

# Research of the Individual-Soldier Video Communication System Based on COFDM

Jinsong Li<sup>1</sup>, Congren Lin<sup>2</sup>, Haixin Sun<sup>2\*</sup>, Jingxuan Xu<sup>2</sup>, Mingzhang Zhou<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Shenzhen Langshi Scientific Instrument Co., Ltd., Shenzhen Guangdong

<sup>2</sup>College of Information Science and Technology, Xiamen University, Xiamen Fujian

Email: \*hxsun@xmu.edu.cn

Received: Apr. 2<sup>nd</sup>, 2019; accepted: Apr. 17<sup>th</sup>, 2019; published: Apr. 24<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

Stepping in 21<sup>st</sup> century, the Individual-Soldier Video Communication System has been developing with small size, video viewing, integration and ultra-wide band. The system has been widely used in command of police investigation, emergency and rescuing. Considering that there exist the multipath effect and environmental noise, the COFDM technology and H.265/HEVC technology are explored, and an efficient and reliable single-soldier video communication system is designed. The system uses H.265 to encode the video image. After RS encoding, convolution interleaving, convolution encoding and block interleaving, the data stream is modulated with 4QAM, and video communication is completed through demodulation and decoding of the receiving end. The simulation result indicated that this system could both improve the transmitting efficiency and reduce the error rate.

## Keywords

Individual Equipment, Video Communication, COFDM, H.265/HEVC

---

# 基于COFDM的单兵视频通信系统研究

李劲松<sup>1</sup>, 林聪仁<sup>2</sup>, 孙海信<sup>2\*</sup>, 许静萱<sup>2</sup>, 周明章<sup>2</sup>

<sup>1</sup>深圳市朗石科学仪器有限公司, 广东 深圳

<sup>2</sup>厦门大学, 信息科学与技术学院, 福建 厦门

Email: \*hxsun@xmu.edu.cn

收稿日期: 2019年4月2日; 录用日期: 2019年4月17日; 发布日期: 2019年4月24日

---

## 摘 要

步入21世纪, 单兵通信系统正朝着便携化、视频化、集成化方向发展, 并广泛应用于武警、消防等方面。

\*通讯作者。

文章引用: 李劲松, 林聪仁, 孙海信, 许静萱, 周明章. 基于 COFDM 的单兵视频通信系统研究[J]. 无线通信, 2019, 9(2): 71-77. DOI: 10.12677/hjwc.2019.92009

针对在复杂场景下,存在多径效应、环境噪声等影响因素,本文探究并设计了基于编码正交频分复用(Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM)和高效视频编码(High Efficiency Video Coding, H.265/HEVC)技术的单兵视频通信系统。系统用H.265对视频图像进行压缩,经过RS编码、卷积交织、卷积编码和块交织,将数据流进行4QAM调制,经由接收端解调和解码,完成视频通信。结果表明,该通信方案可以降低数据误码率,并大幅度提升视频传输效率。

## 关键词

单兵设备, 视频通信, COFDM, H.265/HEVC

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

单兵视频通信系统指在单兵任务中,兵与兵或是与指挥系统之间自动建立连接并传输区域视频信息的系统,其目的是对战场信息实时获取,从而加强装备、人员之间的联系,从整体上提高部队的作战效率和性能。上世纪60年代,人们利用晶体管通信设备来提升部队的作战能力。七十年代后,大规模集成电路的普及使得跳频技术被广泛用于通信设备的研发中,之后,跳频/扩频通信方式被广泛地应用,进一步提升了信息的安全性。但是随着野外地形的多样化,通信设备面临的环境也越发复杂,多径干扰、环境噪声制约着通信设备性能的提升。基于上述背景,高效的单兵视频通信设备得以研究和发展。

对于传统的视频通信设备,数字移动通信技术传输速率过低,不能满足视频通信的需要;而普通的WiFi信号虽然能够达到较高的信道速率,对多径干扰的抵抗能力也较强,但其工作频段过高,传输范围无法达到单兵通信标准。而视频编码方面,于2003年4月被提出的H.264/AVC [1]的编码布局已无法满足实时视频传输的需要。基于此,本文将最新的视频编码技术——H.265/HEVC [2]应用到小型设备的视频通信中,并与COFDM技术结合,实现了较好的视频传输效果。

## 2. 系统结构分析

### 2.1. COFDM 结构介绍

正交频分复用技术(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM)是一种特殊的多载波调制技术,信道在频域上被分为多个正交的子信道,则高速串行的数据流被分为多个并行的子数据流,并被调制在相互正交的子载波上进行传输[3]。虽然OFDM利用最大限度的多载波调制对通信环境中的多径干扰进行了优化,但是不同子信道在传输过程中造成的能量不均问题仍然存在。上述问题可能导致多个子信道的同步,从而使传输信号强度过大或过小。因而在一定条件下,系统会产生峰均比过高的问题,影响接收机的效率,同时有可能造成突发差错。针对这个问题,一种方法是针对突发的误码采用COFDM技术,在OFDM基础上进行信道编码来解决此问题。

COFDM系统的发送端结构如图1(a)所示。在DVB-T标准中,COFDM所采用的数字调制为正交振幅调制(QAM),而信道编码分为外编码、外交织、内编码、内交织四部分[4]。其中,外编码采用RS(Reed-Solomon)编码,外交织采用卷积交织方式;内编码采用卷积码,内交织采用比特交织和符号交织。现代COFDM技术虽然不局限于上述信道编码[5],但地面数字电视广播(DVB-T)标准的方案最为成熟,可作为良好的参考对象。

COFDM 系统的接收端结构如图 1(b)所示,它是发送端的逆进程。卷积码采用维特比译码方式解码,RS 编码因本身带有前向纠错机制,所以在解码过程中可以自动纠正监督位长的突发错误。

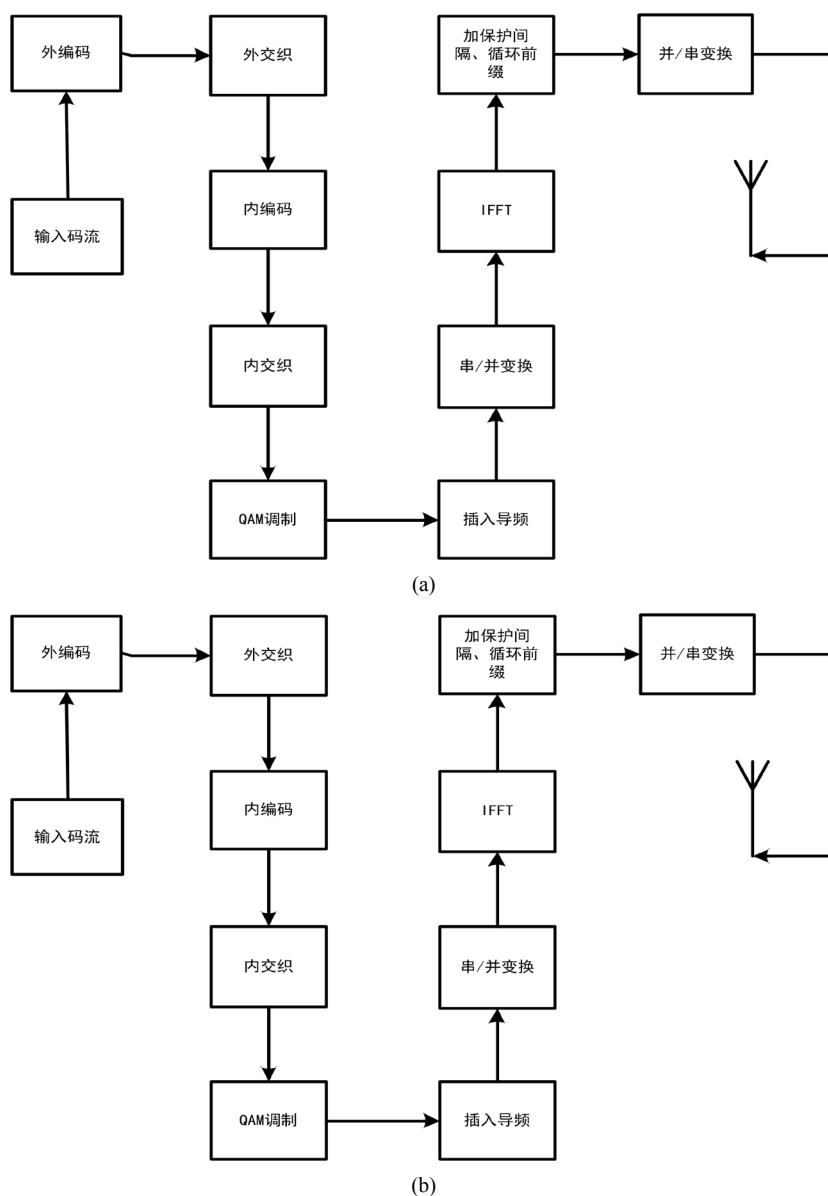


Figure 1. (a) Block diagram of transmitter in COFDM system; (b) Block diagram of receiver in COFDM system  
图 1. (a) COFDM 发送端框图; (b) COFDM 接收端框图

DVB-T 标准中,外交织/解交织分别采用卷积交织/解交织。对于一串数据,发送端卷积交织器将单个码字分别调制到不同的数据分组中,旨在保证单个分组中不包含原来数据间隔小于分组长度的任意两个码字;在接收端,解交织器可以当作一个反向的卷积编码器,从而对接收序列进行运算得到正序码字。内交织/解交织分别采用比特、符号交织/解交织,发送端将编码后的比特流通过多路器送入交织器中,接着将交织后的比特调制到 OFDM 符号上,接收端则分别放置符号、比特解交织器,恢复比特流。

交织/解交织的过程可以将信号在传输中发生的成串误码打散到数据的各个部分,从而每一个误码都有更大概率被纠正,间接地增强了信道编码的纠错能力。

## 2.2. H.265/HEVC 视频编码技术介绍

H.265/HEVC 是于 2013 年发布的视频编码标准, 该编码模型继承了 H.264/AVC 的混合编码模式, 采用预测、量化、变换编码的方式; 但在细节上, H.265 添加了更高效的压缩算法和失真补偿技术[6], 支持更大的图像块处理, 使得视频传输码率进一步提升。

H.265 标准提出了新的视频块划分模式——编码树单元(Coding Tree Unit, CTU), 单个 CTU 用四叉树将图像划分为编码单元(Coding Unit, CU)、预测单元(Prediction Unit, PU)和变换单元(Transform Unit, TU) [7]。在 CTU 中, 编码单元 CU 包含了最主要的图像信息, 一个 CU 必定有一个分区关联的 PU 和 TU 用来辅助描述; 预测单元 PU 主要用于图像的帧内和帧间预测编码; 而变换单元 TU 则用于变换编码; H.265 仍然使用 DCT 变换, 但其支持的最大变换块为  $32 \times 32$ , 包含的像素数是 H.264 中 DCT 所支持最大块的 16 倍, 更适用于图像的平滑区域码率压缩[8]。

此外, H.265 采用了全新的帧间预测技术, 对运动参数的搜索、估计速度进行提升。同时, H.265/HEVC 采用的 TZSearch 算法极大缩短了运动搜索时间, 通过亚像素精度级别的预测算法, 相邻帧之间的运动像素被更好地估计出来[9]。在重构图像的过程当中, H.265 采用像素自适应补偿技术(SAO), 对振铃效应进行修正, 并采取 CABAC(自适应二进制算术编码)的编码方式提高压缩率, 而且自适应变换技术 RQT (Residual Quad-Tree Transform)的应用也使得 H.265 在码率压缩上有所突破[10]。

H.264/SVC 编码是在 AVC 标准基础上增加可扩展机制的编码标准, 现已应用到绝大多数视频终端和播放设备中[11]。但近几年来, H.265 的发展非常迅速, 其潜力巨大, 已经有替代 H.264, 成为视频传输主流标准的能力[12]。由于其在同等视频质量的传输中所占带宽更小, 因此该标准用于便携式组网设备中, 在较差的信道下更具优势。本文所研究的单兵视频通信系统采用 H.265/HEVC 视频编码技术, 能更好地和 COFDM 技术结合, 在较差的通信环境中发挥优势。

## 3. 系统模型搭建

当前视频通信系统普遍采用 COFDM 调制和 H.265/HEVC 视频编码技术。在此基础上, 对具体的模块进行设计, 搭建软件模型和硬件系统, 描述一个较为全面的单兵视频通信系统方案。

### 3.1. 软件模型

软件算法采用 matlab 和 visual studio 2010 联合进行仿真。COFDM 部分在 matlab 中实现, 将视频编码得到的码流经过 COFDM 程序的读取, 模拟噪声和多径环境下的信道状况, 实现接收端的解调和解码。

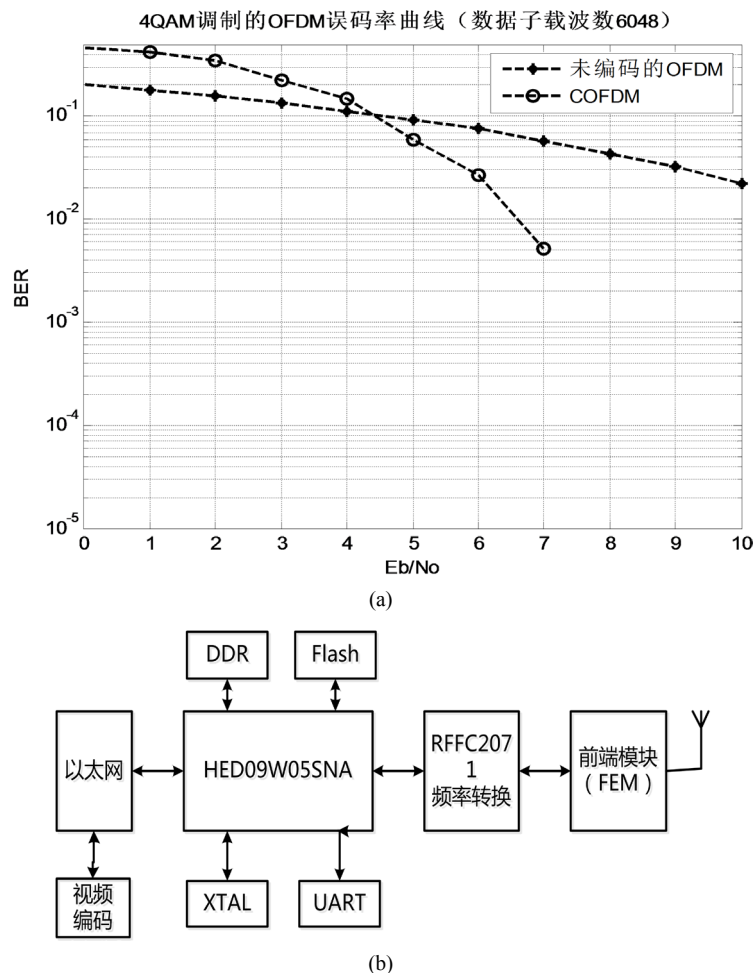
为了突出 COFDM 与 H.265 结合的优越性能, 本节的视频编码部分采用了 H.265 标准的 HM 源码和 H.264 标准的 JM 源码进行对照仿真。表 1 所示, 在仿真过程中, 对于编码后的数据, H.265 源码得到的二进制码流长度为 2.81 KB, 而 H.264 源码得到的视频码流长 3.79KB; 从程序运行时间上看, HM 源码对 8 帧图像编码所用时间为 61 秒, 而 JM 源码对同等帧数的图像编码所用时间为 120 秒, 其编码时间为 HM 源码的两倍, 而在视觉体验方面, 两种标准在同一个 QP 下解码效果没有明显差别。上述结果说明了 H.265 比 H.264 具备更高的码率压缩性能。

**Table 1.** Coding time and stream size of 8 images under the standards of H.264 and H.265

**表 1.** H.264 与 H.265 标准下, 8 帧图像的编码时间与码流大小

编码标准	文件名	文件大小(KB)	编码耗时(s)
H.264	test.bin	3.79 KB	120
H.265/HEVC	str.bin	2.81 KB	61

将上述对比中 HM 源码得到的视频编码码流输入到 COFDM 程序中, 得到误码率收敛曲线如图 2(a) 所示。



**Figure 2.** (a) Convergence curve of bit error rate; (b) Structure diagram of communication board card  
**图 2.** (a) 误码率收敛曲线; (b) 通信板卡结构图

由图可得, COFDM 的误码率收敛速度更快, 在较高的信噪比下, 可达到更低的误码率, 从图中也可以看到, 与输入随机二进制码流不同, 视频编码的码流在信噪比为 8 dB 的时候仍然存在误码, 但其误码率已经降到了  $10^{-4}$  数量级。在普通视频传输中, 该误码率完全容许视频正常传输。

然而对于本文所采用的 HM16.0 源码库, 由于其侧重于重现视频编解码的算法, 因此在抗误码方面所做的工作不多。因此, 在本仿真中, 将编码端产生的数据流送入 COFDM 信道, 存储解调之后的数据, 测试不同的误码率下解码器对解调数据的解调效。仿真结果表明, 当误码率在  $10^{-4}$  数量级时, 解码器的解码流程可以正常进行。

### 3.2. 硬件模型

在软件模型搭建完成的基础上, 对系统进行硬件模型的搭建。其中, COFDM 模块采用实验室和校外公司联合开发变频通信板卡。该板卡工作频段为 370 MHz~390 MHz, 属于特高频频段。板卡理论通信距离为 3 km (无障碍物, 地形平坦)。板卡结构图如图 2(b)所示。

该板卡核心采用国产无线网桥芯片 HED09W05SNA，其工作电压为 12 V~15 V，最大电流 1 A。支持 COFDM 的传输机制，内部烧录了 802.11 b/g/n 的物理层协议，兼容 QPSK、16QAM、64QAM 的数字调制，发射端采用 OFDM 调制。此外，该板卡的组网模式支持 WLAN 模式和无线 mesh 模式。

本文的系统测试中，节点由软件和硬件两部分组成。给板卡上电并连接到 PC 机，再将 PC 机与互联网断开连接，即构成了一个模拟的节点。由于器材数量有限，本文所设计的系统方案中存在两个节点，在不同情况下测试数据收发情况。当测试节点之间能够进行数据互传时，开始进行视频信息的收发，其中大段的码流被封装成 UDP 分组，编码后分别用 QAM 进行映射，接着被调制到各路子载波上，从而完成本文所述视频通信系统的数据传输。

#### 4. 结果分析

在不同的距离条件下，对系统进行测试。由于实验条件有限，本文将笔记本电脑作为移动节点，分别在距离 10 m 的空旷地带，距离 15 m (相隔 1 个楼层)，距离 20 m (相隔两个楼层)，距离 40 m (楼内和楼外) 的测试条件下对二进制流文件进行传输，记录结果作为强多径环境中的测量结果；为测量视距传输情况下的最大传输距离，实验开展于长 2 km 的辅道，分别在 650 m，800 m，970 m，1100 m，1400 m，1700 m 处进行定点测试。表 2 显示了其 ping 命令的执行情况和数据包的传输情况。

Table 2. Data transmission of the system at different distances

表 2. 不同距离下系统传输数据情况

距离(m)	障碍及绕射情况	Ping 平均时延(ms)	丢包率(50 pings)	收发数据是否正常	视频解码情况
9	无障碍，直射	5.254	0%	是	正常解码
11	半包围墙，绕射 + 直射	5.589	0%	是	正常解码
20	同层，两道墙，绕射	7.785	1%	是	正常解码
25	相隔一层，绕射	7.641	0%	是	正常解码
32	相隔 4 层，绕射	11.957	1%	是	正常解码
25	相隔 5 层，绕射	23.898	1%	是	正常解码
100	相隔空旷区域，拉长天线，绕射	8.720	3%	是	正常解码
250	3 道墙，强干扰，绕射	122.982	48%	否	-
650	视距传输，弱多径	41.343	5%	是	正常解码
800	视距传输，弱多径	40.481	3%	是	正常解码
970	视距传输，弱多径	87.207	0%	是	正常解码
1100	视距传输，无障碍	11.193	9%	是	正常解码
1400	视距传输，弱多径	108.674	7%	是	正常解码
1700	视距传输，无障碍	6.682	0%	是	正常解码
2000	非视距传输，强多径	-	-	否	-

从表格中可以看出，在强多径干扰的环境中，通信距离为 250 m 时，数据丢包率为 48%，通信受阻；在微弱多径干扰(行人走动，行道树遮挡)的情况下，视距传输最远距离能达到 1400 m，无障碍情况下最大传输距离达到了 1700 m，在单兵视频通信过程中，上述测试结果足以完成正常通信任务。

在测量过程中，最低的 ping 时延为 2 ms，但其平均时延为 5.254 ms，出现该情况的原因是空间中有人突然走动，导致信道参数发生改变，从而产生突发时延。

实际测试中还发现,天线的角度,朝向都会影响到数据传输的效率。实验中设置一个节点固定,另一个节点走动,当两个节点同时拉长天线并高举板卡时,能够做到视距无障碍传输,但实际测试环境在多数情况下存在遮挡物,为测试带来不确定因素。总体上看,两节点距离越远,能够收发天线可调角度越小。

表格中第四列与第五列具有一定的相关性。在丢包率小于 10%的情况下,一组包含 8 帧图像编码信息的数据流得以传输并正常解码,能够保证帧内无误码出现。

## 5. 结论及展望

本文首先介绍了便携式通信系统的需求和现状,通过对单兵通信系统的需求和应用场景进行分析,分别对 COFMD 系统和 H.265 编码方案进行探究,并设计出 H.265/HEVC 视频编码技术联合 COFDM 技术的单兵视频通信系统,该系统经过性能测试,在文章所设定的多径环境中达到了较好的传输性能。系统具有传输速度较快,效率较高,传输过程中抗干扰能力较强等特点,在野外侦查任务中能够较好地适应环境,达到需求的通信效果。

## 基金项目

深圳市科技计划项资助,项目号(JSGG20170414090428464);国家自然科学基金(61671394)。

## 参考文献

- [1] 柏君,郑启宁,闫鹏. 应急通信中视频应用关键技术分析[J]. 无线通信技术, 2012(4): 39-43.
- [2] Song, L., Ma, Y., et al. (2015) Learning Based Fast H.264 to H.265 Transcoding. *Asia-Pacific Signal & Information Processing Association Summit & Conference*, Hong Kong, 16-19 December 2015, 563-570. <https://doi.org/10.1109/APSIPA.2015.7415333>
- [3] 贾志成. COFDM 多媒体传播系统研究[J]. 中国有线电视, 2015(6): 710-712.
- [4] Bera, S., Sur, S.N. and Bera, R. (2015) Multimedia Communication Using DVB Technology over Open Range. *Procedia Computer Science*, **70**, 282-288. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.10.090>
- [5] 白宝明,孙成,陈佩瑶,等. 信道编码技术新进展[J]. 无线电通信技术, 2016, 42(6): 01-08.
- [6] 安然,王浩全,张秀林,等. 下一代视频编码标准 H.265 的核心技术研究[J]. 计算机技术与发展, 2014, 24(4): 210-213.
- [7] 叶锋华. 面向硬件结构设计的 HEVC 帧内编码快速算法研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安电子科技大学, 2015.
- [8] 刘国梁. 从 H.264 向 H.265 的数字视频压缩技术升级[J]. 铁路通信信号工程技术, 2011, 8(3): 25-28.
- [9] Yasir, F. and Hasan, S. (2016) Computationally Efficient HEVC/H.265 Motion Estimation Algorithm for Low Power Applications. *International Conference on Information and Communication Technologies*, Karachi, 12-13 December 2015, 1-6.
- [10] Chen, Z.Y. and Chang, P.C. (2016) Rough Mode Cost-Based Fast Intra Coding for High-Efficiency Videocoding. *Journal of Visual Communication & Image Representation*, **43**, 77-88. <https://doi.org/10.1016/j.jvcir.2016.12.007>
- [11] 王嵩,薛全,张颖,等. H.264 视频编码新标准及系统性能分析[J]. 电视技术, 2003(6): 25-28.
- [12] 何海东,董全武,纪琳. H.265/HEVC, VP9, H.264 编码算法比较及性能测试分析[J]. 广播与电视技术, 2014, 41(10): 47-52.

**知网检索的两种方式：**

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2163-3983，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[hjwc@hanspub.org](mailto:hjwc@hanspub.org)