

倒“T”形天线阵列生命探测雷达多目标三维定位仿真研究

张杨,雷涛,焦腾,王华,薛慧君,吕昊,王健琪
(第四军医大学生物医学工程学院,西安 710032)

[摘要] 目的:提高现有生命探测雷达的探测效率,实现多目标的探测和三维定位。方法:基于多通道UWB生命探测雷达平台,提出了一种可以对多个人体目标进行探测和三维定位的天线阵列——倒“T”形天线阵列,并建立了该天线阵列的数学模型,进行了大量仿真实验。**结果:**验证了该天线阵列对多目标进行三维定位的可行性和模型的正确性。**结论:**倒“T”形天线阵列可以实现多目标的三维定位,该研究对后续具有多目标三维定位功能的生命探测系统的设计与开发有一定的指导意义。

[关键词] 超宽谱;生命探测雷达;多目标;三维定位;仿真

[中国图书资料分类号] TN959.1⁷ **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-8868(2012)03-0006-03

Simulation of Three-dimensional Positioning for Multi-targets Using Life-detection Radar Based on Inverted T-shaped Antenna Array

ZHANG Yang, LEI Tao, JIAO Teng, WANG Hua, XUE Hui-jun, LV Hao, WANG Jian-qi

(Biomedical Engineering College, the 4th Military Medical University, Xi'an 710032, China)

Abstract Objective To improve the detection efficiency of life-detection radar and achieve the goal of detecting and three-dimensional positioning for multi-targets. **Methods** Based on the platform of multiple channels ultra wideband (UWB) life-detection radar, an antenna array (inverted T-shaped antenna array) that could detect multi-targets and could three-dimensionally position the targets was put forward, the mathematical mode of which was established, and lots of simulation experiments were conducted. **Results** The feasibility of three-dimensional positioning for multi-targets and the correctness of mathematical mode were tested. **Conclusion** The inverted T-shaped antenna array can achieve the goal of three-dimensional positioning for multi-targets, which has guidance on the future designing and developing of a life detecting system.[Chinese Medical Equipment Journal, 2011, 33(3):6-8]

Key words ultra wideband (UWB); life-detection radar; multi-targets; three-dimensional positioning; simulation

1 引言

生命探测雷达是一种可穿透非金属介质检测人体生理指标(呼吸、体动等)的特殊雷达^[1-3]。其对被测量对象无任何约束,不需连接接触性电极、传感器等,可隔一定的距离、穿透一定的介质对人体进行探测^[4-8],所以在民用、军事等领域中具有不可替代的优势。目前的多通道超宽谱生命探测雷达只能够实现对人体目标的距离、方位二维定位,而不能满足当下的应用需求^[9-11]。基于多通道超宽谱雷达平台对多目标三维定位的仿真研究,将有助于扩大生命探测雷达的探测范围,提高探测效率,使得生命探测雷达更具有实用价值和应用潜力。

本文提出了一种可对多个人体目标进行探测和三维定位的天线阵列结构——倒“T”形天线阵列,并建立了相应的数学模型,通过计算机仿真,验证了该天线阵列的生命探测雷达对多目标进行三维定位的可行性和数学模型的正确性,并得出了相关结论。



2 双目标三维定位的天线阵列

2.1 “L”形天线阵列

根据文献,我们知道要实现目标的三维定位,则天线阵列必须为平面阵或

基金项目:国家自然科学基金项目(60801059)

作者简介:张杨(1978—),男,博士,讲师,主要从事非接触生物医学信号的检测和处理方面的研究工作。

通讯作者:王健琪,E-mail:wangjq@fmmu.edu.cn

空间阵,考虑空间天线阵的系统结构复杂性和探测时的不便利性,我们采用平面阵列来实现目标三维定位。最简单的平面天线阵列为“L”形天线阵列,如图1所示,为1个发射、3个接收天线组成的3通道天线阵列。

“L”形天线阵列只能实现单目标的探测和三维定位,其对单目标的三维定位原理如下:

我们知道,对于某一个目标点来说,收发分离的2组天线(2个通道)确定2个椭球方程。而收发一体的天线确定1个球方程,联立3个方程,得方程组(1):

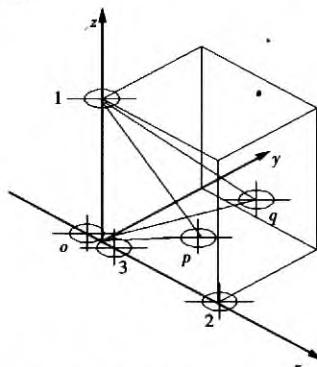


图1 三通道“L”形天线阵列

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{(z-\frac{D}{2})^2}{a_1^2} + \frac{x^2+y^2}{b_1^2} = 1 \\ \frac{(x-\frac{D}{2})^2}{a_2^2} + \frac{y^2+z^2}{b_2^2} = 1 \\ x^2+y^2+z^2=R^2 \end{array} \right. \quad (1)$$

式中, $a_1 = \frac{\tau_1 \cdot c}{2}$; $b_1 = \sqrt{a_1^2 - \left(\frac{D}{2}\right)^2}$; τ_1 为雷达波从发射天线—目标—接收天线 1 所经历的时间; a_2, b_2 同样可以求得; $R = \frac{\tau_3 \cdot c}{2}$; τ_3 为雷达波从发射天线—目标—接收天线 3 所经历的时间; c 为雷达波在均匀介质中的传播速度; D 为从发射天线到接收天线的距离。解上述方程组便可以解得此目标点的坐标。

假定该天线阵列对于双目标(2个目标分别用 p 和 q 表示)的探测仍然适用, 如图 1 所示, 那么根据超宽谱雷达对探测目标定位的椭球(球)面相交原理, 每个通道的探测结果将会有这 2 个目标各自的距离信息, 因而每个通道可以列 2 个方程, 那么 3 个通道相组合一共有 $2 \times 2 \times 2 = 8$ 个三元二次方程。依次解上述方程得到的实数解便为目标位置。

2.2 伪影的分析

通过对大量的双目标数据采用“L”形天线阵列模型仿真我们发现:除了能得到实际被探测的 2 个目标点之外,还会得到其他多余的点,我们将这些得到的多余的点称作“伪影”(虚假目标点);并且伪影的产生与天线间距有关,见表 1。

表 1 天线间距与是否产生伪影之间的关系

目标 1 坐标/m	目标 2 坐标/m	天线间距/m:	产生伪影		
			0.8	1.0	1.2
(5, 12, -5)	(6, 12, -6)		无	无	有
(5, 12, -5)	(6, 12, -6)		无	无	有
(5, 12, -5)	(6, 12, -6)		无	无	有
(5, 12, -5)	(6, 12, -6)		无	无	有

我们发现:天线的间距决定椭球的长短轴的大小,因而影响椭球的形状,进而决定椭球的相交时伪影的产生与否。总体来说,天线间距越大,越容易产生伪影。

仔细研究空间椭球(球)面相交得到的投影我们不难发现,当椭球之间的大小和距离合适时会出现图 2 所示的投影。假设图中的黑点表示待探测的 2 个目标。对于一个目标,通道 1、2 所确定的椭球相交会确定一条曲线。那么,2 个目标确定的 2 条曲线和通道 3 所确定的 2 个球相交便得到 8 个交点,取天线阵列一侧(另一侧为天线阵后方)得到 4 个交点,其中 2 个为目标点,另外 2 个为伪影。

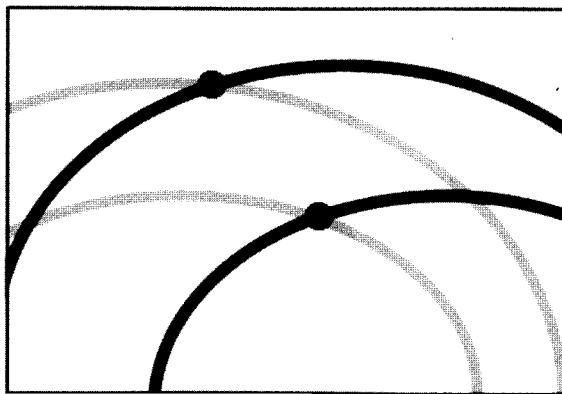


图 2 三通道出现“伪影”投影图

2.3 倒“T”形天线阵列——双目标定位仿真

由于三通道“L”形天线阵列在进行双目标的三维定位时会产生伪影,所以我们增加 1 个接收天线来区分目标点和伪

影,达到校验的目的。具体投影如图 3 所示,增加一个通道后,伪影得到了消除,2 个真实目标被提取出来。

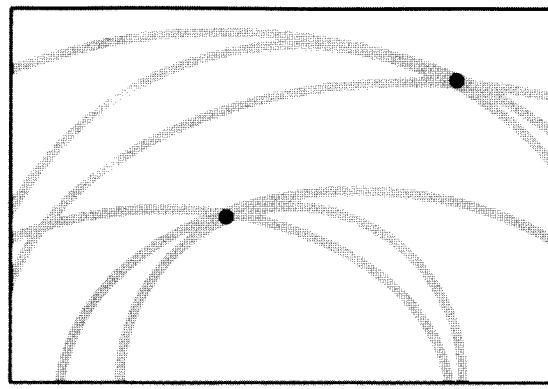


图 3 四通道消除伪影投影图

增加 1 个通道后得到如图 4 所示的四通道倒“T”形的天线阵列。这种天线阵列由 1 个发射天线和 4 个接收天线组成(发射天线用“0”标注,接收天线分别用数字“1、2、3、4”来区分),发射天线和每个接收天线组成 1 个通道,共 4 个通道。

将天线阵列放在

空间直角坐标系中,发射天线位于空间坐标系的原点,“1、2、3”等 3 个接收天线位于坐标轴上且与坐标系原点距离相等。发射天线和“4”号接收天线组成的收发一体天线距离较近,可以近似认为同处于原点位置。

由于是对 2 个目标定位,所以将通道 1、2、3 所确定的椭球(球)方程组成 $2 \times 2 \times 2 = 8$ 个三元二次方程组,将上述方程组得到的实数解代入通道 4 所确定的 2 个球面方程,满足球面方程的实数解则为被探测目标的坐标,不满足的则为伪影。由此,三维空间中任意位置的双目标三维定位便可以实现。

倒“T”形天线阵列对某个目标点的三维定位是通过下列联立方程组(2)求解完成的:

$$\begin{cases} \frac{(z-\frac{D}{2})^2}{a_1^2} + \frac{x^2+y^2}{b_1^2} = 1 \\ \frac{(x-\frac{D}{2})^2}{a_2^2} + \frac{y^2+z^2}{b_2^2} = 1 \\ \frac{(x+\frac{D}{2})^2}{a_3^2} + \frac{y^2+z^2}{b_3^2} = 1 \\ x^2+y^2+z^2=R^2 \end{cases} \quad (2)$$

由于 $a_1, b_1, a_2, b_2, a_3, b_3$ 以及 D 都可以确定, $R = \frac{\tau_4 \cdot c}{2}$, τ_4

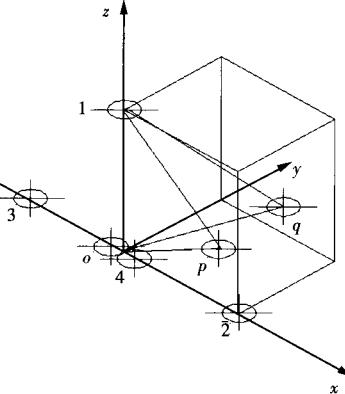


图 4 四通道倒“T”形天线阵列

为雷达波从发射天线—目标—接收天线 4 所经历的时间,解上述方程组便可以解得目标点的坐标。

我们采用四通道倒“T”形天线阵列对大量的双目标(目标位置随机)数据进行了定位仿真实验,发现在一定探测范围内,该天线阵列结构对双目标定位的正确率可以达到 95%。图 5 为倒“T”形天线阵列对一组双目标数据的定位结果,共 4 组实数解,其中(6,-12,-6)和(5,-12,-5)2 解为天线面阵后方的目标点(即天线面阵后方的点),予以舍去。

请输入天线间距: 1.2	solution =
请输入目标1的横坐标: 6	
请输入目标1的纵坐标: 12	6 12 -6
请输入目标1的竖坐标: -6	6 -12 -6
请输入目标2的横坐标: 5	5 12 -5
请输入目标2的纵坐标: 12	5 -12 -5
请输入目标2的竖坐标: -5	

图 5 倒“T”形天线阵列对一组双目标数据的定位结果

通过对大量数据的仿真,我们发现四通道倒“T”形天线阵列能够消除“L”形天线阵列对双目标定位时产生的伪影,从而实现双目标的准确三维定位。

3 三目标三维定位仿真

三目标三维定位也采用四通道倒“T”形天线阵列,每个通道的探测结果都分别含有 3 个目标的距离信息,因而每个通道能够列写 3 个方程,那么由通道 1、2、3 可确定 $3 \times 3 \times 3 = 27$ 个三元二次方程。依次解上述方程,将所有实数解代入通道 4 所确定的 3 个球面方程,满足球面方程的实数解即为被探测目标位置,不满足的则为伪影,由此实现三目标的正确探测和三维定位。

在对大样本量的多目标(双目标和三目标)的三维定位仿真实验中,我们发现:目标正确探测范围与天线间距及运算中采用的有效数据位数这 2 个因素有关。这里目标正确探测范围定义为:假设这个范围为 n m,则表示对于目标数小于等于 3,且处于 x 轴的 $(-n, n)$ m, y 轴的 $(0, n)$ m, z 轴的 $(-n, n)$ m 空间范围内的多目标,该天线阵列及相关方法均能正确探测并给出各目标的准确三维坐标。通过大量的数据仿真,得出了表 2 所示的正确探测范围与天线间距、数据有效位数之间的关系。

表 2 正确探测范围与天线间距、数据有效位数之间关系

有效数据位数/位	天线间距/m:	正确探测范围/m		
		0.8	1.0	1.2
3		3	3	5
4		5	6	8
5		12	17	18
6		15	18	19

从表 2 我们可以看出:当天线间距选择 1.0 m(倒“T”形天线阵展开则有 2 m 宽,1 m 高),数据有效位数选择 5 位(选择 6 为有效位数时,现有计算机所需运算时间较长)时,

四通道倒“T”形天线阵列可以对单、双、三目标进行准确三维定位,正确探测范围为 17 m,满足现有的探测需求,其能力也超过了目前生命探测雷达前端硬件所能达到的探测能力。

4 结论与讨论

通过仿真大量数据,我们得出以下结论:三通道“L”形天线阵列可以对单目标进行三维定位,对双目标进行定位时会出现伪影;四通道倒“T”形天线阵列能够实现双目标和三目标的三维定位并且不会出现伪影。

目前,我们在雷达式生命探测领域还未见对于多目标三维定位的相关报道,本文所述的结构和方法可以实现多个人体目标的探测和三维定位,该工作对后续具有多目标三维定位功能的生命探测系统的设计、开发具有一定的指导意义。如果将该方法应用于地震、泥石流等灾后救援的实际探测当中,将会大大提高生命探测的效率和精度,极大地提升雷达式生命探测装备的探测和搜救能力。

[参考文献]

- [1] Thad B G,David C J. Prediction and Measurement of Wall Insertion Loss[J]. IEEE Transaction on Antennas and Propagation, 1999, 47(1):55-57.
- [2] Haiko L. Take a leap into hyperspace[J]. New Scientist magazine, 2009, 26(1):44-49.
- [3] 王艳,马弘舸,曹学军.墙体对微波脉冲的衰减特性[J].强激光与粒子束,2005,17(8):1277-1280.
- [4] Chen K M,Huang Y,Norman A,et al. Microwave Life-detection System for detecting human subjects through barriers[J]. Progress in Electromagnetic Research Symp, 1997, 22(1):6-9.
- [5] Chen K M,Devendra M,Wang H,et al. An X-Band Microwave Life-Detection System[J]. IEEE Transaction on Biomedical Engineering, 1986, 33(7):747-750.
- [6] Droitcour A D,Lubecke V M,Lin J. A Microwave Radio for Doppler Radar Sensing of Vital Signs[J]. IEEE MTTS-S International Microwave Symposium, 2001, 25(1):175-178.
- [7] Droitcour A D,Boric-Lubecke O,Lubecke V M. 0.25μm COMS and BiCMOS Single-chip Direct-conversion Doppler Radars for Remote Sensing of Vital Signs[C]//2002 ISSCC: Proceedings of the Solid-State Circuits Conference. Amsterdam: Wiley Press, 2002:7-9.
- [8] Droitcour A D,Boric-Lubecke O,Lubecke V M. Range Correlation Effect on ISM Band I/Q CMOS Radar for Non-Contact Cardiopulmonary Monitoring [C]//Proceedings of the 2003 IEEE MTT-S IMS Digest. Philadelphia: Wiley Press, 2003:8-13.
- [9] 朱亚平,沈庭芝,王卫红.穿墙雷达系统中信号检测新算法[J].北京理工大学学报,2005,25(8):734-738.
- [10] 赵或,黄春琳,粟毅,等.超宽带穿墙探测雷达的反向投影成像算法[J].雷达科学与技术,2007,5(1):49-54.
- [11] 倪秀胜,景涛,王绪本.多目标雷达探测识别和定位[J].物探与化探,2007,31(3):229-232.

(收稿:2011-08-29 修回:2011-12-03)

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com)，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>