مجله علمی-پژوهشی «علوم و فناوری‌های پدافند غیرعامل»
سال سوم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۱: ص ۴۷- ۳۹

پیاده‌سازی مودم DPIM بر روی FPGA و مقایسه عملکرد آن با مودم PPM

محمد حسین قزل ایاغ[1*] ، اکبر اصغری ورزنه[2]

۱- استادیار، ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده و پژوهشکده فناوری اطلاعات و ارتباطات، دانشگاه جامع امام حسین (ع)

(دریافت: ۱۳۹۰/۰۵/۳۱، پذیرش: ۱۳۹۱/۰۲/۳۱)

چکیده

در دهه‌ی اخیر مخابرات نوری فضای آزاد، جاذبه‌های فراوانی پیدا کرده است و کاربردهای بالقوه‌ای برای این تکنولوژی پیشنهاد شده است. از بین مدولاسیون‌های دیجیتال نظیر OOK, PPM, DPIM, MDPIM که در مخابرات نوری فضای آزاد به‌کار می‌روند، DPIM مزیت‌هایی در زمینه‌ی ظرفیت انتقال، پهنای باند مورد نیاز، توان مصرفی مورد نیاز و طراحی آن دارد. مدولاسیون DPIM با حذف اسلات‌های خالی ("صفر") که در هر علامت PPM بلا استفاده است، ظرفیت انتقال بیشتری را نسبت به سایر مدولاسیون‌های دیگر ارائه می‌دهد که این ویژگی سبب کاهش پهنای باند مورد نیاز برای انجام مدولاسیون می‌شود. همچنین امکان کدگذاری اضافی برای امنیت بالاتر اطلاعات را فراهم می‌کند. طراحی گیرنده‌ی PPM بسیار پیچیده‌تر از OOK و DPIM است، زیرا در گیرنده‌ی PPM، به هم‌زمانی اسلات و هم‌زمانی علائم نیاز است. در این تحقیق، مودم DPIM بر روی FPGA پیاده‌سازی شده و عملکرد آن با مودم PPM مقایسه شده است.

کلید واژه‌ها: مدولاسیون، مدولاتور، دمدولاتور، OOK، PPM، DPIM، FPGA.

Archive of SID

Implementation of DPIM Modem on FPGA and Comparison of its Functionality with PPM Modem

M. H. Ghezel ayagh , A. Asghari Varzaneh
Information & Communication Technology Research Center, Imam Hossein University

(Received: 08/22/2011, Accepted: 05/20/2012)

Abstract

Free space optic communications has received extensive interest over the past decade, and many potential applications for this technology have been suggested. Among various digital modulation formats for wireless optical links like OOK, PPM, DPIM and MDPIM, DPIM has got advantages in terms of transmission capacity, bandwidth requirement, power requirement and receiver design. DPIM displays a higher transmission capacity by eliminating all the unused time slots from within each symbol in PPM; and decreased bandwidth requirement and afford the possibility to introduce some redundancy into the code for security. Design of PPM receiver has more complexity compared to OOK and DPIM since both slot and symbol synchronizations are required at the receiver. In this study, DPIM Modem is implemented on FPGA and its Functionality is compared with PPM Modem.

Keywords: Modulation, Modulator, Demodulator, OOK, PPM, DPIM, FPGA.

* Corresponding Author E-mail: akbarasghari284@gmail.com

www.SID.ir

۱. مقدمه

مخابرات بی‌سیم[1] به دلیل انعطاف‌پذیری، کم‌هزینه‌بودن و قابلیت جابه‌جایی سیستم‌های بی‌سیم، به‌سرعت در حال گسترش هستند و کاربردهای فراوان و متنوعی پیدا کرده‌اند و به زمینه تحقیقاتی پویا و رو به رشدی در مراکز تحقیقاتی بدل شده‌اند. یکی دیگر از دلایل عمده این سرمایه‌گذاری کلان، کاربردهای فراوان این شبکه‌ها در بخش نظامی است. زیرا در کاربردهای نظامی، مسئله‌ی سرعت در انجام عملیات، حفاظت فیزیکی تجهیزات، امنیت اطلاعات، انجام عملیات در مناطق صعب‌العبور و همچنین ارائه‌ی روش‌هایی برای ایجاد پدافندغیرعامل مطرح می‌باشد. مخابرات بی‌سیم می‌تواند به دو صورت رادیویی و نوری برقرار گردد. انتقال اطلاعات از طریق امواج رادیوئی ناامن بوده و در اثر انتشار در فضا به‌راحتی قابل شنود و ردیابی هستند؛ اما انتقال اطلاعات از طریق امواج نوری به‌سختی قابل شنود است. بنابراین مخابرات بی‌سیم نوری (یا مخابرات نوری فضای آزاد[2]) می‌تواند گزینه‌ی قابل اعتمادی جهت ارتباطات بی‌سیم در کاربردهای نظامی مطرح گردد. مخابرات نوری فضای آزاد مزایای زیادی نسبت به مخابرات بی‌سیم رادیویی دارند. از مهم‌ترین مزایای مخابرات نوری فضای آزاد، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: داشتن پهنای باند وسیع و برخورداری از نرخ انتقال داده‌ی بالا، امنیت بالا، عدم تأثیر گذاری امواج الکترومغناطیس بر روی سیگنال‌های نوری، پایین بودن توان مصرفی سیستم‌های نوری، کم‌هزینه بودن المان‌های آنها، گسترش سریع سیستم‌های نوری، عدم نیاز به کسب مجوز از FCC[3] برای اختصاص دادن فرکانس و از همه مهم‌تر اینکه سیستم-های نوری می‌توانند در یک مکان خاصی محدود گردند به‌طوری‌که می‌توان دو سیستم نوری به‌طورکامل مشابه را در دو اتاق مجاور هم استفاده کرد و هیچ خللی بر عملکرد دیگری وارد ننمایند[۲].

اغلب لینک‌های نوری از نوع لینک‌های پراکندگی[4] هستند. در لینک‌های پراکندگی، سیگنال نوری پس از برخورد به دیوار و سقف اتاق و یا اجسام موجود در اتاق، بازتاب می‌کند تا به گیرنده برسد. به علت اینکه در لینک‌های پراکندگی، سیگنال نوری مسافت زیادی را طی می‌کند تا به گیرنده برسد، موجب تضعیف سیگنال‌های نوری می‌شود؛ که میزان این تضعیف به پارامترهای فیزیکی اتاق از جمله اندازه‌ی اتاق، موقعیت فرستنده و گیرنده نسبت به هم، مبلمان اتاق و ... بستگی دارد[۳]. همچنین سیگنال‌های نوری به نویزهای نوری محیط بسیار حساس‌اند. علاوه بر این‌ها انتشار چند مسیرگی[5] سیگنال‌های نوری، باعث ایجاد تداخل در علائم نوری می‌شود. برای اینکه بتوانیم بر مشکل‌های فوق غلبه نماییم، نیاز به فرستنده‌هایی داریم که سیگنال نوری که توسط آنها فرستاده می‌شود، دارای توان زیادی باشد. از طرف دیگر در رابطه با افزایش توان فرستنده‌های نوری با محدودیت‌هایی مواجه هستیم. از جمله این محدودیت‌ها عبارتند از:

۱- افزایش توان نوری سبب آسیب رساندن به پوست و چشم انسان می‌شود.

۲- در کاربردهای که در آنها قابلیت جابه‌جایی وجود دارد (نظیر بعضی از سیستم‌های نظامی) توان مصرفی می‌بایست در حد مینیمم قرار داده شود تا طول عمر کارکرد آن وسیله بیشتر شود، بنابراین افزایش توان مصرفی فرستنده‌های نوری باعث ایجاد محدودیت در جابه‌جایی آنها می‌گردد.

بنابراین برای اینکه سیگنال نوری دارای توان به اندازه‌ی کافی باشد و در عین حال توان مصرفی فرستنده‌های نوری نیز کاهش یابد از تکنیک‌هایی به نام مدولاسیون استفاده می‌کنیم تا نسبت توان ماکزیمم به توان متوسط سیگنال نوری، ماکزیمم گردد [۵و۴و۲]. در واقع مدولاسیون‌های دیجیتال اطلاعات را برای ارسال توسط لینک‌های نوری فضای آزاد آماده می‌کنند.

مدولاسیون‌های دیجیتال از یک منظر دیگر نیز مفید خواهند بود. در این نوع مدولاسیون‌ها اطلاعات دیجیتال وارد مدولاتور[6] می‌شوند و در خروجی مدولاتور یک کد دیگر ظاهر می‌گردد. در واقع مدولاتور در نقش یک کدکننده[7] ظاهر می‌شود و عمل مدولاسیون یک نوع رمزنگاری[8] به حساب می‌آید. همان طور که می‌دانیم یکی از روش‌های ایجاد پدافندغیرعامل جهت جلوگیری از دستبرد اطلاعات و امنیت آنها در مقابل عوامل دشمن استفاده از کد کننده‌ها جهت رمزنگاری اطلاعات است.

از بین مدولاسیون‌های دیجیتال، مدولاسیون DPIM[9] ظرفیت انتقال بیشتری را فراهم می‌کند. از این ویژگی می‌توانیم نهایت استفاده را ببریم؛ به این طریق که در خروجی مدولاتور DPIM می‌توانیم از یک رمزنگاری اضافی استفاده نماییم، به نحوی که داده‌های DPIM کدگذاری شده برای هیچ گیرنده‌ای غیر از گیرنده‌ی واقعی قابل شناسایی نباشد که این امر نیز باعث بالا رفتن امنیت در ارسال داده‌های DPIM می‌شود. و یا می‌توانیم کدهایی جهت تشخیص و یا تصحیح خطا به داده‌های DPIM اضافه نماییم. بنابراین استفاده از مدولاسیون DPIM منجر به افزایش اثر بخشی پدافند غیرعامل خواهد شد. در نتیجه مدولاسیون DPIM در کانال‌های انتقال ناامن و در جاهایی که نیاز به امنیت بالا داریم و همچنین در جاهایی که نیاز به انتقال اطلاعات با ظرفیت بالا داریم، بسیار مناسب می‌باشد.

برای طراحی مدارهای دیجیتال، ابتدا باید تعریفی از مدار در دسترس باشد. سپس با توجه به منطق اعداد دودویی، یک جدول صحت برای مدار تشکیل می‌شود. در ادامه با استفاده از این جدول، مدار مورد نظر توسط گیت‌های منطقی طراحی می‌شود. پس از این مرحله نوبت

[1] Wireless
[2] Free Space Optic Communication
[3] Federal Communications Commission
[4] Diffuse Links
[5] Multipath Propagation
[6] Modulator
[7] Encoder
[8] Coding
[9] Digital Pulse Interval Modulation

Archive of SID

www.SID.ir

به پیاده‌سازی مدار طراحی شده بر روی بردهای الکترونیکی توسط آی سی‌های منطقی می‌رسد. همان‌طور که می‌دانید یکی از وقت گیرترین و خسته‌کننده‌ترین مرحله ساخت مدار همین مرحله است. بعد از این مرحله نوبت به آزمون مدار است. در صورت بروز خطا در مراحل قبل، باید تمام مراحل را از آخر به اول یک به یک چک کنیم تا بتوانیم خطاهای احتمالی موجود در نحوه‌ی بستن و سیم‌کشی مدار، طراحی مدار از روی جدول صحت و درستی جدول صحت را برطرف نماییم.

به‌طورحتم به این نکته اذعان خواهید داشت که بیشترین خطا در مرحله‌ی سیم‌کشی و بستن مدار بر روی برد پیش خواهد آمد. همچنین پیاده‌سازی مدارهای به این روش باعث پیچیدگی و حجیم شدن برد نهایی مدار می‌شود. از طرف دیگر می‌دانیم هر چه مدارها پیچیده‌تر و بزرگ‌تر شوند، امکان بروز خطا بیشتر و عیب‌یابی آنها مشکل‌تر خواهد شد. علاوه بر این‌ها بزرگ شدن و پیچیده شدن مدارها باعث افزایش تأخیر در سیگنال‌ها و افزایش تأثیر نویز بر روی آنها می‌شود. از طرف دیگر پیچیدگی و حجم سیستم‌های دیجیتال هر روز در حال گسترش یافتن است که این امر سبب افزایش مشکل‌های فوق می‌گردد.

با آمدن FPGA[1] ها به بازار ادوات نیمه هادی، طراحی مدارهای دیجیتال بسیار ساده و سریع گشته‌اند و استفاده از زبان‌های توصیف سخت‌افزار به‌منظور برنامه‌ریزی این ادوات بیش از قبل مورد توجه قرار گرفتند. بنابراین برای کوچک‌سازی مدارهای دیجیتال و رفع مشکل‌هایی که به بعضی از آنها اشاره شد می‌توانیم از FPGA استفاده کنیم. FPGA دارای محاسن زیر هستند[۱] :

۱- مدارهای دیجیتال پیچیده به آسانی در آنها پیاده‌سازی می‌شوند.

۲- آزمون مدار سریع است.

۳- برای تولید کم، ارزان تمام می‌شوند.

۴- متناسب با نیاز، تغییرهای لازم را در طراحی می‌توان داد و به طور مجدد FPGA را با ساختار جدید برنامه‌ریزی نمود.

۵- قابل برنامه‌ریزی توسط کاربر است.

با توجه به محاسن فوق، طراحی سیستم‌های دیجیتال جدید با VHDL[2] و پیاده‌سازی آن بر روی FPGA روز به روز بیشتر می‌شود، به‌طوری‌که امروزه سازندگان مختلفی از جمله شرکت‌های AT&T Xilinx , Altera و ... انواع مختلف FPGA ها را تولید و با ابزارهای برنامه‌ریزی FPGA ، به بازار عرضه نموده‌اند.

در بخش دوم، مدولاسیون DPIM معرفی شده است، بخش سوم روش طراحی مودم[3] DPIM را که شامل مدولاتور و دمدولاتور DPIM است، توصیف شده است. در بخش چهارم و پنجم نتایج شبیه‌سازی و عملی حاصل از طراحی و پیاده‌سازی مودم DPIM آورده شده است، در بخش ششم مدولاسیون DPIM با PPM مقایسه شده است، در بخش هفتم پیشنهادهایی برای پیاده‌سازی و رفع مشکل مودم DPIM آورده شده است و در بخش پایانی نتیجه‌گیری از این مقاله آورده شده است.

۲. معرفی مدولاسیون DPIM

همان‌طور که می‌دانیم انواع مختلفی از مدولاسیون دیجیتال در مخابرات نوری فضای آزاد، بسته به کاربرد خاص خود مورد استفاده قرار می‌گیرند. مدولاسیون قطع متناوب یا OOK [۶]، مدولاسیون موقعیت پالس یا PPM [۶و۷]، مدولاسیون فاصله پالس دیجیتال یا DPIM [۶و۸] و مدولاسیون فاصله پالس دیجیتال بهینه شده یا MDPIM [۹] از جمله مدولاسیون‌هایی هستند که در سیستم‌های مبتنی بر مدولاسیون شدت نور با آشکارسازی مستقیم کاربرد دارند. دارند. در این بخش به معرفی مدولاسیون DPIM می‌پردازیم.

در مدولاسیون PPM اسلات‌های خالی ("صفر") که پس از هر پالس می‌آیند اضافی به‌نظر می‌آیند و باعث افزایش پهنای باند مورد نیاز فرستنده نوری می‌گردند. با به‌کارگیری مدولاسیون فاصله پالس دیجیتال یا DPIM این اسلات‌های خالی حذف می‌شوند.

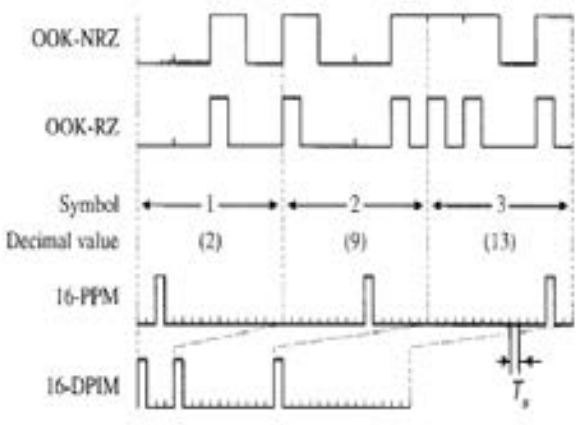
طریقه انجام مدولاسیون DPIM به‌این‌صورت است که همانند مدولاسیون PPM، مدولاتور علائمی به‌طول M بیت از داده ورودی را را انتخاب می‌کند و در خروجی مدولاتور در ابتدا یک پالس و در ادامه آن تعدادی اسلات "صفر" ظاهر می‌گردد که تعداد اسلات‌های "صفر" معادل با مقدار رقم دهدهی M بیت ورودی می‌باشد. برای جلوگیری از پشت سر هم‌افتادن دو پالس مجاور (هنگامی‌که تمام M بیت علامت ورودی برابر صفر باشد)، در پایان علامت خروجی مقوله شده یک یا چند اسلات "صفر" نیز گذاشته می‌شود که به اسلات محافظ معروف است. در عمل انتشار چند مسیرگی امواج نوری، باعث ایجاد تداخل در علائم نوری می‌نماید که با گذاشتن اسلات محافظ از تداخل آنها جلوگیری می‌شود. بنابراین در محیط‌های پراکندگی عملکرد مدولاسیون DPIM از مدولاسیون PPM خیلی بهتر است[۸].

مدولاسیون DPIM که M بیت از داده‌ی ورودی را انتخاب می‌کند و بر روی آن عمل مدولاسیون انجام می‌دهد به صورت L-DPIM نشان می‌دهیم که در آن $L = 2^M$ می‌باشد. مدولاسیون DPIM در شکل (۱) به همراه مدولاسیون‌های OOK و PPM در حالت M=4 نشان داده شده است.

[1] Field Programmable Gate Arrays
[2] Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language
[3] MODEM

[4] On-Off Keying
[5] Pulse Position Modulation
[6] Digital Pulse Interval Modulation
[7] Modified Digital Pulse Interval Modulation
[8] Intensity Modulation With Direct Detection (Im/Dd)
[9] Symbol
[10] Decimal
[11] Guard Slot
[12] Diffused Environment

Archive of SID
www.SID.ir



شکل۱. مدولاسیون‌های OOK و PPM و DPIM

همان‌طورکه در شکل (۱) نیز مشهود است طول علائم مدوله شده در مدولاسیون DPIM برخلاف مدولاسیون PPM متغیر است و به ماهیت اطلاعات ورودی بستگی دارد. بنابراین یک مدولاسیون نامتقارن است[۲]. در واقع در مدولاسیون DPIM اطلاعات ورودی بین دو پالس هم‌جوار کدگذاری می‌شوند.

می‌توانیم مدولاسیون DPIM را به طریقی دیگر نیز توصیف نماییم، بدین‌صورت که هر علامت مدوله شده‌ی DPIM شامل یک پالس با توان ثابت به همراه K اسلات با توان صفر است که $g \le K \le L+g$ که در آن g تعداد اسلات‌های محافظ است. بنابراین می‌توانیم مدولاسیون DPIM را به صورت رابطه‌ی ریاضی زیر نشان دهیم[۲]:

$$S_{\mathrm{DPIM}}(t) = \begin{cases} P, & nT_s \le t < (n+1)T_s \\ 0, & (n+1)T_s \le t < (n+k+g)T_s \end{cases} \qquad (۱)$$

که T_s مدت زمان هر اسلات می‌باشد.

همان‌طورکه از رابطه‌ی (۱) مشخص است کم‌ترین طول علامت مدوله شده برابر $(1+g)T_s$ و بیشترین طول علامت مدوله شده برابر $(L+g)T_s$ است. بنابراین طول متوسط علائم خروجی برابر $\frac{L+2g+1}{2}$ خواهد بود. همچنین بر خلاف مدولاسیون PPM ، چرخه‌ی کار علائم مدوله شده ثابت نیستند و از $\frac{1}{L}$ بیشتر خواهند بود. بنابراین برای یک مقدار ثابت L توان مصرفی متوسط در مدولاسیون DPIM از مدولاسیون PPM بیشتر است.

میزان توان مصرفی مورد نیاز جهت انجام مدولاسیون در DPIM بیشتر از PPM است اما درازای آن پهنای باند موردنیاز جهت انجام مدولاسیون DPIM کمتر از مدولاسیون PPM است. به‌عبارت دیگر ظرفیت انتقال[۳] در مدولاسیون DPIM نسبت به مدولاسیون PPM به به مراتب افزایش یافته است[۶].

افزایش ظرفیت انتقال در مدولاسیون DPIM می‌تواند به چند طریق پیاده‌سازی شود. یکی از آنها استفاده از کدهای اضافی در خروجی مدولاتور DPIM به‌منظور رمزنگاری اضافی است. یا می‌توانیم کدهایی جهت تشخیص و تصحیح خطا به داده‌های DPIM اضافه نماییم. به این طریق امنیت داده‌های DPIM افزایش خواهد یافت. بنابراین عملکرد مدولاسیون DPIM نسبت به مدولاسیون‌های OOK و PPM در کانال‌های ناامن و یا در جاهایی که به امنیت بالاتری نیاز داریم، بهتر خواهد بود.

روش دیگر این است که می‌توانیم تعداد بیت‌های علائم ورودی مدولاتور (M) را افزایش بدهیم بدون اینکه فرکانس اسلات‌های خروجی مدولاتور را افزایش دهیم؛ که این امر باعث بهبود پهنای باند مورد نیاز مدولاسیون DPIM می‌شود.

یکی از معایب مدولاسیون DPIM متغیر بودن طول علائم مدوله شده است که این ویژگی در هنگام پیاده‌سازی آن باعث بروز مشکل‌هایی می‌گردد که در بخش ۷ به آن اشاره خواهد شد. برای رفع این مشکل و در عین حال برخی از مزایای مدولاسیون DPIM حفظ شود می‌توانیم از مدولاسیون‌های هم خانواده‌ی مدولاسیون DPIM استفاده نماییم. یکی از این نوع مدولاسیون‌ها، مدولاسیون فاصله پالس دیجیتال بهینه شده یا MDPIM استفاده می‌کنیم.

در مدولاسیون MDPIM همانند مدولاسیون‌های DPIM و PPM ، M بیت از داده‌ی ورودی انتخاب می‌شود و به $2^M + 4$ اسلات نگاشته می‌شود. اولین اسلات علامت مدوله شده شامل یک پالس می‌باشد که مشخص کننده‌ی ابتدای علامت مدوله شده است.

در ادامه تعدادی اسلات "صفر" قرار داده می‌شود که تعداد آنها معادل با مقدار رقم دهدهی علامت ورودی به اضافه‌ی یک اسلات محافظ می‌باشد. بعد از آن دو پالس قرار می‌گیرد که به پالس نشانه[۴] معروف هستند.

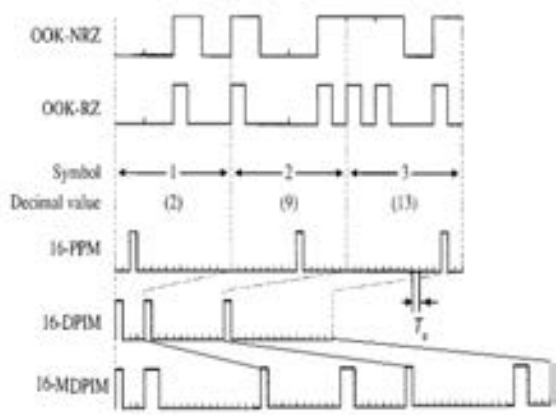
بعد از این دو پالس تعدادی اسلات "صفر" قرار می‌گیرند که تعداد آنها معادل با مقدار رقم دهدهی مکمل اول علامت ورودی به اضافه‌ی یک اسلات محافظ است[۹]. در شکل (۲) مدولاسیون MDPIM به‌همراه سایر مدولاسیون‌ها، برابر حالت M=4 نشان داده شده است.

علت استفاده از دو اسلات محافظ در مدولاسیون MDPIM این است که از پشت سر هم افتادن سه پالس جلوگیری نماید. (هنگامی‌که تمام بیت‌های داده ورودی "صفر" یا "یک" باشد.) در این نوع مدولاسیون به‌علت اینکه طول علائم مدوله شده ثابت هستند، این مدولاسیون یک مدولاسیون متقارن[۶] است.

[1] Anisochronous
[2] Duty cycle
[3] Transmission capacity
[4] Marker pulse
[5] 1's complement
[6] Isochronous

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲. مدولاسیون‌های OOK و PPM و DPIM و MDPIM

علت آن وجود سه پالس در هر علامت می‌باشد. پهنای باند مورد نیاز جهت انجام مدولاسیون MDPIM به‌میزان کمی بیشتر از مدولاسیون PPM است. به‌همین دلیل ظرفیت انتقال در مدولاسیون MDPIM کمتر از ظرفیت انتقال در مدولاسیون‌های DPIM و PPM استدر جدول (۱) برخی از پارامترهای مربوط به مدولاسیون‌های DPIM,PPM,OOK و MDPIM با هم‌دیگر مقایسه شده است. هر علامت خروجی مدولاتور MDPIM را می‌توان به‌صورت زیر نوشت [۹]:

$$i(t) = \sum_{n=0}^{L-1} c_n\, p(t - T_s) \qquad (۲)$$

که در آن $L = 2^{M} + 4$ و $c_n = [c_0, c_1, \dots c_{L-1}]$ داده‌های مدوله شده هستند. همچنین p(t) پالس مستطیلی به‌طول T_s است.

توان مصرفی مورد نیاز جهت انجام مدولاسیون MDPIM به مراتب بیشتر از مدولاسیون PPM و حتی بیشتر از DPIM است.

با دقت در جدول (۱) مشاهده می‌کنیم که مدولاسیون DPIM نسبت به سایر مدولاسیون‌های ذکر شده دارای مزایای بهتری است. بنابراین تصمیم گرفته‌ایم که در این مقاله مودم DPIM را پیاده‌سازی نماییم.

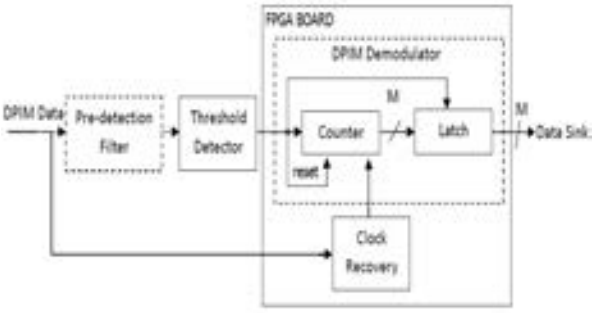
۳. ساختار مودم DPIM

مودم DPIM از دو قسمت اصلی تشکیل می‌شود. این دو قسمت

شامل، قسمت مدولاتور و قسمت دمدولاتور است. در این بخش به توصیف این دو بخش می‌پردازیم:

۳-۱. ساختار قسمت مدولاتور

بلوک دیاگرام مربوط به مدولاتور DPIM در شکل (۳) نشان داده شده است. در ابتدا داده‌های دیجیتال که قرار است مدوله شوند وارد FPGA می‌شوند و در داخل RAM ذخیره می‌شوند. برای انجام مدولاسیون M بیت از RAM خوانده می‌شود و در داخل latch بارگذاری می‌شود و هم‌زمان شمارنده reset می‌شود. بعد از آن شمارنده با فرکانس هر اسلات ($f = \frac{1}{T_s}$) شروع به شمارش می‌نماید.

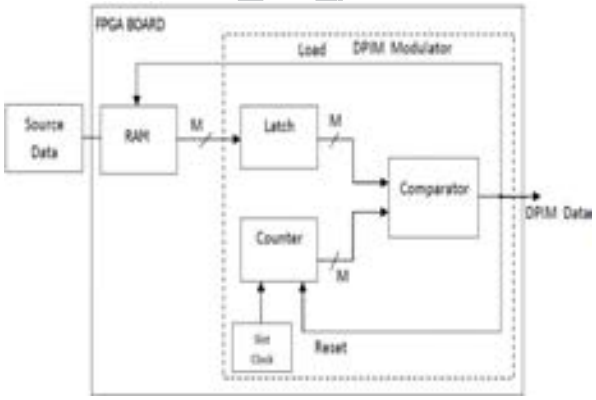


شکل ۳. بلوک دیاگرام مدولاتور DPIM

در بلوک مقایسه‌کننده مقدار خروجی شمارنده با مقدار داده‌ای که در latch بارگذاری شده است، مقایسه می‌شود. اگر مقدار این دو با یکدیگر برابر نباشد در خروجی مقایسه‌کننده "صفر" ظاهر خواهد شد. اما اگر مقدار این دو برابر شود، در خروجی مقایسه‌کننده "یک" ظاهر خواهد شد و تولید یک پالس می‌کند که این پالس مشخص کننده‌ی ورود M بیت بعدی از داخل RAM به مدولاتور جهت انجام مدولاسیون بر روی آن است. بدین‌صورت که لبه‌ی بالا رونده‌ی این پالس سبب می‌شود که M بیت بعدی در داخل latch بارگذاری شود و همچنین سبب reset شدن شمارنده می‌گردد. خروجی مقایسه-کننده که داده‌های DPIM هستند وارد مدار راه‌انداز، جهت ارسال توسط سیگنال‌های نوری می‌شوند.

۳-۲. ساختار قسمت دمدولاتور

بلوک دیاگرام مربوط به دمدولاتور DPIM در شکل (۴) نشان داده شده است.



شکل۴. بلوک دیاگرام دمدولاتور DPIM

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۱. مقایسه‌ی مدولاسیون های دیجیتال

نوع مدولاسیون	پهنای باند نسبت به OOK	ظرفیت انتقال نسبت به OOK	توان مصرفی	پیاده سازی
OOK	-------	———	خیلی زیاد	خیلی ساده
PPM	خیلی زیاد	برابر OOK	خیلی کمتر از OOK	بسیار مشکل
DPIM	نصف PPM	دو برابر PPM	بیشتر از PPM	راحت‌تر از PPM
MDPIM	کمی بیشتر از PPM	کمی کمتر از PPM	خیلی بیشتر از DPIM	راحت‌تر از DPIM

در دمدولاتور، داده‌های DPIM که توسط آشکارساز نوری دریافت شده‌اند، در صورت نیاز برای حذف نویز فیلتر می‌شوند. بعد از آن برای تشخیص "صفر" یا "یک" بودن داده‌ها، وارد بلوک threshold detector می‌شوند. این بلوک که یک آشکارساز آستانه می‌باشد، اگر مقدار داده‌ها از یک سطح معینی که به سطح آستانه[1] معروف است، بیشتر باشد، در خروجی این بلوک "یک" و در غیر این صورت "صفر" ظاهر خواهد شد. خروجی این بلوک تخمینی از داده‌های DPIM است که توسط فرستنده ارسال شده است. داده‌های DPIM جهت انجام دمدولاسیون وارد FPGA می‌شوند.

برای دمدوله‌کردن داده‌های DPIM نیاز است که تعداد اسلات‌های خالی بین دو پالس را در کد DPIM ، شمارش نماییم. بنابراین نیاز است که فرکانس شمارنده‌ای که در قسمت مدولاتور وجود دارد را استخراج نماییم. این کار توسط بلوک بازیافت کلاک[2] انجام می‌شود. شمارنده‌ی موجود در بلوک دمدولاتور با کلاک بازیافت شده شروع به شمارش می‌نماید. در لبه‌ی بالا رونده‌ی پالس‌های DPIM مقدار شمارنده در latch بارگذاری می‌شود و پس از آن شمارنده reset می‌گردد. داده‌های که در latch بارگذاری می‌شوند همان داده‌های دمدوله می‌باشند که می‌توان برای اقدامات بعدی از آنها استفاده کرد.

۴. نتایج شبیه سازی

نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی مودم DPIM که توسط زبان VHDL و نرم‌افزار Xilinx ISE (version 9.2) انجام شده است، برای علامت‌هایی به طول ۴ بیت (M=4) و فرکانس مدولاتور برابر 8MHZ در شکل‌های (۵) و (۶) و (۷) نشان داده شده است. در شکل (۵) روش انجام مدولاسیون برای علامت "۱۱۰۰" نشان داده شده است. input_data داده‌های ورودی و clk_data کلاک مربوط به داده‌های ورودی است که این داده‌ها در داخل RAM مربوط به FPGA ذخیره می‌شوند. latch_Mbit علائمی به طول ۴ بیت است که در داخل مدولاتور برای انجام مدولاسیون، latch می‌شوند Clk_modulator_8M کلاکی است که توسط آن مدولاسیون انجام می‌شود و recoverd_clk_8M همان کلاک Clk_modulator_8M است که در دمدولاتور برای انجام دمدولاسیون بازیافت شده است. در اینجا مدولاسیون باگذاشتن یک اسلات محافظ انجام شده است. به‌همین دلیل هنگامی که مقدار counter_slot برابر ۱۳ شده است، در خروجی مدولاتور پالس ظاهر گشته است. در شکل (۶) بر روی علائم"۱۰۰۱" و "۰۱۱۱" مدولاسیون انجام شده است. در شکل (۷) نیز برای چند علامت متوالی مدولاسیون انجام شده است تا دنباله‌ی کد DPIM مشاهده شود.

۵. نتایج عملی

پس از طراحی و شبیه‌سازی مودم DPIM آن را بر روی برد SPARTAN3 با تراشه XC3S400-4C PQG208 پیاده‌سازی نمودیم که نتایج مطلوب آن نیز در عمل مشاهده گردیده است. در شکل (۸) نمای کلی از این برد نشان داده شده است.

شکل‌های (۹) و (۱۰) نتایج عملی به‌دست آمده از قسمت مدولاتور مودم را نشان می‌دهد. در اینجا کلاک مدولاتور ۸ مگا هرتز و علامت-هایی به طول ۴ بیت (M=4) انتخاب شده است.

در شکل‌های (۱۱) و (۱۲) ورودی مدولاتور به همراه سیگنال دمدوله شده (خروجی دمدولاتور) نشان داده شده است. در شکل (۱۱) داده‌های EI (.....۱۱۱۱۱۱۰۰۱۱۱۱۱۱۰۰۱۱۱۱۱۱۰۰) برای انجام مدولاسیون انتخاب گردیده‌اند. شکل (۱۲) نیز یک نوع داده‌ی دیگر را نشان می‌دهد. در شکل (۱۲) می‌توان تأخیر بین ورودی مدولاتور و خروجی دمدولاتور را مشاهده کرد. این تأخیر ناشی از تأخیر انتشار سیگنال در داخل دروازه[3] های FPGA می‌باشد.

۶. مقایسه‌ی DPIM با PPM

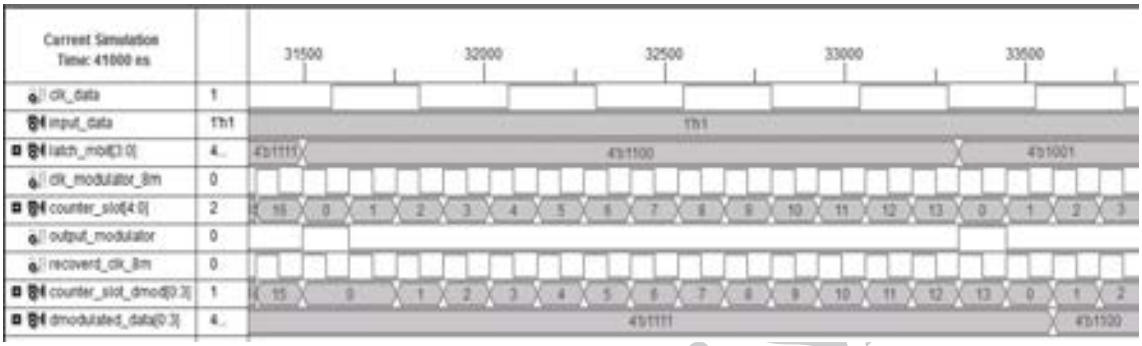
همان‌طور که در بخش ۲ نیز توضیح داده شد مدولاسیون DPIM نسبت به PPM دارای مزایای زیادی است. از جمله اینکه پهنای باند مورد نیاز برای انجام مدولاسیون در DPIM کمتر از PPM است. همچنین ظرفیت انتقال DPIM بیشتر از PPM است. (به‌طورتقریبی ۲ برابر PPM است[۸].) از دیگر مزایای مهم DPIM نسبت به PPM در پیاده‌سازی الکترونیکی آن است. طراحی و پیاده‌سازی دمدولاتور PPM بسیار پیچیده‌تر از دمدولاتور DPIM است. زیرا در دمدولاتور

[1] Threshold level
[2] Clock Recovery
[3] .Gate

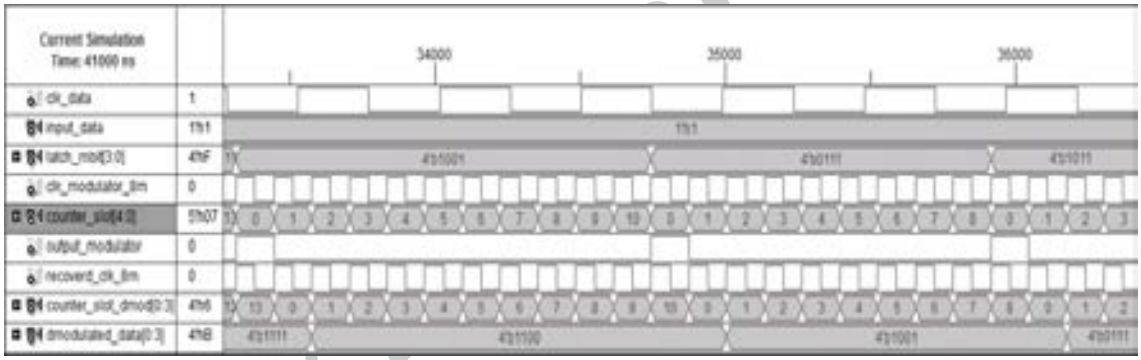
Archive of SID

www.SID.ir

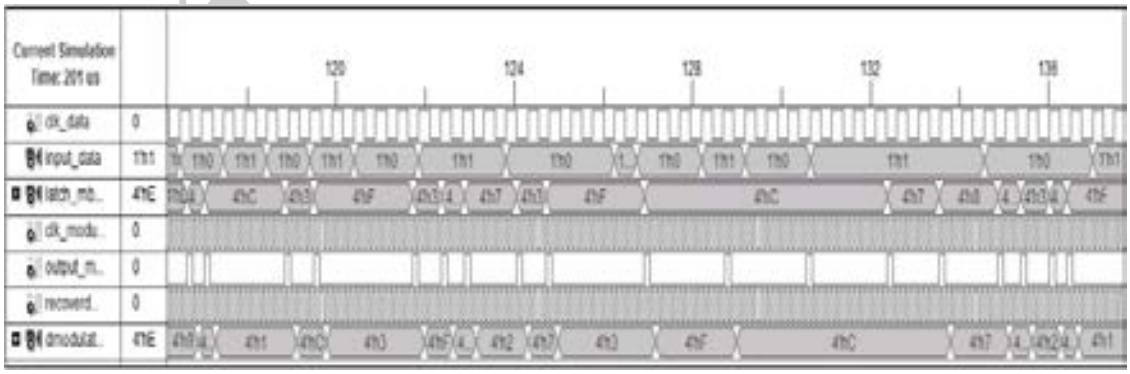
PPM هم به هم‌زمانی اسلات‌ها و هم به هم‌زمانی علائم نیاز است[۲]، زیرا در مدولاسیون PPM پالس‌هایی که ظاهر می‌شوند در طول علائم جای ثابتی را ندارند و متناسب با مقدار رقم دهدهی علامت ورودی جای آنها تغییر می‌یابد. بنابراین اگر در ابتدای کار دمدولاتور یک اسلات صفر را دریافت نماید، برایش مشخص نخواهد بود که این اسلات مربوط به کدام علامت است. پس به‌طورحتم به هم‌زمانی علامت نیاز است. اما در مدولاسیون DPIM به‌علت اینکه تمام علائم مدوله شده با پالس شروع می‌شوند، دیگر نیازی به هم‌زمانی علائم نیست. بنابراین طراحی دمدولاتور DPIM بسیار ساده‌تر خواهد شد.



شکل ۵ . نتایج شبیه‌سازی شده مدولاسیون و دمدولاسیون DPIM برای علامت "۱۱۰۰"

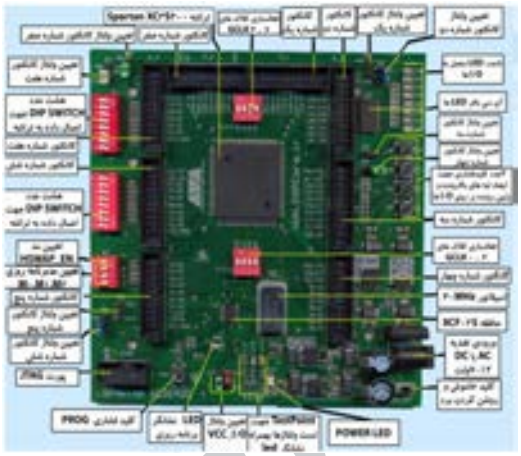


شکل۶. نتایج شبیه‌سازی شده مدولاسیون و دمدولاسیون DPIM برای علائم "۱۰۰۱"و "۰۱۱۱"



شکل ۷. نتایج شبیه‌سازی شده مدولاسیون و دمدولاسیون DPIM برای چند علائم متوالی

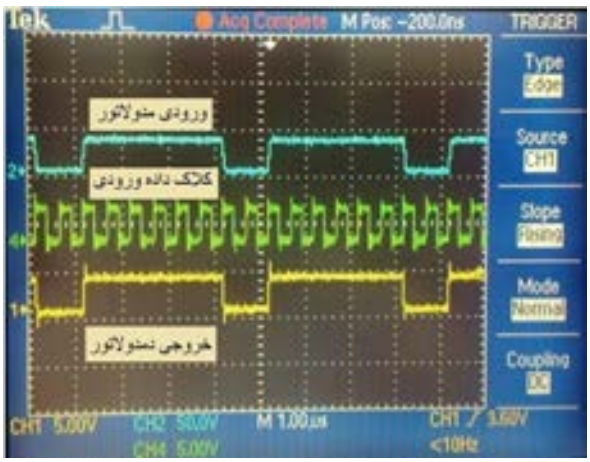
www.SID.ir



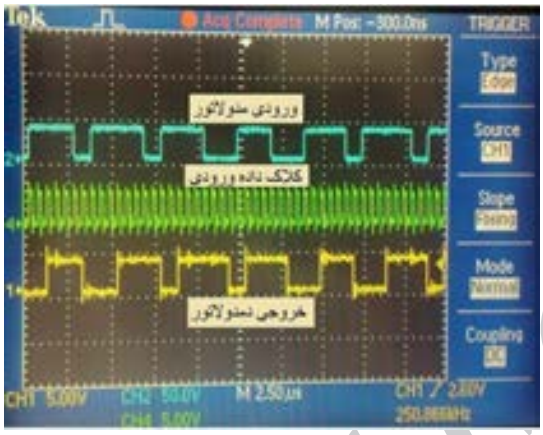
شکل ۸. برد SPARTAN3 با تراشه XC3S400-4C PQG208

شکل ۹. خروجی مدولاتور DPIM به‌همراه سیگنال Load

شکل ۱۰. خروجی مدولاتور DPIM به همراه سیگنال Load برای چند علامت دیگر



شکل۱۱. ورودی مدولاتور به همراه خروجی دمدولاتور برای داده‌های E1



شکل ۱۲. ورودی مدولاتور به همراه خروجی دمدولاتور برای یک نوع داده‌ی دیگر

همان‌طور که در بخش ۲ گفته شد یکی از ویژگی‌های DPIM متغیر بودن طول علائم مدوله شده است که این ویژگی یکی از عیب‌های آن به حساب می‌آید. به همین علت مدت زمانی که طول می‌کشد تا دو بسته با طول برابر مدوله و فرستاده شوند برابر نخواهد بود؛ که این عمل می‌تواند در دو حالت زیر رخ دهد:

۱- اگر طول بیشتر علائم مدوله شده از طول متوسط علائم بیشتر باشد، مدت زمانی که نیاز است تا بسته مورد نظر فرستاده شود، زیاد خواهد بود. برای عملی شدن این حالت نیاز است تا بافر فرستنده به اندازه‌ی کافی بزرگ باشد، که این امر از لحاظ سخت‌افزاری یک عیب محسوب می‌شود (RAM داخل FPGA پر می‌شود). علاوه‌براین در کاربردهایی که به‌صورت بلادرنگ[1] است، (نظیر کنفرانس ویدئویی) باعث ایجاد تأخیر در ارسال اطلاعات می‌شود. ۲- برعکس حالت فوق، اگر طول بیشتر علائم مدوله‌شده از طول متوسط علائم کمتر باشد،

[1] Real-Time

Archive of SID

www.SID.ir

مدت‌زمانی‌که نیاز است تا بسته مورد نظر فرستاده شود، خیلی کم خواهد بود، که این امر موجب می‌شود که بافر فرستنده خالی شود (RAM داخل FPGA خالی می‌شود) و اطلاعات برای انجام مدولاسیون نداشته باشد. دراین‌حالت بافر گیرنده نیز سرریز[1] می‌شود. بنابراین در هر دو حالت فوق مشکل‌هایی به‌وجود می‌آید. برای رفع این مشکل‌های چند روش پیشنهاد می‌گردد:

۱- می‌توانیم فرکانس انجام مدولاسیون را تا اندازه‌ای زیاد بگیریم به‌طوری‌که RAM داخل FPGA هیچ موقع پر نشود و فقط امکان خالی شدن RAM اتفاق بیفتد.

در صورت خالی شدن RAM می‌توانیم علامت قبلی را دوباره مدوله کنیم و ارسال نماییم منتها می‌بایست طوری مشخص کنیم که این داده، داده‌ی تکراری است (به طور مثال می‌توانیم به‌جای فرستادن یک پالس در کد DPIM از فرستادن دو پالس پشت سر هم استفاده نماییم.) تا دراین‌حالت در دمدولاتور آشکار نشود.

۲- می‌توانیم از مدولاسیون‌های دیگری استفاده نماییم که در آنها نوسان‌های در طول علائم مدوله شده‌ی آن کمتر باشد و در عین حال از مزایای مدولاسیون DPIM برخودار باشند. یکی از آنها مدولاسیون MDPIM است.

همان‌طور که در بخش ۲ نیز توضیح داده شد، در این مدولاسیون طول علائم مدوله شده ثابت است و دیگر مشکل فوق اتفاق نمی‌افتد. فقط ظرفیت انتقال آن از DPIM کمتر است. ظرفیت انتقال MDPIM به‌طورتقریبی برابر PPM است. اما در پیاده‌سازی MDPIM مانند DPIM نیاز به هم‌زمانی علامت نیست. یکی دیگر از انواع مدولاسیون که می‌توانیم استفاده کنیم مدولاسیون فاصله پالسی بر پایه‌ی تکنیک نگاشت دو طرفه[2] است که جزئیات بیشتر در این مورد در مرجع [۱۰] آمده است.

۸. نتیجه‌گیری

در این مقاله مدولاسیون DPIM و MDPIM که در مخابرات نوری فضای آزاد کاربرد دارند، معرفی شدند و بعضی از پارامترهای آنها با سایر مدولاسیون‌های دیجیتال مقایسه شدند. عملکرد این مدولاسیون‌ها همانند یک کد کننده است و اطلاعات را رمزنگاری می‌کنند. بنابراین عمل این مدولاسیون‌ها می‌تواند یک اقدام پدافند غیرعامل به‌منظور جلوگیری از دستبرد اطلاعات باشد. از بین آنها مدولاسیون DPIM دارای مزایای بهتری بود. از جمله اینکه طراحی گیرنده‌ی آن آسان است زیرا بر خلاف PPM به هم‌زمان سازی علامت نیازی ندارد.

ظرفیت انتقال مدولاسیون DPIM از سایر مدولاسیون‌ها بیشتر است؛ که از این ویژگی می‌توانیم برای رمزنگاری اضافی به منظور افزایش امنیت اطلاعات استفاده نماییم، به همین دلیل مدولاسیون DPIM در کانال‌های انتقال ناامن و در جاهائیکه نیاز به امنیت بالا داریم مناسب می‌باشد. همچنین پهنای باند مورد نیاز برای انجام مدولاسیون DPIM از PPM و MDPIM کمتر است. به دلیل مزایای مدولاسیون DPIM نسبت به سایر مدولاسیون‌ها روش طراحی مدولاتور و دمدولاتور DPIM شرح داده شد و نتایج شبیه سازی و عملی حاصل از طراحی آن نیز ارائه گردید. مشکل اساسی مدولاسیون DPIM متغیر بودن طول علائم مدوله شده است که برای رفع این مشکل سه راه‌حل ارائه گردید.

۹. تشکر و قدردانی

در پایان از مرکز تحقیقات فجر دانشگاه جامع امام حسین (ع) به دلیل حمایت از این پروژه و فراهم نمودن کلیه‌ی امکانات مورد نیاز جهت پیاده‌سازی این پروژه تشکر و قدردانی می‌شود.

۱۰. مراجع

[۱] سید رضی، حسن "طراحی خودکار مدارهای دیجیتال با FPGA و زبان توصیف سخت افزار VHDL"، انتشارات ناقوس، چاپ دوم، ۲- ۱۰، ۱۳۸۷.

[2] Ghassemlooy, Z.; Hayes, A. R. "Digital Pulse Interval Modulation for IR Communication Systems - A Review."; Int. J. Communication Systems 2000, 13, 519-536.

[3] Hayes, A. R.; Ghassemlooy, Z.; Seed, N. L. "Optical Wireless Communication Using Digital Pulse Interval Modulation."; Proceedings of SPIE. 1999, 3532, 61-69.

[4] Ghassemlooy, Z.; Aldibbiat, N. M.; Hayes, A. R. "An Experimental Diffuse Optical Wireless Link Employing DPIM."; International Journal of Electronics 2007, 94, Issue 10, 961-971.

[5] Ghassemlooy, Z.; Aldibbiat, N. M.; Hayes, A. H. "Experimental Diffuse Infrared Link Employing DPIM Signaling."; 2006, 5th CSNDSP, Patras, Greece, 639-642.

[6] Ghafour, A. M.; Zahedi, E. "Comparison of Selected Digital Modulation Schemes (OOK, PPM and DPIM) for Wireless Optical Communications."; 4th Student Conference On Research and Development, June 2006.

[7] Audeh, M.; Kahn, J.; Barry, J. "Decision-Feedback Equalization of Pulse-Position Modulation on Measured Nondirected Indoor Infrared Channels."; IEEE Transactions On Communications 1999, 47, 500-503.

[8] Ghassemlooy, Z.; Hayes, A. R.; Seed, N. L.; Kaluarachchi, E. D. "Digital Pulse Interval Modulation for Optical Communications."; IEEE Communications Mag., 1998, 35, 95-99.

[9] Tieying, Z.; Chuanjun, X.; Ting, K.; Jie, M. "A Novel Modified Digital Pulse Interval Modulation for Optical Wireless Communications."; International Conference On Wireless Communication, Networking and Mobile Computing 2008, No 4678317.

[10] Zhang, T. Y.; Wang, H. X.; HU, H.; Cong, P. S. "Implementation of Pulse Interval Modulation Based on Dual Mapping Technique for Optical Wireless Communications."; Optoelectronics Letters 2009, 5, 441-444.

[1] Overflow
[2] Pulse Interval Modulation Based On Dual Mapping Technique

Archive of SID
www.SID.ir