

文章编号: 2095-2163(2021)04-0152-04

中图分类号: U463.6

文献标志码: A

调频连续波毫米波雷达的智能驾驶感知

黄迪, 陈凌珊

(上海工程技术大学 机械与汽车工程学院, 上海 201620)

摘要: 随着自动驾驶概率的热度逐渐升温,大量社会资源倾入自动驾驶领域,而智能驾驶的实现第一步就是感知周围的环境。本文讨论的是基于毫米波雷达的目标追踪方案,通过设置多个收发天线的方式,造成同一连续变频波在接收端的相位差,相位差变化的大小即可捕捉并追踪目标物的方位。对于方位、速度都差不多的探测点即可聚类为单一目标。

关键词: 智能驾驶; 毫米波雷达; 感知; 目标追踪

Intelligent Driving Perception Based on FMCW Millimeter Wave Radar

HUANG Di, CHEN Lingshan

(School of Mechanical and Automotive Engineering, Shanghai university of engineering science, Shanghai 201620, China)

[Abstract] With the increasing popularity of automatic driving probability, a large number of social resources are poured into the field of automatic driving, and the first step of intelligent driving is to sense the surrounding environment. This paper discusses the sensing scheme based on FMCW millimeter radar. By setting multiple receiving and transmitting antennas, the phase difference of the same FMCW at the receiving end will appear, and the change of the phase difference can be captured. The detection points with similar azimuth and speed can be clustered into a single target.

[Key words] Intelligent driving; FMCW; Perception; Target tracking

0 引言

智能驾驶或自动驾驶是车辆自发性的根据当前行驶的路况来辅助驾驶员驾驶^[1],或者在满足安全需求条件下控制车辆正常行驶,从而减轻驾驶员的驾驶疲劳,把驾驶员从驾驶劳动中释放出来,同时规避了人类驾驶员独有的安全隐患。在未来的城市里,自动驾驶的高度普及,解决城市拥堵问题,形成高效、安全的交通网络。

目前智能驾驶功能的实现有两个方向:一是研究对象交通或者道路本身,在汽车行驶过程中给汽车提供与其相关的路况信息^[2],就像拉力赛车的领航员一样;二是研究对象是汽车本身,车辆有感知周围的能力,知道周围的环境,理解环境的意义。有定位能力,即知道自己处于当前环境的位置和姿势。有决策能力,即根据自身的定位和对周围环境的感知决定车辆该怎么行驶。

本文讨论汽车本身的感知能力,能通过各类的传感器获取周围环境的能力。目前比较主流的感知传感器有超声波雷达、激光雷达、毫米波雷达、单目摄像头。每种传感器都有自己的优缺点,摄像头可以分辨物体的距离、大小、颜色,包含的信息比较丰富,但是对光的敏感度比较高;激光雷达测距精度

高、准确度高、相应时间快,但是成本高,浓雾、雨雪天会对其有较大的影响;超声波雷达结构简单,价格便宜且体积小,但是受天气和温度变化的影响很大,且距离很短;毫米波雷达不受天气情况影响,能够感知到的距离较远,且能识别到毫米级的移动,但是对静止不动的物体精度较低,开发成本高^[3-4]。

1 调频连续毫米波

1.1 毫米波波形

毫米波雷达是一种可以发射毫米级波长信号的雷达,在汽车行业经常使用 76-81GHz 频率下可以检测到零点几毫米的位移。而调频连续波是一种连续发射变频的毫米量级信号的技术,在电磁信号发射的路径上被物体反射,根据反射回来的变频信号与发出去的信号处理比较,可以推导出该物体的方位、速度和加速度。图 1 为在时间和振幅维度上的连续调频信号波形。图 2 为频率随时间的变化,其中线性调频脉冲的斜率为频率的变化率,带宽 B ,持续时间 T_c ,起始频率 f_c 。图 3 为调频毫米波雷达的架构, T_x 为发送调频信号, R_x 为接收物体反射回来的同一斜率 S 的调频信号,发送的信号和收到的信号混频之后获得一个中频信号。

对于两个正弦波形 x_1 和 x_2 , 式(1)和式(2):

作者简介: 黄迪(1995-),硕士研究生,主要研究方向:车辆工程、智能驾驶。

收稿日期: 2020-11-16

$$x_1 = \sin(\omega_1 t + \varphi_1). \quad (1)$$

$$x_2 = \sin(\omega_2 t + \varphi_2). \quad (2)$$

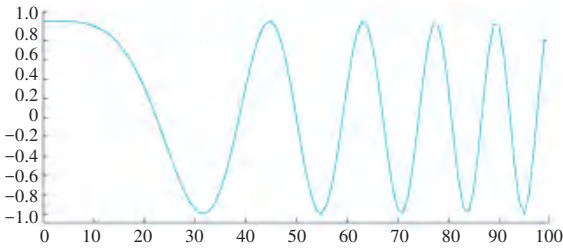


图 1 时域振幅上的变频波

Fig. 1 Variable frequency wave in time domain amplitude

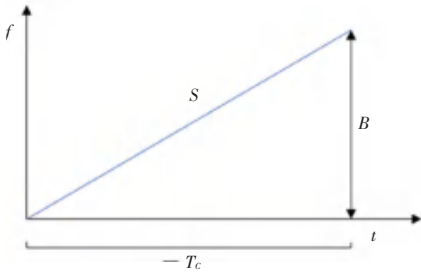


图 2 频率变化率为 S 的变频波

Fig. 2 A variable frequency wave with a frequency change rate of S

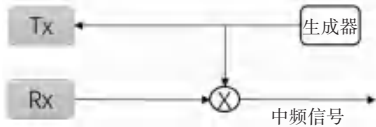


图 3 毫米波收发架构

Fig. 3 Millimeter wave transceiver architecture

其频率为两个正弦波形频率的差值,其相位为两个正弦波形相位的差值,式(3):

$$x_{out} = \sin [(\omega_1 - \omega_2) + (\varphi_1 + \varphi_2)]. \quad (3)$$

如图 4 所示,信号 c_1 为 t_0 时刻雷达 T_x 端发送变频率为 S 的调频信号, c_2 为 t_1 时刻雷达 R_x 端收到物体反射 c_1 的对应的变频信号,两个信号混频输出一个频率不变的中频信号。

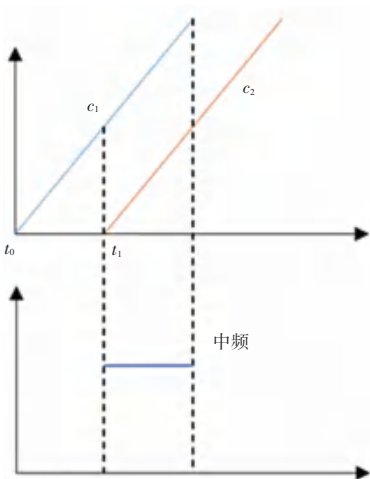


图 4 混频信号

Fig. 4 Mixing signal

雷达信号从发送到物体反射回 R_x 这段时间可以由电磁波信号以光速在物体和雷达间反射的距离来计算,式(4):

$$\tau = \frac{2d}{c}. \quad (4)$$

在 R_x 收到多个物体反射回来的信号时,混频后将输出不同频率的中频信号,当收到多个频率后,在时域上将会叠加为一个复杂的波形,这里使用傅里叶变换处理这个复杂的叠加波形,分离不同频率的中频信号。而每个频率代表信号返回 R_x 的时间不同,基于光速 c 不变,所以每个频率也就能映射到距离上,雷达便能探测到物体的存在。

1.2 速度探测

对于速度的探测,同一个物体在雷达 T_x 发出两个调频信号的 T_c 时间内,距离基本保持不变,因此很难通过映射距离的中频信号的频率来计算物体的速度。但是在 T_c 间隔得到的两个中频信号的相位不同,因此可以通过相位差来计算得到物体的速度,式(5)和式(6):

$$\Delta\varphi = \frac{4\pi\nu T_c}{\lambda}, \quad (5)$$

$$\nu = \frac{\lambda\Delta\varphi}{4\pi T_c}. \quad (6)$$

由于是通过相位差来计算速度的,而相位差有周期性,因此可测得的最大速度为式(7):

$$V_{max} = \frac{\lambda}{4 T_c}. \quad (7)$$

在同一距离上若有多个速度不同的物体,则需要一次发射出一组等时间间隔的调频信号。在 R_x 收到一组调频信号后,得到一组频率相同但相位不同的中频信号。而同一个物体在相同的时间 T_c 后相位的变化是一致的,因此速度不同的物体会会有不同的相位差。对这一组中频信号做傅里叶变换,分离出不同相位差峰值的信号,通过(6)式计算得到不同速度的物体。

1.3 方位角

雷达可以通过发射天线和接收天线的排列来计算物体在水平面上与雷达的角度,如图 5 所示。

估算该方位角,需要使用到两个或以上的接收天线,物体与两个天线的距离差会导致傅里叶变换峰值的相位变换,式(8):

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi\Delta d}{\lambda}. \quad (8)$$

其中:

$$\Delta d = l * \sin(\theta). \tag{9}$$

将(9)式带入(8)式得到(10)式:

$$\theta = \sin^{-1} \frac{\partial \Delta \varphi \ddot{\theta}}{\xi 2\pi l \varnothing}. \tag{10}$$

公式成立的前提在于 θ 较小时 $\sin(\theta) \approx \theta$, 因此只有在 θ 较小时公式(10)才比较准确。

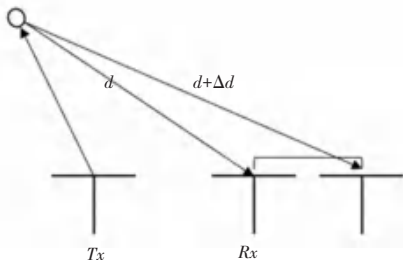


图5 收发天线布局

Fig. 5 Transceiver Antenna Layout

2 雷达检测质量

在实际使用毫米波雷达检测目标时,会遇到真实世界里不确定性的干扰,导致雷达出现误报和漏报的情况。为了减少误报漏报率,需要先对检测到的目标做可信度分析。

假设一个目标的可能性分布服从高斯分布,式(11):

$$p(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(x - x_i)^2}{2\sigma^2}\right\}. \tag{11}$$

噪声的可能性分布服从瑞利分布,式(12):

$$f(x) = \frac{x}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right). \tag{12}$$

则在某距离存在目标的最大似然函数为式(13):

$$llf = \ln\left(\frac{p(x)}{f(x)}\right) = \ln\left(\frac{\sigma \sqrt{2\pi}}{\xi x \varnothing}\right) + \frac{C * x}{\sigma} - \frac{\ln(2\pi)}{2} - \frac{C^2}{2}. \tag{13}$$

其中, C 为常数。

llf 值越大,此处存在目标的可能性就越大,定一个阈值 H ,当 llf 大于阈值 H ,雷达将其视为一个有效目标,小于阈值 H ,雷达将其视为一个噪声。

3 目标追踪

为了描述物体的位置、速度和方向信息,定义雷达的坐标系如图6所示。

其中:方位角 θ 逆时针为正,顺时针为负。

要追踪目标首先得区分目标物是静止的还是运动的。由于多普勒速度是绝对速度在目标和雷达的径向方向的分量,因此当雷达相对于目标物静止,则

多普勒速度为零,但若物体相对雷达与目标径向的垂直方向运动,如公式(14),则绝对速度对于径向速度的分量将为0,也就是多普勒速度为零。

$$V_r = V_{rel} * \cos(\varphi). \tag{14}$$

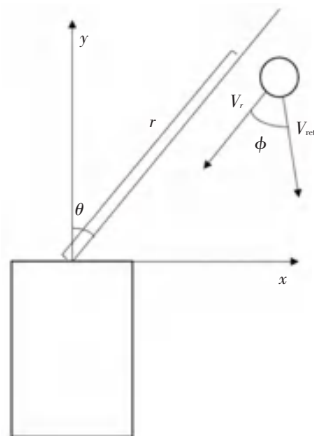


图6 雷达坐标

Fig. 6 Radar coordinate

这种情况通常出现在相邻车道目标车经过雷达的垂直方向的场景,会造成雷达识别出目标点有速度但距离又没有变的情况。

目标速度检测实际上是检测目标的多普勒速度。计算目标车相对主车的速度,需要除了多普勒速度之外的目标相对雷达的线速度,式(15):

$$V_t = \omega * r. \tag{15}$$

把相对速度在笛卡尔坐标系下分解为 v_x 和 v_y , 则多普勒速度可以表示为式(16):

$$V_r = V_x * \cos(\theta) + V_y * \sin(\theta). \tag{16}$$

要求解两个未知数,需要至少两个不相关条件,即同一目标物的第二个检测点,式(17)和式(18):

$$V_{r1} = V_x * \cos(\theta_1) + V_y * \sin(\theta_1), \tag{17}$$

$$V_{r2} = V_x * \cos(\theta_2) + V_y * \sin(\theta_2). \tag{18}$$

因此需要一个缓存区来存储雷达所有目标可能性大于阈值的检测点列表,存储多个计算周期的检测点列表,并找到同一个目标的检测点。

如果某个检测点是静止的目标点,那么它和雷达间的相对速度都是由主车运动提供的。根据主车的动态参数估算出静态检测点的相应的多普勒速度,再与真实检测点的多普勒速度对比,若插值大于式(19)计算出的阈值,则标记为运动点。式(20)为估算的静止的多普勒速度。

$$gate = \frac{\partial V_e}{\partial V_h} + \frac{\partial V_e}{\partial \omega} + e_\theta + e_{v_r}, \tag{19}$$

$$V_e = (-V_x) * \cos(\theta) + (-V_y) * \sin(\theta). \tag{20}$$

在缓冲区当前和历史的检测点列表选取未聚类

的高质量点,一次一个的循环当前列表里的检查点,在历史周期里选择与当前周期所循环点多普勒速度差值较小,且距离相近的点,一个周期最多找到一个。

若在一个循环里找到两个以上的检测点,则将其聚类为一个目标。根据公式(16)计算出当前目标相对速度。

4 实验

使用 Nuscence 毫米波雷达数据库,由计算出反射点相对速度聚类多个检测点得到一个动/静态的目标。如图7聚类感知5个动态目标,最靠近主车雷达的目标聚类如图8所示。

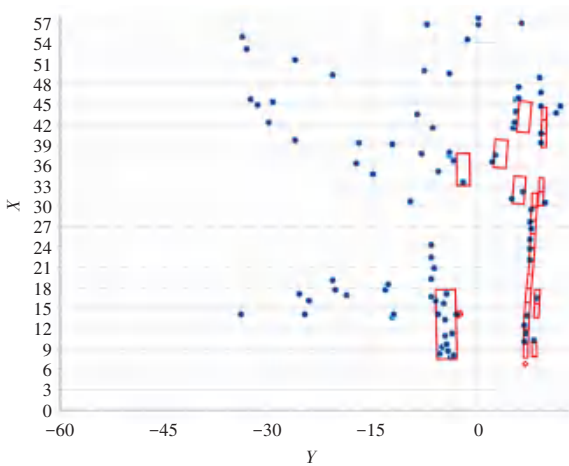


图7 雷达感知动静目标

Fig. 7 Radar senses moving and moving targets

(上接第151页)

3 结束语

本研究通过手法采集实验获取推拿专家施加坐位调膝法时的手法生物力学参数,根据手法参数设计了一款4自由度推拿机器人。利用工业设计软件UG8.5中的运动仿真模块对中医按摩机器人工作机构的有效性进行了分析和研究,验证了基于坐位调膝法治疗KOA的推拿机器人的可行性,具有极高的应用前景,是解决目前中医推拿医生资源紧缺的切实可行的方法。在未来的工作中,将对结构进行优化,使按摩机器人更加轻巧和拟人化。此外,由于KOA患者病期不同,需要推拿治疗的力度不同,推拿机器人目前输出的治疗方案比较单一,存在一定的局限性。为了提高机器人系统的控制精度和交互能力,还将深入研究仿人按摩机器人的控制算法,进

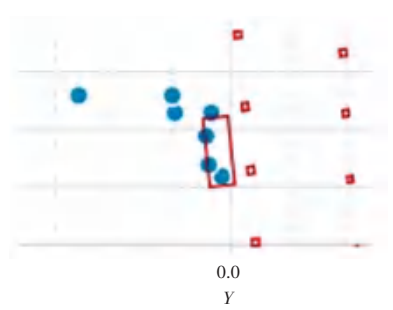


图8 动态目标

Fig. 8 Dynamic targets

5 结束语

通过对毫米波雷达信号的处理,从雷达反射混频后的中频信号得到一个目标物的多个检测点,再对其进行滤波处理,得到高质量的检查点,对这些点进行一定周期的存储,用来做时间序列上的分析,聚类输出为雷达感知的动、静态目标,最后使用NuScenes数据库的雷达信号进行感知实验,结果良好。

参考文献

- [1] 韩宝石,王峥.车载毫米波雷达国内外发展现状综述[J].数字通信世界,2019(9):15-16.
- [2] 王磊.浅谈智能驾驶中的环境感知[J].智能网联汽车,2018(8):27-29.
- [3] 陈广和,周志权,赵宜楠,等.基于ZYNQ的毫米波雷达高速数据采集系统设计[J].现代电子技术,2019,42(16):26-29,35.
- [4] 叶常青.汽车毫米波雷达测试分析与研究[J].信息通信,2019(7):98-99.

一步完成按摩机器人的研制。

参考文献

- [1] 梁克玉.膝骨性关节炎[M].湖北科学技术出版社,2012.
- [2] 梁红广,姜淑云,李建华,等.坐位调膝法治疗膝骨关节炎的疗效与步态分析研究[J].北京中医药,2018,37(2):135-138.
- [3] 张珂飞,王田苗,刘静华,等.基于任务流的中医按摩机器人任务流程研究与设计[J].机器人技术与应用,2012(1):23-27.
- [4] 高焕兵,鲁守银,王涛,等.中医按摩机器人研制与开发[J].机器人,2011(5):43-52.
- [5] WENDONG W, LEI Z, JINZHE L, et al. The force control and path planning of electromagnetic induction-based massage robot[J]. Technology and Health Care, 2017, 25:275-285.
- [6] SAJAPIN S N. Smart parallel robots for massage[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, 468(1):12-28.
- [7] ZHU Q G, LI J H, FANG M, et al. Effect of Chinese massage (Tui Na) on isokinetic muscle strength in patients with knee osteoarthritis[J]. J Tradit Chin Med, 2016, 36(3):314-320.