

多总线融合 Ad Hoc 组网技术^①

陈锦旗¹, 蔡坚勇^{1,2,3,4}, 廖晓东^{1,4}, 郑 华^{1,4}, 石慧玲¹, 童飞扬¹, 陈玉思¹

¹(福建师范大学 光电与信息工程学院, 福州 350007)

²(福建师范大学 医学光电科学与技术教育部重点实验室, 福州 350007)

³(福建师范大学 福建省光子技术重点实验室, 福州 350007)

⁴(福建师范大学 智能光电系统工程研究中心, 福州 350007)

摘要: 在一些利用总线互联组成的微型区域网络应用中, 常常受总线带宽的限制, 存在组网速度较慢、网络拥塞的现象. 针对这种情况, 提出了一种多总线融合 Ad Hoc 的组网技术, 能够加快这种网络的组网速度和减轻网络拥塞. 该技术还能够感知周围路由节点的方向, 即路由节点具有矢量性的特点.

关键词: 多总线融合; Ad Hoc; 组网技术; 矢量性

Multi-Bus Fusion Ad Hoc Networks

CHEN Jin-Qi¹, CAI Jian-Yong^{1,2,3,4}, LIAO Xiao-Dong^{1,4}, ZHENG Hua^{1,4}, SHI Hui-Ling¹, TONG Fei-Yang¹, CHEN Yu-Si¹

¹(School of Electronic College of Photonic and Electronic Engineering, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

²(Key Laboratory of Optoelectronic Science and Technology for Medicine Ministry of Education, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

³(Fujian Provincial Key Laboratory for Photonics Technology, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

⁴(Intelligent Optoelectronic Systems Research Centre, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

Abstract: In the applications of micro area network which is composed of bus interconnection, there are some problems caused by the limitation of bus bandwidth such as low network speed and network congestion. In this paper, we propose a multi-bus fusion Ad Hoc network, which can improve the network speed and reduce network congestion. In addition, the system can detect the direction of the surrounding routing nodes, that is, the routing nodes possess the vector property.

Key words: multi-bus; Ad Hoc; networking technology; vector property

在一些微型区域网络如系统级的传感器网络、生产线上的物联网、多模块组成的组合式沙盘, 这种沙盘各个模块之间需要相互通信或者在一些大型的桌面游戏, 这种桌面游戏由多个模块组成并且模块与模块之间也需要相互通信等应用中, 网络节点与节点之间数据的传输采用当前主流、低成本单一的总线(比如 I2C、SPI、CAN、485、UART 总线等), 这类网络的拓扑建立和链路维护需要消耗大量的带宽资源^[1]. 受限于这些总线的通信带宽, 在实际的应用中会出现网络节点链路维护和节点与节点之间信息传输相互冲突的情况, 尤其当节点增加到一定数目时, 会出现严重的拥塞^[2]. 图 1 展示了节点与节点之间采用同一种总

线组网的网络拓扑结构.

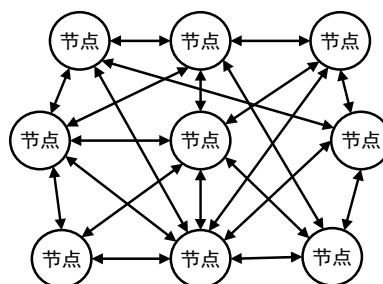


图 1 节点与节点之间采用同种一总线组网的拓扑结构

为了克服这种网络的缺点, 本文提出了一种新型的多总线融合 Ad Hoc 组网技术 MBFA (Multi-Bus Fusion

① 收稿时间:2016-03-04;收到修改稿时间:2016-05-12 [doi: 10.15888/j.cnki.csa.005522]

Ad Hoc Network). MBFA 网络在原来采用单一总线的结构上融合了另外一种总线, 并且在网络组网的机制上融合了 Ad Hoc 的组网特性. 这种新型网络能够快速识别节点的加入、退出以及路由链路的变化, 并且它的每个网络节点都能够感知周围节点的相对位置, 也就是说它具有方向性等特点.

1 MBFA网络结构和技术的实现

1.1 MBFA 网络的结构

如图 2 所示, 这种新型 MBFA 网络使用了两种总线: 第一种为节点与节点之间的总线 ANB(Adjacent Node Bus), 它是指节点与节点之间连接的总线. 另一种总线为区域系统总线 ASB(Area System Bus), 它挂接所有的网络节点, 相当于网络中每个路由节点都挂接到 ASB 总线上. ANB 总线负责相邻节点与相邻节点之间数据传输、链路维护和邻居节点的发现, ASB 总线负责广播整个网络的链路信息和传输实时性较高的数据, 这种组网和数据传输方式比单纯利用 ANB 总线“发送-储存-转发-发送”的效率要高很多. ASB 总线采用了 CSMA/CD(Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection)即带冲突检测的载波监听多路访问技术^[2]协议.

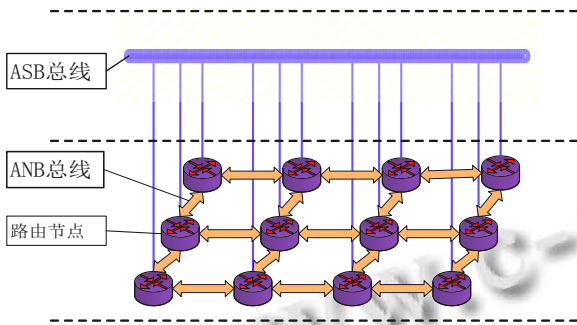


图 2 网络的拓扑结构

1.2 Ad Hoc 融合机制

Ad Hoc 网络是一种特殊无线动态、没有严格控制中心、不依赖于现有网络通信设施、多跳路由的移动网络. 该网络每个节点都必须负责网络节点的邻居发现、数据的传输和链路的维护. Ad Hoc 网络节点与节点之间的通信均是通过无线传输, 而无线信道的带宽相对有线信道要低得多, 并且 Ad Hoc 网络的结点可以随时移动、随时开机和关机, 为了快速的建立拓扑现

有的 Ad Hoc 网络就提供了一种快速组网的机制^[3].

MBFA 网络的组网机制, 融合了 Ad Hoc 网络的组网机制, 该组网的机制负责网络节点的邻居节点发现、数据的传输和链路的维护. MBFA 网络的节点支持热拔插功能, 每个节点都可以随意的加入或退出, 具有一定的独立性. 因此 MBFA 网络能够快速建立动态的网络拓扑、增强数据的传输能力和减小网络的拥塞^[3].

1.3 ANB 和 ASB 总线融合工作机制

MBFA 网络中两种总线相互配合的工作, 其 ANB 总线包含了 Ad Hoc 邻居发现、数据传输和链路维护的机制, 建立自己的邻居集. ANB 总线在这种工作机制中会监测到以下几种链路状态: 路由节点是否有链路的加入、是否有链路的丢失、是否链路质量发生变化等, 节点监测到上述任一种状态时就会启动 ASB 总线向全网发送链路更新信息. 工作机制如图 3 所示.

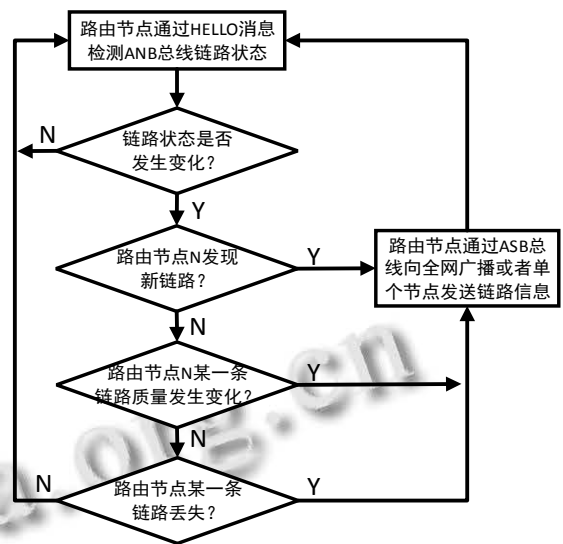


图 3 总线融合工作机制

ASB 总线采用 CSMA/CD 通信协议, 当节点通过 ASB 总线发送信息时, 首先监听信道是否空闲, 如果空闲则发送信息, 否则继续监听信道, 等到信道空闲才能发送信息帧. 在信息发送完成之后, 还要继续监听信道, 一旦监听到冲突, 便立即停止发送数据, 并向信道上发送一串阻塞信号, 通知信道上各个站点发生冲突.

1.4 节点的矢量性

MBFA 网络在实际的应用中, 每个路由节点都有若干个接口, 为了每个网络节点都能感知周围节点的相对位置, 须对网络中每个路由节点的接口建立一个

虚拟的相对坐标, 根据坐标确定每个路由节点接口的相对位置, 得出路由节点的相对位置. 如图 4 所示.

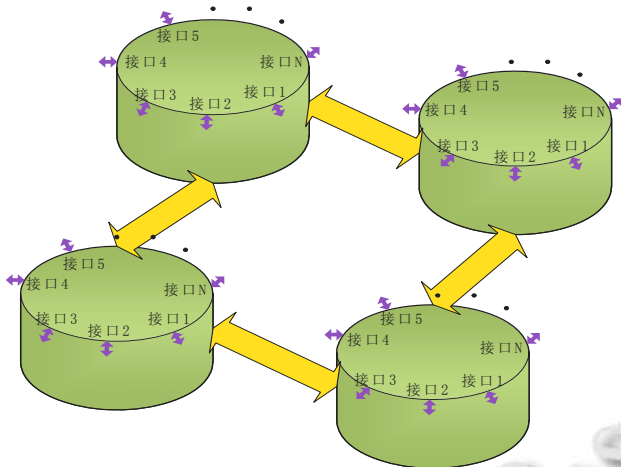


图 4 网络节点相对坐标示意图

如图所示假设图中每个节点有 N 个接口, 每个接口根据在实际网络节点中的位置赋予各自的坐标值, 设网络节点 M 中的接口 n 表示为

$$\text{Interface}\langle M, a_n, b_n \rangle$$

其中 (a_n, b_n) 为坐标值. 假设网络节点 I 存在三个接口分别是 $\text{Interface}\langle I, a_1, b_1 \rangle$ 、 $\text{Interface}\langle I, a_2, b_2 \rangle$ 、 $\text{Interface}\langle I, a_3, b_3 \rangle$. 其中接口 1 跟相邻节点 K 的接口 1 相连接, 表示为

$$\text{Interface}\langle I, a_1, b_1 \rangle \equiv \text{Interface}\langle K, a_1, b_1 \rangle$$

接口 2 跟相邻节点 H 的接口 1 相连接, 表示为

$$\text{Interface}\langle I, a_2, b_2 \rangle \equiv \text{Interface}\langle H, a_2, b_2 \rangle$$

接口 3 跟相邻节点 F 的接口 1 相连接, 表示为

$$\text{Interface}\langle I, a_3, b_3 \rangle \equiv \text{Interface}\langle F, a_3, b_3 \rangle$$

此时节点 I 根据本身三个接口的实际坐标值, 就可以判断相邻三个网络节点与本节点的相对位置.

1.5 MBFA 网络的寻找、维护和发现机制

1.5.1 HELLO 消息机制

Ad Hoc 网络相邻节点之间通过周期性的交换 HELLO 消息, 探测相邻节点的链路. MBFA 网络融入了这种链路探测机制, 依靠 ANB 总线周期性地交换 HELLO 消息, 探测相邻节点的链路.

相邻节点链路的探测依靠 HELLO 消息机制, 每个节点的接口间隔一个 HELLO_INTERVAL 时间, 向相邻节点发送一个 HELLO 握手信息. 相邻节点可能会在同一个时间点相互发送 HELLO 消息, 为了防止

发送 HELLO 消息出现冲突, 当节点在一个 HELLO_INTERVAL 时间点到来时, 并不是立马向相邻节点发送 HELLO 消息, 而是在等待一段随机时间间隔再向相邻节点发送. 随机时间间隔定义为 $(\text{Time} - \text{Random}(t))$, 其中 Time 是一个时间常数, $\text{Random}(t)$ 是在范围为 $0 \sim \text{Time}$ 的随机数. 所以每经过一段 $(\text{HELLO_INTERVAL} - (\text{Time} - \text{Random}(t)))$ 时间间隔, 向相邻接口发送 HELLO 握手消息^[4,5].

1.5.2 链路质量检测

节点向相邻节点发送若干次 HELLO 握手消息, 有可能出现没有得到应答的情况, 这种情况可能是链路断开、硬件故障或者应答丢失. 为了选择最优化的链路传递信息, 必须建立一种链路质量检测.

链路质量检测是对当前链路质量的检测. 节点为每个接口创建一个相邻节点之间链路的通达情况历史记录表 History , 历史记录表记录链路的通断比, 判断链路的质量.

为方便对当前链路质量划分等级和进行比对, 需对历史记录表 History 的值进行量化, 其量化公式如下所示.

$$\varepsilon_1 \text{History}\langle i, j, 1 \rangle + \varepsilon_2 \text{History}\langle i, j, 2 \rangle + \dots + \varepsilon_n \text{History}\langle i, j, n \rangle = \text{LQoS}_{(i)(j)}$$

其中 $\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \dots + \varepsilon_n = 1$

$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$ 对应历史记录表中参数 $\text{History}\langle i, j, 1 \rangle$ 、参数 $\text{History}\langle i, j, 2 \rangle, \dots$ 、参数 $\text{History}\langle i, j, n \rangle$ 的权值. $\text{LQoS}_{(i)(j)}$ 表示相邻节点 i 到相邻节点 j 单向链路的链路质量量化值. $\text{History}\langle i, j, n \rangle$ 中的 i 表示网络节点的编号, 而 j 表示 i 网络节点中标号为 j 的接口, n 表示记录表中的第 n 个数据. $\text{LQoS}_{(i)(j)}$ 其中 i 表示网络节点号, 而 j 表示 i 网络节点的第 j 个接口.

1.5.3 链路状态

MBFA 网络中各个接口的链路状态不一样, 分别为单向的链路、断开的链路、双向的链路. 因此必须使用链路状态信息表, 表示每个节点各个接口当前的状态. 每个节点为其每个本地接口 I 维护一张相邻节点表, 用于存储每个相邻节点接口 J 的状态信息.

节点链路状态转换流程图如图 5 所示. 当网络节点的每个接口发送握手消息前, 首先判断当前链路是否是全双工(Duplex)节点, 如果不是则在发送握手消息前加一段随机抖动时间(Random-Time). 当前节点

发送握手消息给相邻节点后，等待相邻节点的应答，若在最长时间 Response-Time 之内没收到应答，则在规程上连续未应变量(No-Response++)自加一次，记录一次未应答情况，并且把没有应答的情况，记录到 History 历史记录表中。当连续未应答次数 No-Response 超过 MAX 值时则标记当前链路为 (Slave-to-Master)单向链路，连续未应答次数超过最大值 MAX 并且在 Max-Time 时间之内也没有收到相邻节点的握手消息，则标记当前链路为(Lost)丢失链路。若连续未应答次数未超过最大值 MAX，但在 Max-Time 时间之内没有接收到相邻节点的握手消息则标记当前链路为(Master-to-Slave)单向链路。

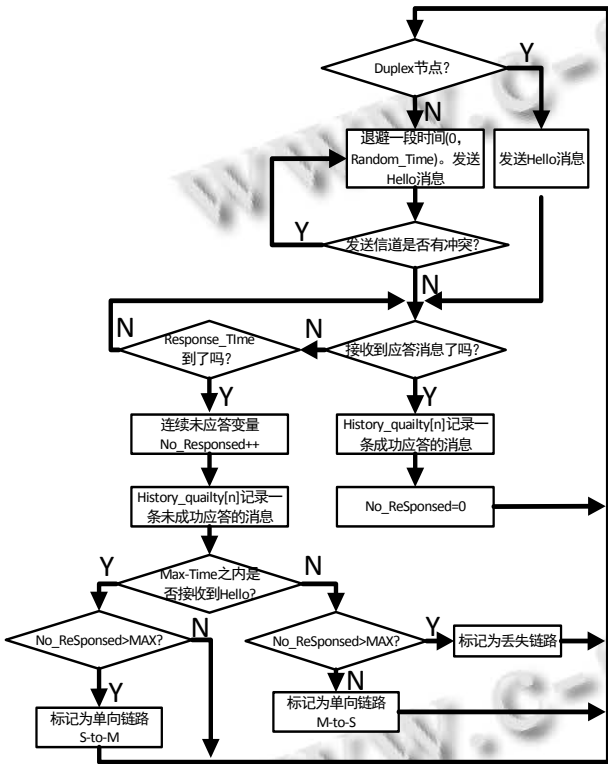


图 5 链路状态转换图

2 实验仿真

利用 NS2 仿真工具，对 MBFA 网络和单一总线网络进行仿真。为了比较这两种网络节点数不同时，性能上的差异，我们分别设置了6组的实验，这6组实验的节点数目分别是 9 个节点、12 个节点、16 个节点、20 个节点、25 个节点和 36 个节点。

在 NS2 的仿真过程中我们得到了 trace 文件，该文件的功能是详细记录仿真的全过程。其中字段 Start_time 表示事件发生的开始时间，End_time 表示事

件发生的结束时间。数据端到端延迟的表达式如下所示。

$$\text{Delay}=\text{End_Time}(n)-\text{Start_Time}(n)$$

其中 End_Time(n)表示第 n 节点接收数据的时间，Start_Time(n)表示第 n 节点发送数据的时间。

为了得到这两种网络数据传输饱和时的网络性能，在仿真过程中所有的节点都不间断的向其它节点发送数据，其数据包大小为 50 个字节。ANB 总线的带宽为 200Kb/s，而 ASB 总线的带宽设置为 500Kb/s。对端到端仿真得到的数据如下图所示。

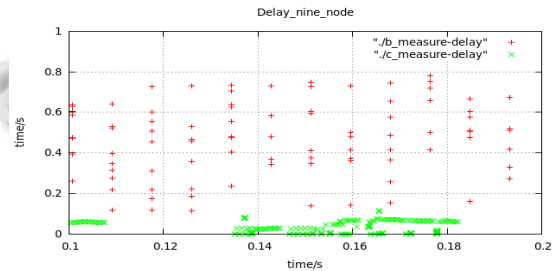


图 6 9 个节点数据延迟

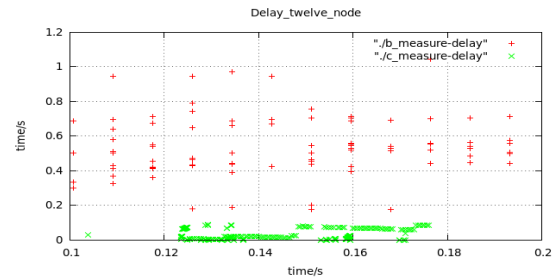


图 7 12 个节点数据延迟

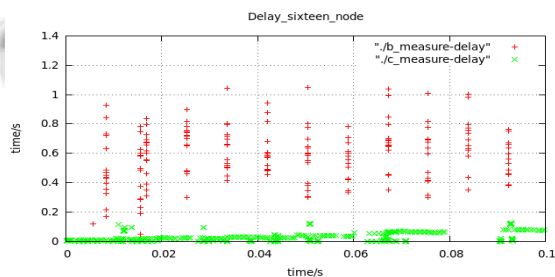


图 8 16 个节点数据延迟

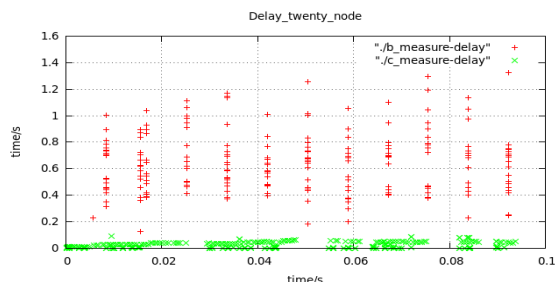


图 9 20 个节点数据延迟

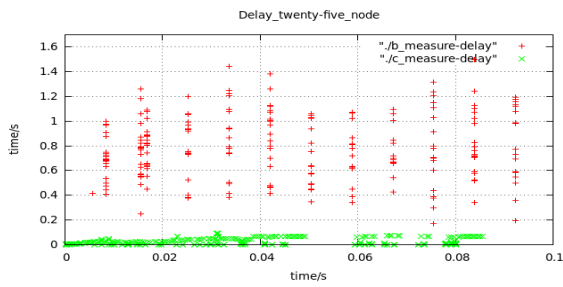


图 10 25 个节点数据延迟

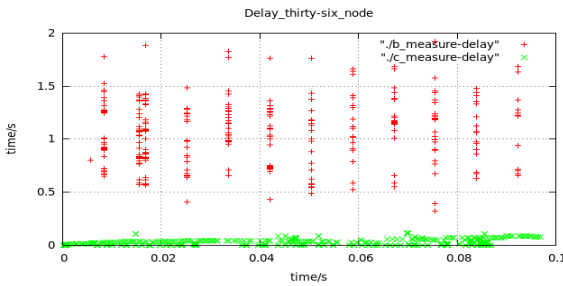


图 11 36 个节点数据延迟

上述图 6 到图 11 中红色的标号 + 表示单一总线网络的端到端延迟, 而绿色的标号 X 表示 MBFA 网络的端到端延迟. 仿真的结果可以看出对于采用单一总线组网的网络其数据端到端的延迟很大, 尤其当网络节点比较多时, 网络的性能就会显得很差. 而 MBFA 网络的数据延迟基本不受节点数目的影响, 并且数据延迟相对单一总线网络要小很多, 更适合多节点大规模网络的应用.

其端到端的延迟表如下所示.

节点数目	单一总线网络	TMBFA 网络
9	0.1S-0.8S	0.0S-0.1S
12	0.1S-1.0S	0.0S-0.1S
16	0.2S-1.2S	0.0S-0.1S
20	0.2S-1.3S	0.0S-0.1S
25	0.2S-1.5S	0.0S-0.1S
36	0.5S-2.0S	0.0S-0.1S

图 12 端到端的数据延迟散布表

从上述的散布表中可以得出对于普通网络的组网, 不管节点数目为多少其端到端的数据延迟都很大, 网络性能较差. 而节点的增加对 MBFA 网络数据的传输延迟影响较小.

如下图 13 所示两种网络的数据丢包率, 其中红色的线段表示普通网络的数据丢包率, 而绿色的线段表

示 MBFA 网络的数据丢包率. 从图中可以看出网络节点数相同时, 普通节点的数据丢包率远远大于 MBFA 网络的数据包丢包率. 随着节点的增加, 普通网络的丢包增长率远远大于 MBFA 网络的丢包增长率. MBFA 网络丢包率的增长率的变化较为缓慢, 从中可以得出 MBFA 网络的性能较好.

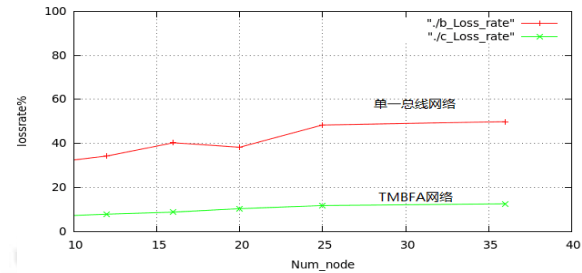


图 13 数据丢失率

3 结语

MBFA 网络增加了 ASB 总线并且融合了 Ad Hoc 快速组网的特性, 克服了传统网络的缺点. 当网络负荷较大时单一总线网络数据端到端延迟比 MBFA 网络要大得多, 并且单一总线的数据丢包率比 MBFA 网络高得多, 其丢包率随着节点的增加而增加, 而对于 MBFA 网络的数据丢包率并没有明显的增大, 基本维持在较低的水平. 从上述这些实验数据可以得出 MBFA 网络信息传输能力得到了增强, 减轻了网络拥塞. MBFA 网络在实际的应用中克服了传统网络缺点的同时也兼顾了成本, 具有相当大的研发应用价值.

参考文献

- 1 Thomesse JP. Fieldbus technology in industrial automation. Proc. of the IEEE, 2005, (5): 1073-1101.
- 2 Hu JJ. Performance analysis for ethernet CSMA/CD protocol. Journal of Gansu Lianhe University, 2009-02.
- 3 Chen LX, Zeng X. Mobile Ad hoc network. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2012.
- 4 You L, Li J, Wei C, Dai C, Xu J, Hu L. A hop count based heuristic routing protocol for mobile delay tolerant networks. The Scientific World Journal, 2014, 603547
- 5 Qiu XF, Liu JH, Liu JW. Design and implementation of Ad hoc network secure protocol simulation system. International Journal of Advancements in Computing Technology, 2012, 11(7): 84-91.