

DOI:10.13718/j.cnki.xsxb.2020.02.014

基于 AWR1642 的汽车防撞雷达设计^①

王珂¹, 邓桂福², 周河桥¹

1. 电子科技大学成都学院 电子工程系, 四川 成都 611731;

2. 中国兵器装备集团(成都)火控技术中心 总体室, 四川 成都 611731

摘要: 防撞雷达在智能汽车的环境识别中具有不可替代的作用, 介绍了一种基于 AWR1642 的汽车防撞雷达设计, 通过对 4 通道接收机接收到的回波信号, 在时域上使用 FFT 算法对障碍物进行距离探测, 空域上使用 DBF 算法进行方位探测, 从而得到障碍物的距离和方位信息. 根据 AWR1642 传感器提供的技术参数提出了本系统的主要技术指标, 并加以论证. 仿真实验结果表明, 该系统能满足测距、测角的精度要求.

关键词: 雷达; AWR1642; 测距; 测角

中图分类号: TN95

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2020)02-0093-06

家用汽车的数量逐年攀升, 交通事故频发. 在此背景下, 拥有精确识别和精密计算能力的智能汽车受到越来越多大型汽车厂商的青睐^[1-3]. 在环境识别方面, 红外技术、超声波技术、视频成像技术、激光雷达技术和毫米波雷达技术等是目前比较常用的技术手段^[4]. 而其中以测量范围远、适应各种天气环境且价格便宜著称的毫米波雷达技术, 拥有着不可替代的地位.

为了让驾驶员有充分的时间做出正确的反应, 汽车防撞雷达需要在短时间内快速、准确地分辨出前方多个目标障碍物的距离、方位等信息. 基于此, 文中采用 TI 公司最新的单芯片 77GHz LFM CW 雷达传感器 AWR1642, 利用对 4 通道接收天线阵列接收到的回波信号在时、空域上分别使用快速傅里叶变换(FFT)和数字波束形成(DBF)算法对障碍物进行距离和方位探测, 从而得到障碍物的距离和方位信息^[5-6]. 该方案具有精度高、成本低、体积小等特点, 可广泛应用于汽车障碍物的探测及避碰.

1 工作原理

1.1 系统组成

系统工作原理见图 1.

线性调频连续波(LFMCW)信号产生器产生周期锯齿波信号, 经发射机放大和功分后, 大部分能量送入发射天线, 发射天线向空间辐射电磁波信号. 另一小部分能量作为本振送入接收机, 与进入接收机的 4 路回波信号混频, 随后滤波、放大得到中频信号(IF1-IF4). 4 路中频信号送入信号处理器经过快速傅里叶变换(FFT)、数字波束形成(DBF)、恒虚警目标检测(CFAR)以及单脉冲测角等处理, 得到目标(障碍物)的距离和方位

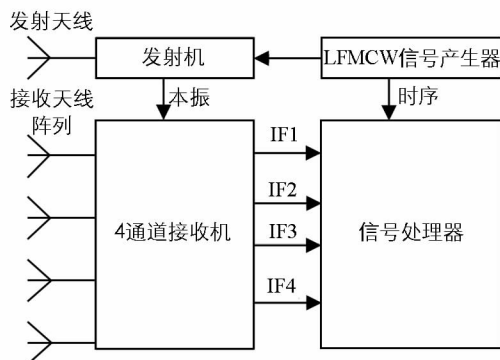


图 1 系统工作原理框图

① 收稿日期: 2019-04-10

基金项目: 四川省教育厅自然科学项目(17ZB0186).

作者简介: 王珂(1985-), 女, 讲师, 硕士, 主要从事信号与信息处理的研究.

信息^[7].

1.2 LFMCW 测距原理

使用调频法测量目标的距离,其基本原理就是利用发射信号与目标回波信号之间的差频来确定目标距离^[8].

设调制信号为理想锯齿波,且不考虑寄生调幅和多普勒频移的影响^[9].目标静止状态下,锯齿波线性调频测距系统的发射-回波时频曲线图及相应的差频信号时频曲线见图 2.其中, T_m 为调制信号的周期, τ 为回波延迟时间, ΔF_m 为最大频偏, f_i 为发射信号与回波信号的差频频率.

由简单的三角关系可得,目标距离 R 可表示为

$$R = \frac{cT_m}{2\Delta F_m} f_i \quad (1)$$

其中, c 为光速,那么在调制参数 ΔF_m 和 T_m 一定的条件下,差频 f_i 与距离 R 成正比,测得差频即可计算出距离 R .若目标相对雷达运动,此时回波信号延迟时间 τ 是变化的,差频 f_i 也随之而变,计算 R 中最小值即为偏差量.由数字信号处理算法可知,FFT 技术可分析差频频率,得到差频频率后根据公式(1)计算目标距离 R ^[9].

1.3 DBF 测角原理

通过阵列天线,数字波束形成(DBF)技术利用阵列天线的孔径,采用数字信号处理技术在期望方向形成接收波束^[10].虽然单个天线的方向图是全向的,但是对阵列多个接收通道的信号,利用数字处理方法,对某一方向的人射信号进行补偿,由于传感器在空间位置不同而引起的传播波程差导致相位差,实现同相叠加,从而实现该方向的最大能量接收,完成该方向上的波束形成,来接收有用的期望信号,这种把阵列接收的方向增益聚集在一个指定方向上,相当于形成了一个“波束”^[11].

若接收天线由 N 个等距线阵组成,相邻阵元之间的间距为 d .考虑到 m 个远场的窄带信号入射到空间某阵列上^[5].假设阵元数量和通道数量相同,则处理器需要接收来自 N 个通道的数据.接收信号矢量可以表示为

$$X(t) = AS(t) + N(t) \quad (2)$$

其中, $X(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_N(t)]^T$,为阵列接收快拍数据矢量; $S(t) = [s_1(t), s_2(t), \dots, s_N(t)]^T$,为信号矢量; $N(t) = [n_1(t), n_2(t), \dots, n_N(t)]^T$,为噪声矢量; $A = [a(\theta_1), a(\theta_2), \dots, a(\theta_m)]^T$,为 $N \times M$ 维导向矢量矩阵.

在 DBF 过程中,假设信号的来波方向为 θ ,该方向的导向矢量为

$$a(\theta) = [1, e^{jkd \sin \theta}, \dots, e^{jk(N-1)d \sin \theta}]^T \quad (3)$$

式中, k 为波束数, $k = 2\pi/\lambda$.为了实现空域滤波,对单一信号源 $x(t) = as(t) + n(t)$ 采样,进行加权求和,加权后天线阵的输出为

$$y(t) = W^H X(t) = s(t)W^H a(\theta) + W^H N(t) \quad (4)$$

式中, $W = [W_1, W_2, \dots, W_N]^T$ 为数字波束形成的权矢量.

当 W 对某个方向为 θ_0 的信号同相相加,即 $W = a(\theta_0)$ 时,输出 $y(t)$ 的模值最大.因此波束实现了对方向角 θ 的选择,即实现空域滤波^[5].

在不同方向进行 DBF 处理时需要采用不同的矢量,对方向 θ 的权矢量 W 为

$$W(\theta) = [1, e^{-jkd \sin \theta}, \dots, e^{-jk(N-1)d \sin \theta}]^T \quad (5)$$

若将 DBF 处理搜索的波束的角度按式(6)进行量化:

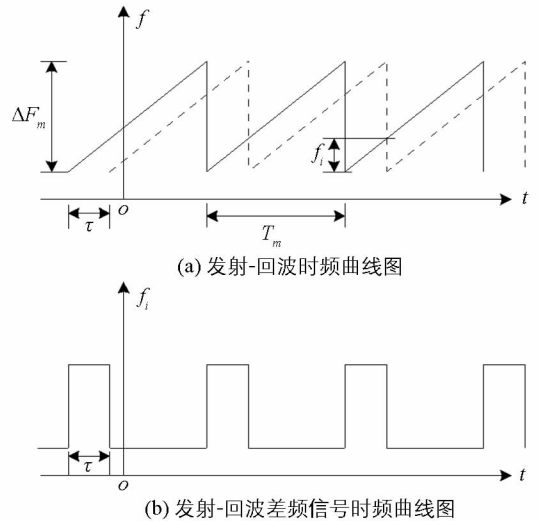


图 2 发射-回波时频曲线图及相应的差频信号时频曲线图

$$u_q = \sin\theta_q = \frac{\lambda}{Nd}q, q = 0 \cdots N-1 \quad (6)$$

将式(6) 代入式(5), 则权值 W 为

$$W(u_q) = [1, e^{-j\frac{2\pi}{N}q}, \dots, e^{-j\frac{2\pi}{N}(N-1)q}], q = 0 \cdots N-1 \quad (7)$$

由此可见, 权值 W 为一组复氏基, 因此, 可以利用离散傅立叶变换(DFT) 或快速傅立叶变换(FFT) 同时得到 N 个波位的 DBF 处理结果。

由上式可得, 使用 DBF 算法, 能够探测到的角度 θ 的范围为 $[-\arcsin \frac{\lambda}{d}, \arcsin \frac{\lambda}{d}]$, 角度分辨率为

$$\frac{\arcsin \frac{\lambda}{2d}}{N}$$

2 AWR1642 传感器介绍

AWR1642 是一款工作在 76~81 GHz 频段的单芯片毫米波雷达传感器, 具有 2 个发射和 4 个接收通道, 针对短距离和超短距离应用, 主要用在盲点监测、变道辅助、停车辅助、路口交通警报、占用检测、简单手势识别和车门开启应用等场合^[12-13]。

AWR1642 构建在 TI 的低功耗 45 nm RFC-MOS 工艺之上, 实现了一个具有内置 PLL 和模数转换器的单片实施 2TX, 4RX 系统。内部集成了 DSP 子系统, 该子系统包含 TI 用于雷达信号处理的高性能 C674X DSP; 同时也包含 1 个基于 ARM

R4F 的处理器子系统, 该子系统负责无线电配置、控制和校准, 可以运行汽车开放式系统架构(AUTO-SAR)、集群和跟踪算法(图 3)。其主要性能指标见表 1。

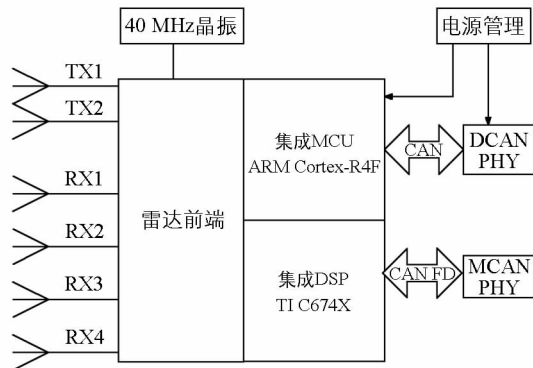


图 3 AWR1642 功能方框图

表 1 AWR1642 的主要性能指标

性能指标	参 数
工作频率/GHz	76~81
接收通道	4
发射通道	2
发射功率/dBm	12.5
发射相噪/(dBc·Hz ⁻¹)	95(76~77 GHz) 93(77~81 GHz)
接收噪声系数/dB	14(76~77 GHz) 15(77~81 GHz)
最大采样率/MHz	12.5
片上存储/MB	1.5
SPI 接口/个	2
I2C 接口/个	1

3 系统设计

根据 AWR1642 传感器提供的技术参数, 设计汽车防撞雷达系统, 其主要技术指标见表 2。

表 2 系统的主要技术指标

技术指标	参 数
最大作用距离/m	80(RCS=0.5 m ²)
距离测量精度/m	1
角度测量精度/°	3
最大速度/(m·s ⁻¹)	70

3.1 总体方案设计

汽车防撞雷达由 AWR1642 传感器, DC-DC 电源模块, FLASH, 1 个 JTAG 接口以及 2 个 UART 接口组成(图 4)。DC-DC 电源模块将输入 5V 电源转换为 AWR1642 所需的 1.8 V, 1.3 V, 1.2 V 以及 3.3 V 电源, 40 MHz 晶振为系统提供始终信号, JTAG 为程序加载及调试接口, UART 为通信接口。

3.2 主要参数选择

3.2.1 调制带宽的选择

调制带宽决定距离分辨率(ΔR):

$$\Delta R = \frac{c}{2B}$$

其中 c 为光速, B 为调制带宽。系统要求距离分辨率 $\Delta R \leq 1$ m, 那么带宽必须满足 $B \geq 150$ MHz。考虑一定的余量, 调制带宽选择 200 MHz。

3.2.2 调频周期的选择

由雷达理论可知, 调频连续波雷达具有多普勒—距离耦合效应, 为了使多普勒耦合效应不引起测距误差, 调制周期重复频率需要满足:

$$f_N \geq 2f_{d\max}$$

而 $f_{d\max} = \frac{v_{\max}}{\lambda} \approx 18$ kHz, 那么 $f_N \geq 36$ kHz, 调制周期 $T_m \leq 27.7 \mu\text{s}$, 因此 T_m 选择为 $27 \mu\text{s}$ 。

3.2.3 积累时间的选择

积累时间越长, 最大作用距离越大, 但是积累时间过长, 有可能引起跨距离单元或跨速度单元。系统要求距离分辨率 $\Delta R = 1$ m, 测量目标的最大速度为 $v_{\max} = 70$ m/s, 那么积累时间 T 必须满足:

$$T \leq \frac{1}{70} = 14.28 \text{ ms}$$

另外, 积累时间一般选择为调制周期 T_m 的 2^N 倍, 因此综合考虑, 积累时间 T 选择 $27 \times 512 = 13.824$ ms。

3.3 主要技术指标论证

3.3.1 最大作用距离

根据雷达方程

$$R_{\max} = \frac{P_t T G_t G_r \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 k T_0 F_n D_0 L}$$

其中发射功率 $P_t = 12$ dBm, 积累时间 $T = 13.824$ ms, 发射天线增益 $G_t = 12$ dB, 接收天线增益 $G_r = 18$ dB, 波长 $\lambda = 0.0039$, 目标雷达反射截面积 $\sigma = 0.5$ m², 常数 $(4\pi)^3 k T_0 = -171$ dB, 噪声系数 $F_n = 15$ dB(76 ~ 77 GHz), 检测因子 $D_0 = 13$ dB, 系统损耗 $L = 6$ dB。将参数带入, 可得 $R_{\max} = 100$ m。说明 AWR1642 平台配合合理的参数选择, 能满足最大作用距离的要求。

3.3.2 测角精度

由 1.3 节分析可知, DBF 的角度分辨率, 即波束宽度 $\theta = \frac{\arcsin \frac{\lambda}{2d}}{N}$, 单元间距 $d = \lambda/2$, 单元数 $N = 4$ 。

4 通道 DBF 的理论波束宽度为 22.5° , 考虑到波束展宽, 扫描时实际波束宽度不超过 30° 。根据经验, DBF 的测角精度一般可达到波束宽度的 $1/15$, 甚至更好。因此测角精度为 $30/15 = 2^\circ$, 说明对 AWR16424 通道接收机的回波信号采用 DBF 算法可以达到较好的测角精度。

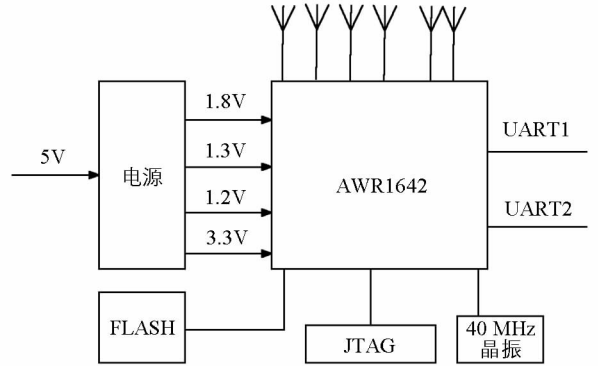


图 4 总体方案图

4 实 验

将验证系统固定在公路边的平台上, 对普通家用小汽车的距离和方位进行测量. 车辆的运动轨迹见图 5, 图 6 为距离测量值, 图 7 为方位测量值. 实验结果表明, 通过选择合理的设计, 基于 AWR1642 设计的汽车防撞雷达能够达到测距和测角的要求, 且最大作用距离等主要技术指标满足设计输入.

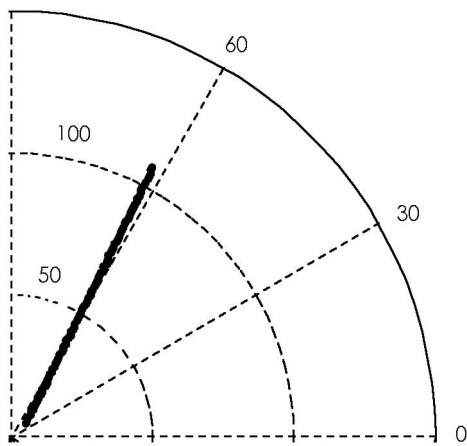


图 5 车辆运动轨迹

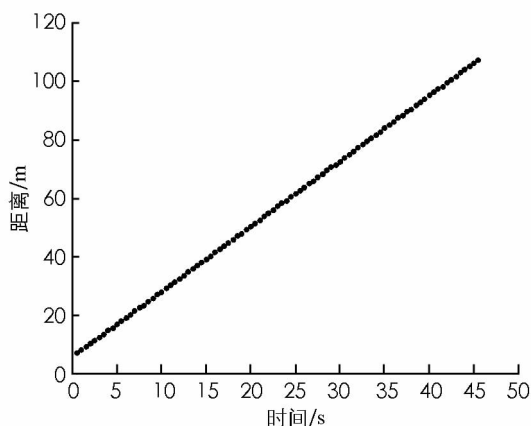


图 6 实时测量距离

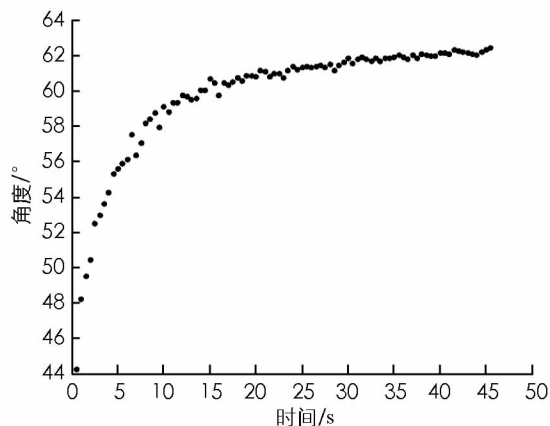


图 7 实时测量角度

5 结 语

文中介绍了汽车防撞雷达的系统工作原理, 重点阐明了 LFMCW 测距原理、DBF 测角原理. 在 TI 公司最新的雷达传感器 AWR1642 的性能指标基础上, 给出了系统的主要技术指标, 并对其中的主要参数进行了计算和论证. 结果和实验均表明, 该方案可行, 测量精度高, 可广泛应用于汽车障碍物的探测及避碰.

参考文献:

- [1] 彭金帅. 浅析无人驾驶汽车的关键技术及其未来商业化应用 [J]. 科技创新与应用, 2015(25): 46.
- [2] 来 飞, 黄超群, 胡 博. 智能汽车自动驾驶技术的发展与挑战 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2019, 41(8): 124-133.
- [3] 景 佳. 基于大数据分析的人工智能文献研究 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2018, 43(5): 80-85.
- [4] 王斯盾. 毫米波防撞雷达发展现状与行业趋势 [J]. 科技与创新, 2017(23): 61-62.
- [5] 贾洁民, 王圣涛, 裴文龙. 车载防撞雷达的 DBF 算法仿真及实现 [J]. 电子产品世界, 2016, 23(5): 65-67.
- [6] 连黎明. 基于多信息融合的移动机器人定位算法 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2019, 44(9): 89-95.
- [7] 张 鉴, 周道逵, 童 睿, 等. 汽车防撞雷达中频信号处理系统的优化方案 [J]. 汽车工程, 2017, 39(1): 47-51.

- [8] 姜文刚. 汽车防撞雷达信号处理及电路设计 [D]. 成都: 电子科技大学, 2014.
- [9] 陈利风, 刘华林, 班方圆, 等. 超音速密集弹丸脱靶量测量方法研究 [J]. 火力与指挥控制, 2015, 40(6): 166-170.
- [10] 高丽洁, 王 刚. 基于 Zynq 的汽车雷达防撞数据采集系统设计 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2016, 41(7): 126-132.
- [11] 朱子甲, 汪 进, 刘 奎, 等. 汽车后视毫米波雷达安装角标定系统设计研究 [J]. 汽车实用技术, 2017(18): 88-91.
- [12] 汪子煜, 何少斌, 褚永强, 等. 77GHz 汽车雷达方案及集成芯片对比分析 [J]. 汽车实用技术, 2018(1): 120-123.
- [13] 董 辉. 77 GHz 车载毫米波雷达传感器 [J]. 汽车电器, 2017(11): 12-15, 19.

On Design of Automobile Anti-Collision Radar Based on AWR1642

WANG Ke¹, DENG Gui-fu², ZHOU He-qiao¹

1. Chengdu college of University of Electronic Science and Technology, Chengdu 611731, China;

2. System Office, China South Industries Group Corporation Fire Controlling Center, Chengdu 611731, China

Abstract: Anti-collision radar plays an irreplaceable role in the environment identification of smart cars, and an anti-collision radar based on AWR1642 has been designed, The distance and orientation information of obstacles are obtained by means of FFT algorithm in time domain and DBF algorithm in space domain for the echo signal received by 4-channel receiver. According to the technical parameters provided by AWR1642, the main technical indexes of the system are proposed and proved. The experimental results show that the system can meet the accuracy requirements of ranging and angle measurement.

Key words: radar; AWR1642; ranging; angle measurement

责任编辑 周仁惠