

基于胶囊内窥镜的胃部肿瘤检测方法

陈功 张业荣

A method of detecting stomach tumour based on capsule endoscopy

Chen Gong Zhang Ye-Rong

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 65, 194101 (2016) DOI: 10.7498/aps.65.194101

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.65.194101>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2016/V65/I19>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于多开口田字形宽频带低损耗左手材料

Broadband and low-loss left-handed materials based on multi-opening cross shape structures

物理学报.2016, 65(16): 164101 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.65.164101>

单层高效透射型相位梯度超表面的设计及实验验证

Design and experimental verification of single-layer high-efficiency transmissive phase-gradient metasurface

物理学报.2016, 65(15): 154101 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.65.154101>

基于梯度超表面的反射型线-圆极化转换器设计

Design of reflective linear-circular polarization converter based on phase gradient metasurface

物理学报.2016, 65(15): 154102 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.65.154102>

典型大气窗口太赫兹波传输特性和信道分析

Atmospheric window characteristic and channel capacity of THz wave propagation

物理学报.2016, 65(13): 134101 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.65.134101>

太赫兹波被动遥感卷云微物理参数的敏感性试验分析

Sensitivity analysis of terahertz wave passive remote sensing of cirrus microphysical parameters

物理学报.2016, 65(13): 134102 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.65.134102>

基于胶囊内窥镜的胃部肿瘤检测方法*

陈功 张业荣†

(南京邮电大学电子科学与工程学院, 南京 210003)

(2016年1月14日收到; 2016年7月6日收到修改稿)

为准确快速地检测胃部肿瘤, 提出将信号发射源放置于胶囊内窥镜中, 运用时域有限差分法建立胃部的全电磁场模拟模型. 首先通过该电磁场模型产生精确的人体胃部雷达数据, 然后将雷达仿真数据代入BP (后向投影) 算法中进行电磁逆散射计算成像. 成像算法必须考虑人体中各个组织器官对电磁波传播的影响: 电磁波在穿越人体时会有反射、折射和漫射现象, 传播速率减慢, 所携带的能量也有所减弱, 这些因素最终会导致像的偏移, 乃至产生虚像. 通过迭代法算出准确的电磁波传播路径, 对成像算法中的时间元素进行修正, 可以有效地抑制像的偏移. 结果证明: 基于胶囊内窥镜的超宽带雷达能准确地呈现二维胃部模型中的肿瘤的位置和尺寸.

关键词: 时域有限差分, 后向投影算法, 逆散射成像**PACS:** 41.20.Jb, 81.70.Ex, 29.40.Gx**DOI:** 10.7498/aps.65.194101

1 引言

消化道是一条由口腔至肛门的中空、肌性管道. 伴随着社会的发展与变化, 人类健康与生活质量日益受到消化道疾病的威胁. 根据相关统计, 2014年我国发病率排名前10位的癌症中, 男性的胃癌、食道癌和结直肠癌分别排在3, 4, 5位, 女性的胃癌、直肠癌和食道癌分别排在3, 4, 6位^[1-3]. 消化道疾病已经成为威胁人类健康的重大疾病.

如果能够在发病早期检测到病灶, 很多疾病可以完全治愈, 避免恶化成为癌症. 为了检测消化道的病变, 无线胶囊内窥镜技术应运而生. 1998年, 日本RF System Lab开始对其进行研究, 并于3年后成功地研制出了一种代号为Norika3的小体积胶囊内窥镜^[4]. 与此同时, 国内重庆金山科技集团有限公司也开始研究胶囊内窥镜技术, 经过3年的努力终于出现突破性进展, 该公司旗下产品胶囊内窥镜OMOM成为我国首创^[5]. 传统的胶囊内窥镜中携带的是一个微型摄像头, 其工作原理是被病人服

食后, 靠着人体肠胃道自身的蠕动, 自上而下地顺着肠胃道运动, 它所携带的微型摄像头拍摄人体胃部内壁的图像, 并用无线信号将图片传输给体外的接收装置. 然而胶囊内窥镜一次在人体内要工作8个小时, 才会随排泄物离开人体, 而患有肠胃道疾病的人新陈代谢则相对更慢, 还要花费更多的时间胶囊才能排出体外. 一次检测将产生上万张图像, 通常临床医生需要花费2到3个小时从这些图像中找到病变的部位, 这不仅会浪费时间, 而且由于医生长时间集中注意力在小局部上会产生视觉疲劳, 反而会增加误诊漏诊的概率. 为解决上述问题, 本文将超宽带雷达技术与胶囊内窥镜技术相结合, 在胶囊内窥镜中装入一个超宽带信号发射源, 在人体外的设置一排接收天线, 运用时域有限差分法(FDTD)方法^[6-8]对胶囊内窥镜成像进行数值模拟, 运用电磁逆散射方法, 将接收到的雷达模拟信号来反演人体胃部中病灶体的位置以及形状^[9-11].

本文首先建立胃部的物理模型, 应用折射定律找到电磁波在胃壁和腹腔中的正确传播路径, 接着介绍了传统的后向投影(BP)成像算法^[12]和改

* 南京邮电大学引进人才项目(批准号: NY213021)和南京邮电大学项目(批准号: NY214047)资助的课题.

† 通信作者. E-mail: Zhangyr@njupt.edu.cn

进传播路径的BP算法,然后运用时域有限差分法(FDTD)^[13]对电磁波在人体中传播模型的准确性进行数值模拟验证,最后将没有考虑胃壁和腹腔对电磁波传播的影响和考虑了胃壁和腹腔对电磁波传播的影响的成像情况进行了比较.

2 人体电磁波传播模型

超宽带雷达有包括短脉冲、频率调制和频率步进调制在内的三种基本模式.超宽带短脉冲雷达的分数带宽大于0.25,而发射时宽非常短,仅仅为几个纳秒,距离向分辨率优异,进行超近程探测时具有良好的传输特性^[14-16],在穿人体成像方面具有明显优势,因此本文运用的是超宽带短脉冲雷达.

如图1所示,胃壁的厚度为 d_w ,相对介电常数为 ϵ_r ,腹腔肌肉的厚度为 d ,相对介电常数为 ϵ_{r1} ,在直角坐标系 $X-O-Y$ 中,胶囊发射源的位置为坐标原点,接收天线位置为 $S(s_x, s_y)$,电磁波与胃壁的交点为 $P(p_x, p_y)$,折射点为 $W(w_x, w_y)$, F 的坐标为 $F(f_x, f_y)$, $f_x = q_x - w_x$, $f_y = q_y - w_y$.电磁波与腹腔的交点为 $Q(q_x, q_y)$,折射点为 $V(v_x, v_y)$, G 的坐标为 (g_x, g_y) , $g_x = s_x - v_x$, $g_y = s_y - v_y$.

用迭代法计算电磁波在胃壁中的传播路径,首先考虑两种极端情况.假设胃壁为空气,即相对介电常数为 $\epsilon_r = 1$,那么电磁波不存在折射情况,它的传播路径为直线 OPQ ,电磁波与胃壁的交点为 $W_2(w_{2x}, p_y + d_w)$;再假设胃壁的相对介电常数为无穷大,电磁波在胃壁中近似垂直于胃壁传播,传播路径为 OPW_1Q ,交点为 $W_1(w_{1x}, p_y + d_w)$.由于电磁波在两种介质分解面上必须满足折射定律,由此可知 $w_1 < w < w_2$,入射角和折射角的几何关系如下:

$$\sin(\theta_i) = \frac{w_x - p_x}{\sqrt{(w_x - p_x)^2 + (w_y - p_y)^2}}, \quad (1)$$

$$\sin(\theta_r) = \frac{f_x}{\sqrt{f_x^2 + f_y^2}}, \quad (2)$$

$$k = \frac{\sin(\theta_i)}{\sin(\theta_r)}, \quad (3)$$

式中 $f_x = q_x - w_x$, $f_y = q_y - w_y$, k 为折射率, θ_i 为入射角, θ_r 为折射角.

通过迭代法求得实际折射点 $W(w_x, w_y)$:

1) 设 w_x 的初始值为区间 (w_{x1}, w_{x2}) 的中点 w_0 ,通过(1),(2),(3)式求得 k ;

2) 将求得的 k 与胃壁组织的相对介电常数 ϵ_r 进行比较,如果 $k < \epsilon_r$,则取区间 (w_{x1}, w_0) 的中点;如果 $k > \epsilon_r$,则取区间 (w_0, w_{x2}) 的中点;

3) 重复步骤1),2),如此迭代下去直到 $k = \epsilon_r$,迭代停止,最后得到折射点 $W(w_x, w_y)$.

同理可用上述方式计算电磁波在腹部肌肉中的折射率 ϵ_{r1} .

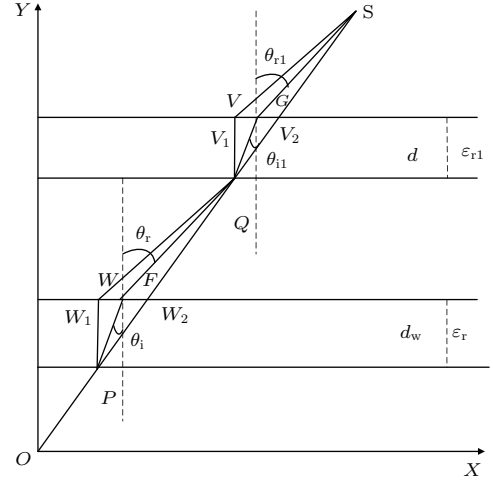


图1 物理折射模型

Fig. 1. Physical model of refraction.

设电磁波在胃壁组织中传播的距离为 l_1 ,非人体组织中的传播距离为 $l_2 + l_3 + l_4$,在腹部肌肉中传播的距离为 l_5 ,则电磁波的传播距离为

$$\begin{aligned} l &= \frac{l_1}{v} + \frac{l_2 + l_3 + l_4}{c} + \frac{l_5}{v} \\ &= \frac{\sqrt{\epsilon_r} l_1}{c} + \frac{l_2 + l_3 + l_4}{c} + \frac{\sqrt{\epsilon_{r1}} l_5}{c} \\ &= \frac{\sqrt{\epsilon_r} l_1 + \sqrt{\epsilon_{r1}} l_5 + l_2 + l_3 + l_4}{c} = \frac{d_{\text{eff}}}{c}, \quad (4) \end{aligned}$$

d_{eff} 就是电磁波的有效传播距离, c 为真空中的光速, v 为电磁波在胃壁和腹肌中传播的速度, ϵ_r 为胃壁的折射率, ϵ_{r1} 为腹腔的折射率.

3 成像算法

3.1 BP算法

BP算法的原理是计算电磁波信号从发射到成像区域再到接收天线的传播时间,时域有限差分方法每一个抽样时间对应一个时间位,每一个时间位对应一个电场幅度值,将信号的传播时间与时域有限差分法模拟雷达数据中的时间相关联,提取出每一个网格对应每一根接收天线的电场幅度值,最后将该网格对应所有天线的电场幅度值相加^[14-16].

3.2 路径修正的BP算法

在BP算法中,关键是正确计算电磁波信号的传播时间,电磁波在穿越人体胃部和腹腔时发生了折射,传播途径不再是直线,传播速率也低于光速,因此必须用(4)式计算出有效路径 d_{eff} ,从而正确计算传播时间.

4 胃部肿瘤建模仿真

首先建立简易人体胃部模型,如图2所示.人体腹腔的长度为20 cm,宽度为12.5 cm,腹部肌肉和胃壁的相对介电常数为36,电导率为7,在坐标为(0 cm, 4 cm)的地方有一个直径为1 cm的圆形肿瘤模型,肿瘤的相对介电常数为50,电导率为4.信号发射源在胃部中坐标为(0 cm, 0 cm),接收天线紧贴在腹部外侧,在X方向上每隔0.5 cm设置一个接收天线,总得孔径长度为22 cm,天线数量为45根.发射信号为中心频率为4 GHz时宽为0.6 ns的正弦调制高斯脉冲,信号的频域和时域波形如图3和图4所示.

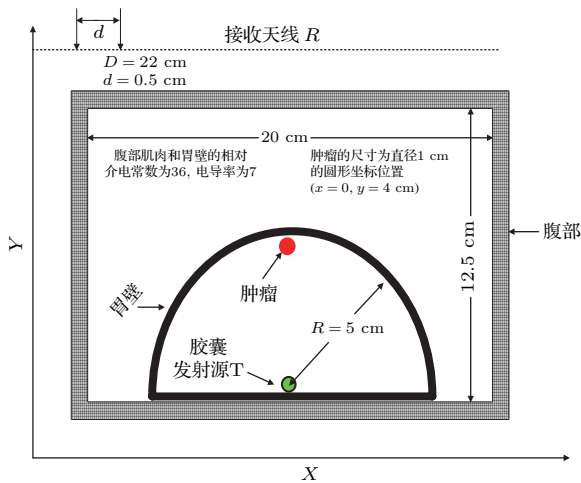


图2 简易人体胃部模型

Fig. 2. The simple model of stomach.

FDTD的空间步为 $d_x = d_y = 1 \text{ mm}$,时间步为 $dt = 19.25 \times 10^{-12}$,划分网格数为 400×300 ,计算区域的四周分别是8层最佳匹配层吸收边界[17].

用BP算法对胃的内部肿瘤成像的时候,为了消除胃壁和人体腹腔对成像结果的影响,我们需要过滤掉背景信号.这里使用背景相减法[18]来过滤背景信号:先在胃部没有肿瘤的情况下进行仿真,记录所有接收天线的接收信号,接着不改变模型的

所有参数设置的情况下,仅仅在胃部模型中加入一个肿瘤模型,对该模型进行仿真,再次记录所有天线的接收信号.肿瘤本身的接收信号由有肿瘤模型的接收信号与没有肿瘤模型的接收信号相减得到.图5为第15个抽样位置处接收天线的信号,即在第15根接收天线处接收到肿瘤组织的散射信号.

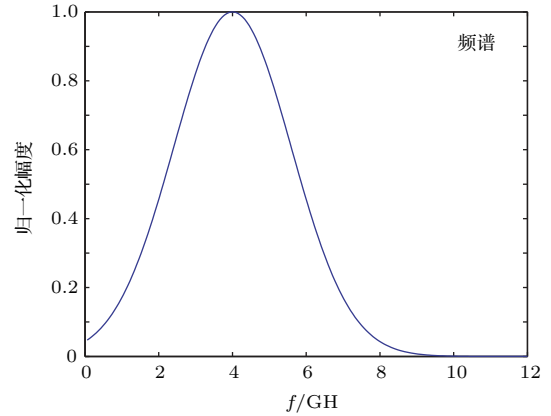


图3 发射信号的频域波形图

Fig. 3. Frequency domain waveform of transmitted signal.

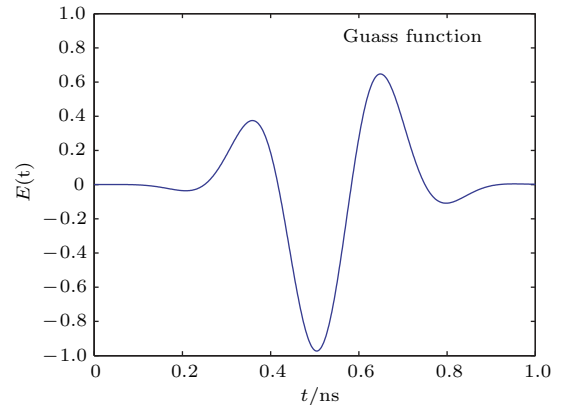


图4 发射信号的时域波形图

Fig. 4. Time domain waveform of transmitted signal.

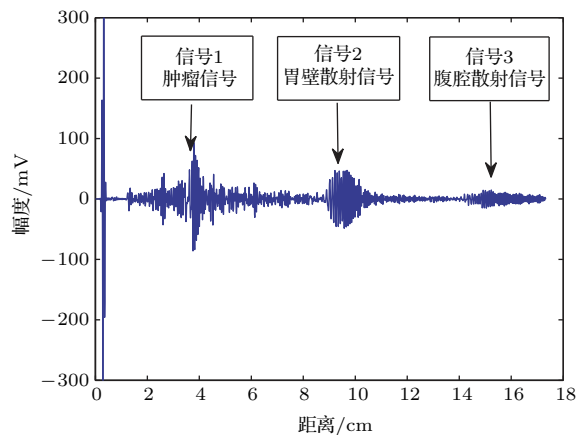


图5 第15个接收天线的接收信号

Fig. 5. Reception signal for the fifteenth receiving antenna.

图6为没有考虑胃壁和腹部对成像的影响, 只把电磁波穿过胃壁和腹部时做了透射的处理, 并没有考虑电磁波在人体器官中的折射情况. 图7为考虑了胃壁和腹部影响的肿瘤成像的二维图, 图8为肿瘤成像的三维图, 图9为肿瘤信号方位向幅度分布图, 图10为肿瘤信号距离向上的幅度分布图. 图中红色外框表示人体体表皮肤, 红色内框表示人体腹腔内部肌肉壁, 金色方框表示肿瘤的位置. 比较图6和图7发现胃壁和腹腔对电磁波传播时产生的折射现象对最终的成像效果影响巨大, 未考虑折射效应时, 成像结果如图6所示, 像比实际位置向上偏移, 而考虑了折射效应后, 成像结果如图7所示, 像的位置和实际位置相匹配. 由图9和图10可以看出峰值点在肿瘤的实际位置(0 cm, 4 cm)附近, 并且达到很好的距离向和方位向分辨率.

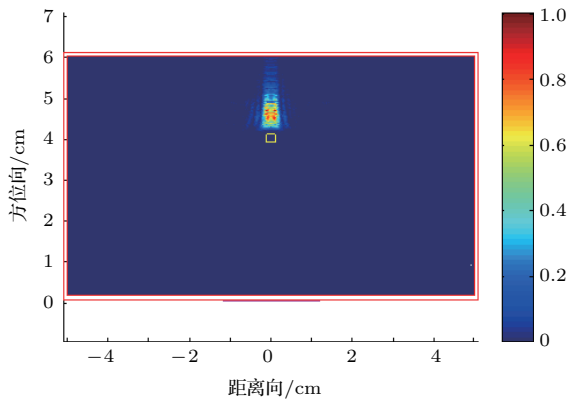


图6 (网刊彩色) 未考虑胃壁和腹部作用的成像结果
Fig. 6. (color online) Imaging results without considering the stomach and abdominal.

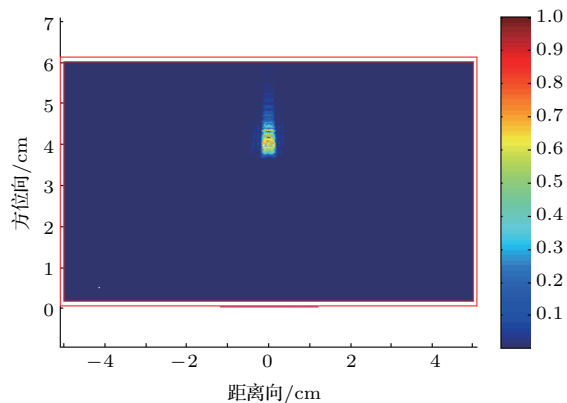


图7 (网刊彩色) 考虑了人体作用的成像结果二维图
Fig. 7. (color online) Imaging results considering the stomach and abdominal.

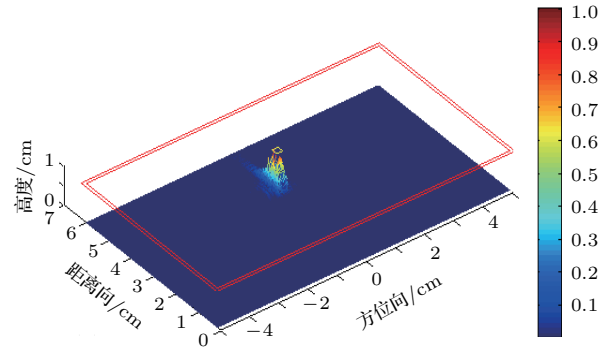


图8 (网刊彩色) 考虑了人体作用的成像结果三维图
Fig. 8. (color online) Three dimensional imaging results of the tumour in the stomach.

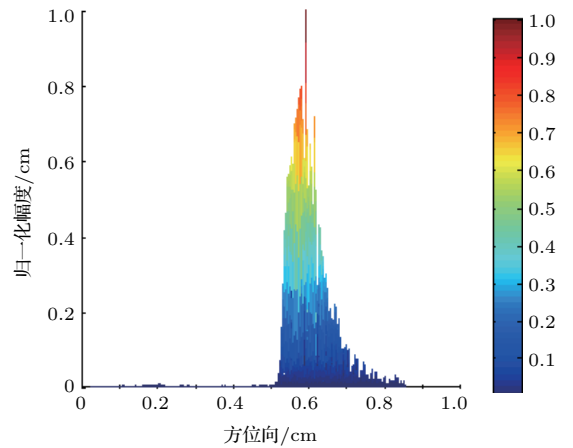


图9 (网刊彩色) 方位向幅度分布
Fig. 9. (color online) Azimuthal amplitude distribution.

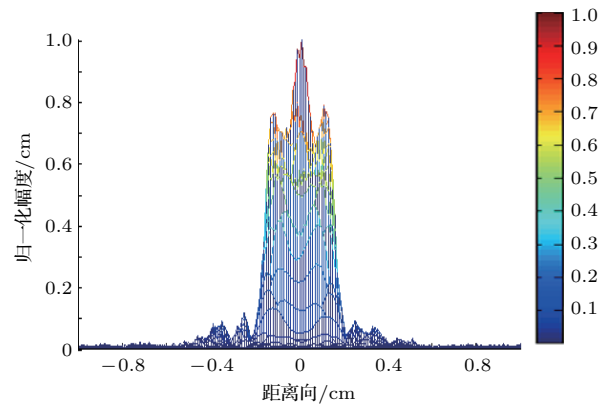


图10 (网刊彩色) 距离向幅度分布
Fig. 10. (color online) Distance amplitude distribution.

5 结 论

用FDTD数值方法模拟了胶囊内窥镜在胃部病灶体检测中的成像应用, 从成像结果可以看出,

将超宽带雷达和胶囊内窥镜技术相结合,可以有效呈现出胃部肿瘤的尺寸及位置. 对成像结果进行比较,发现对电磁波在人体中的传播路径进行修正后,可以对像的偏移有明显的抑制效果. 肿瘤的模拟形状,胃部模型的复杂化,三维化以及更快速的成像算法将是下一步工作的研究焦点.

参考文献

- [1] Hospital Queen Elizabeth <http://www3.ha.org.hk/cancerreg/Statistics.html#topten> [2015-8-29]
- [2] Liu G D 2011 *Ph. D. Dissertation* (Nanjing: Nanjing University of Posts and Telecommunications) (in Chinese) [刘广东 2011 博士学位论 (南京: 南京邮电大学)]
- [3] Winters D W, Shea J D, Kosmas P, Veen B D, Hagness S C 2009 *IEEE Trans. Med. Imag.* **28** 969
- [4] Yan G Z 2010 *Ph. D. Dissertation* (Shanghai: Shanghai Jiao Tong University) (in Chinese) [颜国正 2010 博士学位论文 (上海: 上海交通大学)]
- [5] Li C Y, Zhang B L, Chen C X 2008 *J. Zhejiang Univ.* **9** 857
- [6] Ge D B, Yan Y B 2005 *Finite-Difference Time-Domain Method for Electromagnetic Waves (2nd Ed.)* (Xi'an: Xidian University Press) (in Chinese) [葛德彪, 闫玉波 2005 电磁波时域有限差分方法 (第二版) (西安: 西安电子科技大学出版社)]
- [7] Hagness S C, Taflove A, Bridges J E 1998 *IEEE Trans. Biomed. Engineer.* **45** 1470
- [8] Fang Q Q, Meaney P M, Paulsen K D 2010 *IEEE Trans. Antennas Propag.* **58** 449
- [9] Chew W C, Wang Y M 1990 *IEEE Trans. Med. Imag.* **9** 218
- [10] Cui T J, Chew W C, Aydiner A A, Chen S Y 2001 *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* **39** 339
- [11] Soldovieri F, Solimene R 2007 *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.* **4** 513
- [12] Wang F F, Zhang Y R 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 084101 (in Chinese) [王芳芳, 张业荣 2012 物理学报 **61** 084101]
- [13] Wei B, Li X Y, Wang F, Ge D B 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 6174 (in Chinese) [魏兵, 李小勇, 王飞, 葛德彪 2009 物理学报 **58** 6174]
- [14] Wang F F, Zhang Y R 2010 *Chin. J. Radio* **25** 569 (in Chinese) [王芳芳, 张业荣 2010 电波科学学报 **25** 569]
- [15] Wang F F 2012 *Ph. D. Dissertation* (Nanjing: Nanjing University of Posts and Telecommunications) (in Chinese) [王芳芳 2012 博士学位论 (南京: 南京邮电大学)]
- [16] Wang F F <http://www.docin.com/p-1273904996.html> [2015-8-29]
- [17] Liu G D, Zhang Y R 2010 *Acta Phys. Sin.* **59** 6969 (in Chinese) [刘广东, 张业荣 2010 物理学报 **59** 6969]
- [18] Zhang H M, Zhang Y R, Wang F F 2015 *Chin. J. Radio* **30** 153 (in Chinese) [张华美, 张业荣, 王芳芳 2015 电波科学学报 **30** 153]

A method of detecting stomach tumour based on capsule endoscopy*

Chen Gong Zhang Ye-Rong[†]

(College of Electronics Science and Technology, Nanjing University of Post and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

(Received 14 January 2016; revised manuscript received 6 July 2016)

Abstract

In order to solve the problems of rapidly recognizing the shapes of the tumour in the stomach, a new kind of capsule endoscopy with through-body radar is utilized for the first time. Finite difference time domain method is used to establish an electromagnetic simulation model of stomach. After being swallowed by a patient, the capsule which consists of the radar moves through esophagus and stomach. Finally it drains out of the body by the self peristalsis of the human GI tract. During this time, the radar is used to transmit accurate radar data of human stomach. Then we will carry out electromagnetic inverse scattering imaging by back projection algorithm with the radar data. The algorithm must consider the influence of various tissues in the human body: the attenuation of the signal strength of electromagnetic waves, the decrease in speed and the refraction due to the different permittivities between the different organs of the body. These factors will eventually lead to image offset, and even generating a virtual image. It is effective to refrain the displacement of image with modifying the time element of the imaging algorithm by iteration. It is shown that ultra-wideband radar built-in capsule endoscopy can track and locate targets in the human's stomach.

Keywords: finite difference time domain, back projection, inverse scattering imaging

PACS: 41.20.Jb, 81.70.Ex, 29.40.Gx

DOI: [10.7498/aps.65.194101](https://doi.org/10.7498/aps.65.194101)

* Project supported by the Nanjing University of Posts and Telecommunications Foundation of China (Grant No. NY213021), and Nanjing University of Posts and Telecommunications Foundation of China (Grant No. NY214047).

[†] Corresponding author. E-mail: Zhangyr@njupt.edu.cn