

基于分布式无线网络的无线电层析成像方法与实验研究

管司慧* 宋耀良 穆童 范事成 翁美丽
(南京理工大学电子工程与光电技术学院 南京 210094)

摘要: 无线电层析成像(RTI)是利用无线传感网络对目标成像的新兴技术,在区域目标监测与定位等方面有广泛的应用。该文研究基于无线网络链路损耗和层析成像机理的区域目标成像定位方法,在链路质量指标(LQI)的测量基础上构建了目标成像的网络结构,通过压缩感知中的匹配追踪重构(OMP)算法对目标图像进行重建,最后通过实验验证该方法的有效性。

关键词: 无线电层析成像(RTI); 路径损耗; 无线传感网络(WSN); 链路质量指标(LQI); 匹配追踪重构算法(OMP)

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 2095-283X(2014)04-0490-06

DOI: 10.3724/SP.J.1300.2014.13120

Radio Tomography Imaging Based on Distributed Wireless Networks and Experimental Research

Guan Si-hui Song Yao-liang Mu Tong Fan Shi-cheng Weng Mei-li
(School of Electronic Engineering and Optoelectronic Technology, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: Radio Tomography Imaging (RTI) is an emerging technology with Wireless Sensor Network (WSN) widely applied to regional target monitoring and positioning. This study explores target imaging based on tomographic imaging mechanism and the loss of multiple links in the wireless network. For this purpose, Link Quality Indicator (LQI) data and the network structure are examined to derive the method of target image reconstruction using the Orthogonal Matching Pursuit (OMP) algorithm for compressed sensing. In addition, the proposed method is evaluated experimentally.

Key words: Radio Tomographic Imaging (RTI); Path loss; Wireless Sensor Network (WSN); Link Quality Indicator (LQI); Orthogonal Matching Pursuit (OMP)

1 引言

近年来无线通信发展迅速,各种无线终端层出不穷,新近出现的无线层析成像技术(Radio Tomographic Imaging, RTI)为无线电监控系统^[1]提供了新的技术途径。该技术利用无线射频信号穿透目标时的衰减效应反演得到目标的位置信息。由于不受照度等外界因素的影响,可以实现全天候监测,在许多方面比传统的光学成像监控系统有一定的优势;同时也克服了CT成像^[2]范围的局限性并避免了X射线对人体造成伤害。

无线层析成像技术自2007年提出,研究内容主要是无线层析成像技术的参数模型及其图像重构算法。2009年美国犹他大学的Wilson等人^[3]进行了实

验,利用节点的接收信号强度指示(RSSI)的变化反演出障碍物的情况。2010年,中山大学义连杰^[4]通过引入集中式的贝叶斯压缩传感技术,实现了压缩测量,节约了无线传感器网络的能源与通信资源,但没有研制出实际系统。

本文的主要目的是通过多站点无线通信网络系统实现无线电层析成像,从而进行区域监控。在研究过程中,我们把监控区域成像问题转化为压缩感知理论中的目标反演问题,重点研究如何利用正交匹配追踪算法恢复图像问题。

2 无线网络成像机理

无线电成像^[5,6]主要分为两种:一种基于射线理论(近似看成直线传播),发射与接收为一对一的关系,利用CT成像的反演技术成像;另一种是基于散射理论的雷达成像^[7],一个发射节点对应多个接收节点,利用反射信号进行成像。

2013-12-06 收到, 2014-02-24 改回; 2014-03-03 网络优先出版

国家自然科学基金(61071145, 61271331)资助课题

*通信作者: 管司慧 shguana288@foxmail.com

2.1 LQI

依靠多站点无线通信网络系统检测完成链路质量评估, 开销少, 对链路质量改变反应迅速。来自硬件检测的评估参量^[8,9]主要有两个: 一个是接收信号强度(Received Signal Strength Indicator, RSSI), 另一个是链路质量指标(Link Quality Indicator, LQI)。LQI 和 RSSI 的大小均基于信号强度以及检测到的信噪比, 一般与正确接收到的数据帧的概率有关。

$$\text{RSSI} = 10 \lg P \quad (1)$$

$$\text{LQI} = (\text{RSSI} + 81) \times 255/91 \quad (2)$$

RSSI 具体硬件实现中做了如下处理: 在 104 μs 内进行基带功率积分得到 RSSI 的瞬时值, 即 $\text{RSSI}_{\text{瞬时}} = \text{sum}(I^2 + Q^2)$ 。然后在约 1 s 内对 8192 个瞬时值求平均得到 RSSI 的平均值, 即 $\text{RSSI}_{\text{平均}} = \text{sum}(\text{RSSI}_{\text{瞬时}})/8192$ 。从式(2)可看出 LQI 的动态范围较大, 有更高的分辨率^[8], 所以在本实验中采用 LQI 作为链路质量评估。

2.2 路径损耗

在空旷的条件下, 发射与接收节点之间可认为只有一条传输链路, 当传输路径上无障碍物遮挡时, 符合自由空间的路径损耗模型; 有障碍物遮挡时, 接收节点得到的 LQI 值将发生很大的衰减, 称为路径损耗^[3]。路径损耗 Δy 公式如下:

$$\Delta y = P_0 - P \quad (3)$$

P_0 为发射与接收节点间不存在障碍物时测得的 LQI 值, P 为实际测得的 LQI 值。

为了更直观地了解损耗影响, 我们对装满水的塑料桶和人体进行了简单的测量试验: 在不同距离下分别测量人和水桶对衰落的影响, 采集接收节点测量的 LQI 变化值, 每个距离测量 3 次, 取平均值。

从表 1 中横向对比可以看到, 不同介质对衰落是有影响的, 相对装满水的塑料桶而言, 人体的衰

表 1 不同介质路径损耗 LQI 值

Tab. 1 The path loss of different mediums

距离 (m)	障碍物	
	人体	装满水的塑料桶
1	84	53
2	69	36
4	47	13
6	30	-
10	18	-

落效应更明显; 就人体而言, 距离为 10 m 时也能造成较为明显的衰减, 为保证较大范围的定位, 区域可以采用 6 m \times 10 m 的参数规格。

3 区域监控系统设计

3.1 网络结构

要进行区域监控, 就必须对区域内的物体定位, 而仅一条链路的路径损耗只能判断该链路上是否有障碍物, 并不能进行定位, 因此需要构造一个无线传感网络^[10]来实现精确定位。

如图 1 所示, 将区域规划为长方形(6 m \times 10 m), 去除了正方形的特殊性, 将 32 个节点均匀布置在区域外围, 排列组合得共 $M = 32(32 - 1)/2 = 496$ 条链路(包含区域的边界); 将整个区域分为若干个小正方形区域, 称之为像素。像素越小, 定位会越精确, 但是像素划分得越小, 计算量会越大, 计算时间自然也会越长, 不符合实时性这一目的。那么我们需要在能定位的基础上确定一个较大的网格步长(像素), 由于该实验是针对人体的, 分米级就能较为准确地对人体进行定位了, 因此假设该区域共 $N = 60 \times 100 = 6000$ 个像素点。

$$\Delta y_i = \sum_{j=1}^N w_{ij} \Delta x_j + n_i \quad (4)$$

其中 Δy_i 为第 i 条链路上 LQI 的变化值, Δx_j 为第 j 个像素内的衰减值, n_i 为噪声(噪声来自于信号在传输中受到的空间内的各种扰动), w_{ij} 为第 j 个像素对第 i 条链路的加权值。将式(4)写成矩阵形式为:

$$\mathbf{Y} = \mathbf{W}\mathbf{X} + \mathbf{n} \quad (5)$$

其中 $\mathbf{X} = [\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_N]$, $\mathbf{Y} = [\Delta y_1, \Delta y_2, \dots, \Delta y_M]$, $\mathbf{n} = [n_1, n_2, \dots, n_M]$, $\mathbf{W} = [w_{ij}]_{M \times N}$, \mathbf{W} 称为权重矩阵。

3.2 系统构成

该系统主要分为无线收发终端、数据采集和数据处理几个部分。

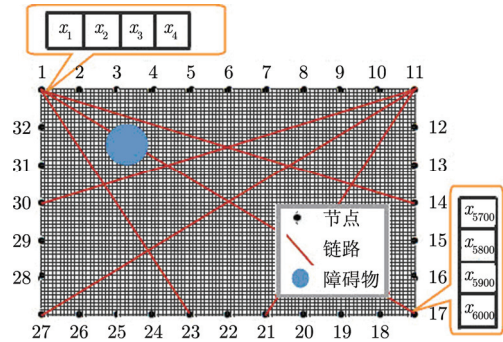


图 1 无线传感器网络示意图

Fig. 1 Schematic diagram of wireless sensor network

在无线收发终端部分, 首先我们需要的是 2.4 GHz 的无线电信号, 除此之外硬件的选取还需衡量芯片的开发周期、兼容性、功耗和灵敏度等。JN5139 模块可以在最短的时间内实现 IEEE802.15.4 兼容系统, 可以发射 2.4 GHz 的信号, 直接测得 LQI 值, 该芯片功耗一般为 100 mW, 接收灵敏度高达 -97 dBm。同时为了扩大监控区域范围, 我们采用增益为 10 dB 的定向天线, 在信号传输方向水平角度为 65°, 垂直角度为 50°, 保证足够的传输功率以及一定的方向性。具体如图 2 所示。

在数据采集部分, 本文利用系统自带的超级终端, 生成 txt 文件, 然后通过 matlab 直接引用 txt 文件进行数据处理。

4 基于压缩感知的区域图像重构

4.1 RTI 信号的稀疏性

所谓的稀疏性^[11-13]就是如果一个信号中只有少数元素是非零的, 则该信号是稀疏的。通过式(3)得到的路径损耗已经忽略了自由空间损耗, 即无障碍物时得到的路径损耗为零或基本接近于零。通过对区域空间进行分析, 我们发现只有在障碍物的区域才会有较大的衰减, 其余部分应该是零值或者接近于零值的, 由此可见 RTI 信号是稀疏的。

4.2 权重矩阵

从天线发射功率角度出发, 如图 2 所示的主瓣分布内的像素权重值应该较大。Agrawal 等人^[3]提出了椭圆权重模型: 发射和接收节点位于椭圆焦点上, 当像素位于椭圆内部时, 权值为 1; 否则权值为 0。考虑到不同链路发射与接收节点间的距离不同, 故权值要除以发射与接收节点间距离的平方根。

$$w_{ij} = \frac{1}{\sqrt{d_i}} \begin{cases} 1, & d_{ij}(1) + d_{ij}(2) < d_i + \lambda \\ 0, & \text{其它} \end{cases} \quad (6)$$

式中 $d_{ij}(1)$ 和 $d_{ij}(2)$ 分别为第 j 个像素到第 i 条链路两个节点的距离, d_i 为第 i 条链路的节点距离, λ 为归一化椭圆模型参数。

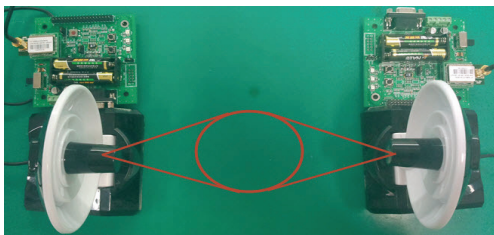


图 2 发射与接收天线主瓣示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the main lobe of transmitting and receiving antenna

4.3 方程求解

通过 4.1 节可知 N 维的 RTI 信号 \mathbf{X} 是稀疏的, 记为 K -稀疏 ($K \ll N$), 因此对式(5)可以通过求解最优 l_0 范数^[14,15]问题, 从测量向量 \mathbf{Y} 中精确地恢复出 \mathbf{X} 。

$$\min \|\mathbf{X}\|_0, \text{ s.t. } \mathbf{Y} = \mathbf{W}\mathbf{X} + \mathbf{n} \quad (7)$$

正交匹配追踪算法^[16](Orthogonal Matching Pursuit, OMP)通过递归对已选择原子集合进行正交化以保证迭代的最优性, 从而减少迭代次数, 缺点是需要预知信号的稀疏度。在该实验中通过对障碍物的估测可预知稀疏度, 为降低复杂度提高实时性, 我们采用 OMP 算法。此时可将式(7)转化为较简单的考虑误差的近似形式, 其中 δ 是一个极小的常量:

$$\min \|\mathbf{X}\|_0, \text{ s.t. } \|\mathbf{Y} - \mathbf{W}\mathbf{X}\|_2^2 \leq \delta \quad (8)$$

OMP 基本思想^[17]: 以贪婪迭代的方法选择感知矩阵中的列组成增量矩阵, 每次迭代的列与当前的冗余向量内积最大, 从测量向量中减去相关部分继续迭代, 迭代次数达到稀疏度时强制停止。

OMP 迭代运算具体步骤如下: (初始化残差 $r_0 = y$, 索引集 $\Lambda_0 = \emptyset, \Phi_0 = \emptyset, t = 1$)

(1) 找出残差 r 和感知矩阵列 \mathbf{R}_j 积中最大值所对应的脚标 $\lambda: \lambda_t = \arg\max_{j=1, \dots, N} \langle r_{t-1}, \mathbf{R}_j \rangle$;

(2) 更新索引集 $\Lambda_t = \Lambda_{t-1} \cup \{\lambda_t\}$, 记传感矩阵中的重建原子集合为 $\Phi_t = [\Phi_{t-1}, \mathbf{R}_{\lambda_t}]$;

(3) 由最小二乘得到 $\hat{x}_t = \arg\min_2 \|y - \Phi_t \hat{x}\|_2$;

(4) 更新残差 $r_t = y - \Phi_t \hat{x}_t$, 将列 \mathbf{R}_{λ_t} 置零, $t = t + 1$;

(5) 判断是否满足 $t > K$, 若满足, 则停止迭代; 若不满足, 则执行(1)。

数据处理的总体流程图如图 3 所示。

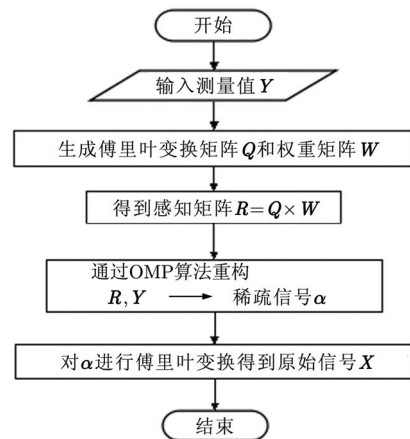


图 3 算法流程图

Fig. 3 Flow chat of algorithm

5 实验及结果分析

5.1 实验流程简介

我们在空旷的室内区域搭建了一个无线传感器网络实验平台：

(1) 在 10 m×6 m 的矩形区域周围设置间距为 1 m 的 32 个节点，如图 1 所示。区域像素划分为 100×60，因此像素大小为 0.1 m×0.1 m。

(2) 本实验中，障碍物分布如图 4 所示。测量节点将测得的 LQI 值通过无线方式发送给接收节点，然后通过串口发送给 PC 处理。

(3) 为防止数据串扰，给每个节点编号。接收节点通过编号判断是否轮接收，若等待时间超过时限，则由下一节点发送。

(4) PC 作为监控端开启串口接收数据，通过 matlab 对数据进行处理，得到监控图像。

5.2 结果分析

实际上，输入信号 X 是非负数，所以通过 OMP 算法得到的负数直接归零处理；同时通过简单的加窗函数对图像进行了优化。具体的成像结果如图 5 所示。

像素灰度值越大，说明该像素区域衰减越严重，则人位于该像素区域的可能性越大。将成像结果与示意图相比可以看出，定位还是较为准确的，但是

由于噪声以及算法的缺陷，总存在着一定的误差 θ 。

$$\theta = \sqrt{(x - \hat{x})^2 + (y - \hat{y})^2} \tag{9}$$

通过对图像的细节处理，得出 4 个点的误差：

$\theta_1 \approx 0.2139, \theta_2 \approx 0.1000, \theta_3 \approx 0.1000, \theta_4 \approx 0.0100$ 。通过比较可得 1 点比 2 点误差大，3 点比 4 点误差大，这是由于区域中心经过的链路相对较多，可利用的数据也较多的原因，所以越靠近区域中心，定位越准确。

通过观察图 5，我们发现亮点面积相对于实际偏大，两人距离较近时中间以及在无人区域存在一定的干扰，这主要是由于天线的方向性不够好以及物体之间存在反射的影响。但是针对人体定位，约为 0.1060 m 的平均误差在允许范围内，所以总的来说该实验成功实现了对目标的定位监控。

6 结论

本文主要实现了对 10 m×6 m 范围的区域监控，将监控成像问题转化为目标反演算法问题。本文实验建立在 LQI 的测量基础上，算法主要针对的是基于透射理论下的无线层析成像。实验结果表明基于 OMP 的无线层析成像技术能够对目标进行精确定位，2.4 GHz 的无线电信号对人体的伤害表现仅为热效应^[18]；并且 OMP 算法复杂度低、运算时间短，能够快速跟踪定位区域内的目标。

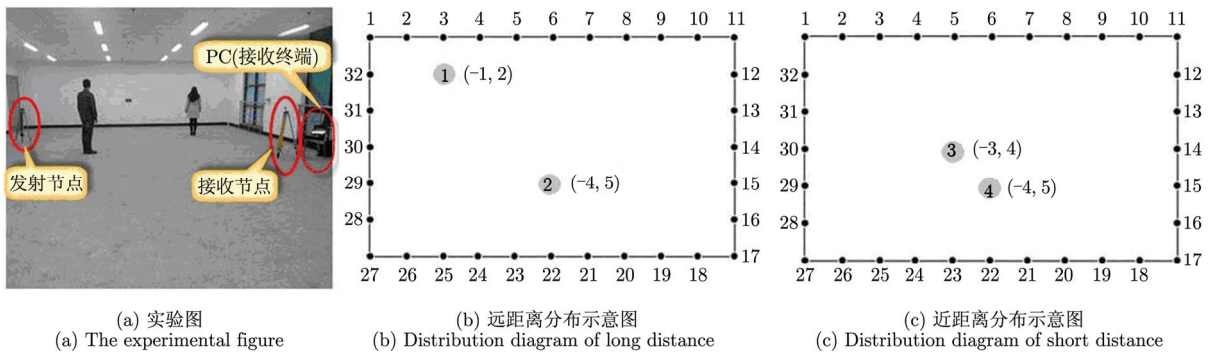
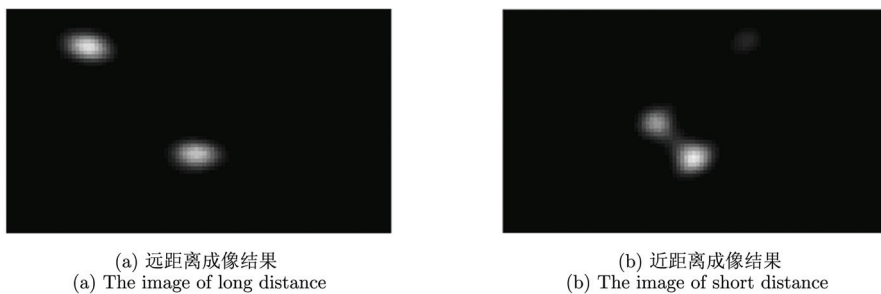


图 4 障碍物分布图

Fig. 4 Schematic diagram of the obstacles



(a) 远距离成像结果 (a) The image of long distance (b) 近距离成像结果 (b) The image of short distance

图 5 两人处于不同距离的成像结果

Fig. 5 The image of different distances

参考文献

- [1] 褚正明, 文岗. 区域监测网监控系统的工作模式及其在监测管理中的地位和作用[J]. 中国无线电, 2008, (11): 57-59.
Chu Zheng-ming and Wen Gang. The work pattern of the area monitoring and control system and its position and role in the monitoring and control[J]. *China Radio*, 2008, (11): 57-59.
- [2] 庄天戈. CT 原理与算法[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1992: 2-50.
Zhuang Tian-ge. The Principle and Algorithm of CT[M]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University Press, 1992: 2-50.
- [3] 王正欢, 刘珩, 安建平, 等. 基于 RSSI 的无线层析成像方法[OL]. <http://www.paper.edu.cn/releasepaper/content/201203-99>, 2012.
Wang Zheng-huan, Liu Heng, An Jian-ping, *et al.*. The radio tomography method based on RSSI[OL]. <http://www.paper.edu.cn/releasepaper/content/201203-99>, 2012.
- [4] 义连杰. 压缩传感支配的无线层析成像及其应用[D]. [硕士论文], 中山大学, 2010.
Yi Lian-jie. The radio tomography and its application based on compressed sensing[D]. [Master dissertation], Sun Yat-sen University, 2010.
- [5] Berkhout A J, 梁世华. 论反射成像与透射层析成像之间的关系[J]. 勘探地球物理进展, 1994(3): 77-81.
Berkhout A J and Liang Shi-hua. The relationship between reflection imaging and transmission tomography [J]. *Progress in Exploration Geophysics*, 1994(3): 77-81.
- [6] Zhao Y, Patwari N, Phillips J M, *et al.* Radio tomographic imaging and tracking of stationary and moving people via kernel distance[C]. Proceedings of the 12th International Conference on Information Processing in Sensor Networks, ACM, USA, 2013: 229-240.
- [7] 裘金飞. 合成孔径雷达(SAR)成像技术研究[D]. [硕士论文], 南京理工大学, 2005.
Qiu Jin-fei. Study on Synthetic Aperture Radar (SAR) imaging techniques[D]. [Master dissertation], Nanjing University of Science and Technology, 2005.
- [8] 朱剑, 赵海, 张希元, 等. 基于 LQI 量度的无线链路质量评估模型[J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2008, 29(9): 1262-1265.
Zhu Jian, Zhao Hai, Zhang Xi-yuan, *et al.* The wireless link quality evaluation model based on LQI[J]. *Journal of Northeastern University (Natural Science)*, 2008, 29(9): 1262-1265.
- [9] 张洁颖, 孙懋珩, 王侠. 基于 RSSI 和 LQI 的动态距离估计算法[J]. 电子测量技术, 2007, 30(2): 142-145.
Zhang Jie-ying, Sun Mao-heng, and Wang Xia. Dynamic distance estimation method based on RSSI and LQI[J]. *Electronic Measurement Technology*, 2007, 30(2): 142-145.
- [10] Wilson J and Patwari N. Radio tomographic imaging with wireless networks[J]. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2010, 9(5): 621-632.
- [11] 程文波, 王华军. 信号稀疏表示的研究及应用[J]. 西南石油大学学报, 2008, 30(5): 148-151.
Cheng Wen-bo and Wang Hua-jun. The research and application of signal sparse representation[J]. *Journal of Southwest Petroleum University*, 2008, 30(5): 148-151.
- [12] 李卓凡, 闫敬文. 压缩感知及应用[J]. 微计算机应用, 2010, 31(3): 12-16.
Li Zhuo-fan and Yan Jing-wen. Compression perception and application[J]. *Microcomputer Applications*, 2010, 31(3): 12-16.
- [13] Candès E J and Wakin M B. An introduction to compressive sampling[J]. *IEEE Signal Processing Magazine*, 2008, 25(2): 21-30.
- [14] 王军华, 黄知涛, 周一宇, 等. 基于近似 l_0 范数的稳健稀疏重构算法[J]. 电子学报, 2012, 40(6): 1185-1189.
Wang Jun-hua, Huang Zhi-tao, Zhou Yi-yu, *et al.* Robust sparse reconstruction algorithm based on the approximate l_0 norm[J]. *Acta Electronica Sinica*, 2012, 40(6): 1185-1189.
- [15] Baraniuk R G. Compressive sensing [lecture notes][J]. *IEEE Signal Processing Magazine*, 2007, 24(4): 118-121.
- [16] 刘冰, 付平, 孟升卫. 基于正交匹配追踪的压缩感知信号检测算法[J]. 仪器仪表学报, 2010, (9): 1959-1964.
Liu Bing, Fu Ping, and Meng Sheng-wei. Compressed sensing signal detection algorithm based on orthogonal matching pursuit[J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2010, (9): 1959-1964.
- [17] 高睿. 基于压缩感应的匹配追踪重建算法研究[D]. [硕士论文], 北京交通大学, 2009.
Gao Rui. Study of reconstruction algorithm based on the matching pursuit of compressed sensing[D]. [Master dissertation], Beijing Jiaotong University, 2009.
- [18] 李雅轩, 袁秀英, 刘南平. 电磁辐射对人体的伤害及预防[J]. 工业安全与环保, 2003, 29(9): 22-24.
Li Ya-xuan, Yuan Xiu-ying, and Liu Nan-ping. Hazards of electromagnetic radiation and its prevention[J]. *Industrial Safety and Environmental Protection*, 2003, 29(9): 22-24.

作者简介



管司慧(1990-), 女, 江苏南通人, 南京理工大学电子工程与光电技术学院在读博士生。研究方向为电磁层析成像。

E-mail: shguana288@foxmail.com



范事成(1992-), 男, 河北邢台人, 南京理工大学电子工程与光电技术学院在读博士生。研究方向为信息与通信工程。

E-mail: fanshicheng1112@sina.com



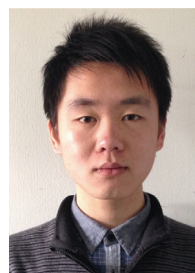
宋耀良(1960-), 男, 江苏无锡人, 南京理工大学电子工程与光电技术学院, 教授, 博士生导师。研究方向为超宽雷达与超宽带通信, 现代信号处理技术。

E-mail: ylsong@mail.njust.edu.cn



翁美丽(1991-), 女, 江苏扬州人, 南京理工大学电子工程与光电技术学院在读硕士生。研究方向为超宽带雷达成像。

E-mail: carlar_91@163.com



穆童(1993-), 男, 安徽巢湖人, 南京理工大学教育实验学院, 本科大四学生。专业方向为信息与通信工程。

E-mail: tonymu93@gmail.com

2015 年 IET 国际雷达会议通知

2015 年 IET 国际雷达会议 (IET International Radar Conference 2015: IET IRC2015) 将于 2015 年 10 月 14 日~16 日 (原定 4 月 26 日~28 日, 现因故改期) 在中国杭州召开。IET IRC2015 是 IET 系列雷达会议的第三次国际会议, 前两次会议分别与 2009 年 4 月和 2013 年 4 月中国桂林和西安成功召开。

会议旨在介绍雷达领域最新的技术发展和研究热点, 立足领域前沿为雷达专家、科技工作者和广大相关雷达相关专业师生提供一个分享思想和成果的学术平台。关于会议介绍、投稿格式和指导可见 <http://www.ietradar.org>, 会议历史资料可见 <http://www.ietradar.org/2013>。所有收录在会议论文集的学术文章将入选 IET Inspec 和 IEEE Xplore 全文数据库。同时, 将被 EI Compendex、EI Inspec、Elsevier Scopus 等数据库检索。会议优秀论文将被推荐 Science in China Series F: Information Sciences (Sci China F) 等杂志发表。

《雷达学报》“太赫兹雷达技术”专题征文通知

太赫兹波是国际科技界公认的一个非常重要的前沿技术领域, 是极具研究和开发价值的新频率资源, 它具有波束宽度窄、系统带宽大和多普勒效应显著等独特优点。太赫兹雷达探测系统融合了微波和红外可见光的优点, 在物体成像、环境监测、医疗诊断、射电天文、安全检查、反恐探测等领域具有重大的科学价值和广阔的应用前景, 特别对于高分辨雷达成像有着巨大的发展潜力。

尽管太赫兹雷达探测系统还处于理论研究与验证阶段, 但是其重要的科学价值和广泛的应用前景已经引起了学术界的普遍关注和极大兴趣。为及时总结太赫兹雷达研究与应用的最新进展, 《雷达学报》拟在 2015 年上半年出版“太赫兹雷达技术”专题, 专题主编为电子科技大学电子工程学院皮亦鸣教授。

现公开征集专题论文, 诚挚欢迎国内外专家、学者和科研人员积极投稿, 具体征文事项如下。

一. 征文方向(但不限于)

1. 太赫兹雷达探测系统理论
2. 太赫兹雷达目标探测技术
3. 太赫兹雷达高分辨成像技术
4. 太赫兹雷达系统应用

二. 征文要求

1. 来稿必须进行脱密处理, 发表前应提交保密审查表(盖章)。
2. 观点明确, 论据充分, 引证准确; 尚未公开发表; 中英文皆可。
3. 题目、作者姓名及单位、摘要、关键词应给出中英文; 单位和物理量使用符合国家标准。
4. 稿件请采用 Office Word 97~2003 版本通栏排版。
5. 投稿请在《雷达学报》网站(<http://radars.ie.ac.cn>)“作者投/查稿”处注册、上传, 在作者留言中注明“太赫兹雷达技术”专题论文。
6. 投稿截止日期: 2014 年 11 月 1 日。
7. 联系人: 贾守新、高华, 电话: 010-58887062, 邮箱: radars@mail.ie.ac.cn。

(“目标与环境电磁散射特性技术”专题征文通知见 479 页)