

车联网定位与位置感知技术研究

王 群^{1,2}, 钱焕延², 张 亮¹

(1.江苏警官学院计算机信息与网络安全系,江苏 南京 210031)

(2.南京理工大学计算机科学与技术学院,江苏 南京 210094)

[摘要] 车联网(Internet of Vehicles, IoV)被认为是物联网中最有可能率先突破应用的一个重要分支,成为目前研究的重点和热点。其中,车辆节点的定位和位置感知技术是车联网的技术核心,不仅关系到车辆行驶过程中的安全,而且影响着车联网的发展前景。首先,提出了车联网定位和位置感知的评价标准,介绍了无线定位测距技术的实现原理和方法。在此基础上,重点阐述了车联网的定位和位置感知技术,讨论了相关算法以及在车联网中的应用特点。最后,在综合分析了现有研究成果的同时,对未来的研究方向进行了展望。

[关键词] 车联网,定位方法,位置感知,测距定位,非测距定位

[中图分类号] TP393 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1001-4616(2015)01-0066-09

Localization and Nodes Location-Aware in Internet of Vehicles

Wang Qun^{1,2}, Qian Huanyan², Zhang Liang¹

(1.Department of Computer Information and Cyber Security, Jiangsu Police Institute, Nanjing 210031, China)

(2.School of Computer Science and Technology, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: Internet of Vehicles(IoV) has been considered to be an important branch which is most likely the first breakthrough in the application of Internet of Things(IoT), and has become the focal point of research. Among them, the localization and the location-aware of vehicles are key technologies of the IoV. These two technologies not only is related to vehicle security, but also affected the prospects for the development of IoV. First, the standards of evaluation on localization and nodes location-aware of IoV have been presented, and the principle and method of wireless location based on range-based have been introduced. On this basis, localization and nodes location-aware technologies of IoV have been focused, and the algorithm and applications in IoV have been discussed. Finally, in the comprehensive analysis of existing research results at the same time, we conclude the paper by elaborating the future research directions on the IoV.

Key words: internet of vehicles, localization method, location-aware, range-based, range-free

车联网(Internet of Vehicles, IoV)是物联网(Internet of Things, IoT)领域最有可能率先从理论走向应用的一个分支。车联网中,车辆节点感知和交换的数据必须与位置相关,没有与位置关联的车辆节点信息是没有价值的。因此,必须采取一定的机制和算法来实现对车辆节点的实时定位和节点之间的位置感知,并建立车辆与所在位置之间的紧密联系,实现对车辆的监控、跟踪、定位,进而实现车辆之间的动态控制与管理。

提到车辆定位,大家首先想到在每辆车上安装 GPS 或北斗卫星接收机。然而,这种源于车辆导航和物体跟踪的应用,不但其自身尚存在使用环境限制这一难题,而且其定位精度、响应时间以及可控性都无法适应车联网的应用需求。目前,一种可行的办法是让城市道路边的红绿灯、RFID 读写器、视频摄像头等路侧单元(road side unit, RSU)通过卫星定位获得精准的位置信息,将其作为网络中的锚节点提供定位信息来源,运行在道路上的车辆借助于 RSU,并基于测距(range-based)技术进行定位。

位置感知(location-aware)概念源于定位,但定位一般强调位置信息的唯一性,即定位得到的是真实的地理坐标信息。而位置感知侧重于节点之间在位置上的相对性,反映的是移动节点在时间维度和空间维

收稿日期:2014-08-16。

基金项目:公安技术(江苏省高等学校“十二五”重点学科建设专项资金资助)、2013 年江苏省高等教育教改研究立项课题(2013JSJG150)、国家社会科学基金资助项目(13BTQ046)。

通讯联系人:王群,博士生,教授,研究方向:网络安全管理、物联网。E-mail:wqun@jspi.edu.cn

度上的轨迹。位置感知中,其位置信息是参照锚节点来测算的,而锚节点的产生视不同的算法实现而不同,主要采用非测距(range-free)技术来完成。

本文在系统分析无线传感器网络(wireless sensor network, WSN)相关领域已有成果的基础上,针对车联网的组网特点和要求,介绍了车联网的定位和位置感知技术,并进行了系统的分析。同时,提出了车联网研究涉及的主要评价指标,并结合车联网技术的研究现状给出了其发展趋势。

1 车联网定位和位置感知的性能评价标准

为便于问题的描述,下面给出车联网定位和位置感知技术的一些基本概念和常用的性能评价标准。

(1)节点(node)。节点是指网络中凡参与定位的信息点,包括所有的车辆及RSU。车联网中的节点分为锚节点(anchor node)和未知节点(unknown node)两种类型,其中锚节点也称为信标节点(beacon node),是在网络初始化阶段已经借助GPS定位、北斗定位或手工配置等方式获得自身精确地理位置信息的节点。一般情况下,属于RSU的道路基础设施和部分安装了卫星定位接收机的车辆作为锚节点。未知节点是指网络中需要通过定位计算来得到自身位置信息的节点,在网络初始化阶段绝大部分车辆节点都属于未知节点。

邻居节点(neighbor node)是指网络中某一节点的信号覆盖范围内,可以与该节点直接通信的所有节点。

(2)定位误差。定位误差概括地讲是指通过测量所获得的数据与车辆实际位置信息之间的偏差,是车联网的首要评价标准。在一次具体的定位过程中,需要同时借助多种方法或多个阶段来完成定位操作,这将会产生累积误差。另外,车联网定位误差的产生除技术因素外,还会涉及到自然环境条件、道路设计状态等诸多因素。因此,车联网中定位误差的计算需要从多方面进行综合考虑。

(3)节点分布状态。车联网中车辆节点的分布受城市道路的限制,呈现“管状”^[1]状态。此分布特点一方面可充分利用已有的城市道路地理信息,另一方面却限制了网络容量,尤其是承载事故告警等道路交通安全信息的泛洪广播会产生网络阻塞。

(4)节点密度。受不同车辆外形和道路设计的影响,车联网的节点密度在一个相对稳定的范围内变化。不同算法的定位误差与节点密度有关,更与锚节点和未知节点的比例、分布状态等因素有关,在涉及到具体的定位方法时需要对所涉及的各种因素进行综合分析。

(5)复杂度。未知节点的定位是在给定锚节点精确的位置和角度信息的前提下,以锚节点为参照,以距离和角度为依据,通过相应的算法来获取它的邻居节点的位置信息。此过程一般需要重复多次才能完成网络中所有未知节点的定位,属于线性时间复杂度的过程。

(6)可定位性。文献[2,3]利用刚性理论给出并证明了网络可定位的充要条件,也适用于车联网的可定位性研究。该定理为:在 $d(d=2,3)$ 维空间中,给定一个网络 N ,其中含有 m 个锚节点,分别标识为 $1, 2, 3, \dots, m$,对应的位置分别为 $p_1, p_2, p_3, \dots, p_m$;同时,包含 $n-m$ 个未知节点,分别标识为 $(m+1), (m+2), (m+3), \dots, n$,对应的位置分别为 $p_{m+1}, p_{m+2}, p_{m+3}, \dots, p_n$ 。并且,当 $d=2$ 时, $m \geq 3$;当 $d=3$ 时, $m \geq 4$ 。用点形 F_p 表示这个网络,其中 $p = \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_n\}$,当且仅当 F_p 是完全刚性的时,网络 N 是可定位的。

(7)连接性。连接性(connectivity)主要用于衡量在非测距方法中节点之间的可连接性。例如,在典型的质心算法中,未知节点的相对位置由其通信范围内锚节点的几何质心来确定。这时,未知节点所能够获得的锚节点数量和质量,将决定着自身位置信息的准确性,即连接性好的网络其位置感知的精度较高。

2 无线测距基本原理与实现方法

无线测距的基本原理分为三边测量法(trilateration)、三角测量法(triangulation)、极大似然估计法(maximum likelihood estimation)和质心算法(centroid detection algorithm)4种类型^[4,5]。

(1)三边测量法。三边测量法的原理比较简单,是在已知3个锚节点二维坐标信息的前提下,就可以计算出1个未知节点的位置信息。如图1所示,现假设 A, B, C 这3个锚节点的坐标分别为 $(x_a, y_a), (x_b, y_b)$ 和 (x_c, y_c) ,未知节点 D 的坐标为 (x_d, y_d) , D 到 A, B, C 节点之间的距离分别为 $d_{d \rightarrow a}, d_{d \rightarrow b}$ 和 $d_{d \rightarrow c}$,则存在式(1)

$$\begin{cases} \sqrt{(x_d - x_a)^2 + (y_d - y_a)^2} = d_{d \rightarrow a}, \\ \sqrt{(x_d - x_b)^2 + (y_d - y_b)^2} = d_{d \rightarrow b}, \\ \sqrt{(x_d - x_c)^2 + (y_d - y_c)^2} = d_{d \rightarrow c}, \end{cases} \quad (1)$$

由式(1)便可以得到式(2)所示的节点 D 的坐标值:

$$\begin{pmatrix} x_d \\ y_d \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2(x_a - x_c) & 2(y_a - y_c) \\ 2(x_b - x_c) & 2(y_b - y_c) \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} x_a^2 - x_c^2 + y_a^2 - y_c^2 + d_{d \rightarrow c}^2 - d_{d \rightarrow a}^2 \\ x_a^2 - x_c^2 + y_b^2 - y_c^2 + d_{d \rightarrow c}^2 - d_{d \rightarrow b}^2 \end{pmatrix}, \quad (2)$$

三边测量法是无线网络定位最基础的算法,也是车联网定位中最高效、最直接、最基本的测距算法。

(2)三角测量法. 三角测量法的原理是在网络中选定一系列的锚节点构成相互连接的三角形,通过测量某 1 三角形三个角节点到某 1 未知节点的相对水平角度来对节点进行定位. 如图 2 所示,已知 $\triangle ABC$, 其 3 个角节点的坐标分别为 (x_a, y_a) 、 (x_b, y_b) 和 (x_c, y_c) , 并假设未知节点 D 的坐标为 (x_d, y_d) . 对于节点 A 、 B 和 D , 当弧段 AB 在 $\triangle ABC$ 内时,能够确定 1 个以 $O_{AB}(x_{ab}, y_{ab})$ 为圆心、 r_{ab} 为半径的圆,并存在

$$\begin{cases} \sqrt{(x_{ab} - x_a)^2 + (y_{ab} - y_a)^2} = r_{ab}, \\ \sqrt{(x_{ab} - x_b)^2 + (y_{ab} - y_b)^2} = r_{ab}, \\ (x_a - x_b)^2 + (y_a - y_b)^2 = 2r_{ab}^2(1 - \cos\alpha), \end{cases} \quad (3)$$

其中, $\alpha = \angle AOB$.

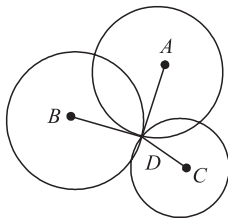


图 1 三边测量法实现原理示意图

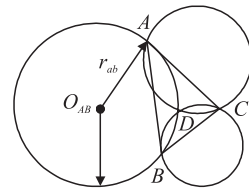


图 2 三角测量法实现原理示意图

Fig. 1 Schematic diagram of trilateration realization principle

Fig. 2 Schematic diagram of triangulation realization principle

由式(3)确定 $O_{AB}(x_{ab}, y_{ab})$ 和 r_{ab} 的值. 同理,可以分别对 B 、 C 和 D 以及 C 、 A 和 D 确定相应的圆心和半径值. 最后,再利用式(1)和式(2)所确定的三边测量法,由 3 个圆心和 3 个半径的值来确定节点 D 的坐标值 (x_d, y_d) .

三角测量法的应用非常广泛,它可以利用已知车辆节点或 RSU 节点的位置信息来对车辆进行实时定位,非常适合车联网的应用. 但由于三角测量法中仍然需要利用三边测量法来定位最后结果,根据累积误差的原理,在相同条件下三角测量法的定位误差要大于三边测量法.

(3)极大似然估计法. 极大似然估计法的原理是根据 n 个锚节点的坐标以及到未知节点的距离来对节点进行定位. 如图 3 所示,已知 n 个锚节点的坐标分别为 (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) 、 (x_3, y_3) 、 \dots 、 (x_n, y_n) , 它们到未知节点 D 的距离分别为 $d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$. 现假设未知节点 D 的坐标为 (x_d, y_d) , 存在与式(1)类似的线性方程式,通过计算可以表示为 $AX=b$, 其中:

$$A = \begin{pmatrix} 2(x_1 - x_n) & 2(y_1 - y_n) \\ \dots & \dots \\ 2(x_{n-1} - x_n) & 2(y_{n-1} - y_n) \end{pmatrix}, \quad b = \begin{pmatrix} x_1^2 - x_n^2 + y_1^2 - y_n^2 + d_n^2 - d_1^2 \\ \vdots \\ x_{n-1}^2 - x_n^2 + y_{n-1}^2 - y_n^2 + d_n^2 - d_{n-1}^2 \end{pmatrix}, \quad X = \begin{pmatrix} x_d \\ y_d \end{pmatrix}.$$

使用标准最小均方差估计方法,便可以得到式(4)所示的节点 D 的坐标

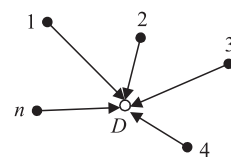


图 3 极大似然法实现原理示意图

Fig. 3 Schematic diagram of maximum likelihood estimation realization principle

$$\hat{\mathbf{X}} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{b}, \quad (4)$$

在极大似然估计法中利用 n 个锚节点的坐标和距离值来测定未知节点的位置,减小了因距离测量误差对定位结果的影响,其定位误差要小于三边测量法。

(4) 质心算法。质心是指多边形的几何中心。质心算法的实现原理是网络中的锚节点周期性地广播用于标识节点自身身份标识(ID)和坐标位置的分组,当未知节点接收到的锚节点的分组达到一个门限值时,或接收锚节点分组的时间达到预设值时,将由这些锚节点组成 1 个多边形,该多边形的质心便是该未知节点的坐标。现假设未知节点 D_i 在某一刻所接收到的锚节点的坐标依次为 $S_{i1}(x_{i1}, y_{i1})$ 、 $S_{i2}(x_{i2}, y_{i2})$ 、 $S_{i3}(x_{i3}, y_{i3})$ 、 \dots 、 $S_{ik}(x_{ik}, y_{ik})$, 则由该 k 个锚节点组成的多边形的质心为

$$(x_i, y_i) = \left(\frac{x_{i1} + x_{i2} + \dots + x_{ik}}{k}, \frac{y_{i1} + y_{i2} + \dots + y_{ik}}{k} \right), \quad (5)$$

该质心即未知节点 D_i 的坐标。

质心算法是一个近似算法,其误差主要与锚节点密度及分布均匀性等因素有关,算法实现对组网要求较高,现有城市道路很难适应,所以在车联网定位中的应用效果较差,但在车辆位置感知中可以有较好的效果。

3 车联网定位技术

在车联网中,通过合理部署在城市交通道路周边的 RSU,利用无线测距技术实现对移动中车辆的实时定位。目前所采用的技术主要有利用接收信号强度值(received signal strength indicator, RSSI)^[6]、到达时间(time of arrival, TOA)^[7,8]、到达时间差(time difference of arrival, TDOA)^[9,10]、到达角度(angle of arrival, AOA)^[11]及到达频率差(frequency difference of arrival, FDOA)^[10]等。

(1) 接收信号强度值(RSSI)。基于 RSSI 的定位原理是利用对接收到的无线信号通过测定其强度来判断节点间的距离。式(6)表示的是无线信号发射功率(P_T)和接收功率(P_R)随两者之间距离(d)的关系:

$$P_R = P_T / d^n, \quad (6)$$

其中, n 为与信号传播环境相关的传播因素,为一经验值。经对数运算,可得到式(7)的计算公式:

$$P_R(\text{dBm}) = A - 10n \lg d, \quad (7)$$

其中,常数 A 表示信号传输 1 m 距离时接收信号的功率。 A 和 n 都是经验值,与具体使用的硬件和无线信号传播环境有关。

RSSI 的定位原理是基于传输损耗(radio frequency propagation loss, RFPL)来实现的,当发射节点的功率固定时,通过检测信号到达接收节点时的功率损耗,再利用路径损耗模型和经验值,就可以得到收发节点之间的距离。这种定位方法虽然实现简单,成本低(因为计算接收到的无线信号强度是商用无线芯片的基本功能),但会受传输距离、多径传输、NLOS(non line of sight,非视距)等多种因素的影响,为数学建模和经验值的确定带来了极大的困难。为此,基于 RFPL 的 RSSI 定位在车联网中很难直接使用。

位置指纹(location fingerprint, LF)定位是建立在信号传播对环境的依赖性这一特征之上。从 WLAN 的 AP、RFID 收发器、3 G/4 G 基站等发射出的信号,在某一具体位置都会形成与周围环境密切相关的唯一信号传输特征(即“位置指纹”),移动中的车辆将获得的本地位置指纹与样本数据库进行匹配,就可以确定当前的位置信息。车联网中,位置指纹定位的实施分为两个阶段:第一阶段是建立位置指纹数据库。通过采集道路交通环境中不同区域、路段各参考点位置的信号传输特征值(如 RSSI 值、信噪比、AOA 等),建立一套完整的特征值与参考点位置紧密相关的位置指纹数据库;第二阶段是实施定位。运行中的车辆实时检测信号传输特征值,通过到位置指纹数据库中查询,就可以得到当前的具体位置信息。在基于位置指纹的车联网定位中,需要的定位源较少,定位精度高,可充分利用现有的道路交通设施,成本低,且适用于 NLOS 和多径传输环境。其缺点是前期的工作量大,因为定位精度取决于位置指纹数据库的完整性,所以位置指纹数据库的建立需要针对道路交通环境进行科学测量,丰富数据库中的数据,而且数据必须随道路交通环境和自然环境的变化及时更新。

(2) 到达时间(TOA)。TOA 的定位原理是在确定了具体的定位源(即锚节点坐标和信号的传播速度)后,通过测量信号传输时延来确定节点之间的距离。未知节点在测得到多个定位源的距离后,再利用三边

测量法或极大似然估计法计算出自身的位置. GPS 是最典型的 TOA 应用.

由于无线信号传输中普遍存在的多径传播特点,在 TOA 定位时一般检测并使用其中的直射路径(direct path, DP)信号,这增加了检测的复杂度,也对定位系统的部署提出了较高的要求(如需要采取有效的网络时间同步机制来最小化所有节点的同步误差,达到最大同步精度).另外,TOA 定位精度在 LOS(line of sight, 视距)环境下较高,但在 NLOS 环境下较低.

在车联网定位中,只要能够针对城市道路交通环境来科学规划、选择和部署定位源,尽可能减少 NLOS,避免噪声干扰,提高车辆及定位源的时钟精度,就可以简单的方法取得较好的定位效果.

(3)到达时间差(TDOA). TDOA 的定位原理是基于不同信号传输的时间差来计算节点之间的距离.具体实施中,通常在定位源上同时安装不同传输速率(如超声波和射频)的信号发射器,接收节点通过计算不同种类信号到达的时间差就可以得到与定位源之间的距离.例如,定位源同时发射传播速率分别为 c_1 和 c_2 的两种无线信号,接收节点检测并记录两种信号的到过时间 t_1 和 t_2 ,那么两节点之间的距离为

$$(t_2 - t_1) \times \frac{c_1 c_2}{c_1 - c_2}, \quad (8)$$

未知节点在测到多个定位源的距离后,再利用三边测量法或极大似然估计法计算出自身的位置.

与 TOA 类似,TDOA 定位易受环境影响,且在 NLOS 环境下的应用不佳.但 TDOA 仅需要对定位源进行时钟同步,这在实际部署中很容易实现,所以 TDOA 的应用要比 TOA 广泛. TDOA 定位中,需要在不同的定位节点上安装特殊的信号发射器和接收器,这虽然会增加系统的能耗,但在车联网环境中是可行的.

(4)到达角度(AOA). AOA 的定位原理是通过在接收节点上安装天线阵列或一组超声波接收机,用来感知定位源信号的到达方向(来波方向),以此计算信号收发节点之间的相对方位或角度,再通过三角测量法确定接收节点的位置.

由于目前普遍使用的全向天线无法区分来波方向,所以在 AOA 定位中需要安装特殊需求的阵列,这增加了系统的部署成本和难度,但可以取得较高的定位精度.另外,与 TOA/TDOA 相比,AOA 定位中不需要考虑节点的时钟同步.

(5)到达频率差(FDOA). FDOA 的定位原理是利用移动节点上的两部无线信号接收机所侦测到信号的频率差来确定未知节点的位置.当两个节点之间存在相对运动时便会出现多普勒移频现象,它携带有移动节点的航向和速度信息,利用这些信息便可以实现对移动节点的定位和跟踪.

如图 4 所示,现在假设锚节点 S_i 的位置为 $S_i(x_i, y_i, z_i)$, 其中, $i=1, 2, 3, \dots$, 移动未知节点 D 的位置为 $D(x, y, z)$, D 与 S_i 的连线与它的移动方向 v_i 之间的夹角为 θ_i , 则移动节点 D 所接收到的频率差 f_s 满足

$$f_s = \frac{v_i}{\lambda} (\cos \theta_1 - \cos \theta_0), \quad (9)$$

其中, λ 为波长. 通过多次测量,便可以得到式(9)所示的一组多普勒 FDOA 值

$$f_s^m = f_s + n, \quad (10)$$

其中, n 为噪声. 根据测量值 f_s^m , 通过迭代法求解就可以得到移动未知节点的位置.

FDOA 定位技术具有无模糊区、精度高等优点,它可以与 TDOA 等定位技术结合,实现更加完善的定位功能,成为车联网定位技术的一个发展方向.

4 车联网节点位置感知技术

在车联网中,不仅要考虑车辆节点的绝对位置信息(地理坐标信息),从而确定车辆的具体位置,而且要考虑同一区域内不同车辆节点之间的相对位置,即车辆之间应能够感知彼此的位置,确保车辆行驶中的安全性.

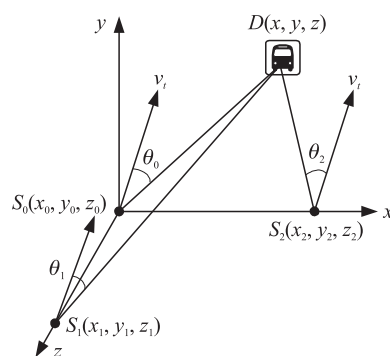


图 4 FDOA 定位中锚节点与未知节点之间的关系
Fig. 4 The relationship between anchor nodes and unknown nodes of FDOA positioning

针对 WSN 的位置感知要求和特点,目前学术界已提出了大量的算法和实验模型,这为进行车联网节点感知研究提供了丰富的资源.下面,结合车联网应用,介绍部分典型的位置感知算法.

(1) DV-Hop 定位算法^[12]. DV-Hop (distance vector-hop, 距离向量-跳数) 算法的思想和实现方法来源于传统网络中的距离矢量 (distance vector) 路由协议,具体应用示例如图 5 所示.通过距离适量路由工作机制,锚节点 A、B 和 C 之间已经获得了相互之间的距离以及最小跳数,这时每个锚节点可以计算本节点平均每跳的距离,图 5 中锚节点 A、B 和 C 的平均每跳的距离分别为:

$$\text{HopDist}_A = (60+80)/(3+5) = 17.5 \text{ m},$$

$$\text{HopDist}_B = (60+40)/(3+2) = 20 \text{ m},$$

$$\text{HopDist}_C = (80+40)/(5+2) = 17.1 \text{ m}.$$

在所有的锚节点中,距离未知节点 D 跳数最小的节点为 B,所以 D 选择 20 m 作为平均每跳的距离值.利用该距离值,未知节点 D 计算到锚节点 A、B 和 C 之间的距离分别为: $\text{dist}_{D \rightarrow A} = 20 \times 3 = 60 \text{ m}$ 、 $\text{dist}_{D \rightarrow B} = 20 \times 2 = 40 \text{ m}$ 、 $\text{dist}_{D \rightarrow C} = 20 \times 2 = 40 \text{ m}$.最后,根据锚节点的位置,通过三边测量法将会得到 D 的相对位置信息.

在 DV-hop 算法中,只要能够确定 3 个或以上的锚节点就可以进行准确的位置感知,其定位精度在很大程度上取决于锚节点的位置信息以及网络的连接性.

(2) Euclidean 定位算法^[13]. Euclidean 定位算法是基于 DV-Hop 算法的一种改进,并规定未知节点与所有锚节点之间的最小跳数为固定值 2,同时可以选择通过 RSSI 或距离矢量路由算法来确定邻居节点之间的距离.算法的具体实现示例如图 6 所示,其中节点 L、M 和 N 为未知节点 A 在该区域内获得的锚节点,而且所有节点之间都具有良好的连接性.下面,以计算 A 与 L 之间距离为例,介绍未知节点到锚节点之间距离的计算方法.其中,节点 B 和 C 位于 L 的信号覆盖范围内,并且通过距离矢量路由算法或 RSSI 算法已经确定了 AB、AC、BC、BL 和 CL 的距离,即已经确定了四边形 ABLC 中每条边以及 1 条对角线的长度,根据三角形的性质可以通过式 (11) 得到 AL 的长度

$$\begin{cases} \cos \alpha = \frac{AB^2 - AC^2 - BC^2}{2 \times AC \times BC}, \\ \cos \beta = \frac{BL^2 - BC^2 - CL^2}{2 \times CL \times BC}, \\ AL = \sqrt{AC^2 + CL^2 - 2 \times AC \times CL \times \cos(\beta \pm \alpha)}. \end{cases} \quad (11)$$

使用相同的方法,未知节点 A 可以分别获得与其他锚节点之间的距离.之后,利用三边测量法或极大似然估计法就可以确定自身的位置.

从算法的实现过程来看, Euclidean 算法取得了比 DV-Hop 算法高的定位精度.但在 Euclidean 定位过程中,要求各节点之间要具有良好的连接性,这对应用环境提出了更高的要求.为此,在车联网中,当道路交通环境复杂时, Euclidean 算法并不一定比 DV-Hop 算法的应用效果好.

(3) AHLos 定位算法^[14]. AHLos 是一种基于 TDOA 测距技术的分布式定位算法.该算法的工作过程为:当未知节点的邻居节点中的锚节点数大于或等于 3 时,利用极大似然估计法计算其位置,并将其升级为锚节点,同时将该新升级的锚节点信息广播到网络中;随着锚节点数量的增多,部分原来不具有利用极大似然估计法计算自身位置的未知节点逐步具备了条件.该过程重复到所有未知节点升级为锚节点为止.

AHLos 算法由原子多边 (atomic multilateration, AM) 算法、迭代多边 (iterative multilateration, IM) 算法和协作多边 (collaboration multilateration, CM) 算法共 3 个子算法组成.如图 7(a) 所示的是 AM 算法的适用环境,该算法即极大似然估计法,只要未知节点的邻居节点中存在 3 个及以上的锚节点时,就直接通过极大似然估计法确定其坐标;如图 7(b) 所示的是 CM 算法的适用环境,未知节点 3 和 4 的邻居节点中的锚节点数都小于 AM 算法所确定的最小值 3,所以无法利用 AM 算法进行定位.但是,根据拓扑中的 5 条边可以

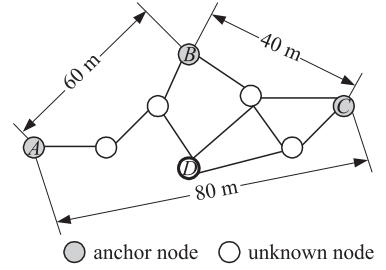


图 5 DV-Hop 定位算法应用示意图

Fig. 5 Application schematic diagram of DV-Hop localization algorithm

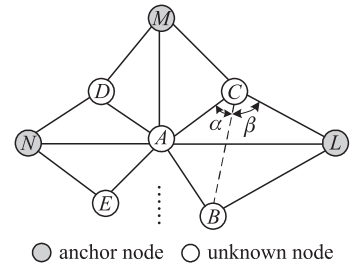


图 6 Euclidean 定位算法示意图

Fig. 6 Schematic diagram of Euclidean localization algorithm

建立拥有 4 个未知数(节点 3 和 4 的纵横坐标)的 5 个二次方程,通过求解该方程组便可以计算出节点 3 和 4 的位置;当未知节点的邻居节点中的锚节点数小于 3 时,将启用 IM 算法,即进入迭代过程:每一轮开始时首先通过 AM 算法和 CM 算法对未知节点进行定位,随即将其升级为锚节点,并将该升级后的锚节点信息告知给邻居节点. 每一轮操作结束后,未知节点的数量将下降,而锚节点的数量将上升. 如此迭代,直到所有未知节点都被定位或没有符合 AM 算法和 CM 算法条件的节点存在时为止.

当网络中锚节点的数量较小时,通过 AHLos 定位算法可以实现对未知节点的定位,发挥其定位优势. 在车联网中,当道路信息基础设施不够完善或因信号干扰等原因导致网络连接性较差时,AHLos 算法可以弥补网络环境的不足. 不过,迭代过程同时涉及到误差的累积,即产生累积误差,降低了整体的定位精度.

(4) n-hop multilateration primitive 定位算法^[15]. 在 AHLos 定位算法的基础上,Savvides 等人提出了 n-hop multilateration primitive 定位算法. 该算法不仅给出了节点是否能够参与 CM 算法的判断条件,而且采用了卡尔曼滤波(kalman filter)技术循环定位减小了累积误差,以提高定位精度. 文献[16]显示,当节点通信距离为 15 m、锚节点密度为 20%、测距误差为 1 cm 时,定位误差只有 3 cm.

n-hop multilateration primitive 算法作为对 AHLos 定位算法的优化,不但使算法的运行更加合理,而且通过循环定位求精减小了定位误差,非常适应车联网中的应用.

(5) Cricket 系统^[17]. Cricket 是由 MIT 开发的一种典型的符号定位系统,锚节点周期性地同时发射 RF 信号和超声波信号,其中该锚节点的位置信息和节点 ID 携带在 RF 信号中. 未知节点通过 TDOA 技术测量到锚节点之间的距离,当测得的距离值在 3 个及以上时,便可使用三边测量法确定自身的位置.

Cricket 系统通过分布式定位方式提供了针对空间位置的符号定位功能,可应用于立体停车场的管理中,也可应用到具体的道路交通环境(包括立体交通环境)中. Cricket 系统目前已经成为商业化产品,并在此基础上开发了具有更高定位精度的产品.

(6) APIT 定位算法^[18]. APIT (approximation point-in-triangulation test) 算法是一种典型的非测距定位方法,其算法的实现包含以下 4 个阶段:未知节点检测并收集邻近锚节点的信息(包括位置、节点 ID 等);由任意 3 个锚节点组成 1 个三角形,并测试该未知节点是否在该三角形内部. 重复该过程,直到穷尽所有锚节点组合或组合次数达到了预设阈值;计算由所有包括该未知节点的三角形组成的重叠区域;计算该重叠区域的质心,便是未知节点的位置.

APIT 算法的精度要比单一质心算法的精度高,且性能稳定,对锚节点的部署要求不高. 但 APIT 对网络连接性的要求较高,同时受城市道路交通环境的约束,当道路较窄时重叠区域的形成较为困难,所以 APIT 算法在车联网中的应用受到一定的限制.

5 综合分析与发展

车联网定位和节点感知技术在近年来得到了广泛关注,并成为研究重点和热点. 本文从评价指标及无线测距原理入手,重点从车联网定位和车联网中移动节点的相互感知两个方面阐述和分析了当前的研究现状. 虽然目前对车联网定位和感知技术的研究取得了一定的成果,但仍然有很多问题需要进一步解决,主要体现在以下几个方面:

(1) 专门针对车联网的定位和感知技术. 目前,车联网研究中的定位和感知技术,大量直接使用或借鉴于 WSN、MANET (mobile ad-hoc network, 移动自组织网络) 等无线自组织网络. 但从现状来看,合理的继承是必要的,但如何在继承的同时强调创新和发展则在车联网研究中更显得迫切.

针对此问题,研究人员已经提出了一些应用于车联网的定位和感知技术. 如在基于移动锚节点的定位机制 (mobile beacon assisted localization scheme, MBAL)^[19,20] 中,锚节点在移动过程中不断更新自身的位置信息,然后将其广播到邻居节点以供定位使用. 由于城市道路所固有的特征,对用于定位未知节点的移动锚节点的路径规划较为容易,移动锚节点可以沿着线性轨迹有序移动,以减小定位误差. MBAL 算法在

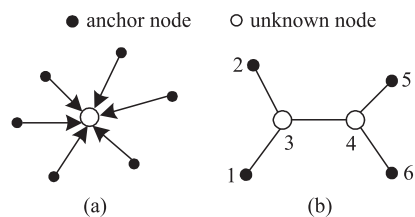


图 7 AHLos 定位算法示意图

Fig. 7 Schematic diagram of AHLos localization algorithm

车辆定位和位置感知方面都表现出了较好的性能。

MBAL 定位技术的出现,对车联网定位和感知技术的发展起到了促进作用。然而,对于移动锚节点自身的可定位性和可移动性、移动锚节点的路径规划等问题还需要进行深入研究。另外,在传统 WSN、MANET 等网络的定位研究中将解决节点能耗、计算能力、存储能力、通信能力等放在了重要位置,但这些功能在车联网研究中将不再是主要问题。

(2)室外移动三维定位技术。随着城市交通从路面向空间的发展,适用于立体交通的三维定位技术成为研究的热点。

目前,针对 WSN 空间的三维定位技术研究非常活跃,也取得了不少成果,主要有如 Landscape-3D^[21]、Constrained 3-D^[22]、SBL^[23]等。同时,对室外和移动三维定位技术的研究也引起了普遍重视。例如,在应急指挥环境中,可以在无人飞机上同时安装 GPS 接收机和 RSSI 信号发射器,将无人飞机作为锚节点提供室外移动定位服务。

但从整体来看,室内静态三维定位技术相对成熟,如 Cricket 系统。但适用于车联网环境的室外移动三维定位技术还需要针对具体环境在可定位性、定位效率、定位精度、测距定位方法的综合应用等方面进行深入研究。

(3)精准、无缝的协作定位。目前使用的无线定位技术主要分为 3 种类型:使用 GPS、北斗卫星导航系统、伽利略卫星导航系统的卫星定位技术,利用 2 G/3 G/4 G 蜂窝基站、WLAN 访问点(access point, AP)等信息基础设施的网络定位技术,以及使用 RFID、超声波、红外等无线方式判定其信号覆盖范围内物体位置的感知定位技术。

不同的定位和感知技术在不同的应用领域得到了快速发展,但在车联网定位和感知中如何将不同类型的单一技术进行有机融合,使其在定位过程中相互协作,以提高车联网定位和感知的精度,这是一个需要进行深入研究的方向。

例如,通过 GPS 与 WLAN 定位之间的协作,当车辆运行在空旷路段时利用 GPS 进行定位,而当车辆运行到隧道、树荫遮盖路段、高楼之间、立交桥下等 GPS 信号被屏蔽区域时,可使用 WLAN 进行定位。这种协作定位方式,不仅仅可以在特殊环境下实现不同定位技术之间的自由切换,而且可以利用 GPS 获取大范围的实时位置信息,同时利用 WLAN 确定小范围的特定位置,从而更全面地为车联网提供位置服务。再如,车辆通过 GPS 获得位置坐标,同一区域的车辆之间可以组成 VANET(vehicular ad-hoc network,车辆自组织网络),并以非测距方式实现位置感知,车辆上安装的运动传感器、陀螺仪等设备可以完成航位推算,再在 GIS(geographic information system,地理信息系统)的辅助下完成定位和跟踪功能。所以,多技术之间的协作成为车联网中提高精度和效率、更好服务应用的有效途径。

然而,不同的定位技术之间如何进行精准、无缝的协作,并实现应用的最优化,这需要在室内外无线位置感知、车辆时空轨迹建模与分析、车辆运行感知与识别等方面进行大量广泛深入的研究。

(4)安全和隐私保护。像所有信息系统一样,在车联网应用的各个环节,安全和隐私保护是一个永恒的命题。作为一个相对封闭的系统,需要采用相关技术确保车联网的边界安全,但由于车联网中无线通信方式的开放性以及车辆自组织网络的弱约束性,车联网存在的安全风险要比传统网络及 WSN 多。定位意味着必须开放必要的位置信息,开放什么、为谁开放、怎样开放等问题不仅仅涉及到对隐私的保护,还关系到整个车联网系统的安全性和可靠性。

为此,需要从车辆身份认证、密钥管理、入侵检测、安全路由、防 DoS 攻击、访问控制等方面对车联网进行综合研究,以提高车联网系统的安全性,并防止用户信息的泄露。

6 结束语

本文中涉及到了车联网中与位置相关的两大技术领域:定位和位置感知。其中,对定位技术的研究起步较早,近年来在各类应用的促动下不仅在技术上取得了一些新的成果,而且应用创新也较为活跃。与之相比,对车联网中车辆节点的位置感知则是一个相对较新的研究领域,涉及到大量已有和发展中的技术,现有算法和模型也多通过专业软件仿真来验证,主要技术应用也一般集中在实验室中,如果要真正走出实验室,尚有一些领域需要取得技术上的突破。然而,值得庆幸的是,车联网的研究已引起了学术界、工业界

及政府决策部门的共同关注,将为集中资源加快对车联网各项技术的研究创造了条件,提供了机遇。

本文在介绍了无线测距基本原理与方法的基础上,详细论述了车联网中的定位和节点位置感知技术,分析了已有算法在车联网中的适用性和可供借鉴性,并提出了技术的发展趋势。本文力求在系统介绍车联网定位和感知技术路线的基础上,为读者进一步学习这一领域的相关知识提供帮助。

[参考文献]

- [1] Tseng Y C, Ni S Y, Chen Y S, et al. The Broadcast storm problem in a mobile ad hoc network[C]//Proceedings of the 5th Annual ACM/IEEE Int'l Conference on Mobile Computing and Networking. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2002: 153-167.
- [2] Ip N J H, Edwards S A. A processor extension for cycle-accurate real-time software[C]//Proceeding of the Embedded and Ubiquitous Computing. Seoul, 2006: 449-458.
- [3] 王小平, 罗军, 沈昌祥. 无线传感器网络定位理论和算法[J]. 计算机研究与发展, 2011, 48(3): 353-363.
- [4] 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] Goldoni E, Savioli A, Risi M, et al. Experimental analysis of RSSI-based indoor localization with IEEE 802.15.4[C]//Proceedings of Wireless Conference(EW), 2010 European. Lucca, 2010: 71-77.
- [6] Bahl P, Padmanabhan V. Radar: an in-building RF-based user location and tracking system[C]//Proceedings of INFOCOM'2000. Israel, 2000: 775-784.
- [7] Girod L, Estrin D. Robust range estimation using acoustic and multimodal sensing[C]//Proceedings IEEE/RSJ Int'l Conf Intelligent Robots and Systems(IROS'01). Hawaii, 2001: 312-320.
- [8] Li X, Pahlavan K. Super-resolution TOA estimation with diversity for indoor geolocation[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2004, 3(1): 224-234.
- [9] Ho K, Sun M. Passive source localization using time differences of arrival and gain ratios of arrival[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2008, 56(2): 464-477.
- [10] Yu H G, Huang G M, Gao J, et al. Practical constrained least-square algorithm for moving source location using TDOA and FDOA measurements[J]. Journal of Systems Engineering and Electronics, 2012, 23(4): 488-494.
- [11] Gregoire D G, Singletary G B. Advanced ESM AOA and location techniques[C]//Proceedings of IEEE 1989 National AES Conference. Dayton, 1989: 917-924.
- [12] Niculescu D, Nath B. DV based positioning in ad hoc networks[J]. Telecommunication Systems, 2003, 22(1/4): 267-280.
- [13] Niculescu D, Nath B. Ad-hoc positioning systems[C]//Proceedings of the 2001 IEEE Global Telecommunications Conference. San Antonio: IEEE Press, 2001: 926-931.
- [14] Savvides A, Han C C, Srivastava M B. Dynamic fine-grained localization in ad-hoc networks of sensors[C]//Proceedings of 7th Annual Int'l Conf on Mobile Computing and Networking(MobiCom). Rome, 2001: 166-179.
- [15] Savvides A, Park H, Srivastava M B. The bits and flops of the N-hop multilateration primitive for node localization problems[C]//Proceedings of the 1st ACM Int'l Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications. Atlanta: ACM Press, 2002: 112-121.
- [16] Savvides A, Park H, Srivastava M B. The n-hop multilateration primitive for node localization problems[J]. Mobile Networks and Applications, 2003(8): 443-451.
- [17] Priyantha N B, Chakraborty A, Balakrishnan H. The cricket location-support system[C]//Proceedings of the 6th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking(ACM MOBICOM), Boston: ACM Press, 2000: 32-43.
- [18] He T, Huang C, Blum B M, et al. Range-free localization schemes for large scale sensor networks[C]//Proceedings of the MobiCom 2003, San Diego: ACM Press, 2003: 81-95.
- [19] Kyunghwi K, Wonjun L. MBAL: a mobile beacon-assisted localization scheme for wireless sensor networks[C]//Proceedings of 16th International Conference on Computer Communications and Networks(ICCCN 2007). Honolulu, 2007: 57-62.
- [20] Hu W W, Qin H B, Huang H Y. A mobile beacon based method for wireless sensor networks localization[C]//Proceedings of 2008 11th IEEE International Conference on Communication Technology(ICCT2008). Hangzhou, 2008: 144-147.
- [21] Hady S, Stephan O. A 3d-localization and terrain modeling technique for wireless sensor networks[C]//Proceedings of the 2nd ACM International Workshop on Foundations of Wireless Ad Hoc and Sensor Networking and Computing(FOWANC'09). New Orleans: ACM Press, 2009: 37-46.
- [22] Liang J, Shao J, Xu Y, et al. Sensor network localization in constrained 3-D spaces[C]//Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation. Luoyang, 2006: 49-54.
- [23] Yedavalli K, Krishnamachari B. Sequence-based localization in wireless sensor networks[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2008, 7(1): 81-94.

[责任编辑:顾晓天]