

# The Multilayer Gradual Fractal Slot Graphene Antenna Used for Mobile Digital Television

Bin Lin\*, Zetai Liu, Ying Zhang, Shaodong Shen, Xinyu Wei, Ping Zheng

School of Information Science and Technology, Xiamen University Tan Kah Kee College, Zhangzhou Fujian  
Email: \*linbin@xujc.com

Received: May 23<sup>rd</sup>, 2018; accepted: Jun. 8<sup>th</sup>, 2018; published: Jun. 15<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

According to the requirements of the mobile digital television system, the present paper creatively combines multilayer antenna structure, fractal slot antenna, and graphene conductive ink, designed a multilayer gradual fractal slot graphene antenna used for mobile digital television, fabricated the antenna sample and tested the radiation characteristics of the antenna. This antenna's working center frequency is 12.000 GHz, the antenna's working frequency range is 10.026~14.938 GHz, the antenna's working bandwidth is 4.912 GHz, the antenna's relative bandwidth is 39.35%, and the minimum value of return loss is -39.14 dB. This antenna completely covered the working frequency band of the mobile digital television system. It is a mobile digital television antenna that has small size, broadband, highly integrated, and can meet the requirements of mobile digital television system, such as stable signal, wide coverage, fast receiving, clear picture, strong mobility.

## Keywords

Mobile Digital Television, Multilayer Antenna Structure, Fractal Slot Antenna, Gradual Fractal Slot, Graphene Conductive Ink

---

# 用于移动数字电视的多层渐变分形缝隙石墨烯天线

林 斌\*, 刘泽泰, 张 颖, 沈少东, 魏昕煜, 郑 萍

厦门大学嘉庚学院, 信息科学与技术学院, 福建 漳州  
Email: \*linbin@xujc.com

---

\*通讯作者。

文章引用: 林斌, 刘泽泰, 张颖, 沈少东, 魏昕煜, 郑萍. 用于移动数字电视的多层渐变分形缝隙石墨烯天线[J]. 无线通信, 2018, 8(3): 106-113. DOI: 10.12677/hjwc.2018.83012

收稿日期：2018年5月23日；录用日期：2018年6月8日；发布日期：2018年6月15日

## 摘要

本文针对移动数字电视系统对天线的性能要求，创造性地将多层天线结构、分形缝隙天线、石墨烯导电墨水相结合，设计了一款用于移动数字电视的多层渐变分形缝隙石墨烯天线，制作了天线样品并测试了天线辐射特性。该款天线的中心频率为12.000 GHz，工作频带为10.026~14.938 GHz，绝对带宽为4.912 GHz，相对带宽为39.35%，回波损耗最小值为-39.14 dB。该款天线完全覆盖了移动数字电视系统工作频段，是一款小尺寸、宽频带、集成化的移动数字电视天线，能够满足移动数字电视系统信号稳定、覆盖广泛、接收迅速、画面清晰、移动性强等要求。

## 关键词

移动数字电视，多层天线结构，分形缝隙天线，渐变分形缝隙，石墨烯导电墨水

Copyright © 2018 by authors 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

移动数字电视是基于卫星收发信号的全新电视技术，主要用于高速行驶的车辆上。移动数字电视将高清电视技术、卫星通信技术、移动互联网、互动电视技术结合在一起，可以实现收看电视、点播视频、制作自媒体视频、远程多人互动、电视购物、车载游戏等功能，已覆盖了全国多个主要城市，在公共交通工具和私人汽车上已广泛使用，成为公认的具有较大影响力的新兴媒体[1] [2] [3] [4] [5]。

天线设计及制造技术是移动数字电视系统的核心关键技术之一，天线的性能极大地影响了移动数字电视系统的工作性能及应用领域。根据国际电信联盟的频段划分，基于卫星传输的移动数字电视频段为11.700~12.200 GHz。移动数字电视天线必须完全覆盖11.700~12.200 GHz频段，并满足移动数字电视系统信号稳定、接收迅速、画面清晰、移动性强等要求[6] [7]。

## 2. 国内外研究现状

传统电视天线主要是线性极化的电偶极子和磁偶极子金属天线，它们的体积较大、重量较重、成本较高，难以安装在体积有限的车辆上，且缺乏抗干扰能力，用于接收移动数字电视信号时会出现较为严重的画面模糊和重影现象[8]。移动数字电视系统需要在卫星和地面高速移动的车辆之间收发无线信号，传输距离较远，对天线的动态匹配和回波损耗要求较高，要求天线回波损耗最小值需小于-20 dB，而传统电视天线的回波损耗性能难以达到这一要求，不能保证远距离数字电视无线信号的传输质量[9] [10] [11]。

近年来，国内外学者提出了一系列改进型移动数字电视天线设计方案，利用螺旋天线、微带天线、阵列天线、各类鞭状天线及其改进形式、多天线系统、八木天线等结构，有效地提高了移动数字电视天线的辐射性能[12] [13] [14] [15]。这些改进形天线存在的最大问题是辐射结构中都使用了金属结构，移动数字电视系统工作于室外露天环境，长期的风吹日晒雨淋会造成金属结构被腐蚀，导致天线工作性能不

稳定。设计一种在室外工作条件下具有较强抗腐蚀能力、工作性能稳定、能够完全覆盖移动数字电视系统 11.700~12.200 GHz 工作频段、回波损耗低、性能冗余大的新型移动数字电视天线，是目前移动数字电视技术发展中急需解决的问题。

### 3. 三层天线结构简介

三层天线的结构如图 1 所示，它是一种利用馈电辐射贴片和感应辐射贴片的辐射同相叠加，从而增强天线辐射强度、增大天线工作带宽的多辐射贴片天线改进结构。在三层天线结构中，中层贴片为馈电辐射贴片，上、下层贴片为感应辐射贴片。当馈电辐射贴片上有电流流过时，感应辐射贴片上的金属部分会产生感应电流，适当调整后，可使感应电流与馈电电流有相同或相近的相位。这时空间任一点的场都是馈电辐射贴片直接激发的场与感应辐射贴片激发的感应场的同相叠加，天线的辐射强度和工作带宽都将大大增加。

### 4. 渐变分形缝隙天线简介

分形缝隙结构是一种基于分形迭代方式的缝隙结构，可在正方形辐射贴片的中央区域开出分形缝隙得到。分形缝隙结构可以在不改变天线辐射贴片整体形状的前提下，在天线辐射贴片内部引入分形变化规律，利用分形的自相似性让天线辐射贴片中的射频电流分布的更加均匀，从而改善天线的带宽性能。三层天线的辐射贴片使用不同阶数的分形缝隙结构，可以利用分形阶数的渐变实现天线辐射阻抗的渐变，改善天线的匹配性能，进一步增大天线的工作带宽。

### 5. 十字分形结构简介

十字分形结构是一种通过迭代生成的面分形结构，其迭代过程如图 2 所示。十字分形结构的原始结构为正方形，将其等分为 3 行 3 列 9 个小正方形，将左上角、左下角、右上角、右下角四个小正方形挖去，剩下 5 个等分的正方形区域，则得到 1 阶十字分形结构。将 1 阶十字分形结构的 5 个正方形区域分别再做十字分形迭代，则得到 2 阶十字分形结构。按照这种方法继续迭代，则可得到高阶十字分形结构 [16] [17]。

### 6. 石墨烯导电墨水简介

石墨烯导电墨水是由石墨烯导电填料、粘合剂、溶剂组成的高性能导电墨水。石墨烯是单层的超薄石墨，具有非常好的导电性能和较高的机械强度。石墨烯具有很高的电子迁移率，能够容纳强度很高的射频电流，以石墨烯作为导电填料制成的导电墨水，比传统的金属导电填料墨水质量更轻、成本更低、

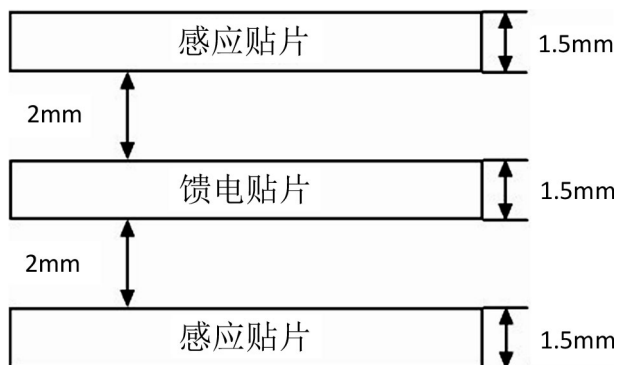


Figure 1. The sketch map of the three layer antenna structure  
图 1. 三层天线结构示意图

电导率更高、耐热性更好。使用石墨烯导电墨水制作的印刷天线，辐射贴片中没有金属，在露天工作环境中不易被腐蚀，具有很高的工作稳定性。

## 7. 用于移动数字电视的多层渐变分形缝隙石墨烯天线结构设计

设计中使用的天线基板为低损耗透波陶瓷基板，其相对介电常数为 25，基板的形状为矩形，尺寸是  $45 \times 45 \text{ mm}$ ，厚度为  $1.5 \text{ mm}$ 。天线包括三层结构，如图 1 所示，第一层结构包括基板和贴覆在基板正面的分形缝隙感应辐射贴片；第二层结构包括基板、贴覆在基板背面的天线接地板和贴覆在基板正面的分形缝隙馈电辐射贴片，天线接地板为全导电区域接地结构；第三层结构包括基板和贴覆在基板正面的分形缝隙感应辐射贴片。每层天线结构的大小为  $45 \times 45 \text{ mm}$ ，两层天线结构之间的距离为  $2 \text{ mm}$ 。各层天线结构中的分形缝隙感应辐射贴片和分形缝隙馈电辐射贴片是在正方形辐射贴片的中央区域开出分形缝隙得到，开缝区域的大小为  $27 \times 27 \text{ mm}$ 。

分形缝隙感应辐射贴片和分形缝隙馈电辐射贴片使用 1 阶、2 阶、3 阶的十字分形结构，其中第一层天线结构的分形缝隙感应辐射贴片使用 1 阶十字分形结构，如图 3 所示；第二层天线结构的分形缝隙馈电辐射贴片使用 2 阶十字分形结构，如图 4 所示；第三层天线结构的分形缝隙感应辐射贴片使用 3 阶十字分形结构，如图 5 所示。

分形结构的整体和局部以及局部和局部之间都具有自相似性，用于天线设计时，自相似性使得分形天线内部的射频电流分布很均匀，因此分形天线具有良好的宽频带工作特性。分形缝隙结构是一种“嵌入式”的分形结构，可以在不改变天线辐射贴片整体形状的前提下，在天线辐射贴片内部引入分形变化规律，改善天线的带宽性能。

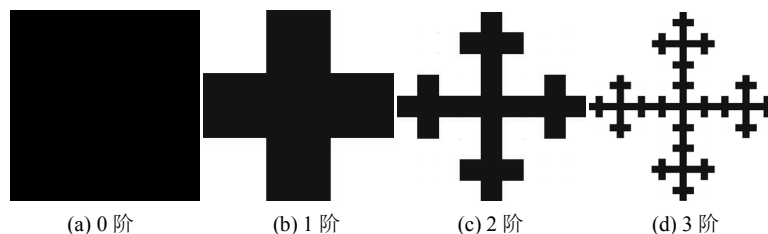


Figure 2. The sketch map of cross fractal iteration process

图 2. 十字分形迭代过程示意图

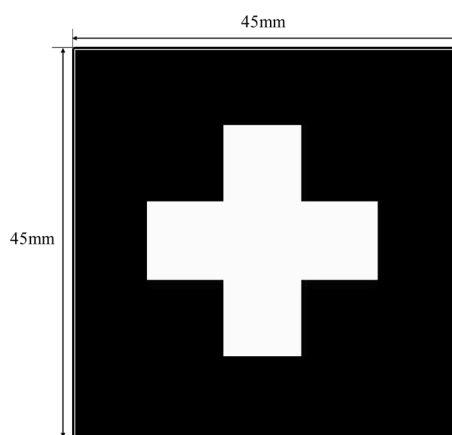


Figure 3. Fractal slot inductive radiation patch of the first layer antenna structure

图 3. 第一层天线结构的分形缝隙感应辐射贴片

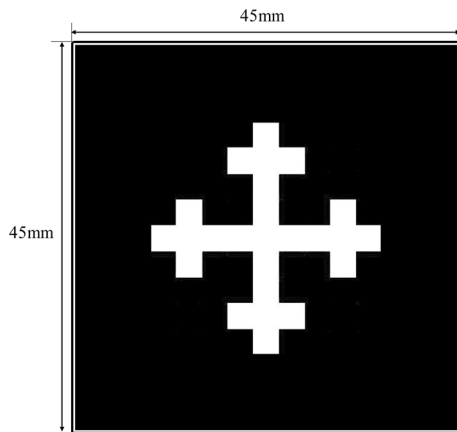


Figure 4. Fractal slot feed radiation patch of the second layer antenna structure

图 4. 第二层天线结构的分形缝隙馈电辐射贴片

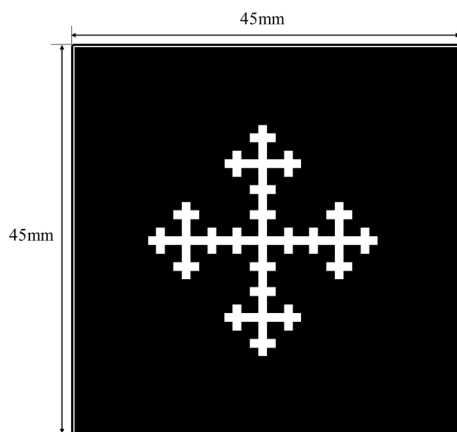


Figure 5. Fractal slot inductive radiation patch of the third layer antenna structure

图 5. 第三层天线结构的分形缝隙感应辐射贴片

多层天线的感应辐射和叠加效应可以进一步增强天线的辐射性能。如果天线附近存在金属导体，金属导体因受天线产生的电磁场的作用要激起电流，这种感应电流也会在空中激发电磁场，可以称其为二次场或散射场。空间任一点的场都是天线直接激发的场与二次场的叠加。在多层天线结构中，位于第一层和第三层的感应辐射贴片会吸收第二层的馈电辐射贴片的部分辐射能量，并激发出感应辐射。合理调节各层天线结构的间距后，可使感应辐射贴片上的电流与馈电辐射贴片上的电流有相同或相近的相位，三层天线的馈电辐射和感应辐射同相叠加，天线的辐射性能将得到较大的提高。三层天线的辐射贴片使用阶数渐变的分形缝隙结构，使天线的辐射阻抗随着分形阶数的渐变而渐变，天线的匹配适应性得到提高，工作频带进一步展宽。

第二层天线结构的分形缝隙馈电辐射贴片的底边中心位置设有馈电点。天线接地板和辐射贴片由石墨烯导电墨水印制而成。使用石墨烯导电墨水制作的印刷天线，接地板和辐射贴片中没有金属，不易被腐蚀，具有很高的工作稳定性。石墨烯材料具有很好的导电性，可以保证天线有较好的辐射性能。

综上所述，本设计方案使用三层天线结构，适当调整各层天线之间的距离，使感应电流与馈电电流

有相同或相近的相位，这时空间任一点的场都是馈电辐射贴片直接激发的场与感应辐射贴片激发的感应场的同相叠加，天线的辐射强度和工作带宽都将大大增加。使用分形缝隙结构，将馈电辐射贴片和感应辐射贴片都设计为分形缝隙辐射贴片，可以在天线辐射贴片内部引入分形自相似变化规律，改善天线的带宽性能。利用三层天线的分形阶数的渐变可以实现天线辐射阻抗的渐变，改善天线的匹配性能，进一步增大天线的工作带宽。使用石墨烯导电墨水印制天线接地板和辐射贴片，可以保证天线有较好的辐射性能和很高的工作稳定性。

## 8. 天线样品的制作与测试

我们使用导电油墨印刷工艺制作了天线样品，并对天线样品的工作性能进行了实际测试，结果如图6和图7所示。

从图6可知，该款天线的中心频率为12.000 GHz，工作频带为10.026~14.938 GHz，该款天线完全覆盖了移动数字电视系统11.700~12.200 GHz工作频段。该款天线的回波损耗最小值为-39.14 dB，绝对带宽为4.912 GHz，相对带宽为39.35%，完全满足移动数字电视系统天线回波损耗最小值需小于-20 dB的要求，且回波损耗性能和带宽性能都有较大的性能冗余，可以保证天线在不可预知的恶劣电磁环境中，

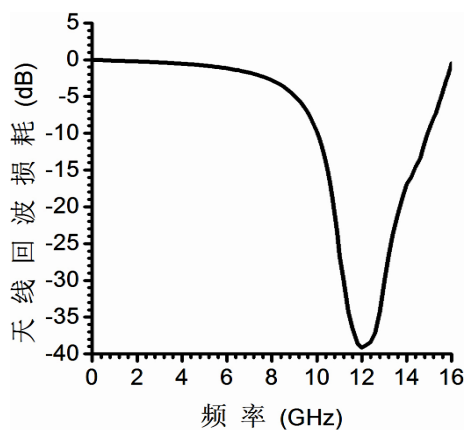


Figure 6. The measured radiation characteristics of antenna

图6. 天线实测辐射特性

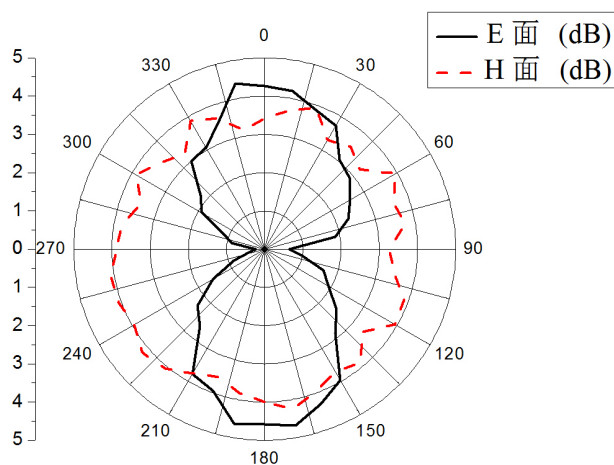


Figure 7. The measured radiation pattern of antenna

图7. 天线实测方向图

回波损耗增大、带宽减小时，仍然可以正常传输移动数字电视无线信号。

移动数字电视系统要在高速移动的车辆中收发无线信号，因此需要天线有较好的全向工作能力。从图 7 可知，天线的 H 面方向图在所有角度的增益都大于 3 dB，各个角度的辐射均匀；天线的 E 面方向图虽然呈现“八字形”，但是在所有角度的增益都大于 0 dB；天线的 E 面方向图和 H 面方向图都具有很好的全向工作能力，能够满足在高速移动中收发移动数字电视无线信号的需要。

## 9. 结束语

本文针对基于卫星传输的移动数字电视系统对天线的性能要求，使用低损耗透波陶瓷基板作为天线基板材料，使用石墨烯导电墨水制作天线辐射结构，将多层天线结构和渐变分形缝隙天线相结合，设计了一款用于移动数字电视的多层渐变分形缝隙石墨烯天线，制作了天线样品进行了测试。

与现有的移动数字电视天线相比，该款天线具有突出的优势：该款天线是第一款完全不使用金属辐射结构的移动数字电视天线，使用石墨烯导电墨水印制导电区域，避免了金属区域长时间室外露天工作后被腐蚀的风险，天线具有高度稳定可靠的工作性能；现有移动数字电视天线一旦有部分结构被破坏，天线就将失配，不能在原工作频段收发信号，而具有自相似性的十字分形缝隙结构使该款天线具有很强的抗破坏性能，即使天线结构被破坏地只剩下四分之一，该款天线仍然能够依靠分形“自加载”性能正常工作；现有移动数字电视天线的回波损耗最小值难以达到小于-20 dB 的要求，工作带宽普遍低于 0.5 GHz，而该款天线回波损耗最小值低达-39.14 dB，工作带宽高达 4.912 GHz，性能冗余较大，能够在各种恶劣环境中保证移动数字电视信号的传输质量。

该款天线能够满足移动数字电视系统信号稳定、覆盖广泛、接收迅速、画面清晰、移动性强等要求，同时具备回波损耗小、工作带宽大、抗破坏性能强、工作稳定性高等优点，在移动数字电视领域有广阔的应用前景。

## 基金项目

福建省高校杰出青年科研人才培养计划项目(闽教科[2017]52 号)。

## 参考文献

- [1] Wang, Z.Y., Jin, R.H., Jin, Y., *et al.* (2016) Propagation Model for Mobile Digital TV Coverage under Viaduct. *Radio Science*, **45**, 1-9.
- [2] Carey, J. (2016) Audience Measurement of Digital TV. *International Journal of Digital Television*, **7**, 119-132. [https://doi.org/10.1386/jdtv.7.1.119\\_1](https://doi.org/10.1386/jdtv.7.1.119_1)
- [3] Silva, V.J., Ferreira, V.F.D. and Viana, N.S. (2015) Architecture for Integrating Healthcare Services to the Brazilian Digital TV System. *IEEE Latin America Transactions*, **13**, 241-249. <https://doi.org/10.1109/TLA.2015.7040654>
- [4] Punt, M., Bjelica, M.Z., Zdravkovic, V., *et al.* (2015) An Integrated Environment and Development Framework for Social Gaming Using Mobile Devices, Digital TV and Internet. *Multimedia Tools & Applications*, **74**, 8137-8169. <https://doi.org/10.1007/s11042-014-2045-8>
- [5] Chang, J.H., Lai, C.F. and Wang, M.S. (2015) A Fair Scheduler Using Cloud Computing for Digital TV Program Recommendation System. *Telecommunication Systems*, **60**, 55-66. <https://doi.org/10.1007/s11235-014-9921-4>
- [6] Yeo, J. and Lee, J.I. (2017) CPW-Fed Wideband Loop Antenna for Indoor Digital TV Applications. *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, **21**, 1492-1497.
- [7] Liao, W.J., Chou, S.H., Chen, Y.A., *et al.* (2017) Frequency Reconfigurable Antenna for VHF/UHF Digital TV Reception on Portable Devices Using Switching Matching Networks. *Microwave and Optical Technology Letters*, **59**, 2800-2806. <https://doi.org/10.1002/mop.30819>
- [8] 尤丽娜. 一种小型地面数字电视接收天线的设计和应用[J]. 中国新通信, 2017, 19(9): 86-87.
- [9] 严勇. 数字电视卫星接收天线的设计与制作[J]. 山东工业技术, 2015, 34(24): 115-116.

- [10] 何志刚, 郝景程, 李蓉. 数字电视无线发射天线性能分析[J]. 电子制作, 2014, 21(11): 155-156.
- [11] 贾小娇. 简易数字电视接收天线测试系统[J]. 视听界, 2018, 21(2): 103-105.
- [12] Osklang, P. and Phongcharoenpanich, C. (2016) Broadband Planar Dipole Array Antenna with Double C-Shaped Slit Elements for Digital TV Broadcasting Transmission. *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, **26**, 466-478. <https://doi.org/10.1002/mmce.20993>
- [13] 康晓乐, 陈隆耀, 李增瑞. 应用于数字电视系统的双极化 Vivaldi 天线[J]. 中国传媒大学学报(自然科学版), 2017, 24(2): 15-18.
- [14] 石举华. 数字高清电视移动接收技术的研究与实现[J]. 科技传播, 2017, 9(3): 78-79.
- [15] 白宇晗. 地面数字电视系统中八木接收天线的设计与应用[J]. 广播电视信息, 2015, 12(11): 95-96.
- [16] Li, Z.T. (2014) New Localized Excitations and Cross-Like Fractal Structures to the  $(2 + 1)$ -Dimensional Broer-Kaup System. *Pramana*, **83**, 293-300. <https://doi.org/10.1007/s12043-014-0784-8>
- [17] Dhaliwal, B.S., Pattnaik, S.S. and Jasmine, B. (2014) A Cross-Stitch Geometry-Based Multiband Fractal Antenna. *Microwave and Optical Technology Letters*, **56**, 667-671. <https://doi.org/10.1002/mop.28177>

#### 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)