

A Competing Metric Balancing Mechanism for Routing in Wireless Sensor Network

Heng Luo^{1,2}, Youmin Zou², Jiaxin Lu², Zhihao Yu²

¹Jiangsu Province Key Lab of Intelligent Building Energy Efficiency, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou Jiangsu

²Suzhou Key Lab of Mobile Networking and Applied Technology, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou Jiangsu

Email: luoheng1981@163.com

Received: Jul. 18th, 2017; accepted: Aug. 4th, 2017; published: Aug. 7th, 2017

Abstract

Wireless Sensor Network (WSN) is capable of measuring parameters within its coverage area. It gains wide applications in the areas such as military fields, environment monitoring for the sake of safety, efficiency as well as on-time nature. Nevertheless, factors such as time dependent nature of wireless links, dynamic topology make it different for proliferation of wireless sensor network. Routing is a key but the most difficult part in the design as well as optimization of wireless sensor networks. Specific speaking, routing in WSN is designed to improve one or at most two performance metrics, leading to its performance deterioration when the application fields change. An adaptive routing mechanism based on GRC, with five metrics considered, is proposed, targeting at multiple parameters such as packet delivery ratio, delay, jitter, throughput and energy cost evaluation, in this paper to rank the alternative protocols and thus rank them accordingly using fuzzy logics. Competing metrics are balanced and therefore our method is able to obtain the optimal routing algorithm. Simulation results show that a 32% gain may be achieved by using the proposed method in terms of middle traffic flow. Our method is able to provide a quantitative method for performance evaluation for wireless sensor network. It also aims at providing benchmark for algorithm optimization.

Keywords

Wireless Sensor Network, Multi-Parameter Balancing, Routing, Fuzzy Logics

无线传感网多参数路由均衡机制研究

罗 恒^{1,2}, 邹优敏², 陆家欣², 郁志豪²

¹苏州科技大学江苏省建筑智慧节能重点实验室, 江苏 苏州

²苏州科技大学苏州市移动网络技术与应用重点实验室, 江苏 苏州

Email: luoheng1981@163.com

摘要

无线传感器网络能够实时监测覆盖区域内各种物理量的动态变化情况，在军事、环境监测等领域获得了广泛应用。由于无线链路的时变特性、网络结构的动态变化等因素，使得无线传感网的路由设计一直是研究的热点和难点。当前的路由算法主要是基于单目标的性能优化，算法性能随着应用的差异产生很大的不同。针对多参数系统在实际情况中的应用需求，以传包率、时延、抖动、吞吐量、能耗等为衡量指标，结合模糊理论，提出一种基于GRC的多参数均衡的路由机制。实验结果表明，基于GRC的方法可以有效选择最优化算法，依据评估结果动态选择最优化算法，在中等流量情况下，系统能够获得32%的整体性能增益。方法实现了算法性能的定量分析、性能排序，结果可以为无线传感网性能评估提供一定的理论依据，也可以为算法优化提供方向。

关键词

无线传感网，多参数均衡，路由机制，模糊逻辑

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

无线自组网是由一组带有无线收发装置的移动节点组成的自治系统。除作为终端节点外，网络中的每个节点还充当中继的角色。无需基础设施支持的特性令无线自组网在军事、应急救援、移动会议等领域有着广泛的应用前景。自组网的研究始于上世纪70年代，兴盛于本世纪初。IETF专门成立了IP协议工作小组，着力研究路由协议，用以应对无线链路的不稳定性、拓扑结构时变性等导致的自组网性能下降问题。

虽然研究人员提出了诸如DSDV [1], DSR [2], AODV [3] and OLSR [4]等路由协议，但是如表1所示，这些算法的性能因为边界条件的改变而产生差异。产生这一现象的根本原因在于，当前算法的设计都是基于单一目标的(如改善时延等)。

本文从多目标角度提出一种自组网环境下的自适应算法，根据应用要求，动态选择路由协议，达到路由最优化的目的。

2. 自适应算法模型

自适应算法如图1所示。具体流程如下：①通过分析应用要求，确定算法需要达到的多目标(即性能指标)；②根据应用条件，使用两两比较的方法确定指标间的相互重要性，计算指标权重；③使用基于GRC的评估模型，对算法性能进行排序；④依据排序，实现路由算法自适应选择。

3. 算法实现

主要通过系统仿真的研究方法研究自适应算法的性能，使用开源的仿真软件NS-2 [8]作为主要仿真工具。以DSDV和DSR为例，描述自适应算法。DSDV是一种主动式路由，不管是否有节点间的数据传

Table 1. Routing performance comparison
表 1. 路由算法性能比较

协议	指标	性能表现	应用条件
AODV DSR DSDV [5]	传包 特性	AODV > DSR > DSDV	停留时间: 0~200 s
		DSDV < AODV < DSR	停留时间: 25~80 s
	时延	DSDV < AODV < DSR	停留时间: 120~160 s
		DSR = DSDV < AODV	停留时间: 160~200 s
AODV DSR OLSR [6]	传包 特性	OLSR > AODV > DSR	移动速度: 0~6 m/s
		AODV > DSR > OLSR	移动速度: 6~20 m/s
	时延	AODV > DSR > OLSR	移动速度: 0~6 m/s
		DSR > AODV > OLSR	移动速度: 6~20 m/s
	传包 特性	AODV > DSR > OLSR	0~35 组数据流
		OLSR > AODV > DSR	35~100 组数据流
时延	AODV > DSR > OLSR	8~15 组数据流	
	DSR > AODV > OLSR	25~100 组数据流	
AODV DSR, TORA DSDV [7]	传包 特性	DSR > AODV > TORA > DSDV	停留时间: 0~300 s
		DSR > AODV > DSDV > TORA	停留时间: 300~1000 s

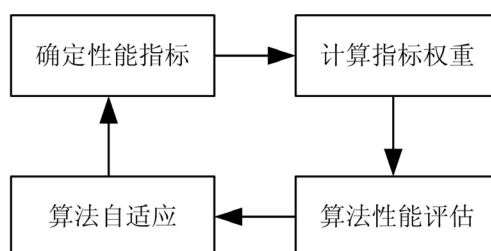


Figure 1. The chart of the proposed algorithm
图 1. 算法框架图

输需求, 每个节点都会定期维护路由表。DSR 是一种被动式路由, 当信源节点有数据传输需求时, 节点动态寻找路由。整体而言, DSDV 在路由建立时间上优于 DSR, 但是 DSDV 存在路由维护负担大、路由过期等问题。

3.1. 仿真环境

仿真环境如图 2 所示, 多个移动节点以自组织网络的形式, 连接到接入点。表 2 列出了各仿真参数, 每个仿真持续 3000 秒, 避免初始化问题。使用不同的随机数产生器得到 50 组仿真结果, 结果作数学平均, 得到如表 3 所示的最终结果。

由表 3 可见, DSDV 在传输时延、抖动和吞吐量方面性能较好, 这与其主动式路由方法有关, DSR 在丢包率和能耗方面性能更佳, 因为 DSR 只对有数据传输需求的情况下, 进行路由寻找, 因此可以有效避免 DSDV 的路由过期和过度能耗问题。但是, 从表 3 中无法具体得出特定条件下的最优算法。针对这种情况, 拟使用 GRC 对算法性能进行量化, 从而得到性能排序。

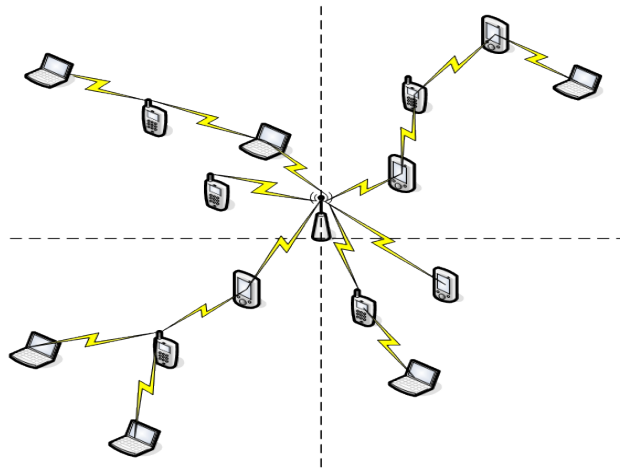


Figure 2. Simulation scenario
图 2. 仿真场景

Table 2. Simulation parameters
表 2. 仿真参数

参数	描述	参数	描述
仿真时间	3000 s	传输控制协议	TCP
仿真次数	50	路由协议	DSDV and DSR
节点个数	32	MAC 层协议	802.11
节点移动模型	Random Way Point model	衰落模型	瑞丽模型
节点移动速度	[0, 1.5] m/s 均匀分布	流量	2 对节点
传输距离	25 m	拓扑结构	100 m * 100 m

Table 3. Simulation results
表 3. 仿真结果

性能指标	DSDV	DSR
传包率 (%)	69.10	85.00
时延 (ms)	3.63	7.88
抖动 (ms)	4.01	13.90
吞吐量 (Mbps)	3.57	3.29
能耗 (J/pkt)	0.29	0.17

3.2. 自适应算法实现

3.2.1. 确定性能指标

影响一个协议性能的因素很多，评价指标各异，本文以传包率、时延、抖动、吞吐量和能耗来综合衡量 DSDV 和 DSR 的性能。在确定性能指标后，建立如图 3 所示的层次结构。

3.2.2. 计算指标权重

根据图 3 的层次结构，基于表 4 所示的重要性标度，构造两两比较矩阵，计算指标权重。

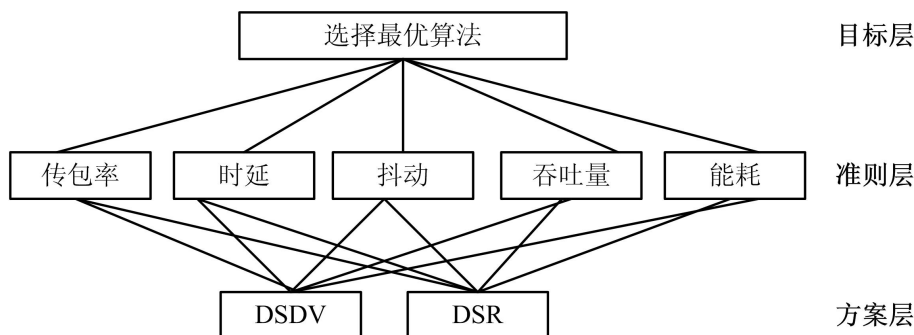


Figure 3. The hierarchical structure

图 3. 层次结构图

Table 4. The scale

表 4. 比较尺度

尺度	含义
1	元素 i 与元素 j 同等重要
3	元素 i 比元素 j 稍重要
5	元素 i 比元素 j 重要
7	元素 i 比元素 j 非常重要
9	元素 i 比元素绝对重要

2, 4, 6, 8 表示元素 i 比元素 j 的重要性介于上述两个相邻等级之间

为了方便起见，不妨设①传包率比时延、抖动和能耗等三个指标都稍重要；②传包率和吞吐量同等重要；③时延和抖动、能耗等指标同等重要；④吞吐量比时延、抖动和能耗等指标都稍重要。则由表 4 可得两两比较矩阵。

$$C = \begin{pmatrix} & \text{传包率} & \text{时延} & \text{抖动} & \text{吞吐量} & \text{能耗} \\ \text{传包率} & 1 & 3 & 3 & 1 & 3 \\ \text{时延} & 1/3 & 1 & 1 & 1/3 & 1 \\ \text{抖动} & 1/3 & 1 & 1 & 1/3 & 1 \\ \text{吞吐量} & 1 & 3 & 3 & 1 & 3 \\ \text{能耗} & 1/3 & 1 & 1 & 1/3 & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

由矩阵(1)获得指标权重的方法较多，其中的几何均值法是一种最常用、最有效的方法[9]。通过

$$\omega_i = \left[\prod_{j=1}^n (a_{ij})^{\frac{1}{n}} \right] / \left[\sum_{i=1}^n \left(\prod_{j=1}^n (a_{ij})^{\frac{1}{n}} \right) \right] \quad (2)$$

可获得如表 5 所示的归一化指标权重。

3.2.3. 算法性能评估

首先确定各性能指标的属性。如表 6 所示，对于路由算法而言，希望能够最大限度地提高传包率和网络吞吐量，同时降低时延、抖动以及能耗。

由于性能指标的单位不同，需进行归一化处理。对于属性为“越大越好”的指标，归一化方法为

$$s_{ij} = \frac{d_{ij} - l_j}{u_j - l_j} \tag{3}$$

其中 s_{ij} , d_{ij} 分布为算法的归一化和仿真值, $u_j = \max\{d_{ij}\}$, $l_j = \min\{d_{ij}\}$ 。对于属性为“越小越好”的指标, 归一化方法为

$$s_{ij} = \frac{u_j - d_{ij}}{u_j - l_j} \tag{4}$$

根据表 3 中结果以及式(3)、(4), 可得表 7 所示的归一化结果。

性能评估的最后一步是计算灰度关联度系数

$$GRC_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^k \omega_j |s_{ij} - s_j| + 1} \tag{5}$$

其中 ω_j 为第 j 个性能指标的权重, s_{ij} 为每个方案的归一化系数, $s_j = \max\{s_{ij}\}$ 。

结合表 5 中的权重、表 7 中的归一化结果和式(5), 可得如表 8 所示的灰度关联度系数。由表可得, DSDV 的灰度关联度系数高于 DSR, 因此 DSDV 的综合性能高于 DSR。

3.2.4. 算法自适应

根据表 8 中排序结果, 系统自动选择 DSDV 作为路由算法。

4. 算法性能验证

4.1. 验证方法

图 4 和表 9 所示分别为算法验证过程及验证的仿真结果。如表 9 中结果所示, 当 DSDV 算法切换到 DSR 后, 在传包率和能耗方面性能有所改善, 而当 DSR 切换到 DSDV 后, 算法在时延、吞吐量等方面性能有所提高。

Table 5. The weight for criteria
表 5. 指标权重

性能指标	传包率	时延	抖动	吞吐量	能耗
权重	0.333	0.111	0.111	0.333	0.111

Table 6. The attribute of metrics
表 6. 性能指标属性表

属性	越大越好	越小越好
性能指标名称	传包率, 吞吐量	时延, 抖动, 能耗

Table 7. The normalization results
表 7. 归一化结果

	传包率	时延	抖动	吞吐量	能耗
DSDV	0	1	1	1	0
DSR	1	0	0	0	1

Table 8. Ranking results
表 8. 排序结果

	GRC	排序
DSDV	0.693	① DSDV
DSR	0.643	② DSR

Table 9. Simulation results
表 9. 仿真结果

性能指标	Sim#1	Sim#2	Sim#3	Sim#4
传包率 (%)	69.10	84.90	85.00	69.30
时延 (ms)	3.63	7.87	7.88	3.66
抖动 (ms)	4.01	13.90	13.90	4.02
吞吐量(Mbps)	3.57	3.29	3.29	3.56
能耗 (J/pkt)	0.29	0.17	0.17	0.29

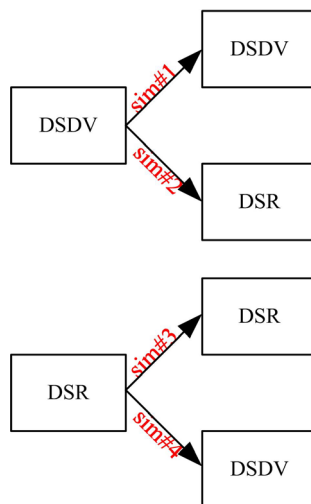


Figure 4. The experiment design
图 4. 验证实验结构图

4.2. 系统增益

定义 PIR 为某一特定指标下衡量算法切换的增益，对于属性为“越大越好”的指标

$$PIR = \frac{P_{target} - P_{ref}}{P_{ref}} = \frac{P_{target}}{P_{ref}} - 1 \quad (6)$$

对于属性为“越小越好”的指标

$$PIR = \left(\frac{1}{P_{target}} - \frac{1}{P_{ref}} \right) / \left(\frac{1}{P_{ref}} \right) = P_{ref} / P_{target} - 1 \quad (7)$$

其中 P_{ref} 和 P_{target} 分别代表算法切换前、后系统性能。

对不同指标下的 PIR 进行综合，可以获得系统整体的增益

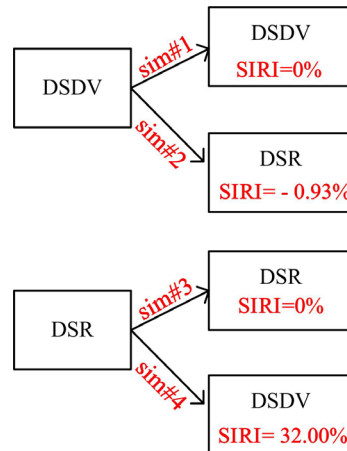


Figure 5. The performance gain

图 5. 性能增益图

$$SIRI = \sum_{i=1}^n (\omega_i \times PIR_i) \quad (8)$$

当 SIRI 为正值时，表示切换后系统的性能有所提高，反之，则表明系统性能出现了恶化。

图 5 所示为根据式(8)计算得到的系统整体性能增益结果。如图所示，当系统从 DSR 切换到 DSDV 是，可以获得 32% 的系统增益，表明系统性能得到有效改善；反之，若由 DSDV 切换到 DSR，系统整体性能将会下降。综上所述，DSDV 的整体性能优于 DSR。

5. 结束语

本文提出了一种基于 GRC 的无线自组织网络自适应算法。该算法综合考虑了各指标之间的相对重要性，能够在不同应用背景下，对路由算法作出自适应选择。当然，由于算法切换，会出现短时内丢包的现象，如何减少短时丢包是下一步研究的重点内容。

基金项目

本论文得到国家自然科学基金项目(61602334, 61502329, 61401297); 住房与城乡建设部科学技术项目(2015-K1-047); 江苏省自然科学基金项目(BK20140283)资助。

参考文献 (References)

- [1] Perkins, C.E. and Bhagwat, P. (1994) Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*. ACM, **24**, 234-244.
- [2] Johnson, D.B., Maltz, D.A. and Broch, J. (2001) DSR: The Dynamic Source Routing Protocol for Multi-Hop Wireless ad Hoc Networks. *Ad Hoc Networking*, **5**, 139-172.
- [3] Perkins, C., Belding-Royer, E. and Das, S. (2003) Request for Comments: Ad Hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing. *Experimental Internet Society*, **6**, 90-98.
- [4] Cho, T.K. and Lee, J.H. (2011) The Study on the OLSR (Optimized Link State Routing Protocol) Implementation in the Mobile Ad-hoc Network. *International Journal of Bifurcation & Chaos*, **60**, 67-80.
- [5] Lego, K.P., et al. (2010) Comparative Study of Ad Hoc Routing Protocol AODV, DSR and DSDV in Mobile Ad Hoc Network. *Indian Journal of Computer Science and Engineering*, **1**, 364-371.
- [6] Lawrence, E.E. and Latha, D.R. (2014) A Comparative Study of Routing Protocols for Mobile Ad-Hoc Networks. *International Journal of Computer Science & Mobile Computing*, **3**, 46-53.
- [7] Broch, J., Maltz, D.A., Johnson, D.B., et al. (1998) A Performance Comparison of Multi-Hop Wireless Ad Hoc Net-

work Routing Protocols. *Proceedings of the 4th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking*. ACM, 85-97.

- [8] The Network Simulator: ns-2. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [9] Xu, Z. (2000) On Consistency of the Weighted Geometric Mean Complex Judgement Matrix in AHP. *European Journal of Operational Research*, **126**, 683-687. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(99\)00082-X](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00082-X)

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: csa@hanspub.org