استاندارد لایه MAC

در

سیستم های UWB

با تأکید بر ECMA 368

استاد : دکتر پاکروان

امیر رضا مقیمی 81173109

مسیح نیلچیان 81181608

زمستان 84

فهرست

مقدمه iii

معرفی سیستم های UWB 1

بررسی معماری شبکه های UWB 4
و کارایی پروتکل های MAC موجود در این شبکه ها

معرفی یک ساختار 11
MAC برای شبکه های UWB

بررسی بخش MAC 18
استاندارد ECMA 368

منابع و مآخذ 36

مقدمه

هدف ازاین گزارش بررسی استاندارد موجود در مورد لایه MAC سیستم های UWB می باشد .

استانداردی که IEEE به این نوع شبکه ها اختصاص داده 802.15.3 می باشد . در استاندارد 802.15.3a , لایه PHY شبکه های UWB را بیان نموده است . و 802.15.3b را به لایه MAC شبکه های UWB اختصاص داده است که هنوز استانداردی در این مورد لایه MAC این سیستم ها بیان ننموده است .

استانداردی که الان موجود است ECMA-368 که توسط WIMEDIA ALIANCE ارائه شده است . در این استاندارد ساختار PHY و MAC این سیستم ها بیان شده است . استاندارد ECMA-369 تکمیل کننده استاندارد ECMA368 می باشد .

در این گزارش در ابتدا در فصل اول به توضیح اجمالی سیستم های UWB پرداخته شده است , در فصل دوم به بررسی اینکه آیا نیاز به طراحی پروتکل MAC جدید برای این شبکه ها می باشد یا پروتکل های موجود کارایی مناسبی در این شبکه ها دارند , در فصل سوم ایده ای برای برطرف کردن مشکلات دیگر پروتکل ها در این شبکه ها پرداخته است و ساختار ساده ای برای لایه MAC این سیستم ها بیان شده است . و در انتها در فصل چهارم به تفسیر بخش MAC استاندارد ECMA 368 پرداخته شده است .

فصل 1

معرفی سیستم های UWB

UWB یک تکنولوژی برای شبکه های Wireless, با نرخ دیتا بالا در رنج کوتاه می باشد ودر اصل یک تکنولوژی ایده آل برای کاربردهای MultiMedia است . خصوصیت اصلی سیستم های UWB استفاده از باند رادیویی گسترده می باشد. در واقع چون توان در باند فرکانسی گسترده پخش است توان در واحد فرکانسی سیستم های UWB پایین می باشد که خصوصیات منحصر به فردی برای شبکه های UWB منجر گردیده است .در واقع اگر بخواهیم در یک جمله سیستم های UWB را تعریف کنیم می توان گفت تکنولوژی رادیویی با پهنای باند بالاتر از Mhz500 ویا با پهنای باندی بیشتر از 25% فرکانس مرکزی می باشد. و نسبتی برای سیستم های UWB تعریف می کنند که دراصل نسبت پهنای باند به فرکانس مرکزی سیستم می باشد .

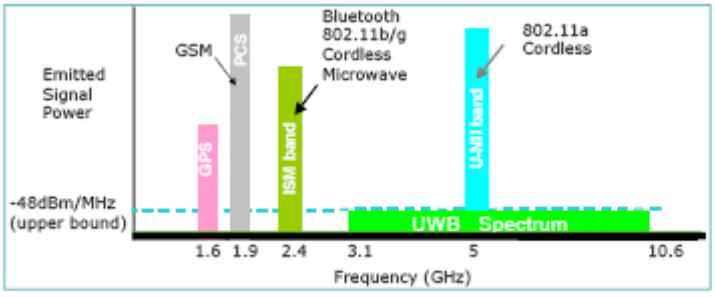
$$2 * (fH - fL) / (fH + fL) = \eta$$

= fractional bandwidth

که fH و fL, بزرگترین و کوچکترین فرکانس باند فرستنده و گیرنده می باشد .

سیگنال های UWB , ایمپالس هایی بادوره زمانی بسیار کوتاه , زمان خیز و نشست تیز می باشد . بنابراین دارای پهنای باند گسترده در حدود چند گیگا هرتز است (محدوده فرکانسی 3.1 تا 10.6 گیگا هرتز) . اطلاعات توسط این پالس ها با دوره بسیار کوتاه (پیکو ثانیه) و پهنای باند بسیار زیاد منتقل می شوند . همانطور که قبلا نیز اشاره شد انرژی سیگنال در پهنای باند بزرگی پخش می شود و مقدار انرژی بر فرکانس بسیار کوچک می گردد . البته باید توجه داشت که هدف اصلی طراحی UWB نیز همین بوده است که انرژی بر فرکانس سیگنال بسیار کم و بتواند با دیگر سیستم های باند باریک که با محدوده فرکانسی UWB اشتراک دارند در یک محیط به نحو احسن کار کنند.(بدون هیچگونه تداخلی)

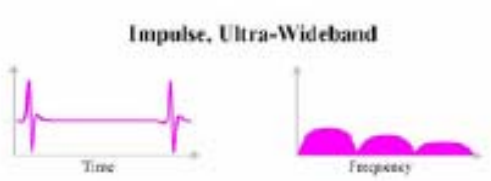
در نمودار زیر محدوده فرکانسی وتوان چند نمونه از سیستم های مخابراتی رسم ومقایسه شده اند:



شکل 1 . نمودار توان سیگنال بر حسب فرکانس

ارسال دیتا به صورت پالس های دیجیتال اساسا مدارات فرستنده و گیرنده را در مقایسه با دیگر حالات (MC-UWB) بسیار ساده نموده و آنرا متمایل به پردازش سیگنال های دیجیتال DSP نموده است.

در زیر نمونه ای از پالس های رادیویی که برای ارسال داده در سیستم های UWB استفاده می شوند نشان داده شده است.



شکل 2:ایمپالس رادیویی

انواع سیگنال های UWB

اگر بخواهیم به طور کلی بیان کنیم دو فرم معمول برای سیگنال های UWB وجود دارد:

1 . بر اساس ارسال پالس هایی با دوره بسیار کوچک که در بالا اندکی به آن اشاره شد. (I-UWB :Impulse UWB)

2 . استفاده از چند حامل همزمان.(MC-UWB : Multi carrier UWB) که معروفترین فرم آن همان مدولاسیون OFDM (Orthogonal Frequency Multiplexing) که برای نرخ دیتا بالا به کار می رود.

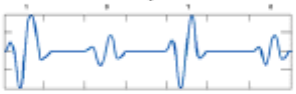
I-UWB : بر خلاف ارتباطات کلاسیک , در این روش از مدولاسیون حامل های سینوسی برای انتقال اطلاعات استفاده نکرده است .

مدولاسیون های مختلف برای ارسال پالس های دیجیتال

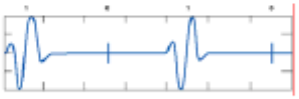
برای ارسال اطلاعات از مدولاسیون های زیرمی توان استفاده کرد:

1. Pulse Position Modulation (PPM)

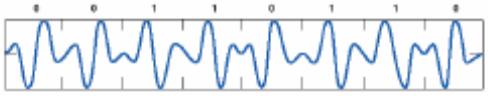
2. Pulse Amplitude Modulation (PAM)



3. On-Off Keying (OOF)



4. Bi-Phase Modulation (BPSK)



سیگنال ارسالی در اصل سری از پالس های پایه با دوره زمانی بسیار کم (در حدود چند نانو ثانیه) می باشند بنابراین اگر از اثرات کانال صرف نظر کنیم می توانیم سیگنال دریافت شده توسط گیرنده را به صورت زیر نمایش دهیم:

$$Si(t) = \Sigma\, Ai(t) * P(t - i*Tf)$$

$$-\infty < t < +\infty$$

کـه در واقـع Tf : زمـان تکـرار فـریم , P : پـالس دریافت شده کـه نـسبت بـه انـرژی نرمـالایزه شـده است , Ai : دامنه پالس (-+√Ep) کـه Ep انـرژی هر پالس می باشد .

باید توجه داشت که ریت تکرار پالس عبارت است از Rf= 1 / Tf و لزومی ندارد که برابر 1 / Tp کـه Tp همـان دوره زمـانی پـالس اسـت , باشـد. در نتیجه duty cycle ≤ 1 است .

مدل سیگنال ارسال شده برای حالت MC_UWB به صورت زیر بیان می گردد:

$$S(t)=\sum_{i=1}^{N}(di(t) * e^{(j*2*\pi*i*(t / Ts)}$$

کـه N : تعـداد حامـل هـا , Ts : دوره یـک سـمبل , di(t) : مدل استریم سمبل در حامل I ام می باشد.

محاسن سیستم های UWB :

اگـر بخـواهیم بـه طـور خلاصـه بـه محاسـن سیـستم های UWB پرداخت می توان آن را در چند مورد زیر خلاصه کرد:

1- پهنای باند آزاد گسترده در فرکـانس 7.5 Ghz .
2- نـرخ دیتـا بـالا در رنـج کوتـاه (در حـدود 500Mbps در فاصه 5 متر)
3- توان کم کـه مناسب بـرای منبـع تغذیـه بـه کـار بـرده شـده در فرسـتنده و گیرنـده مـی باشـد و منجـر بـه کـاهش تـداخل بـا دیگـر سیستم های بی سیم می گردد .
4- توان کم منجر به ارزان شدن این سیستم ها گردیده است .
5- طـول آنـتن کوتـاه بـه دلیـل گـسترده بـودن محدوده فرکانسی آن .
6- قابلیـت اطمینـان سیـستم هـای UWB بـه دلیـل مـصونیت بـالا در مقابـل تـداخل و اثـرات Multipath Fading و توانـایی نفوذ در دیوار می باشد .

در ایـن بخـش بـه معرفـی کلـی سیـستم هـای UWB پـرداختیم . در بخـش هـای بعـدی تمرکز اصلی بر روی لایه MAC این شبکه می باشد .

فصل 2

بررسی معماری شبکه های UWB

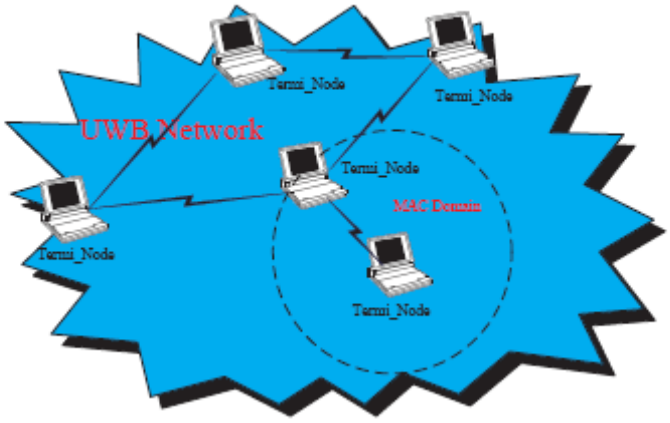
و

کارایی پروتکل های MAC موجود در این شبکه ها

بررسی معماری شبکه های UWB و پروتکل های موجود در این شبکه ها

شبکه های UWB , شامل مجموعه ای از Termi -Node می باشد. Termi-Node در واقع همان سیستم های شخصی می باشد که هم به عنوان نود و هم به صورت ترمینال عمل می کند. در حالت ترمینال یک نود برای ایجاد ارتباط بین نودها استفاده می شود و وظیفه آن ارسال داده ورودی از طرف یک نود برای نود دیگر می باشد.

هر نود در واقع یک فرستنده و گیرنده UWB دارد که برای ارتباط بی سیم با سایر نودهای شبکه به کار گرفته می شود. در این شبکه نیز وظیفه لایه MAC , ایجاد هماهنگی بین نود ها برای دستیابی به کانال مشترک می باشد.



شکل1.نمونه از یک شبکه

برای طراحی لایه MAC سیستم های UWB هم می توان از پروتکل های موجود استفاده نمود و در صورت نیاز تغییرات لازم را در آن ها ایجاد کرد و هم می توان ساختار کاملا جدید طراحی کرد.

اکثر استاندارد های موجود به دلیل خصوصیات منحصر به فرد سیستم های UWB که در بخش قبل ذکر شد من جمله نرخ دیتا بالا در رنج کوتاه به نظر پروتکل های موجود مناسب نمی آیند.

در این بخش با انجام چند شبیه سازی ومحاسبات ساده ریاضی به کارایی پروتکل های TDMA و CSMA در سیستم UWB می پردازیم.

باید توجه داشت یکی از مشکلات بزرگ در شبکه های UWB زمان سنکرون شدن فرستنده وگیرنده که در حدود چند میکرو ثانیه ویا حتی چند میلی ثانیه می باشد.این مشکل به عنوان Timing Aquisition Problem شناخته شده است.

ارزیابی کارایی پروتکل های TDMA و CSMA/CA :

حال با توجه به مشکل بیان شده به بررسی این مشکل در پروتکل های موجود می پردازیم. و در انتها به مقایسه کارایی این پروتکل ها در شبکه های باند باریک و باند پهن می پردازیم.

مدل شبیه سازی شده دارای پارامترهای زیر می باشد:

1. همه نود ها به طور رندم در محیطی مستطیل شکل واقع اند.
2. نود ها کاملا مشابه فرض شده است.
3. هر نود رنج مخابره کافی برای اتصال به شبکه را دارد.
4. توزیع ریت تولید بسته ها در هر نود پواسون در نظر گرفته شده است.
5. فقط یک کانال مشترک گسترده برای ارتباط در دسترس است.
6. هر نود بسته ها را به نود هایی که در رنج مخابره آن نود هستند می تواند بفرستد.
7. خطا کانال صفر در نظر گرفته شده وعلت ازبین رفتن بسته ها تصادم ویا پر شدن بافر ها می باشد.

پارامترهایی که اثر تغییرات آنها را در کارایی شبکه بررسی می کنیم یکی ریت داده ورودی و دیگری سایز بسته ها می باشد.

پارامترهایی که در این شبیه سازی سنجیده می شوند:

1.متوسط Throughput (bits/sec) که عبارتست از تعداد ارسال های موفق در هر ثانیه.

2. متوسط تاخیر بسته ها یعنی زمان بین تولید و دریافت بسته.

3. بهره برداری کانال که به صورت نسبت زمان ارسال داده مفید بر روی کانال است وبستگی به مقدار سرایند فریم و ترافیک بار دارد.

در ابتدا به بررسی و آنالیز مقدماتی تاثیر زمان سنکرون شدن بر روی بهره برداری کانال می پردازیم.

Td : زمان واقعی ارسال بسته داده. Ta : زمان لازم برای سنکرون شدن فرستنده و گیرنده.

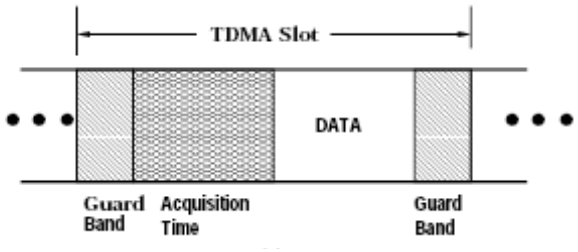
Tr : زمان ارسال بسته RTS/CTS , Ts : مینیمم زمان لازم برای سنس کردن کانال .

Tc : زمانی که صرف رقابت بین نود ها برای دستیابی به کانال می شود.

بررسی پروتکل TDMA

TDMA در واقع کانال را به اسلات های زمانی تقسیم و در طول هر اسلات یک نود اجازه ارسال دارد.

در شکل 2 ساختار اسلات TDMA به نمایش گذاشته شده است. هر اسلات زمانی همانطور که در شکل نیز نشان داده شده دارای دو باند نگهبان , یکی در ابتدا و دیگری در انتها برای حفاظت اسلات در مقابل هم ترازی های اشتباه , زمان سنکرون شدن فرستنده و گیرنده و زمان واقعی ارسال دیتا می باشد.



شکل2:اسلات زمانی TDMA

با صرف نظر از زمان باند نگهبان می توان بهره برداری کانال را به صورت زیر محاسبه نمود.

UTILIZATION= Td / (TD +Ta)

بنابراین مقدار بزرگ Ta , باعث کاهش بهره برداری کانال می شود. به عنوان مثال برای کانال 50Mbps با Ta=1ms و بسته هایی به طول 2000 Byte بهره برداری کانال برابر است با:

Slot Utilization

= 320 / 1320 = 24%

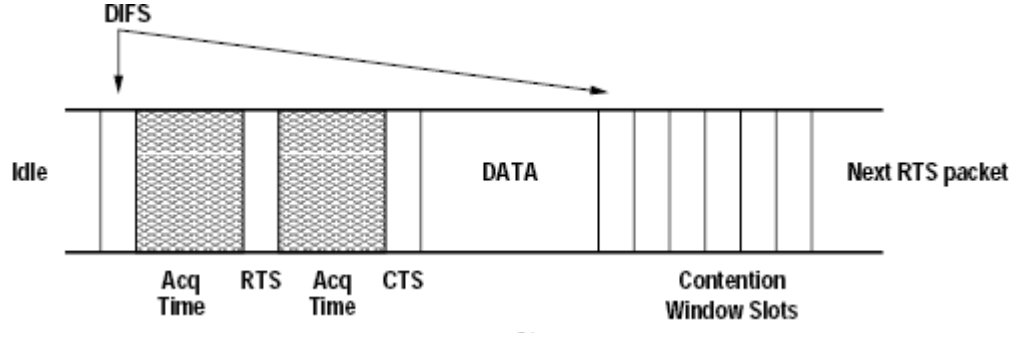
که مقدار بسیار پایینی است.

معمولا زمان سنکرون شدن در حدود چند میلی ثانیه می باشد , بنابرلین باید طول بسته را بزرگ

تر در نظر گرفت که در شبکه های بی سیم باعث افزایش احتمال خطا و کاهش کارایی شبکه می گردد.

بررسی پروتکل CSMA/CA

پروتکل توزیع شده CSMA/CA بر این اساس کار می کند که در ابتدا فرستنده فریم RTS را ارسال تا به نود هایی که صدای او را می شنوند بگوید در این مدت زمان مشخص شده این حیطه کانال تحت استفاده اوست و به گیرنده بگوید در صورت آماده بودن فریمی برای اعلام آمادگی خود ارسال کن , گیرنده نیز در پاسخ , فریم CTS را ارسال می کند تا به فرستنده آمادگی خود را اعلام و در ضمن به نودهایی که صدای او را



می شنوند بگوید در این مدت برای من دیتا ارسال نکنید تا از تصادم در گیرنده جلوگیری شود.

اسلات زمانی مربوط به پروتکل CSMA/CA در شکل 3 نشان داده شده است:

شکل 3. اسلات زمانی CSMA/CA

با در نظر گرفتن موقعی که نودها دسترسی به کانال پیدا کرده اند , با توجه به زمان های انتظار , رقابت در صورت لزوم , بهره برداری کانال به طور تقریبی عبارتست از:

UTILIZATION=

Td / (Td +2*Ta+2*Tr+Ts)

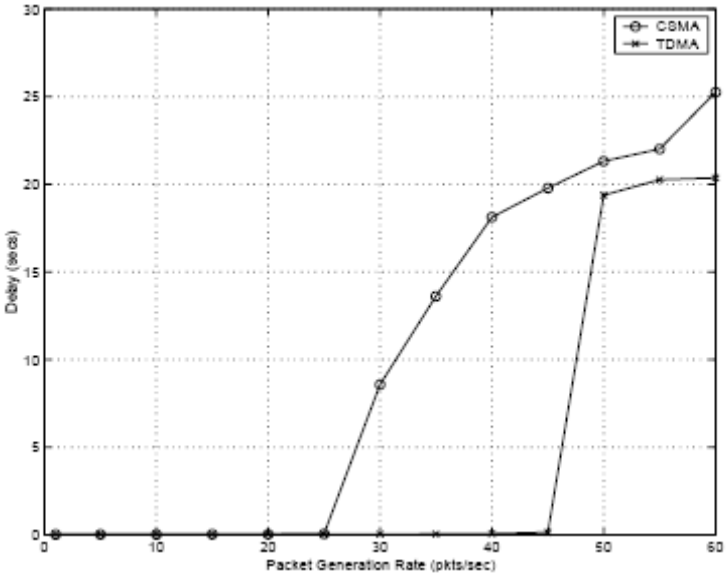
وسبب شده بازدهی کانال کمتر گردد.

مقایسه پروتکل های TDMA و CSMA/CA در شبکه های UWB با تغییر نرخ دیتا ورودی:

در شبکه های بی سیم برای کاهش احتمال خطا بسته , طول بسته ها را کوچک در نظر می گیرند. وقتی نرخ دیتا ورودی پایین است , دو پروتکل تاخیر یکسانی دارند. زیرا شبکه اشباع نشده است. در بار کم , CSMA/CA تاخیر کمتری نسبت به TDMA دارد. دیدیم زمان سنکرون شدن , قسمت اعظم اسلات زمانی را در برگرفته است. بنابراین در ریت بالا CSMA/CA تاخیر بالاتری نسبت به TDMA دارد.

این نتیجه را نیز به خاطر طبیعت collision free , TDMA انتظار داشتیم.

نتایج شبیه سازی (نمودار متوسط تاخیر بر حسب ریت تولید بسته ها) در شکل 4 به نمایش گذاشته شده است.



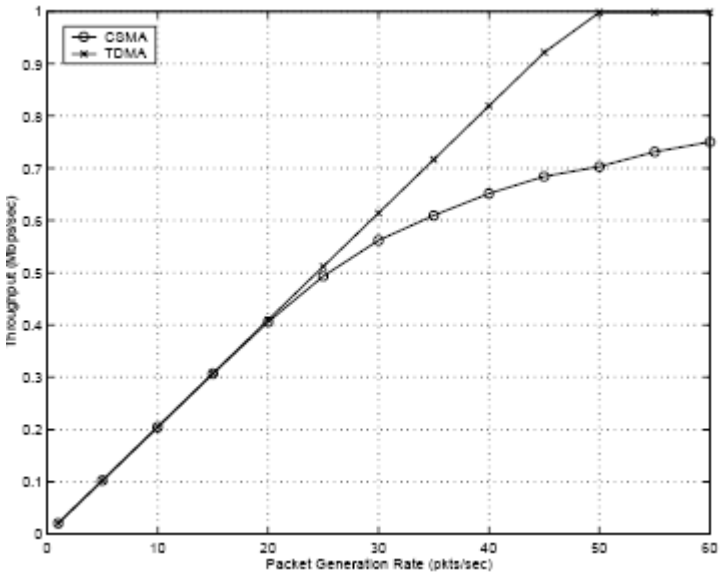
شکل 4. نمودار تاخیر بر حسب ریت تولید دیتا

Throughput سیستم نیز در نرخ پایین برای دو پروتکل مشابه می باشد. با افزایش ریت تولید داده و بار سیستم TDMA دارای کارایی بهتری است . (بخاطر زیاد بودن زمان سنکرون شدن گیرنده و فرستنده)

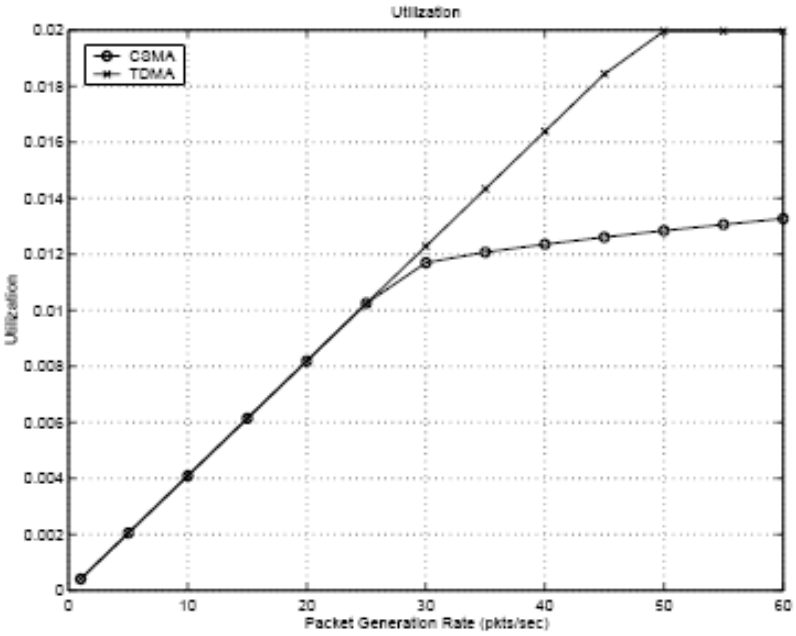
نمودار مربوط به Throughput سیستم بر حسب ریت تولید داده برای دو پروتکل در شکل 5 به نمایش گذاشته شده است.

در آنالیز های بالا نشان داده شد که نیاز است اثر زمان سنکرون شدن را کاهش دهیم . یک راه حل افزایش طول بسته است . در این حالت در ریت بالا بهره برداری کانال در پروتکل CSMA/CA بیشتر از TDMA می باشد که این به خاطر اجازه ارسال همزمان چندگانه در پروتکل CSMA/CA می باشد. ولی باید توجه داشت افزایش طول بسته به دلیل طبیعت نویزی بودن کانال های بی سیم کار مناسبی نمی باشد و می بایست یک طول بهینه برای بسته ها پیدا کنیم.

در ضمن افزایش طول بسته ها همانطور که در شبیه سازی مشاهده شد منجر به افزایش تاخیر بسته ها می گردد. در بخش بعد مفصلا به بررسی یک الگوریتم ایده ال برای لایه MAC می پردازیم.



شکل 5. Throughput سیستم بر حسب ریت تولید داده



شکل 6. نمودار Utilization بر حسب ریت تولید داده هنگامی که طول فریم =Bytes128

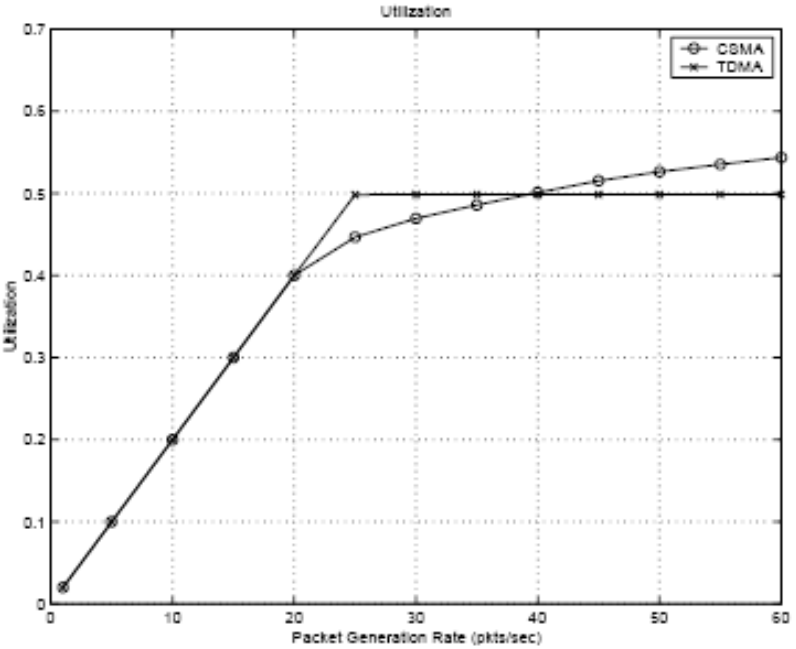
Throughput و Utilization کمتر نسبت به .W.B و .N.B می باشد . با ثابت نگهداشتن ریت تولید داده و تغییر طول بسته باز هم UWB دارای وضعیت نامساعدتری می باشد .

نتیجه گیری بسیار مهم :

نتیجه های بالا نشان می دهد که پروتکل های ارائه شده دارای کارایی ضعیفی در شبکه های UWB می باشند و این اساسا به دلیل زیاد بودن زمان سنکرون شدن (Acquisition Time) می باشد.

بنابراین برای اینکه بهره برداری کامل از این سیستم شود , می بایست پروتکل MAC به گونه ای طراحی شود که بر این مانع غلبه کند.

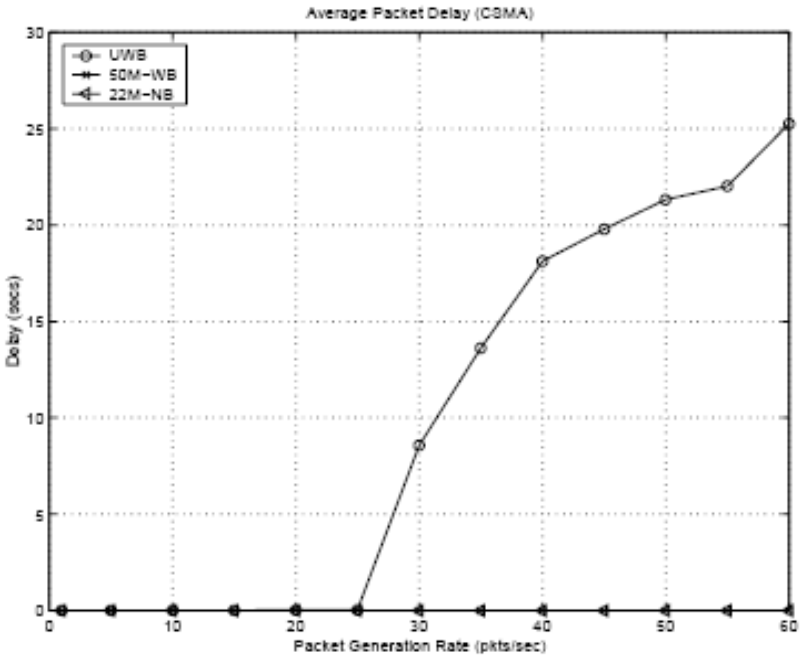
البته باید توجه داشت پروتکل های بیان شده بدون در نظر گرفتن خصوصیات منحصر به فرد سیستم های UWB , من جمله تعیین محل دقیق زمانی ومکانی و... می باشد. در نتیجه می بایست که یک پروتکل MAC برای سیستم های UWB طراحی نمود.



شکل7. نمودار Utilization بر حسب ریت تولید داده هنگامی که طول فریم = Bytes6250

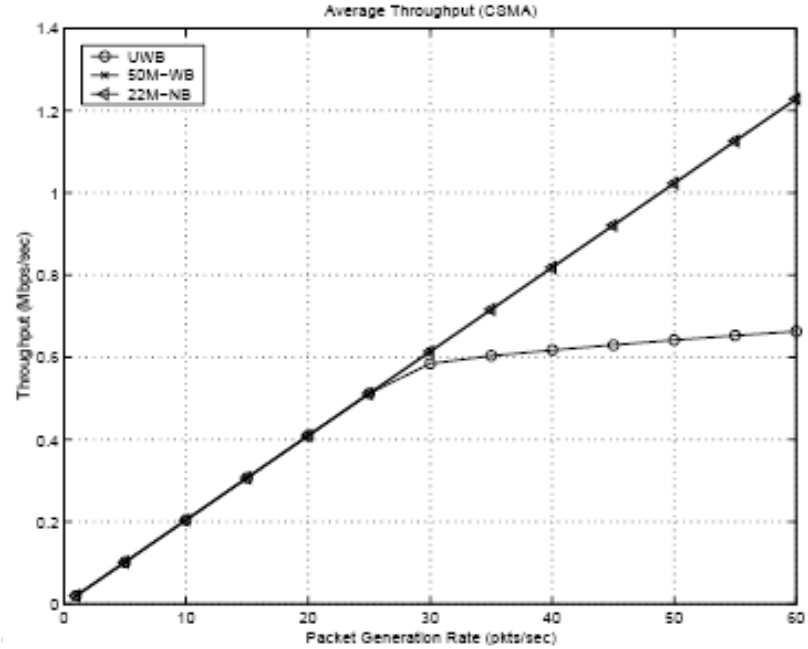
مقایسه کارایی پروتکل CSMA/CA در سیستم های UWB , Narrow Band , Wide Band نسبت به تغییر ریت تولید داده :

همانطور که از نمودار های زیر مشهود است , سیستم UWB دارای تاخیر بیشتر ,



شکل 8. نمودار تاخیر بر حسب ریت تولید داده

شکل 9. نمودار Throughput بر حسب ریت تولید داده



فصل 3

معرفی یک ساختار MAC برای شبکه های UWB و بررسی نتایج شبیه سازی آن

یک ساختار MAC جدید برای شبکه های ultra –wideband ad hoc

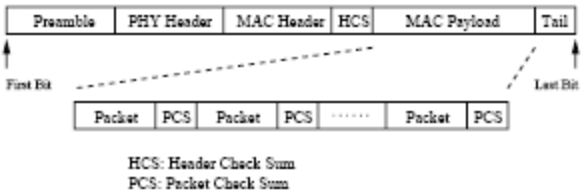
همانطور که گفته شد UWB یک تکنولوژی مهم برای آینده شبکه های شخصی (Wireless PAN) می باشد. یک مشکل اساسی در طراحی سیستم UWB این است که معمولا چند میکروثانیه و یا حتی چند میلی ثانیه زمان برای سنکرون شدن فرستنده و گیرنده زمان لازم است و همانطور که در قسمت قبل اشاره شد این زمان تاثیر شدیدی در کاهش کارایی الگوریتم های TDMAو CSMA در شبکه های UWB دارد.این مساله با عنوان Timing Acquisition Problem شناخته شده است.

به دلیل زیاد بودن پهنای باند سیستم های UWB , نرخ دیتا بالا و زمان زیاد برای سنکرون شدن فرستنده و گیرنده سرآیند بزرگی در فریم ایجاد می شود. در این قسمت با توجه به این مشکل , ساختاری برای لایه MAC پیشنهاد می شود. ایده اصلی در این طراحی بدین گونه می باشد که به جای این که درلایه MAC فقط یک بسته از لایه بالایی دریافت و در یک فریم گنجانده شود , چندین بسته از لایه بالایی دریاقت و در یک فریم بزرگ تر که اصطلاحا Burst Frame می گویند فشرده گردد. در واقع این الگوریتم به طور نسبی سرآیند سنکرونیزاسیون را کاهش می دهد.

ساختار کلی برای UWB MAC :

ساختار کلی که در این بخش بیان می شود بسیاری از خصوصیات پروتکل IEEE 802.11 را دارا می باشدکه گسترش داده شده است. همانطور که اشاره شد علاوه بر فریم داده و فریم های کنترلی من جمله CTS , ACK , RTS , فریم جدیدی به نام Burst Frame تعریف می کنیم.

Burst Frame در واقع فریمی است که بر خلاف فریم داده حاوی چندین بسته ازلایه های بالایی می باشد و به عنوان یک واحد ارسال می گردد.



شکل 1.نمونه ای از یک Burst Frame

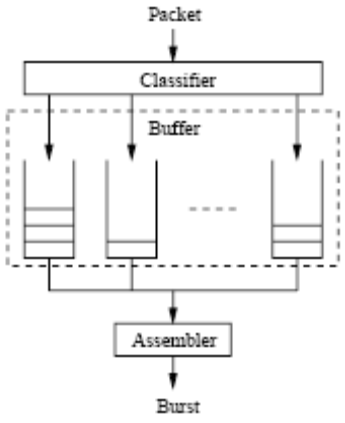
سیاست های حاکم بر این الگوریتم عبارتند از:

1. سیاست رده بندی بسته ها (Packet Classification Policy)

بسته های دریافت شده از لایه بالاتر برای نود های مختلف شبکه و خواهان Qos متفاوت می باشند. به عنوان مثال برای بعضی از بسته ها تاخیر مهم است برای بعضی دیگر خطا بسیار مهم است و....

این سیاست نیز در واقع بیانگر چگونگی رده بندی بسته های دریافتی از لایه بالاتر بر اساس مقصد و کلاس Qos می باشد . در واقع اگر N تعداد نودهای شبکه و C تعداد کل کلاس های Qos را نشان دهد نیاز به N*C صف برای رده بندی بسته های دریافتی می باشد.

2. سیاست مدیریت بافرها (Buffer Management Policy) :



شکل 2 .ساختار لایه MAC در فرستنده

برای فراهم اوردن Qos مختلف هر صف پارامترهای کنترلی خود را دارد برای نمونه:

1 . ماکزیمم تعداد بسته ها در هر صف

2 . مقدار طول ماکزیمم همه بسته ها در صف

3. زمان ورود و زمان ارسال بسته ها (به عنوان مثال برای کاربرد های Multi Media که تاخیر بسیار مهم است بسته ها بااولویت بالا ارسال شوند)

با توجه به پارامتر های بیان شده می توانیم سیاست مدیریت بافر مانند نشاندن بسته ها در صف های مختلف , به طور قسمت بندی شده به اشتراک گذاشتن کانال بین صف ها, وزن دادن به صف های مختلف و... را تعیین کنیم.

3. سیاست نشاندن بسته ها در صف های مختلف (Packet Assembly Policy)

این سیاست بیان می کند که چگونه بسته ها با Qos و مقصد های متفاوت در صف ها نشانده شوند که این در واقع یکی از پیچیدگی های طراحی لایه MAC در سیستم های UWB می باشد. پارامتر های در نظر گرفته شده برای این سیاست عبارتند از:

1. ماکزیمم و مینیمم طول Burst Frame بر حسب بیت که با Lmax و Lmin نشان می دهیم.
2. ماکزیمم و مینیمم تعداد بسته ها در یک Burs Frame که با Bmax و Bmin بیان می کنیم. مقدار Bmax بر طول فریم ACK نیز تاثیر می گذارد.
3. محدودیت بر روی تاخیر بسته ها : می توان بر اساس تاخیر بسته ها, بسته ها را مرتب نمود.
4. مقصد بسته ها: می توان بر اساس مقصد , بسته ها را مرتب نمود. بدیهی است بسته هایی که مقصد یکسان دارند در یک Burst Frame قرار می گیرند ولی اگر از آنتن هایی استفاده کنیم که دیتا را در تمام جهات ارسال می نمایند در اینصورت تمام نودهایی که در حوزه طیفی آنتن قرار دارند , فریم ارسال شده را دریافت می کنند. بنابراین می توانیم بسته های دارای مقصد های متفاوت را در یک Burst Frame قرار دهیم که باعث کاهش نسبی سرایند سنکرونیزاسیون می گردد . ولی این روش نیز مشکلات مربوط به خود را دارد به عنوان نمونه زمان زیادتری فرستنده باید منتظر بماند تا ACK مربوط به گیرنده های متفاوت را دریافت نماید .
5. پیشگویی تعداد بسته هایی که در مدت زمان مشخص از لایه بالاتر به لایه MAC وارد می شوند: ایده نهفته پشت این سیاست بدین گونه می باشد که اگر مثلا از RTS/CTS برای جلوگیری از تصادم استفاده می شود , ممکن است در حین ارسال RTS و دریافت CTS تعدادی بسته جدید از لایه بالاتر به لایه MAC وارد شوند و به Burst Frame جاری اضافه شوند . که این باعث افزایش طول Burst Frame بدون افزایش

سرایند سنکرونیزاسیون , که این کار باعث کاهش نسبی سرایند سنکرونیزاسیون می گردد. البته این مستلزم این است که بتوانیم پیشگویی در مورد تعداد بسته هایی که در این مدت وارد لایه MAC می گردند داشته باشیم تا کانال را برای مدت زمان بیشتری رزرو کنیم (زمان بزرگتری را در فیلد duration , RTS قرار دهیم). در اینصورت تاخیر بسته ها و سرایند سنکرونیزاسیون می تواند کاهش یابد. روشن است که اگر تعداد بسته ها کمتر از مقدار پیش بینی شده باشد , بازدهی کانال کاهش یافته است.

در واقع Assembly Policy , مشخص کننده این است که چه الگوریتمی برای دستیابی به نیازهای Qos وعدالت بین جریان های ارسالی به مقصدهای متفاوت می توان پیاده سازی نمود. الگوریتم های مختلفی من جمله Round Robin (مسابقه به نوبت) , ارسال فریم هایی که فرجه کمتری دارند , وزن دهی منصفانه به صف های مختلف , موجود می باشد.

4. سیاست Acknowlegment :

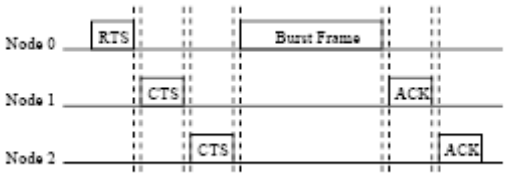
سیاست ACK مشخص کننده الگوریتم پاسخ دادن گیرنده به فرستنده می باشد. این الگوریتم وابسته به سیاست اسمبلی بسته ها می باشد.

اگر بسته های موجود دریک Burst Frame دارای مقصد یکسان باشند سیاست ACK مشابه به IEEE 802.11 می باشد. ولی اگر بسته ها دارای مقصدهای متفاوتی باشند , لایه MAC مجددا باید طراحی شود. برای نمونه در RTS/CTS در واقع فریم RTS می بایست در بردارنده مشخصات کلیه گیرنده ها و اولویت های مختلف برای گیرنده های متفاوت در ارسال CTS (برای جلوگیری لز تصادم در فرستنده) باشد. به طور مشابه Burst Frame نیز باید حاوی اطلاعاتی مشابه RTS باشد تا مشخص کند در چه زمان هایی گیرنده ها فریم ACK خود را ارسال کنند.

Acknowlegment For packets in a Burst Frame:

اگر تمام بسته های یک Burst Frame به سمت مقصدی مشابه ارسال گردند , به نظرمی اید یک ACK برای تمام Burst Frame کافی باشد.

ولی یک مشکل در این روش وجود دارد که اگر یک بیت دچار خطا گردد , می بایست Burst Frame را مجددا ارسال نمود که اصلا مطلوب نیست. برای کاهش ارسال مجدد, مطلوب است که گیرنده وضعیت تک تک بسته های تحویلی در یک Burst Frame را جداگانه مشخص نماید , تا در صورت ایجاد خطا, بسته خطا دار مجددا ارسال گردد.



شکل 3 :ارسال CTS و ACK توسط نودها در زمان های مختلف برای جلوگیری از تصادم

برای این منظور از MAC با مشخصات زیر استفاده می کنند:

1.برای هر بسته داخل Burst Frame , check sum جداگانه ای درنظر می گیرند که مشخص کند کدامیک از بسته ها دچار خطا گردیده است.

2.در این روش ,اگر از الگوریتم GO BACK N استفاده شود می بایست #SEQ آخرین بسته ای که سالم تحویل گرفته شده را در فریم ACK قرار دهد و اگر از Selective Repeat استفاده می شود می بایست شماره بسته هایی که خطا دار هستند در فریم ACK برای فرستنده ارسال گردند.

: PIPELINING Acknowlegment

برای کاهش سرایند مربوط به سنکرونیزاسیون , افزایش بازدهی شبکه در وضعیت هایی که تاخیر انتشار زیاد است , به جای اینکه برای هر Burst Frame منتظر یک ACK باشد , گیرنده ارسال ACK را تا دریافت مقدار معینی Burst Frame به تاخیر می اندازد. این روش باعث کاهش سرایند سنکرونیزاسیون می گردد ولی نیاز به حجم بافر بزرگتری در فرستنده و گیرنده می باشد .

: Piggyback Acknowlegment

در این روش در ارتباطات دو طرفه به جای اینکه برای هر ACK , فریم جداگانه ای ساخته و ارسال شود,ACK را بر روی فریم داده سوار وبرای فرستنده ارسال می گردد.

5.سیاست کنترل خطا بسته ها (Packet Error Control Policy)

برای کنترل خطا می توان از موارد زیر بهره گرفت:

1.تغییر Spreading Factor :

به بیانی ساده می توان گفت Spreading Factor بیانگر فرکانس دنباله CDMA که در بیت های ارسالی ضرب می شود, است. در واقع

زیاد بودن این ضریب باعث پخش توان ارسالی در طیف فرکانسی گسترده تر, و ضرب مجدد این ضریب در گیرنده باعث بازگشت طیف سیگنال ارسالی به حالت اول وعدم تغییر در کاهش طیف نویز می گردد . در نتیجه بعد از عبور سیگنال دریافتی از فیلتر ,SNR افزایش یافته است.(نسبت به حالتی که از CDMA استفاده نکرده ایم ویا از کد با Spreading Factor کوچکتر استفاده نموده ایم).

از منظر لایه فیزیکی ,سیستم UWB می تواند Spreading Factor در کد DS را با توجه به شرایط کانال وفق دهد. وقتی خطا کانال زیاد است فرستنده و گیرنده با افزایش Spreading Factor منجر به افزایش SNR می گردند و بدین گونه اندکی بر خطای کانال چیره می گردند. در مقابل در کانال های امن از ضریب کوچکتر استفاده می کنند تا از پهنای باند کانال استفاده بهینه شود.

2. کدینگ کانال
3. استفاده از الگوریتم های GO BACK N و SELCTIVE REPEAT.

در این بخش با توجه به سیاست های بیان شده , یک پروتکل ساده MAC با مشخصات زیر را شبیه سازی می کنیم:

1.سیاست رده بندی بسته ها:

ما فقط یک کلاس برای ترافیک بسته ها در نظر می گیریم. فرض کنید N نود در شبکه وجود دارد. بنابراین در هر نود N-1 صف برای ارسال بست به نود های دیگر و یک صف برای پخش گسترده به کار گرفته می شود.

2.سیاست مدیریت بافر:

به هنگام پر شدن بافر بسته های اضافی را Drop می کنیم.

3.سیاست اسمبلی بسته ها:

در این پروتکل بسته هایی که مقصد یکسان دارند در یک Burst Frame قرار می گیرند.بنابراین می توانیم از ساختار و روش های کنترلی IEEE 802.11 استفاده کنیم. برای برقراری انصاف و تعادل بین مقصد های مختلف از الگوریتم Round-Robin ساده استفاده شده است.

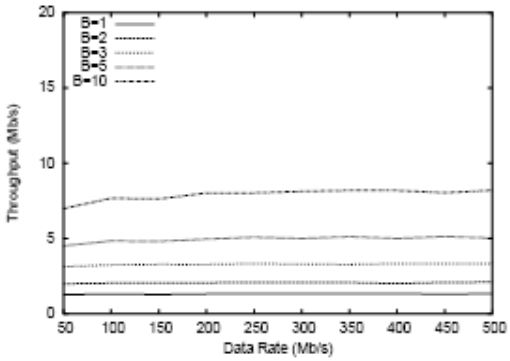
4. سیاست :ACK

گیرنده در صورت دریافت صحیح Burst Frame ارسالی فریم ACK را برای فرستنده ارسال می کند.

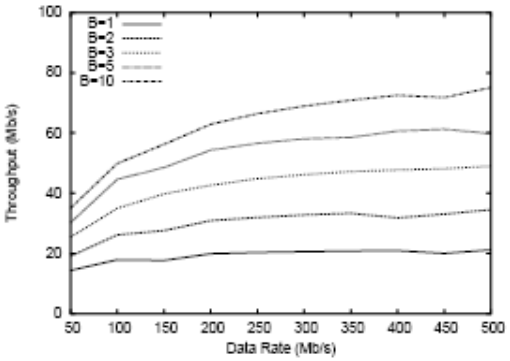
5. سیاست کنترل خطا:

به خاطر ساده شدن شبیه سازی از هیچ شماتیک کنترل خطا استفاده نشده است.

در این قسمت به بیان نتایج شبیه سازی بسنده می کنیم واز ذکر جزییات خودداری می کنیم.



(b) $T = 1ms$

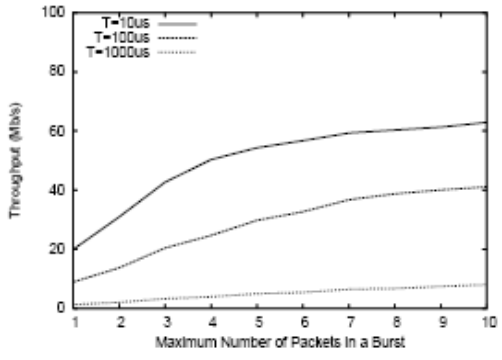


(a) $T = 10\mu s$

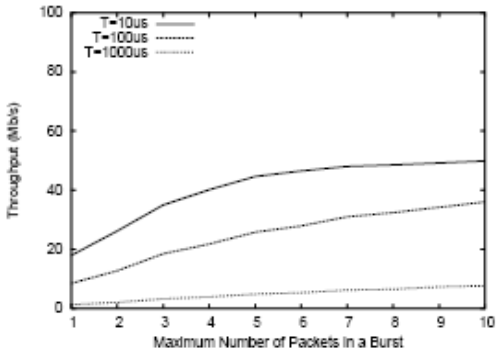
شکل 4:نمودار Throughput بر اساس نرخ دیتا

همانطور که از نمودار 4 مشخص است با افزایش نرخ داده کارایی شبکه افزایش می یابد.هر چه تعداد بسته ها درفریم افزایش یابد همانطور که انتظار داشتیم کارایی سیستم افزایش می یابد.در ضمن هر چه زمان سنکرون شدن گیرنده و فرستنده بیشتر باشد کارایی سیستم کاهش می یابد.

در این نمودارکاملا واضح است که با افزایش تعداد بسته ها در فریم ارسالی به دلیل کاهش نسبی زمان سنکرونیزاسیون , کارایی شبکه افزایش می یابد. در ضمن افزایش زمان سنکرونیزاسین کارایی سیستم را کاهش می دهد.



(b) $R = 200$ Mb/s



(a) $R = 100$ Mb/s

شکل 5:نمودار Throughput بر اساس ماکزیمم تعداد بسته ها در یک Burst Frame

فصل 4

بررســـــی بخـــــش MAC استاندارد ECMA 368

مفاهیم مقدماتی:

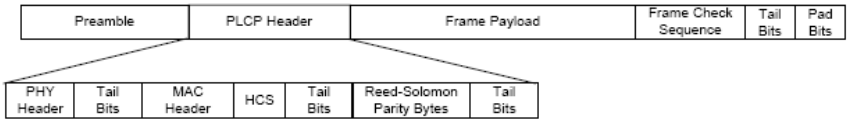
آدرس دهی MAC :

هـر Device توسـط یـک آدرس دهـــی اســتاندارد 48-Bit (EUI-48) مشخص مـی شود کـه در یـک آرایش بـه هـر کـدام یـک آدرس موقـت 16-Bit (بـه نـام DevAddr) اختـصاص داده مـی شـود. در ایـن اسـتاندارد آدرس هـای Unicast، Multicast و Broadcast درنظـــر گرفتـــه شـــده اســـت. DevAddrها محلی تولید می شوند و ممکن است دو MAC با یک DevAddr مشخص شوند.

فرضیات MAC از PHY:

- ارسال و دریافت Frame در حالت Single و Burst.
- آشـــکار ســـازی خطـــا در Header (هم PHY هم MAC)
- Channel Sensing بـرای تشخیص حالت کانال خالی
- Timestamp بـــرای انـــدازه گیـری فاصـله اگـر MAC range measurement پشتیبانی شده باشد.
- PHY، بیـت هـا را بـه ترتیـب می رساند.

Frame:



پارامتر هایی می تواند بین MAC و PHY رد و بدل شود، از جملـه Frame Transmission mode، Frame payload data rate and length، Frame preamble، PHY Channel و ...

Single Frame Transmission ← MAC دارای کنترل کامل است.

Burst mode ← MAC کنتـــــرل Frame اول، PHY کنترل بقیه .

کـارایی (سـرویس هـای) MAC در استاندارد:

- مخابرات بینDeviceهای داخل محدوده رادیویی
- تکنیک دسترسی کانال اولویت بندی شده و Contention-based
- یک مکانیزم سنکرون سازی برای استفاده Application های هماهنگ.
- مکانیزم هایی برای Mobility و Interference .
- مدیریت توانDeviceها توسط زمان بندی ارسال و دریافت Frame .
- مخابرات امن با تکیه بر Data authentication و Encryption .
- مکانیزمی برای فاصله یابی در Device.

معماری لایه MAC کاملاً غیر مرکزی است. هرDevice همه کارایی MAC را دارا است. تمام هماهنگی ها، تشخیص Deviceهای مجاور، تنظیم دینامیک شبکه و ... از طریق ردوبدل کردن Beacon Frame صورت می گیرد. این Frame ها، زمان بندی لازم برای Network and Carry reservation و برنامه ریزی تخصیص کانال را نیز تامین می کنند.

گروه های منطقی :

این Distributed MAC Protocol، برای هرDevice نسبت به آنDevice در همسایگی خود تعریف می شود. در این استاندارد، دو گروه منطقی در همسایگی یک Device تعریف می شود: Beacon Group و Extended Beacon group .

الگوریتم های کنترلی :

این الگوریتم ها دو وظیفه عمده دارند:

1- جلوگیری از ارسال همزمان beacon توسط Device و هر Device دیگری در extended beacon group

2- یکتا بودن DevAddr یک Device در extended beacon group

انتخاب کانال :

موقع شروع کار، Device یک یا چند کانال را اسکن کرده یکی را انتخاب می کند. اگر در این کانال beacon موجود نبود، Device با ارسال یک frame، beacon period(BP) خود را می سازد. اگر موجود بود، BP خود را با beaconهای موجود سنکرون می کند.

هرDevice مستقل ار بقیه بدون کانال ثابت عمل می کند، پس در هر زمان می تواند کانال

خود را بسته به نیاز (تداخل و یا ...) تغییر دهد، بدون اینکه ارتباطات با سایر Deviceها قطع شود.

حفاظت Becon Period:

هرDevice، خود و همسایگانش را جهت استفاده beacon protocol حفظ می کند. ارسال frame غیر از beacon در BP هیچ deviceی صورت نمی گیرد.

: Superframe

ساختار زمانی پایه برای تبادل frame، superframe است. هر superframe متشکل از 256 medium access slot(MAS) است. هر superframe با یک BP آغاز می شود که روی یک یا چند MAS گسترش دارد. زمان آغاز اولین MAS در BP، (BPST) beacon period start time نامیده می شود.

ارسال بین Deviceها :

MAC از لایه بالای خود (MSDU) MAC service data unitتحویل می گیرد و در data frame برای deviceهای دیگر ارسال می کند. Data frameها می توانند fragment شوند.

این استاندارد سه Acknowledgement policy دارد:

1- No-ACK: برای frameهایی که صحیح رسیدن آنها مهم نیست یا بهDelay و Jitter حساسیت دارند.

2- Imm-ACK: که در آن هر frame به محض دریافت، به تنهایی ACK می شود.

3- B-ACK: که در آن فرستنده frameهای متعدد ارسال می کند، و گیرنده هنگام درخواست ACK از طرف فرستنده، Frameهای دریافتی را یکجا ACK می کند.

اگر فرستنده، هنگام درخواست ACK، پاسخ مناسب دریافت نکند، می تواند Frame را دوباره ارسال کند یا دور بریزد. فاکتورهای تعیین کننده در این تصمیم گیری عبارت اند از: نوع داده یا فرمان، تعداد دفعات ارسال، زمان تلاش برای ارسال frame و ...

نرخ داده :

beaconها برای دریافت در همه گیرنده ها ارسال می شوند، پس payload آنها با یک نرخ مشخص ارسال می شود که توسط همه قابل decode کردن است. در data frameها، نرخ ارسال متغیر است و به هماهنگی فرستنده و

گیرنده بستگی دارد. همه header ها با ید با کمترین نرخ داده تامین شده از سوی PHY ارسال شوند.

امنیت:

شبکه های بی سیم، از لحاظ امنیت حساسیت خاصی دارند. در این استاندارد، برای هرframe دو سطح no security و strong security لحاظ شده است. برای ارتباط بین دو Device، سه حالت امنیت وجود دارد که frameهای یک ارتباط بر اساس حالت مربوطه و نقش تکی frame، در یکی از دو سطح قرار می گیرند.

تبادل اطلاعات:

protocolهای این استاندارد به تبادل اطلاعات (غیر از داده) بین دو device نیاز دارند. این اطلاعات می تواند در beaconها broadcast یا اینکه توسط فرمان های probe درخواست شود. برای هر نوع اطلاعات کد Information (IE) element در نظر گرفته شده است.

سنکرون سازی تایمرهای لایه های بالاتر:

برای پاسخ گویی به نیاز Appplicationهایی که از timerهای high-resolution یا low-jitter استفاده می کنند استاندارد یک feature اختیاری برای device تعریف کرده است که به چندین Application اجازه می دهد همزمان timerهای خود را با Deviceهای دیگر سنکرون کنند.

تطبیق نرخ داده:

یک مکانیزم برای تنظیم دینامیک نرخ داده وجود دارد که با استفاده از آن گیرنده می تواند نرخ داده بهینه را برای افزایش throughput یا ... به فرستنده اعلام کند.

مدیریت توان:

برای افزایش طول عمر Deviceهایی که با باتری تغذیه می شوند، استاندارد دو power mode در نظر گرفته: Active و Hibernation.

Deviceهای فعال در هر Superframe به ارسال و دریافت می پردازند. یکDevice می تواند با قرار دادن یک Hibernation Mode IE در beacon خود قصد خود به hibernate کردن و طول زمان hibernation مورد نظر (در واحد های طول Superframe) به همسایگی خود

اعلام کند. درhibernation mode، Device ارسال و دریافت نمی کند.

اندازه گیری فاصله:

طـی ایـن اسـتاندارد، یـک Device مـی توانـد فاصله (یک بعدی) خود را با دیگر Deviceها بسنجد.

:MUX Sublayer

در لایه MAC ، یک زیر لایه موجود است که اجازه می دهد MAC همزمان به چند protocol لایه بالاتر فعال سرویس دهد. (عملا agent های فعال را روی MAC ؛Multiplex مـی کنـد.) این زیر لایه الزامی است.

تشریح کارایی MAC:

آدرس دهی :

Type	Range
private	0x000 - 0x00FF
generated	0x0100 - 0xFEFF
multicast	0xFF00 - 0xFFFe
broadcast	0xFFFF

چهار توع DevAddr موجود است :

1. Private
2. Generated
3. Multicast
4. Broadcast .

هـــــر device یـــــک آدرس private و یا generated به MAC خود اختصاص می دهد. اگر از NULL EUI-48 استفاده می کند، باید یک آدرس private انتخاب کند. در غیر این صورت device یـک آدرس بـه صـورت تـصادفی از بـازه آدرس هـای generated انتخـاب مـی کنـد، بـا حـــصول اطمینـــان از اینکـــه ایـــن آدرس در extended beacon group خود یکتاست. روی هـر frame، در قـسمت آدرس مبـدا، آدرس خـود device فرستنده و در قسمت آدرس مقصد بنا بـه مـــورد آدرس گیرنـــده یـــا یـــک آدرس در بـــازه

Multicast یـا Broadcast گذاشـته مـی شـود. هیچ frameی بـا مقصد private و هیچ frame غیر beacon با مبدا private در خارج ار رمان private reservation ارسال نمی شود.

هر device بـه محض دریافت یـک MAC header کـه آدرس مبدا آن بـا آدرس خودش یکی است، یا یـک beacon frame در بـا آدرس برابر آدرس خودش در BPOIE که یـک beacon slot در زمـان غیـر از ارسـال beacon خـود، متوجـه تداخل DevAddr در همسایگی خود می شود و فورا یـک آدرس جدید تولید و بـه بقیـه اعـلام مـی کند.

در یافت یک frame:

یـک frame دریـافتی مـوقعی سـالم شـمرده مـی شود که هم header check sequence (HCS) و هـم frame check sequence(FCS) آن درست ارزیـابی شوند و هم Protocol version آن توسـط گیرنـده پـشتیبانی شـود. اگـر در یـک frame فقـط HCS صـحیح باشـد، header آن خوانـده و پـردازش شـده، Payload دور ریختـه می شود.

ارسال frame:

MAC موظف است کـه تمام MSDUهایی را که آدرس مقصد و Delivery ID یکسان دارند به ترتیب دریافت از لایـه بـالاتر ارسـال کند. MAC مختـار است کـه MSDUهـای بـا آدرس مقصد یـا Delivery ID متفـاوت را بـه ترتیبـی غیـر از ترتیب دریافت از لایه بالاتر ارسال کند.

اگر از سیاست B-ACK استفاده شده باشد، بـه علـت ارسـال دوبـاره frameهـا ممکـن اسـت کـه ترتیـب شـماره frame و شـماره fragment در frameهای ارسالی و دریافتی به هم خورده باشد. موقع تحویل به لایـه بـالاتر درMAC گیرنده، اولاً MSDUها با آدرس مبدا وDelivery ID یکسان باید به ترتیب تحویل داده شوند، ثانیاً MSDUهای Fragment شده باید سر هم شوند.

فاصـــله بـــین Inter-(IFS) frame space :

در این استاندارد مشابه بسیاری از MACهای بـی سیم، پس از هر frame ارسـالی یـک فاصـله زمانی به نـام IFS توسط همـه deviceها رعایت می شود. سه نوع IFS وجود دارد:

1. Minimum inter- (MIFS) frame spacing
2. Short inter-frame (SIFS) spacing

3. Arbitration (AIFS[i]) inter-frame spacing

یک device پس از ارسال frame برای ارسال frame بعدی باید حداقل MIFS صبر کند. اگر طول payload صفر باشد، باید حداقل SIFS صبر کند. یک device بعد از دریافت، برای ارسال frame باید حداقل SIFS صبر کند.

:MIFS

وقتی جندین frame متوالی با استفاده از Burst Mode در PHY ارسال می شوند، بین هر دو frame یک MIFS فاصله است. همه frame های یک Burst باید از N_0-ACK یاB-ACK استفاده کنند ، مگر frame آخر که نمی تواند از هر نوع استفاده کند.

:Frame transaction

به مجموعه تبادل احتمالی RTS/CTS ، ارسال frame و ارسال احتمالی ACK ، یک Frame transactionگفته می شود. به عنوان مثال :

:SIFS

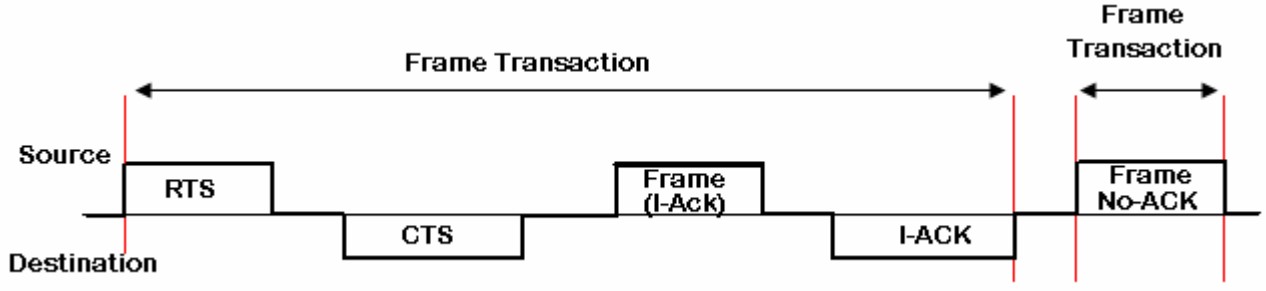
درون یک Frame transaction ، بین هر دو frame یک SIFS فاصله است.

:AIFS

AIFS حداقل زمانی است که در تکنیک PCA یک device بعد از تشخیص کانال خالی، استفاده از کانال را به تاخیر می اندازد.

:RTS/CTS

RTS و frame CTSهای کنترلی بدون payload هستند. عملکرد مکانیزم RTS/CTS مشابه اکثر Protocolهای بی سیم است. یک فرستنده قبل از ارسال یک یا چند frame در یک TXOP یا یک PCA Reservation Block، RTS می فرستد. اگر هدف یک reservation در زمان یک reservation blockاز صاحب reservation block، RTS دریافت کند، مستقل از وضعیت NAV خود، پس از گذشت SIFS با CTS پاسخ



می دهد. اگر خارج از reservation block یک RTS دریافت کند، پس از گذشت SIFS به شرطی CTS می فرستد که NAV آن صفر باشد و ارسال CTS حداقل SIFS قبل از BP بعدی یا آغاز reservation block خود و یا همسایگان پایان یابد. با دریافت CTS، مبدا با گذشت SIFS، frame یا frame های خود را ارسال می کند. اگر مبدا پس از ارسال RTS، به مدت زمان ارسال SIFS+CTS پاسخی دریافت نکند، RTS را دوباره (با الگوریتم های مشخص در زمان های مشخص) ارسال می کند.

اجزای MAC header :

در این بخش به معرفی کلی اجزای header پرداخته می شود. برای جزئیات و ریز قواعد به استاندارد رجوع شود.

1- Duration: این جزء در beacon frame معرف زمان باقی مانده از آخر header تا آخر BP یا frame است. ممکن است صفر گذاشته شود. در frameهای RTS، داده و فرمان، معرف زمان باقی مانده تا پایان reservation block، TXOP PCA یا یک سری Frame ارسالی است.

2- More Frames: معرف این است که فرستنده قصد دارد در reservation block یا (در حالت PCA) superframe حاضر به همین گیرنده frameهای بیشتری ارسال کند.

3- MAC :Sequence number به هر MSDU یا MCDU یک شماره 11 بیتی اختصاص می دهد. این شماره برای تشخیص frameهای تکراری و frameهای گمشده به کار می رود. اگر یک MSDU، fragment شود Sequence number در همه fragment ها یکسان است و فقط در شماره fragment تفاوت دارند.

:Information Elements(IE)

IEها در frameهای beacon و فرمان برای رساندن اطلاعات کنترلی گذاشته می شود. هر IE دریک beacon frame مربوط به همان superframeاست و به superframeهای قبل و بعد ارتباطی ندارد. deviceها می توانند با frame فرمان probe مستقیماً از deviceهای دیگر درخواست IE کنند. IEهای مهم در کاربردهای آنها در بخش های آینده ذکر می شوند.

:Beacon Period

هر superframe با یک BP آغاز می شود که حداکثر از تعداد مشخصی beacon slot تشکیل شده است. طول عمر هر beacon slot نیز

مشخص است. تعداد mSignalSlotCount (که یک متغیر است) از اولین slotهای BP را Signaling slot می نامند. و برای افزایش طول BP همسایگان استفاده می شود. (طول BP در هر device ذخیره و به روز می شود) هر device که در حالت فعال قرار دارد در طول BP خود، Beacon ارسال کرده و Beaconهای بقیه را دریافت می کند. ارسال هر beacon، اول slot شروع شده حداکثر زمان مشخصی دارد به طوری که بین دو beacon همیشه یک guard time وجود دارد.

وضعیت beacon slotها:

اگر در تعداد مشخصی superframe گذشته، slot شماره x در هیچ beaconی اشغال اعلام نشده بود، آن Slot خالی تلقی شده و device می تواند در آن beacon ارسال کند. در غیر این صورت، slot اشغال تلقی می شود.

طول BP:

هر device در beacon خود، طول BP را گزارش می کند. این طول شامل slot خود و تمامی slot های اشغالی superframe گذشته است. device می تواند حداکثر تعداد مشخصی slot بعد از آخرین Slot اشغال شده را در طول BP خود لحاظ کند.

ارسال و دریافت beacon:

هر device قبل از اینکه به ارسال frame بپردازد (مثلا موقع روشن شدن) زمان یک suerframe به بررسی کانال می پردازد. اگر هیچ beacon header ای در این زمان دیافت نکرد، یک BP درست کرده beacon خود را ارسال می کند. اگر beacon header ببیند BP جدید نمی سازد و حداکثر در فاصله مشخصی پس از آخرین slot اشغال ،Beacon ارسال کرده به مخابره داده می پردازد.

- اگر device (طی عملکرد مشخصی) متوجه collision در slot خود شده یک slot جدید یعد از آخرین slot اشغال شده انتخاب می کند و آنجا به ارسال beacon می پردازد.
- اگر slot انتخابی یک device خارج از BP هر کدام از همسایگان بوده، device همان beacon را با "1" کردن signaling slot bit (در header) در یکی از signal slot ها ارسال کرده و این کار را در superframe های متوالی چنان تکرار می کند که BP گزارش شده از همسایگان، slot خود device را شامل شود.
- اگر device در یک signaling slot، beacon دریافت کند BP خود را تا شامل شدن slot مربوطه گسترش می دهد. اگر در یک signaling slot، متوجه frame خراب یا

collision شـود، بـرای یـک superframe بـه تعداد مشخصی slot بعد از BP خود نگاه می کند.

- غیـــــر از beacon (آن هـــــم در slot مـــشخص)، device در BP هـــیچ کـــدام از همسایگانش حق ارسال frame ندارد.
- اگـر در یـک superframe از همـسایه ای beacon دریافـت نـشد، device از اطلاعـات beacon آن همـسایه در superframe قبلـی استفاده می کند. اگر این اتفاق در تعداد مشخصی superframe متـــوالی رخ دهـــد، device آن همسایه را از لیست همسایگانش حذف می کند.

انقباض BP:

device، beacon خود را حرکت پذیر می داند اگـر بـین slot خـود و آخـرین signaling slot، یـک Slot خـالی وجـود داشـته باشـد. اگـر device بـرای تعـداد مشخـصی superframe، beacon خـود را حرکـت پـذیر بدانـد و همـه beaconهـای قبلـی توسـط یـک BPOIE (قـسمتی از یـک beacon header که بـه گـزارش وضـعیت دیگـر beaconها می پردازد) حرکت ناپذیر اعلام شده باشند، Beacon خـود را در superframe بعـدی به اولین slot خالی انتقال می دهد.

ادغام BP:

ممکـن اسـت در اثـر تحـرک deviceهـا، deviceهـایی کـه از BPST (زمـان شـروع BP) های متفاوت استفاده مـی کنند در Range یکدیگر قـــرار گیرنـــد، در ایـــن صـــورت اســـتاندارد مکانیزمهایی را پیشنهاد کرده که در دو حالت BP overlap و BP's non-overlapping، BPهای دو device با هم سنکرون شوند. از ذکر جزئیـات خـودداری شـده اسـت، بـرای اطلاعـات بیشتر به استاندارد رجوع کنید.

Prioritized Contention (PCA) Access:

PCA یـک مکـانیزم اولویـت بنـدی شـده و غیـر متمرکـز بـرای دسترسـی contention-based بـه کانال است. در این تکنیـک بـرای frameهـا چهـار Access Category (AC) در نظر گرفتـه شده کـه جداگانـه در هـر device، buffer مـی شـوند. device بـــر اســـاس عملکـــرد خاصـــی بـــرای frameهـای هـر AC یـک TXOP بدسـت مـی آورد. بـرای data frameها، هشت اولویت بـرای کاربرهـا بـه جهـار AC نگاشـته مـی شـوند (طبـق جدول زیر):

در PCA، کانـال در زمـان هـایی غیـر قابـل دسترسی شمرده می شود:

Priority	User Priority (Same as 802.1D User Priority)	802.1D Designation	AC	Designation (Informative)
Lowest	1	BK	AC_BK	Background
	2	-	AC_BK	Background
	0	BE	AC_BE	Best Effort
	3	EE	AC_BE	Best Effort
	4	CL	AC_VI	Video
	5	VI	AC_VI	Video
	6	VO	AC_VO	Voice
Highest	7	NC	AC_VO	Voice

- در BP خود یا بقیه device ها
- در reservation blockهای BPهای بیگانه (که در فرایند سنکرون سازی BPST استفاده می شود)
- در reservation blockهای hard و private
- در reservation blockهای soft به شرطی که هدف reservation که همسایه و صاحب reservation ، غیر همسایه باشد.
- در بازه مشخصی پس از آغاز reservation blockهای soft یا PCA که صاحب reservation یک همسایه باشد.

در غیر این صورت ، کانال قابل دسترسی است.

Network Allocation (NAV) Vector:

هر device که از PCA استفاده می کند یک NAV نگاه می دارد که مشخص کننده زمان استفاده هر همسایه از کانال است. این زمان های باقی مانده استفاده همسایگان توسط مقادیر duration در MAC header آنها به روز می شود. NAV با زمان کاهش می یابد تا به صفر برسد.

در صورتی که PHY کانال را اشغال گزارش کند، NAV بزرگتر از صفر باشد یا

خود device در حال ارسال یا دریافت باشد، کانال از دید PCA اشغال است.

AIFS[AC]:

device بعد از تشخیص حالت آزاد کانال به مدت AIFS[AC] قبل از حصول TXOP یا ادامه کاهش شمارنده AC مربوطه صبر می کند. هر چه اولویت یک AC بیشتر باشد، AIFS آن کوچکتر است.

یک device موقعی TXOP برای یک AC بدست می آورد که:

1- یک یا چند frame (داده یا فرمان) آماده ارسال دارد.

2- شمارنده Backoff مربوط به این AC به صفر رسیده است.

3- کانال برای مدت AIFS[AC] آزاد بوده است.

4- هیچ AC اولویت بالاتری سه شرط اول را ارضاء نکند.

به محض اینکه این شرایط ارضا شد، device شروع به ارسال frameهای آن AC (از جمله RTS) می کند.

یک TXOP برای هر AC، حداکثر مدت زمانی دارد که اگر device، برای آن مدت کانال را اشغال کرده و frameهای بیشتری داشته باشد باید دوباره از اول TXOP بدست آورد. device نمی تواند frame transactionی آغاز کند که پایان آن بعد از پایان TXOP باشد.

طی قواعد ذکر شده و برخی قواعد ذکر نشده، روند انجام کار در یک TXOP به شرح زیر است:

1- صاحب TXOP در آغاز TXOP اولین frame مربوط به اولین transaction را ارسال می کند.

2- پس از ارسال یک frame با نوع No-ACK یا B-ACK صاحب frame TXOP بعدی را MIFS یا SIFS پس از پایان frame ارسال می کند.

3- پس ار دریافت RTS-frame یاnon-RTS-frame یا نوع Imm-ACK یا B-ACK request، گیرنده یک CTS، Imm-ACK یا B-ACK پس از تاخیر SIFS ارسال می کند.

4- پس ار دریافت CTS، Imm-ACK یا B-ACK، صاحب TXOP پس از مدت SIFS، frame بعدی یا یک frame تکراری را ارسال می کند.

5- پس از دریافت یک B-ACK با HCS صحیح ولی FCS اشتباه، فرستنده می تواند یا frame قبلی را دوباره ارسال کند و یا frame بعدی را.

محدودیت هایی نیز روی ارسال frame توسط PCA وجود دارد، از جمله :

- اگر deviceی در یک PCA Availability IE در Superframe اعلام کرده باشد که در یک MAS، قابل دسترسی نیست، هیچ device دیگری نمی تواند در آن برای device اول frame بفرستد. موارد دیگری هم هست که از حوصله این بحث خارج است.

فرایند Backoff:

یک device برای هرAC برای ارسال توسط PCA یک شمارنده backoff دارد. این شمارنده به مقدار تصادفی ای بین 0 و CW[AC]، initialize شده و پس از آن آز آن کاسته می شود تا به صفر برسد. CW[AC] برای هر AC طبق روش خاصی از اعداد بین دو مقدادر ماکزیمم و مینیمم انتخاب می شود.

شمارنده backoff در زمان های خاصب آغاز به کار می کند، از جمله :

- هنگامی که از لایه بالاتر MSDU می رسد (تحت شرایطی)
- هنگام اتمام آخرین transaction مربوط به یک AC
- هنگام اتمام آخرین transaction قبل از پایان TXOP
- ...

کاهش شمارنده backoff به این صورت است که بعد از آغاز شمارنده با SIFS تاخیر، شمارنده کاهش می یابد. اگر کانال اشغال شد، کاهش می ایستد تا گذشتن AIFS[AC] پس از آزاد شدن کانال.

Distributed Reservation Protocol (DRP):

DRP، deviceها را قادر می سازد که برای یک یا چند MAS، کانال را برای ارتباط با یک یا چند device دیگر به خود اختصاص دهند. این تخصیص توسط DRP IEهایی در Beaconهای متقاضیان صورت می گیرد.

فرایند reservation همیشه توسط آغاز کننده transactionهایی که قرار است در طول reservation رخ دهند، آغاز می شوند. به این device، صاحب reservation و به گیرنده اطلاعات، هدف reservation گفته می شود.

نوع reservation:

هر DRP IE یک نوع reservation در خود مشخص می کند. یک device اطلاعات نوع reservation بگیرد، ابتدا توسط این IEها MASهای خالی را پیدا می کند.

مذاکرات DRP:

برای هماهنگی یک reservation متقاضی می تواند از طریق frameهای فرمان اختصاصی با هدف مورد نظر صحبت کند یا اینکه به طور ضمنی توسط IEها این کار را در beaconها

Reservation Type	Description
Alien BP	Prevents transmission during MASs occupied by an alien BP.
Hard	Provides exclusive access to the medium for the reservation owner and target; unused time should be released for PCA.
Soft	Permits PCA, but the reservation owner has preferential access.
Private	Provides exclusive access to the medium for the reservation owner and target. Channel access methods and frame exchange sequences are out of scope of this specification; unused time should be released for PCA.
PCA	Reserves time for PCA. No device has preferential access.

موجود در DRP IEهای همه همسایگان را می خواند و بر اساس آن ها ارسال می کند.

انواع reservationها و کاربردشان در جدول زیر آمده است.

DRP Availability IE:

هر device در این IE، MASهایی را که برای تخصیص دیگران غیر قابل دسترسی هستند گزارش می کند. اگر یک device بخواهد انجام دهد. در هر دو صورت، متقاضی مذاکرات را با قراردادن یک IE در beacon خود خاتمه می دهد. یک device در beacon خود در MAC Capabilitie IE اعلام می کند که توانایی مذاکره مستقیم را دارد یا خیر.

برای جزئیات handshakeهای فرایند مذاکرات، به خود استاندارد رجوع کنید.

تداخل DRP reservation:

ممکن است به علت حرکت deviceها، انتخاب MASهای یکسان در مذاکرات مستقل یا ... در تخصیص MASها تداخل پیش آید. استاندارد برای رفع این تداخل ها با تکیه بر اولویت بندی انواع و شرایط مختلف reservationها، عملاً راهکاری مانند رعایت حق تقدم برای deviceها نهاده که با رعایت آنها، تداخل ها رفع می شود. یک device پس از سنکرون سازی BPST خود، می تواند یک DRP reservation موجود را با superframe جدید تطبیق دهد، به شرطی که در درخواست جدید نوع reservation و تعداد آن با قبلی یکسان باشد.

تغییر و حذف reservation:

صاحب reservation می تواند در طول آن، MASهایی به گروه MASهای تخصیص یافته اضافه کند یا برخی از آن ها را آزاد کند. برای اضافه کردن نیاز به مذاکرات جدید است ولی برای حذف کردن نه. برای حذف کردن کلی یک reservation، کافی است که صاحب آن DPR IE را از beacon خود حذف کند.

حذف reservationهای hard یا block private:

در مورد این نوع، اگر frameهای ارسالی قبل از پایان مدت reservation تمام شوند، فرستنده باید (به شرطی که تا قبل از اتمام مدت فرصت کافی باقی مانده باشد) آن بلوک را با ارسال UDA و دریافت UDR frame، آزاد کند. برای زمان بندی این تبادل به استاندارد رجوع کنید.

سنکرون سازی:

هر device یک BPST برای خود حفظ می کند و از آن در همه ارتباطات با همسایگان خود استفاده می کند. این BPST باید طوری انتخاب شود که superframe با کندترین همسایه سنکرون باشد. این سنکرون سازی از طریق مقایسه زمان واقعی دریافت beacon از هر همسایه با زمان پیش بینی شده برای آن (از روی شماره Slot، BPST ابلاغ شده) انجام می شود. دقت اندازه گیری های ارسال و دریافت beacon در استاندارد مشخص شده است.

- هنگام خروج از hibernation، device باید حداقل زمان یک superframe قبل از ارسال به سنکرون سازی خود یا همسایگان بپردازد.
- چون در زمان های deviceهای مختلف ممکن است اختلافاتی بروز کند (سنکرون سازی غیر ایده آل) پس از بازه هایی چون

reservation blockها علاوه بر SIFS یک guard time هم در نظر گرفته می شود. این زمان دقیقی است که در استاندارد مشخص شده است.

Fragmentation و بازسازی:

مبدا می تواند هر MSDU و یا MCDU را fragment کند به شرطی که تعداد fragmentها از مقدار مشخصی بیشتر و اندازه آن ها از مقدار مشخصی کمتر نشود. همه fragmentهای یک MSDU با یک Sequence Number مشخص شده و به ترتیب از صفر به یعد شماره گذاری fragment می شوند. لایه MAC گیرنده باید هر MSDU یا MCDU را به طور کامل بازسازی کرده به لایه بالاتر تحویل دهد. اگر در وضعیت No-ACK باشیم، از دست دادن یک fragment به معنی از دست دادن کل frame است. می توان هر fragment را جداگانه ACK کرد ولی در نهایت مسئولیت گیرنده است که داده ها را سالم تحویل دهد.

Aggregation:

هر فرستنده می تواند MSDUهای متعدد را به هم بچسباند و در یک frame ارسال کند. از احاظ Acknowledgment و ارسال مجدد هر Aggregate frame مانند یک frame عادی است. تعداد MSDUهایی که فرستنده می تواند به هم بچسباند توسط استاندارد محدود شده است. در گیرنده هر frame دوباره به MSDU تجزیه می شود و به لایه بالاتر تحویل داده می شود.

سیاست Acknowledgment:

سه سیاست وجوددارد: No-ACK، Imm-ACK و B-ACK. ACK کردن گیرنده مستقل از ملاحظات امنیتی (مانند validation) انجام می شود.

1- NO-ACK: در این سیاست فرستنده فرض می کند که frame درست دریافت شده است. همه frameهای Multicast و Broadcast باید No-ACK باشند.

2- Imm-ACK: به محض دریافت frame با سیاست Imm-ACK، گیرنده ACK را می فرستد (البته با تاخیر به اندازه SIFS).

3- B-ACK: در این سیاست فرستنده می تواند frameهای متعدد ارسال کند و سپس گزارشی از وضعیت دریافت صحیح یا غلط کلیه frameها را یکجا در یک ACK frame از گیرنده

دریافت کند. ابتدا مبدا درخواست استفاده از B-ACK را بـر ای یـک Data Stream بـه گیرنـده مـی دهـد. گیرنـده در صورت پذیزفتن حداکثر اندازه frame و حـداکثر تعـداد frameهـا را بـر اسـاس قابلیـت بـافر کـردن خـود بـه فرسـتنده گزارش مـی دهد. سپس فرستنده تعدادی frame باسیاسـت B-ACK بـرای گیرنده می فرستند و سیاست frame آخر را بابـد B-ACK request قرار دهـد. گیرنـده بـا دریافت B-ACK request، یک B-ACK frame که حاوی فیدبک مناسب در مورد وضـعیت ارتبـاط است بـرای فرسـتنده پـس مـی فرسـتد. یـک فرستنده می تواند همزمان چندین ارتبـاط B-ACK بـا یـک یـا چند گیرنـده برقرار کنـد. بـرای هـر ارتبـاط B-ACK یـک شمارنده بـه طـور جداگانـه sequence numberها را برای frameها تولید مـی کند.

هم فرستنده و هم گیرنده مـی توانـد در هر لحظـه ارتباط B-ACK را قطع کند.

:Probe

Probe IE و Application-specific Probe IE در beaconها و فرمـان هـای probe برای درخواست IE خاصـی ازگیرنـده استفاده مـی شـوند. گیرنـده چنـین درخواسـتی ملـزم بـه پاسـخ گویی به آن نیست. اگر یک device بـرای یـک یـا چنـد IE قابلیـت پاسـخ گـویی بـه Probe دارد، ایـن قابلیت را در MAC Capabilities IE اعلام می کند (صفر یا یک).

انتخاب دینامیک کانال:

یـک device مـی توانـد پـس ار بررسـی کانـال هـای دیگـر، کانـال خـود را تغییـر دهـد. در ایـن صـورت در beacon خـود یـک Channel change IE را همراه با تعداد superframeهـای مانده تـا تغییر کانـال و شماره کانـال مقصد، ابـلاغ مـی کنـد. deviceهـای دیگـر مـی تواننـد از ایـن اطلاعات استفاده کرده و همراه اولـی تغییر کانـال دهند.

:Multi-Rate

Beaconهـا همیـشه بـا نـرخ ثـابتی ارسـال مـی شـوند. frameهـای دیگـر همیـشه بایـد بـا یکـی از نرخ های موجود در توانایی گیرنده (که در PHY Capabilities IE ابلاغ مـی شود) ارسـال شـوند. یـک گیرنـده مـی توانـد بـا اسـتفاده از Link

Feedback IE، نرخ ارسال بهینه را به فرستنده گزارش کند. معیار و روش تعیین این نرخ بهینه خارج از حوزه استاندارد است.

کنترل توان فرستنده:

device حق ندارد frameای را با سطح توان بالاتر از آخرین beacon ارسالی خود ارسال کند. گیرنده می تواند از طریق Link Feedback IE، توصیه هایی در مورد سطح توان به فرستنده بدهد، اما فرستنده ملزم به رعایت آنها نیست. معیار و روش تعیین توصیه ها خارج از حوزه استاندارد است.

مکانیزم های مدیریت توان:

هر device در هر superframe در یکی از دو power mode قرار دارد:

1 - Active mode: در این superframe، device ارسال و دریافت می کند.

2 - Hibernation mode: در این superframe، device ارسال و دریافت نمی کند (حتی beacon). device قبل از ورود به Hibernation، قصد خود بر این کار را در چندین sureframe متوالی اعلام می کند. در مدت Hibernation، device های دیگر Beacon slot آن را حفظ می کنند.

در Active mode، device می تواند در یکی از دو power state باشد: Awake و Sleep.

برای تغییر بین این دو حالت، باید موارد زیر را در نظر گرفت:

- هر device باید به اندازه یک guard time قبل از BPST بیدار باشد تا در ارسال و دریافت beacon شرکت کند.
- یک device می تواند در طول یک superframe بین خواب و بیدار تغییر حالت دهد، به شرطی که موقع ارسال داده (مثلاً از طریق DRP reservation) و موقعی که فرستنده ای از آن برای دریافت داده وقت گرفته است در حالت بیدار باشد.

Application-specific IE (ASIE):

استاندارد این قابلیت را به کاربرها داده است که در beaconها ASIEهایی را قرار دهند که format و استفاده آنها به Application خاصی مربوط است که شماره آن در Application ID داخل IE قرار دارد.

فاصله سنجی:

داشتن این قابلیت برای deviceها اختیاری است. هر device این قابلیت را در MAC capabilities IE خود ابلاغ می کند. یک device می تواند به یک هدف درخواست فاصله سنجی دهد و اگر هدف ACK کرد با یک Range Command Frame از نوع Range measurement، عملیات فاصله سنجی را آغاز می کند. دو MAC با پردازش مختصری که از حوصله بحث خارج است به کمک PHY Range Timer، فاصله یکدیگر را از هم محاسبه می کنند.

منابع و مآخذ:

[1] I. Broustis, S. Krishnamurthy, M. Faloutsos, M.Molle and J. Foerster; "A Multiband MAC Protocol for Impulse-based UWB Ad Hoc Networks"

[2] K. Lu, D. Wu and Y. Fang; "A Novel Framework for Medium Access Control in Ultra-Wideband Ad Hoc Networks"

[3] J. Ding, S.R. Medidi and K.M. Sivalingam; "MAC Protocols for Ultra-Wide-Band (UWB) Wireles Networks: Impact of Channel Acquisition Time"

[4] E.R. Green and S. Roy; "System Architectures for High-rate Ultra-wideband Communication Systems: A Review of Recent Developments"

[5] A. Agiwal and K. Sidhu; "MAC Protocols for Ultra-Wideband (UWB)"

[6] V.S. Somayazulu; "Multiple Access Performance in UWB Systems using Time Hopping vs. Direct Sequence Spreading"

[7] WiMedia Alliance at www.wimedia.ord

[8] www.802wirelessworld.org

[9] Intel Corporation at www.intel.com

[10] K. Siwiak and D. McKeown; *Ultra-Wideband Radio Technology*; John Wiley & Sons, Ltd.; West Sussex 2004; 1st Edition

[11] ECMA International: Standard ECMA-368: "High Rate Ultra Wideband PHY and MAC Standard"; December 2005; 1st Edition

[12] ECMA International: Standard ECMA-369: "MAC-PHY Interface for ECMA-368"; December 2005; 1st Edition