



بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شهید چمران اهواز،
خوزستان، ایران.
۱۴-۱۲ بهمن ۱۴۰۰



طراحی و ساخت مدار کنترل تناسبی-انتگرال گیر-مشتق گیر جهت استفاده در سامانه های اپتیک تطبیقی

سعید یزدانی کاهکشی، حسین ثقفی فر، حمیدرضا مردانیان دهکردی و سید ایوب موسوی

پژوهشکده اپتیک و لیزر - دانشگاه صنعتی مالک اشتر شاهین شهر

saeedyazdani^{۰۰۲}@gmail.com, saghafifar^۱@yahoo.com, dehkordih@yahoo.com, ayooobm^{۶۳}@gmail.com

در این مقاله برای اصلاح جبهه موج پرتو لیزر عبوری از کانال ارتباطی فضای آزاد، مدار سامانه کنترل کننده ای که با حداکثر بسامد ۱۵۰ هرتز توسط یک آینه تیپ-تیل به اصلاح ابیراهی های تیپ تیلت جبهه موج لیزر در انتشار در جو آشفته می پردازد طراحی و ساخته شده است. در این سامانه، خطای جبهه موج توسط حسگر کوادرنانت اندازه گیری می شود و به عنوان ورودی، به مدار مبدل آنالوگ به دیجیتال کنترل کننده وارد شده و الگوریتم PID توسط ریزپردازنده فرمان ها لازم را پس از تبدیل به آنالوگ به راه انداز آینه ارسال می کند. کارایی سامانه کنترلی در شرایط آزمایشگاهی و فضای آزاد بررسی و با موفقیت انجام شد.

کلیدواژه- آینه تیپ تیلت، اپتیک تطبیقی، کنترل کننده PID، همیوگ فازی

Design and construction of proportional-integral-derivative (PID) control circuit for using in adaptive optics system

Saeed Yazdani Kahkeshi, Hossein Saghafifar, Hamidreza Mardanian Dehkordi, Seyed Ayooob Moosavi

Optics and Laser Research center Malek Ashtar University of Technology, Shahinshahr Iran

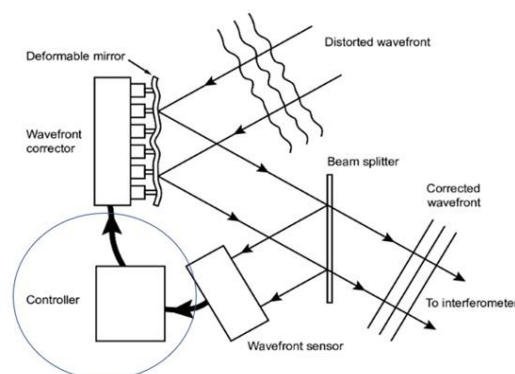
saeedyazdani^{۰۰۲}@gmail.com, saghafifar^۱@yahoo.com, dehkordih@yahoo.com, ayooobm^{۶۳}@gmail.com

In this paper, In order to correct the laser wavefront propagated through the free space communication channel, the circuit of a control system with a maximum frequency of ۱۵۰ Hz is designed and fabricated to correct the tip-tilt aberrations of the laser wavefront in turbulence with a tip-tilt mirror. Measured wavefront error by a quadrant sensor enters the analog-to-digital converter circuit and the PID algorithm after converting it to analog sends the calculated commands to the mirror driver. The performance of the control system in laboratory and free space environment is successfully evaluated.

Keywords: adaptive optics, complex conjugate, PID controller, tip tilt mirror

مقدمه

امروزه مخابرات نوری به دلیل توانایی بالقوه‌ای که در ارسال و دریافت حجم عظیم اطلاعات دارد بسیار مورد توجه قرار گرفته است؛ در یک نگاه ساده و ایده آل نور عبوری از درون یک مسیر نوری باز در نبود آشفته‌گی‌های جوی کاملاً تخت و یکنواخت است اما در عمل آشفته‌گی‌های مختلف موجود در مسیر نوری به‌طور کاتوره‌ای این جبهه موج را تحت تأثیر قرار می‌دهد و ناراستی‌های مختلفی را بر روی جبهه موج ایجاد می‌کنند (شکل ۱). [۱] همچنین افت و خیزهای تصادفی ضریب شکست جو باعث جابه‌جایی لکه لیزری در راستای محورهای مختصات بصورت تصادفی می‌شود. بدیهی است که جابه‌جایی صورت پذیرفته باعث دریافت نشدن همه یا بخشی از سیگنال ارسالی می‌گردد. برای اصلاح این ناراستی‌ها و جابه‌جایی‌های ناخواسته، سامانه‌های اپتیک تطبیقی وارد عمل شده و با به کار بردن همیوگ فازی، فاز را اصلاح و به شکل تخت خود نزدیک می‌کند اما لازمه‌ی این اصلاح فاز وجود آینه‌های تغییر شکل‌پذیر و مدار الکترونیکی کنترل‌کننده‌ای است که بتواند به‌طور آنی به این تغییرات پاسخ دهد. مدار کنترل‌کننده PID، یکی از مدارهای کنترل استاندارد است که برای این منظور استفاده می‌شود. در این مقاله با به کار بردن الگوریتم مناسب و مدارهای مختلف بهینه یک سامانه کنترل‌کننده برای کنترل آینه‌های تغییر شکل‌پذیر طراحی و ساخته شد. [۲]



شکل ۱: طرح‌واره یک سامانه نوری تطبیقی [۱]

مبانی نظری

همان‌طور که بیان شد یکی از دقیق‌ترین، پایدارترین و رایج‌ترین کنترل‌کننده‌ها در صنعت کنترل‌کننده Proportional Integral Derivative یا به اختصار PID است که به‌صورت حلقه بسته از طریق سه مد کنترلی تناسبی، انتگرال گیر و مشتق گیر با رصد پیوسته پارامتر خطا که از مقایسه بازخورد خروجی نسبت به یک مقدار مرجع به دست می‌آید، سیگنال کنترل اصلاحی را تولید می‌کند (شکل ۲). هر یک از این سه مد، واکنش متفاوتی نسبت به خطای سامانه دارد به‌عنوان مثال برای بهبود زمان صعود مد تناسبی، جهت کاهش بالازدگی، مد انتگرال گیر و جهت واکنش سریع به تغییرات خطا مد مشتق گیر وارد عمل می‌شود. طبق معادله ۱ مجموع این سه مد خروجی مدار کنترل‌کننده را تشکیل می‌دهند. [۳]

$$C_{out} = K_p e(t) + K_i \int e(t).dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

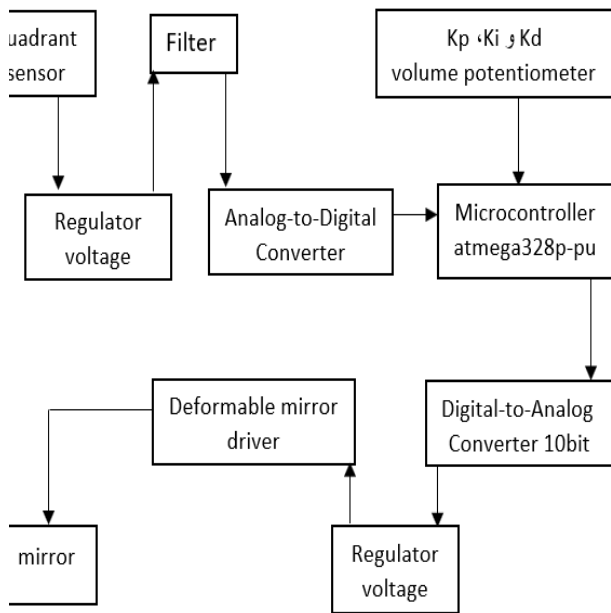
که در آن K_p ضریب تناسب، $e(t)$ تابع خطای زمانی، K_i ضریب انتگرال گیر و K_d ضریب مشتق گیر و C_{out} سیگنال خروجی کنترل‌کننده است.

در کنترل‌کننده PID قسمت تناسبی، خروجی کنترل‌کننده را متناسب با مقدار خطای ورودی، مد انتگرال گیر خروجی کنترل‌کننده را متناسب با انتگرال خطای ورودی و مد مشتق گیر، خروجی کنترل‌کننده را متناسب با آهنگ تغییرات خطای ورودی محاسبه می‌کند که به ترتیب در روابط ۲-۴ نشان داده شده است. [۳]

$$C_{out.p} = K_p e(t) \quad (2)$$

$$C_{out.i} = K_i \int e(t).dt \quad (3)$$

$$C_{out.d} = K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (4)$$



شکل ۳: ارتباط بین واحد کنترل و سایر اجزای سامانه نوری

در طراحی این مدار کنترل کننده با توجه به اینکه حداکثر تغییرات بسامد جو ۳۰ هرتز می باشد لذا طبق رابطه ۵ از یک پالایه پایین گذر RC مرتبه دوم استفاده کردیم تا از ورود سیگنال های با فرکانس بیشتر از ۱۵۰ هرتز که نویز هستند جلوگیری کند.

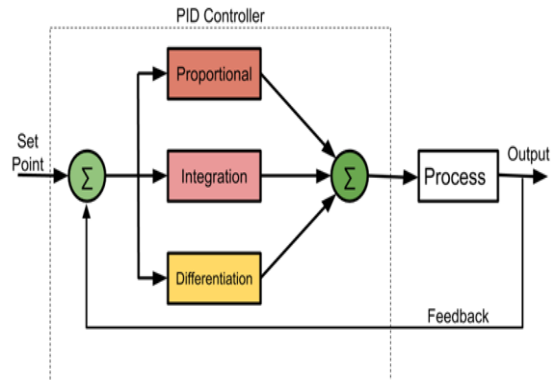
$$f_{cut} = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad (5)$$

که در آن f_{cut} فرکانس قطع، R_1 و R_2 مقاومت های الکترونیکی و C_1 و C_2 خازن های الکترونیکی مدار فیلتر هستند.

نتیجه گیری

در این مقاله با استفاده از برد طراحی شده توانستیم در بازه مسافتی ۱۰۰ متر تا ۳ کیلومتر در شرایط آب و هوایی مختلف جبهه موج ارسالی از سمت فرستنده که دچار کج نمایی های مختلف شده بود را با به دست آوردن ضرایب زرنیک و مقایسه این ضرایب با حالت جبهه موج تخت،

با توجه به شرایط محیطی و تجزیه و تحلیل خروجی این کنترل کننده و با تغییر ضرایب K_p ، K_i و K_d توسط ولوم های دستی طراحی شده می توان به سیگنال مطلوب مورد نیاز آینه تیپ تیلت برای اصلاح پارامتر خطا دست یافت.



شکل ۲: طرحواره یک کنترل کننده PID

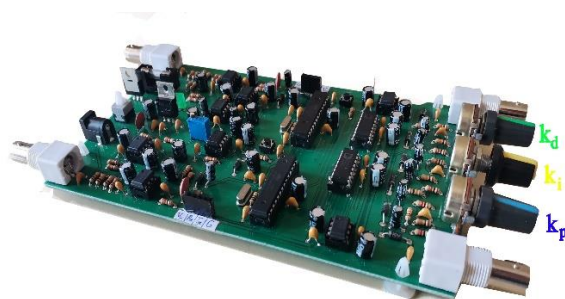
شرح مدار

اولین چالشی که در طراحی این کنترل کننده جهت استفاده در سامانه اپتیک تطبیقی با آن مواجه بودیم متناسب سازی خروجی حسگر کوادرنانت با محدوده ولتاژ ورودی ریزپردازنده های متداول و تبدیل خروجی آنالوگ حسگر کوادرنانت به دیجیتال و همچنین متناسب سازی ولتاژ خروجی ریزپردازنده با محدوده ولتاژ ورودی راه انداز آینه تیپ تیلت و تبدیل خروجی دیجیتال ریزپردازنده به آنالوگ برای اعمال به راه انداز آینه تیپ تیلت و پایداری لکه در یک محدوده معین بود (شکل ۳). دومین چالش عدم انعطاف پذیری و آزادی عمل سیستم های آنالوگ در طراحی مد نظر ما بود که ما را بر آن داشت با ترکیب مدارات آنالوگ و دیجیتال و بهره گیری از پروتکل ارتباطی I²C کنترل کننده طراحی شده را به رایانه متصل و مشکل فوق را برطرف سازیم.

اصلاح و سیگنال کنترلی لازم را به آینه تیپ تیلت اعمال
کنیم.

کارهای تجربی

به منظور بررسی عملکرد سامانه پس از انجام تست‌های
آزمایشگاهی توانستیم در فاصله ۱۴۶ متری جبهه موج
فرستاده شده از لیزر به قطر ۲۰ سانتی‌متر را که تلاطم‌های
موجود در نزدیکی سطح زمین باعث حرکت لکه در محل
گیرنده به قطر ۱ متر شده بود را با ضرایب کنترلی K_i ، K_p
و K_d (شکل ۴) به ترتیب برابر با ۲۵، ۹ و ۲۱ اصلاح و در
یک محدوده به قطر ۲۵ سانتی‌متر ثابت کنیم که در این
حالت سیگنال اصلاحی در راستای x و y به ترتیب ۷/۱۵ و
۳/۵۳ ولت توسط کنترل کننده تولید شد.



شکل ۴: نمایی از برد کنترل کننده PID

مرجع‌ها

- [۱] D. F. Buscher, *Practical optical interferometry*. No. ۱۱. Cambridge University Press, ۲۰۱۵.
- [۲] G. W. Allan, "Simulation and testing of wavefront reconstruction algorithms for the deformable mirror (DeMi) cubesat", PhD diss., Massachusetts Institute of Technology, ۲۰۱۸.
- [۳] I. Azhar, W. Zhizheng and F. B. Amara, "A decentralized robust PID controller design for the shape control of a magnetic fluid deformable mirror", *International Journal of Optomechatronics* ۲۰۱۰.