

## An EPA-Based Wireless Scheduling Algorithm \*

GAO Hanrong, FENG Dongqin\*, ZHANG Henan

(Institute of Cyber-Systems and Control, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

**Abstract:** For the feature that different data have different real-time requirements in the industrial field, a TDMA-based scheduling algorithm is proposed. The scheduling algorithm is proposed based on the EPA wired scheduling algorithm and in the scheduling algorithm a Communication Macro Cycle is divided into two phases, periodic packet transferring phase and non-periodic packet transferring phase. In the periodic packet transferring phase, each device is allocated a time slot to transfer data with the highest priority. In the non-periodic packet transferring phase, the gateway device allocates time slot to each device according to their priority. The scheduling algorithm has both determinacy and real-time. A algorithm is also proposed to calculate the Communication Macro Cycle, the time of periodic packet transferring and non-periodic packet transferring phase. Testing through tree network shows that the scheduling algorithm achieves low packet loss rate.

**Key words:** wireless scheduling algorithm; EPA; TDMA; calculation of Communication Macro Cycle

**EEACC:** 6150P

## 一种基于 EPA 标准的无线调度算法 \*

高汉荣,冯冬芹\*,张赫男

(浙江大学智能系统与控制研究所,杭州 310027)

**摘要:** 据工业现场不同数据具有不同实时性要求的特点,在 EPA 有线调度算法的基础上提出了一种基于 TDMA 的无线调度算法。该算法根据不同的实时性要求将一个通信宏周期分为周期报文传输阶段和非周期报文传输阶段。在周期报文传输阶段,每个设备都被分配了时间片用于传输数据实时性要求比较高的数据,在非周期报文传输阶段,网关设备按照非周期报文的优先级为各设备分配时间片,该算法同时保证了通信的确定性和实时性。还提出了一种该算法通信宏周期、周期报文传输阶段长度和非周期报文传输阶段长度的确定方法。通过树型网络进行测试,结果表明该调度算法具有较低的丢包率。

**关键词:** 无线调度算法;EPA;TDMA;通信宏周期确定

**中图分类号:** TP393

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1004-1699(2010)02-0269-05

无线传感器网络的调度算法是为了实现各节点公平有效的通信资源共享,处理数据包之间的碰撞<sup>[1]</sup>。现有的调度算法大体分为三类:基于 CSMA/CA 的调度算法<sup>[2-4]</sup>、基于 TDMA 的调度算法<sup>[5-7]</sup>和基于 CSMA/CA 与 TDMA 的混合性调度算法<sup>[8-9]</sup>。基于 CSMA/CA 的调度算法是一种随机竞争性的调度算法,这类调度算法比较适合无线传感器网络的自组织特性,同时也避免了数据的重传。基于 TDMA 的调度算法是一种确定性的调度算法,每个设备被分配一段使用通道的时间,设备在自身分配的时间段内发送数据,这类调度算法被认为是最节省

能量的。但现有的这些调度算法大多只关注于如何节省能量<sup>[10-11]</sup>,运算复杂,并且没有考虑到工业实际应用。在工业现场,不同的数据对实时性有不同的要求,且有些数据并不需要周期性传送,如报警等突发性数据。因此需要对不同特性的数据采用不同的调度方法。本文针对以上特点了提出一种基于 TDMA 的无线调度算法,该算法建立在成熟的 EPA 有线调度算法基础上,根据不同的实时性要求把一个数据传输周期分为周期报文传输阶段和非周期报文传输阶段,周期报文传输阶段由多个连续的数据传输时间片组成,每个时间片被分配给特定节点,用

**项目来源:** 国家创新研究群体科学基金资助(NCRGSFC:60721062);国家高技术研究发展计划(863 计划)资助(2006AA040302, 2007AA041201,2007AA041301)

**收稿日期:** 2009-09-09 **修改日期:** 2009-10-29

来传输实时性要求高的周期性数据;非周期报文传输阶段也有多个连续的时间片组成,网关设备按照非周期报文的优先级为各设备分配时间片,用于处理节点添加、删除和时间同步等。由于算法是基于 TDMA,并且考虑了不同数据的特点以及实时性要求,因此能够实现通信的确定性和实时性。

本文通过以下几个方面对该算法进行介绍:首先介绍了调度算法适用的网络拓扑结构,然后详细介绍了该调度算法原理,重点介绍了设备在各时间片的工作过程,并提出了一种该算法通信宏周期、周期报文传输阶段长度以及非周期报文传输阶段长度的确定方法,最后对该调度算法进行了丢包率测试。

### 1 调度算法适用的网络拓扑

本文提出的无线调度方法主要针对如图 1 所示的无线传感器网络,网络中所有节点根据自组网过程,形成以“簇”为基本通信单元的树形拓扑结构,进而构成无线传感器网络。该结构包括网关节点、路由节点和终端节点三种节点,同一网关节点管理的设备共同组成一个网段。如图 1 所示, D0 ~ D12 组成了一个网段,其中, D0 为网关节点, D1、D5、D9 为路由节点,其余为终端节点。本文提出的通信调度方法还适用于其他无线传感器网络,只要该无线传感器网络中各个节点之间的路由是相对固定的即可。

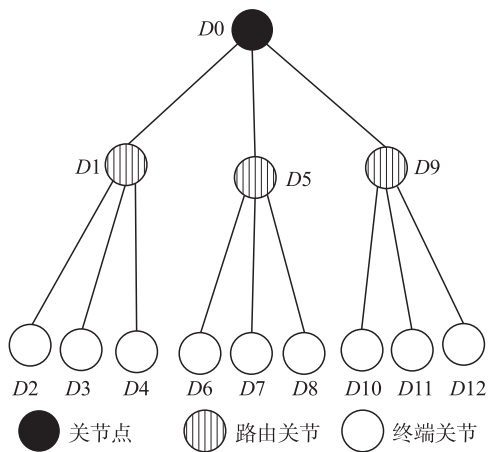


图 1 树形网络结构图

### 2 调度算法原理

图 2 为无线通信调度示意图。该网段共包括 5 个节点,其中 D2、D3 为路由节点, D4、D5 为终端节点,所有节点按照此无线调度周期性的进行通信,完成一个通信周期的时间 T 称为一个通信宏周期。通信宏周期 T 分为两个阶段,周期报文传输阶段  $T_p$  和非周期报文传输阶段  $T_n$ 。周期报文传输阶段  $T_p$  用于实时性要求比较高的周期性数据的传送,如需

要按控制回路的控制周期传输的测量值、控制值,或功能块输入输出之间需要按周期更新的数据<sup>[12]</sup>。非周期报文传输阶段  $T_n$  用于非周期数据的传送,如组态信息、时钟同步信息。

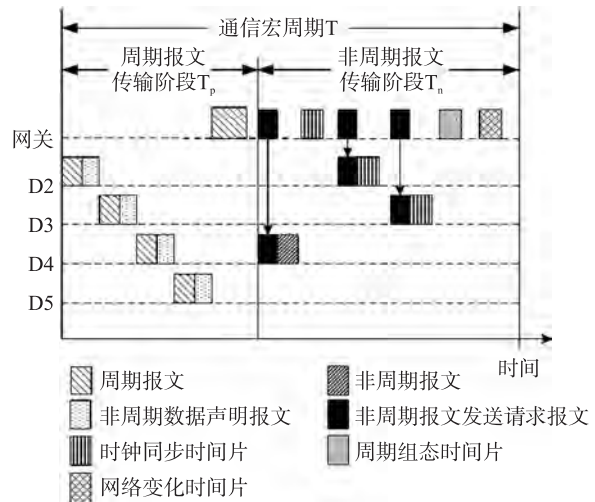


图 2 EPA 无线通信调度示意图

#### 2.1 周期报文传输阶段

在周期报文传输阶段每个设备都根据需要分配了不同长度的时间片,用来向其目标节点发送数据。为了节省节点从发送到接收的状态转换时间,周期报文时间片只用来将数据经过一跳或多跳传输到目标节点,不包括目标节点接收到报文后的 ACK, ACK 在目标节点的周期报文时间片内传输,并且时间片分配包含了数据包的发送处理时间以及接收处理时间。如图 1 中所示,若节点 D6 需发送数据到 D11,则在分配给 D6 的时间片内,数据传输过程为 D6→D5→D0→D9→D11, D5、D0、D9 三个设备根据目的地址对数据进行转发。

在周期报文传输完毕之后,各无线节点需向网关节点发送非周期数据声明。声明中包含了非周期报文时间片的申请信息。若该节点在上个周期被网关通知进行网段结构变化发现,且发现有新的节点加入或原有节点退出,则该节点的声明中应包含网络结构变化信息。非周期数据声明是网关分配非周期时间片的依据。

根据以上描述我们可以得出,周期报文传输阶段  $T_p$  包括分配给网关的周期数据时间片  $T_{pgw}$ 、分配给各节点的周期报文时间片  $T_{pnod}^{(j)}$  和非周期声明时间以及预留时间  $T_{resd}$ , 即

$$T_p = T_{pgw} + \sum_{i=1}^{L-1} \sum_{j=1}^{n_i} (T_{pnod}^{(j)} + iT_{ndcl}) + T_{resd} = T_{pgw} + \sum_{i=1}^{L-1} \sum_{j=1}^{n_i} T_{pnod}^{(j)} + T_{ndcl} \sum_{i=1}^{L-1} in_i + T_{resd} \quad (1)$$

其中  $L$  为树型无线网络的层数,  $n_i$  为无线网络第  $i$  层节点数量,  $T_{pgw}$  为分配网关的周期数据时间片,  $T_{pmod}^{(ij)}$  为分配给第  $i$  层第  $j$  个无线节点的周期数据时间片,  $T_{ndcl}$  为分配给节点的用于经过一跳将非周期报文声明发送到网关的时间,  $T_{resd}$  为预留时间用于新加入节点的周期报文传输时间分配。

## 2.2 非周期报文传输阶段

非周期报文的调度由网关完成。网关接收到各节点的非周期报文声明,并根据声明中的非周期报文时间片申请信息为各节点分配数据非周期报文时间片。若声明中包含网络结构变化信息,则网关会根据网络结构的变化为网段中的节点进行周期报文时间片的分配,并相应申请周期组态时间片。若本周期需要时钟同步和网络结构变化发现,则网关还需分配时钟同步时间片和网络结构变化发现时间片。

按优先级从高到低,非周期报文时间片包括网关的数据非周期报文时间片、非网关的数据非周期报文时间片、时钟同步时间片、周期组态时间片、网络结构变化时间片。

网关按照优先级从高到低依次分配非周期报文时间片,分配时还需考虑剩余的非周期时间长度,若剩余时间不足,则不分配。未分配的非周期时间片在下一个通信周期分配。非周期报文传输阶段,每个非周期时间片到达时,网关需通知相对应节点发送非周期报文。

### 2.2.1 数据非周期报文时间片

数据非周期报文时间片为网关分配的用来发送非周期性数据的时间,该时间片包含了整个通信过程,即发送方将数据传输到目标节点的时间和接收方返回 ACK(如果需要)的时间,以及包的发送处理时间和接收处理时间。则第  $k$  个通信周期完成数据非周期报文传输的时间  $T_{nmod}^k$  包括各节点的数据非周期报文时间  $T_{nmod}^k(i)$  以及网关发送非周期数据请求的时间,即:

$$T_{nmod}^k = \sum_{i=1}^{N^k} (T_{nmod}^k(i) + l^k(i) T_{nreq}) = \sum_{i=1}^{N^k} T_{nmod}^k(i) + T_{nreq} \sum_{i=1}^{N^k} l^k(i) \quad (2)$$

其中,  $N^k$  为第  $k$  个通信周期需要发送非周期数据的无线节点数目,  $l^k(i)$  为第  $k$  个通信周期第  $i$  个需要通信的无线节点所在的层数,  $T_{nmod}^k(i)$  为第  $k$  个通信周期分配给第  $i$  个无线设备的数据非周期报文时间。  $T_{nreq}$  为网关经过一跳将非周期数据发送请求发送到无线节点的时间。

### 2.2.2 时钟同步时间片

时钟同步时间片用来完成父节点与其子节点的

时钟同步,如图 3 所示,该时间片由父节点与各子节点的同步过程组成,则网络完成同步过程的时间应包括各父节点与其子节点完成时钟同步过程时间以及网关通知父节点进行时钟同步的时间(网关发送非周期数据请求的时间),即

|              |              |     |              |
|--------------|--------------|-----|--------------|
| 父节点与其子节点1的同步 | 父节点与其子节点2的同步 | ... | 父节点与其子节点n的同步 |
|--------------|--------------|-----|--------------|

图 3 时钟同步时间片结构

$$T_{ptp} = n_1 T_{ptpgw} + \sum_{i=1}^{L-2} \sum_{j=1}^{n_i} (iT_{nreq} + n_{sonmod}^{(ij)} T_{ptpmod}) = n_1 T_{ptpgw} + T_{nreq} \sum_{i=1}^{L-2} in_i + T_{ptpmod} \sum_{i=1}^{L-2} n_{i+1} \quad (3)$$

其中,  $n_1$  为第一层节点的数目,即网关的子节点的数目,  $T_{ptpgw}$  为网关完成与其一个子节点时钟同步过程的时间,  $n_{sonmod}^{(ij)}$  为第  $i$  层第  $j$  个路由节点的子节点数目,  $T_{ptpmod}$  为路由节点完成与其一个子节点时钟同步过程的时间。

### 2.2.3 组态时间片

网络结构有变化时,网关会根据新的网络结构对部分节点的周期报文时间片重分配,组态时间片用于网关将该变化信息通知相应节点。则第  $k$  个通信周期组态时间片  $T_{conf}^k$  的长度为:

$$T_{conf}^k = \sum_{i=1}^{m^k} l^k(i) T_{conf1} = T_{conf1} \sum_{i=1}^{m^k} l^k(i) \quad (4)$$

其中,  $m^k$  为组态信息有变化的节点数目。  $T_{conf1}$  为网关经过一跳将组态信息通知无线节点的时间。

### 2.2.4 网络结构变化发现时间片

该时间片用于网关通知各节点进行网络结构变化发现。如图 4 所示,该时间片由网关发送通知及节点进行网络结构变化发现组成,具体发现过程根据不同的发现算法而定。

|                   |               |     |                   |               |
|-------------------|---------------|-----|-------------------|---------------|
| 网关通知节点1进行网络结构变化发现 | 节点1进行网络结构变化发现 | ... | 网关通知节点n进行网络结构变化发现 | 节点n进行网络结构变化发现 |
|-------------------|---------------|-----|-------------------|---------------|

图 4 网络结构变化发现时间片结构

则网络结构变化发现时间片的长度  $T_{find}$  应为:

$$T_{find} = \sum_{i=1}^{L-1} n_i (iT_{nreq} + T_{find1}) \quad (5)$$

其中,  $T_{find1}$  为无线节点进行网络结构变化发现所需的时间。

## 2.3 宏周期的确定

在实际应用中,由于非周期报文的不确定性,在非周期报文传输阶段并不是所有设备都需要发送数据非周期报文,节点也不需要每个周期都执行时钟同步和网络结构变化发现,为了提高通信效率,我们

把时钟同步和网络结构变化发现放在不同的通信周期执行,并取非周期报文传输阶段的时间  $T_n$  为:

$$T_n = T_{\text{conf}} + T_{\text{nod}} + \max(T_{\text{plp}}, T_{\text{find}}) \quad (6)$$

$T_{\text{nod}}$ 、 $T_{\text{conf}}$  为从式(1)和(4)统计得到的  $T_{\text{nod}}^k$ 、 $T_{\text{conf}}^k$  的平均值。

相应的通信宏周期  $T$  为:

$$T = T_p + T_n = T_{\text{pgw}} + \sum_{i=1}^{L-1} \sum_{j=1}^{n_i} (T_{\text{pnod}}^{(ij)} + iT_{\text{ndcl}}) + T_{\text{resd}} + T_{\text{conf}} + T_{\text{nod}} + \max(T_{\text{plp}}, T_{\text{find}}) \quad (7)$$

### 3 性能测试

无线调度算法性能的好坏直接影响无线网络的通信质量,下面通过丢包率的测试检验该调度算法的性能。测试环境:按照图1所示的网络结构搭建一个测试平台如图5所示,各无线设备按照上述调度方法向网关发送数据,网关接收数据并进行计数,最后将计数值发送到上位机。在周期报文传输阶段,各无线设备向网关发送43字节的周期报文,在每个非周期报文传输阶段,只有一簇节点(如D1~D4)传输43字节的数据非周期报文,各簇轮流发送。按照上面讲述的时间设定方法,我们取  $T = 250$  ms,  $T_p = 100$  ms,  $T_n = 150$  ms,其中分配给路由节点的周期报文时间片为4ms,终端节点的周期报文时间片为8ms;路由节点的非周期报文时间为6ms(包含了网关发送非周期数据请求的时间),终端节点的非周期时间为12ms(包含了网关发送非周期数据请求的时间)。经过36000个通信宏周期(9000s),测得各设备的丢包情况如表1所示。

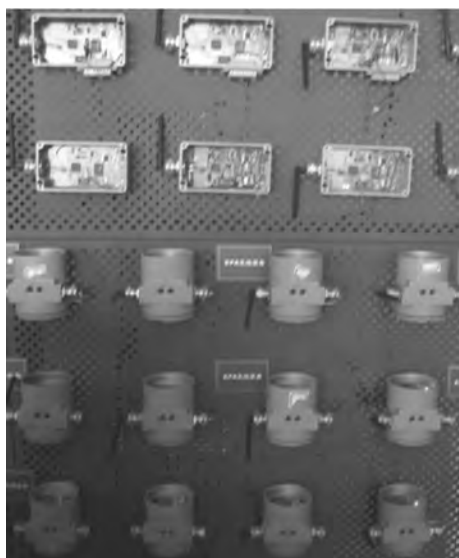


图5 测试平台结构图

由表1可知,不同设备丢包率不相同,且非周期报文的丢包率明显高于周期报文,这是由于不同设备所

处的物理位置不同,信号衰减及遭遇障碍物情况不同;各设备被分配不同的时间片,各时间片内的信道干扰情况也不相同。由于非周期报文传输增加了网关发送非周期数据请求的过程,因此丢包率偏高,但各设备丢包率都在万分之一左右,能够满足系统的要求。

表1 各设备丢包情况统计表

| 设备   | 实际发送<br>周期报文<br>数量 | 周期报文<br>丢包率<br>/%o | 实际发送<br>非周期报<br>文数量 | 非周期报<br>文丢包率<br>/%o |
|------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| 设备1  | 35 999             | 0.027 8            | 11 999              | 0.083 3             |
| 设备2  | 35 998             | 0.055 6            | 11 999              | 0.083 3             |
| 设备3  | 35 998             | 0.055 6            | 11 998              | 0.166 7             |
| 设备4  | 35 998             | 0.055 6            | 11 997              | 0.250 0             |
| 设备5  | 35 998             | 0.055 6            | 12 000              | 0                   |
| 设备6  | 35 998             | 0.055 6            | 12 000              | 0                   |
| 设备7  | 35 999             | 0.027 8            | 11 999              | 0.083 3             |
| 设备8  | 35 998             | 0.027 8            | 12 000              | 0                   |
| 设备9  | 35 997             | 0.083 3            | 11 999              | 0.083 3             |
| 设备10 | 35 999             | 0.027 8            | 11 998              | 0.166 7             |
| 设备11 | 35 998             | 0.055 6            | 11 999              | 0.083 3             |
| 设备12 | 35 999             | 0.027 8            | 11 999              | 0.083 3             |

### 4 结语

根据在工业现场,不同的数据对实时性有不同的要求,且有些数据并不需要周期性传送,本文提出一种基于TDMA的无线调度算法,该算法建立在成熟的EPA有线调度算法基础上,根据不同的实时性要求把一个数据传输周期分为周期报文传输阶段和非周期报文传输阶段。相应地本文还提出了一种该算法通信宏周期、周期报文传输阶段长度以及非周期报文传输阶段长度的确定方法。由于算法是基于TDMA,并且考虑了不同数据的特点以及实时性要求,因此能够实现通信的确定性和实时性。实验测试表明该调度算法具有较低的丢包率。

#### 参考文献:

- [1] 李建中,高宏. 无线传感器网络的研究进展[J]. 计算机研究与发展,2008,45(1):1-15.
- [2] Ye W, Heidemann J, Estrin D. An Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks[C]//Int'l Annual Joint Conf IEEE Computer and Communication Societies, New York, USA, 2002.
- [3] Ye W, Heidemann H, Estrin D. Media Access Control With Coordinated Adaptive Sleeping for Wireless Sensor Networks[J]. IEEE/ACM Trans. On Networking, Vol. 12, No. 3, June 2004.
- [4] Dam T Van, Langendoen K. An Adaptive energy-efficient MAC

- Protocol for Wireless Sensor Networks[C]//The 1st Int'l Conf on Embedded Networked Sensor Systems, California, USA, 2003.
- [5] Rajendran V, Obraczka K, Garcia-Luna-Aceves J J. Energy-efficient, Collision-free Medium Access Control for Wireless Sensor Networks[C]//The 1st Int'l Conf on Embedded Networked Sensor Systems, Los Angeles, USA, 2003.
- [6] Julius Degeys, Ian Rose, Ankit B Patel, et al. DESYNC: Self-organization Desynchronization and TDMA on Wireless Sensor Networks[C]//Int'l Conf on Information Processing in Sensor Networks(IPSNS), Massachusetts, USA, 2007.
- [7] Bao L, Garcia-Luna-Aceves J J. A New Approach to Channel Access Scheduling for Ad Hoc Networks[C]//The 7th Annual Int'l Conf on Mobile Computing and Networking, Rome, Italy, 2001.
- [8] LAN/MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society [J], IEEE standard for Information Technology-Telecommunications and Information Exchange Between Systems-Local and Metropolitan Area Networks-Specific part 15.4, Oct 2003.
- [9] Rhee I, Warrier A, Aia M, et al. Z-MAC: A Hybrid MAC for Wireless Sensor Networks[C]//In Proceedings of the Third ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems(SenSys 2005).
- [10] Zhou S, Liu R, Everitt D, et al. A<sup>2</sup>-MAC: An Application Adaptive Medium Access Control Protocol for Data Collection in Wireless Sensor Networks[C]//ISCIT'07, Sydney, Australia, 2007.
- [11] Venkatesh Rajendran, Katia Obraczka, Garcia-Luna-Aceves J J. Energy-Efficient, Collision-Free Medium Access Control for Wireless Sensor Networks[M]. Wireless Networks, Volume 12, 2006.
- [12] GB/T 20171 - 2006. 用于工业测量与控制系统的 EPA 系统结构与通信规范[S].



高汉荣(1985 -),女,硕士研究生,研究方向为无线传感器网络在工业过程中的应用;



冯冬芹(1968 -),男,教授,研究方向为工业通信网络(包括现场总线、工业以太网)、工业控制系统、智能仪器仪表;



张赫男(1984 -),男,硕士研究生,研究方向为无线传感器网络在工业过程中的应用。