前 言

Atmel 公司去年八月(2005 年)发布了最新的 AT91SAM7X256/128 芯片，该芯片实现了一个与 IEEE 802.3 标准兼容的以太网 MAC，这引起了本人极大的兴趣。为了能够让自己深入了解 MAC 模块的技术细节，同时提升自己的英文阅读及翻译水平，本人特意把该芯片携带的技术手册中对 EMAC 部分的介绍翻译成中文，为了方便中英文对照，文中仍然采用了英文版章节序号：第 38 节，与英文版一致。

38 以太网 MAC（EMAC）

38．1 概览

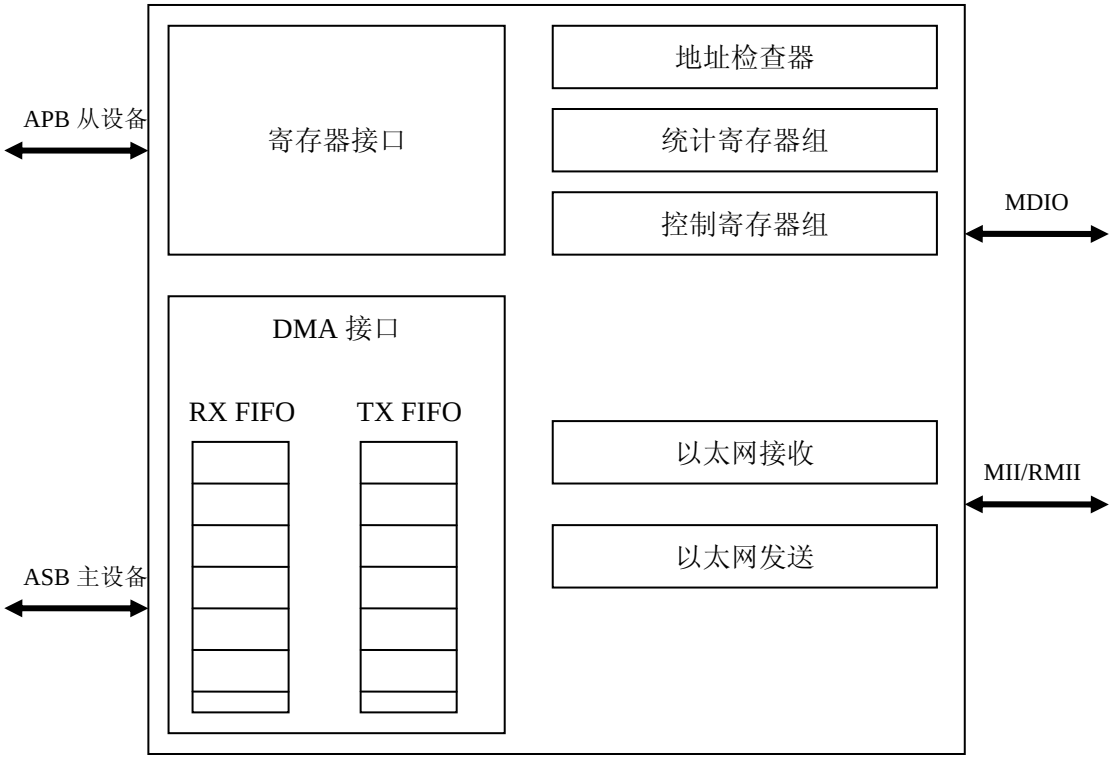
EMAC 模块使用一个地址检查器，统计与控制寄存器组，接收与传输部件以及一个 DMA 接口实现了一个与 IEEE 802.3 标准兼容的以太网 MAC。

地址检查器识别四个特殊的 48 位地址，还包含一个匹配多播与单播地址的 64 位哈希（hash）寄存器。它可以识别所有的广播地址，复制所有帧，还可以作用于一个外部地址匹配信号。

统计寄存器部件包含的寄存器组对传输接及收操作相关的不同的事件类型计数。这些寄存器连同存储在接收缓冲区列表里的状态字一起，允许软件生成与 IEEE 802.3 兼容的网络管理统计表。

38．2 结构图

图 38-1 EMAC 结构图



38．3 功能描述

图 38-1 显示了 EMAC 模块的不同部件。

控制寄存器组驱动 MDIO（MDIO，数据输入/输出管理的简称，译注）接口，设置 DMA 行为，启动帧传输，选择像双工或半双工这样的操作模式。

接收部件检查前导字段的有效性，FCS（Frame Check Sequence，帧校验序列的简称，译注），对齐和长度，以及把接收到的帧交给地址检查部件和 DMA 接口。

传输部件从 DMA 接口取出数据，添加前导字段，并且，如果必要，填充数据（如果发送一个长度小于 64 个字节的数据包，MAC 会生成填充字节将这个数据包扩展到 64 个字节的最小限制，译注）和 FCS，然后按照 CSMA/CD(carrier sense multiple access with collision detect，载波监听多路访问/冲突检测，译注)协议传输数据。如果 CRS（carrier sense，载波监听）是活跃状态则推迟启动传输。

如果 COL（collision，冲突）在传输期间成为活跃状态，则一个堵塞序列被声明，在推迟一段随机时间后传输会被重试。在全双工模式 CRS 和 COL 不起作用。

DMA 部件通过它的 ASB（Advanced System Bus，先进系统总线的英文简称，译注）总线接口连接外部存储器。它包含缓冲帧数据的接收和传输 FIFOs（First In First Out，先进先出的英文简称，它是一种实现数据先进先出的存储器件，译注）。它加载传输 FIFO 并且使用 ASB 总线主动操作清空接收 FIFO。接收的数据不会被发送到存储器直至地址检查逻辑已经确定这个帧应该被复制。接收或者传输的帧被存储在一个或更多的缓冲区中。接收缓冲区有 128 个字节的固定长度大小。传输缓冲区的长度范围在 0 到 2047 个字节之间，每一帧被允许保存的缓冲区数可多达 128 个。DMA 部件管理传输和接收帧缓冲区（framebuffer）队列，这些队列可以保留多个帧。

38．3．1 存储器接口

帧数据从 EMAC 经由 DMA 接口被传输。所有的传输是 32 位的字并且可以是单字访问也可以是 2，3 或者 4 个字的突发（bursts）访问（关于突发访问请参阅《内存常用词汇（包括突发访问）》一文，译注）。突发访问不能越过 16 个字节的界限。4 个字的突发访问是默认的数据传输方式；单字或者少于 4 个字的突发访问可以用于传输在缓冲区开始或结尾处的数据。

DMA 控制器在总线上执行六种操作类型，按照优先级顺序，它们是：

1、 接收缓冲区管理器写
2、 接收缓冲区管理器读
3、 数据传输 DMA 读
4、 数据接收 DMA 写
5、 传输缓冲区管理器读
6、 传输缓冲区管理器写

38．3．1．1 FIFO

两个 FIFO 的深度均是 28 字节并且系统时钟功能区加快了存储器响应时间和网络速度。

数据传入传出 FIFO 的代表性方式是 4 个字的突发访问。对于接收，当 FIFO 包含四个字并且还有三个字以上的空间时，一个总线请求被声明。对于传输，当 FIFO 还有 4 个字的空间，或者接下来的传输只是一个或两个字而 FIFO 中有两个字的空间时，一个总线请求被生成。

因此总线响应时间必须小于加载 FIFO 且传输或接收三个数据字（12 字节）的时间。

在 100Mbit/s，需要 960ns 的时间传输或接收 12 个字节的数据。另外，应该为数据从总线加载以及通过 FIFOs 传送留出六个主时钟周期。对于一个 60MHz 的主时钟，这需要

100ns，从而得出的总线响应时间需求为 860ns。

38. 3. 1. 2 接收缓冲区

接收的帧，包括可选择的 CRC/FCS，被写入接收缓冲区保存在内存中。每一个接收缓冲区 128 个字节长。它们的开始位置保存在接收缓冲区队列指针寄存器指向的接收缓冲区描述符列表中的一个内存位置。接收缓冲区开始位置是一个 32 位地址。对于帧的第一个缓冲区，它的开始位置可以偏移最多 3 个字节，这取决于写入网络配置寄存器的第 14 和 15 位的值。如果缓冲区开始位置被偏移，则帧的第一个缓冲区的有效长度就会被减去相应的字节数。

每一个列表条目由两个字组成，第一个是接收缓冲区地址，第二个是接收状态。如果一个接收帧的长度超过了缓冲区长度，如果合适，所使用的缓冲区的状态字除“帧头（start of frame）”状态位和偏移位之外其它位全部清零。地址字段的位 0 处写 1，以表明这个缓冲区已经被使用。然后接收缓冲区管理器读取下一个接收缓冲区的位置并填充接收的帧数据。最后缓冲区描述符的状态字包含了完整的帧状态信息。接收缓冲区描述符列表的详细信息请参阅表 38-1。

表 38-1 接收缓冲区描述符条目

位（Bit）	功能
字 0	
31:2	缓冲区的开始地址
1	结束（Wrap）——标记接收缓冲区描述符列表中的最后一个描述符
0	所有权（Ownship）——EMAC 写数据到接收缓冲区时该位必须是 0，一旦已经成功的向存储器写入一帧，EMAC 将其设置为 1。 在缓冲区可以被重新使用之前，程序必须主动清除该位。
字 1	
31	全局的所有广播地址检测
30	多播哈希匹配
29	单播哈希匹配
28	外部地址匹配
27	保留
26	特殊地址寄存器 1 匹配
25	特殊地址寄存器 2 匹配
24	特殊地址寄存器 3 匹配
23	特殊地址寄存器 4 匹配
22	类型 ID 匹配
21	VLAN（虚拟局域网的英文简称，译注）标签检测（即类型 ID 为 0x8100）
20	优先级标签检测（即类型 ID 为 0x8100 并且 VLAN 标识符为空）

19:17	VALN 优先级（只有在位 21 被设置时有效）
16	规范格式指示符（CFI）位（只有在位 21 被设置时有效）
15	帧尾（End of frame）——置位表明该缓冲区包含帧尾。如果该位未被设置，那么其它有效的状态位只有 12，13 和 14 位。
14	帧头（Start of frame）——置位表明缓冲区包含帧头。如果位 15 和位 14 同时被设置，则这个缓冲区包含了一个完整的帧。
13:12	接收缓冲区偏移（Receive buffer offset）——指示第一个缓冲区的数据从 32 位地址处偏移的字节数。使用网络配置寄存器的当前值更新。如果通过设置网络配置寄存器的位 3 允许了超长帧模式，则 13:12 位就用于指示帧的长度。
11:0	帧的长度，包括 FCS（如果选择）。如果选择了超长帧模式，则 13:12 位也被使用。

对于接收帧，缓冲区描述符必须通过向每一个列表条目的第一个字的 31:2 位写入一个正确的地址进行初始化。位 0 处必须写 0。位 1 是结束位，用于指示列表中的最后一个条目。

在设置网络控制寄存器的接收允许位以允许接收之前，接收缓冲区描述符列表的开始位置必须写入接收缓冲区队列指针寄存器。接收部件一开始向接收 FIFO 写入接收的帧数据，接收缓冲区管理器就立即读取由接收缓冲区队列指针寄存器指向的第一个接收缓冲区位置。

接着，如果过滤器部件指示帧应该被复制到内存中，那么，数据接收 DMA 开始向接收缓冲区写入数据。如果发生错误，缓冲区会被恢复。如果当前的缓冲区指针设置了结束位或者这是第 1024 个描述符，那么，下一个接收缓冲区的位置会从接收描述符列表的开头读取。否则，就会从内存的下一个字读取（即指针继续向下偏移 4 个字节 32 位长，译注）。

有一个 11 位的计数器对 2048 个字的接收缓冲区描述符列表最大长度位置进行计数。计数值会被加到最初写入接收缓冲区队列指针寄存器保存的指向列表的指针值上。对接收缓冲区队列指针寄存器的读取返回的指针值，就是当前正在访问的队列条目。在接收状态被写入一个设置结束位的描述符后，或者在 1024 个描述符被访问后接收状态翻转为 0 时，计数器复位。写入到接收缓冲区指针寄存器的值可以是任意字对齐的地址，其提供了从写入的地址到存储器顶部至少 2048 个字位置的有效空间。

AMBA™（Advanced Microcontroller Bus Architecture的简称，意为先进微控制器总线架构，为ARM公司的一套总线标准，译注）2.0 规范的 3.6 节规定，突发访问（bursts）不应该超越 1K的界限。像接收缓冲区管理器的写，是两个字的突发访问（bursts），为确保不会发生超越 1K界限的问题，最好向指针寄存器写入最少三个有效位为 0 的值。当接收缓冲区被使用时，接收缓冲区管理器会置位描述符第一个字的位 0 以指示其已被使用。如果检测到了一个接收错误，则当前正被写入的接收缓冲区会被恢复。先前的的缓冲区则不会被恢复。程序应该把缓冲区描述符中的被使用位（*used* bits）检索一遍以找出到底有多少帧已被接收。它应该检查帧头和帧尾位，并且不依赖于由接收缓冲区队列指针寄存器返回的值，这个值因为有更多的缓冲区被使用而不断改变。

对 CRC 错误的帧，长度过大的帧或长度字段不匹配的帧，所有这些都会由统计寄存器计数，可能存在一个帧片段被保存在一个接收缓冲区序列里的情况。程序可以通过查找——在——帧尾位（end-of-frame bit）未置位的缓冲区——之后的——缓冲区的帧头位（start-of-frame bit）的设置——来检测这种情况。

对一个正确工作的以太网系统，不应该有太长的帧或存在 CRC/FCS 错误的大于 128 字节的帧。冲突的帧片段小于 128 个字节长。因此，在一个接收缓冲区发现一个帧片段是很罕见

的情况。

如果在接收缓冲区管理器读取了接收缓冲区的位置时，位 0 被置位，那么这个缓冲区已经被使用且不能再被使用，直至程序已经处理这个帧并且清除位 0。在这种情况下，DMA 部件置位接收状态寄存器中的缓冲区不可用位并触发一个中断。

如果在接收缓冲区管理器读取了接收缓冲区的位置时位 0 被置位，并且一个帧正在被接收，这个帧会被丢弃并且接收资源错误统计寄存器的值会被增加。

当总线不能及时响应或者因为 HRESP（AHB，Advanced High-Performance Bus，先进高性能总线的简称，而 HRESP 是其总线上传输讯号的一种，属于传输响应讯号，transfer response，详见《Introduction to AMBA Bus System》一文，译注）响应值为错误（总线错误）时，一个接收过速错误发生。在接收过速的情况下，接收过速中断被声明并且当前正在写入的缓冲区被恢复。下一个帧的接收将重新使用这个缓冲区地址。

如果网络配置寄存器的位 17 被置位，则接收帧的 FCS 不会被复制到内存。在这种情况下，接收状态字段中指示的帧长度会被减去 4 个字节。

38. 3. 1. 3 传输缓冲区

将要被传输的帧保存在一个或更多的传输缓冲区。传输缓冲区可以是 0 到 2047 之间的任意长度，因此，传输帧的长度可能会比 IEEE 802.3 标准指定的最大长度还要长。0 长度的缓冲区是被允许的。每一个传输帧被允许的最大缓冲区个数是 128。

每一个传输缓冲区的开始位置保存在传输缓冲区队列指针寄存器指向的传输缓冲区描述符列表中的一个内存位置。每一个列表条目由两个字组成，第一个字是传输缓冲区字节地址，第二个字包含了传输控制和状态信息。无论有还是没有自动生成CRC，帧都可以被传输。如果CRC是被自动生成的，那么填充也是自动发生，将帧扩充至 64 个字节的最小帧长度。表 38-2详细说明了传输缓冲区描述符列表中的条目。对传输帧，缓冲区描述符必须通过向每一个列表条目第一个字的 31:0 位写入一个正确的字节地址进行初始化。第二个字用相关的传输控制信息进行初始化，这些控制信息是：指定缓冲区长度，是否是CRC传输以及这个缓冲区是否是这个帧的最后一个缓冲区。

传输后，这些控制位连同“used”位和其它状态信息一起被写回到第一个缓冲区的第二个字。位 31 就是“used”位。如果传输就要发生，在控制字被读取时该位必须为 0。当一个帧已经被传输该位被写入 1。位 27，28 和 29 指示不同的传输错误情形。位 30 是“wrap”位，它可以针对一个帧内的任意缓冲区置位。如果在 1024 个描述符之后没有遇到结束位（wrap bit），则队列指针返回到开始位置，这与接收队列相似。

在传输处于活动状态时，不能写传输缓冲区队列指针寄存器。如果向其写入了一个新值，队列指针重新设置自己指向新队列的开始位置。如果通过写网络控制的位 3 禁止了传输，传输缓冲区队列指针寄存器会重新设置指针，指向传输队列的开始位置。注意，禁止接收不会对接收队列指针有同样的影响。一旦传输队列被初始化，通过写网络控制寄存器的传输开始位 9，传输被激活。当一个 used 位被置位的缓冲区描述符被读取，或者一个传输错误发生，或者通过写网络控制寄存器传输停止位，传输会被停止。（当网络配置寄存器的暂停允许位被置位，如果一个暂停帧被收到，传输被暂停。）在传输处于活动状态时，重写开始位是被允许的。

传输控制用一个 Tx_go 变量被实现。这个变量在传输状态寄存器的位 3 位置是可读的。Tx_go 变量在下述情况会被复位：

- 传输被禁止
- 所有权位（ownership bit）被置位的一个缓冲区描述符被读取
- 一个新值被写入到传输缓冲区队列指针寄存器

— 写网络控制寄存器的位 10，tx_halt 位
— 有一个传输错误，例如太多的尝试错误或传输欠速

要设置 tx_go，写网络控制寄存器的位 9，tx_start。任何正在进行的传输完成之前传输不会被停止。如果在一个多缓冲帧（multibuffer）的传输期间发生冲突，传输自动从这个帧的第一个缓冲区重新开始。如果在一个多缓冲帧的传输中途一个“used”位被读取，这会被当做一个传输错误来对待。传输停止，tx_er 被声明并且 FCS 是不正确的。

如果由于一个传输错误导致传输停止，传输队列指针将重新指向传输队列的开始位置。程序需要在一个传输错误之后重新初始化传输队列。

如果由于在帧开始传输时一个“used”位被读取导致传输停止，传输队列指针不会被复位并且当传输开始位被写时传输从相同的传输缓冲区描述符开始。

表 38-2 传输缓冲区描述符条目

位	功能
字 0	
31:0	缓冲区的字节地址
字 1	
31	使用位（Used）。EMAC 从传输缓冲区读取数据时该位必须是 0。一旦已经成功传输，属于该传输帧第一个缓冲区的这个状态位由 EMAC 将其设置为 1。 缓冲区能够再次被使用之前，程序必须主动清除该位。 **注意：**该位仅适用于帧的第一个缓冲区，不像接收，一旦被使用，所有的接收缓冲区的 Used 位（即 Ownship 位，译注）都将被置 1。
30	结束位（Wrap）。标记传输缓冲区描述符列表的最后一个描述符。
29	超过了重试次数限制，检测到了传输错误
28	当 HRESP 响应值为错误（总线错误）时，或者当传输数据不能被及时获取时，或者当传输了一半缓冲区就被耗尽时，HRESP 传输欠速错误发生。
27	当传输了一半时缓冲区就被耗尽
26:17	保留
16	没有 CRC（No CRC）。置位时，没有 CRC 被附加到当前帧。该位仅适用于帧的最后一个缓冲区。
15	最后一个缓冲区。置位时，该位指示这是已经到达的帧的最后一个缓冲区。
14:11	保留
10:0	缓冲区长度

38．3．2 传输部件

这个部件按照以太网 IEEE 802.3 CSMA/CD 协议传输帧。帧的组装由增加前导字段和帧起始定界符（SFD，the start frame delimiter，在 MAC 帧头部分，关于 MAC 帧的详细结构说明参见《IEEE 802.3 媒体访问控制协议》，译注）开始。数据是从传输 FIFO 每次被取走一个字。数据首先被传输至少半个字节的有效位。如果必要，会附加填充字段以增加 60 个字节的帧长度。CRC 会

作为一个 32 位的多项式被计算。CRC 值会被反转（反转是指高位与低位互换，即 0x1021 反转后就得到 0x8408，这样做主要是因为通讯时我们是从低到高输出比特流，译注）并被附加到帧尾，从而使帧的长度达到 64 个字节的最小限制。如果传输帧的最后一个缓冲区描述符的第二个字的 No CRC 位被置位，则即不填充也不附加 CRC。

在全双工模式，帧会被立即传输。传输中，帧和帧之间保持至少 96 位次的间隔以确保以太网帧间隙时间。（帧间隙指的是数据帧间的间隔，其最小时间间隔是 12 个字节即 96 位，详情参阅《CSMA_CD 协议简介》，译注）。

在半双工模式，传输模块检查载波信号。如果载波信号被声明，它会等待解除声明然后在 96 位次帧间隙之后开始传输。如果传输期间冲突信号被声明，传输模块会从数据寄存器取出一个 32 位的阻塞序列进行传输然后推迟一段时间后重新传输。

补偿时间基于对数据中至少 10 个有效位的异或运算，进行运算的数据来自于传输 FIFO 和一个 10 位的假随机数生成器。进行运算的位数取决于检测到的冲突数。第一次冲突后，1 位被使用，两次以上，则一直到 10 位会被使用。超出 10 位，则所有的 10 位被使用。这时，一个错误被指示并且如果尝试 16 次都造成了冲突则不会再做尝试。

如果传输 DMA 欠速，使用与阻塞插入相同的机制自动添加错误的 CRC，并且 tx_er 信号被声明。对一个正确配置的系统，这应该从来不会发生。

如果半双工模式下网络控制寄存器的反压位（back pressure bit）被置位，传输部件只要看到一个到达的帧强加了一个冲突，它就会发送 64 位数据，这些数据可以是 16 个 1011 这样的半字节或者是在 1 秒 64 位的比特率模式下生成的比特流。这提供了半双工模式下实现流控的一种方法。

38．3．3 暂停帧支持

一个 802.3 暂停帧的头部结构如下表所示：

表 38-3 802.3 暂停帧的头部结构

目标地址	源地址	类型（MAC 控制帧）	暂停操作码	暂停时间
0x0180C2000001	6 个字节	0x8808	0x0001	2 个字节

网络配置寄存器包含了一个接收暂停允许位（13）。如果一个有效的暂停帧被收到，则用这个帧的暂停时间更新暂停时间寄存器，而不管它的当前内容和配置寄存器位 13 的状态。当一个暂停帧被收到，一个中断（12）就被触发，这里假定在中断掩码寄存器中这个中断被允许。如果网络配置寄存器的的位 13 被置位，并且暂停时间寄存器的值非 0，则不会再传输新的帧直至暂停时间寄存器的值减为 0。

一个新的暂停时间的加载而造成传输暂停的情况，仅发生在 EMAC 被配置为全双工操作模式时。如果 EMAC 被配置为半双工，则不会有传输暂停，不过暂停帧接收中断仍然会被触发。

一个有效的暂停帧有一个目的地址，这个地址或者匹配保存在特殊地址寄存器 1 的地址或者匹配 0x0180C2000001，有 MAC 控制帧类型 ID 0x8808 和暂停操作码 0x0001。有 FCS 或其它错误的暂停帧会被当做无效帧丢弃。接收到有效的暂停帧会增加暂停帧接收统计寄存器的值。

一旦传输已经被停止，暂停时间寄存器每 512 位次递减（也就是半字节模式下的 128 个 rx_clks）。用于测试时，如果网络配置寄存器的的位 12（retry test，重试测试）被置位，一旦传输已经被停止，暂停时间寄存器每隔一个 rx_clk 周期进行递减。如果网络配置寄存器的暂停允许位（13）没有置位，那么不管传输是否已经被停止，递减都会发生。

只要暂停时间寄存器的值递减为 0（），一个中断（13）就会被声明（假定在中断掩码

寄存器中它是被允许的)。

38．3．4 接收部件

接收器部件检查前导字段的有效性，FCS，对齐和长度，把收到的帧交给 DMA 部件并保存由地址检查部件使用的帧的目的地址。如果在帧的接收期间发现帧太长或者 rx_er 被声明，一个出错信息被发送到 DMA 部件。然后 DMA 部件停止向内存发送数据。在帧接收的最后，接收部件会告知 DMA 部件这个帧是好的还是坏的。如果帧是坏的，DMA 部件会恢复当前的接收缓冲区。接收部件会发信号给寄存器部件以增加对 CRC(FCS)错误，对齐错误，短帧，长帧，超长数据帧错误，接收符号错误的统计以及对长度字段不匹配的统计。

对网络配置寄存器的超长帧允许位置位可以允许 EMAC 接收多达 10240 个字节大小的超长帧。这个操作并不是 IEEE802.3 规范的一部分并且默认是被禁止的。当超长帧被允许时，收到的大于 10240 个字节的帧会被丢弃。

38．3．5 地址检查部件

地址检查（或者过滤）部件告知 DMA 部件是否应该将接收到的帧复制到内存区。一个帧是否被复制取决于网络配置寄存器中是否已经允许复制，以及外部匹配引脚的状态，特殊地址和哈希寄存器的内容，帧的目的地址。在 EMAC 的实现中，帧的源地址不会被检查。倘若网络配置寄存器的位 18 没有被置位，如果此时一个目的地址被收到，而 EMAC 正在半双工模式进行传输，那么帧不会被复制到内存区。如果位 18 置位，则在半双工模式传输时，帧可以被接收。

以太网帧每次传输一个字节，由最低位开始。以太网帧头部的六个字节（48 位）构成目的地址。目的地址的第一位，即帧的第一个字节的 LSB（Least Significated Bit，最低有效位的简称，这里指的就是帧头部第一个字节的最低位，即从右边数第一位。相对于 LSB 还有一个 MSB，是最高有效位的简称其含义与 LSB 相同，译注）是多播或单播地址的标志位：为 1 则是多播地址，为 0 则是单播地址。48 位全为 1 则是广播地址，适用于广播通讯的特殊情况。

EMAC 支持对四个特殊地址的识别。每一个特殊地址需要两个寄存器，低位特殊地址寄存器和高位特殊地址寄存器。低位特殊地址寄存器存储目的地址的前四个字节，高位寄存器存储后两个字节。存储的地址可以是独立的地址，也可以是组地址，即可以是本地的也可以是全局的。一旦它们已经被启用，接收帧的目的地址就会与存储在特殊地址寄存器中的数据进行比较。在复位或相应的低位特殊地址寄存器被写入时地址被取消。当高位特殊地址寄存器被写入时，它们被启用。当一个接收帧的地址匹配一个启用的地址时，这个帧会被复制到内存区。

接下来的例子说明了 MAC 地址为 21:43:65:87:A9:CB 的地址匹配寄存器的用法。

前导字 55
SFD D5
DA(字节 0 - LSB) 21
DA(字节 1) 43
DA(字节 2) 65
DA(字节 3) 87
DA(字节 4) A9
DA(字节 5 - MSB) CB
SA(LSB) 00
SA 00
SA 00

SA 00
SA 00
SA(MSB) 43
SA(LSB) 21

上面显示的序列是以太网帧的开头部分。传输的字节顺序是从高到低，如上所示。为了成功匹配特殊地址 1，相匹配的如下地址必须被设置到寄存器：

- 基地址＋0x98 0x87654321（低 32 位）
- 基地址＋0x9C 0x0000CBA9（高 16 位）

并且，为了与类型 ID 寄存器匹配，如下所示的值也必须被设置到寄存器：

- 基地址＋0XB8 0x00004321

38．3．6 广播地址

如果网络配置寄存器‘不允许广播地址（no broadcast）’位的值为 0，则接受广播地址 0xFFFFFFFFFFFF。

38．3．7 哈希寻址

哈希地址寄存器 64 位长，在存储器映射中占据两个位置。最低有效位保存在哈希寄存器底部，最高有效位在哈希寄存器上部。网络配置寄存器的单播哈希允许位和多播哈希允许位控制对哈希匹配帧的接收。使用下面的哈希运算过程，目的地址变为一个 6 位的进入 64 位哈希寄存器的索引。下面显示的哈希运算过程是对目的地址每隔 6 位进行异或：

hash_index[5] = da[5] ^ da[11] ^ da[17] ^ da[23] ^ da[29] ^ da[35] ^ da[41] ^ da[47]
hash_index[4] = da[4] ^ da[10] ^ da[16] ^ da[22] ^ da[28] ^ da[34] ^ da[40] ^ da[46]
hash_index[3] = da[3] ^ da[09] ^ da[15] ^ da[21] ^ da[27] ^ da[33] ^ da[39] ^ da[45]
hash_index[2] = da[2] ^ da[08] ^ da[14] ^ da[20] ^ da[26] ^ da[32] ^ da[38] ^ da[44]
hash_index[1] = da[1] ^ da[07] ^ da[13] ^ da[19] ^ da[25] ^ da[31] ^ da[37] ^ da[43]
hash_index[0] = da[0] ^ da[06] ^ da[12] ^ da[18] ^ da[24] ^ da[30] ^ da[36] ^ da[42]

da[0]表示收到的第一个字节的最低有效位，也就是多播/单播指示符，da[47]表示收到的最后一个字节的最高有效位。

如果哈希索引指向的一个哈希寄存器中的位被置位，那么这个帧按照是多播还是单播进行匹配。

如果多播哈希允许位置位，则一个多播匹配被告知。da[0]为 1 并且哈希索引指向哈希寄存器中一个被置位的位。

如果单播哈希允许位被置位，一个单播匹配被告知。da[0]为 0 并且哈希索引指向哈希寄存器中一个被置位的位。

为了接收所有的多播帧，哈希寄存器的所有位应该置 1 并且网络配置寄存器的多播哈希允许位应该置位。

38．3．8 复制所有帧（或混杂模式）

如果网络配置寄存器中复制所有帧位被置位，那么所有的非错误帧均会被复制到内存区。比如，超长帧，超短帧，或者有 FCS 错误，或者接收期间 rx_er 被声明，这样的帧会被抛弃，而其它帧会被接收。如果网络配置寄存器的位 19 置位，则有 FCS 错误的帧也会被复制到内存区。

38．3．9 类型 ID 检查

type_id 寄存器的内容与接收帧的长度/类型 ID 进行比较（也就是第 13 和 14 字节）。如果匹配，则接收缓冲区描述符状态字的位 22 被置位。该寄存器的复位状态为 0，这样就不可能与任何有效以太网帧的长度/类型 ID 匹配。

注意：类型 ID 匹配并不影响一个帧是否被复制到内存区。

38．3．10 VLAN 支持

以太网 802.1Q VLAN 标签的编码看起来像这样（VLAN，虚拟局域网的简称，详情请参阅《VLAN 技术原理》，译注）：

表 38-4 802.1Q VLAN 标签

TPID (Tag Protocol Identifier,标签协议标识符)16 位	TCI (Tag Control Information,标签控制信息)16 位
0x8100	前三位指明帧的优先级，然后是 CFI（规范格式）位，最后 12 位为 VID 位

VLAN 标签插入到帧的第 13 个字节处，增加额外的四个字节。如果 VID（VLAN 标识符）为空（0x000），这表明是一个优先级标记帧。MAC 能够支持长度达到 1536 个字节的帧，这比原来的以太网最大帧长度 1518 个字节多出了 18 个字节。这是通过设置网络配置寄存器的位 8 来做到的。

以下几个接收缓冲区描述符状态字位给出了 VLAN 标签帧的相关信息：

- 位 21 置位，如果收到的帧有 VLAN 标记（也就是类型 ID 为 0x8100）
- 位 20 置位，如果收到的帧有优先级标记（也就是类型 ID 为 0x8100 并且 VID 为空）。（如果位 20 被置位，则位 21 也同样被置位）
- 位 19，18 和 17 设置优先级，如果位 21 被置位
- 位 16 设置 CFI，如果位 21 被置位

38．3．11 PHY 维护

寄存器 EMAC_MAN 允许 EMAC 依靠 MDIO 接口与 PHY 进行通讯。它用于自动协商期间确保 EMAC 和 PHY 被配置为相同的速度和双工模式。

PHY 维护寄存器作为一个移位寄存器（shift register）实现。写该寄存器会启动移位操作，当网络状态寄存器的位 2 置位时，移位操作被通知结束（当网络配置寄存器的位 10 被设置为 0，位 11 被设置为 1 时，大约在 2000 个 MCK 之后）。这个位置位会产生一个中断。在这期间，寄存器的 MSB 在 MDIO 引脚上输出，而 LSB 在每一个 MDC（MDC，数据时钟管理的简称，译注）周期从 MDIO 引脚更新。这导致 MDIO 上一个 PHY 管理帧的传输。

在移位操作期间进行读会返回移位寄存器的当前内容。在管理操作的结尾，这些位已经被移回到它们原来的位置。对于一个读操作，将使用从 PHY 读取的数据更新数据位。重要的是向寄存器写入正确的值以确保产生一个有效的 PHY 管理帧。

MDIO 接口可以读取 IEEE 802.3 第 45 条描述的 PHYs 也可以读取 22 条描述的 PHYs。为了读取 45 条的 PHYs，位[31:28]应该写作 0x0011（原文如此，从后文看个人感觉应该是 0x0101，译注）。对于 MDC 产生的描述，请查阅后面的关于网络控制寄存器和网络配置寄存器的详细说明。

38．3．12 媒体独立接口

EMAC 即能连接 RMII（简化的 MII 接口，译注）接口，也能够连接 MII 接口。EMAC_USRIO

寄存器中的 RMII 位控制接口的选择。该位置位时，RMII 接口被选，否则 MII 接口被选。

就像 IEEE802.3u 标准描述的那样，MII 和 RMII 接口能够工作在 10Mb/s 和 100Mb/s 两种速率下。表 38-5 描述了 MII 和 RMII 接口使用的信号。

表 38-5 引脚配置

引脚名称	MII	RMII
ETXCK_EREFCK	ETXCK：传输时钟	EREFCK：参考时钟
ECRS	ECRS：载波监听	
ECOL	ECOL：冲突检测	
ERXDV	ERXDV：数据有效	ECRSDV：载波监听、数据有效
ERX0-ERX3	ERX0-ERX3：4-bit 接收数据	ERX0-ERX1：2-bit 接收数据
ERXER	ERXER：接收错误	ERXER：接收错误
ERXCK	ERXCK：接收时钟	
ETXEN	ETXEN：传输允许	ETXEN：传输允许
ETX0-ETX3	ETX0-ETX3：4-bit 传输数据	ETX0-ETX1：2-bit 传输数据
ETXER	ETXER：传输错误	

相对于 IEEE 802.3u MII，RMII 的意图是提供一种简化引脚数的选择。它使用两位进行传输（ETX0 和 ETX1），两位用于接收（ERX0 和 ERX1）。它有一个传输允许（ETXEN），一个接收错误（ERXER），一个载波监听（ECRS_DV），以及一个 50MHz 的参考时钟用于 100Mb/s 线速。

38. 3. 12. 1 RMII 传输和接收操作

RMII 和 MII 在内部使用同样的信号进行操作。RMII 以一种更加有效的引脚方式映射这些信号。传输和接收的位数从 4-bit 并行方式变为 2 倍时钟频率的 2-bit 并行方式。载波监听和数据有效信号组合成 ECRSDV 信号。这个信号包含载波监听，FIFO 状态以及数据有效性这些信息。RMII 模式不使用传输错误位（ETXER）和冲突检测（ECOL）。

38．4 编程接口

38．4．1 初始化

38．4．1．1 配置

在传输和接收流程被禁止时 EMAC 初始化配置（比如回送模式，频率系数）必须完成。注意本文先前对网络控制寄存器和网络配置寄存器的说明。

要改变回送模式（loop-back mode），必须遵守如下步骤：

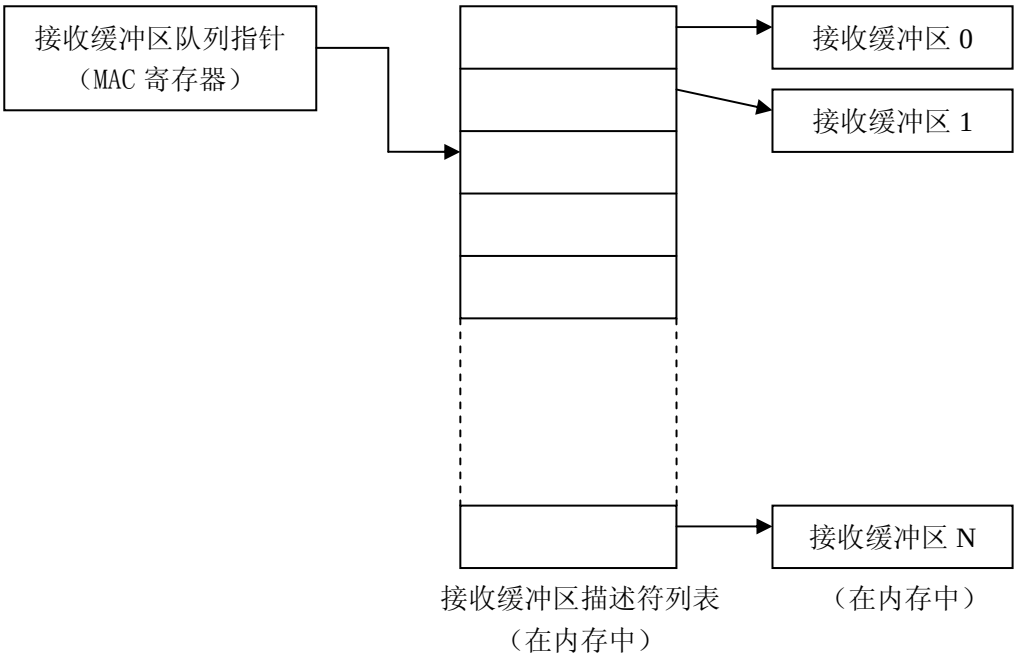
1. 写网络控制寄存器以禁止传输和接收流程
2. 写网络控制寄存器以改变回送模式
3. 写网络控制寄存器以重新允许传输和接收流程

注意：这些步骤不能合并，必须遵守。

38．4．1．2 接收缓冲区列表

收到的数据被写入系统内存的数据区（也就是缓冲区）。这些缓冲区又被链接进同样驻留在主存储区的数据结构中。就像在本文第 3 页“接收缓冲区描述符条目”中所定义的一样，这个数据结构（接收缓冲区队列）是一个描述符条目序列，它指向这个数据结构。

图 38-2 接收缓冲区列表



要建立缓冲区列表：

1. 在系统内存分配 n 个 128 个字节的缓冲区
2. 在系统内存为接收缓冲区描述符条目分配 2n 个字的区域并建立 n 个条目。标记列表中的所有条目为 EMAC 所有，即字 0 的第 0 位置 0
3. 如果少于 1024 个缓冲区被定义，最后一个描述符必须标记结束位（wrap bit，字 0 的第 1 位置 1）

4. 把接收缓冲区描述符条目地址写入 receive_buffer 队列指针寄存器
5. 最后，写地址识别寄存器然后再写网络控制寄存器，允许接收流程

38. 4. 1. 3 传输缓冲区列表

传输的数据从系统内存的数据区（缓冲区）读取，这些缓冲区又被链接进同样驻留在主存储区的数据结构中。这个数据结构（传输缓冲区队列）是一个描述符条目序列（参阅第 6 页表 38-2），它指向这个数据结构。

要建立缓冲区列表：

1. 在系统内存分配 n 个用于传输的缓冲区，长度在 1 到 2047 个字节之间。每帧最多能够使用 128 个缓冲区
2. 在系统内存为传输缓冲区描述符条目分配 2n 个字大小的区域并建立 n 个条目。标记列表中的所有条目为 EMAC 所有，即字 1 的第 31 位设置为 0。
3. 如果少于 1024 个缓冲区被定义，最后一个描述符必须标记结束位——字 1 的第 30 位设置为 1。
4. 把传输缓冲区描述符条目地址写入 EMAC 的 transmit_buffer 队列指针寄存器。
5. 最后，写网络控制寄存器允许传输流程。

38. 4. 1. 4 地址匹配

EMAC 的哈希地址寄存器对和四个特殊地址寄存器对必须按照需求写入值。每一个寄存器对由低位寄存器和高位寄存器组成，低位寄存器最先被写入。对一个具体的寄存器对来说，低位寄存器被写入之后其地址匹配是被禁止的，当高位寄存器被写入时，地址匹配被重新允许。关于地址匹配的详细信息参见第 8 页“地址检查部件”一节。无论是允许还是禁止接收流程，每一个寄存器对都可以在任何时刻写入。

38. 4. 1. 5 中断

EMAC 拥有 14 个中断源。这些中断源相“或”（即它们之间是逻辑“或”关系，只要有一个中断源被触发，即可触发中断，译注）产生一个单一的中断。依赖于全面的系统设计，中断被传递到中断控制器，然后再由中断控制器告知 CPU，CPU 进入中断处理（参见 AIC 编程数据手册）。读取中断状态寄存器就可以确定产生的是哪一个中断。注意，读取操作会使寄存器对自身清零。复位后，所有的中断是被禁止的。要想允许某个中断，将中断使能寄存器的相关中断位置 1 即可。禁止某个中断，将中断禁止寄存器的相关中断位置 1。要检查某个中断是被允许还是禁止的，读取中断掩码寄存器：如果该位为 1，则中断是被禁止的。

38. 4. 1. 6 传输帧

要设置一个帧以便传输：

1. 在网络控制寄存器中允许传输
2. 为传输数据分配一块系统内存区。它不必是连续的内存区。可以使用不同的字节长度，只要它们在字节边界结束
3. 设置传输缓冲区列表
4. 设置网络控制寄存器以允许传输和中断
5. 把要传输的数据写入这些缓冲区
6. 把地址写入传输缓冲区描述符队列指针寄存器
7. 把控制和长度写入传输缓冲区描述符条目的字 1
8. 写网络控制寄存器的传输开始位

38. 4. 1. 7 接收帧

当收到一个帧并且接收流程被允许时，EMAC 检查地址，并在如下情况下，将这个帧写入系统内存：

- 如果它与四个特殊地址寄存器之一匹配
- 如果它匹配哈希地址运算
- 如果它是一个广播地址（0xFFFFFFFFFFFF）并且广播被允许
- 如果 EMAC 被配置为复制所有帧

接收缓冲区队列指针寄存器指向下一个条目（参见第 3 页表 38-1），EMAC 将其作为帧的写入地址。一旦这个帧已经被完整成功的接收并写入系统内存，EMAC 会立即更新接收缓冲区描述符条目，标明地址匹配的原因，标记这块区域为软件所有。这些工作一完成，中断接收结束位就会被置位。然后，软件负责处理缓冲区中的数据，处理完毕，软件将所有权位（ownership bit）写回到 0 释放缓冲区。

如果 EMAC 不能够以与到达帧相匹配的速率写数据，一个中断接收过速就会被置位。如果没有接收缓冲区可用，即下一个缓冲区仍然由软件所有，中断接收缓冲区不可用被置位。如果帧没有被成功接收，统计寄存器加 1，没有通知软件，帧就会被抛弃。

38．5 以太网 MAC 10/100（EMAC）用户接口

表 38-6 以太网 MAC 10/100（EMAC）寄存器映射

偏移地址	寄存器	名称	访问类型	复位值
0x00	网络控制寄存器	EMAC_NCR	读/写	0
0x04	网络配置寄存器	EMAC_NCFG	读/写	0x800
0x08	网络状态寄存器	EMAC_NSR	只读	-
0x0C	保留			
0x10	保留			
0x14	传输状态寄存器	EMAC_TSR	读/写	0x0000_0000
0x18	接收缓冲区队列指针寄存器	EMAC_RBQP	读/写	0x0000_0000
0x1C	传输缓冲区队列指针寄存器	EMAC_TBQP	读/写	0x0000_0000
0x20	接收状态寄存器	EMAC_RSR	读/写	0x0000_0000
0x24	中断状态寄存器	EMAC_ISR	读/写	0x0000_0000
0x28	中断使能寄存器	EMAC_IER	只写	-
0x2C	中断禁止寄存器	EMAC_IDR	只写	-
0x30	中断掩码寄存器	EMAC_IMR	只读	0x0000_3FFF
0x34	PHY 维护寄存器	EMAC_MAN	读/写	0x0000_0000
0x38	暂停时间寄存器	EMAC_PTR	读/写	0x0000_0000
0x3C	暂停帧接收寄存器	EMAC_PFR	读/写	0x0000_0000
0x40	帧传输 OK 寄存器	EMAC_FTO	读/写	0x0000_0000
0x44	单冲突帧寄存器	EMAC_SCF	读/写	0x0000_0000
0x48	多冲突帧寄存器	EMAC_MCF	读/写	0x0000_0000
0x4C	帧接收 OK 寄存器	EMAC_FRO	读/写	0x0000_0000
0x50	帧检验序列错误寄存器	EMAC_FCSE	读/写	0x0000_0000
0x54	对齐错误寄存器	EMAC_ALE	读/写	0x0000_0000
0x58	延迟传输帧寄存器	EMAC_DTF	读/写	0x0000_0000
0x5C	后期冲突（Late Collisions）寄存器①	EMAC_LCOL	读/写	0x0000_0000
0x60	过多冲突寄存器	EMAC_ECOL	读/写	0x0000_0000
0x64	传输欠速错误寄存器	EMAC_TUND	读/写	0x0000_0000

0x68	载波监听错误寄存器	EMAC_CSE	读/写	0x0000_0000
0x6C	接收设备错误寄存器	EMAC_RRE	读/写	0x0000_0000
0x70	接收过速错误寄存器	EMAC_ROV	读/写	0x0000_0000
0x74	接收符号错误寄存器	EMAC_RSE	读/写	0x0000_0000
0x78	长度超出错误寄存器	EMAC_ELE	读/写	0x0000_0000
0x7C	超长帧接收寄存器	EMAC_RJA	读/写	0x0000_0000
0x80	过小帧（Undersize Frames）寄存器②	EMAC_USF	读/写	0x0000_0000
0x84	SQE测试错误寄存器③	EMAC_STE	读/写	0x0000_0000
0x88	接收长度字段不匹配寄存器	EMAC_RLE	读/写	0x0000_0000
0x90	低位哈希寄存器[31:0]	EMAC_HRB	读/写	0x0000_0000
0x94	高位哈希寄存器[63:32]	EMAC_HRT	读/写	0x0000_0000
0x98	低位特殊地址寄存器 1	EMAC_SA1B	读/写	0x0000_0000
0x9C	高位特殊地址寄存器 1	EMAC_SA1T	读/写	0x0000_0000
0xA0	低位特殊地址寄存器 2	EMAC_SA2B	读/写	0x0000_0000
0xA4	高位特殊地址寄存器 2	EMAC_SA2T	读/写	0x0000_0000
0xA8	低位特殊地址寄存器 3	EMAC_SA3B	读/写	0x0000_0000
0xAC	高位特殊地址寄存器 3	EMAC_SA3T	读/写	0x0000_0000
0xB0	低位特殊地址寄存器 4	EMAC_SA4B	读/写	0x0000_0000
0xB4	高位特殊地址寄存器 4	EMAC_SA4T	读/写	0x0000_0000
0xB8	类型 ID 检查寄存器	EMAC_TID	读/写	0x0000_0000
0xC0	用户输入/输出（I/O）寄存器	EMAC_USRIO	读/写	0x0000_0000
0xC8-0xF8	保留	-	-	-
0xC8-0xFC	保留	-	-	-

译注：

① Late Collisions，这里译为后期冲突。以太网分为两类：早期（early）和（late）。Early Collision 由发送方在帧的前 64 个字节进入线路之前检测到的冲突。这种冲突通常导致小的被中断的帧，称为 Runt。Late Collisions 发生在帧的多个字节(大于 64)被发送到线路中时，理论上，以太网不会产生此类冲突。

② Undersize Frames，这里译为过小帧，指长度小于最小合法帧长(64 字节)但 CRC 正确的帧。

③ SQE，signal quality error，信号质量错误的英文简称。由收发器传输给控制器的信息，通知控制器碰撞电路是否已恢复工作。又称为 heart beat（心跳）。

38．5．1 网络控制寄存器

寄存器名称：EMAC_NCR

访问类型： 读/写

31	30	29	28	27	26	25	24
–	–	–	–	–	–	–	–
23	22	21	20	19	18	17	16
–	–	–	–	–	–	–	–
15	14	13	12	11	10	9	8
–	–	–	–	–	THALT	TSTART	BP
7	6	5	4	3	2	1	0
WESTAT	INCSTAT	CLRSTAT	MPE	TE	RE	LLB	LB

- LB：回送（LoopBack）
  向 PHY 声明一个回送信号。
- LLB：本地回送（Loopback local）
  连接 txd 和 rxd，tx_en 和 rx_dv，强制进入全双工模式，用 pclk 的四分频驱动 rx_clk 和 tx_clk。rx_clk 和 tx_clk 能够作为切换 EMAC 进入或退出内部回送的脉冲信号。重要的是进行内部回送切换时接收和传输流程已经被禁止。
- RE：接收允许（Receive enable）
  置位，允许 EMAC 接收数据。复位，帧接收立即停止并清空接收 FIFO。接收队列指针寄存器不受影响。
- TE：传输允许（Transmit enable）
  置位，允许以太网发送器发送数据。复位，立即停止传输，传输 FIFO 和控制寄存器被清空，传输队列指针寄存器重新指向传输描述符列表的开始位置。
- MPE：管理端口允许（Management port enable）
  置 1 允许管理端口，置 0，强制 MDIO 为高阻抗状态，MDC 为低。
- CLRSTAT：清空统计寄存器（Clear statistics registers）
  该位只写。写 1，清空统计寄存器。
- INCSTAT：统计寄存器加 1（Increment statistics registers）
  该位只写。写 1 将为所有统计寄存器加 1，为测试使用。
- WESTAT：统计寄存器写允许（Write enable for statistics register）
  置 1，使统计寄存器可写，为测试使用。
- BP：反压（back pressure）
  如果设置为半双工模式，在所有的接收帧上强制冲突。
- TSTART：开始传输（Start transmission）
  向该位写 1，开始传输
- THALT：传输停止（Transmit halt）
  向该位写 1，任何正在进行的帧传输将立即结束。

38．5．2 网络配置寄存器

寄存器名称：EMAC_NCFGR

访问类型： 读/写

31	30	29	28	27	26	25	24
–	–	–	–	–	–	–	–
23	22	21	20	19	18	17	16
–	–	–	–	IRXFCS	EFRHD	DRFCS	RLCE
15	14	13	12	11	10	9	8
RBOF		PAE	RTY	CLK			BIG
7	6	5	4	3	2	1	0
UNI	MTI	NBC	CAF	JFRAME	–	FD	SPD

- SPD：速度（Speed）
  置 1，以 100Mbit/s 的线速进行操作，置 0 为 10Mbit/s。
- FD：全双工（Full Duplex）
  如果置 1，传输部件忽略冲突和载波监听状态并在传输时允许接收。
- CAF：复制所有帧（Copy All Frames）
  置 1，接收所有有效帧。
- JFRAME：超长帧（Jumbo Frames）
  置 1 允许接受最大 10240 字节的超长帧。
- NBC：不允许广播地址（No broadcast）
  置 1，地址为广播地址的帧不被接收。
- MTI：多播哈希允许（Multicast Hash Enable）
  当该位置位，并且目的地址的 6-bit 哈希运算指向的一个哈希寄存器中的位被置位时，多播帧被接收。
- UNI：单播哈希允许（Unicast Hash Enable）
  当该位置位，并且目的地址的 6-bit 哈希运算指向的一个哈希寄存器中的位被置位时，单播帧被接收。
- BIG：接收 1536 字节的帧（Receive 1536 bytes frames）
  置位，EMAC 能够接收最大 1536 字节长度的帧。正常情况下，EMAC 将拒绝任何超过 1518 字节的帧。
- CLK：MDC 时钟分频器（MDC clock divider）
  按照系统时钟速度设置。其设置值由使用多少分频产生 MDC 来确定。为了与 802.3 一致，MDC 不能超过 2.5MHz（MDC 仅在 MDIO 的读写操作期间有效）。

CLK	MDC
00	MCK8 分频（MCK 最大 20MHz）
01	MCK16 分频（MCK 最大 40MHz）
10	MCK32 分频（MCK 最大 80MHz）
11	MCK64 分频（MCK 最大 160MHz）

- RTY：重试测试（Retry test）
  对于正常操作必须设置为 0。如果设置为 1，则冲突之间的补偿时间总是一个时隙。将该位置 1 有助于测试过多的重试情形。同样，用于暂停帧测试将使暂停计数器从每 512 位次递减一次改为每个 rx_clk 周期递减一次。

- PAE：暂停允许（Pause Enable）
  如果置位，在收到一个有效的暂停帧后传输暂停。
- RBOF：接收缓冲区偏移（Receive Buffer Offset）
  指定接收的数据从第一个接收缓冲区的开始位置被偏移的字节数。

RBOF	Offset
00	没有偏移
01	偏移一个字节
10	偏移两个字节
11	偏移三个字节

- RLCE：接收长度字段检查允许（Receive Length field Checking Enable）
  如果置位，实际长度小于长度字段值的帧被抛弃。在帧的 13、14 字节处——长度/类型 ID = 0600——这样的帧不会因为长度错误被计数。
- DRFCS：抛弃收到的 FCS（Discard Receive FCS）
  如果置位，收到的帧的 FCS 字段不会被复制到内存。
- EFRHD：
  传输时，允许帧在半双工模式下被接收。
- IRXFCS：忽略 RX RCS（Ignore RX FCS）
  如果置位，有 FCS/CRC 错误的帧会被拒绝并且不对 FCS 错误进行统计计数。对于正常操作，该位必须设置为 0。

38．5．3 网络状态寄存器

寄存器名称：EMAC_NSR

访问类型： 只读

31	30	29	28	27	26	25	24
–	–	–	–	–	–	–	–
23	22	21	20	19	18	17	16
–	–	–	–	–	–	–	–
15	14	13	12	11	10	9	8
–	–	–	–	–	–	–	–
7	6	5	4	3	2	1	0
–	–	–	–	–	IDLE	MDIO	–

- MDIO
  返回 MDIO 引脚的状态。对于读取管理帧，使用 PHY 维护寄存器比使用该位更好。
- IDLE
  0 = PHY 管理逻辑处于空闲状态（也就是已经完成操作）。
  1 = PHY 逻辑正在运行。

38．5．4 传输状态寄存器

寄存器名称：EMAC_TSR

访问类型： 读/写

31	30	29	28	27	26	25	24
–	–	–	–	–	–	–	–
23	22	21	20	19	18	17	16
–	–	–	–	–	–	–	–
15	14	13	12	11	10	9	8
–	–	–	–	–	–	–	–
7	6	5	4	3	2	1	0
–	UND	COMP	BEX	TGO	RLE	COL	UBR

读取这个寄存器可以获得传输状态的详细信息。一旦读取，个别位可以通过写 1 清除。写这个寄存器是不可能将某位置 1 的。

- UBR：使用位读（Used Bit Read）
  当一个传输缓冲区描述符被读取时，用它的使用位设置值对该位进行设置。向该位写 1 以清除该位。
- COL：冲突发生（Collision Occurred）
  由冲突声明来设置。向该位写 1 以清除该位。
- RLE：超出重试限制（Retry Limit exceeded）
  向该位写 1 以清除该位。
- TGO：传输进行（Transmit Go）
  如果为高，则传输处于活跃状态。
- BEX: 缓冲区耗尽（Buffers exhausted mid frame）
  如果在一个帧的传输期间缓冲区被用完，则停止传输，FCS 将被破坏并且 tx_er 被声明。向该位写 1 以清除该位。
- COMP：传输完成（Transmit Complete）
  当帧已经被传输时置位。向该位写 1 以清除该位。
- UND：传输欠速（Transmit Underrun）
  当传输 DMA 或者因为总线不能及时响应，或者因为一个非 OK hresp（总线错误）被返回，或者因为帧传输中途一个 used bit 被读取而不能从内存读取数据时，该位被置位。如果这种情况发生，发送器会强制破坏 CRC。向该位写 1 以清除该位。

38．5．5 接收缓冲区队列指针寄存器

寄存器名称：EMAC_RBQP

访问类型： 读/写

31	30	29	28	27	26	25	24
ADDR							
23	22	21	20	19	18	17	16
ADDR							
15	14	13	12	11	10	9	8
ADDR							
7	6	5	4	3	2	1	0
ADDR						–	–

这个寄存器指向接收缓冲区队列当前正在被使用的条目。它被写入接收缓冲区描述符列表的开始位置。当缓冲区被使用时，低位加 1，直至 1024 个缓冲区之后或遇到结束位（wrap）被置位的条目时。

读取这个寄存器将返回当前正在被访问的描述符的位置。缓冲区被使用时，该值加 1。软件不应该将这个寄存器用于确定删除队列中哪个位置的帧，因为这个队列会随着帧的接收而不断的变化。替代方法是，软件可以通过检查缓冲区描述符队列的 used 位来完成这项工作。

接收缓冲区的写与传输缓冲区的读一样，同样包括两个字的突发访问。建议位 2 总是写 0 以避免突发访问超越了 AMBA 规范 3.6 节规定的 1K 边界的限制。

- ADDR：接收缓冲区队列指针地址（Receive buffer queue pointer address）
  写入接收队列开始位置的地址，作为一个指针来读取，其指向当前正在被使用的缓冲区。

38．5．6 传输缓冲区队列指针寄存器

寄存器名称：EMAC_TBQP

访问类型： 读/写

31	30	29	28	27	26	25	24
ADDR							
23	22	21	20	19	18	17	16
ADDR							
15	14	13	12	11	10	9	8
ADDR							
7	6	5	4	3	2	1	0
ADDR						–	–

这个寄存器指向传输缓冲区队列当前正在被使用的条目。它被写入传输缓冲区描述符列表的开始位置。当缓冲区被使用时，低位加 1，直至 1024 个缓冲区之后或遇到结束位（wrap）被置位的条目时。如果传输状态寄存器的位 3 为低，则这个寄存器只能写入。

因为传输缓冲区的读包括两个字的突发访问，建议位 2 总是写 0 以避免突发访问超越了 AMBA 规范 3.6 节规定的 1K 边界的限制。

- ADDR：传输缓冲区队列指针地址（Transmit buffer queue pointer address）
  写入传输队列开始位置的地址，作为一个指针来读取，其指向正在被传输或将要被传输的帧的第一个缓冲区。

38．5．7 接收状态寄存器

寄存器名称：EMAC_RSR

访问类型： 读/写

31	30	29	28	27	26	25	24
–	–	–	–	–	–	–	–
23	22	21	20	19	18	17	16
–	–	–	–	–	–	–	–
15	14	13	12	11	10	9	8
–	–	–	–	–	–	–	–
7	6	5	4	3	2	1	0
–	–	–	–	–	OVR	REC	BNA

读取这个寄存器可以获得接收状态的详细信息。一旦读取，个别位可以通过写 1 清除。写这个寄存器是不可能将某位置 1 的。

- BNA：缓冲区不可用（Buffer Not Available）
  尝试获取一个新的缓冲区而指针指示这个缓冲区为处理器所有。每当一个新的帧开始，DMA 都会重新读取这个指针直至一个有效的指针被发现。每一次尝试失败该位都将会被置位，即使它自从被清除以来尚未有一次成功的指针读取。
  向该位写 1 以清除该位。
- REC：帧被接收（Frame Received）
  一个或更多的帧已经被接收并被放置到内存。向该位写 1 以清除该位。
- OVR：接收过速（Receive Overrun）
  总线不能及时响应，或者一个非 OK hresp（总线错误）被返回都会导致 DMA 部件不能向内存存储接收到的帧。如果这种情况发生，缓冲区会被恢复。
  向该位写 1 以清除该位。

38．5．8 中断状态寄存器

寄存器名称：EMAC_ISR

访问类型： 读/写

31	30	29	28	27	26	25	24
–	–	–	–	–	–	–	–
23	22	21	20	19	18	17	16
–	–	–	–	–	–	–	–
15	14	13	12	11	10	9	8
–	–	PTZ	PFR	HRESP	ROVR		–
7	6	5	4	3	2	1	0
TCOMP	TXERR	RLE	TUND	TXUBR	RXUBR	RCOMP	MFD

- MFD：管理帧完成（Management Frame Done）
  PHY 维护寄存器已经完成操作。在读取时该位被清除。
- RCOMP：接收结束（Receive Complete）
  帧已经被存储到内存。在读取时该位被清除。
- RXUBR：接收使用位读（Receive Used Bit Read）
  当一个接收缓冲区描述符被读取时，用它的使用位（used bit）设置值对该位进行设置。在读取时该位被清除。
- TXUBR：传输使用位读（Transmit Used Bit Read）
  当一个传输缓冲区描述符被读取时，用它的使用位（used bit）设置值对该位进行设置。在读取时该位被清除。
- TUND：以太网传输缓冲区欠速（Ethernet Transmit Buffer Underrun）
  传输 DMA 不能及时的取出帧进行传输或者没有返回一个 OK HRESP。如果在帧传输中途一个 used 位被读取或者一个新的传输队列指针被写入时该位同样会被置位。在读取时该位被清除。
- RLE：超出重试限制（Retry Limit Exceeded）
  在读取时该位被清除。
- TXERR：传输错误（Transmit Error）
  传输缓冲区在帧的传输中途被用完——传输错误。在读取时该位被清除。
- TCOMP：传输结束（Transmit Complete）
  帧完成传输时置位。在读取时该位被清除。
- ROVR：接收过速（Receive Overrun）
  当接收过速状态位置位时置位。在读取时该位被清除。
- HRESP：Hresp not OK
  当 DMA 部件看到一个总线错误时置位。在读取时该位被清除。
- PFR：暂停帧接收（Pause Frame Received）
  指示收到一个有效的暂停帧。在读取时该位被清除。
- PTZ：暂停时间为 0（Pause Time Zero）
  当暂停时间寄存器，0x38 递减为 0 时置位。在读取时该位被清除。

38．5．9 中断使能寄存器

寄存器名称：EMAC_IER

访问类型： 只写

31	30	29	28	27	26	25	24
–	–	–	–	–	–	–	–
23	22	21	20	19	18	17	16
–	–	–	–	–	–	–	–
15	14	13	12	11	10	9	8
–	–	PTZ	PFR	HRESP	ROVR		–
7	6	5	4	3	2	1	0
TCOMP	TXERR	RLE	TUND	TXUBR	RXUBR	RCOMP	MFD

- MFD：管理帧发送（Management Frame sent）
  管理帧完成中断使能。
- RCOMP：接收结束（Receive Complete）
  接收结束中断使能。
- RXUBR：接收使用位读（Receive Used Bit Read）
  接收使用位读中断使能。
- TXUBR：传输使用位读（Transmit Used Bit Read）
  传输使用位读中断使能。
- TUND：以太网传输缓冲区欠速（Ethernet Transmit Buffer Underrun）
  传输欠速中断使能。
- RLE：超出重试限制（Retry Limit Exceeded）
  重试限制超出中断使能。
- TXERR
  传输中途传输缓冲区用尽中断使能。
- TCOMP：传输结束（Transmit Complete）
  传输结束中断使能。
- ROVR：接收过速（Receive Overrun）
  接收过速中断使能。
- HRESP：Hresp not OK
  Hresp not OK 中断使能。
- PFR：暂停帧接收（Pause Frame Received）
  暂停帧接收中断使能。
- PTZ：暂停时间为 0（Pause Time Zero）
  暂停时间为 0 中断使能。

38．5．10 中断禁止寄存器

寄存器名称：EMAC_IDR

访问类型： 只写

31	30	29	28	27	26	25	24
–	–	–	–	–	–	–	–
23	22	21	20	19	18	17	16
–	–	–	–	–	–	–	–
15	14	13	12	11	10	9	8
–	–	PTZ	PFR	HRESP	ROVR		–
7	6	5	4	3	2	1	0
TCOMP	TXERR	RLE	TUND	TXUBR	RXUBR	RCOMP	MFD

- MFD：管理帧发送（Management Frame sent）
  禁止管理帧完成中断。
- RCOMP：接收结束（Receive Complete）
  禁止接收结束中断。
- RXUBR：接收使用位读（Receive Used Bit Read）
  禁止接收使用位读中断。
- TXUBR：传输使用位读（Transmit Used Bit Read）
  禁止传输使用位读中断。
- TUND：以太网传输缓冲区欠速（Ethernet Transmit Buffer Underrun）
  禁止传输欠速中断。
- RLE：超出重试限制（Retry Limit Exceeded）
  禁止重试限制超出中断。
- TXERR
  禁止传输中途传输缓冲区用尽中断。
- TCOMP：传输结束（Transmit Complete）
  禁止传输结束中断。
- ROVR：接收过速（Receive Overrun）
  禁止接收过速中断。
- HRESP：Hresp not OK
  禁止 Hresp not OK 中断。
- PFR：暂停帧接收（Pause Frame Received）
  禁止暂停帧接收中断。
- PTZ：暂停时间为 0（Pause Time Zero）
  禁止暂停时间为 0 中断。

38．5．11 中断掩码寄存器

寄存器名称：EMAC_IMR

访问类型： 只读

31	30	29	28	27	26	25	24
–	–	–	–	–	–	–	–
23	22	21	20	19	18	17	16
–	–	–	–	–	–	–	–
15	14	13	12	11	10	9	8
–	–	PTZ	PFR	HRESP	ROVR		–
7	6	5	4	3	2	1	0
TCOMP	TXERR	RLE	TUND	TXUBR	RXUBR	RCOMP	MFD

- MFD：管理帧发送（Management Frame sent）
  管理帧完成中断掩码。
- RCOMP：接收结束（Receive Complete）
  接收结束中断掩码。
- RXUBR：接收使用位读（Receive Used Bit Read）
  接收使用位读中断掩码。
- TXUBR：传输使用位读（Transmit Used Bit Read）
  传输使用位读中断掩码。
- TUND：以太网传输缓冲区欠速（Ethernet Transmit Buffer Underrun）
  传输欠速中断掩码。
- RLE：超出重试限制（Retry Limit Exceeded）
  重试限制超出中断掩码。
- TXERR
  传输中途传输缓冲区用尽中断掩码。
- TCOMP：传输结束（Transmit Complete）
  传输结束中断掩码。
- ROVR：接收过速（Receive Overrun）
  接收过速中断掩码。
- HRESP：Hresp not OK
  Hresp not OK 中断掩码。
- PFR：暂停帧接收（Pause Frame Received）
  暂停帧接收中断掩码。
- PTZ：暂停时间为 0（Pause Time Zero）
  暂停时间为 0 中断掩码。

38．5．12 PHY 维护寄存器

寄存器名称：EMAC_MAN

访问类型： 读/写

31	30	29	28	27	26	25	24
SOF		RW		PHYA			

23	22	21	20	19	18	17	16
PHYA	REGA					CODE	

15	14	13	12	11	10	9	8
DATA							

7	6	5	4	3	2	1	0
DATA							

- DATA
  对于写操作，它是要写入 PHY 的数据。读操作之后，它包含从 PHY 读取的数据。
- CODE
  必须写入 10。读与写相同。
- REGA：寄存器地址（Register Address）
  指定要访问的 PHY 中寄存器的地址。
- PHYA：PHY 地址（PHY Address）
- RW：读/写（Read/Write）
  10 为读，01 为写。其它任何值都是一个无效的 PHY 管理帧。
- SOF：帧头（Start of frame）
  对于一个有效帧必须写 01。

38．5．13 暂停时间寄存器

寄存器名称：EMAC_PTR

访问类型： 读/写

31	30	29	28	27	26	25	24
–	–	–	–	–	–	–	–

23	22	21	20	19	18	17	16
–	–	–	–	–	–	–	–

15	14	13	12	11	10	9	8
PTIME							

7	6	5	4	3	2	1	0
PTIME							

- PTIME：暂停时间（Pause Time）
  保存暂停时间寄存器的当前值，其值每 512 位次递减。

38．5．14 低位哈希寄存器

寄存器名称：EMAC_HRB

访问类型： 读/写

31	30	29	28	27	26	25	24
ADDR							
23	22	21	20	19	18	17	16
ADDR							
15	14	13	12	11	10	9	8
ADDR							
7	6	5	4	3	2	1	0
ADDR							

- ADDR：
  哈希地址寄存器的位 31:0。参见第 9 页“哈希寻址”一节。

38．5．15 高位哈希寄存器

寄存器名称：EMAC_HRT

访问类型： 读/写

31	30	29	28	27	26	25	24
ADDR							
23	22	21	20	19	18	17	16
ADDR							
15	14	13	12	11	10	9	8
ADDR							
7	6	5	4	3	2	1	0
ADDR							

- ADDR：
  哈希地址寄存器的位 63:32。参见第 9 页“哈希寻址”一节。

38．5．16 低位特殊地址寄存器 1-4

寄存器名称：EMAC_SA1B，EMAC_SA2B，EMAC_SA3B，EMAC_SA4B

访问类型： 读/写

31	30	29	28	27	26	25	24
ADDR							

23	22	21	20	19	18	17	16
ADDR							

15	14	13	12	11	10	9	8
ADDR							

7	6	5	4	3	2	1	0
ADDR							

- ADDR

  目的地址的低有效位。位 0 指定地址是单播还是多播并符合收到的第一个字节的最低有效位。

38．5．17 高位特殊地址寄存器 1-4

寄存器名称：EMAC_SA1T，EMAC_SA2T，EMAC_SA3T，EMAC_SA4T

访问类型： 读/写

31	30	29	28	27	26	25	24
–	–	–	–	–	–	–	–

23	22	21	20	19	18	17	16
–	–	–	–	–	–	–	–

15	14	13	12	11	10	9	8
ADDR							

7	6	5	4	3	2	1	0
ADDR							

- ADDR

  目的地址的高有效位，位 32 到 47。

译注：这里省略原文 38.5.18－38.5.23 共 6 节内容，这 6 节是对特殊地址寄存器 2－3 的介绍，内容与寄存器 1 完全一样，上文已对其作了统一介绍，故省略。

38．5．24 类型 ID 检查寄存器

寄存器名称：EMAC_TID

访问类型： 读/写

31	30	29	28	27	26	25	24
–	–	–	–	–	–	–	–
23	22	21	20	19	18	17	16
–	–	–	–	–	–	–	–
15	14	13	12	11	10	9	8
TID							
7	6	5	4	3	2	1	0
TID							

- **TID**：类型 ID 检查（Type ID Checking）
  作与接收帧的类型 ID/长度字段比较之用。

38．5．25 用户输入/输出寄存器

寄存器名称：EMAC_USRIO

访问类型： 读/写

31	30	29	28	27	26	25	24
–	–	–	–	–	–	–	–
23	22	21	20	19	18	17	16
–	–	–	–	–	–	–	–
15	14	13	12	11	10	9	8
–	–	–	–	–	–	–	–
7	6	5	4	3	2	1	0
–	–	–	–	–	–	CLKEN	RMII

- **RMII**
  置位，使能 RMII 操作模式。复位，选择 MII 模式。
- **CLKEN**
  置位，收发器输入时钟使能。该位置 0，则收发器不使用时会减少用电。

38．5．25 EMAC 统计寄存器

这些寄存器在读时复位为 0，当计数到最大值时，所有值为 1。应对其频繁读取以防止丢失数据。网络控制寄存器的接收允许位置位只会使接收统计寄存器递增。要想写这些寄存器，必须置位网络控制寄存器的位 7。下面将逐一介绍这些统计寄存器。

38．5．26．1 暂停帧接收寄存器

寄存器名称：EMAC_PFR

访问类型： 读/写

31	30	29	28	27	26	25	24
–	–	–	–	–	–	–	–
23	22	21	20	19	18	17	16
–	–	–	–	–	–	–	–
15	14	13	12	11	10	9	8
FROK							
7	6	5	4	3	2	1	0
FROK							

- FROK：暂停帧接收 OK（Pause Frames Received OK）
  一个 16 位的寄存器，用于统计收到的有效暂停帧的数量。一个有效的暂停帧其长度在 64 到 1518（如果网络配置寄存器的位 8 置位则是 1536）字节之间并且没有 FCS，对齐和接收符号错误。

38．5．26．2 帧传输 OK 寄存器

寄存器名称：EMAC_FTO

访问类型： 读/写

31	30	29	28	27	26	25	24
–	–	–	–	–	–	–	–
23	22	21	20	19	18	17	16
FTOK							
15	14	13	12	11	10	9	8
FTOK							
7	6	5	4	3	2	1	0
FTOK							

- FTOK：帧传输 OK（Frames Transmitted OK）
  一个 24 位寄存器，用于统计成功发送的帧数，即，没有欠速和太多重试。

38. 5. 26. 3 单冲突帧寄存器

寄存器名称：EMAC_SCF

访问类型： 读/写

31	30	29	28	27	26	25	24
–	–	–	–	–	–	–	–
23	22	21	20	19	18	17	16
–	–	–	–	–	–	–	–
15	14	13	12	11	10	9	8
SCF							
7	6	5	4	3	2	1	0
SCF							

- SCF：单冲突帧（Single Collision Frames）
  一个 16 位的寄存器，用于统计在成功发送前经历过一次冲突的帧数，即，没有欠速。

38. 5. 26. 4 多冲突帧寄存器

寄存器名称：EMAC_MCF

访问类型： 读/写

31	30	29	28	27	26	25	24
–	–	–	–	–	–	–	–
23	22	21	20	19	18	17	16
–	–	–	–	–	–	–	–
15	14	13	12	11	10	9	8
MCF							
7	6	5	4	3	2	1	0
MCF							

- MCF：多冲突帧（Multicollision Frames）
  一个 16 位的寄存器，用于统计在成功发送前经历过 2 到 15 次冲突的帧数，即，没有欠速和太多重试。

38. 5. 26. 5 帧接收 OK 寄存器

寄存器名称：EMAC_FRO

访问类型： 读/写

31	30	29	28	27	26	25	24
–	–	–	–	–	–	–	–
23	22	21	20	19	18	17	16
FROK							
15	14	13	12	11	10	9	8
FROK							
7	6	5	4	3	2	1	0
FROK							

- FROK：帧接收 OK（Frames Received OK）
  一个 24 位寄存器，用于统计收到的有效帧的数量，即，地址认可并成功的复制到内存。一个有效帧其长度在 64 到 1518（如果网络配置寄存器的位 8 置位则是 1536）字节之间并且没有 FCS，对齐和接收符号错误。

38. 5. 26. 6 帧检验序列错误寄存器

寄存器名称：EMAC_FCSE

访问类型： 读/写

31	30	29	28	27	26	25	24
–	–	–	–	–	–	–	–
23	22	21	20	19	18	17	16
–	–	–	–	–	–	–	–
15	14	13	12	11	10	9	8
–	–	–	–	–	–	–	–
7	6	5	4	3	2	1	0
FCSE							

- FCSE：帧检验序列错误（Frame Check Sequence Errors）
  一个 8 位的寄存器，用于统计拥有完整字节数，有错误的 CRC，长度在 64 到 1518（如果网络配置寄存器的位 8 置位则是 1536）字节之间的帧数。如果一个符号错误被发现并且这个帧有一个有效的长度和完整的字节数，则同样会增加寄存器计数。

38. 5. 26. 7 对齐错误寄存器

寄存器名称：EMAC_ALE

访问类型： 读/写

31	30	29	28	27	26	25	24
–	–	–	–	–	–	–	–
23	22	21	20	19	18	17	16
–	–	–	–	–	–	–	–
15	14	13	12	11	10	9	8
–	–	–	–	–	–	–	–
7	6	5	4	3	2	1	0
ALE							

- ALE：对齐错误（Alignment Errors）
  一个 8 位寄存器，用于统计并不是完整的字节数长，当将其缩减为完整的字节数长时有错误的 CRC，长度在 64 到 1518 字节（如果网络配置寄存器的位 8 置位则是 1536）之间的帧数。如果一个符号错误被发现并且这个帧有一个有效的长度却没有完整的字节数长，则同样会增加寄存器计数。

38. 5. 26. 8 延迟传输帧寄存器

寄存器名称：EMAC_DTF

访问类型： 读/写

31	30	29	28	27	26	25	24
–	–	–	–	–	–	–	–
23	22	21	20	19	18	17	16
–	–	–	–	–	–	–	–
15	14	13	12	11	10	9	8
DTF							
7	6	5	4	3	2	1	0
DTF							

- DTF：延迟传输帧（Deferred Transmission Frames）
  一个 16 位的寄存器，用于统计在第一次传输时载波监听处于活跃状态而导致帧延迟的数量。陷入任何冲突及传输欠速的帧都不会被统计。

38. 5. 26. 9 后期冲突寄存器

寄存器名称：EMAC_LCOL

访问类型： 读/写

31	30	29	28	27	26	25	24
–	–	–	–	–	–	–	–
23	22	21	20	19	18	17	16
–	–	–	–	–	–	–	–
15	14	13	12	11	10	9	8
–	–	–	–	–	–	–	–
7	6	5	4	3	2	1	0
LCOL							

- LCOL：后期冲突（Late Collisions）
  一个 8 位寄存器，用于统计在一个时隙（512 位）后遭到冲突的帧数。延期冲突将被统计两次，即，冲突与延期冲突各一次。

38. 5. 26. 10 过多冲突寄存器

寄存器名称：EMAC_ECOL

访问类型： 读/写

31	30	29	28	27	26	25	24
–	–	–	–	–	–	–	–
23	22	21	20	19	18	17	16
–	–	–	–	–	–	–	–
15	14	13	12	11	10	9	8
–	–	–	–	–	–	–	–
7	6	5	4	3	2	1	0
EXCOL							

- EXCOL：过多冲突
  一个 8 位寄存器，用于统计经历 16 次冲突导致传输失败的帧数。

38. 5. 26. 11 传输欠速错误寄存器

寄存器名称：EMAC_TUND

访问类型： 读/写

31	30	29	28	27	26	25	24
–	–	–	–	–	–	–	–
23	22	21	20	19	18	17	16
–	–	–	–	–	–	–	–
15	14	13	12	11	10	9	8
–	–	–	–	–	–	–	–
7	6	5	4	3	2	1	0
TUND							

- TUND：传输欠速（Transmit Underruns）
  一个 8 位寄存器，用于统计由于传输 DMA 欠速导致不能传输的帧数。若该寄存器值增加，则其它寄存器的值不会增加。

38. 5. 26. 12 载波监听错误寄存器

寄存器名称：EMAC_CSE

访问类型： 读/写

31	30	29	28	27	26	25	24
–	–	–	–	–	–	–	–
23	22	21	20	19	18	17	16
–	–	–	–	–	–	–	–
15	14	13	12	11	10	9	8
–	–	–	–	–	–	–	–
7	6	5	4	3	2	1	0
CSE							

- CSE：载波监听错误（Carrier Sense Errors）
  一个 8 位寄存器，用于统计传输期间未检测到载波或非冲突帧（没有欠速）传输时载波监听被声明之后又解除声明的帧数。只有在半双工模式才会增加。载波监听错误的唯一影响是增加这个寄存器，它并不会影响其它统计寄存器的状态。

38. 5. 26. 13 接收资源错误寄存器

寄存器名称：EMAC_RRE

访问类型： 读/写

31	30	29	28	27	26	25	24
–	–	–	–	–	–	–	–
23	22	21	20	19	18	17	16
–	–	–	–	–	–	–	–
15	14	13	12	11	10	9	8
RRE							
7	6	5	4	3	2	1	0
RRE							

- RRE：接收资源错误（Receive Resource Errors）
  一个 16 位的寄存器，用于统计地址匹配，但是由于没有可用的接收缓冲区导致不能复制的帧的数量。

38. 5. 26. 14 接收过速错误寄存器

寄存器名称：EMAC_ROVR

访问类型： 读/写

31	30	29	28	27	26	25	24
–	–	–	–	–	–	–	–
23	22	21	20	19	18	17	16
–	–	–	–	–	–	–	–
15	14	13	12	11	10	9	8
–	–	–	–	–	–	–	–
7	6	5	4	3	2	1	0
ROVR							

- ROVR：接收过速（Receive Overrun）
  一个 8 位寄存器，用于统计地址认可，但是由于接收 DMA 过速导致不能复制的帧的数量。

38. 5. 26. 15 接收符号错误寄存器

寄存器名称：EMAC_RSE

访问类型： 读/写

31	30	29	28	27	26	25	24
–	–	–	–	–	–	–	–
23	22	21	20	19	18	17	16
–	–	–	–	–	–	–	–
15	14	13	12	11	10	9	8
–	–	–	–	–	–	–	–
7	6	5	4	3	2	1	0
RSE							

- RSE：接收符号错误（Receive Symbol Errors）
  一个 8 位寄存器，用于统计接收期间 rx_er 被声明的帧数。长度在 64 到 1518（如果网络配置寄存器的位 8 置位则是 1536）字节之间，有 FCS 或对齐错误的帧同样会被计入接收符号错误。如果帧太大，它会被计入超长帧错误统计。

38. 5. 26. 16 长度超出错误寄存器

寄存器名称：EMAC_ELE

访问类型： 读/写

31	30	29	28	27	26	25	24
–	–	–	–	–	–	–	–
23	22	21	20	19	18	17	16
–	–	–	–	–	–	–	–
15	14	13	12	11	10	9	8
–	–	–	–	–	–	–	–
7	6	5	4	3	2	1	0
EXL							

- EXL：长度超出错误（Excessive Length Errors）
  一个 8 位寄存器，用于统计收到的长度超过 1518（如果网络配置寄存器的位 8 置位则是 1536）字节但即没有 CRC 错误，也没有对齐或接收符号错误的帧数。

38. 5. 26. 17 接收超时寄存器

寄存器名称：EMAC_RJA

访问类型： 读/写

31	30	29	28	27	26	25	24
–	–	–	–	–	–	–	–
23	22	21	20	19	18	17	16
–	–	–	–	–	–	–	–
15	14	13	12	11	10	9	8
–	–	–	–	–	–	–	–
7	6	5	4	3	2	1	0
RJB							

- RJB：接收超时（Receive Jabbers）
  一个 8 位寄存器，用于统计收到的长度超过 1518（如果网络配置寄存器的位 8 置位则是 1536）字节，并且有 CRC 错误，对齐错误，或者接收符号错误的帧数。

38. 5. 26. 18 过小帧寄存器

寄存器名称：EMAC_USF

访问类型： 读/写

31	30	29	28	27	26	25	24
–	–	–	–	–	–	–	–
23	22	21	20	19	18	17	16
–	–	–	–	–	–	–	–
15	14	13	12	11	10	9	8
–	–	–	–	–	–	–	–
7	6	5	4	3	2	1	0
USF							

- USF：过小帧（Undersize Frames）
  一个 8 位寄存器，用于统计收到的长度小于 64 字节，但即没有 CRC 错误也没有对齐或接收符号错误的帧数。

38. 5. 26. 19 SQE 测试错误寄存器

寄存器名称：EMAC_STE

访问类型： 读/写

31	30	29	28	27	26	25	24
–	–	–	–	–	–	–	–
23	22	21	20	19	18	17	16
–	–	–	–	–	–	–	–
15	14	13	12	11	10	9	8
–	–	–	–	–	–	–	–
7	6	5	4	3	2	1	0
SQER							

- SQER：SQE 测试错误（SQE Test Errors）
  一个 8 位寄存器，用于统计半双工模式 tx_en 失效的 96 位次（一个帧间隙）之内 ECOL 未被声明的帧数。

38. 5. 26. 20 接收长度字段不匹配寄存器

寄存器名称：EMAC_RLE

访问类型： 读/写

31	30	29	28	27	26	25	24
–	–	–	–	–	–	–	–
23	22	21	20	19	18	17	16
–	–	–	–	–	–	–	–
15	14	13	12	11	10	9	8
–	–	–	–	–	–	–	–
7	6	5	4	3	2	1	0
RLFM							

- RLFM：接收长度字段不匹配（Receive Length Field Mismatch）
  一个 8 位寄存器，用于统计收到的实际长度小于长度字段值的帧数。通过网络配置寄存器的位 16 来允许长度检查。在第 13、14 字节处包含一个类型 ID（即，长度/类型 ID ≥ 0x0600）的帧不会作为长度字段错误被统计，也不会作为长度超出帧被统计。