

基于位置信息预测的船舶机会网络路由^①

甘小龙, 姜胜明, 范超, 张朋

(上海海事大学 信息工程学院, 上海 201306)

摘要: 机会网络利用节点移动形成的通信机会来逐步传输消息。然而当机会网络应用在海洋上时, 由于海域广阔, 节点分布稀疏, 所以船舶之间相遇通信的概率较低, 同时由于船速较慢, 固定航道, 传统机会网络路由协议执行效率不高。利用船舶位置信息和航行方向等, 结合插值算法预测节点未来可能到达的位置, 并对 Spray and Wait 协议改进, 从而增加数据传递到目的船舶的可能性和效率, 提高了船舶机会网络连通性。最后, 通过仿真实验与目前比较流行的机会网络路由协议进行比较, 取得较好的实验结果。

关键词: 机会网络; 位置信息; 航行方向; 船舶机会网; Spray and Wait

Ship Opportunistic Network Routing Based on Position Information Prediction

GAN Xiao-Long, JIANG Sheng-Ming, FAN Chao, ZHANG Peng

(College of Information Engineering, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The opportunity network communication is to use the communication opportunity created by the mobile node to gradually transmit messages. Because in the ocean the nodes are sparsely distributed, however, the efficiency is not high when it is used in the ocean. Thus it leads to the low possibility of encountering communication among ships. Meanwhile, due to the relatively low ship speed and the fixed channel, the efficiency of tradition opportunity network routing protocol is not high. This paper makes full use of the ship position information, sailing direction and the interpolation algorithm to predict the future location that nodes may arrive at, and improve the spray and wait protocol, through which to increase the probability and efficiency of the data passing to the aimed ship and raises the connection quality of ship opportunistic network. Finally, compared with the currently popular opportunity network routing protocol by simulation experiment, it has achieve relatively good experimental results.

Key words: opportunity network; location information; the sailing directions; the ship opportunistic network; Spray and Wait

1 引言

机会网络(Opportunistic Network)源于容忍延时网络(DTN)和移动自组网(MANET), 是一种不需要在源节点和目的节点之间存在完整路径, 利用节点之间移动带来的相遇机会实现网络通信的, 时延和分裂可容忍的自组织网络。不同于传统的多跳无线网络, 它的节点不是被统一部署的, 以“存储-携带-转发”的路由模式实现节点间通信。由于机会网络能够处理网络分裂, 时延等已有无线网络技术难以解决的问题, 能满足恶劣条件下的网络通信需要, 其主要应用于缺乏通

信基础设施, 网络环境恶劣以及应对紧急突发事件的场合, 尤其在灾难场景下, 无线智能移动设备难以得到能量补充, 仅靠设备中固有的能量维持通信, 设备中的能量成为一种稀缺资源, 此时低的能量消耗意味着节点有更长的生存期。

船舶自组网^[1]是一种 Ad-Hoc 网络运用到海洋上的自组网, 它具有自组网所有的特点, 同时由于依托海洋背景, 以船只移动节点, 与一般意义上的无线自组网相比, 它又有其他特殊性质。但是船舶自组网, 也是属于一种机会网络中一种, 当机会网络, 满足相互

^① 基金项目:国家自然科学基金(61472237)

收稿时间:2015-03-17;收到修改稿时间:2015-04-26

之间通信时,就是一种自组网的体现。

目前,国内外有很多学者研究机会路由,关于机会网络的路由算法,从节点注入网络中数据分组副本数量的角度,可以将机会网络路由算法分为基于转发策略和基于复制策略两类^[2]。基于转发策略的路由算法有 Direct Delivery, CAR 等,该类路由协议网络中仅存在一个数据分组副本;基于复制策略的路由算法主要包括 Epidemic, Spray and Wait, ProPHET, MaxProp 等^[3]。利用节点位置信息的文章也有很多,目前国内,如 2010 年,杨奔全等人提出位置预测应用在自组网中,充分把位置信息和相应的预测方法结合在一起^[4],从而能够充分利用网络中的资源结合贪婪算法提出一种适用于移动自组网的新协议^[5],提高性能。2013 年,钱钊等人又充分利用位置信息^[6],以及杨勇等提出把位置信息运用到机会网络中^[7],从而大大提高了性能,在路由方面提出的预测方法也是多样,像是基于特征分类^[8],蚁群算法^[9],马尔可夫链^[10],相遇预测^[11,12]等方法,国外对于机会网络的预测的研究也有一些,2013 年, Dhurandher S K, 提出基于历史信息的机会网络预测,从而能够更好的交付信息^[13]等。

然而,目前的把位置信息用在机会网较少,而且基本上是针对陆地上,面对广阔的海洋上,船舶与船舶之间往往存在一种稀疏的机会网络,没有设计出一种能够适应海洋环境中的机会网络协议。Spray and Wait^[14]协议具有传输延迟较小,接近于最优,有较好的适应性,有较好的可扩展性,无论网络的规模大小,节点密度如何改变,都能保持较好的性能且该算法简单便于执行等优点。然而该协议应用在海洋机会网中,由于船舶移动的速度相对较慢,节点稀疏,固定航道,相遇机会概率较低等,无法适应这种背景场景。

本文提出一种利用船舶现有位置信息和航行方向,结合相应的算法对未来船舶位置进行预测,对 Spray and Wait 进行改进,增大海洋机会网的连通性。最后通过获取相关度量值,利用实验验证结果与目前比较流行机会网络协议比较传输成功率,传输的延迟,路由开销等性能提升来说明其优越性。

2 位置预测方法

对于海洋机会网络来说,基于船舶位置信息来预测其动向,有助于我们更好掌握其动态变化,充分高效地利用网络资源。

目前基于预测的路由算法企图通过历史信息来预测最佳的转发节点,从而提高数据分组传输成功率,进而提高转发效率,减少资源节点资源消耗。

海洋上船舶的移动特性不同于陆地上,首先,船舶移动速度相对较慢,且方向和大小一般不会有特别大的转变,这有助于基于目前情况更加准确预测未来,此外,在海洋中,这种船舶之间的通信处于一种稀疏的机会网络的状态,但是船舶之间的传播距离船舶比陆地上要大得多。

在本文中,面对广阔的海洋,可以通过船舶自动识别系统(AIS)配合全球定位系统(GPS)对船舶位置,船舶运动时刻,船舶运动速度方向准确获取,并不断时时进行更新。

假设网络中有 N 个节点,每个节点维护一个信息表,记录所有节点的过去位置坐标,运动矢量速度和相应的时间等。如: $\{X_1, Y_1, \bar{V}_1, t_1\}, \{X_2, Y_2, \bar{V}_2, t_2\}, \dots, \{X_n, Y_n, \bar{V}_n, t_n\}$, n 代表记录的数量。开始时,所有的记录被初始化为零,那么每个节点每 Δt 秒周期性地更新自己的位置记录。通过记录位置信息和相应的时间,进行计算预测未来可能存在的位置,从而有助于我们利用这些预测位置信息,建立相应的路由来维护船舶之间的通信。

2.1 插值预测算法

已知船舶的位置坐标为 (x, y) , 求其他的节点上的值。例如已知 $Y_{n+1} = f(X_{n+1})$, 惯用的方法是插值方法。常见的插值公式如拉格朗日插值多项式

$$\delta(x) = \sum_{k=1}^n y_k l_k(x) \quad [15] [16]$$

此处, $Z_k(t)$ 代表的是拉格朗日插值公式的时间函数

$$Z_k(t) = \prod_{\substack{1 \leq j \leq n \\ k \neq j}} \frac{t - t_j}{t_k - t_j}, \quad k, n \text{ 为正整数, 则预测节点坐标}$$

$$(X_n(t), Y_n(t)) \quad : \quad X_n(t) = \sum_{k=1}^n Z_k(t) X_k \quad ,$$

$$Y_n(t) = \sum_{k=1}^n Z_k(t) Y_k$$

2.2 基于船舶位置预测的算法判断

2.2.1 距离判断

通过携带消息的船舶 S 相遇另外一只船舶 A, 通过上述计算预测未来船舶位置, 并且计算到未来目的船舶的之间距离, 通过比较距离长短, 决定消息转不

转发, 距离较近的应该作为转发中继, 在此处, 距离长短作为一个比较判断.

例如两坐标为 S: { X₁, Y₁, \vec{V}_1 , t₁ }, A { X₂, Y₂, \vec{V}_2 , t₂ }, 目的节点 D { X_d, Y_d, \vec{V}_d , t_d }, 分别计算出两个节点到目的节点的距离:

$$S_1 = \sqrt{(X_1 - X_d)^2 + (Y_1 - Y_d)^2}$$

$$S_2 = \sqrt{(X_2 - X_d)^2 + (Y_2 - Y_d)^2}$$

2.2.2 航行方向判断

通过比较船舶的运行方向是否偏离目的船舶, 来判断决定消息是否转发. 在这里, 由于海洋上船舶运动方向一般按照预先设定好的航道, 运动方向, 短时间内不会有大的改变, 在预测下一刻时候, 可以认为船舶的船速和运动方向没有改变. 进而我们利用运动矢量和距离目的船舶矢量的夹角来比较判断, 具体计算方案如下:

另一方面对于速度变量 \vec{V}_n 选取: 每一只船舶都有自己的航速, 并且都沿着航道有自己一定航行矢量方向, 即运动方向. 在本文中, 另一个很重要的方面就是充分运用运动方向, 结合节点到目的节点的距离和运动的矢量方向来预测增大偏向目的节点的可能性, 在本文中主要通过该节点与目的节点的连线长短, 并且比较速度矢量方向与该连接线的夹角大小, 并且比较是否小于等于 90 度, 小于等于 90 度的则为偏向目的节点且选择较小的角度进行数据包转发, 大于等于 90 度则偏离目的节点选择距离目的节点较近转发. 如已知向量 \vec{S}_1 , \vec{V}_1 夹角 $\langle S, V \rangle$ 的余弦值为:

$$\cos \theta_1 = \cos \langle \vec{S}_1, \vec{V}_1 \rangle = \frac{\vec{S}_1 \cdot \vec{V}_1}{\left[\left| \vec{S}_1 \right| \left| \vec{V}_1 \right| \right]}$$

即

$$\theta_1 = \arccos \left(\frac{\vec{S}_1 \cdot \vec{V}_1}{\left[\left| \vec{S}_1 \right| \left| \vec{V}_1 \right| \right]} \right)$$

3 基于位置预测路由协议

Spray and Wait 算法分为两个阶段. Spray 阶段, 源节点中的部分数据包被扩散到邻居节点; Wait 阶段, 若 Spray 阶段没有发现目标节点, 包含数据包的节点以 Direct Delivery 方式将数据包传送到目标节点.

我们提出了一种基于船舶位置信息预测 Prediction Spray and Wait 的新协议, 主要对 Spray and Wait 协议在第二阶段(wait 阶段)进行改进, 通过预测未来可能到达位置, 从而增加其与目的节点船只相遇的可能

性, 来达到一种高效传输的机会路由算法.

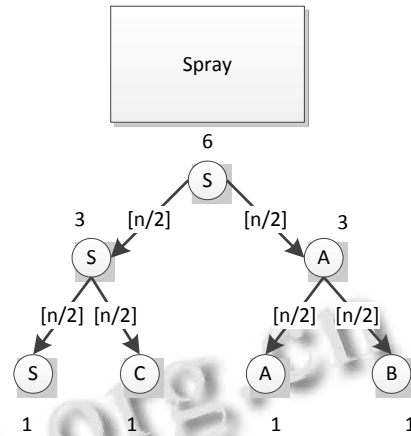


图 1 Spray 阶段

在 Spray 阶段, 当碰到一个节点时, 决定多少份给该节点. 最简单的分发策略是一份一份地发, 还有另一种分发策略是每次将一半复制给遇到的节点, 当节点只有一份消息时, 就退化成 Direct Delivery 了, 则进入第二阶段. 在本文中 Spray 阶段我们采用的是二分法 [n/2] 进行, 由于二分法 [n/2] 的效率更高, 相比其他方法时延更短, 总体上该方法是较优的分发.

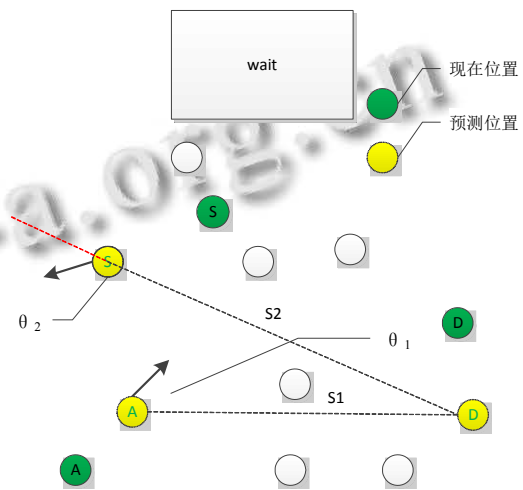


图 2 Wait 阶段

在 wait 阶段, 如上图, 在 Spray 阶段经过数据分组, 每一个分组之后的副本, 在网路环境中移动时并伴有一定的传播范围, 如图中的 S 和 A 两只船舶在航道中不停的移动, 并且不断的记录相关信息实时的更新, 根据以往位置信息我们可以预算出未来船舶的位置,

如图2中,虚线S,A,D(目的节点)分别为未来预测位置,在此时根据未来船舶的位置与未来目的船舶的距离长短,即 S_1 和 S_2 ,以及速度矢量 \vec{V} 与 \vec{S}_1 和 \vec{S}_2 的夹角 θ_1 , θ_2 相结合来判断哪个点更有可能到达目的船舶节点,距离最短的和运动方向偏向目的船舶的方向为最佳中继船舶,选择该船舶进行传输(如图3),该方案可以大大提高接触目的节点相遇可能性,相比以前在wait阶段的泛洪,有助于我们增大其传输成功率,减小平均延时,降低路由的开销等。

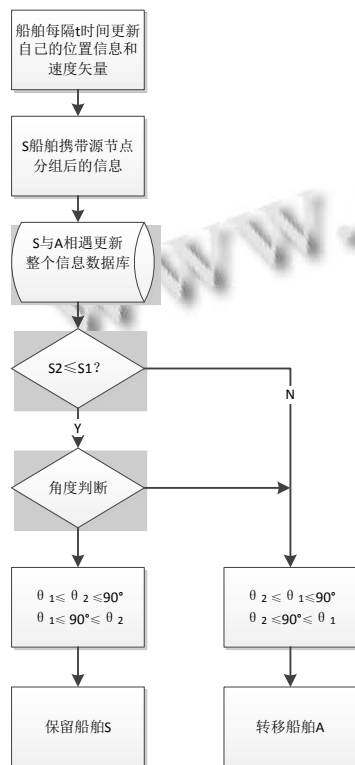


图3 Wait阶段改进

综上所述,该新协议,在Spray阶段源节点以二发法的方式进行数据分组,该算法的机制是源节点为每个在该节点起源的数据分组生成 L 个副本;若源节点 S 包含 n 个数据分组,当其遇到新中继节点 A ,则以 $n/2$ 个数据分组转发给 A ,自己同样留有 $n/2$ 分组,依次以同样的方法分组,直到所有节点只有一个数据分组,则进入到wait阶段,携带消息节点(包括源节点)如果此时相遇到目的节点 D ,则直接转发给目的节点,如果没有遇到目的节点 D ,通过位置预测方案,未来节点未来的位置,在基于与目的节点的距离长短和节点运行方向(此处船舶航行方向)来判断那个节点更有

可能接触到目的节点,从而决定时候转发,增大了消息传递到目的节点可能性.该协议基于海洋环境和船舶移动特性提出的一种机会网络路由协议,具有一定的研究意义。

4 实验结果与分析

建立特定仿真场景,通过使用ONE软件来模拟仿真,通过相互间的比较来说明性能的提升,影响路由算法的因素有很多,此处,我们通过判断机会网络的度量值来判断其总体性能的指标的变化。

4.1 移动模型

在机会网络中,一般移动模型可以分为两种:随机移动模型和受限移动模型.随机移动模型中节点的移动随机选择方向和速度,受限运动模型中节点的移动受到当前或历史因素的影响.我们主要采用的是受限运动模型。

移动模式在管理节点在仿真中的移动方式.它提供节点坐标,速度和停留时间,针对海洋上船舶运动按照固定航道的特性,本实验选取基于路径的移动模型Map Route Movement(MRM),MPM是节点按照预先设定的路线移动,且在每一个站点停留的时间也是事先设定的,在本文中,主要是应用预先设定好的固定航道上.本文中移动模型研究主要揭示船舶移动特性(包括位置坐标信息和速度矢量,以及间隔时间 Δt).

4.2 度量值

(1)传输的成功率(Delivery Ratio):是在一定时间内成功到达目标节点数据包总数和源节点发出的需传输数据包总数之比,该指标刻画了路由算法正确转发数据包到目标节点的能力,是最重要的指标。

(2)路由开销(Overhead Ratio):是指在一定时间内节点转发数据包的总数,通常用所有成功到达目标节点的数据包数与所有节点转发的数据包总数之比来评价.路由开销率高,意味着节点大量地转发数据包,会使网络中充斥大量的数据包副本,增加数据包发生碰撞的概率,也会大量地消耗节点能量。

(3)传输延迟(Delivery Delay):是数据包从源节点到达目标节点所需的时间,通常采用平均传输延迟来评价.传输延迟小意味路由算法传输能力强、传输效率高,也意味着在传输过程中将会占用较少的网络资源。

表 1 仿真场景参数的设置

| 类别 | 配置参数 | 数值 |
|-------|-------------|----------------------|
| | 模拟时间/h | 12 |
| 场景特征 | 模拟区域范围/m | 50000X50000 |
| | 模拟仿真地区 | east sea of shanghai |
| | 移动模型 | MapRouteMovement |
| | 传输速度/(kB/s) | 250 |
| 节点特征 | 最大传输范围/m | 1000 |
| | 传输方式 | 广播 |
| | 节点缓存大小/MB | 8 |
| | 数据包大小 | 500KB-1MB |
| 数据包特征 | 数据包生存期/h | 5 |
| | 数据包生成方式 | 以等时间间隔生成 |

5 结果分析

本文通过比较 Spary and Wait 协议和改进过后的 Prediction Spray and Wait 协议以及基于预测路由 MaxProp 三者之间的比较, 来表现出三者之间的相关性, 并且通过设置不同节点数(Number of Nodes), 进而突出改进之后的显著效果。

从下面仿真的结果来看, 图 4 显示是三种路由协议传输成功率的一个比较, MaxProp 比 Spray and Wait 高出 27%, 而 Prediction Spray and Wait 比原来的 MaxProp 高 25%, 性能最优, 这是由于新协议通过预测未来船舶可能存在的位置, 在一定程度上增加向目的船舶数据包的传递的可能性。

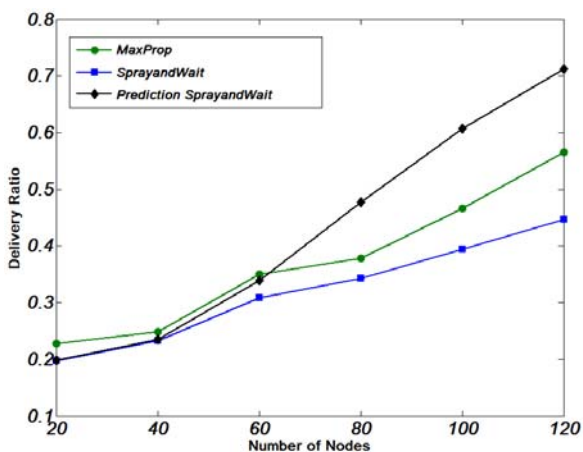


图 4 传输成功率

从图 5 中可以看出, MaxProp 依数据分组优先级来决定复制次序, 路由开销呈现的是一种较快增长 Prediction Spray and Wait 基本同一标准上保持较低的

路由开销状态, 新协议在遵循原协议在 Spray 阶段上分组副本后, 基于预测判断相比原来盲目相遇, 减少能量消耗, 从而路由开销降低。

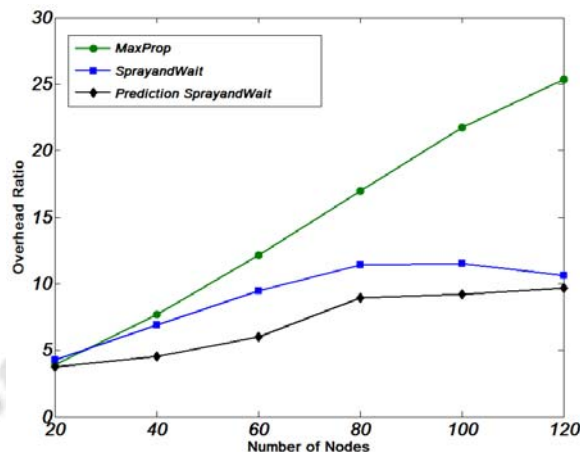


图 5 路由开销

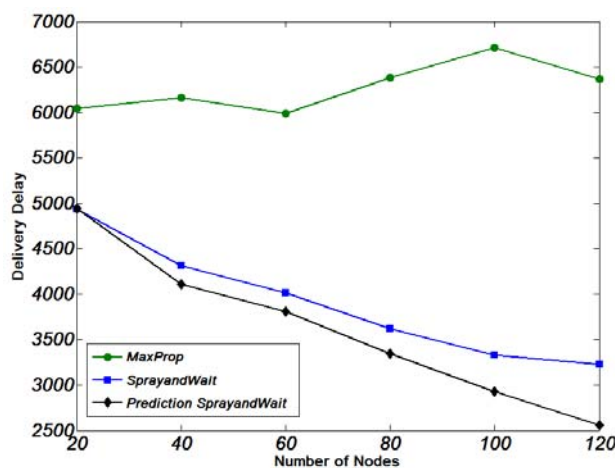


图 6 传输时延

而图 6 显示随着网络中节点的增多时, MaxProp 路由的组内直接传送方式的平均传送时延变化并不大, 而 Spray and Wait 传输时延具有明显降低, 所需要的平均时间较少, 而 Prediction Spray and wait 通过预测增大靠近目的船舶相遇概率, 缩短传输时间, 从而占用更少网路资源。

综上所述, 根据图中的三种协议性能指标走向, 新协议 Prediction Spray and Wait 相比其他两种协议, 度量值都有一个很大的提升, 尤其表现在传输成功率增高, 而路由开销和传输时延, 也相应地有所降低, 基本上达到了我们预期想要的效果。

6 总结

本文详细的阐述机会网络在目前研究的状况,并系统地说明利用船舶位置信息进行预测研究价值,基于 Spray and wait 协议本身的一些特性,该协议更加适合应用海洋互联网,但是面对如此广阔的海域,以及密集的船舶,由于自身的局限性,执行起来效率并不高,往往要盲目的依靠船舶相遇才可通信,而本文采用了基于船舶位置信息预测改进过后的 Prediction Spray and wait, 建立一套海上机会通信机制,可以有效地解决这一问题,提高海洋机会网的连通性.通过仿真实验,验证其改进过后的有效性,能提高其传输成功率,减少延时,从而提高了船舶机会网的性能.但是如何充分地利用机会网络,对于海洋上船舶依然是一个较新的领域,对其研究还不是太成熟,但是其研究价值十分可观,所以在今后仍然需要我们投入更多的精力.

参考文献

- 1 文静.MP-OLSR 在船舶自组网中的优化和性能研究[学位论文].广州:华南理工大学,2014.
- 2 任智,黄勇,陈前斌.机会网络路由协议.计算机应用,2010,30(3):723-728.
- 3 曹得胜.机会网络路由算法研究[学位论文].广西师范大学,2013.
- 4 杨奔全.基于位置预测的 Ad hoc 网络路由协议研究[学位论文].湖南大学,2010.
- 5 Kim BG, Lee JW. Opportunistic resource scheduling for OFDMA networks with network voding at relay stations. IEEE Trans. on Wireless Communications, 2012: 210-221.
- 6 钱钊.基于位置信息的移动自组织网络路由算法研究[学位论文].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2013.
- 7 杨勇,李季碧,陈红,等.基于位置信息的机会网络高效路由算法.广东通信技术,2013,33(3):37-41.
- 8 周强,应晶,吴明晖.基于特征分类的机会网络多因素预测路由.浙江大学学报:工学版,2010(3):413-419.
- 9 廖明华,张华,谢建全.基于蚁群算法的 WSN 能量预测路由协议.计算机工程,2012,38(3): 88-90.
- 10 张宗国.马尔可夫链预测方法及其应用研究[硕士学位论文].南京:河海大学,2005.
- 11 王莉,王春华,王延鹏.一种基于相遇预测的机会网络散发转发路由.Proc. of 2010 Third International Conference on Education Technology and Training (Volume 7). 2010.
- 12 Nelson SC, Bakht M, Kravets R. Encounter-based routing in DTNs. INFOCOM 2009, IEEE. IEEE, 2009: 846-854.
- 13 Dhurandher SK, Sharma DK, Woungang I, et al. HBPR: history based prediction for routing in infrastructure-less opportunistic networks. 2013 IEEE 27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA). IEEE, 2013: 931-936.
- 14 孙践知,韩忠明,陈丹,等. Wait and Spray: 一种改进的机会网络路由算法.计算机工程与应用,2011, 47(31):91-93.
- 15 程海来.Lagrange 线性插值公式在微积分中的应用.高等数学研究,2009,12(6):46-47,56.
- 16 王启忠.预测跟踪方法及其误差分析.数值计算与计算机应用,1990,3:6.