

# 基于二叉扫描树的电调天线设备扫描算法

李文生<sup>1</sup>, 罗仁泽<sup>2</sup>, 邓春健<sup>1</sup>

(1. 电子科技大学中山学院 广东 中山 528402; 2. 西南石油大学电气信息学院 成都 610500)

**【摘要】**针对AISG协议的不足,提出了基于二叉扫描树的电调天线设备扫描算法。叶扫描阶段重用上一轮扫描的对应可读周期的扫描码,直接对可读结点进行扫描识别;根扫描阶段从根结点开始扫描,对新增设备扫描识别。通过利用自适应冲突避免机制和叶-根两阶段扫描方法,有效地减少了扫描过程中冲突次数。仿真实验表明,该算法能有效地减少电调天线设备扫描时间,提高了设备扫描识别效率。

**关键词** AISG协议; 电调天线设备扫描; 二叉扫描树; 冲突避免

中图分类号 TP391

文献标志码 A

doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2013.04.013

## Scanning Algorithm for ALDs Based on Binary Scanning Tree

LI Wen-sheng<sup>1</sup>, LUO Ren-ze<sup>2</sup>, and DENG Chun-jian<sup>1</sup>

(1. Zhongshan Institute, University of Electronic Science and Technology of China Zhongshan Guangdong 528402;

2. School of Electric Engineering and Information, Southwest Petroleum University Chengdu 610500)

**Abstract** To solve the shortcomings of the AISG protocol, an antenna line device (ALD) scanning algorithm based on binary scanning tree is proposed. In leaf scanning phase for existing ALDs, leaf nodes are scanned directly with scanning codes corresponding to the identified nodes from the previous scanning, while in root scanning phase for new arriving ALDs, we start scanning from the root node. By utilization of an adaptive collision avoidance mechanism and the leaf-root scanning method, the collision frequency during ALD scanning is effectively reduced. The results of simulation show that the proposed algorithm can effectively shorten the ALD scanning time and increase the efficiency of ALD search.

**Key words** antenna interface standard group; antenna line devices scanning; binary scanning tree; collision avoidance

远程电调倾角天线控制系统(remote electrical tilt control system, RCS)主要用于对天线网络中电调天线设备(antenna line devices, ALD)进行监控。根据天线接口标准协议(antenna interface standard group, AISG),扫描识别天线网络中的ALD设备是实现RCS与ALD设备之间通信和监控的基础<sup>[1]</sup>。

但在AISG协议中,除了对扫描帧格式作了规定外,没有对ALD扫描算法的具体实现给出指导意见。针对这一问题,相关厂商提出了一些扫描方法<sup>[2-3]</sup>,可是这些方法在ALD扫描过程中存在“漏扫”或扫描效率不高等问题。

本文首先针对AISG协议的不足,对ALD扫描算法的性质和实现方法进行研究,提出了一种ALD设备扫描算法,并对该算法的性能进行了分析;然后在分析二叉扫描树的特点和利用AISG协议相关规

定的基础上,提出自适应冲突避免机制和叶-根两阶段扫描方法,并给出了该扫描算法的改进和优化方法。

### 1 基于AISG协议的ALD扫描思想

AISG协议对ALD扫描提供了原则性建议:RCS通过在网络中广播扫描码扫描识别ALD,扫描码包括匹配码和掩码两部分信息。当收到扫描码后,ALD首先将自己的唯一标识码(unique ID, UID)和掩码进行按位与运算,然后再与匹配码进行比较,如果符合匹配条件,ALD对RCS作出应答,应答帧包含该ALD的设备类型、UID等信息;否则不作应答。因此,当RCS发出扫描码后,如果只有一个ALD符合匹配条件,则RCS收到一个正常的应答帧,该ALD被成功识别;如果没有ALD符合匹配条件,则RCS不会收到任何应答;如果网络中有多个ALD符合匹

收稿日期: 2013-02-23; 修回日期: 2013-03-26

基金项目: 国家自然科学基金(61072073); 广东省自然科学基金(S2012010010508)

作者简介: 李文生(1966-),男,硕士,副教授,主要从事嵌入式系统、多媒体处理与通信方面的研究。

配条件,则造成多个ALD的应答帧在通信链路上发生冲突,RCS会收到一个CRC错误应答帧,识别ALD设备失败。当遇到冲突时,RCS需要根据相关策略扩展扫描码来缩小扫描范围,直至对唯一的ALD扫描识别。但是,AISG协议并没有给出扫描码的具体扩展策略。

若将从RCS发出扫描码到收到ALD应答的时间范围称为一个扫描周期,则上述几种扫描周期分别称为可读周期、空闲周期和冲突周期。可以看出,ALD扫描过程需要通过分解冲突以便在可读周期识别唯一的ALD设备,因此,ALD扫描算法属于防冲突算法<sup>[4]</sup>。防冲突算法主要包括ALOHA算法和查找树搜索算法两大类<sup>[5-7]</sup>。由于AISG协议规定的ALD应答时间小于设备扫描帧的传输时间,同时AISG协议并不强制要求RCS负责扫描周期的同步,这样某一ALD可能在相当长一段时间内无法被扫描识别,即存在“漏扫”现象,所以ALOHA算法思想不适应基于AISG协议的ALD扫描。ALD扫描只能借鉴查找树搜索算法,以树的遍历思想构造扫描码,直到冲突完全分解,扫描识别网络中所有设备。常见的查找树搜索算法有基于二叉树搜索算法<sup>[8]</sup>、四叉树搜索算法<sup>[8-9]</sup>和其他混合查找树搜索算法<sup>[10-12]</sup>等。

## 2 BST扫描算法

### 2.1 算法具体描述

ALD的UID一般包括厂商ID、产品类型、生产批次、序号等信息,不同ALD的UID对应位相同的概率是从左到右依次减小。为了在扫描过程减少不必要的冲突,采用从右到左逐步扩展扫描码,以基于后缀匹配的方法依次扫描网络总的ALD设备。

假设ALD的UID是长度为 $k$ 位的二进制串,长度不超过 $k$ 位的匹配码构成的集合为 $A = \bigcup_{i=0}^k \{0,1\}^i$ ,长度不超过 $k$ 位的掩码构成的集合为 $M = \bigcup_{i=0}^k \{1\}^i$ , $s=(a, m)$ 表示扫描码,其中 $a \in A$ 为匹配码, $m \in M$ 为掩码, $a$ 和 $m$ 的位数一样,STK为由引起冲突的扫描码构成的冲突堆栈。ALD扫描算法具体描述如下:

- 1) 初始化冲突堆栈STK为空;
- 2) 将扫描码 $(\varepsilon, \varepsilon)$ 压入到冲突堆栈STK,其中 $\varepsilon$ 为空串;
- 3) 如果冲突堆栈STK非空,则弹出栈顶元素 $s=(a, m)$ ,以匹配码 $a$ 和掩码 $m$ 构造扫描帧,并广播给网络上所有的ALD,然后根据ALD的反馈情况做相应处理:

① 可读周期。RCS收到正确的应答帧,表明网

络有唯一的ALD和扫描码匹配,RCS根据应答帧获取该设备的基本信息包括UID、设备类型等。

② 空闲周期。网络中没有任何ALD和扫描码匹配,RCS在规定的周期内没有收到任何的应答。

③ 冲突周期。网络中有多个ALD与扫描码匹配,RCS收到CRC错误应答帧。这时需要对冲突进行分解,构造两个扫描码 $(1a, 1m)$ 和 $(0a, 1m)$ ,并将它们压入到冲突堆栈STK。

④ 如果冲突堆栈STK为空,则扫描过程结束;否则转步骤3)。

上述ALD扫描算法可以用一个二叉扫描树描述:二叉树的根结点对应扫描码 $(\varepsilon, \varepsilon)$ ;如果扫描码 $s=(a, m)$ 对应的是冲突周期,则其对应二叉树的一个内部结点(冲突结点),该结点左子右子分别对应扩展了一位扫描码 $(0a, 1m)$ 、 $(1a, 1m)$ 。如果扫描码 $s=(a, m)$ 对应的是可读周期,则其对应二叉树的一个叶结点(可读结点);如果扫描码 $s=(a, m)$ 对应的是空闲周期,则其也是对应二叉树的一个叶结点(空闲结点)。该算法扫描网络中ALD的过程可以看成是对二叉扫描树的先根序遍历,故称为基于二叉扫描树的扫描算法(binary scanning tree, BST)。

下面以具有4台ALD的网络为例,假设4台ALD设备 $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$ 、 $D_4$ 的UID分别为010、011、110、111,则BST算法扫描识别网络中的ALD过程对应的二叉扫描树如图1所示。

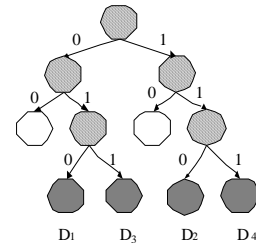


图1 BST算法扫描过程对应的二叉扫描树

下面通过分析二叉扫描树的性质,讨论BST算法的时间复杂度和通信复杂度。

### 2.2 算法时间复杂度

从二叉扫描树的定义可以得到以下性质:

**性质 1** 如果 $x$ 是一个二叉扫描树的冲突结点,则该结点至少有两个后代结点是可读结点。

**性质 2** 空闲叶结点的兄弟一定是冲突结点,可读叶结点的兄弟是冲突结点或可读结点。

**性质 3** 对于具有两个可读结点的高度为 $k$ 的二叉扫描树,其叶结点数量最大为 $k+1$ 。

**性质 4** 设BT为具有 $n$ 个可读结点的最大二叉扫描树(即结点数最多的二叉扫描树),如果 $n$ 为偶数,

则任何可读结点的兄弟也是可读结点; 如果 $n$ 为奇数, 则有唯一的可读结点的兄弟为冲突结点。

**性质 5** 设BT为具有 $n$ 个可读结点的最大二叉扫描树, 如果 $n$ 为奇数, 则存在一个具有 $n-1$ 个可读结点的二叉扫描树BT', 其结点总数与BT相同。

根据性质5, 可以只考虑可读结点数 $n$ 为偶数的情况。设BT为具有偶数 $n$ 个可读结点的最大二叉扫描树, 根据性质4可以将BT中所有的可读结点组成可读结点对 $(b_i^1, b_i^2)$ 。定义如下:

$$F = \{S_i | S_i \text{ 是 BT 中包括 } (b_i^1, b_i^2) \text{ 的最大子树} \} \quad (1)$$

**性质 6** 设BT为具有 $n$ 个可读结点的最大二叉扫描树, 其中 $n$ 为偶数, 则BT中的任何叶结点都将出现在 $F$ 中某个子树中。

对于 $S_i \in F$ , 定义 $r(S_i)$ 为 $S_i$ 的根结点,  $d(S_i)$ 为 $r(S_i)$ 在二叉扫描树BT中的深度, 则有:

$$\text{引理 1} \quad -\sum_{S_i \in F} d(S_i) \leq -\frac{n}{2}(\log_2 n - 1) \quad (2)$$

**定理 1** 设二叉扫描树BT的深度为 $k$ , 且具有 $n$ 个可读结点的, 则它的叶结点(包括可读结点和空闲结点)总数 $L(\text{BT})$ 满足:

$$L(\text{BT}) \leq n(k+2-\log_2 n)/2 \quad (3)$$

证明: 假设BT为具有 $n$ 个可读结点的最大二叉扫描树, 构造如式(1)的子树集合 $F$ , 则对于 $F$ 中的子树 $S_i$ 的高度最大为 $k-d(S_i)$ , 根据性质3可知,  $S_i$ 中的叶结点数量最大为 $k-d(S_i)+1$ , 则 $F$ 中所有子树的叶结点数量 $L(F)$ 满足:

$$L(F) \leq \sum_{S_i \in F} (k - d(S_i) + 1) = n(k+1)/2 - \sum_{S_i \in F} d(S_i) = n(k+1)/2 - n(\log_2 n - 1)/2 = n(k+2-\log_2 n)/2$$

所以,  $L(\text{BT}) \leq n(k+2-\log_2 n)/2$ , 定理得证。

**定理 2** 假设网络中有 $n$ 个ALD设备, ALD设备UID的位数最长为 $k$ , 则BST算法扫描识别所有ALD设备需要的总周期数 $T$ 满足:

$$T \leq n(k+2-\log_2 n) - 1 \quad (4)$$

证明: 从前面的分析可知, BST算法扫描识别 $n$ 个ALD设备的过程对应于一个具有 $n$ 个可读结点的二叉扫描树BT, 所以扫描过程需要的总周期数 $T$ 小于等于对应的具有 $n$ 个可读结点的最大二叉扫描树的结点总数。由定理1可知, 具有 $n$ 个可读结点的最大二叉扫描树的叶结点总数不超过 $n(k+2-\log_2 n)/2$ , 根据二叉树性质可得,  $T=2*\text{BT}$ 叶结点数量 $-1 \leq n(k+2-\log_2 n) - 1$ 。定理得证。

利用类似于文献[7]的分析方法, 可以得出如下结论: BST算法扫描过程中需要的总扫描周期数的

期望值 $E[T]$ 与网络中的ALD设备数 $n$ 接近线性关系, 且有:

$$2.881n - 1 \leq E[T] \leq 2.887n - 1 \quad (5)$$

### 2.3 算法通信复杂度

为了对BST扫描算法的通信复杂度进行分析, 首先引入如下引理。

$$\text{引理 2} \quad \sum_{j=0}^{\infty} (1 - (1 - 2^{-j})^{n-1}) \leq \sum_{j=1}^{n-1} \frac{C}{j} \quad (6)$$

式中,  $C = \log_2 e + 2e^{-2/3} + e^{-1/3} \approx 3.19$ 。

假设网络中有 $n$ 个ALD设备,  $s$ 为某个ALD设备的UID,  $C_s$ 是该设备在扫描过程中应答时发生冲突的次数,  $E[C_s]$ 为 $C_s$ 的期望值。定义 $I_s^j$ 为: 如果该设备的 $j$ 位后缀与其他 $n-1$ 个ALD设备的 $j$ 位后缀均不相同, 则其取值为0, 否则取值为1。设 $s_j$ 是 $s$ 的 $j$ 位后缀, 则 $I_s^j$ 的期望值 $E[I_s^j]$ 可以表示为:

$$E[I_s^j] = P\{\text{至少有一个不同的ALD设备的UID具有相同的后缀 } s_j\} = 1 - P\{\text{没有任何其他ALD设备的UID具有相同的后缀 } s_j\} = 1 - (1 - 2^{-j})^{n-1}$$

**定理 3** 在具有 $n$ 个ALD设备的网络中, 一个ALD设备在扫描过程中应答时发生冲突次数的期望值 $E[C_s]$ 满足:

$$E[C_s] \leq 2.21 \times \log_2 n + 3.19 \quad (7)$$

证明:

$$E[C_s] = \sum_{j=0}^{\infty} E[I_s^j] = \sum_{j=0}^{\infty} (1 - (1 - 2^{-j})^{n-1}) \leq \sum_{j=1}^{n-1} \frac{C}{j} \leq (1 + \ln(n-1))C \leq 2.21 \times \log_2 n + 3.19$$

**定理 4** 在具有 $n$ 个ALD的网络中, BST扫描算法扫描过程RCS发送扫描帧帧数的期望值最大为 $2.887n-1$ , 一个ALD发送应答帧帧数的期望值最大为 $2.21 \times \log_2 n + 4.19$ 。

证明: 由于BST扫描算法的扫描周期数的期望值最大为 $2.887n-1$ , 而每一个扫描周期RCS发送一个扫描帧, 所以扫描过程中RCS发送扫描帧帧数的期望值最大为 $2.887n-1$ 。

显然, 一个ALD在扫描过程中发送的应答帧包括若干个引起冲突的应答帧和一个可读应答帧, 由定理3可知, 该设备发送的应答帧的期望值最大为 $2.21 \times \log_2 n + 3.19 + 1 = 2.21 \times \log_2 n + 4.19$ 。定理得证。

## 3 BST算法的优化和改进

### 3.1 自适应冲突避免机制

在二叉扫描树中, 如果一个结点是冲突结点, 则该结点至少有两个后代结点是可读结点, 如果该冲突结点的左子女是空闲结点, 则它的右子女一定

是冲突结点。所以，在扫描过程中，如果扫描码( $a, m$ )引起冲突，而扫描码( $0a, 1m$ )对应的是一个空闲周期，则可以跳过扫描码( $1a, 1m$ )以避免不必要的冲突，而是直接将扫描码( $11a, 11m$ )和( $01a, 11m$ )压入冲突堆栈。如图2所示，对于前面的4个ALD设备的扫描例子，由于扫描码( $00,11$ )和( $10,11$ )对应两个空闲结点，则它们的兄弟结点A和B对应的扫描码一定会引起冲突，所以在扫描过程可以跳过A和B对应的扫描码，直接将其子女对应的扫描码压入冲突堆栈。

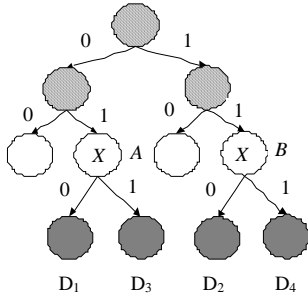


图2 自适应冲突避免机制

上述的自适应冲突避免机制类似于文献[9]中提出改进的冲突分解算法，通过后面的仿真实验可以归纳出，自适应冲突避免机制可以将BST算法扫描周期总数 $T$ 的期望值 $E[T]$ 改进为：

$$E[T] \approx 2.665n - 1 \tag{8}$$

### 3.2 叶-根两阶段扫描方法

在大部分情况下，网络中的ALD一般不会发生太大的变化，因此，如果RCS在扫描算法中能够保存对应可读周期的扫描码信息，则在下一轮扫描过程中可以利用这些扫描码快速扫描识别原有的ALD设备。基于这一思想，引入叶-根两阶段扫描方法，即将整个ALD扫描过程分为两个阶段：1) 叶扫描阶段重用上一轮的对应可读周期的扫描码，直接对可读结点进行扫描识别；2) 根扫描阶段从根结点开始新的一趟BST扫描，对新增设备进行扫描识别。

叶-根两阶段扫描方法的一个关键是将扫描过程中的可读结点对应的扫描码保存在一个文件中，这样，RCS在下一轮扫描的叶扫描阶段将文件的扫描码读入到线性表 $L$ 中，然后通过直接发送 $L$ 中的扫描码，实现对于原有ALD设备的直接扫描识别，大大减少了扫描过程中的冲突周期和空闲周期，如图3所示。对于叶扫描，如果网络中的ALD设备没有变化，则对于 $L$ 中的每一个扫描码，都将得到一个可读应答并成功扫描识别一个原有的ALD设备；如果某个设备移出了网络，其相应扫描码将得到一个空闲应答；如果有新的ALD设备加入了网络，则新加入

的ALD设备与原有的ALD设备可能发生冲突，也可能在叶扫描阶段漏扫。所以，当有新的ALD设备加入网络时，需要通过根扫描阶段的一趟BST扫描来分解与已有ALD设备的冲突，并扫描识别新的设备。

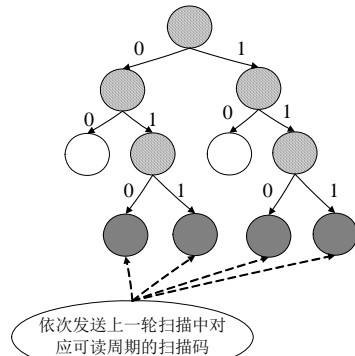


图3 叶-根扫描方法

按照AISG协议规定，如果一个ALD设备已经赋予HDLC地址，则该设备对于任何扫描码都不作应答。叶-根两阶段扫描方法的另一个关键是在叶扫描阶段已经识别的ALD设备赋予HDLC地址，以便在根扫描阶段的BST扫描中不再响应任何扫描码，这样就可以减少ALD设备发生冲突的机会，从而缩短扫描识别时间。

### 3.3 改进的BST算法

通过利用自适应冲突避免机制和叶-根两阶段扫描方法，可以得到改进的BST扫描算法(enhanced binary scanning tree, EBST)。EBST算法为两阶段扫描算法，具体描述如下：

#### 阶段 1 叶扫描阶段

1) 从文件中读入上一轮扫描过程中的对应可读周期的扫描码到线性表 $L$ 中，如果 $L$ 为空，则叶扫描阶段结束，转根扫描阶段。

2) 如果 $L$ 非空，则循环遍历线性表 $L$ 中的扫描码，并以扫描码构造扫描帧广播给网络上的所有ALD设备，然后根据ALD设备的反馈情况进行处理：

- ① 可读周期。网络有唯一的ALD和扫描码匹配，说明上一轮扫描得到的ALD仍在网络中，RCS根据应答获取该设备的基本信息包括UID、设备类型等，并给该设备赋上HDLC地址，以便该ALD在根扫描阶段对任何后续的扫描码不做应答，同时该扫描码继续留在 $L$ 中。
- ② 空闲周期。网络中没有任何ALD和扫描码匹配，说明上一轮扫描得到的ALD已经移出网络，需从线性表 $L$ 中删除该扫描码。
- ③ 冲突周期。网络中有多个ALD与扫描码的匹配，说明有与原有ALD的UID具有相同后缀新的

ALD设备加入了网络, 需要将该扫描码从L中删除, 并在根扫描阶段对冲突进行分解。

阶段 2 根扫描阶段

- 1) 初始化冲突堆栈STK为空;
- 2) 将扫描码( $\varepsilon, \varepsilon$ )压入冲突堆栈STK;
- 3) 如果冲突堆栈STK非空, 则弹出栈顶元素  $s=(a, m)$ , 构造扫描帧广播给网络上ALD, 然后根据ALD设备的反馈情况做相应的处理:

① 可读周期。RCS根据应答获取该设备的基本信息包括UID、设备类型等, 并将扫描码追加到线性表L中。

② 冲突周期。将(1a, 1m)和(0a, 1m)压入冲突堆栈STK。

③ 空闲周期。如果扫描码中匹配码的首位为0, 则弹出冲突堆栈STK的栈顶元素, 以避免不必要的冲突, 同时将(11a, 11m)和(01a, 11m)压入冲突堆栈STK。

④ 如果冲突堆栈STK为空, 则扫描过程结束, 同时将线性表L的扫描码保存在文件中, 用于下一轮扫描, 否则转步骤3)。

### 4 实验仿真与分析

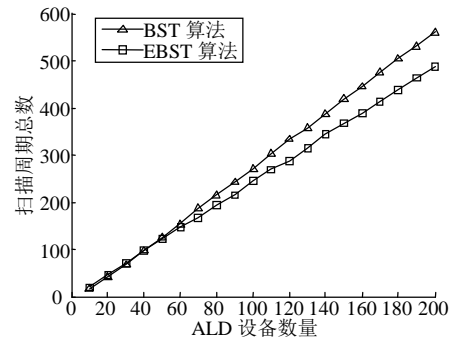
为了验证本文的算法及其相关结论, 通过计算机对上述算法进行仿真实验。针对ALD数为10~200的情况, 首先生成一些24位随机二进制串编码作为ALD的UID, 分别采用BST扫描算法、EBST扫描算法做100次仿真实验, 结果取100次实验的平均值。

仿真实验分以下情况: 1) 首轮扫描。系统没有关于上一次扫描过程中对应可读周期的扫描码。

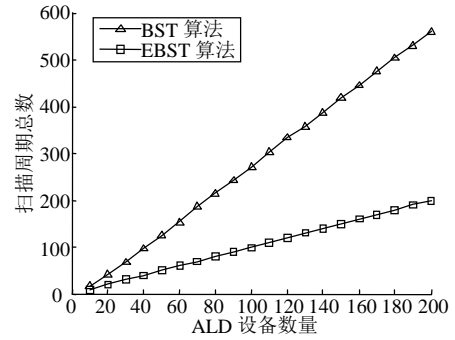
- 2) 非首轮扫描。系统已经存储上一轮扫描过程中可读周期的扫描码, 且网络中的ALD没有变化。
- 3) 非首轮扫描, 但网络中已有10%的ALD被新的ALD替换。
- 4) 非首轮扫描, 但网络中已有30%的ALD被新的ALD替换。

在不同情况下采用BST和EBST算法, 对不同数量ALD设备扫描时扫描周期总数的比较分别如图4所示。

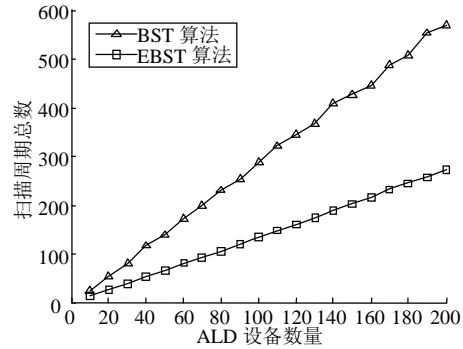
从仿真测试结果可以看出: 1) BST和EBST算法总的扫描周期数与ALD设备数基本保持线性关系, 且与式(5)和式(8)给出的结论基本一致。2) EBST扫描算法和BST扫描算法相比, 能够有效地减少冲突次数, 进而减少扫描周期总数, 提高扫描效率。特别是对于非首轮扫描, 如果网络中ALD变化较小, 扫描周期数大大减少。



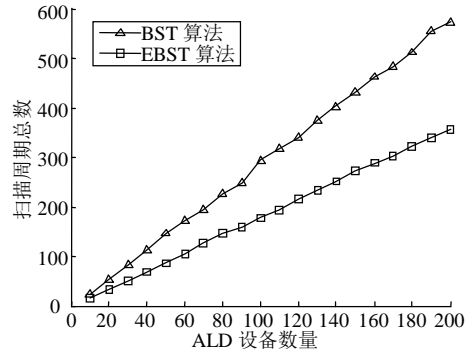
a. 首轮扫描



b. 非首轮扫描, 网络中ALD没有变化



c. 非首轮扫描, 网络中有10%的ALD被替换



d. 非首轮扫描, 网络中有30%的ALD被替换

图4 不同情况下BST算法和EBST算法扫描周期数比较

### 5 结束语

本文对电调天线设备扫描算法的基本思想和性质进行了研究和定性, 提出了基于二叉扫描树的扫描算法, 该算法采用类似于二叉树先根序遍历思想逐步扩展扫描码并分解冲突, 其思想简洁, 容易实

现。通过分析二叉扫描树以及AISG2.0协议的特点,引入了自适应冲突避免机制、叶-根两阶段扫描方法,从而得到改进的基于二叉扫描树的扫描算法,以便利用上一轮扫描对应可读周期的扫描码信息以及扫描过程中一些先验结果,减少扫描过程中的冲突次数。仿真实验证明,该算法改进后能有效地减少天线设备扫描时间,提高了设备扫描识别效率。

### 参 考 文 献

- [1] The Antenna Interface Standards Group. AISG V2.0-2006, control interface for antenna line devices[S/OL]. [2006-06-15]. <http://www.aisg.org.uk>.
- [2] 崔文会. 电调天线系统及电调天线扫描方法[P]. 中国, CN 101674591, 2010.  
CUI Wen-hui. Electrical tilt antenna system and scanning method of electrical tilt antenna[P]. China, CN 101674591, 2010.
- [3] 李俊儒. 扫描电调天线的方法及装置、基站及通信系统[P]. 中国, CN 1017720421 A, 2010.  
LI Jun-ru. Method and device for electrical tilt antenna, base station and communication system[P]. China, CN 1017720421 A, 2010.
- [4] 王永华, 杨健, 詹宜巨, 等. RFID网络读写器冲突避免MAC协议[J]. 电子科技大学学报, 2011, 40(4): 387-391.  
WANG Yong-hua, YANG Jian, ZHAN Yi-ju, et al. Collision avoidance MAC protocol for RFID reader networks[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2011, 40(4): 387-391.
- [5] 丁治国, 朱学永, 郭立, 等. 自适应多叉树防碰撞算法研究[J]. 自动化学报, 2010, 36(2): 237-241.  
DING Zhi-guo, ZHU Xue-yong, GUO Li, et al. An adaptive anti-collision algorithm based on multi-tree search[J]. Acta Automatica Sinica, 2010, 36(2): 237-241.
- [6] MYUNG J, LEE W. Adaptive binary splitting: a RFID tag collision arbitration protocol for tag identification[J]. Mobile Networks and Applications, 2006 (11): 711-722.
- [7] MASSEY L. Collision-resolution algorithms and random access communications[C]//Multiuser Communication Systems. New York, USA: Spring, 1981.
- [8] KIM Y H, KIM S S, LEE S J, et al. An anti-collision algorithm without idle cycle using 4-ary tree in RFID system[C]//Proceedings of the 3rd International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication Table of Contents. New York, NY, USA: ACM, 2009.
- [9] KIM Y H, KIM S S, LEE S J, et al. Improved 4-ary query tree algorithm for anti-collision in RFID system[C]//2009 International Conference on Advanced Information Networking and Applications. Bradford: IEEE, 2009.
- [10] MATHYS P, FLAJOLET P. Q-ary collision resolution algorithms in random access systems with free or blocked channel access[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1985(2): 217-243.
- [11] RYU J, LEE H, SEOK Y, et al. A hybrid query tree protocol for tag collision arbitration in RFID systems[C]//IEEE International Conference on Communications. Athens: IEEE, 2007.
- [12] KIM S H, PARK P. An efficient tree-based tag anti-collision protocol for RFID systems[J]. IEEE Communications Letters, 2007, 5(11): 449-451.

编辑 黄 莘