

合成孔径雷达实时转置存储的实现¹

刘 宇 杨汝良

(中国科学院电子学研究所 北京 100080)

摘 要 本文介绍了如何利用同步动态内存 (SDRAM) 实现合成孔径雷达实时成像处理器转置存储中数据转置的功能, 重点论述了带有自动预充电功能的 SDRAM 控制器的设计以及刷新控制电路、地址产生电路的实现过程。

关键词 同步动态内存, 合成孔径雷达, 转置存储, 自动预充电

中图分类号 TN951

1 引 言

机载合成孔径雷达实时成像处理器中, 转置存储作为一个独立的分机是为了适应成像处理器中方位处理部分对输入数据的要求, 将预处理部分输出的数据重新排序, 使得依次沿着距离向顺序的数据变换成沿着方位向顺序^[1]。由此可见, 在转置存储中需要有大容量的存储器来缓存沿距离线方向进来的数据。近年来, SDRAM 作为存储器市场的主导产品, 不仅单片体积小而且容量大、速度快, 它的工作原理是将 RAM 与 CPU 以相同的时钟频率进行控制, 使 RAM 和 CPU 的外频同步, 彻底取消等待时间。因此, 在本分机设计中采用 SDRAM 作为核心存储芯片来实现数据转置的功能是一切实可行的方案。本文在概述转置存储工作原理基础上, 论述了如何使用 SDRAM 实现数据转置的功能, 重点论述了带有自动预充电功能的 SDRAM 控制器的设计及实现过程。

2 转置存储工作原理

实时成像处理器中, 方位处理功能是将已经在距离向压缩后的雷达数据在方位向进行压缩, 因此它要求沿着方位向依次输入一定长度的雷达数据 (简称方位线数据)。同时要求在方位向相邻的两个方位线数据要有一部分重合。但是雷达获取的模拟数据, 包括后面的 A/D 缓存输出、预处理输出的数据都是沿着距离向的 (简称距离线数据), 这就要求通过转置存储将预处理输出的距离线数据进行 90° 的转置处理变换成方位线数据, 同时使得在方位向下一个方位线的数据从这一个方位线的某一处开始。

假定成像处理器中一条距离线上的样本数为 8192、一个合成孔径长度为 512, 方位处理部分中要求的 FFT 长度为 1024。同时每一个方位线数据既要参与上一个合成孔径长度图像数据的 FFT 处理, 又要参与下一个合成孔径长度图像数据的 FFT 处理, 这就要求在方位向上相邻的两组方位线之间有一半的重合。转置存储输出数据的位置坐标按照时间顺序表示如图 1 所示。

转置存储输入的数据是按照距离线顺序从第一条距离线开始, 一条距离线一条距离线输入。为了完成图 1 所示输出要求, 转置存储采用 3 块 (页) 式结构, 具体工作原理是: 把预处理输出的数据以距离线的形式一线一线地输入转置存储中, 然后在转置存储中经过转置处理, 转换到以方位线的形式一线一线地输出, 使数据的位置坐标发生 90° 转换, 同时相邻两组方位线之间有一半的数据重合, 如图 2 所示。

图 2 中把主存储器分成相等的 3 块 A, B 和 C, 每一块的距离向长度等于雷达距离向的分辨单元数目, 也就是一条距离线上的样本数 8192; 每一块的方位向长度等于方位处理器中 FFT 长度的一半 512。

考虑系统接口要求, 转置存储的电路设计主要包括输入、输出接口, 输入、输出切换部分以及控制和地址产生部分, 核心部分是 3 块主存储器, 具体电路结构如图 3 所示。

¹ 2002-08-30 收到, 2003-01-08 改回

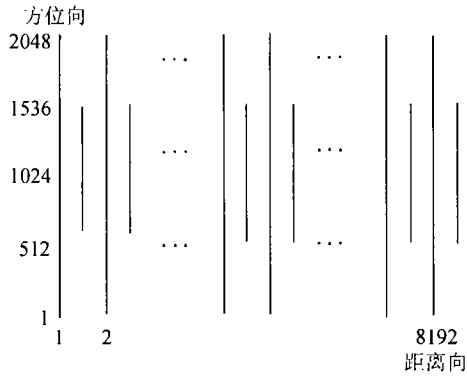


图 1 转置存储输出数据示意图

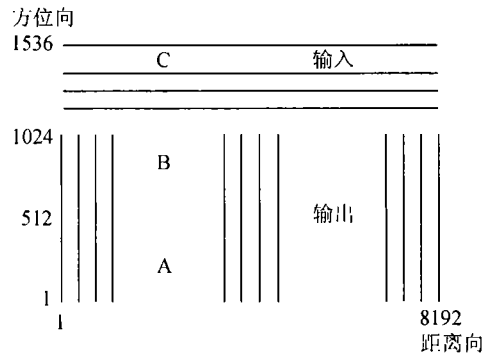


图 2 转置存储工作原理示意图

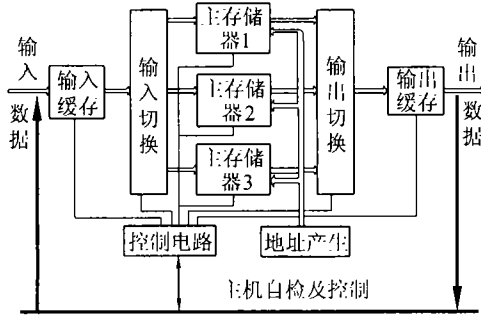


图 3 转置存储电路框图

图 3 中输入输出缓存由 FIFO 实现，主存储器是转置存储的核心，数据在这里存储，并在控制部分和地址产生部分的协调控制下通过输入切换部分从输入接口写入距离线数据，通过输出切换部分向输出接口读出方位线数据，完成数据地址顺序的 90° 转置，实现数据的重新排序。控制部分的功能是实现主机接口，主存储器各模块控制以及提供 SDRAM 刷新信号。其中，SDRAM 的控制是控制电路的核心部分，下面重点论述 SDRAM 控制器的实现过程。

3 SDRAM 控制器的设计

考虑转置存储器中输入输出信号的要求，SDRAM 控制器的设计采用带有自动预充电功能的形式^[2]。这种控制器的优点是实现起来简单方便，缺点是每次对存储器的访问都要发激活命令，即使下一次是对同一行进行访问。但是当如下几种条件存在时，这种带宽的牺牲并不是特别严重：

- (1) 每一次突发访问的访问长度很长时，激活命令在整个访问周期中只是占了很小的一部分。
- (2) 每一次访问都是随机的。也就是说，几乎每一次都是对不同的行进行操作。因此，即使是一个设计高效的控制器也要频繁的执行预充电、激活命令。

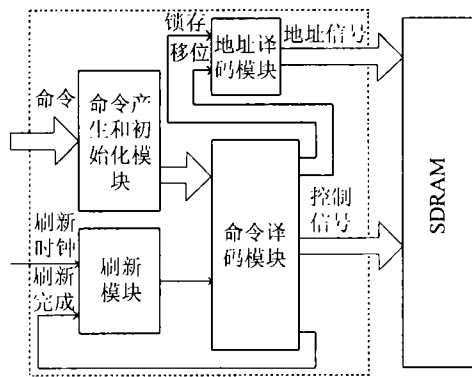


图 4 SDRAM 控制器原理框图

转置存储器的设计过程中，对于输入来说，用脉冲重复频率触发列地址计数，时钟触发行地址计数，因此每一次写入 SDRAM 时都要激活行地址，满足条件 (2) 的要求；对于输出来说，每次发一个突发命令，将数据读出 SDRAM，满足条件 (1) 的要求。从以上分析可以看出，带有自动预充电功能的 SDRAM 控制器的设计在转置存储器分机的应用是非常高效实用的。图 4 虚线所示即为 SDRAM 控制器原理框图：

从图中可以看出, 该控制器包括 4 个功能模块:

(1) 刷新模块

SDRAM 作为 DRAM 一种类型, 需要定时进行刷新操作。该模块具有刷新时钟及应答和请求信号, 定时产生刷新请求, 刷新模块用 VHDL 语言编写, 仿真的时序图如图 5。

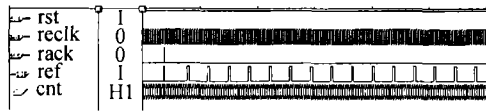


图 5 SDRAM 刷新模块时序图

图 5 中, 刷新模块在系统复位信号 rst 由低变高后便开始工作, 计数器 cnt 对输入的时钟信号 reclk 计数, 在规定的时间内产生刷新信号 ref。

(2) 命令产生模块

SDRAM 除了具有一般 RAM 的正常读写操作命令外, 还具有模式寄存器写操作、突发读写操作及预充电操作等命令。命令产生模块即产生 SDRAM 正常工作及上电初始化的各种命令字。

(3) 地址锁存模块

SDRAM 中, 行地址及列地址需要分时复用 [3], 因此该模块主要完成地址锁存及移位功能。

(4) 命令译码模块

该模块接收刷新及命令产生模块输出的命令请求, 产生满足 SDRAM 逻辑及时序要求的信号。下面以状态机的形式来描述各种命令状态的转换, 状态机转换原理框图如图 6 所示。

图 6 中可以看出, SDRAM 的命令状态大致包括:

空闲状态: 没有任何有效控制信号产生;

激活状态: 每次读写操作前都要发出激活命令, 所以该状态接收激活命令, 同时为进入读写状态做准备;

读状态: 读状态除了接收读命令产生读 SDRAM 的控制信号, 也接收刷新命令, 但不产生任何输出信号;

写状态 1: 接收写命令, 产生写 SDRAM 的控制信号;

写状态 2: 该状态除了接收正常的写命令外, 同时接收写模式寄存器命令。

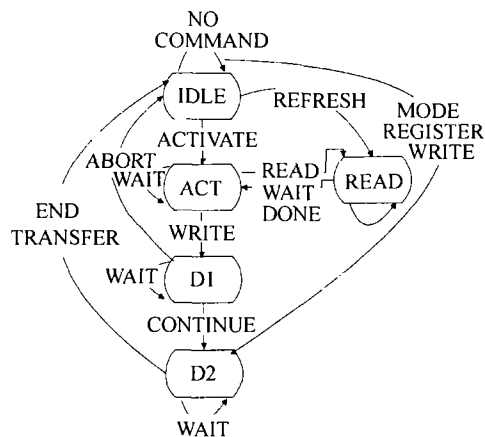


图 6 SDRAM 控制器状态图

下面给出模拟各种输入条件下输出信号的仿真波形 (图 7):

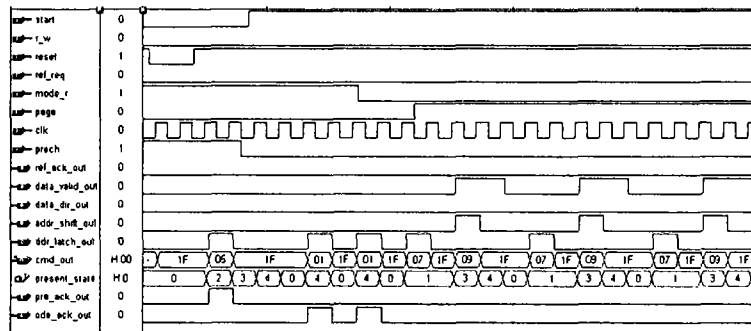


图 7 SDRAM 控制器时序图

图 7 的 present_state 依次表示状态机所处的各种状态, 不同状态下的输入输出时序关系满足 SDRAM 芯片手册中规定的时序要求。

控制器其它模块采用图形和 VHDL 语言结合的方式输入, 整个控制器在一片 EPLD 中实现。

4 结论

SDRAM 的工作模式较多, 根据转置存储特殊的输入输出接口要求, 在转置存储分机设计过程中采用了带有自动预充电功能的 SDRAM 控制器的设计方案。主存储芯片选用韩国三星公司生产的 K4S641632D^[3], 该芯片容量是 4M×16Bit, 那么只要 3 片 K4S641632D 便可以完成距离向 8192 点, 方位向 1024 点的实时转置功能。上述设计方案在实验中获得了良好的效果。

参 考 文 献

- [1] 张澄波, 综合孔径雷达原理、系统分析与应用, 北京, 科学出版社, 1989 年, 229-232.
- [2] Christian Green, Analyzing and implementing SDRAM and SGRAM controllers, EDN, 1998, 43(3), 155-166.
- [3] 64M BIT SDRAM Data Sheet, Samsung Incorporated, 1999, 1-6.

REAL-TIME SOLUTION OF CORNER TURN MEMORY IN SAR

Liu Yu Yang Ruliang

(Institute of Electronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract This paper presents how to implement the corner turn memory which is the important phase in synthetic aperture radar real-time processor by using SDRAM as the memory. SDRAM controller is described in detail including auto pre-charge function, refresh control circuit and address generation module.

Key words Synchronous Dynamic RAM(SDRAM), Synthetic Aperture Radar(SAR), Corner turn memory, Auto pre-charge

刘 宇: 男, 1973 年生, 副研究员, 博士生, 主要研究方向为 SAR 信号处理理论。

杨汝良: 男, 1943 年生, 研究员, 博士生导师, 主要研究方向为机载及星载合成孔径雷达系统设计。