بیست و سومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و نهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه تربیت مدرس
۱۲-۱۴ بهمن ۱۳۹۵
23rd Iranian Conference on Optics and Photonics and 9th Conference on Photonics Engineering and Technology
Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
January 31- February 2, 2017

بهینه سازی دریافت زمان پرواز با استفاده از تحلیل موجک در یک فاصله یاب لیزری

پروانه ممیزان، محسن حاتمی

شیراز، دانشگاه صنعتی شیراز، دانشکده فیزیک، گروه فوتونیک

چکیده –اخیرا برای افزایش دقت فاصله یاب های لیزری بر اساس زمان پرواز از روشهای تبدیل موجک استفاده می‌کنند. در این نوع تحلیل شکل پالس، پهنای پالس فاصله یاب و ولتاژ آستانه از پارامترهای مهم هستند که بردقت فاصله یاب اثر می گذارند. در این مقاله با شکل ها و پهناهای مختلف پالس به بهینه سازی حداکثر همبستگی جهت افزایش دقت محاسبه زمان پرواز پرداخته و نشان داده می شودکه شکل ها و پارامترهای خاصی در تبدیلات شرایط بهینه را حاصل می کنند.

کلید واژه- تبدیل موجک، زمان پرواز ، فاصله یاب لیزری

Optimization of Time of Flight by Using Wavelet Analysis in a Laser Range Finder

Parvane Momayezan, Mohsen Hatami

Photonic Group, Faculty of Physics, Shiraz University of Technology, Shiraz

Abstract- Recently for increasing the accuracy of range-finder in the base of flight time, have used wavelet transformation methods. In this kind of analysis, the shape, width and voltage of pulse are important parameters. In this paper we optimize the maximum correlation for increasing the accuracy of flight time, and we have shown a special shape and parameters in transformation are given optimized condition.

Keywords: Flight Time, Laser Range Finder, Wavelet Trans formation,.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-13]

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

۱- مقدمه

یکی از کاربردهای لیزراستفاده ازآن دراندازه گیری مسافت است. ازآن جمله می توان به فاصله یاب ها درادوات و وسایل نقلیه ی جنگی مانند تانک ها و موشک ها اشاره کرد. فاصله یاب های لیزری برای مسافت های کوتاه ازروش تداخل سنجی وبرای مسافت های بالا ازروش زمان پرواز استفاده می کنند. در روش زمانِ پرواز، پالس کوتاهی که از هدف برمی-گردد توسط گیرنده اپتیکی برروی آشکارساز جمع شده و تقویت می‌شود سپس بااستفاده از زمان رفت و برگشت، فاصله محاسبه می‌شود. سپس از یک کرنومترِ سرعت بالا برای اندازه گیری زمان نوری که ازهدف برمی گردد، استفاده می کنند. فاصله طی شده برابراست با نیمی از حاصل ضرب سرعت توزیع لیزر دراتمسفر درمدت زمانی که یک پالس برای یک رفت و برگشت طی می کند [۱]

$$L = (\frac{1}{2})V(t_1 - t_0) \qquad (۱)$$

عوامل موثر بردقت پالس لیزر را می توان به عوامل داخلی و عوامل خارجی تقسیم کرد:

عوامل خارجی که شامل تغییر ضریب شکست جو ، شرایط سطح منعکس کننده از اهداف اندازه گیری که قابل کنترل نیستند و عوامل داخلی که توسط خود سیستم ایجاد می شوند شامل پهنای باند سیستم، شناسایی زمان پالس، زمان دقت اندازه گیری و غیره... . به منظور تعیین دقیق لحظه پژواک لیزر و بهبود دقت لیزر، روش اختلاف زمان مناسب است. در حالت ایده آل پژواک بازگشتی می تواند به عنوان شکل موج گاوسی دیده شود. درواقع با توجه به تضعیف و اختلال ناشی از گرد و غبار، دود و بخارآب مسیر، شکل موج دریافتی (پژواک) درگسترش و اعوجاج متفاوت است. این نتایج درخطای گام به گام به طورجدی بردقت لیزرتاثیر می گذارد و خطای اختلاف گام باعث تغییرات در دامنه می شود.

خطای گام را به دو قسمت تقسیم می کنند. یک بخش t_gاست که با تغییرزمان نقطه ای آستانه پالس ساطع شده ایجاد و به عنوان خطای گام هندسی نامیده می شود. بخش دیگر t_d است که توسط تاخیر مدار RC ایجاد می شود که خطای تاخیر RC می نامند. V_{clip} ولتاژ قطع اشباع است. خطای گام هندسی با مدل خطی پالس برآورد شده است. V_{th} ولتاژ آستانه است.$Vp1$ دامنه ولتاژ فرستنده، و $Vp2$ دامنه ولتاژ گیرنده t_r تاخیر لبه است.

t_g که از اختلاف دو نقطه می تواند ناشی شود به صورت:

$$tg = \frac{V_{th}}{V_{p2}}tr - \frac{V_{th}}{V_{P1}}tr = (\frac{1}{V_{P2}} - \frac{1}{V_{p1}})Vthtr \qquad (۲)$$

محاسبه می شود:

C و R پارامترهای کلیدی هستند.

$$V_{out} = V_{in}[1 - e^{\frac{-t}{(RC)}}] \qquad (۳)$$

و حداقل زمان تاخیر بیش ازآستانه به شکل :

$$td,\min = -RC\ln(1 - \frac{V1out}{V1in}) = -RC\ln(1 - \frac{Vth}{Vin,\max}) \qquad (۴)$$

محاسبه می شود[۲].

نقاط جهش درپالس ارسال شده وپژواک دریافتی با ماکسیما مدول CWT تجزیه و تحلیل می شوند. CWT برای تشخیص تکینگی سیگنال موثرمی باشد.

۲- مراحل روش پیشنهادی

فرض می شود معادله ای به شکل :

$$f(t) \in L^2(R) \qquad (۵)$$

وجود دارد.

و تعریف CWT از f با توجه به معادله ی :

$$W\psi f(s,u) = \frac{1}{\sqrt{|s|}}\int_{-\infty}^{\infty} f(t)\psi^*(\frac{t-u}{s})dt \qquad (۶)$$

بدست می آید.

که $S \neq 0$ و t, u متغیرهای پیوسته می باشند ، ψ^* معادل مختلط است که $\psi^* = \left(\frac{t-u}{s}\right)$ موجک مورد نظر انتخاب شده و $f(t)$ معادل :

$$\left(\frac{Vout}{Vin}\right) = 1 - e^{-t/RC} \qquad (۷)$$

قرار داده می شود و با قرار دادن موجک های مختلف بهینه سازی زمان رفت و برگشت پالس درفاصله یاب های لیزری مورد بررسی قرارخواهد گرفت . اساس و پایه موجک ها

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-13]

مختلف است (گاوسی، دسی بل، هارر، کلاه مکزیکی و مورلت).

سیگنال های اصلی پالس ساطع می شود و پژواک دریافتی براساس موجک هایی که در بالا بیان شد تجزیه خواهد شد [۶-۳]. برای بیان مفهوم محتوای فرکانسی یک سیگنال سیگنال ازتبدیل فوریه استفاده می شود. تبدیل فوریه پیوسته در $x(t)$:

$$x(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dt \qquad (۸)$$

تبدیل فوریه درمواردی که فرکانس متغیر است ناکارآمد است که به آنها سیگنال های ناایستا می گویند.

تبدیل فوریه فقط بیان می کند که فرکانس مورد نظردر سیگنال وجود دارد یا خیر. اما بازه زمانی متناظر با پدیداری آن فرکانس را دراختیار نمی گذارد بنابراین تبدیل فوریه درآنالیز سیگنال نا ایستا ضعیف می باشد.

اندازه پنجره موجک مورد نظر باید به گونه ای انتخاب شود که فرض ایستا بودن برای تمام بخش های جدا شده توسط آن برقرار شود.

تبدیل فوریه زمان کوتاه سیگنال $x(t)$ با استفاده ازپنجره زمانی $w(t)$ به صورت :

$$STFT_x^w(\tau, f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) W^*(t-\tau) e^{-j2\pi ft} dt \qquad (۹)$$

است.

می τ متغییر زمانی است ابتدا تابع پنجره درسیگنال ضرب شود، محاسبه می گردد و سپس پنجره به میزان τ جا به جا می شود و روند قبل مجددا تکرار می شود. درحوزه فرکانس عاملی که باعث ایجاد وضوح فرکانسی می شود، $e^{-j2\pi ft}$ است. که درتمام زمان ها از $-\infty$ تا ∞ حضور دارد. برای اینکه یک پنجره ای انتخاب شود که درعین حفظ اعتبار ایستایی وضوح فرکانسی و زمانی قابل قبولی داشته باشد موجک انتخاب می گردد. تبدیل موجک به عنوان ابزاری برای آنالیز تفکیک وضوح معرفی خواهد شد. آنالیز تفکیک وضوح به تحلیل سیگنال درفرکانس های مختلف با وضوح های متفاوت گفته می شود.

۳ - تبدیل موجک

تبدیل موجک درحقیقت اندازه گیری شباهت بین سیگنال پایه و توابع پایه (موجک ها) می باشد. یعنی شباهت سنجی بین محتوای فرکانسی است. تبدیل موجک پیوسته: روشی جایگزین تبدیل فوریه است. دراین روش سیگنال موردنظر دریک تابع موجک ضرب می شود که نقش همان تابع پنجره را دارد همچنین تبدیل موجک به طور جداگانه ای برروی قطعه های زمانی مختلف سیگنال اثر می گذارد. معادله تبدیل موجک پیوسته:

$$CWT_x^{\psi}(\tau,s) = \psi_X^{\psi}(\tau,s) = \frac{1}{\sqrt{|S|}} \int_{-\infty}^{\infty} X(t) \psi^*\left(\frac{t-\tau}{s}\right) dt \qquad (۱۰)$$

τ, S پارامترهای انتقال و مقیاس می باشند. در پارامتر مقیاس رابطه $S = (\frac{1}{f})$ برقرار است.

تعریف موجک، موج کوچک می باشد به این دلیل موج کوچک گفته می شود که به محدود بودن وکوتاه بودن تابع پنجره مربوط می شود. درتبدیل موجک مقیاس های بزرگ متناظر با فرکانس های پایین و مقیاس های کوچک متناظر با فرکانس بالا است. فاکتور مقیاس، سیگنال را منبسط یا منقبض می کند. درمقیاس های بالا با منبسط شدن سیگنال جزییات و درمقیاس های پایین با منقبض شدن آن کلیات مطرح می شود. با توجه به فرمول بالا متغیر مقیاس درمخرج سیگنال ظاهر می شود بنابراین به ازاء $s > 1$ سیگنال منبسط وبه ازاء کمتر از ۱ منقبض ویا فشرده می شود .[۷]

۴- محاسبات

موجک هایی که درمحاسبات بررسی خواهند شد:

۱) معادله موجک کلاه مکزیکی: مشتق دوم تابع گاوسی است.

$$CWT_x^{\psi}(\tau,s) = \psi(t) = \frac{d^2}{dt^2}\left(\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-t^2}{2\sigma^2}}\right) = \frac{1}{\sigma^3}\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\left(e^{\frac{-t^2}{2\sigma^2}}\left(\frac{t^2}{\sigma^2}-1\right)\right) \qquad (۱۱)$$

۲) معادله موجک مورلت : که شامل یک جمله گاوسی ویک جمله مدولاسیون است.

$$\psi(t) = \left(e^{\frac{jt}{a}} * e^{\frac{-t^2}{2\sigma^2}}\right) \qquad (۱۲)$$

۳) معادله موجک سوپر گاوسی:

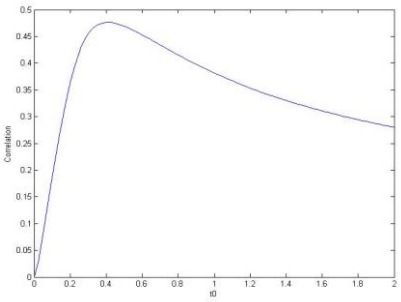
$$\psi(t) = \exp\left[-\frac{1+iC}{2}\left(\frac{t}{t0}\right)^{2m}\right] \qquad (۱۳)$$

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

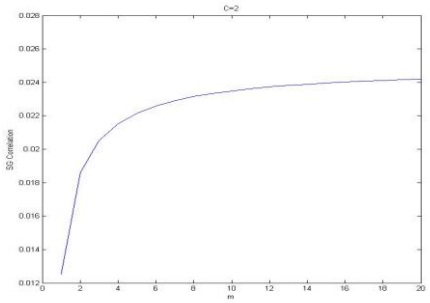
[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-13]

۴) معادله موجک گاوسی:

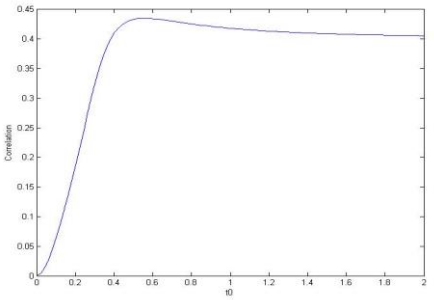
$$\psi(t)=\frac{1}{\sqrt{\sigma}}e^{(\frac{-t^2}{2\sigma^2})} \qquad (۱۴)$$



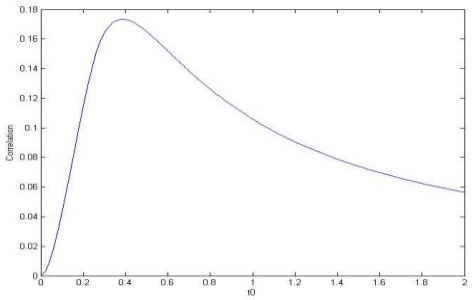
شکل ۱: همبستگی سیگنال دریافتی با معادله گاوسی بر حسب پهنای پالس



شکل ۲: همبستگی سیگنال دریافتی با مدل سوپرگاوسی بر حسب m



شکل ۳: همبستگی سیگنال دریافتی با مدل کلاه مکزیکی بر حسب پهنای پالس



شکل ۴ : همبستگی سیگنال دریافتی با مدل مورلت برحسب پهنای پالس

۵- نتیجه‌گیری

همانطور که بحث شد برای افزایش دقت فاصله یاب های لیزری بر اساس زمان پرواز از روش‌های تبدیل موجک استفاده می‌کنند. در این نوع تحلیل عواملی که بر دقت فاصله یاب اثر می‌گذارند شامل شکل پالس، پهنای پالس فاصله یاب و ولتاژ آستانه می‌باشند. در این مقاله با استفاده ازهمبستگی بین سیگنال آشکارساز و سیگنال دریافتی یک پالس و همچنین همبستگی بین آن ها به افزایش دقت محاسبه زمان پرواز و شکل ها و پهناهای مختلف پالس به بهینه سازی حداکثر همبستگی پرداخته شده و نشان داده شده است که شکل ها و پارامترهای خاص در تبدیلات، شرایط بهینه را حاصل می کنند. در مدل گاوسی با افزایش پهنای پالس همبستگی بیشتر می شود تا در نقطه ۰,۴ میلی ثانیه به ماکزیمم مقدار خود می رسد و پس از آن با افزایش پهنا ی پالس مقدار همبستگی به آرامی کاهش می یابد. در مدل سوپر گاوسی، با افزایش پهنای پالس همبستگی نیز افزایش می یابد که در واقع با افزایش مرتبه m نیز در ارتباط است. مدل کلاه مکزیکی تفاوتی که با مدل گاوسی دارد در این است که پس از ماکزیمم مقدار درنقطه ۰,۴ همبستگی به آرامی کاهش می یابد و مدل مورلت پس از نقطه ۰,۴ همبستگی آن با شیب بیشتری نسبت به مدل گاوسی و مدل کلاه مکزیکی کاهش می یابد.

مراجع

[1]G. Bazin, B. journet, "A new laser range finder based on FMCW-like method",IEEE Trans Instrum . Meas, 1996.
[2] J. Xiao, M. Lopez, X. Hu, J. Xiao, F. Yan, "A continuous wavelet transform-based modulus maxima approach for the walk error compensation of pulsed time-of-flight laser rangefinders", Opt. J. Light Electron Opt., Vol. 127, no. 4, pp. 1980–1987, 2016.
[3] K. H. Thiel, A. Wehr, "Performance capabilities of laser-scanners – an overviewand measurement principle analysis", Int. Arch. Photogramm. Remote Sens.Spatial Inf. Sci., Vol. 36, No. 8, pp. 14–18, 2004.
[4] P. Palojärvi, T. Ruotsalainen, J. Kostamovaara, "A 250-MHz BiCMOS receiverchannel with leading edge timing discriminator for a pulsed time-of-flight laserrangefinder", IEEE J. Solid-State Circuits., Vol. 40, No. 6, pp. 1341–1349, 2005.
[5] S. Kurtti, J. Kostamovaara, "An integrated laser radar receiver channel utilizing atime-domain walk error compensation scheme", IEEE Trans. Instrum. Meas. Vol. 60, No. 1, pp. 146–157, 2011.
[6] X. Ma, A.J. Peyton, "Feature detection and monitoring of eddy current imagingdata by means of wavelet based singularity analysis", NDT & E Int., Vol. 43, No. 8, pp. 687–694, 2010.
[7] A. Mertins, *Signal Analysis*, John Wiley, p. 215, 1999.

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-13]