

# 采用动态令牌的 MANET 多址接入协议

孙献璞, 张艳玲, 宋 彬

(西安电子科技大学 ISN 国家重点实验室, 陕西西安 710071)

**摘 要:** 本文设计了一种采用动态令牌算法的 MANET 多址接入协议, 解决了隐藏终端和入侵终端问题. 利用这种算法, 不再需要为令牌的传递预先建立虚拟的令牌逻辑环路, 而是根据当前的网络拓扑结构自动地形成令牌的传递路由, 使得令牌的传递能够适应网络拓扑结构动态的动态变化. 同时, 通过周期性地产生令牌并严格地限制每个令牌的生存时间, 简化了令牌的维护过程, 并为时延敏感的业务提供良好的 QoS 保障. 另外, 该协议采用一种互同步技术, 具有成本低廉、运行可靠的特点, 可完全独立于其它系统 (如 GPS 等), 且已应用于实际的 MANET 网络.

**关键词:** MANET; 多址接入控制; TDMA; 令牌; 服务质量

**中图分类号:** TN915.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2006) 01-0118-05

## Research on Multiple Access Control Protocol with Dynamic Token Algorithm for MANET

SUN Xian-pu ZHANG Yan-ling SONG Bin

(National Key Lab. On Integrate Services Network Xi'an University, Xi'an, Shaanxi 710071 China)

**Abstract** A novel multiple access control protocol with dynamic token algorithm for MANET is proposed in this paper. The algorithm does not need to establish the virtual token transferring in advance. The path through which the token transfers is automatically formed according to the current network topology, which makes the path adapt to the dynamic network topology. To simplify the maintenance process of token and satisfy the QoS requirements of real-time service, the token is periodically established and the lifetime of each token is strictly limited. Furthermore, an interactive synchronization method is presented in this protocol, which makes the system operation completely independent on the other system (such as GPS etc.), as well as has the reliable performance and lower complexity.

**Key words** MANET; multiple access; TDMA; token; QoS

### 1 引言

MANET 是一种新型的无线网络, 该网络的所有节点均作为对等的实体存在. 与传统的无线网络相比, 其显著特点是不需要建立固定的通信基础设施, 仅仅由网络节点便可组成一个完整的网络. 网络中所有的节点都是可以移动的, 每个移动节点既是终端, 又是路由器, 具有分组业务的存储转发功能.

然而, 由于 MANET 的分布式控制特性, 使得它存在一些固有的缺点, 例如系统管理和控制比较复杂、存在隐藏终端和入侵终端问题、信道访问公平性不够理想等. 特别是隐藏终端和入侵终端问题, 会造成业务传输的严重碰撞, 从而极大地限制了 MANET 的系统的吞吐量. 同时由于采用分布式管理控制方式, 信道访问的公平性以及时延敏

感业务的 QoS 保障也是 MANET 的媒体接入协议的重点研究内容.

因此, 在 MANET 环境下, 本文提出了一种动态令牌多址接入控制协议. 首先, 该协议利用令牌来控制各节点的业务传输, 从根本上解决隐藏终端和入侵终端问题; 然后, 为了使令牌的传递能够适应网络拓扑结构的动态变化, 该协议根据网络的拓扑结构自动建立令牌的传递路由, 无需预先建立令牌环路. 同时, 该协议还采用了动态群首和动态令牌技术, 通过周期性地产生令牌, 且严格地限制每个令牌的生存时间, 解决了令牌维护算法复杂的问题, 并使整个系统具有良好的信道访问公平性.

### 2 MANET 媒体接入协议及其特点

目前, MANET 多址接入控制协议主要可以分为四类:

第一类是忙音方式, 即节点在发送和接收业务的同时发送一个忙音信号, 以解决隐藏终端问题, 例如 R-BTMA<sup>[1]</sup>、BCMA<sup>[2]</sup>、PCMA<sup>[3]</sup>、DBTMA<sup>[4]</sup>等。这类方式的主要优点是实现相对简单, 但由于需要在业务传输频道之外再建立一个窄带频道来传输忙音信号, 这就降低了频率利用率、增加了设备的复杂度, 并且无法避免入侵终端问题。

第二类是发送节点在数据发送之前与接收节点进行一次控制短消息的握手交换, 以短消息的方式通知相邻节点它即将进行接收, 即 RTS/CTS 方式, 例如: DBTMA<sup>[4]</sup>、MACA<sup>[5 6]</sup>、MACAW<sup>[7]</sup>、FAMA<sup>[8]</sup>等。这类方式是目前解决隐藏终端问题的主要方法, 其主要优点是具有较高的吞吐量, 但由于它们都是基于争用的 MAC 层接入控制协议, 因此无法为时延要求较高的业务提供 QoS 保障, 同时也无法完全解决入侵终端问题。

第三类是基于 TDMA 的一种多址接入协议, 例如: DPRMA<sup>[9]</sup>、MAC-RSV<sup>[10]</sup>、ADAPT<sup>[11]</sup>、FPRP<sup>[12]</sup>等。这类方式的主要优点是可以为实时业务提供良好的 QoS 保障, 并在一定程度上可以解决隐藏终端问题, 但仍然无法完全解决入侵终端问题。

第四类是无线令牌环方式, 即 WTRP 方式<sup>[13]</sup>。其主要优点是可以彻底解决隐藏终端和入侵终端问题, 并通过令牌环的周期查询接入控制, 为时延敏感的业务提供 QoS 保障。但是这种方式在业务传输之前, 需要建立一个虚拟的逻辑令牌环路来进行令牌的顺序传送。由于在 MANET 环境下, 网络的拓扑结构是不断变化的, 因此令牌环路也要不断地进行修改和重建, 这就占用了大量的系统资源。此外, 令牌的丢失和多令牌的消除问题, 也极大地增加了系统控制的复杂性。

为了从根本上解决隐藏终端和入侵终端问题, 本文在下一节提出了一种动态令牌多址接入协议。该协议无需预先建立令牌环路, 而是根据当前的网络拓扑结构自动建立令牌的传递路由。同时, 该技术还采用了动态群首和动态令牌技术, 解决了复杂的令牌维护问题, 使得系统具有良好的信道访问公平性。

### 3 动态令牌协议的组成

#### 3.1 信号的时序结构

动态令牌协议的时序结构如图 1 所示。其中一个超帧包含的时帧个数大于或等于网络允许的最大节点数。每个时帧中包含一个时标域、一个管理控制域, 以及若干次令牌的传递和业务的传输。在一个超帧中, 每个节点固定地在某个指定的时帧的时标域中发送时标信号, 并通过管理控制域发送节点的入网申请和入网许可信令, 或传输必要的网络管理信息。时标信号的主要作用是: 标明发送节点的时间基准; 供其它节点发现节点之间的邻接关系; 供其它节点对发送节点的信号质量进行预测。在某个时帧中发送时标信号的节点为该时帧的动态群首。只有它能够占用该时帧的管理控制域, 并负责在本时帧的开始时刻产生

令牌。最后, 每个令牌在时帧的结束时刻之前被消除。

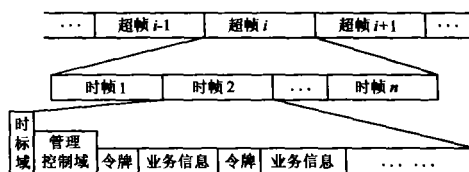


图 1 信号的时序结构

#### 3.2 网络的建立和新节点的入网过程

在网络的运行过程中, 每个新加入节点必须首先进行入网登记, 然后才能参与网络的各种操作和进行业务信息的传输。本文假设所有的通信链路均为双向链路, 且事先确定每个时帧中作为动态群首的节点。下面给出网络的建立过程。

当某新节点开始工作后, 首先处于接收状态, 监测其通信范围之内是否已经建立了一个网络, 即是否有其它已入网节点发送时标信号, 其中监测的时间应保证不小于一个超帧所占的时间。

如果该新节点没有接收到任何时标信号, 表明在其有效的通信范围内尚未建立网络。此时该新节点按照其本身的时间基准主动发送时标信号, 以示建立一个新的网络。同时该新节点成为已入网节点, 以后每隔一个超帧的时间, 该节点均在序号相同的时帧中发送时标信号, 并对其它新节点的入网请求进行检测。

如果新节点监测到其它已入网节点发送的时标信号, 则将一个超帧中能够接收到的所有时标信号全部接收下来, 并从中提取出时间基准, 然后按照式 (1) 调整其时间基准<sup>[14]</sup>:

$$T_i = \min(T_{ij}), j = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

式中  $T_i$  为新节点调整后的时间基准,  $T_{ij}$  为新节点接收到的第  $j$  个时标信号中的时间基准,  $m$  为接收到的时标信号数。新节点对其时间基准调整完毕后, 就可以在指定的时帧中发送时标信号, 同时在该时帧的管理控制域中发送入网请求信令。

接下来, 当某个已入网节点接收到新节点的入网请求时, 对其合法性进行判断, 如果为合法节点, 则在其对应时帧的管理控制域中发送入网许可信令, 以示允许新节点加入网络。

最后, 新节点在发送完入网申请信号后, 接收一个超帧中所有管理控制域中的信息, 分析是否有已入网节点允许本节点的入网请求。如果有, 则表明新节点已正确登录, 完成入网登记过程并成为已入网节点; 否则, 证明登录失败, 要采用退避方法等待一段时间后重新进行入网登记。

#### 3.3 网络的实时同步调整

为了防止节点之间时钟的偏差导致网络失步, 规定在每个超帧中, 所有已入网节点必须动态地调整其时间基准。具体方法为: 在每个超帧中, 每个节点在指定的时标域中发送时标信号, 同时接收其它节点发送的时标信号。当

某个节点在一个超帧中接收到若干个节点发送的时标信号后,从中提取出时间基准,并根据这些时间基准对本节点的进行动态调整.时间基准的调整规则如式(2)所示:

$$T'_i = m \ln(T_0, T_j), j = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

式中,  $T_i$  为当前节点调整前的时间基准,  $T'_i$  为当前节点调整后的时间基准,  $T_j$  为接收节点收到第  $j$  个时标信号中的时间基准,  $m$  为接收到的时标信号数.当节点完成时间基准的调整后,在下一个超帧中按照新的时间基准发送其时标信号.

### 3.4 令牌的产生和传递方法

在每个时帧中,动态群首负责在时帧的开始时刻产生令牌,且首先持有该令牌.当持有令牌的节点完成业务信息的传输后,再将令牌传递给其某个相邻节点.

当某个节点获得令牌后,由于令牌的生存时间受限,因此要对令牌的剩余信道容量进行计算,即从持有令牌的当前时刻到本时帧结束时刻所能够传输的最大业务量.计算方法如式(3)所示:

$$C = (T_i - T) \times S \quad (3)$$

式中,  $C$  为令牌的剩余信道容量,  $T_i$  为本时帧结束的时刻,  $T$  为当前节点持有令牌的当前时刻,  $S$  为链路的传输速率.如果令牌的剩余信道容量不足以传输任何业务时,则终止业务的传输和令牌的传递,令牌自动消亡;否则在令牌的剩余信道容量规定的范围之内,根据需要传输业务信息,之后再令牌传递给下一个节点.

在本文提出的算法中,由于令牌的传递无需预先建立虚拟的令牌逻辑环路,因此必须对令牌的传递顺序进行约束,否则令牌的传递路由可能会形成局部的闭合环路,如图2所示.图中由虚线相连的两个节点为邻近节点,带箭头的实线表示令牌传递的方向.当节点1持有令牌并完成业务传输后,将令牌传递给节点2,节点2将令牌传递给节点3,节点3将令牌再传递回节点1,而节点1又将令牌传递给节点2,依次类推.这样,在一个时帧内,其它节点就无法持有令牌,即无法传输业务信息.

为了解决图2中出现问题,本文在协议中制定如下规则:

(1) 在每个超帧开始的时刻,各节点首先根据当前的邻近节点表将所有邻近节点进行排队,形成令牌传递队列;

(2) 持有令牌的节点在完成业务传输后,将令牌传递给其令牌传递队列的队首节点,并将该节点从队列中取出插入队尾;

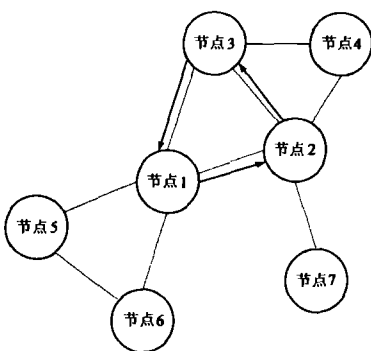


图2 令牌传递的环路情况

(3) 而未持有令牌的节点对信道进行监测,当它发现某个节点进行令牌传递时,将该节点从令牌传递队列中取出插入队尾,然后判断是否能够持有该令牌,如果不能持有,则继续监测信道,否则,该节点持有令牌.

### 3.5 业务的传输

本文在传输业务信息时使用时分复用方式,即每个节点首先将本节点需要传输的各种业务信息,以及其它节点需要通过本节点中继传输的信息进行复接,当节点持有令牌时,传输这些复接信息,并按照3.4节令牌传递控制的方法将令牌传递给其它节点.而其它节点接收到这个节点的业务信息时,进行解复用处理,提取出传递给本节点的业务,同时将需要通过本节点进行中转的业务信息提取出来同本节点传输的业务信息进行复接,以便在其持有令牌时进行传输.

在实际应用时,为了保障实时业务的服务质量和每个节点业务传输的均衡性,节点在进行业务复接时,除了要考虑令牌的剩余信道容量以外,还要考虑以下几个因素:本节点缓存的实时业务量( $C_r$ )大小、令牌传递经过的节点数目( $N$ ),以及本节点缓存的非实时业务量大小( $C_n$ ).式(4)给出节点实际复接的业务量  $C_x$ :

$$C_x = f(C_r, N, C_n) < C \quad (4)$$

在进行业务复接时,应优先安排实时业务的传输,即  $C_x$  与  $C_r$  成正比;节点在持有令牌时,令牌经过的节点越多,则在令牌的生存时间内,未获得令牌的节点就越少,因此  $C_x$  与  $N$  成正比;为了使得非实时业务的传输延迟不至于过大,  $C_x$  与  $C_n$  也应成正比.由式(4)可知,在任何情况下,节点复接的业务量都应该小于令牌的剩余信道容量.

## 4 其它问题的解决

### 4.1 代理动态群首

在实际应用中,网络(或子网)当前的规模可能会小于规定的网络最大规模,即网络(或子网)中的实际入网节点数小于一个超帧中的时帧数.这样,在某些时帧中就没有群首,因此也不会产生令牌,从而造成信道利用率的降低.

为了解决这个问题,可以让前一个时帧中最后持有令

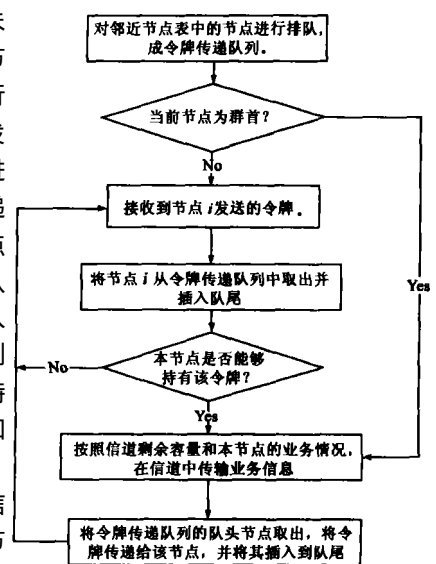


图3 令牌的传递控制方法

牌的节点作为该时帧的代理动态群首, 产生令牌并首先持有令牌。

#### 4.2 令牌传递队列的更新

为了使得令牌的传递能够适应网络拓扑结构的动态变化, 必须对各个节点的令牌传递队列进行周期性的更新, 具体算法如下:

在每个超帧中, 每个节点应尽可能地接收其它节点发送的时标信号, 并根据接收到的时标信号及质量对其相邻节点表进行适当的修改。如果接收到某个节点发送的时标信号, 且该信号具有良好的质量, 则将发送节点视为相邻节点记录在相邻节点表中; 如果没有接收到某个节点发送的时标信号, 或接收到的时标信号质量很差, 则将对对应节点置为非相邻节点。当下一个超帧开始时, 各节点根据相邻节点表记录的内容, 重新形成令牌传递队列。

### 5 性能分析及实验结果

#### 5.1 系统的数学模型

由于本文提出的协议采用令牌来控制每个节点的业务传输, 因此从根本上解决了隐藏终端、暴露终端和入侵终端问题, 完全避免了碰撞, 使得系统具有较高的吞吐量。如果不考虑令牌传递等其他网络开销, 且信道为理想无误信道, 并忽略传播时延的影响, 则系统的饱和吞吐量可以达到信道的容量。

假设各个节点业务分组的到达相互独立且服从泊松分布, 而系统总的业务到达概率服从参数为  $\lambda$  的泊松分布, 其中分组长度固定且每个分组的传输 (服务) 时间为单位时间, 业务允许的最大延时为  $m$ , 每个时帧的长度为分组长度的整数倍, 这样网络可等效为  $M/D/1/m$  模型, 其性能可以由式 (5) 表示:

$$\begin{cases} P_0 = P_0 p(0) + P_1 p(0) \\ P_i = P_0 p(i) + \sum_{k=1}^{i+1} P_k p(i-k+1), 1 \leq i \leq M-1 \\ P_M = P_0 [1 - P(M)] + \sum_{k=1}^M P_k [1 - P(M-k+1)] \\ \sum_{i=0}^M P_i = 1 \end{cases} \quad (5)$$

式中,  $P_i$  表示排队长度为  $i$  的概率,  $p(i)$  表示单位时间到达  $i$  个业务分组的概率,  $P(i)$  表示单位时间到达的业务分组数小于  $i$  的概率。则分组平均的丢弃概率为:

$$P_{drop} = \frac{P_0 \sum_{k=M+1}^{\infty} (k-M)p(k) + \sum_{i=1}^M P_i \sum_{k=M-i+2}^{\infty} (k+i-M-1)p(k)}{\sum_{i=0}^M P_i \sum_{k=0}^{\infty} kp(k)} \quad (6)$$

分组的平均延时为:

$$T = \left( \sum_{i=0}^M iP_i \right) / \lambda \quad (7)$$

#### 5.2 网络拓扑结构的适应性

从前面的讨论可以看出, 该协议所用的令牌传递算法, 无需预先建立虚拟的令牌传递环路, 而是根据各个节点的令牌传递队列形成令牌传递路由。而令牌的传递队列能够即时地感知网络拓扑结构的动态变化, 因此, 这种令牌传递算法能够适应网络拓扑结构的动态变化。

#### 5.3 令牌丢失和多令牌消除

在本文提出的协议中, 由于令牌是周期性地自动产生的, 且每个令牌的生存时间被严格地限制在一个时帧之内。因此在令牌的传递过程中, 如果出现了令牌的丢失, 则可以不进行任何处理, 在下一个时帧中系统会重新产生一个新的令牌。同时, 由于无需对令牌的丢失问题进行特殊的处理, 也就不存在多令牌问题, 即避免了复杂的多令牌消除问题。

#### 5.4 信道访问的公平性和业务传输的均衡性

本协议所用的令牌传递算法, 基本让所有节点都能够有机会持有令牌, 并且相邻节点越多的节点, 持有令牌的概率越大。这是由于相邻节点多的节点, 需要经过该节点中继的业务也越多, 其业务量也大, 因此它需要更多的信道资源。

#### 5.5 实时业务的 QoS 保障

本协议在业务传输过程中, 充分考虑到了不同业务的特性, 尽可能地优先传输实时业务, 并且能够保证每个节点在一个超帧中至少持有一次令牌进行业务的传输。因此, 本协议可以为实时业务提供良好的 QoS 保障。

#### 5.6 实验结果

实验环境是: 网络为全连通且节点之间的链路为理想链路 (无差错), 节点数为 30 分组长度固定且每个分组的

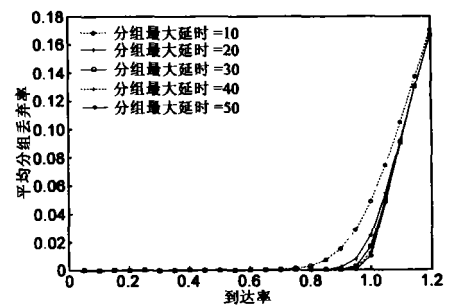


图 4 平均 A 分组丢弃率

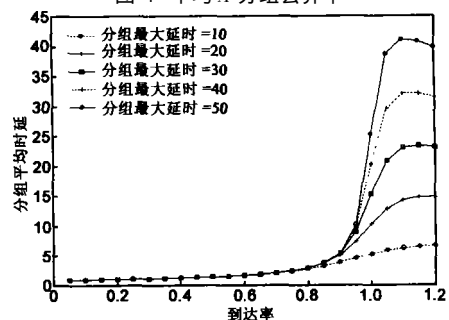


图 5 分组平均延时

传输(服务)时间为单位时间;每个时帧的宽度等于10个分组长度,每个超帧中包含30个时帧;各个节点业务分组的到达相互独立并且服从参数为 $\lambda/30$ 的泊松分布;每个节点在持有令牌时,可以按照令牌的最大剩余容量传输业务;忽略令牌的开销.使用本文提出的算法后,图4和图5分别给出系统的平均分组丢弃率和分组平均延时的仿真结果.

## 6 结论

本文采用的动态令牌协议,从根本上解决了MANET普遍存在的隐藏终端和入侵终端问题,可以为实时业务提供良好的QoS保障,且具有良好的信道访问公平性等特点.另外,本协议能够适应网络拓扑结构的动态变化,网络管理和控制也比较简单,并具有支持变速率传输的能力,已在实际MANET网络上得到应用.

## 参考文献:

- [1] Tabbane S, Godlewski P. R-BTMA: a MAC protocol for short-range mobile radio communications[A]. Fortieth IEEE Vehicular Technology Conference[C]. Orlando, FL, USA, 1990: 582–587.
- [2] Andrisano O, Grandi G, Raffaelli C. Analytical model of busy channel multiple access (BCMA) for packet radio networks in a local environment[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 1990, 39(4): 299–307.
- [3] Bambos N, Kandukuri S. Power controlled multiple access (PCMA) in wireless communication networks[A]. Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies IEEE INFOCOM Proceedings 2000[C]. Piscataway, NJ, USA, 2000: 386–395.
- [4] Haas Z J, Jing Deng. Dual busy tone multiple access (DBTMA) - a multiple access control scheme for ad hoc networks[J]. IEEE Transactions on Communications Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2002, 50(6): 975–985.
- [5] Phil Karn. MACA - a new channel access method for packet radio[A]. ARRL/CRRL Amateur Radio 9th Computer Networking Conference[C]. 1990: 134–140.
- [6] Xiaoxin Wu, et al. MACA - an efficient channel allocation scheme in cellular networks[A]. Globecom'00 Proceedings of Global Telecommunications Conference[C]. San Francisco, CA, USA, 2000: 1385–1389.
- [7] Bharghavu, Demersu, Shenkeru, et al. MACAW: a media access protocol for wireless LANs[A]. Proceedings of the Conference on Communications Architectures, Protocols and Applications, SIGCOMM[C]. London, UK, 1994: 212–225.
- [8] Garcia-Luna-Aceves J J, Fuller C L. Performance of floor acquisition multiple access in ad-hoc networks[A]. Proceedings Third IEEE Symposium on Computers and Communications ISCC'98[C]. IEEE Commun Soc Los Alamitos, CA, USA, 1998: 63–68.
- [9] Shengning Jiang, et al. A simple distributed PRMA for MANET[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2002, 51(2): 293–305.
- [10] J C Fang, G D Kondylis. A synchronous reservation based medium access control protocol for multihop wireless networks[A]. Wireless Communications and Networking Conference WCNC'2003[C]. IEEE, New Orleans, LA, USA, 2003: 16–20.
- [11] I Chahatac, A E, et al. ADAPT: a dynamically self-adjusting media access control protocol[A]. Globecom'99 IEEE Global Telecommunications Conference[C]. Rio de Janeiro, Brazil, 1999: 11–15.
- [12] C Zhu, M S Corson. A five-phase reservation protocol (FPRP) for mobile ad hoc networks[J]. Wireless Networks Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 2001, 7(4): 371–384.
- [13] Engen Mustafa, Lee Duke, Sengupta Raja, Varaiya Pravin. WTRP - wireless token ring protocol[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2004, 53(6): 1863–1881.
- [14] 孙献璞, 张艳玲. 自组织网络的互同步技术研究[J]. 西安电子科技大学学报, 2005, 32(2): 206–219.