

# Research on Wireless Network Cross Layer Design Based on Multivariate Time Series

Binhai Liu

Jilin Vocational College of Industry and Technology, Jilin Jilin  
Email: 44364412@qq.com

Received: Apr. 5<sup>th</sup>, 2017; accepted: May 21<sup>st</sup>, 2017; published: May 24<sup>th</sup>, 2017

---

## Abstract

Specific for overloading problems in wireless network transmission process, combined cross-layer concept and multivariate time series' theory, a preprocessing mechanism for node load based on multivariate time series is proposed. In consideration of the cross-layer design, the packet delivery ratio and network throughput are monitored to establish the multivariate time series forecasting model, which will realize the dynamic prediction for nodes' load pressure. Simulation results show that the multivariate time series prediction model for packet delivery ratio and network throughput can effectively predict the nodes' load pressure, which can effectively avoid the formulation of congested nodes and thus to improve the transmission quality of the wireless networks.

## Keywords

Multivariate Time Series, Cross-Layer Design, Network Performance Prediction, Load Pressure

---

# 基于多元时间序列的无线网络跨层设计研究

刘滨海

吉林工业职业技术学院, 吉林 吉林  
Email: 44364412@qq.com

收稿日期: 2017年4月5日; 录用日期: 2017年5月21日; 发布日期: 2017年5月24日

---

## 摘要

针对无线网络传输过程中, 容易出现某些节点负载压力过大的问题, 利用跨层设计思想, 结合多元时间序列理论, 提出一种基于时间序列的节点负载预处理机制。利用跨层设计方法监测节点内分组投递率和

网络吞吐量的变化情况，并以此构建模糊时间序列预测模型，实现对节点负载压力的动态预测。仿真实验表明，基于分组投递率和网络吞吐量的模糊时间序列可以实现节点负载压力的有效预测，有助于避免无线网络中“热点”节点的形成，进而达到提高无线网络传输质量的目的。

## 关键词

多元时间序列，跨层设计，网络性能预测，负载压力

Copyright © 2017 by author 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

跨层设计思想打破了传统网络体系中“层”的界限，对物理层、数据链路层、传输层、网络层和应用层各层参数进行联合优化，获得各种通信性能指标之间的平衡，使总体通信性能最优，综合考虑网络体系结构中各个层的相关信息达到联合优化的目的。跨层设计包含不同层间的信息交互，包含每一层对这一信息的适应性设计和为了确保每一层的鲁棒性而嵌入的分集设计[1] [2]。目前，跨层设计主要研究的是物理层和数据链路层的参数联合优化问题。并且，无线网络传输过程中，比较常见的路由选择方式是以最小跳数作为路由选择的依据。当网络负载压力较小时，这种路由选择方式的弊端并不突出，但是当网络负载压力不断增大以后，以最小跳数为路由度量标准的路由选择方式，则由于缺乏对链路状况和节点处理能力等方面的综合考虑，使得在无线网络某些特定区域形成“热点”节点，最终导致丢包率增加，分组投递率明显下降等现象，另外热点区域节点的拥塞以及信道竞争都会加剧端到端延迟，从而导致网络吞吐量下降。

因此，本文在在跨层设计思想基础上，将监测到的层间参数构建成时间序列，运用时间序列预测模型实现节点负载压力变化趋势的预测，可以有效的改善无线网络节点传输过程中的动态自适应性[3] [4] [5]。本文针对无线网络传输过程中容易出现“热点”节点的问题，提出了一种基于模糊时间序列的节点负载预测机制。通过运用跨层设计思想，监测节点在某一时间段内数据链路层的分组投递率参数和网络层的吞吐量参数，计算两者之间的相关系数，构建二元模糊时间序列预测模型，用以预测无线网络节点的负载压力，从而有效规避“热点”节点的形成，进而保障无线网络的传输质量。仿真实验表明，应用时间序列对节点的跨层参数网络吞吐量和分组投递率实现了有效预测。

## 2. 时间序列预测模型

时间序列分析是将相互具有影响关系的信息数据按照时间顺序，组成关联序列，并对序列内在相关关系进行有效分析[6]。在无线网络传输过程中，根据跨层设计思想，将相关参数进行有效提取，构建每个参数的时间序列，并计算不同参数之间的相关关系，建立多元时间序列预测模型对其中某一参数的变化趋势做短期变化趋势预测。

本文中的时间序列预测模型在构建完成时间序列后，需要对样本空间中的训练样本进行符号化[7]。本文采用的符号化方法为统计向量空间法(SSVS 方法) [8]。其中所使用的统计特征包括等概率区间的频数统计特征、相邻两个数据大小关系的统计特征、相邻三个数据大小关系的统计特征。在进行等概率区间的频数统计特征的过程中，首先要进行等概率区间划分，可以将样本数据划分为  $I_1, I_2, \dots, I_m$  等  $m$  个等

概率区间, 并对序列进行符号化处理, 即使用这个数据所属的区间来表示这个数据, 然后统计等概率区间  $I_i$  出现的频数。由三类统计特征得到符号化序列, 特征向量长度为  $m+3+9$ , 确定特征向量的表达形式为:

$$I_1, I_2, \dots, I_m, <, =, >, <<, <=, <>, =<, ==, =>, ><, >=, >> \quad (1)$$

完成序列的符号化后, 需要计算序列的相关性。设  $p, q$  均为长度为  $n$  的特征向量, 其夹角余弦值可作为向量的相关性, 夹角余弦值越大, 说明两个向量的夹角越小, 相关性就越大。由公式(2)可得:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n p(i) \times q(i)}{\sqrt{\sum_{j=1}^n p(j)^2} \sqrt{\sum_{k=1}^n q(k)^2}} \quad (2)$$

当向量的相关性较小时, 认为对待预测变量选择的影响变量影响较小, 这时需重新选择影响变量。当向量的相关性较大时, 此时可用模糊 C 均值聚类方法对样本序列进行模糊化处理, 这样就可以用模糊子集来表示时间序列中的每个元素。模糊 C 均值聚类的聚类个数由公式(3)确定[9]:

$$k = \left[ \left| D_{\max} - D_{\min} \right| \sqrt{\frac{\sum_{t=2}^n |X(t) - X(t-1)|}{n-1}} \right] \quad (3)$$

其中,  $D_{\max}, D_{\min}$  分别表示样本数据的最大值和最小值,  $X(t), X(t-1)$  分别表示样本空间中时间序列的第  $t$  个数据和第  $t-1$  个数据,  $n$  表示样本空间中时间序列的长度。用  $C_1, C_2, \dots, C_k$  表示  $k$  个模糊子集, 对应的序列模糊化结果记为  $C_{k1}, C_{k2}, \dots, C_{kn}$ , 并用模糊子集的下标来表示模糊子集, 以方便预测过程中与模糊规则矩阵中的每一行进行比对。

根据模糊化的序列建立模糊规则矩阵。在模糊规则矩阵的建立过程中, 假定使用的是二元预测序列分别为序列 Q1 和 Q2, 设定模型为 3 阶, 即任意预测点的值只与该预测点的前 3 个值有关。建立的模糊规则矩阵为  $n-k$  行 7 列的矩阵, 其中  $n$  为序列样本数据个数,  $k$  为模型阶数。对于矩阵中的每一行的 7 个元素, 前三位为序列 Q1 中的一组连续三个数据, 第四位至第六位为序列 Q2 中对应时刻的一组连续三个数据, 第七位为预测结果。

通过在模糊规则矩阵中, 用待预测变量的模糊化变量与模糊规则矩阵进行匹配, 实现最终的数据预测。匹配公式如下:

$$\left( \sum_{j=1}^3 |\text{Vector}(j) - M(i, j)| \right) + \rho \times \left( \sum_{j=4}^6 |\text{Vector}(j) - M(i, j)| \right) \leq th \quad (4)$$

其中  $M$  为模糊规则矩阵,  $\rho$  为相关系数,  $\text{Vector}(1:3)$  为待预测变量模糊化序列在预测点前 3 个值,  $\text{Vector}(4:6)$  为影响变量模糊化序列对应的 3 个值。作为临界值  $th$ , 理论上应为越小越好, 但过小的  $th$  值可能导致匹配过程失败。匹配成功后, 本文利用重心法[9]去模糊化, 公式如下:

$$\text{Value}(VP(t)) = \sum_{i=1}^k c_i * \frac{p(i)}{\sum_{i=1}^k p(i)} \quad (5)$$

其中,  $VP(t)$  为模糊规则矩阵匹配的结果, 即在时刻  $t$  处的待预测变量  $VP$  的模糊子集编号,  $p(i)$  表示匹配过程中模糊子集  $c_i$  出现的频数。

### 3. 基于时间序列预测模型的跨层设计

在无线网络传输过程中，比较常见的路由选择方式是以最小跳数作为路由选择的依据。当网络负载压力较小时，这种路由选择方式的弊端并不突出，但是当网络负载压力不断增大以后，以最小跳数为路由度量标准的路由选择方式，则由于缺乏对链路状况和节点处理能力等方面的综合考虑，使得在无线网络某些特定区域形成“热点”节点，最终导致丢包率增加，分组投递率明显下降等现象，另外热点区域节点的拥塞以及信道竞争都会加剧端到端延迟，从而导致网络吞吐量下降[10] [11]。

针对负载压力增加导致的无线网络传输质量下降问题，本文提出一种基于时间序列的跨层传输机制。如图 1 所示，在无线网络传输过程中，首先通过跨层设计思想，监测节点的分组投递率和网络吞吐量。形成节点在某一段时间内的分组投递率和网络吞吐量的多元时间序列，并根据多元时间预测模型，进行节点分组投递率和网络吞吐量的预测，以此来判断无线网络负载压力是否过大。当网络负载压力在可接受范围内，则选择此节点继续传输；当网络负载压力过大时，返回该节点的前驱节点，重新选择下一跳节点进行传输。

在跨层监测过程中，通过对分组投递率和网络吞吐量的监测，判断节点的负载程度。在监测过程中，形成由分组投递率和网络吞吐量构成的二元时间序列，并对其进行有效的预测，用预测结果对节点的负载压力进行判断和预处理。若需要重新选择节点传输，则将负载压力信息反馈给传输层的 TCP/IP 协议中，利用 RTS/CTS 将负载信息反馈给其周围节点，收到信息的节点根据自身的负载压力情况进行决策。根据 802.11 协议，为了达到各节点可以动态获得相邻节点的负载压力信息的目的，可以在广播报文中添加一个标识 State，用以反馈相邻节点的负载情况。

如图 2 所示，当节点 C 预测结果是负载压力过大时，节点 C 向其前驱节点进行反馈通知，并将其前驱节点 B 的所有邻居节点设置为潜在路径节点集  $S\{A,F,G,H\}$ 。此时将节点 B 视为源节点，通过节点 B 向其他潜在路径节点发送广播，要求反馈这些节点的负载压力预测信息，并将这些节点预测信息视为节点的当前权值，从而进行 AFMR 分群算法[12]，形成新的传输路径。在执行算法前，首先向潜在路径节点集中所有节点发送一轮分组初始化信息，每个节点形成临时邻居节点表后，设置分群计时器。执行步骤如下：

- 1) 假使本节点的权值在其邻节点中最大，则宣布成立新群，群号为该节点的当前权值，并取消计时器计时；否则保持监听至计时终止。
- 2) 如果节点接受到邻居节点广播的成立新群的消息后加入新群，同时将此已加入新群的消息广播告知自己邻居节点，并取消计时器计时；否则保持监听至计时终止。
- 3) 在步骤 2)中，若发现比自己权值都小的节点都已加入其他群中，而自己没有任何群中，则宣布成立新群，并取消计时器计时；否则保持监听至计时终止。
- 4) 如果节点的分群计时器终止，为确定节点是加入一个群还是建立新群，此节点重置计时器，并向未有任何消息发送且权值大于自己的节点发送群状态询问包，规定收到此包的节点必须回应。如果收到节点的回应，执行步骤 1)~3)；如果没有收到节点的回应，则宣布建立新群，并告知邻居节点。

在利用多元时间序列预测模型进行预处理后，可以有效规避在无线网络传输过程中出现的“热点”节点问题，通过实时考虑节点负载压力变化的方式，有效的实现了无线网络节点的动态自适应机制。

### 4. 性能分析

本文分别使用 matlab 工具和 Glomosim 工具进行仿真，分别用于多元时间序列预测和跨层参数监测的仿真。在仿真过程中，选取 800\*800 的仿真范围，以 uniform 方式分布 30 个仿真节点，作为仿真场景，

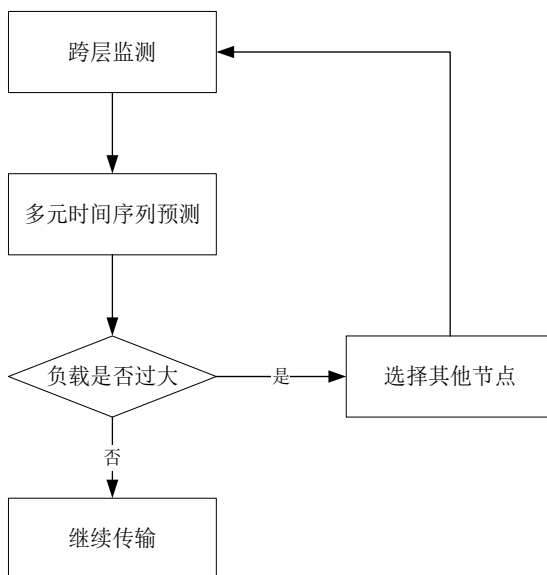


Figure 1. Based on multivariate time series out of the transmission flow chart

图 1. 基于时间序列的跨出传输流程图

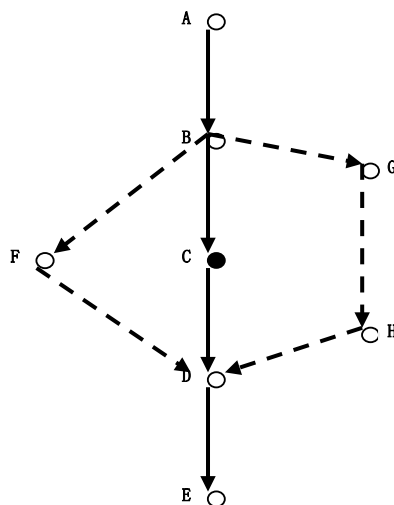


Figure 2. Node selection diagram

图 2. 节点选择示意图

仿真场景如图 3 所示。MAC 层使用 802.11 协议，并在此基础上对控制帧做了少许改动，物理层工作频率是 2.4 GHz。

随机配置 9 条 CBR 应用会话，每个会话以相同速率同时发送 30 个大小为 512 字节的报文，通过调整报文发送间隔，统计网络负载压力不断增大情况下，某一节点的分组投递率和网络吞吐量。采集某节点在时间段 t0 至 t30 内分组投递率和网络吞吐量序列，采集数据时间间隔为 10 ms。数据如表 1 所示。

表 1 中的网络吞吐量序列和分组投递率序列的时序图如图 4 所示。

对上述网络吞吐量和分组投递率原始序列进行一阶差分，得到两个差分序列的时序图如图 5 所示。

按公式(3)计算两个差分序列的聚类数均为 4，取最大聚类数为 4。分组投递率和网络吞吐量的差分序列特征向量分别如下(表 2 和表 3)。

根据这两个特征向量，按公式(2)计算其相关系数的 0.9067。建立的模糊规则矩阵如下(表 4)。

根据上述模糊规则矩阵对网络吞吐量差分序列进行预测，由差分序列预测结果得到原始网络吞吐量序列预测结果如图 6。

采用相同方法对分组投递率进行预测，预测结果如图 7。

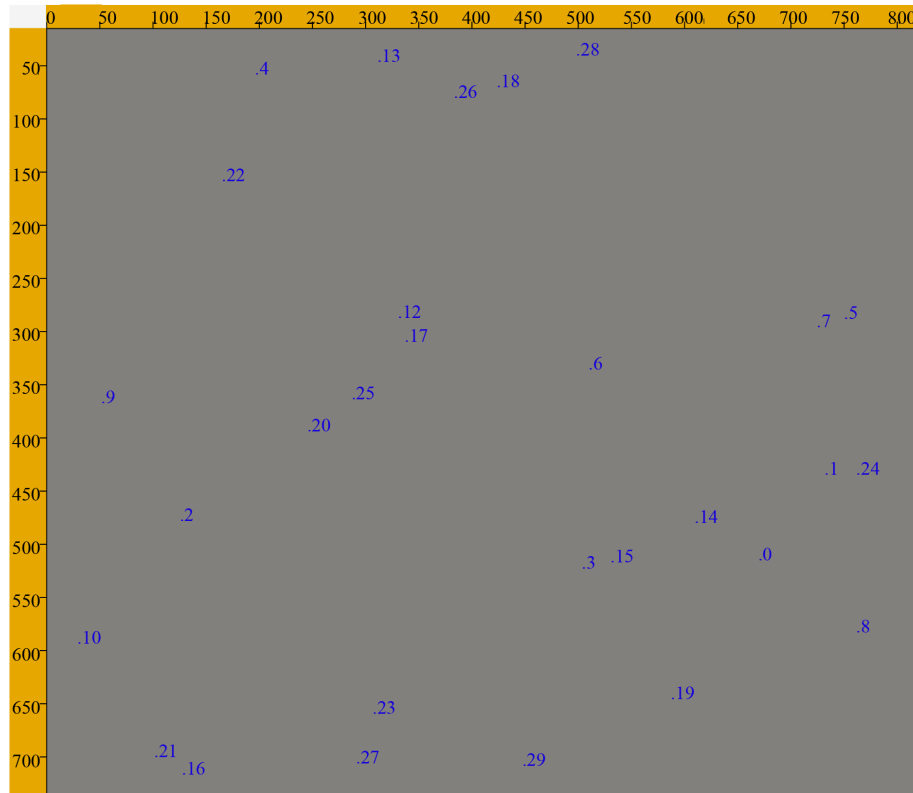


Figure 3. Simulation scene

图 3. 仿真场景

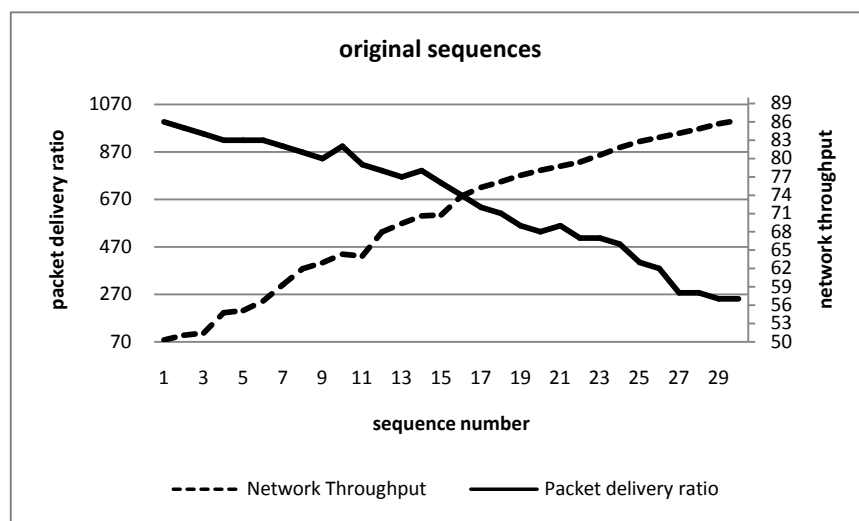
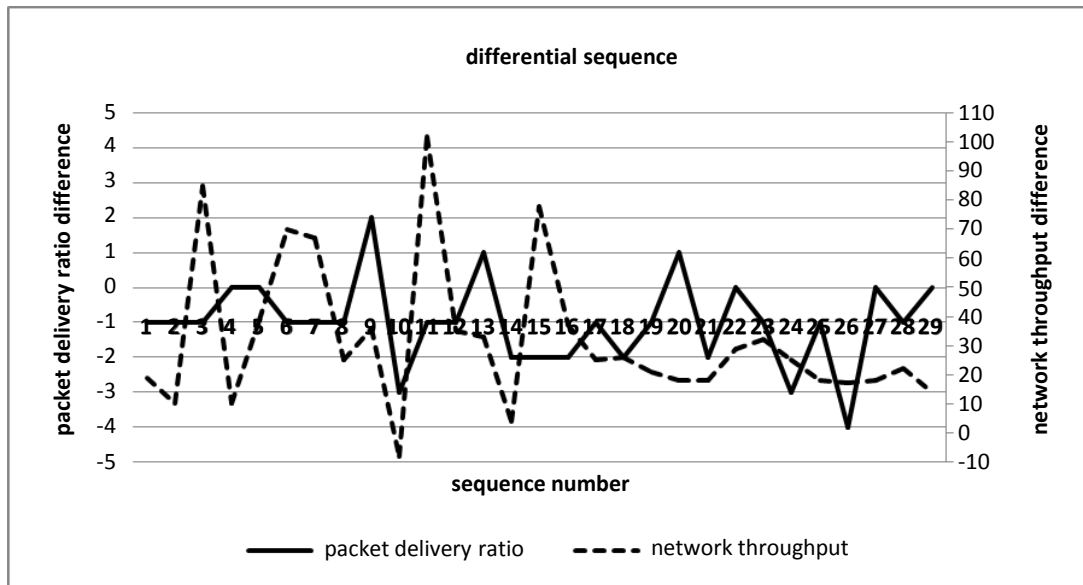


Figure 4. Primitive sequence timing diagram

图 4. 原始序列时序图



**Figure 5.** Differential sequence timing diagram  
**图 5.** 差分序列时序图

**Table 1.** Packet delivery ratio and network throughput series  
**表 1.** 分组投递率和网络吞吐量序列

86/78	85/97	84/107	83/192	83/202
83/241	82/311	81/378	80/403	82/439
79/471	78/533	77/568	78/601	76/655
74/683	72/720	71/745	69/771	68/792
69/810	67/828	67/857	66/889	63/914
62/932	58/949	58/967	57/989	57/1003

**Table 2.** Network throughput differential sequence feature vector  
**表 2.** 网络吞吐量差分序列特征向量

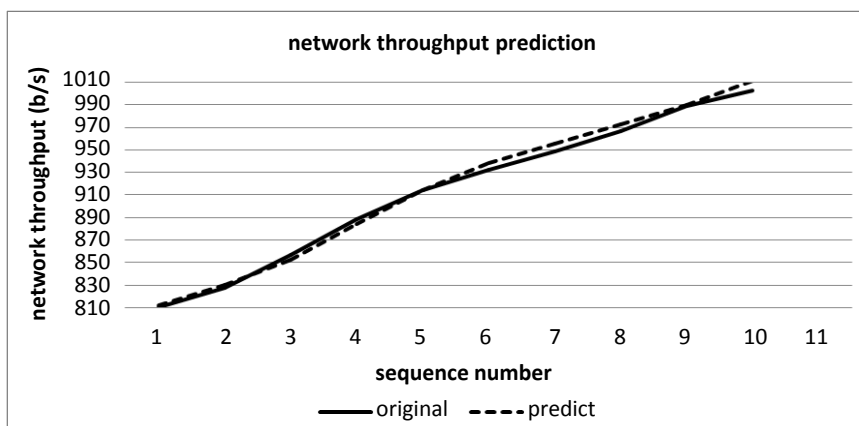
1	2	3	4	<	=	>	<<
6	7	8	8	7	10	11	0
<=	<>	=<	==	=>	><	>=	>>
4	3	1	3	6	6	3	1

**Table 3.** Packet delivery rate differential sequence eigenvector  
**表 3.** 分组投递率差分序列特征向量

1	2	3	4	<	=	>	<<
3	5	13	8	11	8	9	1
<=	<>	=<	==	=>	><	>=	>>
2	7	4	3	1	6	2	1

**Table 4.** Fuzzy rule matrix  
**表 4.** 模糊规则矩阵

	Throughput (t-3,t-2,t-1)			Delivery (t-3,t-2,t-1)			Throughput (t)
2	1	4	2	2	2	1	
1	4	1	2	2	3	3	
4	1	3	2	3	3	4	
1	3	4	3	3	2	4	
3	4	4	3	2	2	2	
4	4	2	2	2	2	3	
4	2	3	2	2	4	1	
2	3	1	2	4	1	4	
3	1	4	4	1	2	3	
1	4	3	1	2	2	3	
4	3	3	2	2	4	1	
3	3	1	2	4	1	4	
3	1	4	4	1	1	3	
1	4	3	1	1	1	2	
4	3	2	1	1	2	2	
3	2	2	1	2	1	2	
2	2	2	2	1	2	2	
2	2	2	1	2	4	2	
2	2	2	2	4	1	3	
2	2	3	4	1	3	3	
2	3	3	1	3	2	2	
3	3	2	3	2	1	2	
3	2	2	2	1	2	2	
2	2	2	1	2	1	2	
2	2	2	2	1	3	2	
2	2	2	1	3	2	2	



**Figure 6.** Comparison of network throughput prediction results  
**图 6.** 网络吞吐量预测结果对比



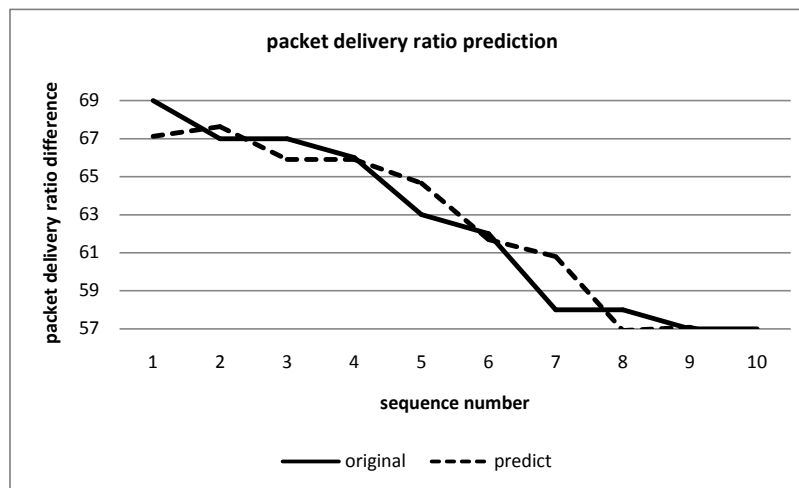


Figure 7. Comparison of group delivery rate forecast results  
图7. 分组投递率预测结果对比

## 5. 总结语

本文通过对无线网络传输过程中“热点”节点形成问题的研究，在跨层设计思想上，结合时间序列预测理论，提出了一种基于时间序列的节点负载预测机制。在实现节点负载压力预测的过程中，通过综合考虑传输过程中分组投递率和网络吞吐量的变化情况，构建关于分组投递率和网络吞吐量的二元时间序列，有效地解决了无线网络传输过程中“热点”节点的形成问题。通过仿真实验表明，分组投递率和网络吞吐量形成的二元时间序列，可以准确地实现网络吞吐量和分组投递率的预测，从而有效地预测节点负载压力。基于跨层设计的时间序列预测机制，有助于提高无线网络传输过程中的节点动态自适应性。希望在以后的工作中，结合其他优化策略，更进一步验证本文算法对网络性能的改善。

## 参考文献 (References)

- [1] Zhuang, W.H. and Zhou, Y. (2013) A Survey of Cooperative MAC Protocols for Mobile Communication Networks. *Journal of Internet Technology*, **14**, 541-559.
- [2] Cui, C.S., Yang, Y.J. and Li, X. (2012) Research on Congestion in Wireless Networks Based on Cross-Layer Design. *Advances in Information Sciences and Service Sciences*, **4**, 552-561. <https://doi.org/10.4156/aiss.vol4.issue20.66>
- [3] 张永敏, 徐伟强, 黄炯, 等. Ad Hoc 网络节能型功率控制与拥塞控制的跨层优化[J]. 软件学报, 2013, 24(4): 900-914.
- [4] Kim, Y.-D., Cho, K.-R., Cho, H.-S., et al. (2014) A Cross-Layer Channel Access and Routing Protocol for Medical-Grade QoS Support in Wireless Sensor Networks. *Wireless Personal Communications*, **77**, 309-328. <https://doi.org/10.1007/s11277-013-1507-z>
- [5] Shi, Q., Comaniciu, C., Wang, D.D. and Tureli, U. (2011) Cross-Layer MAC Design for Location-Aware Wireless Sensor Networks. *International Journal of Communication Systems*, **24**, 872-888. <https://doi.org/10.1002/dac.1195>
- [6] 管河山, 将青山, 王声瑞. 基于点分布特征的多元时间序列模式匹配方法[J]. 软件学报, 2009, 20(1): 67-79.
- [7] 钟清流, 蔡自兴. 基于统计特征的时序数据符号化算法[J]. 计算机学报, 2008, 31(10): 1857-1864.
- [8] 谭宏强, 牛强. 基于滑动窗口及局部特征的时间序列符号化方法[J]. 计算机应用研究, 2013, 30(3): 796-798.
- [9] 藺玉佩, 杨一文. 基于模糊时间序列模型的股票市场预测模型[J]. 统计与决策, 2010: 34-37.
- [10] 韩冰青, 张宏. 无线 Ad Hoc 网络中 QoS 感知的跨层资源分配算法[J]. 软件学报, 2010, 21(12): 3038-3150.
- [11] Amel, B. and Zoulikha, M.M. (2014) The Effects of Physical Layer on the Routing Wireless Protocol. *Wireless Personal Communications*, **77**, 749-765. <https://doi.org/10.1007/s11277-013-1534-9>
- [12] 谢鲲, 孙家奇, 龚闯, 文吉刚. 无线多跳网络分簇协作路由算法[J]. 小型微型计算机系统, 2013, 34(2): 210-215.

**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：[mos@hanspub.org](mailto:mos@hanspub.org)