مجله مهندسی ساخت و تولید ایران، مهر ۱۴۰۳، دوره ۱۱، شماره ۷، ص‌ص.۲۰- ۲۶

ماه‌نامه علمی پژوهشی

مهندسی ساخت و تولید ایران

www.smeir.org

10.22034/ijme.2024.462249.1970

روشی نوین در رمزگذار چرخشی بر اساس دنباله دیبروین برای کاربردهای دقیق اتوماسیون

سید مرتضی رضوی[۱*]، محمد مهدی شهریار[۲]، سینا بهرامیه[۳]

۱- عضو هیئت‌علمی، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و فرهنگ، تهران، ایران

۲- دانشجوی کارشناسی، گروه مهندسی برق، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۳- دانشجوی کارشناسی، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و فرهنگ، تهران، ایران

* ایمیل نویسنده مسئول: m.razavi@usc.ac.ir

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی

دریافت: ۲۷ خرداد ۱۴۰۳

پذیرش: ۳۱ تیر ۱۴۰۳

کلیدواژگان:

رمزگذار چرخشی

توالی دیبروین

اندازه‌گیری زاویه‌ای

چکیده

امروزه استفاده از انواع رمزگذارها در صنایع مختلف اجتناب‌ناپذیر شده است و با پیشرفت روزافزون علم و صنعت، نیاز به رمزگذارهای با دقت بالاتر و مطمئن‌تر بیشتر می‌شود. یکی از انواع رمزگذارهای با دقت حداکثری، رمزگذارهای مبتنی بر توالی دیبروین هستند. البته این رمزگذارها در تشخیص چرخش دوطرفه دچار چالش می‌شوند. این مقاله یک رویکرد جدید برای تشخیص حرکت دوجهته بر اساس توالی‌های دیبروین در کاربردهای اتوماسیون دقیق معرفی می‌کند. رمزگذارهای چرخشی پیشین که از توالی‌های دیبروین استفاده می‌کنند، در تشخیص حرکت یک‌جهته مؤثر بوده‌اند؛ اما نیاز به یک سنسور اضافی برای ثبت حرکت دوجهته دارند. روش ارائه شده در این مقاله این نیاز را با استفاده از نوع خاصی از توالی‌های دیبروین، از بین می‌برد و امکان شناسایی حرکت‌های ساعت‌گرد و پادساعت‌گرد را بدون نیاز به سنسورهای اضافی فراهم می‌کند. این پیشرفت، کاربردهای قابل‌توجهی برای سیستم‌های اتوماسیونی دارد و راه‌حلی ساده‌تر و کارآمدتر برای تشخیص حرکت زاویه‌ای ارائه می‌دهد. رمزگذارهای مبتنی بر توالی‌های دیبروین جدید که قابلیت تشخیص حرکت دوجهته دارند، کاربردهای ارزشمند زیادی در رباتیک و اتوماسیون خواهند داشت.

A novel rotary encoder based on De Bruijn sequences for highly precise automation applications

Seyed Morteza Razavi[1*], Mohammad Mahdi Shahriar[2], Sina Bahramieh[3]

1- Faculty Member, Department of Mechanical Engineering, University of Science and Culture, Tehran, Iran

2- BSc Student, Department of Electrical Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

3- BSc Student, Department of Mechanical Engineering, University of Science and Culture, Tehran, Iran

* Corresponding Author's Email: m.razavi@usc.ac.ir

Article Information

Original Research Paper

Received: 16 June 2024

Accepted: 21 July 2024

Keywords:

Rotary Encoder

De Bruijn Sequence

Angular Measurement

Abstract

Nowadays, the use of various encoders in different industries has become inevitable, and with the rapid advancement of science and industry, the need for more accurate and reliable encoders is increasing. One type of encoder with maximum accuracy is the De Bruijn sequence-based encoder. However, these encoders face challenges in detecting bidirectional rotation. This paper introduces a novel approach for detection of two-directional movements based on De Bruijn sequences in precise automation applications. Traditional rotary encoders, employing De Bruijn sequences, have been effective in detecting single-directional movement; however, they necessitate an additional sensor to capture bidirectional movement. The proposed novel methodology eliminates this need by enhancing De Bruijn sequence-based detection, enabling the identification of both clockwise and counterclockwise movements without the requirement for supplementary sensors. This advancement holds significant implications for automation systems, offering a more streamlined and efficient solution for angular movement detection. Improved capability of De Bruijn sequence-based encoders to discern bidirectional movement makes them particularly valuable in robotics and automation applications.

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Please cite this article using:

Razavi SM, Shahriar MM, Bahramieh S. A novel rotary encoder based on De Bruijn sequences for highly precise automation applications. Iranian Journal of Manufacturing Engineering. 2024 Sep 22;11(7):20-26. doi: 10.22034/ijme.2024.462249.1970 [In Persian]

۱– مقدمه

رمزگذارهای چرخشی نقشی اساسی در سیستم‌های مکاترونیک مدرن ایفا می‌کنند و به‌عنوان اجزای حیاتی برای تعیین دقیق موقعیت زاویه‌ای شفت‌های چرخان خدمت می‌کنند [۱، ۲]. این دستگاه‌ها در صنایعی که دقت و وضوح بالا اهمیت دارد، غیرقابل جایگزین شده‌اند؛ مانند رباتیک، هوافضا و ساخت و تولید [۳]. توانایی ثبت دقیق جابجایی زاویه‌ای به این رمزگذارها امکان می‌دهد تا سیستم‌های کنترلی پیچیده را تسهیل و عملکرد بهینه‌ای را برای کاربردهای مکانیکی و الکترونیکی مختلف تضمین کنند [۴].

رمزگذارهای چرخشی با تبدیل حرکت چرخشی یک شفت به یک سیگنال الکتریکی، بازخورد لحظه‌ای از موقعیت شفت ارائه می‌دهند. این بازخورد برای کنترل حرکت ماشین‌ها و مکانیزم‌ها حیاتی است و امکان تنظیمات دینامیک و موقعیت‌یابی دقیق را فراهم می‌کند. با افزایش تقاضای صنایع برای سطوح بالاتر دقت و وضوح، محدودیت‌های روش‌های رمزگذاری متعارف بیشتر مشهود می‌شود.

رمزگذارهای مطلق دستگاه‌هایی هستند که کدهای دیجیتال دقیق و منحصربه‌فردی برای هر موقعیت در یک چرخش کامل ارائه می‌دهند و امکان شناسایی فوری زاویه شفت را فراهم می‌کنند [۵، ۶]. برخلاف رمزگذارهای افزایشی، آن‌ها اطلاعات موقعیت را حتی زمانی که خاموش هستند، حفظ می‌کنند [۷، ۸]. این ویژگی رمزگذارهای مطلق را برای کاربردهایی که نیاز به موقعیت دقیق دارند، ایده‌آل می‌سازد [۹، ۱۰].

رمزگذارهای مطلق باینری از کد باینری برای تشخیص هر موقعیت شفت با یک کلمه دیجیتال منحصربه‌فرد استفاده می‌کنند [۱۱]. این رمزگذارها دارای چندین مسیر دایره‌ای هستند که هر کدام، در هر موقعیتی یک مقدار باینری تولید می‌کند. این مقادیر یک کد باینری ایجاد می‌کنند که موقعیت مطلق شفت را مشخص می‌کند. کد باینری توسط رمزگذار خوانده و اطلاعات فوری و دقیقی در مورد موقعیت زاویه‌ای مطلق شفت ارائه می‌شود [۱۲].

رمزگذارهای باینری به طور کارآمد موقعیت‌های مطلق را با دقت در سیستم‌های چرخشی نمایش می‌دهند؛ اما با تعداد خاصی از سنسورها و بیت‌ها، وضوح محدودی دارند. در صنایعی که دقت بالا اهمیت دارد، توالی‌های دیبروین که وضوح و صحت بیشتری در اندازه‌گیری زاویه‌ای دارند، ترجیح داده می‌شوند. این رمزگذارها تعداد بیت‌های مورد نیاز را به حداقل می‌رسانند [۱۳]. توالی دیبروین یک توالی از نمادها است که در آن هر زیر توالی منحصر به فرد با طول مشخص دقیقاً یک بار ظاهر می‌شود [۱۴]. توالی‌های دیبروین در رمزگذارهای چرخشی به طور کارآمد موقعیت مطلق را با الگوهای باینری منحصر به فرد رمزگذاری می‌کند، دقت را افزایش می‌دهد و تعداد بیت‌های مورد نیاز برای اندازه‌گیری‌های زاویه‌ای دقیق را کم می‌کند [۱۵]. برخلاف خواندن نمادهای مستقل برای شناسایی موقعیت، این رمزگذارها به ترتیب نمادها در توالی متکی هستند [۱۶]؛ اما چالش مهم این رمزگذارها از همین وابستگی ذاتی به ترتیب نمادها ناشی می‌شود. زمانی که جهت چرخش تغییر می‌کند، رمزگذار با محدودیت مواجه می‌شود و نمی‌تواند این تغییر را تشخیص دهد. این محدودیت ناشی از آن است که این نوع از رمزگذارها قادر به رمزگشایی مستقل هر زاویه با استفاده از تک سمبل خوانده شده نیستند و در توالی نیز هیچ نشانه‌ای برای تشخیص تغییر جهت چرخش برای آن‌ها تعریف نشده است. در چنین شرایطی، رمزگذار به خواندن نمادها ادامه می‌دهد، بدون توجه به تغییر جهت چرخش که منجر به تشکیل آرایه‌هایی می‌شود که اطلاعات زاویه‌ای نادرست یا نامشخص را منتقل می‌کنند. این محدودیت باعث نیاز به استفاده از مکانیسم‌های مکمل یا سنسورهای اضافی برای تشخیص جهت چرخش در این نوع از رمزگذارها می‌شود.

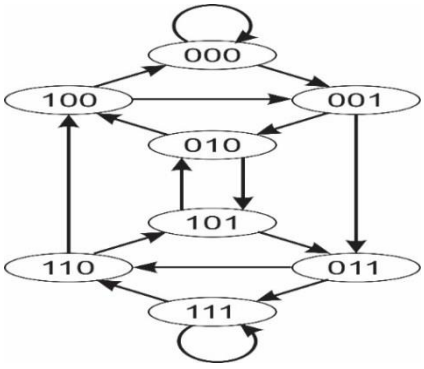
این مقاله با معرفی یک توالی خاص از توالی‌های دیبروین و با معرفی نوعی نشانگر تغییر جهت چرخش برای رمزگذار بدون استفاده از سنسور اضافی، این چالش را حل کرده و این نوع از رمزگذارها را به قابلیت تشخیص حرکت دوجهته مجهز می‌کند. این روش نوآورانه، هم اثربخشی رمزگذار چرخشی مبتنی بر توالی دیبروین بهره می‌برد و هم مانند رمزگذارهای باینری معمولی توانایی تشخیص حرکت دوجهته را دارد که می‌تواند افق‌های جدیدی را برای کاربردهای مکاترونیک با دقت بالا ایجاد کند.

۲– روش تحقیق

در این پژوهش رویکرد تحلیلی برای توسعه و رفع چالش‌های رمزگذار چرخشی مبتنی بر دیبروین اتخاذ شده است که شامل بررسی دقیق اصول نظری مرتبط با توالی‌های دیبروین و کاربرد آن‌ها در طراحی رمزگذارهای چرخشی و چالش‌های استفاده از این روش در تشخیص حرکت‌های چرخشی دوجهته است. همچنین با استفاده مدل‌ها و معادلات ساده ریاضی دقت و قابلیت اطمینان رمزگذارهای جدید بررسی و مورد ارزیابی قرار گرفته است [۱۷، ۱۸].

۲-۱- توالی دیبروین چرخشی

توالی دیبروین چرخشی، یک ترتیب چرخشی از ترکیبات منحصربه‌فرد نمادها است که اطمینان می‌دهد هر زیر توالی ممکن با طول مشخص دقیقاً یک بار ظاهر شود. این بدان معنی است که در یک توالی دیبروین B(L, m) که از L نماد مختلف با مرتبه m تشکیل شده است، اگر m نماد متوالی از توالی را انتخاب شود، مطمئناً زیر توالی دیگری مانند آن در توالی وجود ندارد. این ویژگی دیبروین به رمزگذار این امکان را می‌دهد تا هر موقعیت زاویه‌ای را با یک زیر توالی خاص تعریف کند. شکل ۱ نمونه‌ای از یک توالی دیبروین چرخشی است.



شکل ۱ دیبروین چرخشی مرتبه ۳

در گراف دیبروین شکل ۱، یک یال جهت‌دار از راس a به b وجود خواهد داشت اگر و تنها اگر آخرین n−1 رقم راس a با اولین n−1 رقم راس b مطابقت داشته باشند. برای نوشتن یک توالی دیبروین چرخشی از گراف بالا (شکل 1)، باید مسیری در گراف طی شود که هر راس را دقیقاً یک بار طی کند و با دنبال‌کردن جهت هر فلش به راس ابتدایی بازگردد؛ بنابراین، یک مسیر مناسب می‌تواند ۰۰۰، ۰۰۱، ۰۱۱، ۱۱۱، ۱۱۰، ۱۰۱، ۰۱۰، ۱۰۰ باشد. این نمایانگر یک توالی دیبروین با دو نماد و از مرتبه ۳ است B(۲،۳). آرایه ۰۰۰۱۱۱۰۱ پس از همپوشانی زیر توالی‌های بالا بدست می‌آید.

در یک رمزگذار باینری معمولی با n بیت، به دلیل ویژگی ذاتی کدهای باینری، تعداد رمزهای مختلف برای رمزگذاری موقعیت‌ها برابر $2^n = L$ خواهد بود، بنابراین رمزگذار فقط می‌تواند L موقعیت را اندازه‌گیری کند. در یک رمزگذار توالی دیبروین با n بیت و L نماد، L^m زیرتوالی وجود دارد. مادامی که توالی دیبروین از L^m زیرتوالی تشکیل شده باشد، می تواند L^m موقعیت زاویه‌ای را با این زیرتوالی‌ها تعریف کند. در نتیجه، وضوح رمزگذار توالی دیبروین می‌تواند $\frac{360}{L^m}$ درجه باشد. به عنوان مثال، در یک رمزگذار توالی دیبروین با ۳ بیت و مرتبه ۳ $B(2^3, 3)$، یک ترتیب از ۸ نماد به طول $(2^3)^3 = 512$ ساخته می شود که در نتیجه می تواند ۵۱۲ موقعیت را شناسایی کند.

قواعد رمزگذاری در رمزگذار چرخشی مبتنی بر توالی دیبروین چرخشی: یک توالی دیبروین چرخشی $B(2^n, m)$، L^m موقعیت خواهد داشت. سیستم رمزگذار این توالی با مجموعه های زیر مشخص می شود:

$$P = \{p_1, p_2, \dots, p_R\} \quad (۱)$$

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_R\} \quad (۲)$$

P مجموعه تمام موقعیت‌ها را نمایش می‌دهد و A مجموعه کدهای دودویی چاپ شده بر روی دیسک را نشان می‌دهد. هنگامی که رمزگذار نمادهای $a_{i-m}, a_{i-m+1}, \dots, a_i$ را به ترتیب بررسی می کند، آن‌ها را به موقعیت p_i رمزگذاری می کند. سپس، وقتی رمزگذار a_{i+1} را بررسی می کند، دوباره زیرتوالی را به موقعیت p_{i+1} رمزگذاری می کند. بنابراین، برای دو موقعیت پشت سرهم، زیرتوالی‌های $(a_{i-m}, a_{i-m+1}, \dots, a_i)$ و $(a_{i-m+1}, a_{i-m+2}, \dots, a_{i+1})$ هستند.

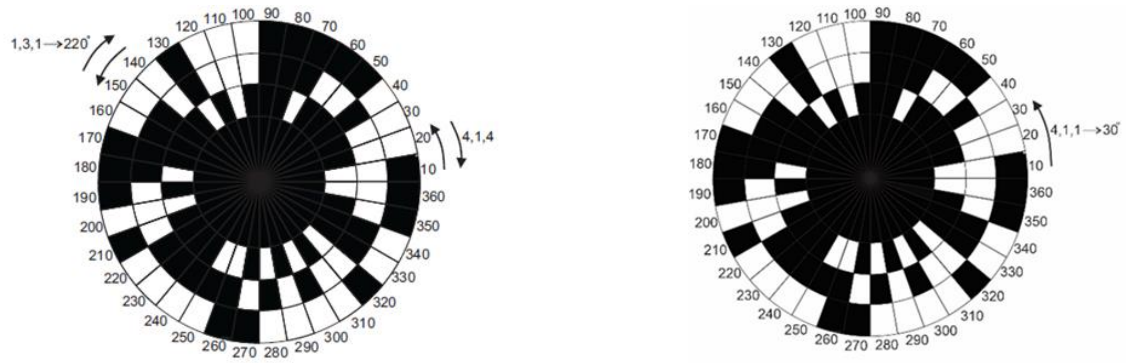
در صورت تغییر جهت چرخش، رمزگذارهای دیبروین سنتی قادر به تشخیص آن نیستند و ممکن است موقعیت‌های زاویه‌ای نادرستی را خروجی دهند، یا اگر چنین کدهایی تعریف نشده باشند، ممکن است یک خطا یا آخرین موقعیت شناخته شده را نمایش دهند. توالی دیبروین زیر را با ۳ بیت و با مرتبه ۳ که برای ۳۶ موقعیت تعریف شده است را در نظر بگیرید.

$$A = \{4,1,1,3,5,5,6,7,7,1,0,1,5,1,3,3,7,6,5,0,5,3,3,3,2,6,5,2,1,2,1,4,3,3,4,3,4,1\} \quad (۳)$$

جدول ۱ زیرتوالی‌ها و موقعیت‌های مرتبط آن‌ها را نشان می‌دهد. شکل ۲-الف نشان می‌دهد هنگامی که شفت به ترتیب از زاویه ۱۰ به زاویه ۳۰ می‌چرخد، زیرتوالی ۱، ۱، ۴ را می‌خواند. بنابراین، با توجه به زوایا و زیرتوالی‌های تعریف شده برای آن‌ها، ۱، ۱، ۴ را به زاویه ۳۰ درجه رمزگشایی می‌کند. در شکل ۲، همچنین نشان داده شده است هنگامی که رمزگذار از زاویه ۱۰ درجه به زاویه ۲۰ درجه و سپس به زاویه ۱۰ درجه می‌چرخد، زیرتوالی ۴، ۱، ۴ را می‌خواند اما نمی‌تواند آن را رمزگشایی کند؛ زیرا این زیرتوالی برای رمزگذار تعریف نشده است. گاهی اوقات ممکن است داده‌های نادرستی را خروجی دهد. همان‌طور که در شکل ۲-ب نشان داده شده است، هنگامی که از ۱۴۰ درجه به ۱۵۰ درجه و سپس به ۱۴۰ درجه می‌چرخد، زیرتوالی ۱، ۳، ۱ را بررسی می‌کند و آن را به عنوان زاویه ۲۲۰ درجه رمزگشایی می‌کند زیرا زیرتوالی ۱، ۳، ۱ برای رمزگذار تعریف شده است.

جدول ۱ زیرتوالی ها در انکودرهای مبتنی بر توالی دیبروین معمولی و زاویه‌های نظیر آن‌ها

زاویه (درجه)	زیر توالی	زاویه (درجه)	زیر توالی
190	765	10	544
200	650	20	441
210	505	30	411
220	053	40	113
230	533	50	135
240	333	60	355
250	332	70	556
260	326	80	567
270	265	90	677
280	652	100	771
290	521	110	710
300	212	120	101
310	121	130	016
320	214	140	161
330	143	150	613
340	433	160	133
350	335	170	337
360	354	180	376



(الف) (ب)

شکل ۲ الف) چرخش تک جهته رمزگذار ب) چرخش دو جهته رمزگذار

۲-۲- فرضیات و روش نوآورانه رمزگذاری در این مقاله

در این مقاله، یک راه‌حل نوآورانه برای مسئله مطرح شده ارائه داده شده است. برای رفع محدودیت ذاتی رمزگذارهای چرخشی مبتنی بر توالی دیبروین در تشخیص تغییر جهت چرخش، این پژوهش یک راه‌حل نوآورانه پیشنهاد می‌دهد. این راه‌حل شامل معرفی نشانه‌های مشخص داخل توالی‌های دیبروین برای تشخیص تغییر جهت چرخش است. هنگام تغییر جهت چرخش، اتفاقی که در اطلاعات خوانده شده توسط تمام رمزگذارها می‌افتد این است که در سه نماد آخر خوانده شده توسط رمزگذار دو موقعیت با نماد

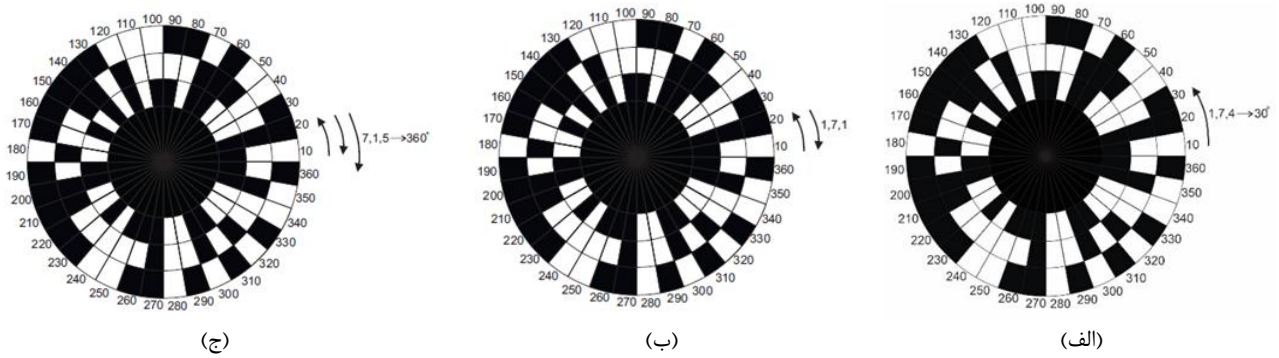
یکسان خوانده می‌شوند و از آن‌جا که در بقیه انواع رمزگذارها هر موقعیت با یک نماد خاص رمزگذاری شده است، رمزگذار به سادگی متوجه می‌شود که یک موقعیت را دو بار خوانده است، پس جهت چرخش تغییر کرده است؛ اما در رمزگذارهای مبتنی بر دیبروین هر موقعیت نه با یک نماد خاص بلکه با یک زیر توالی خاص رمزگذاری شده است و یک نماد می‌تواند در موقعیت‌های مختلفی وجود داشته باشد پس در صورت خواندن دو موقعیت با نماد یکسان مشخصاً قادر به تغییر جهت چرخش نخواهد بود. از همین ویژگی در این مقاله استفاده شده تا با استفاده از توالی‌های دیبروین خاص، نشانگری برای رمزگذار تعریف شود تا قادر به تشخیص تغییر در جهت چرخش گردد. به طور خاص، یک مجموعه‌ای از زیر توالی‌های مبتنی بر دیبروین ارائه شده تا در کل طول آرایه و در هر زیر توالی هیچ سه نماد متوالی با دو نماد یکسان وجود نداشته باشند.

۳- نتایج و بحث

در این رویکرد نوآورانه، وقتی که رمزگذار دو یا سه نماد یکسان بین آخرین سه نماد خوانده شده را پیدا می‌کند، می‌تواند به‌راحتی تغییر جهت چرخش را تشخیص دهد؛ زیرا می‌داند که این نوع زیر توالی‌ها به طور معمول در مجموعه توالی‌ها وجود ندارند. دو نماد همانند در یک توالی سه‌تایی، نشانگری برای رمزگذار است که تغییر جهت را تشخیص دهد. این لایه اضافی اطلاعات قابلیت رمزگذار را به طور قابل‌توجهی برای تشخیص دقیق حرکات دوسویه افزایش می‌دهد. برای این روش ضروری است که دو توالی دیبروین متمایز، یعنی برای هر جهت چرخش یک توالی، تعریف شود. این رویکرد تشخیص دقیق موقعیت زاویه‌ای بدون توجه به جهت چرخش را اطمینان می‌دهد و تطبیق‌پذیری و کاربرد روش پیشنهادی در صنایع و کارایی‌های مختلف را بهبود می‌بخشد. توالی دیبروین $B(2^3, 3)$ را با ۳۶ موقعیت در نظر بگیرید:

$$A = \{1,7,4,0,2,7,3,4,5,1,0,3,4,7,6,5,4,2,5,7,6,4,5,0,1,5,7,0,4,3,5,2,4,0,3,5\} \quad (۴)$$

جدول ۲ زیرتوالی ها و موقعیت‌های مرتبط آن‌ها (زوایا) را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۳-الف نشان داده شده است، هنگامی که شفت به ترتیب از زاویه ۱۰ به زاویه ۳۰ می‌چرخد، زیرتوالی ۱، ۷، ۴ را می‌خواند و آن را به زاویه ۳۰ درجه رمزگشایی می‌کند و همان طور که در شکل ۳-ب نشان داده شده است، هنگامی که از زاویه ۱۰ به زاویه ۲۰ می‌چرخد و سپس جهت خود را تغییر می‌دهد و دوباره به زاویه ۱۰ درجه بازمی‌گردد، زیرتوالی ۱، ۷، ۱ را می‌خواند. این زیرتوالی به عنوان تغییر جهت برای رمزگذار تعریف شده است، بنابراین رمزگذار تغییر جهت را تشخیص می‌دهد. همان‌طور که شفت به چرخش پادساعتگرد از زاویه ۱۰ به زاویه ۳۵۰ ادامه می‌دهد (مطابق شکل ۳-ج)، زیرتوالی ۱، ۵، ۳ را می‌خواند. ۱، ۵، ۳ به عنوان زاویه ۳۵۰ برای رمزگذار تعریف شده است، بنابراین آن را به درستی رمزگشایی می‌کند.



(الف) (ب) (ج)

شکل ۳ الف) چرخش تک جهته شفت ب) تغییر جهت چرخش ج) حرکت رمزگذار به سمت زاویه ۳۵۰ درجه

روش پیشنهادی با دستیابی به‌وضوح بالاتر برای نمایش موقعیت زاویه‌ای مطلق، از رمزگذار باینری فراتر می‌رود. همان‌طور که در بالا نشان داده شد، یک رمزگذار نوین دیبروین با ۷۲ زیر توالی می‌تواند وضوح $\frac{360}{36} = 10$ را ارائه دهد. علاوه بر این، در مقایسه با رمزگذارهای سنتی مبتنی بر دیبروین، این پژوهش با ارائه رمزگذاری موقعیت زاویه‌ای مطلق برای حرکات در هر دو جهت، دقت و قابلیت‌های تشخیص موقعیت زاویه‌ای را بهبود می‌بخشد.

جدول ۲ زیرتوالی ها برای توالی دیبروین جدید و زاویه‌های متناظر آن‌ها

زیر توالی‌های متناظر با چرخش پادساعت‌گرد	زاویه (درجه)	زیر توالی‌های متناظر با چرخش ساعت‌گرد
351	10	471
517	20	047
174	30	204
740	40	720
402	50	372
027	60	437
273	70	543
734	80	154
345	90	015
451	100	301
510	110	430
103	120	743
034	130	674
347	140	567
476	150	456
765	160	245
654	170	524
542	180	752
425	190	675
257	200	467
576	210	546
764	220	054
645	230	105
450	240	510
501	250	751
015	260	075
157	270	407
570	280	340
704	290	534
043	300	253
435	310	425
352	320	042
524	330	304
240	340	530
403	350	153
035	360	715
نماد X، نماد X، نماد X	تغییر جهت	نماد X، نماد X، نماد X
نماد X، نماد Y ، نماد X	تغییر جهت	نماد X، نماد Y ، نماد X

رمزگذار پیشنهادی، با توانایی بهبودیافته در تشخیص تغییرات جهت چرخش، در صنایع مختلف نویدبخش دقت و اطمینان بالای رمزگذاری است. در رباتیک، کنترل مطمئن‌تری بر حرکات مفاصل ارائه می‌دهد؛ در اتوماسیون، دقت سیستم نقاله و بازوی رباتیک را بهبود می‌بخشد. در کاربردهای هوافضا از دقت بهبودیافته در ناوبری و تثبیت سود می‌برد و دستگاه‌های پزشکی، مانند سیستم‌های جراحی با کمک ربات، از موقعیت‌یابی بادقت خیلی بالا بهره‌مند می‌شوند.

۴- نتیجه گیری

در این مقاله، کاربرد توالی‌های دیبروین به‌عنوان روشی برای رمزگذاری با وضوح بالا را بررسی شد. درحالی‌که توالی‌های دیبروین کاربرد قابل‌توجهی در رمزگذاری حرکات تک جهته نشان داده‌اند، به دلیل ویژگی ذاتی استفاده از زیر توالی‌ها برای تشخیص زاویه، قادر به تشخیص حرکات دوسویه نیستند. از طریق مجموعه‌ای از مثال‌ها و تحلیل خطا، چالش‌ها و محدودیت‌های مرتبط با رمزگذارهای چرخشی مبتنی بر توالی دیبروین سنتی، نشان داده شد.

برای رفع این محدودیت‌ها، یک رویکرد نوین پیشنهاد داده شد که شامل یک توالی دیبروین خاص است که برای تشخیص دقیق حرکات ساعت‌گرد و پادساعت‌گرد شفت طراحی شده است. یک مثال تصویری از این توالی دیبروین جایگزین ارائه داده شد که شکل

چاپی آن روی یک دیسک را نشان می‌دهد. یک تحلیل مقایسه‌ای بین رمزگذاری باینری، رمزگذاری توالی‌های دیبروین سنتی و رمزگذاری روش نوین معرفی شده در این مقاله برای تشخیص حرکت زاویه‌ای انجام شد. روش پیشنهادی در مقایسه با رمزگذاری باینری دقت بهتری دارد. در روش رمزگذاری باینری، رمزگذاری که از n سنسور استفاده می‌کند، می‌تواند 2^n کد دیجیتال را رمزگذاری کند. در نتیجه می‌تواند 2^n موقعیت را رمزگذاری کند. درحالی که روش رمزگذاری بر پایه دیبروین با n تعداد سنسور و مرتبه m، می‌تواند $(2^n)^m$ زیرتوالی منحصر به فرد تولید کند و با استفاده از هر یک زیرتوالی یک موقعیت را رمزگذاری کند؛ اما روش رمزگذاری دیبروین سابق در رمزگشایی حرکت دوسویه عاجز است. روش پیشنهادی که نوعی دیبروین خاص می‌باشد، هم از این دقت بالای روش دیبروین سنتی برخوردار است و هم قادر به رمزگشایی حرکت دوجهته می‌باشد.

References

[1] Li B, Cai H, Mao X, Huang J, Luo B. Estimation of CNC machine–tool dynamic parameters based on random cutting excitation through operational modal analysis. International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2013 Aug 1;71:26-40. doi: 10.1016/j.ijmachtools.2013.04.001

[2] El Ouafi A, Guillot M, Barka N. An integrated modeling approach for ANN-based real-time thermal error compensation on a CNC turning center. Advanced Materials Research. 2013 Apr 17;664:907-15. doi: 10.4028/www.scientific.net/amr.664.907

[3] Azizi Yousefvand M, Akbari H, Davoodi B. Performance evaluation of self-propelled rotary tool in turning. Iranian Journal of Manufacturing Engineering. 2023 Oct 23;10(8):27-35. doi: 10.22034/ijme.2024.435019.1915 [In Persian]

[4] Partanian MA, Moetakef-Imani B. Utilizing CNC technology in two-dimensional drawing and painting using a spray paint nozzle. Iranian Journal of Manufacturing Engineering. 2023 Nov 22;10(9):1-0. doi: 10.22034/ijme.2024.436140.1923 [In Persian]

[5] Zhang Z, Dong Y, Ni F, Jin M, Liu H. A method for measurement of absolute angular position and application in a novel electromagnetic encoder system. Journal of Sensors. 2015;2015(1):503852. doi: 10.1155/2015/503852

[6] Dziwiński T. A novel approach of an absolute encoder coding pattern. IEEE Sensors Journal. 2014 Aug 7;15(1):397-401. doi: 10.1109/JSEN.2014.2345587

[7] Merry RJ, Van de Molengraft MJ, Steinbuch M. Velocity and acceleration estimation for optical incremental encoders. Mechatronics. 2010 Feb 1;20(1):20-6. doi: 10.1016/j.mechatronics.2009.06.010

[8] Emura T, Wang L. A high-resolution interpolator for incremental encoders based on the quadrature PLL method. IEEE Transactions on industrial Electronics. 2000 Feb;47(1):84-90. doi: 10.1109/41.824129

[9] Heuer V, Faron DR, Bolton D, Lifshits M, Loeser K. Distortion control of transmission components by optimized high pressure gas quenching. InHT 2011. 2011 Oct 31 (pp. 253-257). ASM International. doi: 10.31399/asm.cp.ht2011p0253

[10] Murčinko J, Murčinková Z. Implementation of intelligent elements in vibration diagnostics of CNC machines. Applied Mechanics and Materials. 2013 May 17;308:87-93. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.308.87

[11] Das S, Sarkar TS, Chakraborty B, Dutta HS. A simple approach to design a binary coded absolute shaft encoder. IEEE Sensors Journal. 2016 Jan 12;16(8):2300-5. doi: 10.1109/JSEN.2016.2517122

[12] Frank WI, White AB, Resnick IL. Precision shaft-position encoders. IRE Transactions on Instrumentation. 1956 Jun:168-73. doi: 10.1109/IRE-I.1956.5007019

[13] Das S, Chakraborty B. Design of an absolute shaft encoder using optically modulated binary code. IEEE Sensors Journal. 2018 May 8;18(12):4902-10. doi: 10.1109/JSEN.2018.2834378

[14] Stein D, Scheinerman ER, Chirikjian GS. Mathematical models of binary spherical-motion encoders. IEEE/ASME transactions on mechatronics. 2003 Jun 20;8(2):234-44. doi: 10.1109/TMECH.2003.812824

[15] Yan YJ, Liao CC, Wang TF, Ou-Yang M. Optimizing the De-Bruijn code of rotary optical encoders preventing from the photocurrent blooming. IEEE Sensors Journal. 2020 Sep 1;21(2):1493-503. doi: 10.1109/JSEN.2020.3020974

[16] van Aardenne-Ehrenfest T, de Bruijn NG. Circuits and trees in oriented linear graphs. Classic papers in combinatorics. 1987:149-63. doi: 10.1007/978-0-8176-4842-8_12

[17] Mohammadi A, Fadaei Tehrani A, Rahnama H. Theoretical and experimental analysis of the dental scaling tool geometry by ultrasonic waves on the rate of descaling. Iranian Journal of Manufacturing Engineering. 2023 Nov 22;10(9):11-8. doi: 10.22034/ijme.2024.434413.1908 [In Persian]

[18] Nikandish P. Presenting the mathematical model of the variable flow rate axial piston pump with the displacement control valve. Iranian Journal of Manufacturing Engineering. 2023 Jun 22;10(4):1-6. doi: 10.22034/ijme.2023.398687.1783 [In Persian]