

基于二维码的数据传输系统设计

陶孙杰 余 涛

(中国电子科技集团公司第十研究所 成都 610036)

摘 要 基于二维码的数据传输系统面向涉密场景,旨在实现涉密信息系统之间的自动数据传输。文中设计了涉密信息系统之间的数据通信流程,即发送端将传输数据按二维码帧容量切分为多帧,按序合成并显示二维码图像序列,接收端使用摄像头等设备采集二维码图像信息,合成传输数据,并按预定规则对接收情况进行反馈,完成收发两端之间的数据通信。与现有采用人工交互或安全铰链设备的方案相比,基于二维码的数据传输系统解决了自动化程度低、传输效率低、设备昂贵等问题,实现了网络隔离条件下自动高效的数据传输,适用于涉密信息系统中具有较高时效性要求的信息交互。

关键词 二维码,数据传输,涉密系统,信息交互

中图法分类号 TP391 **文献标识码** A

Design of Data Transmission System Based on 2D Code

TAO Sun-jie YU Tao

(The 10th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Chengdu 610036, China)

Abstract 2D code based data transmission system is designed to implement automatic data transmission between classified information systems. A data communication procedure was proposed in this paper. The transfer data is segmented into multi-frames according to the 2D code data capacity in the sending side. The frames are used to generate a 2D code image sequence which is then sampled by a camera or some other vision sampling devices in the receiving side. The sampled 2D code images are decoded to recover the transfer data and the transferring result is feedback to the sending side. Comparing with the existing solutions such as manually interactive and safe-hinge equipment, the proposed 2D code based data transmission system solves the major drawbacks like low level of automation, low transferring efficiency and highly cost devices. Besides, the system implements an automatic and efficient data transmission in a network isolation environment, so that it can be used in the information interaction with high demand of time efficiency in classified information system.

Keywords 2D code, Data transmission, Classified system, Information interactive

1 引言

互联网技术的快速发展在给人们带来便利的同时,也带来了巨大的安全隐患,信息泄露成为一个严重的社会问题,其中涉及国家机密的信息一旦泄露更是对国家的安全和利益造成严重损害。大量网络安全技术的相关研究^[1-2]使信息泄露问题在一定程度上得到了有效解决,但对于国家涉密信息更高的安全防护要求,仅仅依靠网络防护难以满足。

在保密要求较高的实际涉密场景中,通常采用物理隔离的方式保证其数据安全性,而涉密系统与外部系统的信息交互则通过人工交互或使用安全铰链设备进行。人工交互方式使涉密系统与外部系统完全隔离,依赖操作员手动完成数据交互的安全性高,但要求人员值守并频繁进行数据交互操作。安全铰链设备基于光盘摆渡技术使用机械臂和刻录光驱完成涉密系统与外部的数据交互,实现了安全自动的涉密数据传输,但也存在着传输效率低、交互实时性差、设备昂贵、配置复杂、维护成本高等缺点。

针对涉密信息传输的安全保障,实现主旨在于中断直接

连接,不依赖操作系统、不支持通用传输控制协议,仅支持原始数据的交互^[3]。二维码编码实现了对原始数据的高密度编码,无附加控制协议,不依赖操作系统与应用环境,同时具有数据密度高、编解码速度快等优点,使其应用于安全高效的涉密信息传输成为可能。

二维码是一种按一定规律在平面分布的黑白相间的图形记录数据符号信息的条码格式。常见的二维码编码格式包括 QR Code, Data Matrix, PDF417, Maxi Code 等 20 余种,其中 QR Code 因具有高速识读、全方位识别、纠错能力强、支持汉字表示等特点,成为了当前最为流行的二维码编码格式,在信息标示、内容索引、身份识别等多个领域都得到了广泛应用。文献[4]提出了采用高速 CCD 读取二维码信息,将其应用于产品检测,提高产品检测的自动化程度和检测效率。文献[5]将二维码和蓝牙通信技术应用用于仪器收发管理,提高了工作效率,减少了人工差错。文献[6]提出了建立高校教学设备管理系统的设计和实现方法,提高了教学设备的日常管理效率。上述文献的研究成果集中于利用二维码的高密度编码和高速读取能力来提高工作和生产效率。而在数据传输领域,文献

陶孙杰(1977—),男,硕士,高级工程师,主要研究方向为计算机软件工程;余 涛(1986—),男,博士,工程师,主要研究方向为计算机软件工程, E-mail: yutao012@qq.com(通信作者)。

[7]提出了使用二维码传递加密文本信息,以实现内网向外网的单向信息传递。文献[8]提出了利用 Protocol Buffer 格式和 LZMA 压缩算法来简化和压缩传输数据,然后使用二维码编码压缩数据,实现内外网物理隔离环境下的数据交换。上述二维码在物理隔离场景下的数据传输方法具有较高的应用价值,也说明了二维码在保密要求较高的场景下作为数据传输载体的可行性,但其研究成果主要限于单向传递,或通过压缩来提高单个二维码的数据容量,未能建立完善的数据通信和交互流程,因此难以实现持续稳定的数据传输。

本文对基于二维码的数据传输系统展开了研究,设计了二维码数据交互模型和通信流程,适用于涉密场景下自动高效的数据传输。

2 系统模型

二维码数据传输系统使用二维码图像作为信息编码和数据承载方式,使用视觉图像采集和图像译码作为信息传递和获取方式。基于二维码的数据传输系统使用的设备包括计算机、微型液晶显示器、摄像头或二维码扫描仪,如图 1 所示。

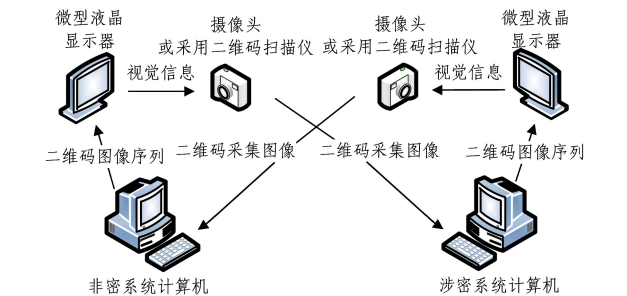


图 1 基于二维码的数据传输系统模型

图 1 中,计算机作为数据传输的发起和接收节点,完成对传输数据的处理,包括对发送数据的编码和接收数据的译码;微型液晶显示器用于显示二维码编码图像序列;摄像头或二维码扫描仪完成对显示图像的采集,并传输至接收计算机完成后续处理。此外,非密系统与涉密系统配置了相同的设备以实现双向数据通信。

防火墙等网络安全技术采用网络层上的逻辑隔离机制保障数据通信安全,但受操作系统、路由器设备和防火墙软件本身安全隐患的影响,存在着逻辑隔离被突破,威胁数据安全的可能性。基于二维码的数据传输系统在物理层上隔离了非密系统和涉密系统之间的直接连接,采用二维码图像和视觉采集方式进行数据通信。通信过程无附加控制协议,数据传输只能由发送端主动发起,接收端仅支持接收情况反馈,杜绝了接收端对发送端的传输控制;编码数据无附加信息,采用“纯数据”方式进行信息交互,在最大程度上保障了数据通信安全。此外,由于摄像头等视觉采集设备对采集环境的要求,如采集距离、角度、光照强度等限制,进一步降低了数据被外部窃取的可能性。

与其他基于物理隔离的方法相比,人工交互方案要求人员长期值守,通过手动刻盘方式进行数据交互,执行效率较低;安全铰链设备支持自动数据传输,但设备昂贵,配置复杂;基于二维码的数据传输系统使用显示器、摄像头等较为廉价且耐用的设备实现了涉密数据的自动传输,是一种更为经济便捷的解决方案。在数据交互实时性方面,人工交互效率依赖于手动操作频率,难以应对高频次高时效的应急任务;安全

铰链设备对于自动传输频率同样有限定,通常配置为每 30 min 进行一次定向数据传输,否则过高的传输频率会带来过高的设备和材料的损耗率,在数据交互实时性上同样存在着一定的滞后,对于应急数据只能通过手动操作方式进行传输。基于二维码的数据传输系统支持待发送数据就位后自动触发数据传输流程,即刻开始数据发送,具有较高的数据交互实时性,满足应急数据和实时数据的高时效传输需求。

3 数据传输流程

在二维码数据传输系统中,数据可在非密系统与涉密系统之间进行双向传输以及实时反馈,依据系统模型的特点,其数据传输流程可划分为发送数据预处理、数据传输、接收数据合成 3 个主要阶段,如图 2 所示。以下以非密系统计算机作为发送端、涉密系统计算机作为接收端为例,对数据传输流程进行详细说明。

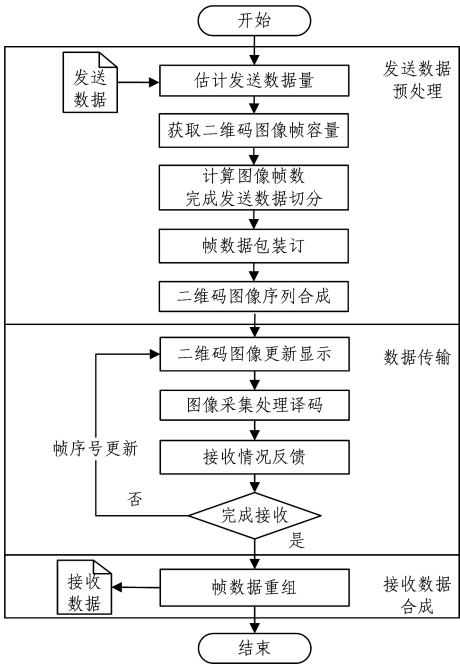


图 2 数据传输流程

3.1 发送数据预处理

发送端读取发送数据,获取待发送数据量;根据二维码格式和相关配置获取单帧二维码图像数据容量,如 QR Code 编码在 Mode 40 符号规格下单帧数据容量可达 3 kB。根据发送数据量和二维码单帧数据容量,可计算得到发送数据所需帧数 n 。将发送数据按序切分为 n 帧,对每帧数据进行数据包装订,数据包格式如下所示。

$\langle \text{DCTrans} \rangle \text{fileName} \langle \text{fileNo} / \text{dataType} / \text{frameAmount} \rangle /$ (1)

$\langle \text{DCData} \rangle \text{data} \langle \text{fileNo} / \text{frameNo} \rangle /$ (2)

$\langle \text{DCAck} \rangle \text{fileName} \langle \text{fileNo} / \text{frameNo} \rangle /$ (3)

$\langle \text{DCResend} \rangle \text{fileName} \langle \text{fileNo} / \text{frameNo} \rangle /$ (4)

$\langle \text{DCFin} \rangle \text{fileName} \langle \text{fileNo} / \text{dataType} / \text{frameAmount} \rangle /$ (5)

式(1)所示数据包为传输发起包,由发送端首先生成,用于发起数据传输,其中 DCTrans 为帧头标识,fileName 为发送文件名,fileNo 为文件序号,dataType 为数据类型,frameAmount 为待发送数据帧数 n ;式(2)所示数据包为传输数据包,由发送端生成,其中 DCData 为帧头标识,data 为数据域,用于存储发送数据,frameNo 为帧序号,标识当前传输数据

帧;式(3)所示数据包为接收确认包,由接收端生成,用于对某一帧或完整数据的接收确认,其中 DCAck 为帧头标识;式(4)所示数据包为重传发起包,由接收端生成,用于发起指定帧数据包的重传,其中 DCResend 为帧头标识;式(5)所示数据包为传输完成包,由发送端生成,用于确认数据传输完成,其中 DCFin 为帧头标识。

对待发送的 n 帧数据完成数据包格式装订后,需将数据包编码合成为二维码图像。在二维码编码格式中,QR Code 具有信息密度高、正方形编码图像易于采集、识读速度快、支持中文编码等优点,因此可优先考虑采用 QR Code 进行数据编码,其编码规则请参见文献[9]。QR Code 具有 L,M,Q,H 四级纠错级别,其中 L 级可纠错 7% 错误码字,M 级可纠错 15% 错误码字,Q 级可纠错 25% 错误码字,H 级可纠错 30% 错误码字。对于二维码图像采集和处理过程中所出现的噪声和错误等现象,越高的纠错级别能提供越准确的识读结果,但同时单帧图像所能容纳的数据量也越少。此外,QR Code 具有 Mode1 至 Mode40 共 40 个符号规格,符号宽度随规格提高依次递增 4 个模块,模块分辨率由 21×21 增至 177×177 。对于单帧 QR Code 二维码图像,越高的符号规格能编码越多的数据信息,但也需要越高的图像分辨率,这对显示设备的分辨率和采集设备的读取能力和精度有了更高的要求。在发送数据预处理过程中,根据显示设备和采集设备的能力,可对 QR Code 纠错级别和符号规格进行灵活配置,理想情况下,在 L 级纠错级别和 Mode40 符号规格下,单帧 QR Code 二维码图像可编码 3 kB 数据信息。

待发送的 n 帧数据包完成二维码图像合成后,按帧序号得到二维码图像序列,开始数据传输流程。

3.2 数据传输

发送端完成数据预处理后,自动开始数据传输流程。首先,发送端根据待传输数据信息合成传输发起包二维码图像,显示至微型液晶显示器;接收端采集并获取传输发起包中文件名、帧数等信息后,反馈接收确认信息,开始数据内容的传输。

发送端按帧序号逐帧显示传输数据包的二维码图像序列,进行数据发送;接收端可使用摄像头采集二维码图像信息。由于摄像头的采集帧率大于微型液晶显示器所显示的二维码图像的更新频率,因此采集图像中存在大量的重复采集帧,需在图像译码前将其删除。对重复采集帧可采用帧间差分法进行剔除,通过两幅连续帧图像相同图像坐标的像素值相减,取绝对值得到差分图像,如式(6)所示:

$$D(x,y)=I(t)-I(t-1) \tag{6}$$

其中, (x,y) 为图像像素坐标, $I(t)$ 和 $I(t-1)$ 分别为第 t 帧和第 $t-1$ 帧的连续两帧采集图像,差分图像 $D(x,y)$ 表示了连续两帧采集图像的变化区域和变化程度。由于 $I(t)$ 和 $I(t-1)$ 采集图像的曝光差异及轻微飘移,差分图像 $D(x,y)$ 在二维码区块边缘存在较大的像素差值,可使用均值模糊减小其像素差值。设定阈值 σ ,当差分图像坐标 (x,y) 的像素值大于 σ 时,将 (x,y) 区域设定为变化区域;当像素值小于 σ 时,将 (x,y) 区域设定为不变区域。计算变化区域占整幅图像的比例值 λ ,并给定判别阈值 μ ,得到新的采集帧,如式(7)所示:

$$I(t)=1,\lambda>\mu;I(t)=0,\lambda<\mu \tag{7}$$

剔除重复帧 $I(t)=0$,将新的采集帧 $I(t)=1$ 计入接收的二维码图像序列。

对于接收端摄像头采集的二维码图像,还需进行以下处

理,以提升图像和译码质量。

灰度化:使用式(8)将采集图像转化为灰度图像,其中 R 、 G 、 B 为三通道分量, I 为转化后的像素灰度值。

$$I=0.3R+0.59G+0.11B \tag{8}$$

中值滤波:通过摄像头高速采集的二维码图像存在边缘毛刺、椒盐噪声等现象,使用中值滤波可有效消除此类噪声,同时保持图像的边缘细节。经过测试比较,对二维码采集图像采用 3×3 的滑动窗口进行滤波计算可得到较为理想的去噪结果。

二值化:将灰度图像进一步转化为黑白图像,针对二维码图像像素灰度值集中于高低两端的特点,可取阈值为 128,当像素值 $I(x,y)\geq 128$ 时,将该像素赋值为 255,设为白色;当像素值 $I(x,y)< 128$ 时,将该像素赋值为 0,设为黑色。

经过上述处理后,可对二维码图像进行译码,得到传输数据,QR Code 二维码图像译码算法请参见文献[10]。

此外,如接收端使用二维码扫描仪作为采集设备进行图像采集,由于扫描仪自带图像采集、处理和译码功能,则接收端只需做重复帧数据剔除,不需要做其他的图像处理和译码工作。

接收端完成数据接收后,需对接收情况进行反馈确认。根据传输速度和可靠性需求,反馈策略可配置为实时反馈和延时反馈两类。实时反馈策略要求接收端对每一帧接收数据进行反馈确认,从而提高传输可靠性;延时反馈策略在接收端接收到所有帧数据后,统一进行反馈确认,如有缺失帧数据,则由接收端发起重传,发送端按帧序号重传指定数据包。实时反馈流程如图 3 所示,延时反馈流程如图 4 所示。

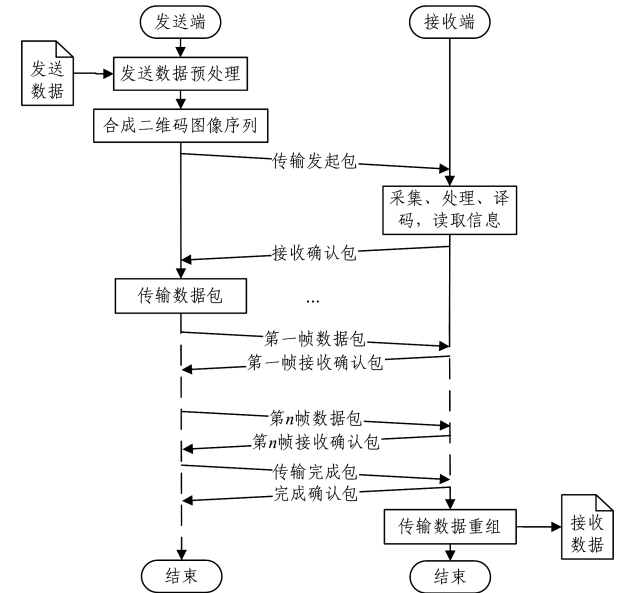


图 3 实时反馈数据传输流程

实时反馈流程中,接收端对每一帧传输数据包进行反馈确认,而发送端只有在接收到反馈确认后才更新显示下一帧二维码图像,以确保每一帧都进行了有效传输,直至完成所有帧数据的传输。

延时反馈流程中,接收端不对每一帧传输数据包进行反馈确认,发送端根据预先配置的固定时长更新显示下一帧二维码图像,直至完成所有帧图像的显示,然后显示发送传输完成包。接收端收到传输完成后,对接收数据包进行完整性校验,若存在缺失数据包,则按帧序号发起缺失数据包的重传;发送端按重传要求重新发送指定帧数据包,直至完成所有缺失数据包的重传,并收到传输完成确认。

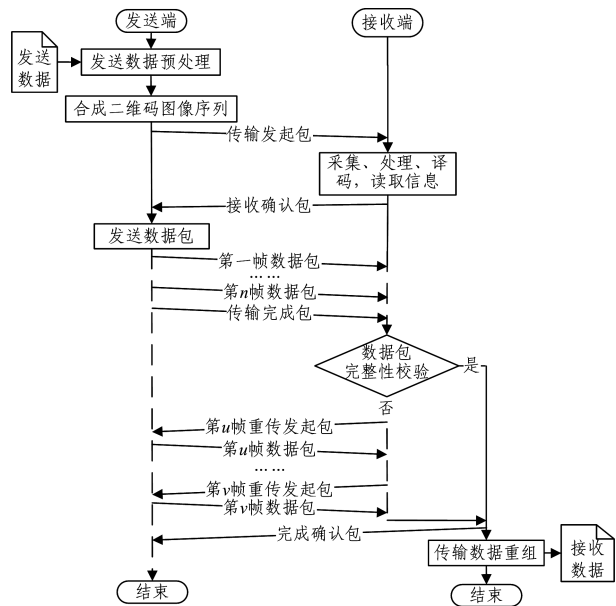


图 4 延时反馈数据传输流程

3.3 接收数据合成

接收端完成对所有传输数据包的接收后,提取数据域内容,按帧序号对提取数据进行顺序重组,合成完整传输数据,然后根据传输发起包中的文件名、数据类型等信息生成文件,或根据应用需求进行后续处理。

4 应用实例

基于二维码的数据传输系统支持数据自动转发,具有较高的交互实时性,但受限于二维码的数据容量和采集设备的识别能力,传输速率较低,因此适用于小容量、高时效性要求的数据传输。以配置文件传输为例,说明二维码数据传输的具体应用。

二维码数据传输系统应用实例基于 QT5.7 开发,在 windows 7 系统下运行,使用 QR Code 作为传输数据编码,采集设备使用串口数据线与接收端计算机连接。应用实例发送端界面如图 5 所示,其中二维码显示区域根据采集设备识别能力设定为 Model15,模块分辨率为 2×2,整幅二维码图像分辨率最高为 154×154,此时单帧二维码图像数据容量约为 0.5 kB。图 5 中,发送端发送配置文件“components.xml”,文件大小为 14.4 kB,二维码帧长度设定为 500,完整发送该文件需 29 帧,图 5 所示为第一帧数据帧。



图 5 数据发送端实例

到第一帧数据后,在文本框内显示第一帧数据内容,并在二维码区域显示接收确认信息,内容为(DCAck)components.xml<1/1/>。所有数据帧都传输完成后,接收端将文本框内数据内容保存为文件,按“components.xml”命名,得到原配置文件。



图 6 数据接收端实例

结束语 安全高效的数据传输是各类涉密信息系统普遍存在的需求,但现有方案仍存在着自动化程度低、交互效率低、设备昂贵等问题。基于二维码的数据传输系统通过二维码图像编码和视觉采集方法实现了自动高效的涉密数据传输。此外,系统只需使用液晶显示器、摄像头等普通商用设备,价格低廉,配置简单,易于大规模部署或按需快速部署。

受二维码数据容量和采集设备识别能力限制,二维码数据传输速率较低。在进一步研究中,通过优化传输流程,采用并行传输等方法,有望大幅提高传输速率。此外,对传输数据进行压缩和加密,对于提高传输速率和安全性也有重要的意义。

参 考 文 献

[1] 沈昌祥,张焕国,冯登国,等. 信息安全综述[J]. 中国科学(E辑:信息科学),2007,37(2):129-150.

[2] SAFA N S,SOLMS R V,FURNELL S. Information security olicy compliance model in organizations[J]. Computers & Security,2016,56:70-82.

[3] PICCOLO V D,AMAMOU A,HADDADOU K,et al. A Survey of Network Isolation Solutions for Multi-Tenant Data Centers [J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials,2017,18(4): 2787-2821.

[4] 熊川,嵇建波. 基于 CCD 的二维条形码检测系统[J]. 电讯技术, 2012,52(10):1670-1674.

[5] 张亮,朱霞辉,张慧秋. 二维码 PDF417 及蓝牙通信技术在实验室仪器收发管理中的应用[J]. 工业计量,2007,17(1):13-16.

[6] 古晓艳,夏志强. 基于二维码的高校教学设备管理系统的设计与实现[J]. 计算机科学,2017,44(6):523-526.

[7] 张长胜,韩艳龙,张慧翔,等. 基于二维码的加密文本信息传递系统设计[J]. 计算机技术与发展,2016,26(12):127-131.

[8] 韩林,张春海,徐建良. 基于二维码的内外网物理隔离环境下的数据交换[J]. 计算机科学,2016,43(11):520-522.

[9] PAVLIDIS J,SWARTZ,WANG Y P. Information Encoding with Two-Dimensional Bar Codes [J]. IEEE Computer,1992, 25(4):18-28.

[10] 王文豪,张亚红,朱全银,等. QR Code 二维条形码的图像识别 [J]. 计算机技术与发展,2009,19(10):123-126.

应用实例接收端如图 6 所示,接收端配置为实时反馈,收