

一种分布式车联网多跳信息广播协议

赵海¹, 田婷婷¹, 樊景超², 刘鹏¹

(1. 东北大学 信息科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110819; 2. 中国农业科学院 农业信息研究所, 北京 100081)

摘 要: 传统车联网通过蜂窝网进行信息传输, 该传输方式延迟时间较长, 难以应用于实时性高的报警信息的传输. 然而, 通过宽带无线网络的多跳广播方式, 传输报警信息可以有效地减少延时. 针对分布式车联网的特点, 提出了基于地理位置、面向发送端的多跳交替广播协议 AMBP(alternating multi-hop broadcast protocol). 首先, 根据邻居车辆信息表中记录的车辆节点信息, 选择下一跳中继节点. 然后, 利用邻居车辆信息表中的信息, 计算交替信息发送阈值. 最后, 根据报警信息数据帧长度与交替信息发送阈值的关系, 采取不同的发送策略. 实验结果表明, AMBP 协议降低了丢包率, 减小了多跳传输延迟和延迟抖动, 适合应用在分布式车联网环境.

关 键 词: 分布式车联网; 多跳传输; 中继节点; 报警信息; 广播协议

中图分类号: TP 393.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-3026(2014)09-1244-05

A Multi-hop Information Broadcast Protocol in Distributed Vehicular Networks

ZHAO Hai¹, TIAN Ting-ting¹, FAN Jing-chao², LIU Peng¹

(1. School of Information Science & Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China; 2. Agriculture Information Institute, Chinese Academy of Agriculture Sciences, Beijing 100081, China. Corresponding author: ZHAO Hai, E-mail: zhaohai@ise.neu.edu.cn)

Abstract: In traditional vehicular networks, most of the information transmissions were conducted by mobile cellular networks. One of the shortcomings of transmissions with cellular networks is the very long delay time, and consequently it is not applicable to real-time alarm information. However, in broadband wireless networks, the end-to-end delay of alarm information delivered through multi-hop broadcast transmission can be greatly decreased. According to the characteristics of vehicular networks, a transmitter-oriented AMBP(alternating multi-hop broadcast protocol) was proposed on the basis of geographical position. In the protocol, the next hop relaying node was selected by a vehicle and the alternate transmission threshold value was calculated with the neighbor information that was kept in its neighbor vehicle table. Finally, different transmission policies were taken by the proposed AMBP based on the relationships between packet size and the transmission threshold value. Experimental results showed that packet loss rate, transmission delay, and delay jitter can be successfully reduced by the proposed AMBP, which demonstrates that it is more suitable for distributed vehicular communication environment.

Key words: distributed vehicular networks; multi-hop transmission; relaying nodes; alarm information; broadcast protocol

随着汽车数量的增加, 交通事故发生频率呈逐年上升的趋势, 而通过多跳广播的方式传输报警信息可以有效减少报警信息的传输延时, 预防

车祸的发生^[1]. 此外, 即使交通事故已经发生, 通过广播协议将报警信息快速传输给周围车辆, 可以有效避免二次交通事故. 此前, 国内外一些学者

提出了多种多跳广播协议:1) 基于概率的多跳广播协议^[2]规定每个节点按照一定的概率进行信息转发,即当一个节点第一次收到一个安全数据帧时,节点以概率 P 进行转发.该协议实现简单,但是仅仅依据概率进行转发,广播性能并不理想;2) 基于计数的多跳广播协议^[3]通过判断计数值是否小于广播门限值,决定是否进行广播.但是,该协议在节点密度较高的环境下,信息冗余度比较大;3) 基于地理位置的多跳广播协议^[4]选择距离源节点较远的节点作为中继节点进行信息广播,可以提供更大的覆盖面积,而且能够有效地减少传输过程中多跳转发次数.但是该协议存在以下不足:1) 没有对车辆报警信息进行分类,进而根据不同的车辆报警信息类别采取不同的多跳广播方向;2) 没有充分利用分布式车联网的网络特性,即分布式车联网中车辆节点受到道路的限制,网络拓扑的分布成线状结构;3) 没有对数据帧进行分类,且没有根据不同的网络环境,采用不同的广播算法.

为了克服上述广播协议的不足之处,本文结合分布式车联网的特点,提出了多跳交替广播协议 AMBP(alternate multi-hop broadcast protocol).该协议不但可以增加信息传输可靠性,减小信息传输延时,而且能够减轻多跳信息广播协议存在的广播风暴和隐藏终端问题.

1 多跳交替广播协议

多跳交替广播协议 AMBP 根据邻居车辆节点信息表中车辆节点信息,选择下一跳中继节点,从而避免了由于通过竞争机制选择下一跳中继节点而造成的信息碰撞,有效地减小延迟时间.

1.1 交替信息发送阈值的计算

AMBP 协议通过邻居车辆节点信息表中的数据计算交替信息发送阈值.在分布式车联网中,假设某固定时刻车辆节点的数目为 n ,每个车辆节点在成功发送或接收数据包后,仍有数据包等待发送,并且信道是理想信道.基于 IEEE 802.11 DCF(distribution coordination function)传输控制机制,分布式车联网数据传输状态变化可以近似看作 2D 离散时间的马尔科夫链,即车辆节点发送数据包时,数据包的碰撞概率是独立的,并且概率为常数.车辆节点发送数据帧时,通过 DCF 的退避算法避免发生碰撞^[5],车辆节点在退避窗口中随机选择一个时隙的概率 P_{slot} 如下:

$$P_{\text{slot}} = \frac{2(1 - 2P_{\text{col}})}{(1 - 2P_{\text{col}})(W + 1) + P_{\text{col}}W(1 - (2P_{\text{col}})^m)}. \tag{1}$$

其中 $W = CW_{\min}$ (CW_{\min} 是竞争窗口的最小值,文中所有变量说明见表 1).

表 1 变量的说明 Table 1 Explanation of variables	
变量	含义
P_{col}	数据包的碰撞概率
P_{slot}	节点在退避窗口中随机选择一个时隙的概率
P_{s}	车辆节点成功发送数据帧的概率
CW_{\min}	竞争窗口的最小值
m	退避窗口的最大等级
n	车辆节点的数目
t_{sifs}	短帧间间隔
t_{difs}	DCF 帧间间隔
t_{PHY}	PHY 头部传输所需要的时间
t_{MAC}	MAC 头部传输所需要的时间
t_{ACK}	ACK 帧传输时间
δ	传播延时
L	交替信息发送阈值
a	分布式车联网中最小数据帧的长度
b	分布式车联网中最大数据帧的长度
l	数据负载
R	数据发送速率
$T_{\text{suc}}^{\text{bas}}$	成功发送非预约信道帧的延迟时间
$T_{\text{suc}}^{\text{ts}}$	成功发送预约信道帧的延迟时间
$T_{\text{fail}}^{\text{bas}}$	发送数据帧失败的延迟时间
$T_{\text{fail}}^{\text{ts}}$	发送 RTS 失败的延迟时间

一般来说, P_{slot} 与碰撞概率有关.碰撞概率是除自身节点以外的 $n - 1$ 个节点中至少有一个节点发送数据的概率,其计算公式如下:

$$P_{\text{col}} = 1 - (1 - P_{\text{slot}})^{n-1}. \tag{2}$$

车辆节点发送数据帧时,只有信道空闲且在相同时间间隔内,没有其他车辆节点选择发送,信息才能成功发送.所以车辆节点成功发送数据帧的概率 P_{s} :

$$P_{\text{s}} = \frac{nP_{\text{slot}}(1 - P_{\text{slot}})^{n-1}}{1 - (1 - P_{\text{slot}})^n}. \tag{3}$$

设传播延时为 δ ,交替信息发送阈值为 L , a 和 b 分别为分布式车联网中最小数据帧的长度和最大数据帧的长度,所以分布式车联网中数据帧的有效负载范围为 (a, b) ,单位为位.数据负载 l 可以用函数 $F(i) = P\{l = i\}$, $i \in (a, b]$ 表示.设 $T_{\text{suc}}^{\text{bas}}$ 表示成功发送非预约信道帧的延迟时间,如式(4)所示:

$$T_{\text{suc}}^{\text{bas}} = t_{\text{PHY}} + t_{\text{MAC}} + t_{\text{ACK}} + t_{\text{sifs}} + t_{\text{difs}} + 2\delta. \quad (4)$$

$T_{\text{suc}}^{\text{rts}}$ 表示成功发送预约信道帧的延迟时间, 计算如下:

$$T_{\text{suc}}^{\text{rts}} = t_{\text{RTS}} + t_{\text{CTS}} + t_{\text{PHY}} + t_{\text{MAC}} + t_{\text{ACK}} + 3t_{\text{sifs}} + t_{\text{difs}} + 4\delta. \quad (5)$$

成功发送数据帧的平均延迟时间与交替信息发送阈值的关系如式(6)所示:

$$\bar{T}_{\text{suc}}(L) = \sum_{i=a+1}^L F(i) (8i/R + T_{\text{suc}}^{\text{bas}}) + \sum_{j=L+1}^b F(j) (8j/r + T_{\text{suc}}^{\text{rts}}). \quad (6)$$

若数据帧发送失败, 即数据帧发送的过程中发生碰撞, 则数据帧的碰撞延时分为三种: 1) 数据帧与数据帧的碰撞延时; 2) 数据帧与 RTS (request to send) 帧的碰撞延时; 3) RTS 帧与 RTS 帧的碰撞延时. 设 $T_{\text{fail}}^{\text{bas}}$ 表示发送数据帧失败的延迟时间, 计算如下:

$$T_{\text{fail}}^{\text{bas}} = t_{\text{PHY}} + t_{\text{MAC}} + 8l/R + t_{\text{difs}} + \delta. \quad (7)$$

$T_{\text{fail}}^{\text{rts}}$ 表示发送 RTS 帧失败的延迟时间, 计算如下:

$$T_{\text{fail}}^{\text{rts}} = t_{\text{RTS}} + t_{\text{difs}} + \delta. \quad (8)$$

数据帧在发送过程中存在 4 种碰撞^[5]. 假设 2 种碰撞帧的负载分布为 x 轴和 y 轴, 则碰撞情况如图 1 所示.

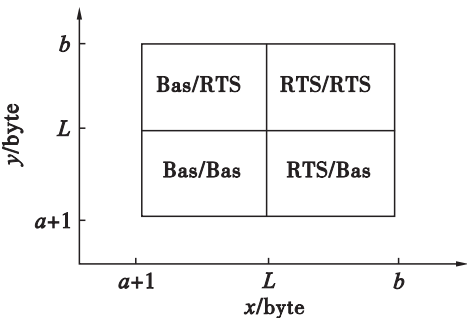


图 1 两个数据帧的碰撞
Fig. 1 Collision of two packets

其中 RTS/RTS 碰撞的延迟时间与交替信息发送阈值的函数关系为

$$T_{\text{c}}^{\text{rr}}(L) = \sum_{i=L+1}^b \sum_{j=L+1}^b F(i) F(j) T_{\text{fail}}^{\text{rts}}. \quad (9)$$

Bas/RTS 碰撞的延迟时间与交替信息发送阈值的函数关系为

$$T_{\text{c}}^{\text{br}}(L) = \sum_{i=a+1}^L \sum_{j=L+1}^b F(i) F(j) (T_{\text{fail}}^{\text{bas}} + 8i/R). \quad (10)$$

Bas/Bas 碰撞的延迟时间与交替信息发送阈值的函数关系为

$$T_{\text{c}}^{\text{bb}}(L) = \sum_{i=a+1}^L \sum_{j=a+1}^L F(i) F(j) (T_{\text{fail}}^{\text{bas}} + \frac{8\max(i,j)}{R}). \quad (11)$$

所以, 在分布式车联网中, 两个信息碰撞发送失败的平均延迟时间与交替信息发送阈值的关系可以用如下公式表示:

$$T_{\text{c2}}(L) = T_{\text{c}}^{\text{bb}}(L) + 2T_{\text{c}}^{\text{br}}(L) + T_{\text{c}}^{\text{rr}}(L). \quad (12)$$

通过以上分析本文得出 AMBP 广播协议传输延迟时间与交替信息发送阈值的关系如下:

$$T_{\text{tx}}(L) = P_{\text{s}} T_{\text{suc}}(L) + (1 - P_{\text{s}}) T_{\text{c2}}(L). \quad (13)$$

通过式(13)计算交替信息发送阈值方法如下:

$$\frac{dT_{\text{tx}}(L)}{dL} = 0. \quad (14)$$

通过式(14), 本文对不同数目节点的分布式车联网进行了计算, 结果如表 2 所示.

表 2 交替信息发送阈值的计算结果				
Table 2 Calculation results of optimum threshold				
节点个数	P_{col}	P_{slot}	P_{s}	交替信息发送阈值
5	0.178	0.047	0.904	556
10	0.289	0.037	0.837	241
20	0.398	0.037	0.766	141

1.2 直线道路的多跳广播机制

分布式车联网中车辆节点的个数随时间的变化明显, 本文根据上海 4 000 多辆出租车的 GPS 信息构建的实际移动模型 SUVnet (Shanghai urban vehicular network)^[6], 统计了上海各个时间段的车辆信息. 统计结果表明, 在不同时刻, 上海市内环道路上出租车数量变化显著. 现在, 大多数多跳信息广播协议都是采用一种广播算法, 没有根据周围车辆环境的变化采取不同的广播算法, 这就造成了一定的资源浪费. 在车辆节点密度高的情况下, 信息碰撞严重或者广播延迟时间急剧增加.

AMBP 协议根据车辆节点中邻居车辆信息表中记录的车辆节点信息, 计算出交替信息发送阈值. 根据广播数据帧长度与交替信息发送阈值的关系采取不同的广播算法.

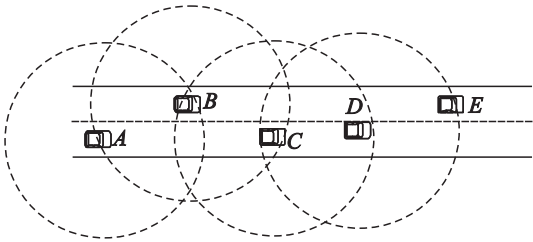


图 2 非预约信道帧的传输过程
Fig. 2 The transmission process for frames of unreserved channel

如图 2 所示,当广播数据帧的长度小于交替信息发送阈值时,在多跳信息广播的过程中,只广播非预约信道帧.其中,非预约信道帧是指在传送之前,无需采用 RTS/CTS (clear to send) 握手机制进行无线链路预约的帧.此时,网络状况良好,数据帧发生碰撞的概率较低.若采用 RTS/CTS 握手机制,则会浪费网络资源,增加延迟时间.其中各个车辆间信息帧的交换过程如图 3 所示.

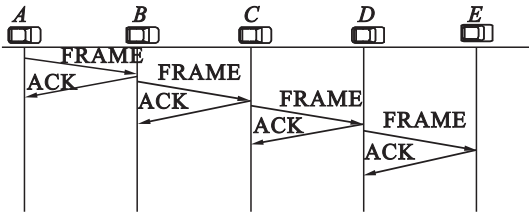


图 3 非预约信道帧传输过程中的帧交换
Fig. 3 The frame exchange in the transmission process for frames of unreserved channel

当广播数据帧的长度大于交替信息发送阈值时,则采取交替广播非预约信道帧和预约信道帧的方式,见图 4.其中,预约信道帧是指在传送之前,需采用 RTS/CTS 握手机制进行无线链路预约的帧.

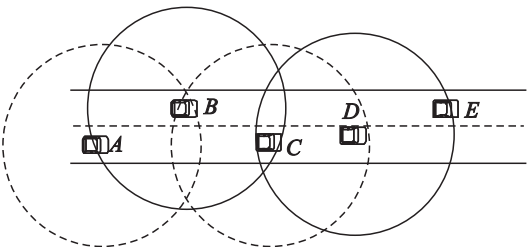


图 4 交替广播过程
Fig. 4 The alternate broadcast process

通过图 4 可以发现,虽然在多跳广播数据帧的过程中交替发送预约信道帧和非预约信道帧,但是预约信道帧依然可以覆盖网络中的每一个车辆节点,从而保证了广播过程中的可靠性,降低延迟时间.各个车辆间信息帧的交换过程见图 5.

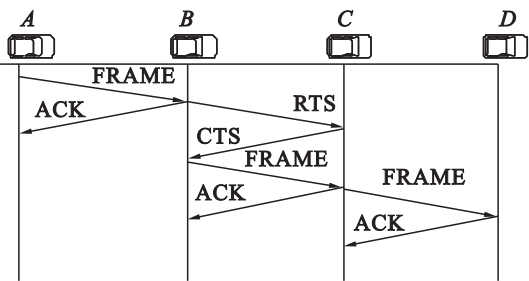


图 5 交替广播过程中的帧交换
Fig. 5 The frame exchange of the alternate broadcast

1.3 交叉路口的多跳广播机制

十字路口多跳广播协议与直线道路多跳广播协议的区别是直线道路上的广播方向是固定的,十字路口处的多跳广播方向是任意的.虽然目前已提出多种性能稳定的交叉路口多跳广播协议,例如文献[7-8],但是本文认为在十字路口处安装转发器效果更好.如图 6 所示,一些道路在交叉时,二者并不处于同一平面,例如高速公路与普通道路交叉.在这种情况下,如果采用文献[7-8]中的交叉路口多跳广播协议,则会把图 6 所示的路段当作十字路口,向各个方向发送数据帧,这就造成了信息的冗余.

本文采用交叉路口安装转发器,由转发器负责向各个方向广播信息帧,这样做的好处是避免将不同平面道路的交叉当作十字路口进行处理,并且十字路口转发器具有较大的覆盖范围.

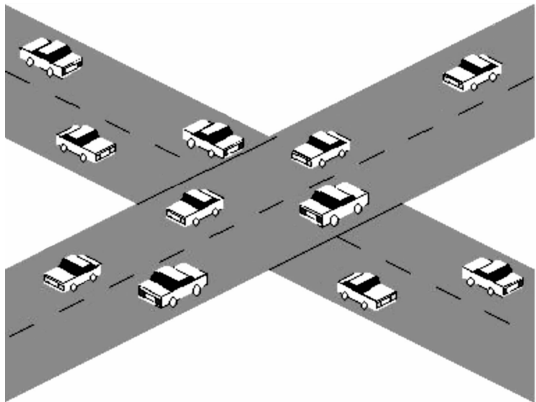


图 6 交叉路口
Fig. 6 Crossover the road

2 实验分析

本文分别对 AMBP, Slotted-p-persistence 和 EMPR 协议进行了实验验证,即在沈阳市文体西路路边放置实验节点,实验数据帧的长度为 200 字节,测试节点每隔 0.5 s 产生一次数据,在车辆通信范围内,节点的个数大约为 10~20 个.

2.1 丢包率

在城市道路环境中,车辆节点的密度较高,并且受到周围建筑物和无线设施的影响,网络状况较差^[9-10].通过图 7 可以看出 Slotted-p-persistence 的丢包率较高,这是因为在 Slotted-p-persistence 协议中,各个节点在收到广播数据帧以后按照一定的概率进行发送,信息发生碰撞.特别是在城市道路环境下,车辆节点密度高,信息碰撞的情况更加严重,所以丢包率较高.EMPR 协议通过一个辅助节点和一个中继节点进行发送,保证了信息的可靠

性,同时信息冗余比较低,所以丢包率低. AMBP 协议使用 RTS/CTS 握手机制保证了信息的可靠性,且信息冗余小,信息碰撞的可能性低,所以 AMBP 协议在丢包率上比以上两种协议低.

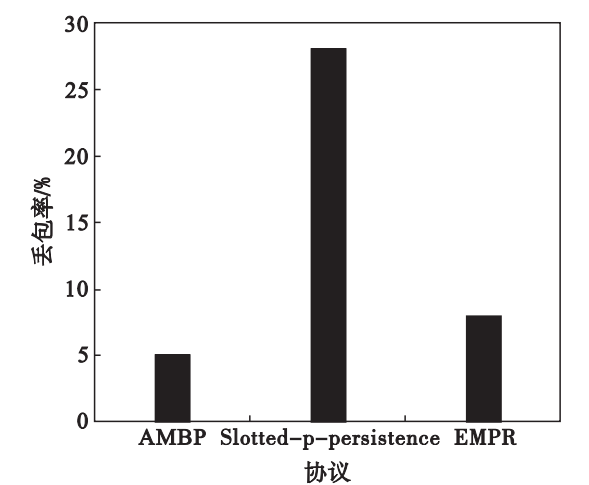


图 7 城市道路上丢包率
Fig. 7 Packet loss rate in city roads

2.2 延迟时间

表 3 描述了报警信息在 AMBP, EMPR, Slotted-p-persistence 三种协议下传输,随着跳数的增加延迟时间的变化. 通过表 3 可以看出 AMBP 协议传输延迟时间比 EMPR, Slotted-p-persistence 短,这是因为 AMBP 是面向发送端的多跳信息广播协议. AMBP 协议通过邻居车辆节点信息表选择下一跳中继节点,而 Slotted-p-persistence 是通过竞争机制选择下一跳中继节点. EMPR 协议选择两个节点进行发送,通过两个节点的重复发送保证可靠性. 中继节点在收到上一跳中继节点广播的数据后,需再次侦听信道收到的辅助节点广播的数据,并对信息进行校对后再发送,这就造成其延迟时间的增加.

表 3 报警信息传输过程中的延迟时间
Table 3 Delay time of alarm information transmission

跳数	AMBP	EMPR	Slotted-p-persistence
5	0.086	0.121	0.521
10	0.172	0.216	0.910
15	0.255	0.329	1.248
20	0.341	0.397	1.549
25	0.427	0.521	1.707
30	0.522	0.676	1.809
35	0.607	0.825	1.870
40	0.694	0.935	1.921
45	0.780	1.035	1.972
50	0.864	1.111	2.025
55	0.951	1.195	2.079
60	1.040	1.255	2.128

3 结 论

本文讨论了分布式车联网中多跳信息广播协议的研究现状,并对当前分布式车联网中多跳信息广播协议的特点进行了分析、归纳和总结,结合分布式车联网的特点,提出了多跳交替广播协议 AMBP. 该协议可以保证信息的可靠性,减小信息传输延时,并且有效克服广播风暴问题和隐藏终端问题. 实验结果证明,相对于 Slotted-p-persistence、EMPR, AMBP 协议在丢包率、延迟时间上具有更好的性能,适合应用在分布式车联网中.

参考文献:

[1] Toor Y, Muhiethaler P, Laouiti A. Vehicle ad hoc networks: applications and related technical issues [J]. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2008, 10 (3) : 74 - 88.

[2] Bae J S, Kum D W, Nam J C, et al. Neighbor information-based broadcast scheme for VANET [C] // *Communications (APCC)*, 2012 18th IEEE Asia-Pacific Conference on. Jeju Island, 2012: 544 - 545.

[3] Lo S C, Gao J S, Tseng C C. A water-wave broadcast scheme for emergency messages in VANET [J]. *Wireless Personal Communications*, 2012, 7 (1) : 1 - 25.

[4] Fan C W, Su K C, Wu H M, et al. An effective multi-hop broadcast control mechanism for emergency alert message in VANET [C] // *ITS Telecommunications (ITST)*, 2012 12th IEEE International Conference on. Taipei, 2012: 791 - 795.

[5] Yan S H, Zhuo Y N, Wu S Q, et al. The impact of RTS threshold on capacity of IEEE 802. 11 DCF [J]. *Journal of Electronic Science and Technology of China*, 2004, 2 (4) : 6 - 11.

[6] Huang H Y, Luo P E, Li M, et al. Performance evaluation of SUVnet with real-time traffic data [J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2007, 56 (6) : 3381 - 3396.

[7] Jagruti S, Eric H K W, Pratap K S, et al. Binary-partition-assisted MAC-layer broadcast for emergency message dissemination in VANETs [J]. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation System*, 2011, 12 (3) : 757 - 770.

[8] Hussain R, Son J, Eun H, et al. Traffic information system: a lightweight geocast-based piggybacking strategy for cooperative awareness in VANET [C] // *Consumer Electronics (ICCE)*, 2013 IEEE International Conference on. Las Vegas: IEEE, 2013: 614 - 615.

[9] Huang L, Leng S, Shao C, et al. An information relevance related broadcast scheme for safety packets in VANETs [C] // *Control Automation Robotics & Vision (ICARCV)*, 2012 12th IEEE International Conference on. Guangzhou, 2012: 1576 - 1581.

[10] Ma X, Zhang J, Yin X, et al. Design and analysis of a robust broadcast scheme for vanet safety-related services [J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2012, 61 (1) : 46 - 61.