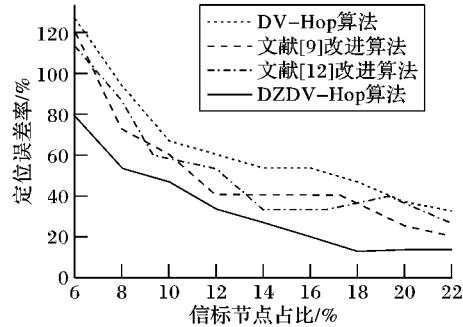


图3 限跳 $N = 3$ 信标节点占比对定位误差率的影响

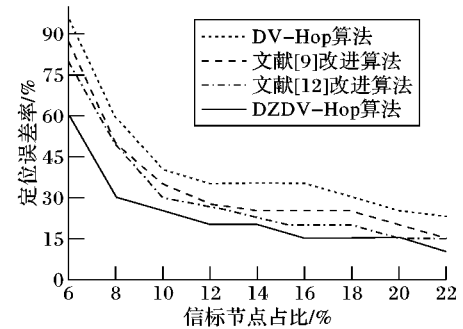


图4 限跳 $N = 4$ 信标节点占比对定位误差率的影响

5 结语

传统的 DV-Hop 算法采用来自最近信标节点广播的平均每跳跳距乘以跳数计算节点间距离,由于节点间的传输路径大多是折线,且不同区域的节点密度具有随机性和不均匀性,

从而造成定位误差较大。本文探讨的 DZDV-Hop 算法,在不改变传统 DV-Hop 算法的定位过程,且无附加的硬件设备的条件下,引入限跳机制,有利于减少节点间的通信量,从而减少能耗,延长网络寿命,估算的平均每跳跳距更能接近局部区域实际环境的跳距,同时辅以加权质心法估算坐标以利于进一步提高精度。仿真测试表明,在同等网络环境下,DZDV-Hop 算法能在减少通信量的情况下有效地降低定位误差率,提高节点定位精度。

参考文献:

- [1] WANG X, ZHAO Y, LI H. Improved study based on DV-Hop localization algorithm [J]. *Computer Science*, 2011, 38(2): 76-78. (王新生, 赵衍静, 李海涛. 基于 DV-Hop 定位算法的改进研究[J]. *计算机科学*, 2011, 38(2): 76-78.)
 - [2] NICULESCU D, NATH B. DV based positioning in Ad Hoc networks [J]. *Telecommunication Systems*, 2003; 22(1/2/3/4): 267-280.
 - [3] REN F, HUANG H, LIN C. Wireless sensor network [J]. *Journal of Software*, 2003, 14(7): 1282-1291. (任丰原, 黄海宁, 林闯. 无线传感器网络[J]. *软件学报*, 2003, 14(7): 1282-1291.)
 - [4] SUN L, LI J, CHEN Y, *et al.* Wireless sensor network [M]. Beijing: Tsinghua University press, 2005: 135-155. (孙利民, 李建中, 陈渝, 等. 无线传感器网络[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005: 135-155.)
 - [5] MAO K, ZHAO X, HE W, *et al.* Area division based semi-auto DV-Hop localization algorithm in WSN [J]. *Computer Science*, 2012, 39(03): 39-42. (毛科技, 赵小敏, 何文秀, 等. WSN 中基于区域划分的半自动 DV-Hop 定位算法[J]. *计算机科学*, 2012, 39(03): 39-42.)
 - [6] KONG J, JI H. Wireless sensor networks localization based on weighted DFP algorithm [J]. *Computer Engineering*, 2009, 35(21): 108-110. (孔军, 季海波. 基于加权变尺度法的无线传感器网络定位[J]. *计算机工程*, 2009, 35(21): 108-110.)
 - [7] WANG J, WANG F, DUAN W, *et al.* Distributed node localization algorithms of wireless sensor networks [J]. *Journal of Computer Applications*, 2005, 25(11): 2468-2471. (王建刚, 王福豹, 段渭军, 等. 无线传感器网络分布式节点定位算法研究[J]. *计算机应用*, 2005, 25(11): 2468-2471.)
 - [8] BACHRACH J, TAYLOR C. Localization in sensor networks [G]// STOJMENOVIC I. *Handbook of Sensor Networks: Algorithms and Architectures*. Hoboken: John Wiley & Sons, 2005: 277-310.
 - [9] LIU S, ZHAO Q, WANG H. DV-Hop localization algorithm based on estimate of average hop distance and correction in position [J]. *Chinese Journal of Sensors and Actuators*, 2009, 22(8): 1154-1158. (刘少飞, 赵清华, 王华奎. 基于平均跳距估计和位置修正的 DV-Hop 定位算法[J]. *传感技术学报*, 2009, 22(8): 1154-1158.)
 - [10] NICULESCU D, NATH B. Ad Hoc Positioning System (APS) using AOA [C]// INFOCOM 2003: Proceedings of the 22nd Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications. Piscataway: IEEE Press, 2003, 3: 1734-1743.
 - [11] LI H, XIONG S, LIU Y, *et al.* An improvement of DV-Hop localization algorithm for wireless sensor network [J]. *Chinese Journal of Sensors and Actuators*, 2011, 24(12): 1782-1786. (李辉, 熊盛武, 刘毅, 等. 无线传感器网络 DV-HOP 定位算法的改进[J]. *传感技术学报*, 2011, 24(12): 1782-1786.)
 - [12] BAI F, JIANG X, MU H. Research on DV-Hop algorithm for wireless sensor network [J]. *Computer and Digital Engineering*, 2010, 38(3): 34-36. (白凤娥, 姜晓荣, 牟汇慧. 无线传感器网络 DV-Hop 定位算法的研究[J]. *计算机与数字工程*, 2010, 38(3): 34-36.)
-
- (上接第 1235 页)
- [3] PERKINS C E, ROYER E M. Ad-Hoc on-demand distance vector routing [C]// Proceeding of the 1999 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications. Piscataway: IEEE Press, 1999: 90-100.
 - [4] JOHNSON D B, MALTZ D A. Dynamic source routing in Ad Hoc wireless networks [J]. *Mobile Computing*, 1996, 353: 153-181.
 - [5] LOCHERT C, HARTENSTEIN H, TIAN J, *et al.* A routing strategy for vehicular Ad Hoc networks in city environments [C]// Proceeding of the 2003 IEEE Intelligent Vehicles Symposium. Piscataway: IEEE Press, 2003: 156-161.
 - [6] WU J, WU Y. Improved GPSR protocol based on position vectors [J]. *Journal of Computer Applications*, 2012, 32(S2): 65-67. (吴晶, 吴怡. 基于位置矢量的 GPSR 改进协议[J]. *计算机应用*, 2012, 32(S2): 65-67.)
 - [7] YANG L. Research on security issues in vehicular Ad-Hoc networks [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2011. (杨列昂. VANETs 安全问题研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2011.)
 - [8] ZENG W, PEI T, ZHANG Z, *et al.* Improved hierarchical AODV routing protocol for hybrid wireless mesh network [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2010, 46(19): 125-128. (曾文丽, 裴廷睿, 张朝霞, 等. 混合无线 Mesh 网络中改进的分层 AODV 路由协议[J]. *计算机工程与应用*, 2010, 46(19): 125-128.)
 - [9] CHIU K L, HWANG R H, CHEN Y S. A cross layer fast handover scheme in VANET [C]// Proceeding of the 2009 IEEE International Conference on Communications. Piscataway: IEEE Press, 2009: 4962-4966.
 - [10] ABDALLA G, ABU-RGHEFF M A, SENOUCI S M. Channel tracking for VBLAST: updating the channel estimation in a flat-fading channel [J]. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 2009, 4(1): 72-77.
 - [11] OGGIER F, HASSIBI B. The secrecy capacity of the MIMO wiretap channel [J]. *IEEE Transactions on Information Theory*, 2011, 57(8): 4961-4972.
 - [12] HU L, DING Z, SHI H. An improved GPSR routing strategy in VANET [C]// Proceeding of the 2012 8th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing. Piscataway: IEEE Press, 2012: 1-4.
 - [13] LEE J W, LO C C, TANG S P, *et al.* A hybrid traffic geographic routing with cooperative traffic information collection scheme in VANET [C]// Proceeding of the 2011 13th International Conference on Advanced Communication Technology. Piscataway: IEEE Press, 2011: 1496-1501.