

超宽带雷达接收机的设计*

陈隽永** 徐继麟

(电子科技大学电子工程学院 成都 610054)

【摘要】 在分析传统超宽带雷达接收机在多通道数据采集中存在问题的基础上,提出了一种新的超宽带雷达接收机的设计方法。在该方法中,采用小波理论设计频域接收机中关键的频带分割滤波器和多分辨理论的方法进行数据恢复,导出对实际模拟滤波器频率特性进行补偿的方法。

关键词 接收机; 超宽带信号; 滤波器; 小波

中图分类号 TN155.1

超宽带雷达回波信号具有极宽的频带,超宽带雷达接收机应具有超宽带、高灵敏度、高信噪比及高速实时处理能力。目前,超宽带雷达接收机大都采用采样示波器,但其灵敏度低、数据的实时性达不到要求,因此多通道结构的接收机已开始得到广泛采用。

1 多通道数据采集方法

由于超宽带雷达接收机接收的信号频带极宽,而A/D变换器的转换速率相对较慢,因而必须对超宽带信号进行频域的分割。对于频域结构的超宽带接收机^[1],需要解决频带分割滤波器的设计问题,设计的频带分割滤波器应能有效隔离不同的频带,减少重建误差,以提高数据采集系统的精度。另外,也需找出由各子频带的采集数据得到时域数据的方法。

对于带宽为800 MHz的超宽带雷达接收机的设计,本文提出如图1所示结构框图。

2 超宽带雷达接收机的设计及数据恢复算法

小波理论中的多分辨分析方法提供了将信号分解为不同速率通道的方法及其重构算法,因而可以通过多分辨分析方法找到频带分割滤波器的设计及数据恢复方法。

2.1 多分辨理论^[2]

设 $\phi(x)$ 和 $\psi(x)$ 分别为尺度函数和小波函数,相应的尺度序列分别为 $\{h_k\}$ 和 $\{g_k\}$,则相应的分解算法如下

$$C_{J+1,m} = \sum_{k \in z} \bar{h}_{k-2m} C_{J,k} \quad (1)$$

$$D_{J+1,m} = \sum_{k \in z} \bar{g}_{k-2m} D_{J,k} \quad (2)$$

设相应的对偶小波函数和对偶尺度函数分别为 $\tilde{\psi}(x)$ 、 $\tilde{\phi}(x)$,相应的尺度序列分别为 $\{\tilde{g}_k, k \in z\}$ 、 $\{\tilde{h}_k, k \in z\}$,其离散傅里叶变换分别为 $\tilde{G}(\exp j\omega)$ 和 $\tilde{H}(\exp j\omega)$,则

$$H(\exp j\omega)\overline{\tilde{H}(\exp j\omega)} + G(\exp j\omega)\overline{\tilde{G}(\exp j\omega)} = 1 \quad (3)$$

$$H(\exp j\omega)\overline{\tilde{H}(-\exp j\omega)} + G(\exp j\omega)\overline{\tilde{G}(-\exp j\omega)} = 0 \quad (4)$$

$$H(\exp j\omega)\overline{\tilde{H}(\exp j\omega)} + H(-\exp j\omega)\overline{\tilde{H}(-\exp j\omega)} = 1 \quad (5)$$

2000年2月18日收稿

* 电子部预研基金资助项目

** 男 32岁 博士生

此时，重构公式为

$$C_{J,m} = \sum_{k \in z} \tilde{h}_{m-2k} C_{J+1,k} + \sum_{k \in z} \tilde{g}_{m-2k} D_{J+1,k} \quad (6)$$

如果取 $\psi(x) = \tilde{\psi}(x)$ ， $\phi(x) = \tilde{\phi}(x)$ ，则上述的小波函数 $\psi(x)$ 与尺度函数 $\phi(x)$ 分别为正交小波情况下的正交小波函数与尺度函数，此时 $H(\exp j\omega)$ 为一低通滤波器， $G(\exp j\omega)$ 为一高通滤波器， $\{h_k, k \in z\}$ ， $\{g_k, k \in z\}$ 为正交镜像滤波器(QMF)^[3-6]。分解与重构算法的频域结构如图2所示。

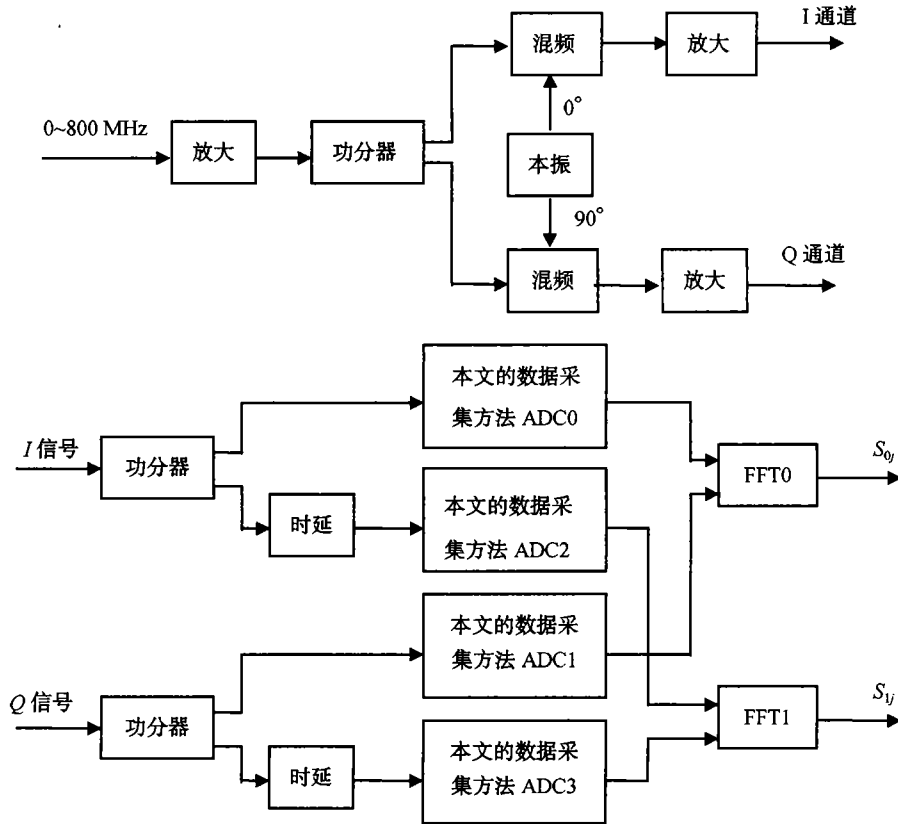


图1 超宽带雷达接收机结构框图

2.2 频带分割滤波器的设计

为了能够以较低速率的A/D进行宽带数据采集，在2路ADC保持同步的情况下，将图2改写为如图3所示结构，图中的A/D的转换速率为通道转换速率的一半。图3中， $H(\omega)$ 与 $G(\omega)$ 为模拟滤波器，其频率特性理想逼近 $H(\exp j\omega)$ 和 $G(\exp j\omega)$ ， $H(\exp j\omega)$ 与 $G(\exp j\omega)$ 为上节中设计的数字滤波器。

在将数字滤波器转变为相应的模拟滤波器时，可采用拟合数字滤波器 $H(\exp j\omega)$ 和 $G(\exp j\omega)$ 频率特性的方法，运用最小二乘法得到相应的模拟滤波器的传递函数，但此方法所得的滤波器

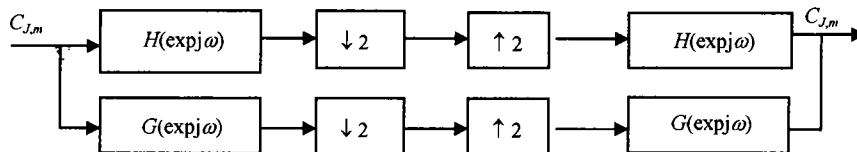


图2 信号的分解与重构结构框图

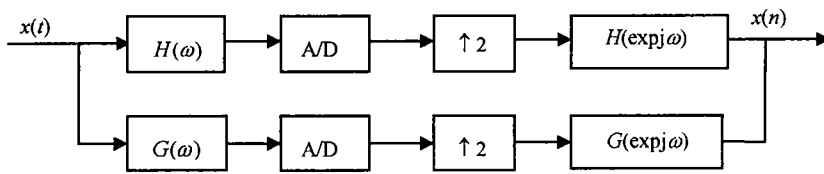


图3 采用频带分割滤波器的数据采集与重构

并非都稳定^[7~10]。下面采用另外的方法得到模拟滤波器的传递函数。

设计的数字滤波器系数为 $\{h_k, k \in z\}$, 其离散傅里叶变换为 $H(\exp j\omega)$, 令

$$\exp(j\omega) = G(s) = \frac{N_m(s)}{D_n(s)} \quad (7)$$

式中 $N_m(s)$ 、 $D_n(s)$ 分别为 m 、 n 阶多项式, 则

$$H(j\omega) = H(s) = H(\exp j\omega)|_{\exp(j\omega)=G(s)} \quad (8)$$

可通过增加 m 、 n 使逼近误差足够小, 但要求过小的逼近误差会使模拟滤波器的阶数很高。

2.3 信号重构中的补偿

由于 $H(j\omega)$ 和 $G(j\omega)$ 为模拟滤波器, 它们在用模拟器件实现时总是存在误差, 不可能理想地逼近可用于信号重构的数字滤波器的频率特性。为达到精确重构的目的, 必须进行补偿。另外, 如果频带分割滤波器采用通用的滤波器, 则需根据通用滤波器的频率特性设计综合滤波器来重构信号。

在得到模拟滤波器频率特性后, 可由式(3)~(5)得到重构信号所用的数字滤波器 $\tilde{H}(\exp j\omega)$ 和 $\tilde{G}(\exp j\omega)$

$$\tilde{H}(\exp j\omega) = \frac{G(-\exp j\omega)}{H(-\exp j\omega)G(\exp j\omega) - H(\exp j\omega)G(-\exp j\omega)} \quad (9)$$

$$\tilde{G}(\exp j\omega) = \frac{H(-\exp j\omega)}{G(-\exp j\omega)H(\exp j\omega) - G(\exp j\omega)H(-\exp j\omega)} \quad (10)$$

2.4 由快速傅里叶变换 FFT0 和 FFT1 的结果恢复雷达信号

由文献[1]知, 可以由 S_{0i} 和 S_{1i} 得到所需的复信号 A_{0i} 和 A_{1i}

$$\begin{bmatrix} A_{0i} \\ A_{1i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ G_{0i} & G_{1i} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} S_{0i} \\ S_{1i} \end{bmatrix}$$

其中 $G_{0i} = \exp(j2\pi f_i \tau)$, $G_{1i} = \exp[j(2\pi f_i + 2\pi f_s)\tau]$, f_i 为信号的频率, f_s 为 ADC 采样速率, τ 为时延。

3 结束语

本文利用小波理论的分解与重构算法对超宽带雷达接收机进行了设计, 将信号分解为与理想重构的正交镜像滤波器, 再将分解信号的数字滤波器转换为模拟滤波器, 从而完成 I 通道和 Q 通道超宽带信号的采集与恢复。

参 考 文 献

- 1 Chui C K. An introduction to wavelets. Boston: Academic Press, 1992
- 2 Daubechies I. Orthonormal bases of compactly supported wavelets. Communications on Pure and Applied Mathematics, 1988, XLI: 909~996
- 3 Daubechies I. Ten lectures on wavelets. CBMS-NSF Series in Appl Math SIAM, 1991
- 4 刘贵忠, 邸双亮. 小波分析及应用. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1992
- 5 Xia Xiang Gen. Wavelet coefficient computation with optima prefiltering. IEEE Transactions on SP, 1994,42(8): 2 191~2 196
- 6 Mintzer F. On half-band, third-band and Nth-band filters and their design. IEEE Transactions on ASSP, 1982, 30(5): 734~738
- 7 黄香馥, 陈天麒, 李西平. 网络分析与综合导论. 北京: 中国铁道出版社, 1989
- 8 陈隽永, 周先敏, 徐继麟. 多分辨数据融合技术. 系统工程与电子技术, 1999, (1): 25~27
- 9 王光泰, 徐继麟, 徐庆. 超宽带雷达技术特点. 电子科技大学学报, 1997, 26(增刊): 13~16
- 10 王光泰, 周先敏, 徐继麟, 等. 一种新的低截获概率雷达信号. 电子科技大学学报, 1997, 26(增刊): 137~139

Design of Ultra-wide Band Radar Receiver

Chen Junyong Xu Jilin

(College of Electronic Engineering, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract By analyzing the problems in the design of ultra-wide band radar receiver, a new method is proposed in this paper, in which, a new kind of channel dropping filter is designed using multiscale method of wavelet theory. The compensation method in the practical design is also discussed.

Key words wavelet; channel dropping filter; ultra-wide band signal; radar receiver

告 示

为适应我国信息化建设的需要, 扩大作者学术交流渠道, 本刊已和《中国学术期刊(光盘版)》、“中国期刊网”、“万方数据资源系统(China Info)数字化期刊群”、《北极星》网站等合作。作者著作权使用费与本刊稿酬一次性给付。如作者不同意将文章在各数据库发布, 请在来稿时声明, 本刊将根据作者要求适当处理。

• 本刊编辑部 •