

# فشرده‌سازی تصویر ثابت و ویدئو با استفاده از متلب

تألیف:

ک. اس. تیاگاراajan

ترجمه

دکتر حسن فرس

(عضو هیئت علمی دانشگاه بیرجند)

|                     |   |                                                                                              |
|---------------------|---|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| سرشناسه             | : | تیاگارا جان، ک. اس.-                                                                         |
| عنوان و نام پدیدآور | : | فشرده سازی تصویر ثابت و ویدئو با استفاده از متلب / تألیف ک. اس. تیاگارا جان؛ ترجمه حسن فرسی. |
| مشخصات نشر          | : | انتشارات دانشگاه بیرجند.                                                                     |
| مشخصات ظاهری        | : | ۴۴۴ص. مصور، جدول، نمودار.                                                                    |
| فروست               | : | انتشارات دانشگاه بیرجند، شماره نشر ۱۱.                                                       |
| شابک                | : | ۹۷۸-۶۰۰-۹۵۶۵۲-۳-۸                                                                            |
| موضوع               | : | فشرده سازی تصویر.                                                                            |
| موضوع               | : | فشرده سازی ویدئو.                                                                            |
| موضوع               | : | متلب.                                                                                        |
| شناسه افه           | : | فرسی، حسن، مترجم.                                                                            |
| رده بندی کنگره      | : | ۱۳۹۴:۵۴۰/ت ۹۲/۱۶۳۸ TA                                                                        |
| رده بندی دیوینی     | : | ۶۳۱/۵۸۵                                                                                      |



انتشارات دانشگاه بیرجند

خدمات نشر: انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد

مشهد، میدان آزادی، پردیس دانشگاه، سازمان مرکزی جهاد دانشگاهی  
 ص.پ. ۹۱۷۷۵۱۳۷۶ تلفن: ۳۸۸۳۲۳۶۷ دفترپخش: ۸۴۲۲۳۰  
 www.jdmpress.com info@jdmpress.com

فشرده سازی تصویر ثابت و ویدئو با استفاده از متلب

تألیف: ک. اس. تیاگارا جان

ترجمه: دکتر حسن فرسی

واژه پرداز هاشمی نجفی / لیتوگرافی مشهد اسکتر / چاپ و صحافی چاپ نیکو

چاپ اول پاییز ۱۳۹۴ / ۵۵۰ نسخه

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۹۵۶۵۲-۳-۸ ISBN: 978-600-95652-3-8

کلیه حقوق نشر برای ناشر محفوظ است.

قیمت: ۲۶۰.۰۰۰ ریال

به نام خداوند بخشنده و مجید

نشر آثار علمی اصیل و ارزنده دانش‌پژوهان علمی در دانشگاه، ترجمه آثار معتبر و ارزنده و نتایج پژوهش‌های بدیع، از جمله اهداف انتشارات دانشگاه بیرجند است. امید است با توفیق الهی در انجام این رسالت، گامی مؤثر در رسیدن به خودکفایی علمی میهن عزیز اسلامیمان برداریم.

انتشارات دانشگاه بیرجند

# فهرست

|    |                                                |
|----|------------------------------------------------|
| ۱۱ | پیشگفتار                                       |
| ۱۵ | ۱. مقدمه                                       |
| ۱۵ | ۱-۱ کد کردن منب چیست؟                          |
| ۱۷ | ۱-۲ چرا فشردن مازی لازم است؟                   |
| ۱۸ | ۱-۳ روش های فشرده سازی ویدئو                   |
| ۱۸ | ۱-۳-۱ فشرده سازی تصویر ثابت                    |
| ۲۷ | ۱-۳-۲ فشرده سازی ویدئو                         |
| ۲۸ | ۱-۳-۳ فشرده سازی بدون تلفات                    |
| ۳۱ | ۱-۴ استانداردهای فشرده سازی ویدئو              |
| ۳۲ | ۱-۵ ساختار کتاب                                |
| ۳۳ | ۱-۶ خلاصه                                      |
| ۳۳ | مراجع                                          |
| ۳۵ | ۲. تصویربرداری                                 |
| ۳۵ | ۲-۱ مقدمه                                      |
| ۳۶ | ۲-۲ نمونه برداری یک تصویر پیوسته               |
| ۳۹ | قضیه نمونه برداری برای تصویر پایین گذر         |
| ۴۰ | ۲-۲-۱ اعوجاج روی هم افتادگی فرکانسی            |
| ۴۳ | ۲-۲-۲ نمونه برداری غیرایده آل                  |
| ۴۵ | ۲-۲-۳ شبکه های نمونه برداری غیرمستطیلی         |
| ۴۷ | ۲-۳ کوانتیزاسیون تصویر                         |
| ۵۱ | ۲-۳-۱ کوانتیزه کننده ی ماکس-لوید               |
| ۵۳ | ۲-۳-۲ کوانتیزه کننده ی یکنواخت                 |
| ۵۴ | ۲-۳-۳ عملکرد کوانتیزه کننده                    |
| ۵۹ | ۲-۳-۴ تابع چگالی احتمال کوانتیزه کننده ی بهینه |
| ۵۹ | الگوریتم لوید                                  |
| ۶۶ | ۲-۳-۵ لرزش                                     |

|     |                                              |
|-----|----------------------------------------------|
| ۶۹  | ۲-۴ نمایش تصویر رنگی                         |
| ۷۰  | ۲-۴-۱ تصحیح گاما                             |
| ۷۰  | ۲-۴-۲ اجزاء YUV و YCbCr                      |
| ۷۳  | ۲-۴-۳ فرمت ویدئو                             |
| ۷۴  | ۲-۵ خلاصه                                    |
| ۷۵  | مراجع                                        |
| ۷۶  | مسائل                                        |
| ۷۷  | ۳. تبدیل‌های تصویر                           |
| ۷۷  | ۳-۱ مقدمه                                    |
| ۷۸  | ۳-۲ تبدیل واحد                               |
| ۷۸  | ۳-۲-۱ تبدیل واحد یک‌بعدی                     |
| ۹۰  | ۳-۲-۲ تبدیل واحد دو بعدی                     |
| ۹۸  | ۳-۳ تبدیل KL                                 |
| ۱۰۳ | ۳-۴ خواص تبدیل واحد                          |
| ۱۰۳ | ۳-۴-۱ انرژی پس از تبدیل حفظ می‌شود           |
| ۱۰۴ | ۳-۴-۲ انرژی در بعد تبدیل فشرده می‌شود        |
| ۱۰۹ | ۳-۵ خلاصه                                    |
| ۱۱۰ | مراجع                                        |
| ۱۱۰ | مسائل                                        |
| ۱۱۳ | ۴. تبدیل موجک گسسته                          |
| ۱۱۳ | ۴-۱ مقدمه                                    |
| ۱۱۴ | ۴-۲ تبدیل موجک پیوسته                        |
| ۱۱۶ | ۴-۳ سری موجک                                 |
| ۱۱۷ | ۴-۴ تبدیل موجک گسسته                         |
| ۱۱۹ | ۴-۵ پیاده‌سازی مؤثر تبدیل موجک گسسته یک‌بعدی |
| ۱۲۳ | ۴-۶ فیلترهای مقیاس‌گذاری و موجک              |
| ۱۲۳ | ۴-۶-۱ DWT عمودبرهم                           |
| ۱۲۴ | ۴-۶-۲ DWT دوبعدی عمودبرهم                    |
| ۱۲۶ | ۴-۶-۳ ساختار موجک‌ها                         |
| ۱۳۴ | ۴-۷ تبدیل موجک گسسته دو‌بعدی                 |
| ۱۳۷ | ۴-۸ ویژگی فشرده‌گی انرژی                     |
| ۱۴۴ | ۴-۹ موجک صحیح یا وارون‌پذیر                  |
| ۱۴۴ | ۴-۱۰ خلاصه                                   |

|     |                                             |
|-----|---------------------------------------------|
| ۱۴۵ | مراجع                                       |
| ۱۴۶ | مسائل                                       |
| ۱۴۷ | ۵. کد کردن بدون تلفات                       |
| ۱۴۷ | ۵-۱ مقدمه                                   |
| ۱۴۸ | ۵-۲ تئوری اطلاعات                           |
| ۱۴۸ | ۵-۲-۱ اطلاعات خودی                          |
| ۱۴۹ | ۵-۲-۲ آنتروپی منبع                          |
| ۱۵۳ | ۵-۲-۳ نرخ اعوجاج                            |
| ۱۵۵ | ۵-۳ کد؛ دن هافمن                            |
| ۱۵۹ | ۵-۴ کد کردن محاسباتی                        |
| ۱۵۹ | ۵-۴-۱ کدینگ محاسباتی یک بخش از سمبل ها      |
| ۱۶۲ | ۵-۴-۲ روش شایه (بی کد) دنباله سمبل ها       |
| ۱۶۵ | ۵-۵ کد کردن المان راب (GR)                  |
| ۱۶۹ | ۵-۶ کد کردن طول المان راب                   |
| ۱۷۲ | ۵-۷ خلاصه                                   |
| ۱۷۲ | مراجع                                       |
| ۱۷۳ | مسائل                                       |
| ۱۷۵ | ۶. کد کردن پیش گوینه                        |
| ۱۷۵ | ۶-۱ مقدمه                                   |
| ۱۷۷ | ۶-۲ طراحی DPCM                              |
| ۱۷۷ | ۶-۲-۱ پیش بینی خطی یک بُعدی                 |
| ۱۸۰ | پیش گویند کننده خطی مرتبه P                 |
| ۱۸۸ | ۶-۲-۲ DPCM دو بُعدی                         |
| ۱۹۶ | ۶-۳ DPCM تطبیق پذیر                         |
| ۱۹۷ | ۶-۳-۱ کنترل بهره DPCM تطبیق پذیر            |
| ۲۰۳ | ۶-۳-۲ DPCM تطبیق پذیر طبقه بندی کننده پیکسل |
| ۲۰۸ | ۶-۴ خلاصه                                   |
| ۲۱۰ | مراجع                                       |
| ۲۱۰ | مسائل                                       |
| ۲۱۳ | ۷. فشرده سازی تصویر در دامنه تبدیل          |
| ۲۱۳ | ۷-۱ مقدمه                                   |
| ۲۱۳ | ۷-۲ ایده اصلی در کد کردن تبدیل              |
| ۲۱۴ | ۷-۲-۱ انتخاب تبدیل واحد                     |

|     |                                                         |
|-----|---------------------------------------------------------|
| ۲۱۵ | ۷-۲-۲ تخصیص بیت بهینه                                   |
| ۲۲۲ | ۷-۲-۳ طراحی کوانتایزرها                                 |
| ۲۲۳ | ۷-۲-۴ کدینگ آنتروپی ضرایب تبدیل                         |
| ۲۲۵ | ۷-۳ بهره‌کد کردن در کدکننده تبدیل                       |
| ۲۲۷ | ۷-۴ فشرده‌سازی JPEG                                     |
| ۲۳۱ | ۷-۴-۱ انتقال سطح                                        |
| ۲۳۱ | ۷-۴-۲ کوانتیزاسیون                                      |
| ۲۳۲ | ۷-۴-۳ پیمایش زیگزاگ                                     |
| ۲۳۲ | ۷-۴-۴ گذاری آنتروپی                                     |
| ۲۴۱ | ۷-۴-۵ رمزگشایی هافمن رشته بیت کدگذاری شده               |
| ۲۴۲ | ۷-۵ فشرده‌سازی مایکروسافت                               |
| ۲۴۹ | ۷-۶ بلوک‌بندی                                           |
| ۲۴۹ | ۷-۶-۱ حذف بلوک‌های صفر                                  |
| ۲۵۲ | ۷-۶-۲ طبقه‌بندی بلوک                                    |
| ۲۵۳ | ۷-۶-۳ صاف کردن (هموار کردن) اهمیت بلوک                  |
| ۲۶۳ | ۷-۷ DCT با اندازه متغیر بلوک                            |
| ۲۷۰ | ۷-۸ خلاصه                                               |
| ۲۷۲ | مراجع                                                   |
| ۲۷۳ | مسائل                                                   |
| ۲۷۷ | ۸. فشرده‌سازی تصویر در حوزه موجک                        |
| ۲۷۷ | ۸-۱ مقدمه                                               |
| ۲۷۷ | ۸-۲ طراحی کدکننده تبدیل موجک گسسته                      |
| ۲۷۹ | ۸-۲-۱ انتخاب یک موجک                                    |
| ۲۸۳ | ۸-۲-۲ تعداد سطوح تبدیل موجک گسسته                       |
| ۲۸۳ | ۸-۲-۳ اختصاص بیت بهینه                                  |
| ۲۸۳ | ۸-۲-۴ کوانتیزاسیون ضرایب تبدیل موجک گسسته               |
| ۲۹۴ | ۸-۲-۵ کدینگ آنتروپی ضرایب کوانتیزه شده تبدیل موجک گسسته |
| ۲۹۵ | ۸-۳ کد کردن درخت صفر                                    |
| ۳۰۱ | ۸-۴ JPEG2000                                            |
| ۳۰۱ | ۸-۴-۱ تغییر سطح DC                                      |
| ۳۰۲ | ۸-۴-۲ تبدیل جزء مستقیم                                  |
| ۳۰۳ | ۸-۴-۳ تبدیل جزء معکوس                                   |
| ۳۰۳ | ۸-۴-۴ تقسیم اجزا به گروه‌ها                             |
| ۳۰۴ | ۸-۴-۵ تقسیم جزء گروه به تبدیل موجک گسسته                |
| ۳۰۷ | ۸-۴-۶ کوانتیزاسیون اسکالر ضرایب تبدیل موجک گسسته        |

|     |                                               |
|-----|-----------------------------------------------|
| ۳۰۷ | ۸-۴-۷ وزن دهی فرکانسی                         |
| ۳۱۶ | ۸-۵ سینمای دیجیتال                            |
| ۳۱۶ | ۸-۵-۱ فشرده سازی فیلم دیجیتال                 |
| ۳۱۷ | ۸-۶ خلاصه                                     |
| ۳۱۸ | مراجع                                         |
| ۳۱۹ | مسائل                                         |
| ۳۲۱ | ۹. اصول فشرده سازی ویدئو                      |
| ۳۲۱ | ۹-۱ مقدمه                                     |
| ۳۲۵ | ۹-۲ کدینگ ویدئو                               |
| ۳۲۵ | ۹-۱-۱ اختلاف ساده                             |
| ۳۲۵ | ۹-۱-۲ پیش بینی خطی بهینه                      |
| ۳۳۰ | ۹-۱-۳ پیش بینی حرکت جبران شده                 |
| ۳۶۲ | ۹-۲-۴ کدینگ پیش بینی MC                       |
| ۳۷۱ | ۹-۳ فشرده سازی تصویر متحرک                    |
| ۳۷۵ | ۹-۴ خلاصه                                     |
| ۳۷۶ | مراجع                                         |
| ۳۷۷ | مسائل                                         |
| ۳۷۹ | ۱۰. استانداردهای فشرده سازی ویدئو             |
| ۳۷۹ | ۱۰-۱ مقدمه                                    |
| ۳۸۰ | ۱۰-۲ استانداردهای MPEG-1 و MPEG-2             |
| ۳۸۰ | ۱۰-۲-۱ مجموعه اصطلاحات لایه های ویدئو در MPEG |
| ۳۸۲ | ۱۰-۲-۲ کدینگ MPEG                             |
| ۳۹۸ | ۱۰-۲-۳ سطوح MPEG-2، نمایه ها و مقیاس بندی     |
| ۴۱۵ | ۱۰-۳ MPEG-4                                   |
| ۴۱۶ | ۱۰-۳-۱ قسمت دوم MPEG-4                        |
| ۴۲۹ | ۱۰-۴ H.264                                    |
| ۴۲۹ | ۱۰-۴-۱ ویژگی های برجسته AVC                   |
| ۴۳۱ | ۱۰-۴-۲ کدینگ بلوک های بزرگ در H.264           |
| ۴۴۱ | ۱۰-۵ خلاصه                                    |
| ۴۴۲ | مراجع                                         |
| ۴۴۳ | مسائل                                         |

# پیشگفتار

در حال حاضر، اصطلاح "فشرده‌سازی ویدئو"، به صورت یک اصطلاح محاوره‌ای در آمده است. شاخه‌ی فشرده‌سازی تصویر ثابت و ویدئو به نقطه‌ای رسیده است که تماشای فیلم در کامپیوترهای کوچک کیفی نیز میسر شده است. این رشته مانند رشد فناوری در زمینه‌های مختلف به سرعت در حال پیشرفت است. به هر حال، این امر باعث شده است که برخی به فهم ساده‌ی آنچه که در ورای این رشته وجود دارد روی آورند. این کتاب سه مورد دارد: بررسی که در ورای روش‌های فشرده‌سازی تصویر و ویدئو وجود دارد را به طور ساده و قابل فهم بیان نماید. "انتظار می‌رود تا خواننده دانش اولیه‌ای از ریاضیات و تئوری سیستم‌ها داشته باشد.

خواص تصویر با کمی تفاوت دارند. تصویر ثابت توزیع مکانی شدت نور است در حالی که ویدئو شامل دنباله‌ای از تصاویر ثابت است. بنابراین، ویدئو دارای بُعد بیشتری، که همان بُعد لحظه‌ای (زمان) است، می‌باشد. این خواص به طرق مختلف مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند تا فشرده‌سازی داده‌ها را فراهم آورند. فشرده‌سازی تصویر بستگی به تکنیک استفاده صحیح از خواص تصویر دارد. با توجه به وجود پردازشگرهای مرکزی سرعت بالا و قابلیت‌های از کاربرهای اینترنتی روش‌هایی را برای نمایش بلادرنگ ویدئو پیشنهاد می‌نمایند. اما، عدم فشرده‌سازی و نمایش ویدئو با دقت بالا به صورت بلادرنگ، مانند تلویزیون با دقت بالا<sup>1</sup> (HDTV)، سخت‌افزار ویژه‌ای برای پردازشگرها نیاز دارد. گرچه چنین پردازشگرهایی به سادگی در دسترس نمی‌باشند اما در حال حاضر، تکنیک‌های سیستم‌های مختلفی که بتوانند ویدئو را غیر فشرده کرده و به صورت بلادرنگ از یک مرجع ارسال اطلاعات نمایش دهند، وجود دارد. این امر به دلیل وجود استانداردهای فشرده‌سازی ویدئو مانند گروه متخصصین تصویر متحرک<sup>2</sup> (MPEG)، امکان‌پذیر شده است.

این کتاب، در ابتدا، روش‌هایی را که به طور متداول در فشرده‌سازی تصویر و ویدئو وجود دارد با زبانی ساده و قابل فهم توضیح می‌دهد و سپس استانداردهای رایج از جمله گروه متخصصین عکاسی مشترک<sup>3</sup> (JPEG)، MPEG و کد کردن پیشرفته ویدئو را بیان می‌نماید. در توضیح اصول فشرده‌سازی تصویر، هدف

1. High Definition Television, HDTV

2. Moving Picture Experts Group, MPEG

3. Joint Photographic Experts Group, JPEG

این است که استنتاج‌های ریاضی خیلی کم باشد به‌وجهی که دانشجویان همانند متخصصین بتوانند مطالب را به‌آسانی دنبال کنند. استفاده از نمادهای ساده ریاضی بسیار مهم است زیرا باعث سردرگمی خواننده نمی‌شود. بنابراین سعی شده است خواننده بدون ازدست‌دادن هدف، مطالب کتاب را مرحله به مرحله به‌آسانی دنبال نماید. در پایان هر فصل، مسائلی آورده شده است که با حل آن خواننده می‌تواند دانش خود را افزایش دهد.

مستقل از اینکه خواننده دانشجو، متخصص و یا فرد علمی باشد، دنبال کردن صرفاً استنتاج‌های ریاضی کافی نخواهد بود برای یادگیری هر چه بهتر مفاهیم آموخته‌شده، باید آنها را به‌طور شهودی تجربه کرد. بنابراین، هدف دوم کتاب، بیان مثال‌های واقعی در قالب نرم‌افزار کامپیوتری است. گرچه زبان‌های برنامه‌نویسی زیادی از جمله C، C++، جاوا و غیره وجود دارد، در این کتاب نرم‌افزار متلب (MATLAB)، به‌عنوان ابزاری جهت توسعه‌ی آنها انتخاب گردیده است. استفاده از متلب جهت توسعه و تغییر کد به‌منظور تحلیل مسائل فشرده‌سازی بسیار ساده است. خواننده نیازی ندارد تا متخصص در نوشتن کدهای پیچیده باشد. متلب دارای توابع پیش‌اخته درخصوص پردازش تصویر و ویدئو است که به‌روش‌های مختلف استفاده می‌شوند. مزیت دیگر استفاده از متلب مشابه بودن آن با زبان C است. به‌علاوه، شبیه‌ساز متلب<sup>۱</sup> ابزار بسیار مفیدی برای شبیه‌سازی الگوریتم‌های فشرده‌سازی ویدئو از جمله JLEG و MPEG می‌باشد.

ساختار این کتاب به‌شرح ذیل است:

فصل ۱ ضمن بحث درخصوص لزوم توجه به فشرده‌سازی، اصطلاحات فنی که در فشرده‌سازی تصویر و ویدئو استفاده می‌شوند را معرفی می‌کند. در فصل ۲، غیرقابل‌پرسش بودن تصویر یا ویدئو در صورت فقدان داده‌های لازم، مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. در این فصل اصول نمونه‌برداری تصویر که تراکم پیکسل‌ها را به کوچکترین جزئیات تصویر مرتبط می‌سازد، تشریح می‌شود. همچنین، طراحی کوانتیزه‌کننده‌های یکنواخت و غیریکنواخت را که در وسایل استفاده‌کننده تصویر مورد استفاده قرار می‌گیرد، بیان می‌کند. بحث نمونه‌برداری در شبکه‌های غیرمستطیلی مانند شبکه‌ی شش‌ضلعی در اکثر کتاب‌های پردازش تصویر یا ویدئو وجود ندارد. شبکه‌ی نمونه‌برداری شش‌ضلعی در بینایی ماشین و مهندسی پزشکی استفاده می‌شود. فصل ۲ این‌گونه روش‌های نمونه‌برداری را در قالب مثال‌هایی با کد متلب به‌طور خلاصه بیان می‌کند که در آن تصویر از شبکه مستطیلی به شبکه شش‌ضلعی و برعکس تبدیل می‌شود.

تبدیل‌های تصویر مانند تبدیل کسینوسی گسسته<sup>۲</sup> (DCT)، و تبدیل موجک گسسته<sup>۳</sup> (DWT)، ابزار فشرده‌سازی هستند که در استانداردهای JLEG و MPEG استفاده می‌شوند. در این راستا، تبدیل‌های

1. MATLAB SIMULINK  
2. Discrete Cosine Transform, DCT  
3. Discrete Wavelet Transform, DWT

واحد<sup>۱</sup> در فصل ۳ معرفی می‌شوند. در این فصل، خواص مفید تبدیل‌های واحد بیان گردیده و خصوصیات ذاتی آنها برای فشرده‌سازی در قالب مثال‌های متعدد تشریح می‌گردد. بسیاری از مثال‌ها، شامل تحلیل‌های جبری نیز می‌باشد.

تئوری تبدیل موجک به قدری رشد یافته است که لازم گردید تا یک فصل کامل به آن اختصاص یابد. بنابراین، این فصل اصول تبدیل موجک گسسته و انواع آن را از قبیل موجک‌های متعامد و دوبه‌دو متعامد به همراه پیاده‌سازی مؤثر آنها از طریق زیرباندها توصیف می‌کند. در فصل ۴، ایده تفکیک تصویر با استفاده از تبدیل موجک گسسته چندمرحله‌ای از طریق مجزاکردن باندها به همراه مثال و به کارگیری تصاویر واقعی بحث می‌گردد.

پس از بررسی مفید فشرده‌سازی، در فصل ۵ روش تحلیلی فشرده‌سازی بدون تلفات مورد بحث قرار می‌گیرد. این فصل با معرفی روش‌های تئوری اطلاعات، که معیاری برای سنجش بازدهی تکنیک‌های فشرده‌سازی با تلفات و بدون تلفات است، آغاز می‌گردد. روش‌های کدینگ هافمن و حسابی در قالب مثال‌هایی که بیانگر نحوه چگونگی تولید چنین کدهایی است، توصیف می‌شوند. دلیل فشرده‌سازی بدون تلفات آن است که تمامی طرح‌های فشرده‌سازی با تلفات از کدینگ بدون تلفات به عنوان ابزار استفاده می‌کنند که توسط آن سمبل‌ها به کدها منتقل می‌شوند و یا ذخیره‌سازی تبدیل می‌شود تا فشرده‌سازی بیشتری به دست آید.

اولین نوع فشرده‌سازی با تلفات، کدینگ بر پایه پیش‌بینی است که در فصل ۶ معرفی می‌شود. این فصل روش‌های کدینگ پیش‌بینی یک و دوبعدی را تشریح کرده و با محاسبه بهره پیش‌بینی در قالب مثال‌های متعدد ادامه می‌یابد. همچنین این فصل نحوه طراحی کدینگ وولاسیون کد پالسی تفاضلی تطبیقی<sup>۲</sup> و غیرتطبیقی را با مثال‌های مختلف بررسی می‌کند.

روش کدینگ تبدیل<sup>۳</sup> و بازدهی آن در فصل ۷ مورد بحث قرار می‌گیرد. این فصل، بخش فشرده‌سازی استاندارد JPEG را با ذکر یک مثال تشریح می‌نماید.

بحث فشرده‌سازی تصویر در حوزه موجک با جزئیات کامل در فصل ۸ مورد بحث قرار می‌گیرد. در این راستا، به منظور نشان دادن تأثیر تبدیل‌های موجک متعامد و دوبه‌دو متعامد، مثال‌هایی آورده شده است. این فصل همچنین استاندارد JPEG2000 را که بر پایه تبدیل موجک است، بحث می‌کند.

فصل ۹ ایده‌ای که در ورای فشرده‌سازی رشته‌های ویدئویی وجود دارد را معرفی می‌کند. ابتدا، ایده تخمین و جبران حرکت با دقت کمتر از یک پیکسل تشریح می‌گردد و سپس تکنیک‌های مؤثری نظیر روش‌های جستجوی هرمی و سلسله‌مراتبی به منظور تخمین حرکت یک بلوک به همراه کدهای متلب جهت پیاده‌سازی آنها معرفی می‌شود. فصل ۹ فشرده‌سازی تصویر استریو را نیز معرفی می‌کند. دو تصویر

1. Unitary transform  
2. Adaptive Differential Pulse Code Modulation (ADPCM)  
3. Transform coding

موجود در تصاویر استریو با هم تفاوت اندکی دارند. همبستگی بین این دو تصویر با استفاده از پیش‌بینی حرکت جبران‌شده، کاهش می‌یابد و لذا فشرده‌سازی قابل انجام است. این ایده به صورت مثالی با کد متلب روشن می‌گردد.

فصل ۱۰ که در واقع همان فصل نتیجه‌گیری است، بخش فشرده‌ساز استانداردهای MPEG-1, -2, -4 و H.264 را توصیف می‌کند. این فصل شامل مثال‌هایی با کد متلب است که نحوه‌ی فشرده‌سازی استانداردهای مذکور را روشن می‌سازد.

در این کتاب هر فصل شامل مسائلی است که به دانشجویان جهت فهم بیشتر مباحث مطرح‌شده، کمک می‌کند. اینجانب از دکتر کش بخرو و آقای استیو مورلی به‌خاطر مرور اولیه کتاب و حمایت مداوم آنها تشکر می‌کنم. همچنین از دکتر وینای سات به‌واسطه مرور کتاب و نیز پیشنهادات و توضیحات با ارزش تشکر ویژه دارم. از آقای آرجون جین از کمپانی میکرو آمریکا به‌خاطر تشویق اینجانب در نوشتن این کتاب تشکر می‌کنم. همچنین از حمایت‌های مداوم و متعدد MathWorks در قالب نرم‌افزار متلب قدردانی می‌کنم.

K. S. Tyagarajan

## مقدمه

این کتاب صرفاً درخصوص فشرده‌سازی تصویر و ویدئو است. فصل ۱، ایده‌های کلی را که در ورای فشرده‌سازی داده‌ها قرار دارد، در قالب مثال‌های تصویری و گرافیکی برای تشویق خواننده، معرفی می‌کند. بحث‌های جری‌تری درخصوص طرح‌های مختلف فشرده‌سازی در فصل‌های بعدی آورده شده است. یکی از اهداف این کتاب آن است که اصول اولیه فشرده‌سازی تصویر و ویدئو به‌اختصار و به‌طور واضح بیان گردد و روابط ریاضی لازم برای فهم بهتر این اصول گسترش یابد. هدف دیگر، معرفی استانداردهای فشرده‌سازی متداول ویدئو (جهت‌گرفته، متخصصین عکسبرداری مشترک (JPEG)، و گروه متخصصین تصویر متحرک (MPEG))، و تشریح ابزار فشرده‌سازی در این استانداردها است. بحث‌های کوتاهی بر روی نحوه‌ی ارسال داده‌ها در این استانداردها ارائه می‌شود. گرچه انتظار می‌رود که خواننده دانش اولیه‌ای از ریاضیات و تئوری سیستم‌ها در سطح دانشجو داشته باشد اما برای فهم بهتر، تبیین معادلات ریاضی هر جایی که نیاز باشد، داده می‌شود. در پایان هر فصل، مسائلی به‌ترتیب سختی داده می‌شود تا موجب فهم بهتر و پایدار شود. برای اینکه خواننده از این کتاب بهره‌مند شود، کدهای متلب برای مثال‌های متعدد آورده شده است. برای اجرای فایل‌های متلب لازم است نرم‌افزار متلب بر روی کامپیوتر راه‌اندازی شود. گرچه نرم‌افزارهای دیگری نظیر C++ نیز برای استفاده وجود دارد اما به‌نظر می‌رسد متلب قابل‌استفاده‌تر است زیرا شامل بسیاری از توابع آماده در زمینه‌های مختلف از جمله پردازش سیگنال، تصویر و ویدئو، تبدیل موجک و غیره است. به‌علاوه، هدف اصلی این کتاب ایجاد انگیزه برای خواننده جهت یادگیری روش‌های فشرده‌سازی تصویر و ویدئو با ابزار نرم‌افزاری ساده است که نیاز به مهارت زیادی در برنامه‌نویسی ندارد. در ادامه این فصل، روش‌های مختلف فشرده‌سازی با ذکر مثال به‌طور مختصر توصیف می‌گردد.

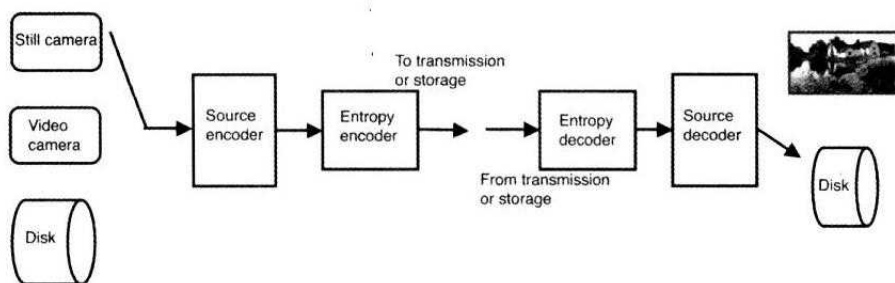
### ۱-۱ کد کردن منبع چیست؟

تصاویر و ویدئوها از طریق شبکه جهانی توسط میلیون‌ها کاربر و رسانه‌هایی نظیر تلویزیون منتقل می‌شوند. تلویزیون‌های آنالوگ از فوریه ۲۰۰۹ از رده خارج و تلویزیون‌های دیجیتال جای آن را گرفته است.

در حال حاضر نیز در دوران تلفن همراه قرار گرفته‌ایم. انتقال تصاویر دیجیتال پهنای باند بیشتری را نسبت به آنچه که در اینترنت، تلویزیون یا شبکه‌های بی‌سیم در دسترس است، نیاز دارد. بنابراین، باید روش‌هایی را یافت که این داده‌های تصویری به گونه‌ای تغییر شکل یابد که بتوان آن را بر روی پهنای باند موجود در کانال‌های تلویزیونی، اینترنت و یا کانال‌های بی‌سیم به صورت بلادرنگ ارسال کرد. فرایندی که باعث کاهش داده‌های تصویری و ویدئو و در نتیجه نیاز به پهنای باند کم برای ارسال و فضای ذخیره‌سازی کمی باشد، اصطلاحاً فشرده‌سازی داده نامیده می‌شود. در علم مخابرات، به آن کدینگ منبع نیز اطلاق می‌شود. هنگامی که داده‌ها، صوتی/تصویری از طریق یک کانال ارسال می‌شوند، بیت‌های زیادی به آنها اضافه می‌شود تا با اثر نویز کانال مقابله کند به‌وجهی که خطا در داده‌های دریافتی حذف و یا تصحیح شود. فرایند اضافه کردن داده‌های اضافه به داده‌های فشرده قبل از ارسال، اصطلاحاً کدینگ کانال نامیده می‌شود. توجه داشته باشید که اثر کاهش داده‌های اصلی در کدینگ منبع، مقدار اندک داده افزوده شده در طی کدینگ کانال را جبران می‌کند. به عبارت دیگر بیت‌های اضافه‌شده در فرایند کدینگ کانال در مقایسه با مقدار اطلاعات حذف‌شده در فرایند کدینگ منبع بسیار کم است. لذا، می‌توان گفت مزیت فشرده‌سازی داده‌ها به‌قوت خود باقی می‌ماند.

فرایند فشرده‌سازی و انتقال یا ذخیره‌سازی، به یک منبع ویدئویی به یک مقصد در شکل ۱-۱ نشان داده شده است. منبع ویدئویی خام ممکن است یک دوربین یا داده‌های ویدئویی ذخیره‌شده از قبل باشد. رمزگذار<sup>۱</sup> منبع داده‌های خام را به میزان دلخواه فشرده می‌کند که این امر بستگی به نوع فشرده‌سازی استفاده‌شده دارد. اصولاً، دو نوع فشرده‌سازی وجود دارد: فشرده‌سازی با تلفات و بدون تلفات. در فشرده‌سازی بدون تلفات، تصویر یا ویدئوی اصلی به‌طور دقیقاً قابل بازسازی است. در فشرده‌سازی با تلفات، به‌علت از دست رفتن مقداری از اطلاعات مربوط به داده اصلی، تصویر یا ویدئوی بازسازی‌شده دارای مقداری اعوجاج خواهد بود که این اعوجاج بسته به نوع فشرده‌سازی استفاده‌شده می‌تواند قابل ملاحظه و یا قابل صرف نظر کردن باشد. پس از رمزگذاری منبع، داده‌های کوانتیزه‌شده برای ارسال به ذخیره‌سازی کد می‌شوند. اگر هدف، ارسال داده‌های فشرده باشد، در این صورت رمزگذار کانال به‌منظور اضافه کردن بیت‌های زیادی استفاده می‌شود و سپس به مدولاتور دیجیتال داده می‌شوند. مدولاتور دیجیتال داده ورودی را به سیگنال RF که مناسب جهت ارسال از طریق کانال مخابراتی است، تبدیل می‌کند.

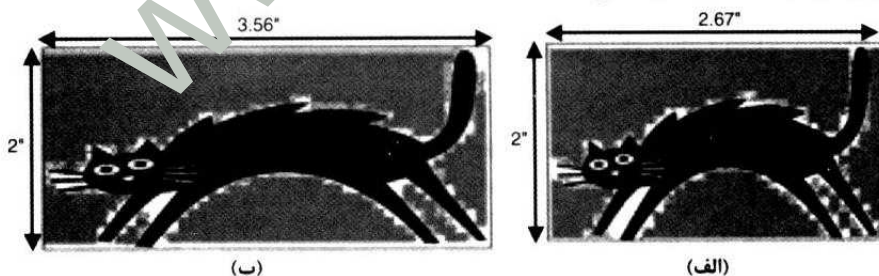
گیرنده مخابراتی عمل دی‌مدولاسیون و رمزگشایی<sup>۲</sup> کانال را انجام می‌دهد. داده رمزگشایی‌شده به رمزگشای آنتروپی که به دنبال آن رمزگشای منبع قرار دارد، داده می‌شود و در نهایت نمایش، پخش و یا ذخیره می‌گردد. اگر عمل ارسال انجام نشود، بر روی داده فشرده ذخیره‌شده، عمل رمزگشایی آنتروپی و سپس عمل رمزگشایی منبع انجام می‌شود که این امر در شکل ۱-۱ (سمت راست) نشان داده شده است.



شکل ۱-۱ رمزگذاری و رمزگشایی داده‌های منبع ویدئو برای ذخیره‌سازی و یا انتقال.

## ۲-۱ چرا فشرده‌سازی لازم است؟

تصویر ذخیره‌شده در کامپیوتر به صورت آرایه‌ای از اعداد صحیح می‌باشد که اصطلاحاً تصویر دیجیتال نامیده می‌شود. در ادامه برای بیان این موضوع، از لغت تصویر که به معنای تصویر دیجیتال است، استفاده خواهد شد. آرایه تصویر، چنانچه تصویر سیاه و سفید باشد دو بُعدی و اگر رنگی باشد سه بُعدی خواهد بود. هر عددی در آرایه بیانگر مقدار شدت روشنایی آن مکان در تصویر است و اصطلاحاً پیکسل نامیده می‌شود. مقدار پیکسل‌ها عموماً مثبت بوده و در بازه ۰ تا ۲۵۵ قرار دارد. این بدان معناست که هر پیکسل در تصویر سیاه و سفید یک بایت در حافظه کامپیوتر را اشغال می‌کند. به عبارت دیگر، تصویر با دقت سطح خاکستری ۸ بیت برای هر پیکسل<sup>۱</sup> (bpp)، را دارا می‌باشد. از طرف دیگر، هر پیکسل در تصویر رنگی دارای سه مقدار است. بدین معنا که برای هر یک از رنگ‌های قرمز، سبز و آبی دارای مقدار می‌باشد. بنابراین، سه بایت برای ذخیره‌سازی هر پیکسل مورد نیاز است. به طور معمولاً دارای قالب مستطیلی‌اند. نسبت عرض به ارتفاع تصویر اصطلاحاً نسبت ظاهری<sup>۲</sup> نامیده می‌شود. در تلویزیون با کارایی استاندارد<sup>۳</sup> (SDTV)، نسبت ظاهری ۴:۳ است در حالی که در تلویزیون با کارایی بالا (HDTV)، این نسبت برابر ۱۶:۹ است. این دو نسبت متفاوت در شکل ۱-۲ نشان داده شده است.



شکل ۱-۲ نسبت ظاهری: (الف) ۴:۳ و (ب) ۱۶:۹. ارتفاع برای هر دو تصویر یکسان است.

1. Bit Per Pixel, BPP

2. Aspect Ratio

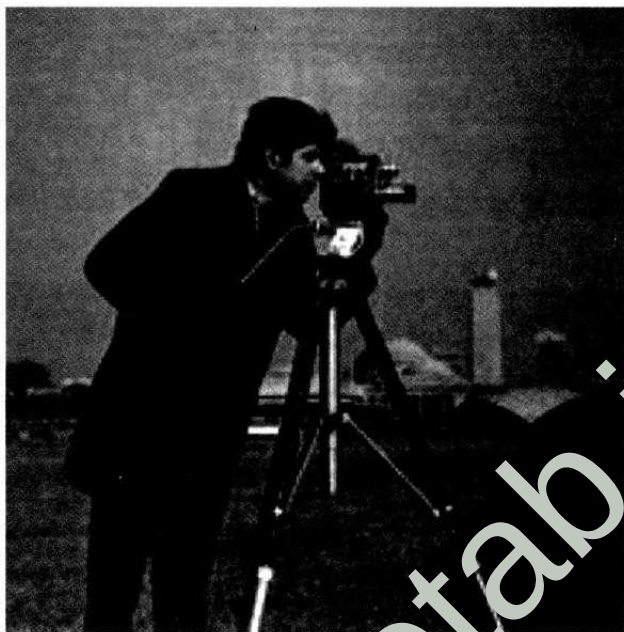
3. Standard Definition Television, SDTV

شکل‌های ۱-۲ الف و ۱-۲ ب به ترتیب بیانگر نسبت ظاهری ۴:۳ و ۱۶:۹ می‌باشند. در هر دو تصویر ارتفاع بر حسب اینچ بوده و برابر است که این خود به معنای داشتن تعداد سطرهای یکسان می‌باشد. بنابراین اگر تصویر شامل ۴۸۰ سطر باشد، برای نسبت ظاهری ۴:۳، تعداد پیکسل‌ها در هر سطر برابر  $640 = 480 \times 4/3$  خواهد بود. برای HDTV ۱۰۸۰ سطر وجود دارد و لذا تعداد پیکسل‌ها در هر سطر برابر  $1920 = 1080 \times 16/9$  می‌باشد. بنابراین، یک تصویر رنگی SD با دقت ۲۴bpp نیازمند  $921600 = 640 \times 480 \times 3$  بایت و یک تصویر رنگی HD به  $6220000 = 1920 \times 1080 \times 3$  بایت فضای حافظه نیاز دارد. منبع ویدئو ممکن است ۳۰ فریم یا بیشتر ثانیه تولید کند و لذا داده‌های خام برای SDTV برابر  $221,184,000$  بیت در ثانیه و برای HDTV برابر  $1,492,992,000$  بیت در ثانیه خواهد بود. اگر این داده‌های خام به صورت بلادرنگ از طریق کانال مخابراتی ابده ارسال شوند، که در آن نیاز به  $1\text{Hz}$  پهنای باند برای هر بیت است، در این صورت به پهنای باندی معاد  $110,592,000\text{Hz}$  برای SDTV و  $746,496,000\text{Hz}$  برای HDTV نیاز خواهد بود. در عمل، چنین پهنای باندی در انتقال وجود ندارد. توجه داشته باشید که کانال‌های اختصاصی مانند کابل HDMI برای انتقال داده غیرمستقیم در نرخ بالا ولی برای فواصل کوتاه است اما در اینجا منظور از انتقال ارسال اطلاعات در مسیر طولانی است. واضح است که با چنین شرایطی، به منظور پایین آوردن نرخ داده‌های ویدئویی، فشرده‌سازی مؤثر لازم است. بدین طریق می‌توان داده‌ها را عملاً از یک کانال مخابراتی به مکان‌های مختلف به صورت بلادرنگ ارسال کرد.

### ۱-۳ روش‌های فشرده‌سازی تصویر و ویدئو

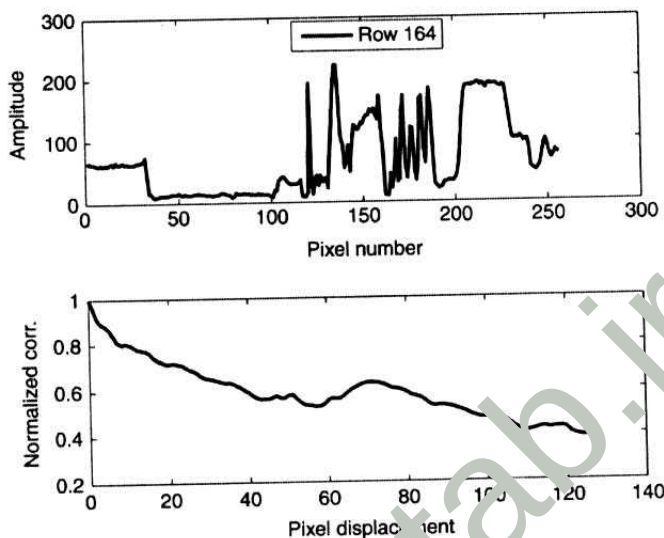
#### ۱-۳-۱ فشرده‌سازی تصویر ثابت

در این بخش، ابتدا تفاوت بین فشرده‌سازی داده و فشرده‌سازی پهنای باند بیان می‌شود. فشرده‌سازی داده اشاره به فرایند کاهش داده‌های دیجیتال منبع به یک نسبت دلخواه دارد. اما، از طرف دیگر، فشرده‌سازی پهنای باند اشاره به فرایند کاهش پهنای باند یک منبع آنالوگ دارد. مفهوم این جمله چیست؟ برای روشن شدن مطلب، به عنوان مثال، تلفن سیمی متداول را در نظر بگیرید. سیگنال صوتی توسط یک فیلتر پایین‌گذر با پهنای باند  $4\text{KHz}$  فیلتر می‌شود. بنابراین پهنای باند منبع آنالوگ  $4\text{KHz}$  است. حال فرض کنید این سیگنال برای انتقال در یک مسیر طولانی به داده دیجیتال تبدیل شود. با توجه به تئوری نمونه‌برداری، به منظور بازسازی سیگنال آنالوگ با پهنای باند  $4\text{KHz}$ ، نرخ نمونه‌برداری حداقل باید  $8000$  نمونه در ثانیه باشد. به علاوه، برای انتقال دیجیتال لازم است هر نمونه آنالوگ به نمونه دیجیتال تبدیل شود. در تلفن‌های دیجیتال، هر نمونه سیگنال صحبت به یک عدد ۸ بیتی توسط مدولاسیون کد پالسی (PCM)، تبدیل می‌شود. بنابراین نرخ صحبت  $64000$  بیت در ثانیه خواهد بود. همان‌طور که گفته شد، برای یک کانال



شکل ۱-۳ تصویر اصلی مرد عکاس.

ایده آل به پهنای باند  $32\text{KHz}$  برای انتقال نیاز است. حتی اگر سیگنال فشرده شود به نحوی که نرخ منبع ۱۶ کیلو بیت بر ثانیه گردد، حداقل پهنای باند کانال  $8\text{KHz}$  برای انتقال بلا درنگ مورد نیاز است. بنابراین فشرده سازی داده لزوماً پهنای باند کانال را کاهش نمی دهد. مرجع داشته باشید که سیگنال صحبت آنالوگ به پهنای باند  $4\text{KHz}$  نیاز دارد. اگر هدف، فشرده سازی پهنای باند باشد، می توان سیگنال آنالوگ را توسط یک فیلتر با فرکانس قطع مشخص فیلتر کرد و بدین ترتیب پهنای باند اشغال شده توسط سیگنال آنالوگ را محدود نمود. با بیان اصطلاحات فشرده سازی داده و پهنای باند، نگاهی به تکنیک های متداول فشرده سازی داده خواهیم داشت. از این پس، منظور از فشرده سازی همان فشرده سازی داده می باشد. تمامی منابع تصویری و ویدئویی حاوی اطلاعات اضافی اند. در تصویر ثابت هر پیکسل موجود در یک سطر دارای مقدار بسیار نزدیکی به مقدار پیکسل مجاورش می باشد. به عنوان مثال، تصویر مرد عکاس نشان داده شده در شکل ۱-۳ را در نظر بگیرید. شکل ۱-۴ (بالایی) مقدار پیکسل ها و همبستگی به دست آمده (پایینی) از تصویر مرد عکاس، مربوط به ردیف شماره ۱۶۴ را نشان می دهد. برنامه متلب جهت تولید شکل ۱-۴ در ذیل آمده است. مشاهده می گردد که پیکسل ها در محدوده وسیعی دارای مقادیر تقریباً یکسانی بوده و لذا همبستگی بین آنها وجود دارد. به طور مشابه، پیکسل های واقع در یک ستون نیز دارای همبستگی اند.



شکل ۱-۴ برشی از تصویر مورد سنجش مربوط به ردیف ۱۶۴. شکل بالایی مقدار پیکسل‌ها و شکل پایینی همبستگی برای هر اندازه دست آمده را برای ۱۲۸ مکان پیکسل نشان می‌دهد.

Figure1.4.m

```
% Plots the image intensity profile and pixel correlation
% along a specified row.

clear
close all
I = imread('camera.tif');
figure,imshow(I),title('Input image')
%
Row = 164; % row number of image profile
x = double(I(Row,:));
Col = size(I,2);
%
MaxN = 128; % number of correlation points to calculate
Cor = zeros(1,MaxN); % array to store correlation values
for k = 1:MaxN
    l = length(k:Col);
    Cor(k) = sum(x(k:Col) .* x(1:Col-k+1))/l;
end
MaxCor = max(Cor);
Cor = Cor/MaxCor;
figure,subplot(2,1,1),plot(1:Col,x,'k','LineWidth',2)
xlabel('Pixel number'), ylabel('Amplitude')
legend(['Row' ' ' num2str(Row)],0)
subplot(2,1,2),plot(0:MaxN-1,Cor,'k','LineWidth',2)
xlabel('Pixel displacement'), ylabel('Normalized corr.')
```

بنابراین، اطلاعات اضافی پیکسل‌ها در قالب همبستگی بین آنها قابل مشاهده است. ایده اصلی در فشرده‌سازی داده‌ها، ناهمبسته کردن پیکسل‌ها و رمزگذاری تصویر ناهمبسته برای انتقال و یا ذخیره‌سازی است. بازدهی فشرده‌سازی بستگی به روشی دارد که توسط آن همبستگی بین پیکسل‌ها حذف می‌شود. یکی از ابتدایی‌ترین روش‌های فشرده‌سازی تصویر مدولاسیون کد پالس تفاضلی<sup>۱</sup>، DPCM، است. اگر همبستگی بین پیکسل‌ها در یک بُعد (سطر یا ستون) حذف شود، در این صورت به آن DPCM یک‌بُعدی و یا DPCM ردیف‌به‌ردیف گفته می‌شود و اگر همبستگی‌ها در دو بُعد حذف گردد به آن DPCM دو بُعدی اطلاق می‌شود. DPCM همبستگی پیکسل‌ها را حذف کرده و مقدار پیکسل‌های باقیمانده را برای ذخیره‌سازی و یا ارسال دوباره کوانتیزه می‌کند. مقادیر پیکسل‌های تصویر باقیمانده نسبت به تصویر اصلی دارای واریانس خیلی کمتری است. به علاوه، تصویر باقیمانده دارای تابع توزیع احتمالی است که به صورت نمایی در هر دو طرف می‌باشد. این عوامل باعث ایجاد انگیزه جهت فشرده‌سازی می‌شوند.

کوانتیزه کننده مسطح از آنکه پیکسل‌ها به چه نحوی از هم ناهمبسته شوند، استفاده می‌گردد. کوانتیزه کننده‌ها باید به گونه‌ای عمل کنند که با تغییر خصوصیات آماری ورودی، خود را تطبیق دهند. این حالت اصطلاحاً DPCM رسی (طنینی) نامیده می‌شود. پیاده‌سازی DPCM بسیار ساده است لکن نسبت فشرده‌سازی ۴:۱ می‌باشد. به علت تعداد بیت محدود جهت کوانتیزه کردن تصویر باقیمانده، اطلاعات مربوط به لبه‌ها به خوبی حفظ نمی‌شوند. هنگامی که در کانال خطا اتفاق می‌افتد باعث بروز خطوطی در تصویر بازسازی شده می‌گردد. DPCM با جزئیات بیشتر در فصل بعد بحث خواهد شد.

فشرده‌سازی مؤثرتر و عمومی‌تر دیگری به نام کدینگ تبدیل<sup>۲</sup> نیز معرفی شده است. به یاد داشته باشید که ایده انجام فشرده‌سازی، حذف و یا کاهش همبستگی بین پیکسل‌هاست. در کدینگ تبدیل، بلوکی از پیکسل‌های تصویر به بلوک دیگر با همان اندازه شامل ضرایب تبدیل می‌شود به نحوی که تعداد کمتری از ضرایب تبدیل قابل ملاحظه‌اند و سایر ضرایب قابل صرف نظر کردن می‌باشند. این امر باعث می‌شود در فضای ذخیره‌سازی صرفاً ضرایب تبدیل با ارزش، که کسری از کل ضرایب است، ذخیره شوند و بدین ترتیب فشرده‌سازی قابل تحقق است. تصویر اصلی با اجرای تبدیل معکوس بر روی آنی که شامل ضرایب کاهش یافته است، بازیابی می‌شود. لازم به ذکر است که برای بازسازی یکتا باید به نحوس تبدیل وجود داشته باشد. تعدادی از این گونه تبدیل‌ها در زمینه فشرده‌سازی تصویر وجود دارند که هر یک دارای نقاط قوت و ضعفی می‌باشند. مؤثرترین تبدیل، تبدیلی است که به ازای اعوجاج معین، از حداقل تعداد ضرایب تبدیل برای بازسازی تصویر استفاده کند. چنین تبدیل خطی، تبدیل بهینه است که میانگین مربع خطای بین تصویر اصلی و بازسازی شده را مینیمم می‌کند. این تبدیل بهینه تصویر با عنوان KLT<sup>۳</sup> یا تبدیل هاتلینگ<sup>۴</sup> شناخته می‌شود. اشکال KLT آن است که هسته آن وابسته به تصویر است که این امر نسبت به تبدیل ثابت،

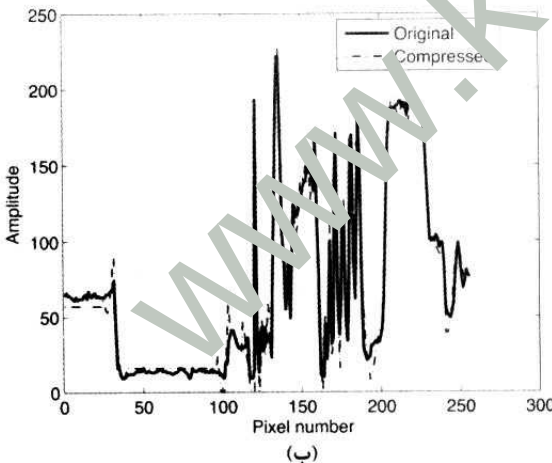
1. Differential Pulse Code Modulation, DPCM

2. Transform Coding

3. Karhunen-Loeve Transform

4. Hotelling Transform

نیاز به اطلاعات جانبی زیادی در گیرنده برای بازسازی تصویر دارد. تبدیل ثابتی که عموماً مورد استفاده قرار می‌گیرد، تبدیل کسینوسی گسسته<sup>۱</sup> (DCT)، است. بازدهی این تبدیل بسیار نزدیک به KLT است با این نکته مثبت که هسته آن ثابت بوده و لذا گیرنده جهت بازسازی نیاز به اطلاعات اضافی ندارد. تبدیل کسینوسی گسسته در استانداردهای فشرده‌سازی ویدئو شامل JPEG و MPEG استفاده می‌شود. اندازه بلوک در تبدیل کسینوسی گسسته  $16 \times 16$  یا  $8 \times 8$  است. یکی از ایرادهای فشرده‌سازی تصویر با استفاده از تبدیل کسینوسی گسسته، به وجود آمدن بلوک‌بندی مصنوعی<sup>۲</sup> در تصویر بازسازی‌شده است. از آنجا که اندازه بلوک در مقایسه با اندازه تصویر کوچک است و با توجه به تفاوت بودن مقدار متوسط هر بلوک، هنگامی که ضرایب DC کوانتیزه می‌شوند، اثر بلوک‌بندی مصنوعی ظاهر می‌شود. این اثر در فشرده‌سازی با نسبت کم قابل ملاحظه نیست. در شکل ۱-۵ الف، اثر بلوک‌بندی مصنوعی ناشی از به کارگیری بلوک با اندازه  $8 \times 8$ ، با استفاده از تبدیل کسینوسی گسسته مشاهده می‌شود. اثر بلوک‌بندی مصنوعی در نواحی هموار عمده‌تر است. با شدت نور کم یا زیاد به وضوح دیده می‌شود (شکل ۱-۵ ب). کد متلب مربوط به شکل‌های ۱-۵ الف و ب، در ذیل آورده شده است.



(الف)

شکل ۱-۵ الف) تصویر مرد عکاس که نشان‌دهنده اثر بلوک‌بندی مصنوعی ناشی از کوانتیزه کردن ضرایب DCT است. اندازه بلوک  $8 \times 8$  است. (ب) مقادیر شدت روشنایی سطر ۱۶۴ تصویر (الف).