

RFID 系统防碰撞算法研究

陈红琳

(安徽财经大学 管理科学与工程学院,安徽 蚌埠 233030)

摘要:在射频识别中,多标签识别是一个常见问题,因此多标签防碰撞算法是 RFID 系统研究的重要内容。当系统中包含的标签数较多时,发生碰撞的概率将大大增加。为了提高标签识别的效率,提高射频识别系统的性能,对现有的 RFID 系统防碰撞算法进行了比较分析。从多种防碰撞方法的特性、基于 CDMA 的防碰撞方法、基于 TDMA 的算法几个方面的研究现状作了详尽分析,对概率性防碰撞算法和确定性防碰撞算法中的最新研究成果进行比较,指出各个算法的优缺点,并提出了未来的研究趋势。

关键词:无线射频识别;防碰撞;概率性算法;确定性算法

中图分类号:TP301

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2016)10-0108-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2016.10.024

Research on Anti-collision Algorithm of RFID System

CHEN Hong-lin

(School of Management Science and Engineering, Anhui University of Finance and Economics, Bengbu 233030, China)

Abstract: Multi-tag identification is a common problem in the radio frequency identification, and anti-collision algorithm of multi-tag identification is the key of RFID system research. When the system contains a number of tags, the probability of collision will be greatly increased. In order to improve the efficiency of tag identification and the performance of radio frequency identification, some anti-collision algorithm of RFID system are compared and analyzed. The research situation is analyzed in detail form the characteristics of many anti-collision algorithms and the anti-collision methods based on CDMA and TDMA whose latest results are compared, and the advantage and disadvantage of them are pointed out. Finally, the future research trend is put forward.

Key words: radio frequency identification; anti-collision; probabilistic algorithm; deterministic algorithm

0 引言

无线射频识别(Radio Frequency Identification, RFID)也称为射频识别,是一种新兴的自动识别技术。RFID系统已广泛应用于工业自动化、智能交通运输管理、产品防伪、物流、产品追溯等领域,并取得了很好的成效。

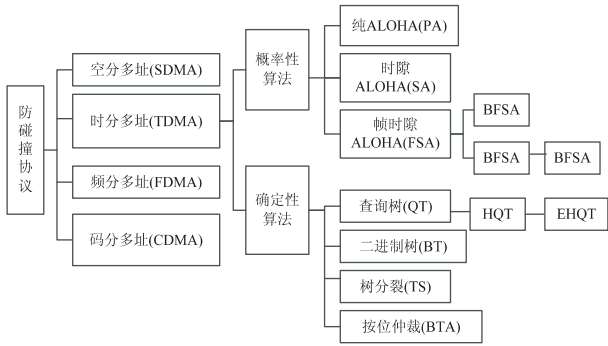
美国的大型零售商沃尔玛在供应链管理中采用RFID技术,减少了现货仓储30%,从而增加纯收入达153.5亿美元。美国服装公司将RFID标签贴到商品上,从而使得销售率增加了14.3%。另外,美国国防部将RFID用于军事,如无线运输监测系统,用来识别跟踪货物运输^[1]。可见,RFID系统有着潜在的效益与广阔的应用前景。

1 RFID 防碰撞协议

RFID系统由标签和阅读器组成,两者利用电磁波的反射能量进行通信,通过阅读器和安装于载体上的RFID标签,能够实现堆载体的非接触识别和数据信息交换。当在阅读器的作用范围内存在多个电子标签时,电子标签向阅读器发送的信号就会出现碰撞,此时阅读器不能准确识别标签。RFID防碰撞的研究主要是解决如何快速准确地从众多标签中识别出一个标签的问题。目前,国内外很多学者对RFID防碰撞问题展开了深入研究,也取得了显著的成果。

结合无线传输的特性,多标签防碰撞可以通过以下四种方式解决^[2]:空分多址(SDMA)、时分多址(TDMA)、频分多址(FDMA)、码分多址(CDMA)。图1展

示了防碰撞协议的分类。



SDMA 主要在空间上划分为多个集群,使得每个集群的标签数量减少,从而减少冲突发生的概率,在每个域内可以采用其他防碰撞方法来解决冲突问题。当在阅读器的作用范围内划分太多集群,可能会导致空集群的出现,这是系统额外的开销,同时也可能出现拥挤集群,这两种情况都会影响系统性能。文献[1]中提出一种基于举例的聚类方法(Power-based Distance Clustering,PDC),解决了在理想状态下最优集群数目的计算方法问题。

FDMA 通过将可用信道划分成不同频率的子通道,标签与阅读器之间的通信可以选择不同的子通道,以避免发生冲突。这种方式要求阅读器和标签能够以一定的机制更换载波频率,大大增加了实现的复杂度,同时也要求整个系统能覆盖更大的带宽。这要求标签能够分离不同的信道,由于被动式标签不具备这个功能,而额外的电路必然会增加标签的复杂性和成本。目前关于 FDMA 的 RFID 防碰撞算法的研究较少,文献[3]提出了一种基于混沌序列的扩频 ALOHA 算法,采用了混沌序列—Chebyshev 对标签的 ID 序列进行扩频,吞吐量较高。

CDMA 是让标签使用不同的调制码对所发数据进行调制,各个标签按照一定的条件随机地产生各自的调制码,当标签与阅读器进行数据通讯时,标签必须用调制码将待发送序列调制后发送,阅读器接收到信号后要解调。该方法对提高数据传输的安全性有一定的优势。

TDMA 是把可用信道按时间分配给不同标签使用,以此解决碰撞问题。这种方式结构简单,实现容易,应用广泛。基于 TDMA 的算法可以通过对标签和阅读器分别进行控制来实现,由于标签控制实现成本较高,因而目前主要的研究重点在于对阅读器的控制。

2 基于 CDMA 的 RFID 防碰撞算法

CDMA 技术应用在 RFID 技术需要在标签内增加扩频码序列,由于随机产生的序列可能无法满

足扩频码的特性,会导致阅读器识别标签失败,这是 CDMA 技术防碰撞算法要解决的首要问题。文献[4]利用码分多址技术,在标签内预存储所需要的扩频码,结合认证密钥和哈希函数,提出了一种适用于 RFID 系统的具有防碰撞功能的安全认证协议。该协议能有效解决碰撞问题,同时可抵抗多种干扰,具有一定的安全性。文献[5]提出了一种基于 Independent Component Analysis (ICA) 的算法,在最大信噪比的条件下,采用 CDMA 机制传输信号。该系统能正确分离不同信号,性能较好;但是该算法由于其收敛速度慢,若学习序列选择不当,会导致阅读器读写标签失败。文献[6]改进了 ICA 算法,提出一种新型的 FastICA-Based on Negative Entropy (FastICABNE)算法,吞吐率最高可达 69%,性能有极大改善。当标签数目大,而调制码序列过短时,将导致大量标签选择相同的调制码序列从而发生碰撞;而当标签数目小,而调制码序列过长时,又导致整个识别时间的增加。针对这个问题,文献[7]提出了一种解决方案:阅读器根据已经识别的标签数目,推断当前未识别的标签数目,并动态地修改标签产生的调制码序列长度,对整个射频识别的耗时过程进行优化。由于 CDMA 存在多址干扰的问题,很多研究者将基于时隙的防碰撞算法与 CDMA 有效结合,充分发挥两者的优势,扬长避短^[8-10]。

3 基于 TDMA 的 RFID 防碰撞算法

基于 TDMA 的防碰撞算法有很多,可以归为两大类:一类是基于时隙的概率性算法—ALOHA,另一类是基于二进制搜索树的确定性算法。ALOHA 算法标签设计简单,成本和功耗较低,但是存在错判和误判的问题。二进制算法识别率较高,错判、误判率低,但是延迟较大。

3.1 概率性防碰撞算法

概率性防碰撞算法主要分为三种:纯 ALOHA (PA)、时隙 ALOHA (SA)、帧时隙 (FSA)。在 PA 算法中,标签随机响应阅读器的发送请求,若单个标签响应,此时没有冲突发生,阅读器发送确认 ACK,若多个标签响应则发生冲突,此时阅读器发送否定确认 NACK,冲突的标签随机等待一段时间重新发送,当标签数量较多时,碰撞概率急剧增大,识别全部标签的时间复杂度也急剧增加,会出现标签“饿死”现象。为了减少碰撞并提高标签的识别率,提出了两种 PA 算法的改进方案:一种是对已经识别的标签去活,使之处于休眠态;另一种是对已经识别的标签增加它们的回退时间^[2]。这两种方法在一定程度上可以减少碰撞的发生,但是都不能很好地解决算法的低效缺陷。

在 PA 算法的基础上对其作了一定的改进,提出

了时隙 SA 算法,即采用时分多路复用机制,将一个时间段划分成多个时间片,把可用信道按时间来划分,标签采用争用的机制去占用时隙,标签只能在时隙之间的分界处发送自身的信息,这样避免了信号部分冲突的概率,但不能避免信号完全冲突的情况,因此冲突率相比于 PA 降低了一半,同时该算法有较好的吞吐率,最大可达 36%。但是当标签数较多时,碰撞概率较大,对于冲突的解决也没有一个很好的机制。另外,如果帧长和标签数之间的差值较大,那么标签的识别时间因为冲突现象而极大增加,因此 SA 算法的系统效率较低^[11]。

在此基础上,研究人员对 SA 算法作了改进,将传输时间划分成若干时隙,若干时隙发送一帧,在每一帧里每个标签被允许发送一次,标签随机选择一个时隙发送其 ID 序列,若发生碰撞,标签会在下一帧里重发冲突序列。FSA 算法可分为基于时隙的 ALOHA (BFSA) 和动态帧时隙 ALOHA (DFSA)^[2]。BFSA 算法的读者的每一帧时隙数是固定不变的,标签只有在规定的时隙内才能正确传输,算法吞吐率最大可达 36.7%^[2,12]。在 BFSA 算法中,当阅读器周围的标签数远少于时隙数时,必然会存在大量的空闲时隙,使得系统的效率低下;而当标签数远大于时隙数时,碰撞概率大大提高。DFSA 算法可以在阅读器发送时隙受限时提高系统阅读效率,使时隙数随标签数的变化而自动调整。当标签数量较少时,时隙数被初始化为一个较小的值(如 2、4 等),并不断增加,直到第一个标签被识别为止^[2]。当标签数很多时,时隙的调整就必须采用一种更为高效的方式。研究表明,当阅读器的时隙数和周围标签数量相等时,标签成功传输的概率最大^[13]。文献[12]指出,当系统最大发送时隙数等于响应标签数量时,系统传输的效率为 26.4%。DFSA 算法实现的关键在于标签数的估计,研究者提出了增强的 DFSA 算法(EDFSA),关于这方面的研究也有很多相关的成果。由于阅读器发送的时隙不可能随着周围标签数的增加而无限增加,因此要给时隙数设置一个门限值,文献[14]中建议门限值为 256,此时响应的标签数应等于最大时隙数。若标签数远大于时隙数,此时可将标签分成若干组,文献[12]指出,当标签数大于 270 时,阅读器选择 256 个标签进行处理,若标签数小于 270,则按照 DFSA 算法进行处理。通过实验比较,该算法的效率高于 DFSA。此外,文献[15-16]也对 DFSA 算法做了改进与优化。

3.2 确定性防碰撞算法

确定性算法的原理是由阅读器首先发送一个匹配前缀,每个标签都有自己的前缀匹配电路,标签 ID 号的相应长度前缀与阅读器的匹配前缀进行比较,若

相同则应答。确定性算法主要分为四类:查询树搜索算法(Query Tree, QT)、二进制树搜索(Binary Tree, BT)、树分裂(Tree Splitting, TS)、按位仲裁(Bitwise Arbitration, BTA)。

在 QT 算法中,阅读器发送长度为 n 的匹配前缀 prefix,标签 ID 的前 n 位若与 prefix 匹配,则发送其后的 ID 号,如果发生碰撞,此时阅读器将 prefix 后增加一个 0 或 1 构成新的 prefix,再重新进行查询,直到只有一个标签响应为止^[13]。QT 算法的查询过程符合二叉树的特性,询问树的内部节点为碰撞周期,叶子节点为成功周期。由于不能得知 ID 的分布,所以扩展查询前缀的时候会产生大量无用的前缀,使得该算法效率低下。文献[17]提出了混合询问树算法(Hybrid Query Tree, HQT),用四叉询问树代替二叉询问树,采用时隙补偿机制来减少空闲周期。若响应标签发生碰撞,阅读器将 prefix 后增加两位二进制数(00、01、10、11)再进行询问。改进算法减少了碰撞周期(该算法引进了时隙补偿机制,当标签与 prefix 匹配时,标签延时 0 到 3 个时隙再响应),但如果某一时隙没有标签响应,则产生了空闲时隙,因此 HQT 算法不能达到减少空闲周期到最佳状态的目的。基于此,一种高效的 HQT (Efficient Hybrid Query Tree, EHQT) 算法被提出^[18]。当响应标签发生碰撞,阅读器将 prefix 后增加三位二进制数再进行询问,也即采用八叉询问树来进一步减少碰撞周期。该算法采用的时隙补偿机制同样也是延时 0~3 个时隙来发送,延时的时隙数由 prefix 的后三位中 1 的个数决定,采用这种方法可以避免空闲时隙。通过比较,EHQT 算法的询问次数比 HQT 算法大大减少。文献[19-21]中也有关于该算法的相关研究。

BT 搜索算法的核心是通过多次比较,不断筛选出不同的序列号。标签收到阅读器发来的序列号,若自己的序列号小于它,则做出响应;如果发生碰撞,阅读器会对发生碰撞的最高位置 0,其后各位全部置 1,然后把该序列作为下一轮请求的序列,重复这个过程,直到只有一个标签响应为止。最后阅读器使用命令使读出的标签进入“无声”状态,即在后面的识别过程中不再响应阅读器的询问。重复执行以上过程,识别出所有标签^[21]。在二进制树搜索算法中,阅读器每一次询问都要发送完整序列,标签也要响应完整的标签序列,阅读器与标签每次发送的指令位数较多。动态二进制搜索算法在此基础上做了改进^[22],使得阅读器每次只需发送到最高碰撞位为止的前半段序列,标签只需要发送最高碰撞位以后的后半段序列,极大地减少了交互的指令位数。在二进制搜索算法中,每一次识别出一个标签后都要从头开始识别下一个标签,因而效率低下。后退式二进制搜索算法对此作了进一步的改

进,文献[23]使用栈保留了之前的传输指令,当识别出一个标签后,只需从栈中取出指令来识别下一个标签,该算法大大减少了读写次数,提高了搜索效率。目前,在此基础上,研究人员又对该算法进行优化,相继提出了一系列的优化算法。文献[24]中提出的算法首先要求所有标签向阅读器发送完整的序列,然后由阅读器获取其中的所有碰撞比特,并记录碰撞的位数。在随后的识别过程中,阅读器和标签只需要对碰撞位的数值进行识别,而忽略其他比特位。该算法极大地降低了阅读器与标签之间传输数据量以及阅读器发送请求的次数,传输效率较好。文献[25]提出一种基于搜索矩阵的自适应防碰撞算法(ASM),该算法根据标签碰撞位置,获得一个固定的 $2 \times k$ 阶前缀搜索矩阵(k 为碰撞次数),通过栈来存储碰撞时的搜索深度,当阅读器返回上层未完成全分支搜索节点处时,根据栈中提供的搜索深度及不同时隙的状态,自适应地调整搜索路径。当碰撞位不连续时,该算法识别效率较高,但当碰撞位连续时,随着搜索深度的增加,识别性能降低。文献[26]在此基础上作了改进,将前缀搜索矩阵改为 $8 \times k$ 阶,对碰撞位进行分段构造初始前缀搜索矩阵,每段最多为3位。在识别过程中,如果发生碰撞,阅读器则采用一种新的查询机制获得准确的查询前缀,动态调整搜索矩阵。该算法能大大减少碰撞时隙数,避免空闲时隙的产生。

TS算法通过一个随机数生成器将响应标签划分成不同的分裂子集,子集大小不断减小,直到子集里只包含一个标签为止。每个标签中有一个随机二进制生成器和一个计数器,当计数器为0时,标签处于准备态,否则处于休眠态或等待态。每个时隙阅读器都要告知本时隙是碰撞、成功还是空闲,处于不同状态的标签会做出相应的反应。文献[21]提出通过在阅读器设置栈及标签中设置内部休眠计数器,使阅读器和标签具有记忆功能,因而该算法缩小了符合条件的标签范围,减少了标签碰撞的概率,同时由于采用栈存储命令,减少了发送指令的位数,故该算法降低了识别时间。当标签数较多时,分裂树分裂速度较慢,而若标签数较少时,会存在较多的空闲时隙。文献[27]提出了一种自适应分裂树(Adaptive Splitting Tree,AST)算法,在碰撞时隙内,结合碰撞集规模确定规模集参数,使得碰撞标签均匀分布到各子集中。当标签较多时,该算法可加速分裂,标签较少时,可以减少空闲时隙,因而该算法识别效率较高。

BTA算法要求标签将ID从高位到低位依次发送,在发送过程中要求保持标签的同步性,换句话说,就是要求多个标签发送相同的位,当只有两个标签发送碰撞时,此时出现两个不同的响应位,该位的位置就可以

被指定^[28],该算法能识别出全部标签,但搜索时间过长。文献[29]提出了基于状态仲裁的锁位防碰撞算法,该算法首先检测所有标签的冲突位,进行锁位处理,将冲突位生成新的序列,然后把标签分为去活态、休眠态和准备态三种状态:已经识别的标签标记为去活态;符合询问条件的为准备态;其余的为休眠态。每识别出一个标签后,下一次的搜索就可限制在准备态的标签中,当准备态的标签全部识别后,处于休眠态的标签就可转变为准备态。该算法极大地减少了一次识别中冲突的标签数,能快速识别出各种标签,同时锁位处理可以减少通信的数据量,特别对于标签ID连续的情况,该算法有极大的优越性。

通过对以上比较典型的确定性防碰撞算法的特性进行分析,对几种算法在执行过程中标签和阅读器的传输数据量、阅读器识别次数、算法实现的难易程度及算法执行效率作了比较,结果见表1。

表1 几种改进算法性能比较

算法	传输数据量	识别次数	适合标签数	算法复杂性	效率
文献[17]	多	多	少	简单	低
文献[18]	多	中等	少	中等	高
文献[22]	多	多	少	中等	低
文献[23]	中等	中等	少	简单	中等
文献[23]	少	中等	少	简单	高
文献[24]	少	少	多	中等	高
文献[25]	中等	少	少	中等	中等
文献[26]	少	少	多	中等	高
文献[27]	少	少	多	复杂	高
文献[29]	少	少	多	中等	高

4 提高防碰撞算法效率的策略

基于对相关文献的阅读与分析,防碰撞算法的设计目标是准确、快速、完整、安全地识别标签,算法分别从识别次数、传输数据量和减少空闲时隙入手,来提高标签读取效率。

(1)识别次数。标签识别次数越少,阅读器识别所有标签的时间越短,识别效率越高。在帧时隙ALOHA算法和查询树算法中,通过在识别过程中划分时隙,减少同一时刻响应的标签数来减少碰撞的概率,从而达到减少识别次数的目的。另外,在二进制搜索树算法中,利用栈来存储已发送的请求命令参数,也可以减少发送请求命令的次数。最后,在识别过程中应用码分多址、频分多址技术对数据进行编码,只要编码的码元或频率不同,也可以区分不同标签,从而减少标签识别次数。

(2)传输数据量。识别过程中传输的数据量多少

必然影响识别时间,因此,各种算法在优化过程中也要考虑如何减少传输数据量的问题,可以从三方面入手:第一,对所有标签进行预处理,即在标签识别前,先通过所有标签的发送序列判断碰撞位,忽略相同的比特位,后面的识别过程中只对碰撞位进行处理,这种方法可以极大减少识别过程中的传输数据量;第二,采用栈存储已发送的命令参数,完成一次识别操作后,不需要重复发送请求命令,只需从栈中读取即可;第三,减少请求和响应命令中参数的比特位数,忽略已经识别的和相同的比特位,只发送未识别的比特位,减少冗余数据的传送。

(3)空闲时隙。在非确定性算法和确定性算法中都可以对识别过程进行时隙划分,可大大减少碰撞概率,但不可避免地存在一定的空闲时隙,延长了识别时间,特别是当标签数量较少时,空闲时隙会较多。在 FSA 算法中,可以通过估算标签数来动态调整时隙数,时隙数越接近标签数,算法效率越高。QT 算法中根据二进制树的结构来划分时隙,标签数较少时,可采用文献[18]中的八叉树结构,根据三位二进制位中 1 的个数来确定时隙数。当标签数较多时,可以在识别过程中使碰撞标签均匀分布在不同时隙来减少空闲时隙,或者利用栈中存储的搜索深度及不同时隙的状态,自动调整搜索路径,这两种方法都能在一定程度上减少空闲时隙。

综上所述,提高标签识别效率的角度和方法各不相同,算法难易程度也存在一定的差异。一般来说,算法越简单,实现越容易,但效率越低;相反,算法效率越高,算法越复杂,越难实现。同时,不同算法在标签数量变化时识别效率也会随之不同。所以,在具体应用中,应综合考虑成本、标签数、效率、环境等多种因素来设计合适的算法。

5 结束语

基于对已经取得的成果以及对未来应用中可能出现的问题的分析,目前,仍有以下问题值得进一步的研究:

(1)基于空分多址的 RFID 防碰撞算法研究。未来 RFID 系统必应用于大规模、超大规模的标签数的环境,在空间上划分域,按区域识别,能提高系统识别效率,而目前在这方面的研究较少。

(2)RFID 识别过程的信息安全、抗干扰问题。由于标签与阅读器之间采用无线的方式传输信息,这就面临着很多安全方面的问题,而采用现有的无线安全策略又必然会增加标签成本。

因此,好的算法应兼顾成本、性能、安全性等各方面因素。

参考文献:

- [1] Ullah S, Alsali W, Alsehim A, et al. A review of tags anti-collision and localization protocols in RFID networks[J]. J Med Syst, 2012, 36: 4037-4050.
- [2] Klair D K, Chin K W, Raad R. A survey and tutorial of RFID anti-collision protocols[J]. IEEE Communication Surveys and Tutorials, 2010, 12(3): 400-421.
- [3] 陈旭辉, 万磊, 龚仁彬. 基于混沌扩频序列的 RFID 防碰撞算法分析[J]. 微电子学与计算机, 2012, 29(12): 64-67.
- [4] 丁治国, 朱学永, 雷迎科. 基于码分多址和防碰撞功能的 RFID 安全认证协议[J]. 中国科学院研究生院学报, 2010, 27(3): 397-403.
- [5] Yuan Lifan, He Yigang. Application of ICA-based anti-collision algorithm in RFID system[J]. Analog Integrated Circuits and Signal Processing, 2010, 63(2): 169-175.
- [6] 彭永华, 何怡刚. 一种新型 ICA 算法在 RFID 系统中的应用[J]. 计算机工程, 2012, 38(19): 25-29.
- [7] 王平, 胡爱群, 裴文江. 一种基于码分复用机制的超高频 RFID 防碰撞方法[J]. 电子与信息学报, 2007, 29(11): 2637-2640.
- [8] 李泽兰, 何怡刚, 刘拓晟. 基于广义地址码的 RFID 防碰撞算法[J]. 计算机测量与控制, 2010, 18(5): 1114-1117.
- [9] 赵晓霞, 昂志敏, 郭治. 一种新的时隙 ALOHA 算法[J]. 合肥工业大学学报: 自然科学版, 2010, 33(6): 855-858.
- [10] Zhang Weijun, Zhang Shuping, Zhang Dawei. An anti-collision algorithm of RFID tags based on CDMA[J]. Advances in Intelligent and Soft Computing, 2012, 159: 119-123.
- [11] 姜仲云, 钱晨, 袁玉勇, 等. 一种新型混合帧 ALOHA 和 BS 防冲突算法[J]. 电子科技, 2011, 24(10): 88-92.
- [12] 翟永, 徐进. 一种用于 RFID 系统的防碰撞算法[J]. 计算机工程, 2009, 35(9): 272-274.
- [13] Bolic M, Ryle D S, Stojmenovic I. RFID systems: research trends and challenges[J]. Wiley, 2010, 207: 1124-1143.
- [14] 郭来功, 黄友锐, 蔡俊. 优化的动态帧时隙 ALOHA 防碰撞算法[J]. 计算机应用研究, 2012, 29(11): 4141-4143.
- [15] Liu Shian, Peng Xiaojuan. Improved dynamic frame slotted ALOHA algorithm for anti-collision in RFID systems[J]. Internet of Things, 2012, 312: 242-247.
- [16] 刘齐宏, 李天德, 周志斌, 等. 基于射频识别系统 RFID 动态时隙算法的经济性研究[J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2009, 41(6): 183-186.
- [17] Ryu J, Lee H, Seok Y, et al. A hybrid query tree protocol for tag collision arbitration in RFID systems[C]//Proc of IEEE international conference on communications. [s. l.]: IEEE Press, 2007: 5981-5986.
- [18] 孙文胜, 陈安辉. 高效的 RFID 混合询问树防碰撞算法[J]. 计算机应用研究, 2011, 28(10): 3717-3719.
- [19] 周清, 蔡明. 改进的 RFID 混合查询树防碰撞算法[J]. 计算机工程与设计, 2012, 33(1): 209-213.

算法与预拷贝算法在性能上的差别不大;但是在高负载场景下,脏页预测算法的优越性表现突出,提升了动态迁移的性能。

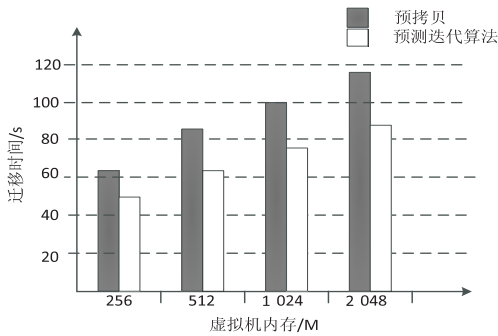


图 5 高负载场景总迁移时间对比

5 结束语

文中分析了动态迁移中的迭代拷贝机制,对于脏页的重复传送现象,提出了脏页预测算法的动态迁移,通过对比实验数据验证了算法在高负载场景下的优越性。下一步将继续优化动态迁移的性能,对网络带宽以及停机时间在动态迁移中存在的不足进行进一步的优化。

参考文献:

- [1] 韩德志,李楠楠,毕 坤. 云环境下的虚拟化技术探析[J]. 华中科技大学学报:自然科学版,2012,40(S1):262-265.
- [2] 熊安萍,徐晓龙. 基于内存迭代拷贝的 Xen 虚拟机动态迁移机制研究[J]. 计算机科学,2013,40(8):63-65.
- [3] 崔 勇,林子松,李润知,等. 虚拟机实时迁移中自适应阈值机制的研究[J]. 小型微型计算机系统,2015,36(3):466-470.
- [4] Clark C, Fraser K, Hand S, et al. Live migration of virtual machines[C]//Proceedings of the 2nd conference on networked systems design and implementation. [s. l.]: [s. n.], 2005:

273-286.

- [5] 孙 昱. 虚拟机 Xen 及其实时迁移技术研究[D]. 上海:上海交通大学,2008.
- [6] 阮 敏. Xen 环境下实时迁移结构和算法研究[D]. 大连:大连海事大学,2009.
- [7] 陈 阳,怀进鹏,胡春明. 基于内存混合复制方式的虚拟机在线迁移机制[J]. 计算机学报,2011,34(12):2279-2291.
- [8] 孙国飞,谷建华,胡金华,等. 基于预拷贝的虚拟机动态内存迁移机制改进[J]. 计算机工程,2011,37(13):36-39.
- [9] Jin H, Deng L, Wu S, et al. Live virtual machine migration with adaptive memory compression[C]//Proceedings of the 2009 IEEE international conference on cluster computing. [s. l.]:IEEE,2009:1-10.
- [10] 陈廷伟,姜雅楠. 基于概率预测的改进虚拟机内存预拷贝方法[J]. 计算机工程,2015,41(7):289-293.
- [11] 张 伟,张晓霞,王汝传. 一种基于脏页面延迟拷贝的虚拟机动态内存迁移方法[J]. 计算机科学,2013,40(5):126-130.
- [12] Amani A, Zamanifar K. Improving the time of live migration virtual machine by optimized algorithm scheduler[C]//Proc of international conference on computer and knowledge engineering. [s. l.]:[s. n.], 2014.
- [13] Franciso J, Enrique S. Adaptive downtime for live migration of virtual machines[C]//Proc of international conference on utility and cloud computing. [s. l.]:[s. n.], 2014.
- [14] 张中平. 指数平滑法[M]. 北京:中国统计出版社,1996:36-49.
- [15] 冯金巧,杨兆升,张 林,等. 一种自适应指数平滑动态预测模型[J]. 吉林大学学报:工学版,2007,37(6):1284-1287.
- [16] Sharma S, Chawla M. A technical review for efficient virtual machine migration[C]//Proc of international conference on cloud & ubiquitous computing & emerging technologies. [s. l.]:[s. n.], 2013.

(上接第 112 页)

- [20] 南敬昌,单晓艳,高明明. RFID 系统中改进的混合查询树防碰撞算法[J]. 计算机工程,2012,38(23):291-292.
- [21] 高金辉,郑彦晓. RFID 系统中二进制搜索防碰撞改进算法[J]. 计算机测量与控制,2012,20(10):2754-2756.
- [22] Choi J H, Lee D, Youn Y. Scanning-based preprocessing for enhanced tag anti-collision protocols[C]//Proc of international symposium on communications and information technologies. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2006:1207-1211.
- [23] 余松森,詹宜巨,彭卫东,等. 基于后退式索引的二进制树形搜索反碰撞算法及其实现[J]. 计算机工程与应用,2004,40(16):26-28.
- [24] 袁正午,段莉丹. 改进的基于堆栈存储的二进制搜索算法

[J]. 计算机应用,2012,32(11):3089-3091.

- [25] 丁治国,郭 立,刘 琦. 一种基于搜索矩阵的自适应防碰撞算法[J]. 模式识别与人工智能,2008,21(4):476-481.
- [26] 文 超,欧若风,凌 力. 基于自适应分裂树的 RFID 防碰撞算法[J]. 计算机工程,2011,37(24):287-289.
- [27] 徐海峰,姜 晖,刘 振. 一种改进的 RFID 自适应防碰撞算法[J]. 计算机工程,2012,38(17):290-292.
- [28] Bo F, Tao L J, Bo G J, et al. ID-binary tree stack anti-collision algorithm for RFID[C]//Proc of 11th IEEE symposium on computers and communications. Sardinia, Italy: IEEE, 2006:207-212.
- [29] 张捍东,何明敏. 基于状态仲裁的锁位防碰撞算法[J]. 计算机工程,2012,38(15):290-292.