

رادیو دیجیتال

احسان داودیان

ehsan_di@yahoo.com

دانشکده برق دانشگاه یزد

پویا حاجبی

p_hajebi@yahoo.com

دانشکده برق دانشگاه یزد

مقدمه: رادیوهایی که تاکنون مورد استفاده بشر قرار گرفته اند از نوع آنالوگ بوده و دارای مشکلاتی چون انعکاس امواج و نیز پدیده داپلر هستند لذا تصمیم گرفته شد که از تکنیک های دیجیتالی در زمینه رادیو نیز استفاده شود. همچنین از دیگر مزایای دیجیتال سازی استفاده بهینه از طیف فرکانسی است بطوریکه در جولای 1988 نخستین پخش آزمایشی سیستم های دیجیتال در کشور آلمان انجام گردید.

واژگان کلیدی: رادیو دیجیتال، آنالوگ، هایبرید، رمزنگاری، نمونه برداری

1- سیستم پخش صدای دیجیتال (DAB) Digital Audio Broadcast

در سال 1995 شرکت CEPT یک کنفرانس طراحی طیف برای DAB زمینی را متناسب با WRC-92 در آلمان تشکیل داد که با توجه به اینکه سیستم DAB در محدوده فرکانسی 30MHz تا 3GHz مورد استفاده قرار می گیرد و این محدوده فرکانسی شامل باندهای VHF و L می شود که باند III و VHF از 170MHz تا 230 و باند I از 1452MHz تا 1492 می باشد را به DAB اختصاص دادند.

با توجه به اینکه انتشار امواج در هر یک از این محدوده های فرکانسی با دیگری متفاوت است چندین مد برای ارسال سیستم DAB تعریف شده است.

- پارامترهای سیستم DAB : الف) خدمات صوتی که شامل کدینگ منبع و فشرده سازی سیگنالهای صوتی است. در طی سالهای 1992 تا 1998 سازمان بین المللی استاندارد سازی ISO برای تکنولوژی رمزنگاری اطلاعات تصویر متحرک و صدای وابسته به تصویر، استاندارد را برای واسطه های ذخیره سازی دیجیتال با ظرفیت بیش از 1.5 Mb/s تدوین کرد. زیر گروه MPEG وظیفه ایجاد یک استاندارد برای رمزنگاری کلی سیگنالهای صوتی PCM با نرخ نمونه برداری 48KHz, 44.1, 32 و نرخ بیت نهایی در محدوده 192kb/s تا 32 برای کانالهای صدای مونو و 64-384kb/s برای کانال صدای استریو را به عهده داشت که ISO/IEC 11172-3 نامیده می شود. سپس استاندارد صدای MPEG-2 معرفی شد که اولین هدف آن گسترش رمزنگاری صدا با کیفیت بالا از دو کانال به پنج کانال به همراه قابلیت سازگاری معکوس بود.
- هدف دوم صدای MPEG-2 توسعه صدای MPEG-1 با نرخ نمونه برداری کمتر به همراه بهبود کیفیت صدا در نرخ بیت کمتر از 64kb/s برای هر کانال بود.
- فشرده سازی سیگنالهای صوتی: از مدتها پیش معلوم شده است که گوش انسان بیشترین حساسیت را به فرکانسهای صوتی در محدوده 1 تا 5 کیلوهرتز دارد. در استاندارد فشرده سازی MPEG از محدودیتهای گوش انسان استفاده می شود. تا بدون کاهش محسوس کیفیت صدای بازسازی شده، اطلاعات لازم برای رمزنگاری صدا کاهش یابد.
- رمزنگاری شامل قسمتهای زیر است:
- در گام نخست، رمزنگار با استفاده از یک بانک فیلتر باند فرعی، پهنای باند 0 تا 20kHz صدا را به 32 باند فرعی مساوی تقسیم می کند. ورودی این بانک فیلتر نمونه های PCM صدا است و خروجی آن نمونه های باند فرعی نامیده می شود، همزمان با فرایند فیلتر کردن از نمونه های PCM، تبدیل فوریه گرفته می شود تا مقدار آستانه شنوایی مشخص شود و مدل صوتی روانی صدا تشخیص داده می شود. نمونه های باند فرعی باید طوری کوانتیزه شوند که نویز کوانتیزاسیون در محدوده شنوایی باقی بماند. اختلاف بین بیشترین سطح سیگنال و کمترین آستانه پوشاندگی در هر باند فرعی برای تعیین دقت کوانتیزاسیون و تخصیص بیت، مورد استفاده قرار می گیرد. در هر باند فرعی دقت کوانتیزاسیون با عدد 4 بیتی نشان داده می شود که نشانگر تعداد بیتی است که به نمونه های آن باند فرعی تخصیص داده شده است. همچنین نمونه های هر باند فرعی را بر تعداد حداکثر آنها تقسیم می کنیم تا اندازه آنها بین صفر و یک محدود شود. تحلیل سیگنال برای تعیین آستانه شنوایی و محاسبه دقیق کوانتیزاسیون و ضریب مقیاس برای نمونه های PCM است صورت می پذیرد. یعنی از هر 12 نمونه در هر باند فرعی، مقدار ماکزیمم اندازه گیری می شود و ضریب مقیاس (که با یک عدد شش بیتی رمز می شود) محاسبه می گردد. سپس هر 12 نمونه آن باند فرعی بر این عدد تقسیم می شود. هر فریم در لایه I شامل 12x96 نمونه PCM می باشد. بنابراین در فریم لایه I، برای هر باند فرعی، یک ضریب مقیاس ارسال می شود و در هر فریم لایه II برای هر باند فرعی سه ضریب مقیاس فرستاده می شود.

ب) خدمات داده ای: به منظور هماهنگ سازی سرویسهای داده و برای رسیدن به قابلیت بین تجهیزات و سرویسها، واسطه‌های داده، پروتکل‌ها و عملکردهایی برای تطبیق نیاز پخش کننده‌ها، تولید کنندگان برنامه و در انتها کاربران تعریف شده است:

1-2-2-1 پروتکل ارسال اشیاء چند رسانه ای: پروتکل *MOT (ETS301 234)* جهت ارسال اطلاعات از طریق کانالهای داده *DAB* در نوع بسته ای و مد *PAD* عمل می کند. کل اطلاعات از منبع به مقصد به عنوان (*object*) و حداکثر با طول محدوده *255Mbyte* است. داده هایی مثل *HTML-MPEG-JPEG* صوتی و تصویری جزء اشیاء کانال داده می باشند. هر شیء شامل عنوان و بدنه (مثلاً فایل) است. عنوان شیء شامل هسته عنوان با طول ثابت و توضیح عنوان با طول متغیر است. اندازه عنوان و بدنه و اطلاعات و نوع فرعی در هسته عنوان و اطلاعات جزئی شیء در توسعه عنوان حمل می گردد. بدنه شیء شامل داده ای برای ارسال بطور مثال یک فایل است. هرگاه شیء طولانی باشد اطلاعات عنوان می تواند چندین بار در طی ارسال بدنه تکرار شود.

1-2-2-2: عملکردهای کاربر *MOT* استاندارد:

MDT slide show شامل یک رشته اشیاء است که برای کاربر بطور اتوماتیک بدون تأثیر بر یکدیگر نمایش داده خواهد شد. که شامل موارد زیر است:

interactive services پخش داده *DAB* با افزودن کانال دو جهت سرویسهای *Intsractive* را می سازد. مانند کاربرد سیستم سلولی (*GSM*) دسترسی بدون اینترنت برای سرویسهای خطر دسترسی بدون سیم به اینترنت برای حرفه ای (خبرنگارها) سرویسهای اطلاعات ترافیکی و ایده های ناوبری شامل کانال پیام ترافیکی (*TMC*) و *TPEG* برای ارسال پیامهای ترافیکی جاده ای سرویسهای تصاویر متحرک شامل *MPEG* و *ITU-T* نرخ داده کم، تلفن تصویری می باشد.

ج) رمزنگاری کانال: شامل رمزنگاری کانالوشنال و اینترلیونگ زمانی و فرکانسی می باشد.

رمزنگاری کانالوشنال: به منظور کمک به آشکار سازی گیرنده و انتشار بهتر یا وجود خطاهای ارسال به هر یک از منابع داده ورودی یک سری داده اضافه می شود که حداکثر 7 بیت می باشد نرخ کد متوسط که نسبت تعداد بیتهای که شده منبع به تعداد بیتهای که شده بعد از رمزنگاری کانالوشنال می باشد. مقداری در محدوده $\frac{1}{3}$ (بالاترین سطح تصحیح) تا $\frac{3}{4}$ (پائین ترین سطح تصحیح) را خواهد داشت بسته به سطح تصحیح لازم و نرخ بیت منبع صوتی نرخ کدهای متفاوت به منابع صوتی مختلف اعمال می شود.

اینترلیونگ فرکانسی: بعلا وجود انتشار چند مسیر، برخی از حاملها توسط سیگنالهای تولید شده تقویت می شوند و برخی از حاملها متحمل تداخل غیر مفید می گردند بنابراین سیم، اینترلیونگ فرکانسی را توسط قرار دادن جریان بیت دیجیتال در میان چندین حامل ایجاد می کند، تا نمونه های متوالی یک منبع از طریق محو در حالت خاص از بین نروند. وقتی گیرنده ثابت است، این روش اساسی ترین کار برای اطمینان از دریافت مناسب می باشد.

مدولاسیون:

2- *DRM*: این سیستم برای استفاده در فرکانسهای زیر *30MHZ* به عبارتی در باندهای پخش موج بلند موج متوسط و موج کوتاه محدودیت های کانالی متغیر و شرایط انتشار متفاوت در این باند ها طراحی شده است.

2-3 رمزنگاری منبع: بخاطر محدودیتهای ناشی از مقررات پخش در کانالهای پخش زیر *30MHZ* و پارامترهای رمزنگاری و مدولاسیون بکار برده شده، نرخ بیت در دسترس برای رمزنگاری منبع از *8kbit/s* (نیم کانالها) تا *20kbit/s* (کانالهای استاندارد) و نهایتاً *72kbit/s* (کانالهای دوبله) می باشد.

فرمت انتقال رشته بیتی طرحهای رمزنگاری منبع برای رسیدن به نیازهای سیستم *DRM* بهبود یافته است (سوپر فریم کردن صوت)

2-4 مدهای ارسال:

2-4-1 پارامترهای مربوط به پهنای باند: سیستم *DRM* برای استفاده در موارد زیر طراحی شده است: * در پهنای باند نامی برای برآورده شدن شرایط *planning* فعلی

* در دو برابر این پهنای باند (*20,18MHZ*) برای تأمین ظرفیت ارسال بالا در مکان و زمانیکه محدودیت طراحی به این وسایل اجازه می دهد.

تکنیکهای مدولاسیون: سیستم *AM-IBOC* از روش *OFDM* جهت مقاومت در حضور کانال همجوار و همچنین نویز استفاده می کند. *OFDM* که روش مدولاسیون موازی است که در آن رشته های داده توسط تعداد زیادی زیر حاملهای متعامد مدوله شده، همزمان ارسال می گردند.

سیگنال ارسالی متشکل از رشته سمبلهای متوالی *OFDM* است که هر سمبل از یک فاصله حفاظتی به دنبال قسمتی از سمبل که قسمت مفید سمبل نامیده می شود تشکیل می گردد. هر سمبل جمع *k* قسمت موج سینوسی است که با هم اختلاف فرکانسی یکسان دارند. هر قسمت موج سینوسی یک سلول نامیده می شود و با دامنه و فاز داده شده فرستاده می شود و متناظر با مکان یک *carrier* است.

هر *carrier* بوسیله اندیس *k* ارجاع داده می شود. *k* متعلق به فاصله $[K_{min}, K_{max}]$ می باشد. ($k=0$) مربوط به فرکانس سیگنال ارسالی است) پارامترهای وابسته به زمان سمبل *OFDM* به شکل ضربیهایی از پریود اولیه *T* بیان می شوند که معادل *83 MS* است. این پارامترها عبارتند از:

T_g (طول فاصله حفاظتی) T_s (طول سمبل *OFDM*) T_u (طول قسمت مفید یک سمبل *OFDM* بدون فاصله حفاظتی) تعداد معینی از سلولها در هر سمبل *OFDM* با دامنه فاز از پیش تعیین شده ای فرستاده می شوند تا به عنوان مرجع در فرآیند و مدولاسیون استفاده شوند که پایلوتهای مرجع نامیده می شوند و نسبت معینی از تعداد کل سلولها هستند.

3- *IBDC In Band On Channel* صاحب امتیاز این سیستم در کشور آمریکا شرکت *iBiquity* می باشد که از اتحاد دو شرکت *USADR* , *LDR* بوجود آمده است. در سیستمهای *IBDC* صدای رادیوی دیجیتال به همراه صدای آنالوگ در باندهای *FM* و *AM* موجود ارسال می شود. مزیت این کار در این است که یک ایستگاه رادیویی می تواند به همه شنوندگان خود زمانیکه سیستمهای گیرنده و فرستنده کاملاً دیجیتال نشده اند سرویس دهد.

3-2 سیستم *AM-IBOC*: این سیستم در باند *AM* برای کار به هر دو صورت هایبرید و تمام دیجیتال طراحی شده است. این سیستم از چهار جزء اصلی تشکیل شده است: قسمت کدکننده (*codec*) که سیگنال را کد و دیکد می کند. قسمت کدینگ *FEC* و اینترلیونگ که از طریق اضافات و دایورستی استقامت را افزایش می دهد، قسمت مودم که سیگنال را مدوله و دمدوله می کند و قسمت *blending* که انتقال آسانی را از دیجیتال به آنالوگ موجود در مد عملکرد هایبرید فراهم می کند.

3-2-2 مدهای کارکرد

3-2-2-1 مد *MF* هایبرید: مد هایبرید برای ایستگاههای باند *MF* و در نواحی که فراهم کردن امکان سوئیچ از آنالوگ به دیجیتال ضروری است طراحی شده است. در این مد سیگنال از یک سری زیر حامل تشکیل شده که در دو طرف سیگنال آنالوگ میزبان منتشر می شوند و یک نسبت ثابت با کریر اصلی دارد و تقریباً به فاصله *14.7kHz* از حامل *AM* قرار گرفته اند. این حاملهای دیجیتال با یک تکنیک ویژه برای جلوگیری از تداخل با سیگنال آنالوگ مدوله می شوند. این حاملها به صورت یک گروه جفت شده هستند بطوریکه هر جفت شامل دو کریر می باشد که فاصله فرکانسی مساوی از حامل *AM* دارند. در این روش مجموع حاملها بصورت تربیعی با حامل *AM* قرار می گیرند. بدین ترتیب اختلال در سیگنال آنالوگ به هنگام آشکارسازی توسط آشکار سازپوش به حداقل می رسد همچنین قرار دادن حاملهای مکمل به صورت تربیعی با سیگنال آنالوگ امکان مدولاسیون حاملهای مکمل را در حضور حامل پرقدرت *AM* سیگنال آنالوگ فراهم می کنند برای ماکزیمم کردن دریافت صدای دیجیتال، سیستم *AM-IBOC*

از کدینگ لایه ای استفاده می کند که صدای فشرده شده را به دو رشته اطلاعات جداگانه تقسیم می کند هسته (*core*) و اضافه شده (*enhanced*) رشته هسته اطلاعات اصلی را در بردارد. در حالیکه رشته اضافه شده اطلاعات استریو و با کیفیت بالاتر را فراهم می کند. در سیستم هایبرید اطلاعات هسته روی حاملهای با قدرت بالا در فاصله $10-15KHZ \pm$ از

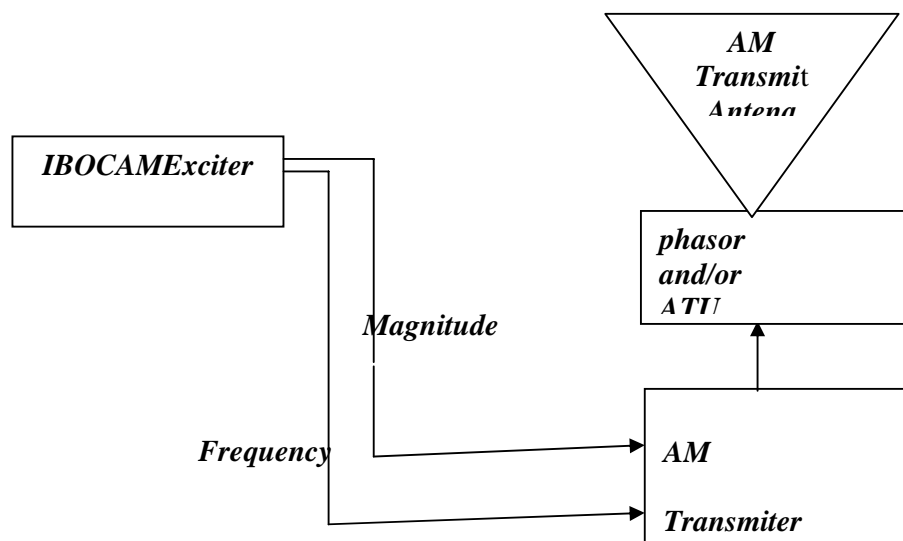
حامل آنالوگ قرار داده شده است و اطلاعات اضافه شده روی حاملهای *OFDM* از صفر تا $\pm 10\text{KHZ}$ قرار داده شده است.

مد *MF* تمام دیجیتال: تفاوت اصلی بین مد هایبیرید و مد تمام دیجیتال، حذف سیگنال آنالوگ و افزایش توان حاملهای زیر سیگنال آنالوگ در حالت هایبیرید است. این توان اضافه شده به شکل موج تمام دیجیتال، موجب افزایش استقامت آن می شود و لذا از تداخل باندهای مجاور در کانال جلوگیری می کند.

3-3 سیستم *FMIBOC*: سایر باندهای دیجیتال با توان کم به هر دو باند جانبی سیگنال آنالوگ اضافه می شود که هر ساید باند تمامی اطلاعات را به تنهایی داراست و می تواند به تنهایی وجود داشته باشد اجزاء سیستم *FMIBOC* مشابه *AMIBOC* می باشد. نکته قابل ذکر در سیستم *FM-IBDC* در مورد کدینگ آن که در این سیستم نرخ بیت $96K_{bps}$ استفاده شده که کیفیتی مشابه *CD* فراهمی می آورد.

4-3 روش پیاده سازی سیستم *AM-IBOC*

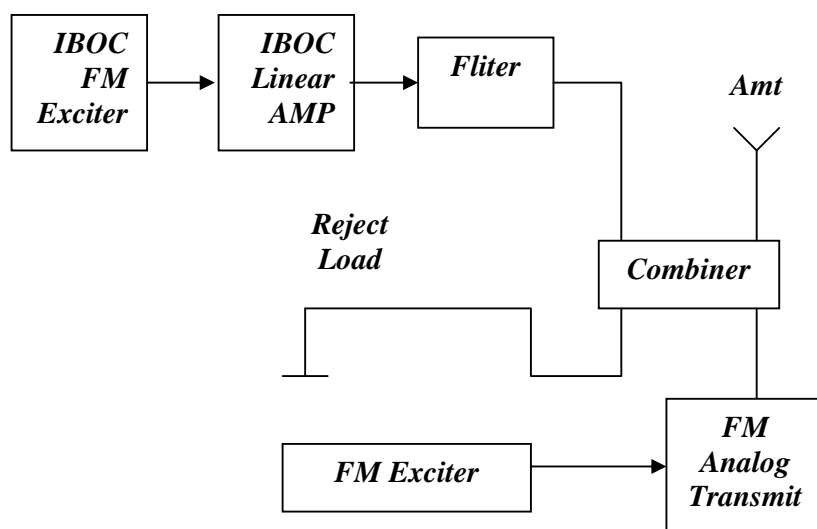
فرستنده های *PPM* و *PSM* آنالوگ با اصلاح مختصری در ورودی می توانند با سیستم *IBOC* سازگار شوند ولی فرستنده های *AM* فعلی خاصیت خطی سازی کافی برای عبور سیگنال *IBOC* از خود نشان نداده اند.



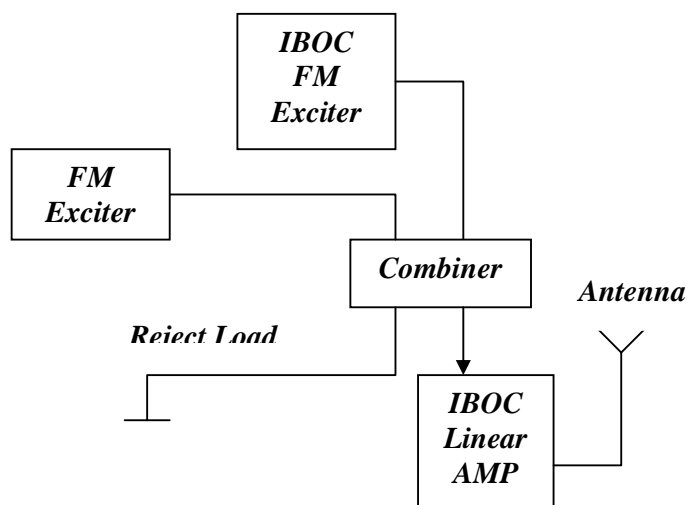
روش پیاده سازی سیستم *FM-IBOC*:

چند روش مختلف برای تولید *FM-IBOC* هایبیرید وجود دارد:

1- *Srparare Amplification*: در این روش سیگنال آنالوگ و دیجیتال بطور مستقل تولید و تقویت می شوند. سیگنال آنالوگ از تجهیزات *RF* فعلی استفاده می کند و سیگنال دیجیتال به یک تقویت کننده *FM* دیجیتالی اعمال می شود. پس این دو توسط کامباینر $10ds$ با هم ترکیب و به آنتن اعمال می شوند.



2- *Common Amplification* : در این روش خروجی اگزایتر FM آنالوگ با خروجی اگزایتر IBOC ترکیب و تقویت می شوند. مزیت این روش در کاهش تعداد اجزاء مستقل و نیز کاهش فضای فیزیکی جهت پیاده سازی و نیز کاهش توان مصرفی ایستگاه است.



3- *Separate Antenna* : این روش پیاده سازی در حال حاضر تحت بررسی می باشد.