

多标签环境下 RFID 系统的受限链路*

李忠建 张雪凡 叶 畅 陈文涛

(上海大学 特种光纤与光接入网省部共建重点实验室 上海 200072)

摘要: 密集布放标签时, UHF RFID 标签之间存在耦合, 导致系统性能下降。标签接收到的阅读器发射功率小于耦合标签的激活功率, 或者阅读器接收不到标签的反射信号, 阅读器和标签之间不能正常通信。本文首先从理论上推导出了标签耦合时前后向链路的性能, 并仿真了标签耦合时的增益以及散射面积等因素, 然后用前后向链路最大读取距离比值法分析判断出了 RFID 的受限链路, 最后用天线探针的实验方法证明了结论。该结论对阅读器天线的选取、正确摆放标签的位置以及提高 RFID 系统的读取性能有着重要意义。

关键词: RFID; 链路; 密集布放; 射频识别; 耦合

中图分类号: TN82 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.1015

Link constrains in RFID with intensive tags

Li Zhongjian Zhang Xuefan Ye Yang Chen Wentao

(The Key Laboratory of Specialty Fiber Optics and Optical Access Networks, Shanghai 200072, China)

Abstract: When laying intensive tags, there is a coupling between the UHF RFID tags. It causes the system performance degradation. If the power one tag received from reader is less than the activation power of coupling tags, or the reader can't receive the reflected signal of coupling tags, then the reader can't be normal communication with the coupling tags. Firstly, in this paper, the performance of the forward link and the reverse link theoretically derived from the coupling tags. And this paper also simulated the gain and scattering area when many tags are put together. Then the ratio of the maximum reading distance of forward and reverse link analysis and figures out RFID restricted link. Finally, the experiment of antenna probe proves this thesis conclusion. The conclusion for the reader antenna selection, proper placement position of tags and improve RFID tag read performance system is of great significance.

Keywords: RFID; link; intensive laying; radio frequency identification; coupling

1 引言

射频识别系统(radio frequency identification, RFID)是一项非接触式自动识别技术,具有低功耗,适应性强,操作快等优点。RFID系统的用途广泛^[1],在门禁系统、图书馆、食品安全溯源等方面已得到大量运用。在UHF RFID系统中,读写器和标签通过空间反射进行通信^[2],读写器天线发送电磁波信号,标签接收读写器发送的电磁波能量,并对读写器信号进行解码,正确解码后,标签通过改变标签芯片的阻抗来改变标签对读写器信号的反射系数,从而向读写器传送标签信息实现通信。当在阅读器的周围存在多个标签时,通过设计防碰撞算法可以分别使标签与阅读器正确通信。但是在一些场合应用中,如图书馆、电子门票等,标签密集布放时间距很小,标签之间容易发生电磁耦合,使得部分标签不能被阅读器成功识别^[3]。

已有很多文献对标签耦合时,限制阅读器和标签正常通信的链路进行了讨论,但理论分析和实验验证都不全面。文献[4]只讨论了前后向链路的限制因素,但没有实验验证;文献[5]对前后向链路进行了大量的理论说明和图形仿真,但也缺少必要的实验数据;文献[6-8]讨论了标签耦合对前后链路的影响,但没有得出受限链路的判定结果;文献[9]通过实验证明了前后向链路公式,得出了标签的受限链路,但是没有考虑天线耦合时增益的变化。考虑到了上述缺陷,由于标签耦合对标签性能的恶化造成的影响不可忽视,本文正是基于标签间距较小时,标签天线的增益和雷达反射面积都会发生改变,首先通过推导了前后向链路的特性,然后从仿真、计算的角度判断出了受限链路,最后通过微波暗室中反射信号的抓取实验证明了受限链路。本文实验结果对理解标签耦合对通信链路的影响、对标签位置的摆放以及对阅读器的选取等具有重要的现实意义。

收稿日期:2015-05

* 基金项目:上海市科学技术委员会重点支撑项目(12510500600)

2 RFID 标签密集布放时的链路分析

阅读器和标签之间的通信是通过前向链路和后向链路的正确传输得到,任一条链路的中断,正常通信将不能进行。下面将分别从前向链路和后向链路两个方面推导导致阅读器和标签通信的中断链路。标签密集布放时如图 1 所示,根据文献[5]可知,两枚标签耦合对系统链路造成的影响与多枚标签耦合造成的影响趋势是一致的,也就是说两枚标签的理论推导和实验所得到的结论已经可以反映标签的群读性能,为了讨论标签耦合对 RFID 系统链路的影响,引入 2 枚标签耦合模型。在阅读器的远场区,两枚标签并排放置,标签之间的距离为 10 mm,基于此条件,下面进行链路分析。

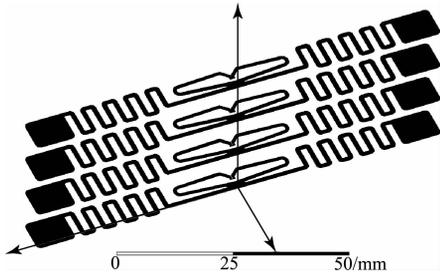


图 1 标签仿真图

2.1 前向链路

前向链路是指由阅读器到标签的通信链路,如图 2,阅读器向标签传输能量和信号,标签芯片接收到的信号强度必须大于其灵敏度才能正常工作^[10-11]。根据 Friis 传输方程,在阅读器天线远场区,标签获得的功率 P_{tag} 可以表示为:



图 2 RFID 前向链路示意图

$$P_{tag} = P_{reader} G_r G_t E_{reader} E_{tag} E_{pol} \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 \quad (1)$$

式中: G_r, G_t 分别表示阅读器天线的增益和标签天线的增益, P_{reader} 表示阅读器的发射功率, E_{reader} 代表阅读器辐射电阻不匹配的损耗, E_{tag} 代表标签阻抗不匹配损失的能量, E_{pol} 代表阅读器和标签天线极化不匹配时的损耗。若要标签正常工作,则标签接收到的功率应大于芯片的开启功率 P_{th-tag} ,当标签接收功率正好为开启功率时,根据此时临界功率密度与开启功率的关系 $W_{tag,th} = P_{th-tag} / (\lambda^2 G_r E_{tag})$ ^[9],仿真图见图 3, Tag 1 代表 Alien AZ-D, Tag 2 代表 Alien 9662。则式(1)满足:

$$P_{reader} G_r E_{pol} \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 \geq \lambda^2 W_{tag,th} \quad (2)$$

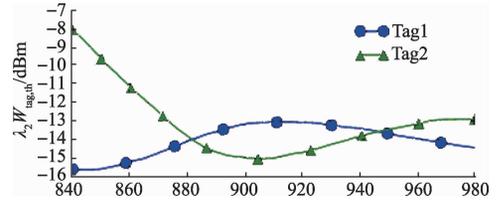


图 3 $\lambda^2 W_{tag,th}$ 的仿真图

由(2)式得前向链路最大读取距离 r_{max-} 为:

$$r_{max-} = \left(\frac{P_{reader}}{\lambda^2 W_{tag,th}} G_r E_{reader} E_{pol} \right)^{1/2} \left(\frac{\lambda}{4\pi} \right) \quad (3)$$

2.2 后向链路

后向链路是指由标签到阅读器的通信链路,如图 4,标签自身是没有电源的,阅读器天线发出幅度恒定的持续波,标签芯片被激活时通过调节自身的阻抗改变标签雷达截面,形成不同幅度的反射信号^[12]。阅读器由标签反向散射获得的功率 P_{reader_back} 可以表示为^[13]:

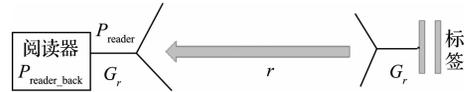


图 4 RFID 后向链路示意图

$$P_{reader_back} = P_{reader} (G_r G_t E_{pol})^2 \frac{\lambda^2}{(4\pi)^3 r^4} \Delta\delta \quad (4)$$

式中: $\Delta\delta$ 代表雷达反射面积^[14],其仿真图如图 5 所示。若要反向链路能正常工作,标签反射回阅读器的功率要大于阅读器的灵敏度 $P_{th-reader}$,满足下式:

$$P_{reader} (G_r G_t E_{pol})^2 \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^4 \Delta\delta \geq P_{th-reader} \quad (5)$$

由式(5)反向链路最大读取距离为:

$$r_{max-} = \left(\frac{P_{reader} \Delta\delta}{P_{th-reader}} \right)^{1/4} (G_r G_t E_{pol})^{1/2} \left(\frac{\lambda}{4\pi} \right) \quad (6)$$

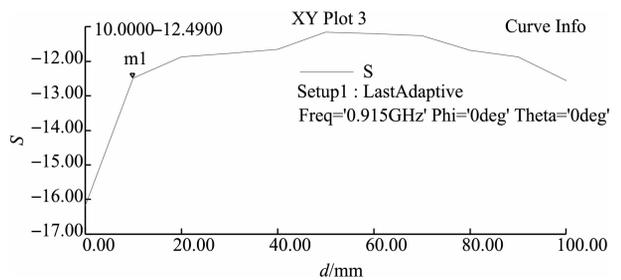


图 5 雷达反射面积仿真图

2.3 前后链路性能分析

从式(3)和式(6)可以得出 r_{max-} 和 r_{max+} 分别表示前向链路的最大读取距离和后向最大读取距离,但这两个距离并不是阅读器读取标签的最大距离,要阅读器能正确读取标签,需保证 $r_{max} \leq \min(r_{max+}, r_{max-})$ 。下面利用前后链路最大距离比值来分析前后链路的限制问题。

$$\frac{r_{\max\rightarrow}}{r_{\max\leftarrow}} = \left(\frac{1}{\lambda}\right) \left[\frac{P_{\text{reader}} P_{\text{th-reader}}}{\Delta\delta(W_{\text{tag,th}})^2}\right]^{1/4} \quad (7)$$

从式(7)可以看出,如果 $r_{\max\rightarrow}/r_{\max\leftarrow}$ 的比值小于 1,则前向链路是限制阅读器和标签正确通信的主要因素;反之,如果比值大于 1,则后向链路是限制阅读器和标签的正确通信的主要因素。

在理论推导中,取阅读器的发射功率 P_{reader} 为 30 dB,工作频率为 915 MHz,标签芯片的灵敏度为 11 dB,根据式(7)和图 3、图 4 可以仿真出 $r_{\max\rightarrow}/r_{\max\leftarrow}$ 的关系,如图 6 所示。

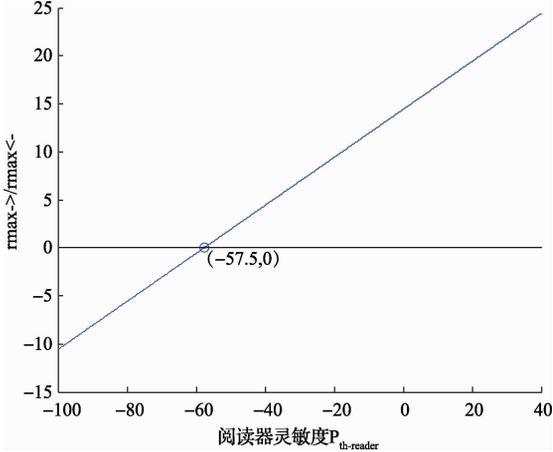


图 6 $r_{\max\rightarrow}/r_{\max\leftarrow}$ 与阅读器灵敏度的关系

从图中可以看出,在其他因素一定的情况下,当阅读器灵敏度 $P_{\text{th-reader}}$ 大于 57.5 dB 左右时,限制阅读器和标签通信的主要因素是前向链路;当小于 57.5 dB 时,限制阅读器和标签通信的主要因素是后向链路。当然从式(7)还得出,如果标签的灵敏度增大到一定程度或者反射面积减小到一定程度时,后向链路将会成为限制 RFID 系统通信的主要因素。

3 实验测试与分析

为证明上述推论,本论文采用天线探针的方法来验证结果,如图 7。它的工作原理是:阅读器向标签发送电磁波能量,标签通过调节自身阻抗把能量反射回阅读器,阅读器成功识别标签,当阅读器读取不到标签时,如果能在后向链路抓取到标签的反射信号,则标签反射的信号淹没在后向链路;反之,阅读器发射的信号淹没在前向链路。如果采用平常的阅读器读取标签的装置,则前向链路对后向链路影响比较大,示波器抓取到的信号往往是前向链路的,背离了实验的初衷,因此采用图 7 装置。本实验采用基于 R2000 芯片的阅读器和增益为 8 dB 的圆极化阅读器天线,标签采用美国 Alien 公司的 Alien9662,标签 1 的 PC+EPC 为 3000130733B2DDD9014000000000,标签 2 的 PC+EPC 为 3000130733B2DDD9014000000001,阅读器天线灵敏度为 70 dB。该实验在微波暗室中进行,避免外面的噪声干扰。

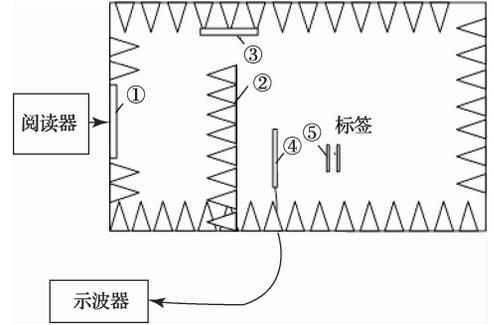


图 7 标签反射信号捕获装置(俯视图)

由图 7 可看出,①为阅读器读写天线,为定向天线;②为遮挡板,遮挡板由吸波材料组成,可以阻挡阅读器发射天线发出的电磁波,防止其进入背后的检测天线对标签反射信号造成干扰。在遮挡板的一侧留有一定的缝隙作为反射通道,阅读器天线的发出的电磁波可以通过反射通道进行反射,从而读取标签。③为反射板,反射板位于遮挡板一侧的缝隙中,用于反射阅读器信号和标签反射信号。反射板采用金属材质构成,通过调整反射板的位置可以调节反射信号的大小。④为检测天线,直接与示波器相连接,检测天线是定向天线,其增益为 5 dB。⑤为标签,位于遮挡板的背面,由于遮挡板对电磁场的阻挡,标签不能直接接收到阅读器的读写命令,但是可以收到反射板的反射信号,检测天线位于遮挡板和标签之间,其正面面对标签,进一步减小了对阅读器天线信号的接收,而可以大量接收标签的反射信号;两标签并列排放,多次做实验,让第一个标签正好处在阅读器的识别边缘。采用此装置,标签能够接收到大部分反射板反射的信号,而检测天线接收到的较少。标签的反射信号则能够被检测天线大量接收到,这样就避免了阅读器信号的干扰。该装置中信号传播示意图如图 8 所示。

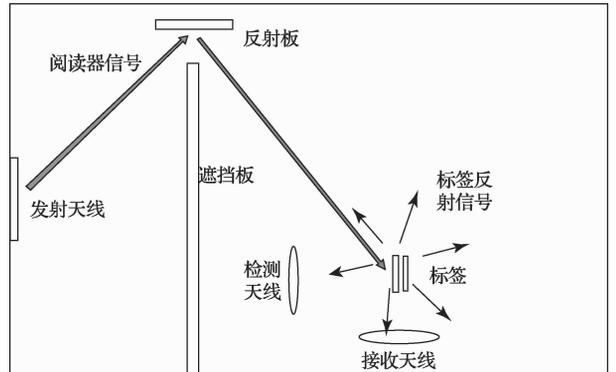


图 8 捕获装置中信号传输路径

表 1 阅读器读取标签情况 3

	d/m	4.0	4.5	5.0
标签 1		读到	读到	读不到
标签 2		读到	读不到	读不到

表 2 示波器读取标签情况

d/m	4.0	4.5	5.0
标签 1	读到	读到	读不到
标签 2	读到	读不到	读不到

利用该装置,阅读器读取标签情况如表 1 所示,示波器抓取的标签反射信号如表 2 所示,在标签和阅读器的距离为 4.5 m 时,示波器捕捉到的反射信号波形如图 9 所示,图中横坐标的单位是 s,波形的总时间为 0.5 s,图中总计有 29 个突起,突起中间部分是阅读器的命令信号。经过软件放大,发现每个凸起部分的波形是一样的,与标签 1 的反射波形一致,放大后,根据 18000-6c 协议对其反射波分析,如图 10。从图可看出,该波形的信息与标签 1 的 PC+EPC 相同。从表 1、表 2 和图 11 可得出:若示波器抓取到反射信号,则阅读器一定能读取到标签;反之,则不能。经过此实验,证明了当采用的阅读器天线灵敏度大于 57.5 dB 时,如

果阅读器没有收到标签的反射信号,则阅读器发射给标签的信号一定是淹没在了前向链路,那么限制阅读器和标签通信的主要因素就是前向链路,因此,阅读器发射的信号淹没在前向链路,标签 2 接收不到信号,证明了上述结果。

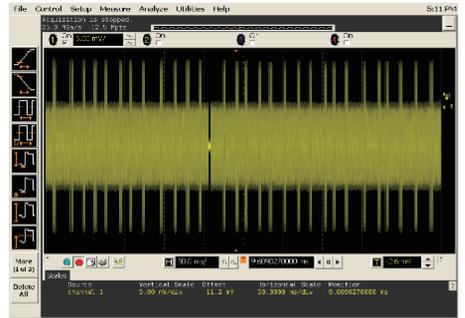


图 9 标签反射信号的波形

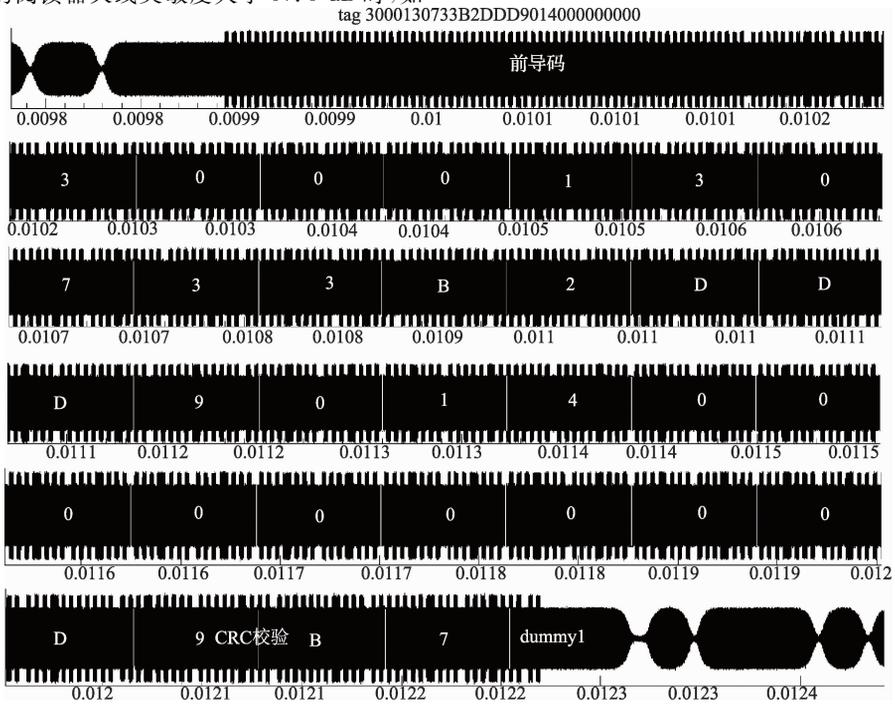


图 10 标签单次反射信号的波形

4 结 论

RFID 作为物联网的核心技术,在现代物流、智能交通、生产自动化等众多领域正得到越来越广泛的应用。但同时制约 RFID 应用的一个主要因素是当标签密集布放时,标签之间相互存在耦合,影响部分标签的读取。本文正是从理论上分析了 RFID 系统的前后向链路,然后通过仿真和计算得出了限制读取标签的主要链路,并给出实验验证。本文结论对于标签密集布放下位置的选取、阅读器的选取以及提高标签的读取效率具有重要的意义。

参 考 文 献

- [1] 谈宇奇,王雪,刘长. 物联网室内运动目标协作信息融合跟踪方法[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(2): 352-358.
- [2] 陈柯,何婷婷. 射频识别(RFID)系统架构技术兼顾计量精度和定制灵活性[J]. 国外电子测量技术, 2014(4): 12-14.
- [3] 张利,袁猛猛,卫星. RFID多碰撞位联合锁位动态可调整算法研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2013, 27(8): 773-780.

- [4] OCCHIUZZI C, CAIZZONE S, MARROCCO G. Passive UHF RFID antennas for sensing applications: Principles, methods, and classifications [J]. Antennas and Propagation Magazine, IEEE, 2013, 55(6):14 - 34.
- [5] 肖芳鑫, 张雪凡, 李帅, 等. 密集布放环境下 RFID 标签受限链路[J]. 上海大学学报:自然科学版, 2014 (5):624-632.
- [6] GAO J, SIDÉN J, NILSSON H. An analytical model for electromagnetically coupled UHF RFID sensor tags [C]//2013 IEEE International Conference on RFID (RFID), IEEE, 2013: 66-73.
- [7] ASL S E, GHASR M T, ZAWODNIOK M, et al. Preliminary study of mutual coupling effect on a passive RFID antenna array [J]. 2013 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), 2013, 80(11): 138 - 141.
- [8] 佐磊, 何怡刚, 李兵, 等. 标签密集环境下天线互偶效应研究[J]. 物理学报, 2013, 62(4): 1021-1029.
- [9] KUESTER D G, NOVOTNY D R, GUERRIERI J R. Forward and reverse link constraints in UHF RFID with passive tags[C]//2010 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC), IEEE, 2010:680 - 685.
- [10] PENG Q, ZHANG C, WANG Z. A multi-tag emulator for the UHF RFID system [J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2014, 63(6): 1461-1469.
- [11] TROTTER M S, DURGIN G D. Range estimation for passive RFID systems that use power-optimized waveforms[C]//2012 IEEE International Conference on RFID (RFID), IEEE, 2012: 102-109.
- [12] YOJIMA H, TANAKA Y, UMEDA Y, et al. Analysis of read range for UHF passive RFID tags in close proximity with dynamic impedance measurement of tag ICs [C]//Radio and Wireless Symposium (RWS), 2011 IEEE, IEEE, 2011: 110-113.
- [13] 谢晶晶, 赵东东. UHF Passive RFID 标签最大阅读距离的研究[J]. 电子测量技术, 2012, 35(3):45-49.
- [14] MACHAC J, POLIVKA M. Influence of mutual coupling on performance of small scatterers for chipless RFID tags [C]//Radioelektronika (RADIOELEKTRONIKA), 2014 24th International Conference, IEEE, 2014: 1-4.

作者简介

李忠建, 硕士研究生, 研究方向为密集布放 RFID 标签信号测试与仿真

张雪凡, 高级工程师, 研究方向为无线通信
E-mail:10002461@shu.edu.cn

叶旻, 硕士研究生, 研究方向为远距离无线抄表系统。

陈文涛, 硕士研究生, 研究方向为 RFID 系统的载波消除。

是德科技施行精英大学伙伴计划

清华大学成为首所精英伙伴大学, 双方将共建 EDA 软件实验室

2016 年 1 月 12 日, 是德科技公司 (NYSE: KEYS) 近日宣布施行是德科技精英大学伙伴计划, 以发掘能够为行业提供精英工程师的出色教育资源。是德科技将为参加该计划的大学提供大力支持并开展深入合作, 共同探索建立吸引高校学生深度参与和学习最新技术的机制和方法。

清华大学是中国久负盛名的的高等学府, 清华大学在工程师教育和培养方面一直处于领先地位并拥有卓越的创新能力。作为是德科技的第一所精英伙伴, 清华大学电子工程系将建立清华—是德科技 EDA 软件实验室, 用于培养信息和通信系统设计的高端人才。同时, 清华大学电子工程系将以 Keysight EEsof EDA 软件为基础设立课程培养学生的设计、仿真和验证能力。在不远的将来, 清华

大学电子工程系还会考虑与是德科技共同发起与赞助行业论坛以及实施是德科技大学生行业认证计划等活动。

精英大学计划是 Keysight EEsof EDA 大学教育支持计划的一部分。在成为是德科技精英大学之后, 是德科技将向清华大学电子工程系捐赠软件, 以帮助增强信息与通信系统领域的系统级设计和射频/微波设计的教学水平, 清华大学电子工程系也会基于 Keysight EDA 系统级设计与仿真软件开设实验室课程。同时, 清华大学电子工程系承诺将软件用作学术以及技术文章和实例编写用途。是德科技与清华大学于 1 月 12 日举行了捐赠仪式, 清华大学副校长薛其坤院士和是德科技全球副总裁/大中华区总经理严中毅先生出席仪式并分别致词。