

تشخیص خواص ظاهری رشته‌ها بر مبنای اندازه‌گیری ارتعاش با استفاده از پردازش

ویدیو

مینا عمادی^{1*}، پدram پیوندی^{1,3}، محمدعلی توانایی^{2,3}، محمدمهدی جلیلی⁴

1-دانشکده مهندسی نساجی، پردیس فنی و مهندسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

2-دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

3-هسته علمی بینایی ماشین در صنعت نساجی و پوشاک، دانشگاه یزد، یزد، ایران

4-دانشکده مهندسی مکانیک، پردیس فنی و مهندسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

چکیده

در این تحقیق رفتار ارتعاشی یک ساختار چند رشته‌ای به‌عنوان روشی برای شناسایی ویژگی‌های ظاهری آن بررسی شد. این حقیقت بر این اساس است که تغییرات در خواص فیزیکی و ظاهری یک سازه منجر به تغییرات قابل توجهی در خواص ارتعاشی آن خواهد شد. بدین منظور در این تحقیق، از یک تجهیزات آزمایشگاهی مجهز به دوربین سرعت بالا جهت ثبت ارتعاش نمونه رشته‌هایی با فرم تاب‌های مختلف استفاده شد. ارتعاش رشته در تمام نقاط آن توسط دوربین سرعت بالا ضبط شده و سیگنال ارتعاشی رشته با استفاده از روش‌های پردازش ویدیو استخراج گردید و ویژگی‌های سیگنال به دست آمد. حضور تاب و نوع فرم آن در ساختارهای چندرشته‌ای، ویژگی‌های سیگنال را تحت تأثیر قرار داد. به طوری که نتایج نشان داد ساختارهایی که در آن‌ها تعداد رشته‌ی بیشتری به یکدیگر تاب داده شده‌اند، در مقایسه با ساختارهای دیگر که دارای تعداد رشته‌ی آزاد و فاقد تاب هستند فرکانس طبیعی بالاتر و ضریب میرایی پایین‌تری دارند.

کلمات کلیدی: ارتعاشات، رشته، پردازش ویدیو، دوربین سرعت بالا، خصوصیات ظاهری

String Appearance Properties Detection Based on Vibration Measurement Using Video Processing

Mina Emadi^{1,3}, Pedram Payvandy^{1,3}, Mohammad Ali Tavanaie^{2,3}, Mohammad Mahdi Jalili⁴

1-Textile Engineering Department, Yazd University, Yazd, Iran

2-Textile Engineering Department, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran

3-Center of Excellence for Machine Vision in Textile and Apparel Industry, Yazd University, Yazd, Iran

4-Mechanical Engineering Department, Yazd University, Yazd, Iran

Abstract.

Investigation on vibration behavior of the string as a procedure for identifying their apparent properties was attempted in this research. This is based on the fact that modal parameters are the functions of physical properties. Therefore, a laboratory equipment with a high-speed digital camera was used to measure the vibration behavior of strings with different forms of twist. The vibration was recorded by the high-speed camera at all the points of the string. The video processing was done to extract the vibration diagrams and some signal features were obtained. The presence of the twist and the form of it affected the signal properties. The results showed that the structures in which the number of filaments is more twisted together, have higher natural frequency and lower damping coefficient compared to other structures which have free and non-twisted filaments.

Keywords: Vibration analysis, String, High-speed camera, Computer vision

1. مقدمه

رفتار ارتعاشی یک نخ یا مونوفیلامنت می‌تواند به‌عنوان یک روش شناسایی مشخصات فیزیکی و ظاهری آن به کار گرفته شود. ایده‌ی اساسی جهت تشخیص تغییرات خصوصیات فیزیکی بر مبنای رفتار ارتعاشی، بر این اساس است که تغییرات در خواص فیزیکی (جرم و سختی و...) موجب تغییرات قابل‌تشخیصی در خواص ارتعاشی (فرکانس طبیعی، میرایی و شکل مود ارتعاشی) خواهد شد. تحقیقات محدودی در رابطه با مطالعه‌ی ارتعاشات در مواد نساجی صورت گرفته است. Barr و همکارانش [1] تنش و شکل بالون را با استفاده از معادلات مربوط به ارتعاشات نخ در ریسندگی رینگ موردبررسی قرار دادند. Swope و همکارانش [2] با استفاده از یک مدل ریاضی خطی به توصیف و تحلیل نوسانات یک رشته نخ در اثر عبور و پیچش بر روی یک بوبین با سرعت ثابت پرداختند. Gao و همکارش [3]، نخ پایل را به‌صورت المان‌های Kelvin-Voigt مدل‌سازی کرده و اثر سرعت عملیات، دامنه‌ی نوسانات تنش و ضریب میرایی را بر رفتار دینامیکی سیستم، به‌صورت عددی موردبررسی قرار دادند. Gao و همکارش [4]، شبیه‌سازی خواص کششی، تنش و رفتار خزش نخ با استفاده از روش تحلیلی مدل‌های ویسکوالاستیک خطی و غیرخطی را بررسی کرده و آزمایش‌هایی به‌منظور دستیابی به داده‌های تجربی و تطبیق مدل نظری و حل پارامترهای مدل انجام دادند. Shen و همکارانش [5]، با استفاده از یک راه‌حل عددی تأثیر پارامترهای مختلف نظیر ویسکوزیتی، ضریب میرایی، سرعت تار، نوسانات تنش و ضریب کششی را بر پاسخ دینامیکی ارتعاش نخ بررسی کردند. در مقالات ذکرشده اثر تغییرات خواص فیزیکی و ظاهری یک رشته بر خواص ارتعاشی آن‌ها به‌ندرت مشاهده می‌شود. جهت انجام آزمایش‌های مبتنی بر ارتعاش یک سازه تحت تحریکات دینامیکی و یا ضربه، روش‌های تماسی متفاوتی وجود دارد؛ در این میان دوربین‌های سرعت‌بالا [6-10] و تکنیک‌هایی نظیر پردازش تصویر دیجیتال [11-13] از جمله روش‌های نوری هستند که با موفقیت توانسته‌اند برای اندازه‌گیری ارتعاش رشته مورد استفاده قرار گیرند. امروزه بررسی خصوصیات ظاهری رشته‌های نساجی، پایه‌ای برای طراحی سیستم‌های کنترل کیفی آنلاین است. از این‌رو هدف از انجام این تحقیق، بررسی رفتار ارتعاشی رشته به‌عنوان یک روش شناسایی خصوصیات ظاهری و هم‌چنین به‌عنوان یک روش غیر مخرب، قابل‌اعتماد و مؤثر جهت کنترل کیفیت رشته-های نساجی است. ارتعاش رشته در تمام نقاط آن توسط دوربین سرعت‌بالا ضبط شده و تکنیک پردازش ویدیو برای استخراج اطلاعات ارتعاش اعمال شده است. برخی ویژگی‌های سیگنال به‌دست‌آمده و فرکانس طبیعی و ضریب میرایی توسط روش‌های تبدیل سری فوریه و روش کاهش لگاریتمی محاسبه شده و مورد ارزیابی قرار می‌گیرند.

2. روش آزمایش

1.2. مواد

در این تحقیق از رشته‌ی مونوفیلامنت از جنس پلی‌پروپیلن، به قطر 0.05 میلی‌متر و طول 30 سانتی‌متر استفاده شده است. 10 رشته‌ی مونوفیلامنت پلی‌پروپیلن به صورت رشته‌های تاب‌دار در فرم‌های مختلف در نظر گرفته شده‌اند. مشخصات رشته‌ها در جدول 1 ارائه شده است.

جدول 1: مشخصات رشته‌ها

کد نمونه	توضیحات
10R- Notwist	10 رشته مونوفیلامنت بدون تاب کلی
10R- 5twist	10 رشته مونوفیلامنت با 5 تاب کلی
5R(2)- Notwist	2دسته‌ی 5 رشته‌ای با هر کدام 10 تاب در طول (بدون تاب کلی)
5R(2)- 5twist	2دسته‌ی 5 رشته‌ای با هر کدام 10 تاب در طول (5 تاب کلی)
2R(5)- Notwist	5دسته‌ی 2 رشته‌ای با هر کدام 10 تاب در طول (بدون تاب کلی)

2R(5)- 5twist	5 دسته‌ی 2 رشته‌ای با هر کدام 10 تاب در طول (5 تاب کلی)
2R-8R- Notwist	2 رشته با 10 تاب و 8 رشته بدون تاب (بدون تاب کلی)
2R-8R- 5twist	2 رشته با 10 تاب و 8 رشته بدون تاب (5 تاب کلی)
4R-6R- Notwist	4 رشته با 10 تاب و 6 رشته بدون تاب (بدون تاب کلی)
4R-6R- 5twist	4 رشته با 10 تاب و 6 رشته بدون تاب (5 تاب کلی)

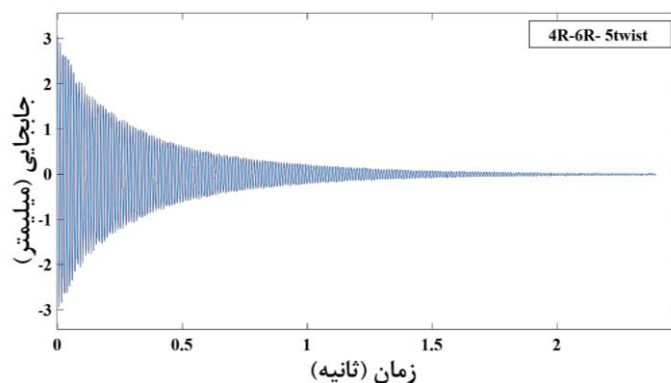
2.2. روش آزمایش

جهت انجام آزمایش، یک رشته به طول 30 سانتی‌متر انتخاب شد. یک سر رشته در یک نگه‌دارنده‌ی بالایی ثابت شده و سر دیگر آن به یک وزنه‌ی 40 گرمی متصل و رها شد تا کشش اولیه در رشته ایجاد شود. سپس یک نگه‌دارنده‌ی پایینی روی رشته فیکس شده تا این کشش اولیه را برای آن حفظ کند. تحریک اولیه‌ی رشته توسط یک جابجایی 3 میلی‌متری در وسط آن صورت گرفته است. در واقع یک برانگیختگی اولیه توسط قرارگیری رشته در پشت سوزن و رهایی آن در لحظه‌ی صفر اتفاق می‌افتد. یک دوربین پرسرعت، حرکت ارتعاشی رشته را ثبت می‌کند. این سیگنال به‌عنوان یک فایل ویدیویی ثبت شده و مورد پردازش ویدیو قرار می‌گیرد. جهت استخراج حالت ارتعاش رشته از یک الگوریتم پردازش ویدیو استفاده شد. در این الگوریتم ابتدا هر فریم ویدیو به‌عنوان یک تصویر رنگی ذخیره می‌شود. برای ردیابی رشته در ارتعاش، یک نقطه از رشته باید در فریم‌های متوالی انتخاب و ردیابی شود. الگوریتم به‌جای انتخاب یک نقطه، یک نوار پیکسلی را انتخاب کرده، به یک تصویر خاکستری تبدیل و نویزهای آن برطرف می‌کند. سپس با استفاده از الگوریتم k -means تصویر را آستانه‌گذاری می‌کند و در نهایت تصویر به یک تصویر سیاه‌وسفید تبدیل می‌شود. مرکز شیء سفید به‌عنوان مرکز رشته و در واقع به‌عنوان یک نقطه‌ی انتخابی از رشته انتخاب شده و طی تمام فریم‌های ویدیو ردیابی می‌شود. این عملیات را می‌توان برای نوار پیکسل بعدی و در واقع برای تمام نقاط انتخابی از رشته انجام داد و هر نقطه‌ای از رشته را ردیابی کرد. لازم به ذکر است از هر نمونه‌ای 5 مرتبه ویدیو گرفته شد. میزان جابجایی رشته از اختلاف پیکسل‌های تصویر محاسبه شده و به جابجایی برحسب میلی‌متر و تعداد فریم‌های ویدیو به زمان برحسب ثانیه تبدیل شده و در نهایت نمودار ارتعاش رشته مونوفیلانمنت‌ها برحسب جابجایی- زمان رسم می‌شود.

3. بحث و نتایج

1.3. نتایج پردازش ویدیو

شکل 1 نمودار جابجایی رشته طی فریم‌های متوالی را برای یک نمونه نشان می‌دهد.



شکل 1: نمودار ارتعاش استخراج‌شده از پردازش ویدیو برای نمونه 4 رشته با 10 تاب و 6 رشته بدون تاب (5 تاب کلی)

شکل ارتعاش یک رشته نشان می‌دهد که داده‌های استخراج‌شده از پردازش ویدیو می‌تواند برای تشخیص خصوصیات فیزیکی و ظاهری یک رشته مفید واقع شود؛ اما به‌رحال سیگنال‌ها دارای اطلاعات پنهانی هستند که از شکل ظاهری آن‌ها قابل تشخیص نیست. از این‌رو در ادامه نتایج پردازش سیگنال‌ها در حوزه‌ی فرکانس ارائه‌شده است تا محتوای پنهان این سیگنال‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد.

2.3. نتایج حاصل از روش تبدیل فوریه و ضریب میرایی

داده‌های به‌دست‌آمده از پردازش ویدیوی یک رشته‌ی در حال ارتعاش به شکل داده‌های گسسته در زمان می‌باشند. تبدیل فوریه یکی از بهترین تبدیلات برای به دست آوردن محتوای فرکانسی این سیگنال‌هاست. تبدیل فوریه یک سیگنال خود سیگنال مختلطی می‌باشد که در هر نقطه (فرکانس) خود یک دامنه خواهد داشت. برای یک نمونه یک فرکانس غالب با بیشترین دامنه وجود دارد و پیش‌بینی می‌شود که این فرکانس همان فرکانس طبیعی رشته مونوفیلانمنت مرتعش باشد. مقادیر فرکانس طبیعی نمونه‌ها در جدول 2 ارائه‌شده است. حضور تاب و نوع فرم آن در ساختارهای چند رشته‌ای منجر به تغییر فرکانس طبیعی شده است. مشاهده می‌شود که در هر نمونه با حضور 5 تاب کلی نسبت به نمونه‌ی فاقد تاب کلی آن، فرکانس افزایش داشته است. هر چه تعداد رشته‌هایی که به هم تابیده‌شده‌اند بیشتر باشد ساختار منسجم‌تر می‌شود و در نتیجه فرکانس ارتعاش را افزایش می‌دهد. به‌طوری‌که مشاهده می‌شود نمونه‌ای که در آن هر دو رشته به تنهایی دارای 10 تاب و 5 تاب کلی در ساختار است بیشترین فرکانس را از خود نشان داده است.

همان‌طور که در نمودار پردازش ویدیو (شکل 1) نشان داده‌شده است، رفتار ارتعاشی مونوفیلانمنت‌ها یک رفتار سینوسی میرا شده است و سیستم، حرکتی را نشان می‌دهد که دامنه‌ی آن کاهش می‌یابد. کاهش دامنه از یک چرخه به چرخه‌ی دیگر به میزان نسبت میرایی بستگی دارد. نسبت هر دو دامنه‌ی پی‌درپی ثابت است و تابعی از میرایی است. مقادیر پیک‌های پی‌درپی حامل یک رابطه‌ی خاص با نسبت میرایی است که منجر به مفهوم کاهش لگاریتمی می‌شود [14]. مقادیر ضریب میرایی رشته‌ها نیز در جدول 2 ارائه‌شده است. با مقایسه‌ی مقادیر ضریب میرایی به‌دست‌آمده از روش کاهش لگاریتمی مشاهده می‌شود که بیشترین ضریب میرایی مربوط به نمونه‌ای است که 10 رشته‌ی فاقد تاب دارد. با مقایسه‌ی هر نمونه با حضور 5 تاب کلی نسبت به نمونه‌ی فاقد تاب کلی آن، مشاهده می‌شود که ضریب میرایی کاهش داشته است. این بدان معناست که ساختار دیرتر میرا می‌شود. هر چه ساختاری دارای تعداد رشته‌های به هم تابیده‌ی بیشتری باشد، طبیعتاً ساختار منسجم‌تر شده و ضریب میرایی کمتری داشته است.

جدول 4. نتایج حاصل از روش تبدیل فوریه و روش کاهش دامنه لگاریتمی

کد نمونه	فرکانس طبیعی (هرتز)	ضریب میرایی (کاهش لگاریتمی)
10R- Notwist	101	0.0090
10R- 5twist	108	0.0065
5R(2)- Notwist	102.4	0.0074
5R(2)- 5twist	106	0.0062
2R(5)- Notwist	114.6	0.0063
2R(5)- 5twist	128.8	0.0061
2R-8R- Notwist	88.37	0.0073
2R-8R- 5twist	96.64	0.0068
4R-6R- Notwist	96.73	0.0067
4R-6R- 5twist	97.58	0.0066

4. نتیجه‌گیری

در این تحقیق اندازه‌گیری ارتعاش یک رشته‌ی نساجی با استفاده از دوربین سرعت‌بالا جهت بررسی خصوصیات فیزیکی و ظاهری رشته ارائه شد. با ثبت ویدیویی جابجایی رشته‌ی تحریک‌شده از وسط و پردازش آن توسط الگوریتم‌های پردازش ویدیو، نمودارهای جابجایی در واحد زمان برای ساختارهای چند رشته‌ای تاب‌دار به دست آمد. فرکانس طبیعی و ضریب میرایی توسط روش تبدیل سری فوریه و روش کاهش لگاریتمی محاسبه شدند. حضور تاب و نوع فرم آن میزان فرکانس طبیعی را تغییر داد. در هر نمونه با حضور تاب کلی و هم‌چنین با افزایش تعداد رشته‌های به هم تابیده‌شده فرکانس طبیعی افزایش داشت. بیشترین ضریب میرایی را نمونه‌ای که کاملاً فاقد تاب بود ارائه داد. حضور تاب کلی ضریب میرایی را کاهش داد. از طرفی هر چه ساختاری دارای تعداد رشته‌های به هم تابیده‌ی بیشتری بود، ضریب میرایی کمتری داشت. نتایج نشان می‌دهد که با استفاده از دوربین سرعت‌بالا، الگوریتم پردازش ویدیو، تحلیل محتوا و ویژگی‌های یک سیگنال ارتعاشی می‌توان مقایسه‌ای بین مشخصات فیزیکی ساختارهای چند رشته‌ای نظیر حضور تاب و تعداد آن انجام داد.

5. منابع

- [1] A. D. Barr, "5—A DESCRIPTIVE ACCOUNT OF YARN TENSIONS AND BALLOON SHAPES IN RING SPINNING," *Journal of the Textile Institute Transactions*, vol. 49, pp. T58-T88, 1958.
- [2] R. D. Swope and W. F. Ames, "Vibrations of a moving threadline," *Journal of the Franklin Institute*, vol. 275, pp. 36-55, 1963.
- [3] X. P. Gao, Y. Z. Sun, Z. Meng, and Z. J. Sun, "On the transversal vibration of pile-yarn with time-dependent tension in tufting process," in *Applied Mechanics and Materials*, 2010, pp. 1517-1523.
- [4] X. Gao, Y. Sun, Z. Meng, and Z. Sun, "Analytical approach of mechanical behavior of carpet yarn by mechanical models," *Materials Letters*, vol. 65, pp. 2228-2230, 2011.
- [5] D. Shen and G. Ye, "Study on the Dynamic Characteristics of Warp in the Process of Weaving," *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 2013.
- [6] N. Plath, "High-speed camera displacement measurement (HCDM) technique of string vibration," in *Proceedings of the Stockholm music acoustics conference*, 2013, pp. 188-192.
- [7] J. G. Chen, N. Wadhwa, Y.-J. Cha, F. Durand, W. T. Freeman, and O. Buyukozturk, "Structural modal identification through high speed camera video: Motion magnification," in *Topics in Modal Analysis I*, Volume 7, ed: Springer, 2014, pp. 191-197.
- [8] J. Kotus, P. Szczuko, M. Szczodrak, and A. Czyżewski, "Application of fast cameras to string vibrations recording," in *2015 Signal Processing: Algorithms, Architectures, Arrangements, and Applications (SPA)*, 2015, pp. 104-109.
- [9] M. Pàmies-Vilà, I. A. Kubilay, D. Kartofelev, M. Mustonen, A. Stulov, and V. Välimäki, "High-speed linecamera measurements of a vibrating string," in *Proceeding of Baltic-Nordic Acoustic Meeting (BNAM)*, Tallinn, Estonia, 2014.
- [10] D. Zhang, J. Guo, X. Lei, and C. Zhu, "A high-speed vision-based sensor for dynamic vibration analysis using fast motion extraction algorithms," *Sensors*, vol. 16, p. 572, 2016.
- [11] Z. Chen, X. Zhang, and S. Fatikow, "3D robust digital image correlation for vibration measurement," *Applied optics*, vol. 55, pp. 1641-1648, 2016.
- [12] M. N. Helfrick, C. Niezrecki, P. Avitabile, and T. Schmidt, "3D digital image correlation methods for full-field vibration measurement," *Mechanical systems and signal processing*, vol. 25, pp. 917-927, 2011.
- [13] J. Warburton, G. Lu, T. Buss, H. Docx, M. Y. Matveev, and I. Jones, "Digital image correlation vibrometry with low speed equipment," *Experimental Mechanics*, vol. 56, pp. 1219-1230, 2016.
- [14] W. J. Bottega, *Engineering vibrations*: CRC Press, 2014.