

文章编号: 1001-0920(2007)01-0049-04

一种可靠路由的解析及仿真性能分析

赵春晓^{1,2}, 王光兴³, 高路², 丁宁²

(1. 北京工业大学 国际 WIC 研究院, 北京 100022; 2. 渤海大学 信息科学与工程学院, 辽宁 锦州 121000; 3. 东北大学 信息科学与工程学院, 沈阳 110004)

摘要: 基于运动预测选择最稳定的路径, 讨论路由修理问题, 并使用马尔可夫链模型分析了路径的可用度和路径寿命. 分析结果表明, 与非可修选路策略相比, 带有本地可修选路的策略优化了路径可用度, 延长了路径寿命, 降低了控制开销. 仿真结果表明, 该协议具有较高的分组递交率和较低的控制开销.

关键词: 无线自组织网络; 性能评价; 解析架构; 路由

中图分类号: TP393

文献标识码: A

Analytical and simulation performance evaluating for a reliable routing

ZHAO Chun-xiao^{1,2}, WANG Guang-xing³, GAO Lu², DING Ning²

(1. The International WIC Institute, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China; 2. School of Information Science and Engineering, Bohai University, Jinzhou 121000, China; 3. School of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China. Correspondent: ZHAO Chun-xiao, E-mail: zhaochunxiao@sohu.com)

Abstract: The most stable path is selected based on mobility prediction, and the route repair mechanism is discussed. Markov-chain based analysis is used for analytical modeling of the path availability and the time interval between successive route discoveries. Analytical results show that, compared with non-repairable routing strategy, the routing protocol with local repair optimizes the path availability, prolongs the lifetime of path, and reduces the control overhead. Simulation results show that the protocol has high packet delivery ratio with low control overhead.

Key words: Wireless ad-hoc network; Performance evaluating; Analytical framework; Routing

1 引言

在移动 Ad Hoc 网络中, 由于节点的移动可能引起无线链路频繁中断, 一个关键的问题是如何选择可靠的链路, 使得持续时间更长. 由于网络是高度动态的, 两个节点 A 与 B 链路之间的生存时间与节点之间的距离以及两节点的运动方向有关, 为此 Su 等^[1]给出了一种数学解析方法. 但该方法需要精确的 GPS 定位技术, 当无法得到精确数据时, 该方法的应用受到限制.

为解决上述问题, 本文采用了模糊控制预测的方法^[2,3], 提出了一个有效的按需路由协议, 采用了基于运动预测和维护的选路算法, 并使用马尔可夫链模型分析了路径的可用度和路径寿命. 分析结果

表明, 与非可修选路策略相比, 带有本地可修选路的策略优化了路径可用度, 延长了路径寿命, 降低了控制开销.

2 基于预测和维护的选路算法

动态源路由 (DSR) 协议使用了源路由, 每个分组的分组头中包含了整条路由的信息, 其优点是中间节点不需要维持当前的路由信息, 分组自己带有路由信息, 再加上按需路由的特性, 从而避免了周期性的路由广播. 但 DSR 是基于最短路由的算法, 并非最稳定路由, 因而导致频繁的路径切换. 为此, 本文在 DSR 算法的基础上, 提出了基于模糊控制预测链路生存时间的扩展 DSR 路由协议 (EDSR 协议). EDSR 包括路由发现和路由维持两个过程.

收稿日期: 2005-09-26; 修回日期: 2006-06-08.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (60642003); 辽宁省教育厅科学技术研究项目 (2004D111).

作者简介: 赵春晓 (1964—), 男, 辽宁锦州人, 教授, 博士后, 从事无线网络的研究; 王光兴 (1937—), 男, 沈阳人, 教授, 博士生导师, 从事网络与通信等研究.

当一个源节点与一个目的节点需要通信时,如果它在路由表中没有选路信息,则源节点通过广播一个路由请求分组(RREQ)给它的邻居节点,当一个中间节点 k 收到RREQ时,进行如下处理:

1) 如果节点 k 已经收到了重复的RREQ,则丢弃冗余的RREQ,不转播。

2) 如果节点 k 不能满足RREQ,则计算当前路径生存时间

$$\text{path-life}(i, l) = \min\{\text{path-life}(i, k), C\},$$

其中 C 可根据预测方法计算。若计算结果为长寿命链路,则将自己的地址附加到分组中进行转发,否则丢弃该分组。

3) 如果一个RREQ到达一个节点 n ,若满足RREQ,且该节点为目的节点,则单播一个RREP,沿着已发现路由的相反方向或被目的节点知道的路径返回到源节点。

4) 除了目的节点外,如果一个中间节点 k ,在它的路由缓存中查到了一个到达目的地的未过时路由,则合并REQQ和路由缓存中的路由,节点 k 单播一个RREP给源节点。

5) 对于实时传送,路由失败后必须快速重建。一个可修路由由 n 个链路与一个修理模块组成。修理模块使用路由缓存和路由恢复机制。当一个链路失败发生时,修理模块使用一个路由缓存的候选路由。然而,由于自组网的高度动态的拓扑,且缺少任何固定的架构,路由缓存可能含有过时的路由。这样,当路由缓存没有提供新路由信息时,修理模块可以使用本地恢复机制。

图1为一个路由修理的例子。源节点有一条到目的节点8的路由,如1-3-4-6-8。当节点3测试到链路(3,4)中断时,修理模块查找它的路由缓存,用于到达节点8的候选路由。如果路由存在,则节点3使用候选路由由修补中断的路由,例如1-3-5-7-8。如果节点3不能根据路由缓存修理该路由,则修理模块启动路由恢复机制,通过查询它的邻居节点,看是否有链路到达目的节点的下游节点。当收到应答时,修理模块使用收到的链路信息,修补受链路失败影响的路由。当修补包到达目的节点8时,新路由信息被添加到改进的路由错误包中,并发回到源节点通知被中断的链路和改变的路由。

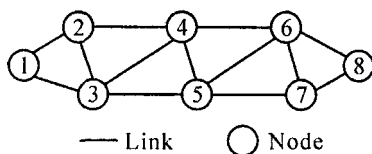


图1 故障修理实例

当第一个RREP回到源节点时,它将作为最稳最短路由开始发送数据分组,当路由中断时,将选择其他路由。

路由维持过程是源节点用来检测网络拓扑是否发生变化的机制。当拓扑发生变化,源路由发生中断时,源节点会收到一个RERR信息。此时,源节点试着用缓存中的路由信息,如果不通,则重新启动路由发现过程。

3 可修系统的解析网络性能分析

对于可修系统,由于有修理的因素,系统故障后可以修复,此时系统的运行随时间的进程是正常与故障交替出现的。其中 X_i 和 Y_i 分别表示第 i 个周期的工作(Operating)时间和故障(Failed)时间, $i = 1, 2, \dots$ 。一般, X_1, X_2, \dots 和 Y_1, Y_2, \dots 不一定是同分布的。

当执行性能评价时,有多种可靠性性能指标,本文仅讨论路径可用度和平均寿命^[4]。

1) 平均寿命(MTBF)。平均寿命是失败率的倒数。一个可修系统在使用过程中发生了 N 次故障,每次故障修复后又重新投入使用,测得其每次工作持续时间为 t_1, t_2, \dots, t_N ,其平均故障间隔时间为

$$T_{\text{ink}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i. \quad (1)$$

2) 可用度(Availability)。对于一个只有正常和故障两种状态的可修系统,可用一个二值函数描述它。对于 $t \geq 0$,令

$$X(t) = \begin{cases} 0, & \text{work;} \\ 1, & \text{failed.} \end{cases} \quad (2)$$

系统在时刻 t 的瞬时可用度定义为

$$A(t) = P\{X(t) = 0\}, \quad (3)$$

即在时刻 t ,系统处于正常状态的概率。当给定初始状态分布 $P_0(0), P_1(0), \dots, P_N(0)$ 时,系统的瞬时可用度为

$$A(t) = \sum_{j=W}^j P_j(t). \quad (4)$$

其中 $P_j(t)$ ($j = W$) 是下列微分方程的解:

$$\begin{cases} P_i(t) = \sum_{k \in E} P_k(t) a_{ki}, & i \in E; \\ P_0(0), P_1(0), \dots, P_N(0). \end{cases} \quad (5)$$

上述公式可写成

$$\begin{cases} P(t) = P(t)A, \\ P(0). \end{cases} \quad (6)$$

其中: $P(t) = (P_0(t), P_1(t), \dots, P_N(t))$, $P(t)$ 表示对每个分量分别求微商, $A = (a_{ij})$ 为转移率矩阵。

一个系统的稳定状态的可用度 A 被定义为 t 时过程状态的稳定分布。

假定一个自组网由多个节点组成, 每个节点是完全可靠的, 并假定链路处于工作或失效状态. 该协议中, 数据包总是按下面的路由模式从源 S 到达目的地 $D: \{S = a_0, a_1, \dots, a_{k-1}, a_k = D\}$, 其中 $a_1, a_2, \dots, a_{k-1}, a_k$ 是节点. 将路由中的第 i 个链路记作 $(a_{i-1}, a_i), i = 1, 2, \dots, k$. 链路 (a_{i-1}, a_i) 的寿命是不确定的, 由 k 个无线链路组成的路径 P 的寿命是不确定的, 可将它看作多个串行链路组成的可修路径.

下面给出几个假定:

- 1) 本文讨论马尔可夫模型, 它假定每次修理恢复如新, 且故障间隔时间是独立含有参数 λ 的指数分布, 修复时间是独立含有参数 μ 的指数分布;
- 2) 在 t 时间内, 两个或更多链路失败的概率为 0;
- 3) 在 t 时间链路失败的条件概率为 λt ;
- 4) 在 t 时间完成链路修复的条件概率为 μt ;
- 5) 每次链路故障或修复的事件是独立事件, 与其他事件无关;
- 6) 本地修理可能导致路由长度的增加, 为了简化分析, 假定修理路径长度等于原路径的长度.

规定: 状态 0 表示路径正常工作状态; 状态 1 表示路径处于故障状态, k 是路径中链路的数量. 因此

$$E = \{0, 1\}, W = \{0\}, F = \{1\}.$$

$$X(t) = \begin{cases} 0, & \text{work;} \\ 1, & \text{failed.} \end{cases} \quad (7)$$

可以证明, $\{X(t), t \geq 0\}$ 是状态空间为 E 的齐次马尔可夫过程.

因为有 k 个链路, 如果一条链路不工作, 路径将失败, 这样从状态 0 到状态 1 的转移率为 k . 对此马尔可夫过程, 有

$$a_{01} = k, a_{10} = \mu,$$

$$a_{00} = -a_{01} = -k,$$

$$a_{11} = -a_{10} = -\mu.$$

得到

$$p_{00}(t) = 1 + a_{00}t + o(t) = 1 - kt + o(t),$$

$$p_{01}(t) = a_{01}t + o(t) = kt + o(t),$$

$$p_{10}(t) = a_{10}t + o(t) = \mu t + o(t),$$

$$p_{11}(t) = 1 + a_{11}t + o(t) = 1 - \mu t + o(t). \quad (8)$$

微分方程为

$$\begin{cases} P_0(t) = -kP_0(t) + \mu P_1(t), \\ P_1(t) = kP_0(t) - \mu P_1(t). \end{cases} \quad (9)$$

在时间 0, 路径处于工作状态. 解此微分方程可

得到 $P_0(t)$ 的解(即路径的可用度 $A(t)$) 为

$$A(t) = P_0(t) = \frac{\mu}{k + \mu} + \frac{k}{k + \mu} e^{-(k + \mu)t}. \quad (10)$$

设 $t \rightarrow \infty$, 则可以得到过程状态的稳定分布

$$P_0 = \mu / (k + \mu). \quad (11)$$

每个链路的平均寿命为 ET_{link} . 路径的稳定状态的可用度为

$$A = P_0 = \frac{\mu}{k + \mu} = \frac{\mu}{\frac{k}{ET_{link}} + \mu} = \frac{1}{1 + \frac{k}{\mu ET_{link}}}. \quad (12)$$

从式(12)可以看出, 长路径比最短路径的可用度低; ET_{link} 越长, 路径的可用度越大, 路径与可用度和参数有关, μ 越大, 路径的可用度越大.

路径的平均寿命(MTBF) 为

$$MTBF = \frac{1}{k} = \frac{ET_{link}}{k}. \quad (13)$$

从式(13)可以看出, ET_{link} 越长, 路径寿命 MTBF 越长. 为了减少路径失败率, 应尽可能选择长寿命链路.

4 路由协议仿真网络性能分析

NS2^[5] 和 OPNET^[6] 本身不提供模糊数学工具, 这正是 MATLAB 的特点^[7]. 因此, 在参考了几种仿真器设计方法的基础上^[8-11], 基于不确定建模原理, 使用 MATLAB 和 C++, 比较了最短路径和最长寿命 2 种路由协议.

考察如下性能参数:

1) 分组递交率(DRP). 设 $R(i)$ 表示第 i 个呼叫请求, 分组递交率定义为目的节点接收到的数据分组个数与源节点发送数据分组个数之比. 设每次通信事件源节点发送数据分组个数为 $DATA_1(R(i))$, 每次通信事件目的节点接收的数据分组个数为 $DATA_2(R(i))$, N 是通信事件的数量. 则分组递交率 P 可表示为

$$P = \frac{\sum_{i=1}^N DATA_2(R(i)) / DATA_1(R(i))}{N}. \quad (14)$$

2) 路由控制包开销(CPO). 设 $R(i)$ 表示第 i 个呼叫请求, 每次通信事件产生的控制包的数量为 $number(R(i))$, N 是呼叫请求数目, 所建立路径的控制包的平均数量为

$$CPO = \frac{\sum_{i=1}^N number(R(i))}{N}. \quad (15)$$

3) 平均端到端时延(AD). 设 $R(i)$ 表示第 i 个呼叫请求, 在一个选定的路径 P 中, 如果从源节点 S

到达目的地节点 D 的时延是 $\text{delay}(R(i))$, N 是呼叫请求数目, 所建立路径的平均端到端时延可表示为

$$AH = \frac{\sum_{i=1}^N \text{delay}(R(i))}{N} \quad (16)$$

仿真器中的参数如表 1 所示. 通过仿真, 比较了最短路径和最长寿命 2 种路由协议. 由图 2 可以看出

表 1 仿真器中的参数

参数	值
网络中运行节点数 N	50
运行区域 A/m^2	$1\,000 \times 1\,000$
带宽 $B/(\text{MB/s})$	2
每秒中通信事件的数量 C	1
包大小 SIZE/BYTE	512
运行时间 TIME/s	600
节点传输距离 R/m	200
节点移动速度 $v/(\text{m/s})$	2, 4, 6, 8, 10
最大跳数 MH/hops	4
每次通信的数据量 DV/packets	1\,000

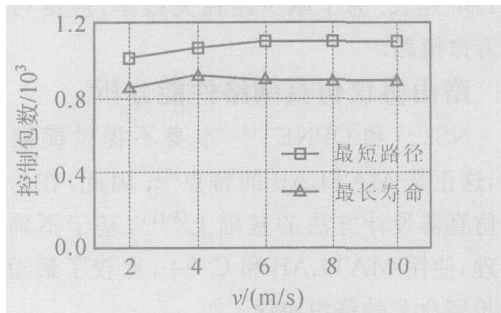


图 2 控制包开销

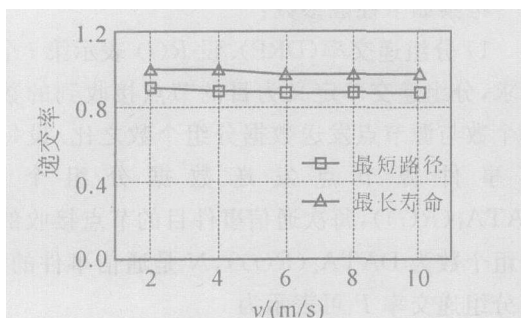


图 3 包递交率

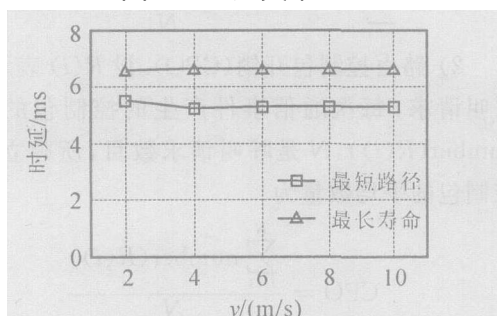


图 4 平均端到端时延

出, 最短路径算法的开销较大, 而最长寿命算法由于

采取了稳定路由, 降低了路径重建次数, 且选路分组走的是生存时间较长的部分链路而非洪泛方式, 从而减少了开销. 这与式 (12) 和 (13) 的结论一致.

图 3 表明, 与最短路径算法相比, 最长寿命算法具有更好的分级递交性能, 原因在于最长寿命算法的可预测功能, 这与式 (12) 和 (13) 的理论分析是一致的. 图 4 表明, 最长寿命算法比最短路径算法的时延略长, 原因在于前者是最长寿命算法而非最少跳数路由.

5 结 语

本文提出了一个有效的按需路由协议, 研究了模糊控制技术的应用, 并使用马尔可夫链模型分析了路径的可用度和路径寿命. 分析结果表明, 与非可修选路策略相比, 带有本地可修选路的策略优化了路径可用度, 延长了路径寿命, 降低了控制开销. 通过与 DSR 的仿真比较, 证明了该协议具有较高的分组递交率和较低的控制开销.

参考文献(References)

- [1] Su W, Lee S J, Gerla M. Mobility prediction and routing in Ad Hoc wireless networks [J]. Int J of Network Management, 2001, 11(1): 3-30.
- [2] Chemoui P, Khalfet J, Lebourges M. A fuzzy control approach for adaptive routing [J]. IEEE Communication Magazine, 1995, 33(7): 70-76.
- [3] Habetha J, Walke B. Fuzzy rule-based mobility and load management for self-organizing wireless networks [J]. Int J of Wireless Information Networks, 2002, 9(2): 119-148.
- [4] 曹晋华, 程侃. 可靠性数学引论 [M]. 北京: 科学出版社, 1986: 40-45, 188-213.
(Cao J H, Cheng K. Reliable mathematical basis [M]. Beijing: Science Press, 1986: 40-45, 188-213.)
- [5] 徐雷鸣, 庞博, 赵耀. NS 与网络模拟 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003: 3-9.
(Xu L M, Pang B, Zhao Y. NS and network simulation [M]. Beijing: Posts and Telecom Press, 2003: 3-9.)
- [6] 王文博, 张金文. OPNET modeler 与网络仿真 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003: 5-7.
(Wang W B, Zhang J W. OPNET modeler and network simulation [M]. Beijing: Posts and Telecom Press, 2003: 5-7.)
- [7] 王沫然. MATLAB 6.0 与科学计算 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2001: 1-5.
(Wang M R. MATLAB 6.0 and scientific computing [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2001: 1-5.)

(下转第 58 页)

计跟踪算法时,将自适应表面模型结合到粒子滤波中;处理遮挡时,采用 Huber 函数来减少遮挡区域内像素对状态估计的影响.实验结果表明,所提出的算法对光照变化、姿态变化、表情变化以及部分或完全遮挡下的跟踪均具有较好的跟踪效果.

本文算法尚存在以下不足:对于特别小或特别大的目标不太适用.如果目标特别小,目标的表面信息将变得很少,此时不能仅利用灰度表面信息来跟踪目标;若目标特别大,则表面模型的尺寸将变大,算法的实时性受影响.因此,如何提高该算法对特别大的目标跟踪的实时性还需进一步研究.

参考文献(References)

- [1] Comaniciu D, Ramesh V, Meer P. Real-time tracking of non-rigid objects using mean shift[C]. Proc IEEE Conf on Computer Vision and Pattern Recognition. South Carolina: Hilton Head Island, 2004, 2: 142-149.
- [2] Liu T L, Chen H T. Real-time tracking using trust-region methods[J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2004, 26(3): 397-402.
- [3] Hager G D, Belhumeur P N. Efficient region tracking with parametric models of geometry and illumination[J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(10): 1025-1039.
- [4] Nguyen H T, Worring M, Van Den Boomgaard R. Occlusion robust adaptive template tracking[C]. Proc Int Conf on Computer Vision. Vancouver, 2001, 1: 678-683.
- [5] Sidenbladh H, Black M J, Fleet D J. Stochastic tracking of 3D human figures using 2D image motion[C]. Proc European Conf on Computer Vision. Dublin, 2000, 2: 702-718.
- [6] Wu Y, Huang T S. Color tracking by transductive learning[C]. Proc IEEE Conf on Computer Vision and Pattern Recognition. South Carolina: Hilton Head Island, 2000, 1: 133-138.
- [7] Ross D, Lim J, Yang M-H. Adaptive probabilistic visual tracking with incremental subspace update[C]. Proc European Conf on Computer Vision. Prague, 2004, 2: 470-482.
- [8] Jepson A D, Fleet D J, El-Maraghi T F. Robust online appearance models for visual tracking[J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(10): 1296-1311.
- [9] Zhou S K, Chellappa R, Moghaddam B. Visual tracking and recognition using appearance-adaptive models in particle filters[J]. IEEE Trans on Image Processing, 2004, 13(11): 1491-1506.
- [10] Dempster A P, Laird N M, Rubin D B. Maximum likelihood from incomplete data via the EM algorithm[J]. J of the Royal Statistical Society B, 1977, 39(1): 1-38.
- [11] Arulampalam M S, Maskell S, Gordon N, et al. A tutorial on particle filters for online nonlinear/non-Gaussian Bayesian tracking[J]. IEEE Trans on Signal Processing, 2002, 50(2): 174-188.
- [12] David Ross. Some test sequences are available at the websites[DB/OL]. (2006-08-24). <http://www.cs.toronto.edu/~dross/ivt>.
- [8] Miguel Sánchez, Pietro Manzoni. ANEIOS: A Java based simulator for Ad Hoc networks[J]. Future Generation System, 2001, 17(5): 573-583.
- [9] Nedo Celandron, Erina Ferro, Francesco Potort. A traffic generator for testing communication system: Presentation, implementation and performance[J]. Real Time System, 1997, 13(1): 5-24.
- [10] 王建新. 基于非精确网络状态信息 QoS 路由优化算法研究[D]. 长沙: 中南大学, 2001: 5-19.
- (Wang J X. QoS routing algorithms with inaccurate network state information[D]. Changsha: Central South University, 2001: 5-19.)
- [11] Paul K, Bandyopadhyay S, Mukherjee A, et al. A stability-based distributed routing mechanism to support unicast and multicast routing in Ad Hoc wireless network[J]. Computer Communication, 2001, 24(18): 1828-1845.

(上接第 52 页)