

# نظریه کدگذاری و کدگشایی اطلاعات

کدهای کانولوشن تصحیح خطا

تالیف:

دکتر حجت‌اله حمیدی

استادیار دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

سرشناسه	: حمیدی، حجت اله، ۱۳۵۵ -
عنوان و نام پدیدآور	: نظریه کدگذاری و کدگشایی اطلاعات: کدهای کانولوشن تصحیح خطا/ تالیف حجت‌الله حمیدی.
مشخصات نشر	: تهران: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، ۱۳۹۳.
مشخصات ظاهری	: ت، ۱۸۱ ص.؛ جدول، نمودار.
فروست	: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، انتشارات: ۳۵۸
شابک	: 978-600-6383-72-9
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
یادداشت	: واژه‌نامه.
یادداشت	: کتابنامه: ص. ۱۶۶ - ۱۷۰.
موضوع	: رمزگان تصحیح خطا
موضوع	: نظریه رمزگذاری
شناسه افزوده	: دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی. انتشارات
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۳/ح۸۵۶/ق۸۲۶۷
رده بندی دیویی	: ۰۰۵/۷۳
شماره کتابشناسی ملی	: ۲۶۱۳۶۷۸

ناشر: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی  <http://publication.kntu.ac.ir>

نام کتاب: نظریه کدگذاری و کدگشایی اطلاعات

مؤلف: دکتر حجت‌الله حمیدی عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی خواجه

نصیرالدین طوسی

نوبت چاپ: اول

تاریخ چاپ: آبانماه ۱۳۹۳

تیراژ: ۵۰۰ جلد

قیمت: ۱۱۵۰۰ تومان

کد کتاب: ۳۵۸

ISBN: 978-600-6383-72-9

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۶۳۸۳-۷۲-۹

چاپ و لیتوگرافی: هوررنگ

صحافی: گرنامی

آدرس و تلفن مرکز بخش و فروش: خیابان ولیعصر(عج)، بالاتر از میدان ونک، تقاطع میرداماد، روبروی

ساختمان اسکان (۰۲۱-۸۸۷۷۲۲۷۷)

(حق چاپ برای ناشر محفوظ است)

## فهرست مطالب

### پیشگفتار

- فصل اول: کدهای کانولوشن ..... ۱
- ۱-۱- مقدمه ..... ۲
- ۱-۱-۱- افزونگی ..... ۳
- ۱-۱-۲- احتمال خطا، کدگذاری و کدگشایی، کدهای کنترل خطا ..... ۴
- ۲-۱- ساختار کد کانولوشن ..... ۶
- ۱-۲-۱- نمودار حالت ..... ۹
- ۲-۲-۱- نمودار داربستی ..... ۱۰
- ۳-۲-۱- پیاده‌سازی با سیستم خطی تغییر ناپذیر با زمان گسسته ..... ۱۱
- ۴-۲-۱- نمایش چند جمله‌ای ..... ۱۵
- ۳-۱- کدهای کانولوشن سیستماتیک ..... ۱۷
- ۴-۱- فاصله آزاد کد کانولوشن ..... ۲۴
- فصل دوم: کدهای کانولوشن برای تصحیح خطاهای توده‌ای ..... ۲۷
- ۱-۲- مقدمه ..... ۲۸
- ۲-۲- حدود در قابلیت تصحیح خطای توده‌ای ..... ۲۸
- ۳-۲- کدهای کانولوشن با افزونگی  $1/b$  ..... ۳۱
- ۱-۳-۲- کدگذاری کدهای کانولوشن با افزونگی  $1/b$  ..... ۳۱

- ۳۴ ..... ۲-۳-۲- کدگشایی کدهای کانولوشن با افزودگی  $1/h$
- ۳۷ ..... ۴-۲- کدهای کانولوشن تصحیح خطاهای توده‌ای
- ۳۹ ..... ۱-۴-۲- کدهای کانولوشن تصحیح خطای توده‌ای اصلی و درهم آمیخته
- ۴۰ ..... ۲-۴-۲- کدهای کانولوشن نوع B2 بهینه
- ۴۱ ..... ۵-۲- رویه‌ی کدگشایی برای کدهای اصلی
- ۴۱ ..... ۱-۵-۲- آشکارسازی توده‌ی بلوک صفر
- ۴۵ ..... ۲-۵-۲- مشخص کردن خطاهای بلوک صفر
- ۴۷ ..... ۳-۵-۲- بازنشانی سندروم
- ۴۹ ..... ۶-۲- کدهای برلکمپ-پریاراتا (BP)
- ۴۹ ..... ۷-۲- کدهای برلکمپ-پریاراتا-ماسی (BPM)
- ۵۱ ..... فصل سوم: کدهای کانولوشن حقیقی
- ۵۲ ..... ۱-۳- مقدمه
- ۵۲ ..... ۲-۳- کدهای اعداد حقیقی
- ۵۷ ..... ۳-۳- کدهای کانولوشن حقیقی
- ۵۸ ..... ۱-۳-۳- توصیف تبدیل Z کدهای کانولوشن
- ۶۱ ..... ۲-۳-۳- اجرای پردازش سیگنال دیجیتال چندنرخ
- ۶۳ ..... ۳-۳-۳- تغییر ساختار کد، برای ساده کردن محاسبات توازن
- ۶۶ ..... ۴-۳- توصیف دیگر

۷۱	فصل چهارم: میانگین مربعات خطای بهینه در کدهای کانولوشن
۷۲	۱-۴- مقدمه
۷۲	۲-۴- معیار میانگین مربعات
۸۱	۳-۴- توسعه اولیه
۸۹	۴-۴- جمع بندی
۹۱	فصل پنجم: کاربردی از کدهای کانولوشن حقیقی برای حفاظت از عملیات های پردازش خطی
۹۲	۱-۵- مقدمه
۹۳	۲-۵- مدل خطا و سطح تحمل پذیری خطا
۹۴	۳-۵- کاربردی از کدهای کانولوشن حقیقی سیستماتیک در عملیات پردازش داده عددی
۱۰۵	۴-۵- انتخاب آستانه
۱۰۷	۵-۵- ساختار تحمل پذیر خطا با زیر سیستم تصحیح
۱۱۱	فصل ششم: کدهای کانولوشن تعریف شده بر روی اعداد صحیح به پیمانه $2^m$
۱۱۲	۱-۶- مقدمه
۱۱۳	۲-۶- ساختار کد کانولوشن و آزمون توازن با نمادهایی از $Z_2^m$
۱۲۱	۳-۶- کدهای کانولوشن بر روی حلقه‌ی حسابی نقطه ثابت
۱۲۲	۴-۶- کدهای کانولوشن حسابی تصحیح خطای توده‌ای
۱۲۵	۵-۶- کدگذاری فیدبک تکراری با سندروم‌ها
۱۳۲	۶-۶- پیاده سازی و اجرا
۱۳۳	۷-۶- حفاظت تصحیح کننده

پیوست: بررسی چند کلاس از کدهای کانولوشن برای تصحیح خطاهای توده‌ای ..... ۱۳۷

واژه‌نامه‌ی فارسی-انگلیسی ..... ۱۵۷

واژه‌نامه‌ی انگلیسی-فارسی ..... ۱۶۳

منابع و مآخذ ..... ۱۶۹

www.ketab.ir

## پیشگفتار

این کتاب، به بررسی کدهای کانولوشن تصحیح خطا، نحوه کدگذاری و کدگشایی این کدها می‌پردازد. با توجه به اهمیت مساله‌ی ارتباطات دیجیتال و انتقال اطلاعات و داده‌ها، و همچنین علاقه‌ی دانشجویان تحصیلات تکمیلی به تحقیق و مطالعه در این زمینه، نیاز به یک منبع فارسی در راستای کدگذاری و کدگشایی کدهای کانولوشن کاملاً محسوس می‌باشد.

هدف این کتاب، آشنا کردن دانشجویان رشته‌های فناوری اطلاعات، علوم کامپیوتر، ریاضیات و مهندسی برق با نظریه کدگذاری و کدگشایی مرتبط با کدهای کانولوشن می‌باشد. البته این کتاب، یک کتاب کاملاً تخصصی بوده و خواننده محترم بایستی پیش زمینه‌ای از کدهای بلوکی و کانولوشن داشته باشد.

نظریه کدگذاری و کدگشایی اطلاعات، شاخه‌ای از علوم ریاضیات است که روش‌های کنترل خطاهای رخ داده شده در انتقال اطلاعات را بررسی می‌کند. یکی از راه حل‌های عملی کاهش احتمال خطا، بکار بردن کدهای کنترل خطا می‌باشد. به طور خیلی مختصر، هدف از بکاربردن کدهای کنترل خطا، استفاده‌ی حساب شده‌ی رقم‌های افزونه می‌باشد. کدگذار به روشی سیستماتیک، رقم‌هایی را به رقم‌های پیام ورودی اضافه می‌کند. این رقم‌های اضافی، در حالی که خود حامل هیچ گونه اطلاعاتی نیستند، تشخیص و تصحیح خطا در رقم‌های حامل اطلاعات را برای کدگشا

ممکن می‌سازند. تشخیص و یا تصحیح خطا، احتمال خطای کل سیستم را پایین می‌آورد. کدهای کنترل خطا غالباً به دو دسته‌ی عمده تقسیم می‌شوند: کدهای بلوکی و کدهای کانولوشن. کدهای کانولوشن روش کارآمدی برای افزودن افزونگی به نمادهای داده در سیستم‌های پردازش داده، پردازش اطلاعات و سیستم‌های مخابرات دیجیتال هستند تا با اثرات خطا، مقابله کنند.

این کتاب در قالب شش فصل و یک پیوست تنظیم شده است، فصل اول، به بررسی کدهای کانولوشن، اختصاص داده شده است. در فصل دوم به کدهای کانولوشن برای تصحیح خطاهای توده‌ای، پرداخته می‌شود. در فصل سوم کدهای کانولوشن حقیقی تشریح شده، و در فصل چهارم، میانگین مربعات خطای بهینه در کدهای کانولوشن، بیان شده است. فصل پنجم کاربردی از کدهای کانولوشن حقیقی را برای حفاظت از عملیات‌های پردازش خطی، مورد بررسی قرار داده و در فصل ششم، کدهای کانولوشن تعریف شده بر روی اعداد صحیح به پیمانه  $2^m$  ( $Z_2^m$ )، تشریح می‌شوند. بخش مربوط به پیوست، به تشریح چند کلاس از کدهای کانولوشن برای تصحیح خطای توده‌ای، اختصاص داده شده است (این پیوست (بمنظور پوشش تکمیلی مطالب فصل دوم)، برگرفته از ویرایش دوم کتاب "Error Control Coding Fundamentals and Applications"، اثر S. Lin و D. Costello می‌باشد).

(باشد).



مسلماً این کتاب خالی از نقص و اشتباه نمی‌باشد، لذا مایه‌ی امتنان خواهد بود، اگر خوانندگان این اشتباهات و همچنین پیشنهادات و انتقاداتی که حتماً می‌تواند باعث کامل‌تر شدن محتوای کتاب شود را به صورت کتبی یا از طریق پست الکترونیکی به اطلاع اینجانب برسانند تا با یاری خدا برای چاپ بعدی بتوان آن‌ها را در نظر داشت.

حجت‌الیه حمیدی

[h\\_hamidi@kntu.ac.ir](mailto:h_hamidi@kntu.ac.ir)

زمستان ۱۳۹۲

www.ketab.ir