فشرده‌سازی اطلاعات تصویری

مهندس سیاوش خرسندی

فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی امیرکبیر

دکتر کریم فائز

استادیار دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده

استفاده از سیستمهای تصویری هر روز ابعاد گسترده‌تری می‌یابد و به‌همان نسبت نیاز به‌پردازش تصویر بیشتر می‌شود. بعلت حجم بالای اطلاعات تصویری، فشرده‌سازی آن در بسیاری کاربردها بطور جدی موردنیاز است. در این مقاله بعد از آشنائی با مفهوم فشرده‌سازی اطلاعات، روشهای مختلف فشرده‌سازی را در سه گروه روشهای کد کردن گروهی، کد کردن با حذف همانندی نمونه‌ها و روشهای تغییر شکل سیگنال مورد مطالعه قرار می‌دهیم و نتایج پیاده‌سازی چندین روش را نشان خواهیم داد. در انتها نحوه انتخاب روش مناسب در کاربردهای مختلف مطرح کرده و مقایسه‌ای بین انواع روشها انجام می‌دهیم.

Image Data Compression

S. Khorsandi, M. SC.— K. Faez, Ph. D.

Elect. Eng. Dept. Amirkabir Univ. of Tech.

ABSTRACT

The use of imaging and Image Processing systems increases every day. Because of high amount of image data, the data Comperession is a serious need. In this article, different methods are introduced in three classes: Group coding, correlation Elimination, and Signal Reshaping methods.

The Results of four compression procedures called Contour coding, predictive coding, Transform coding and Block Truncation, are shown and discussed. Finally we compare various methods and introduce the criteria for choosing a suitable method for any application.

تاریخچه

در سال ۱۹۴۸ بوسیله شانون[1] مقاله‌ای منتشر گردید که در آن مفهوم "اطلاعات" بطور ریاضی بررسی شده بود [۱]. بدین ترتیب شالوده تئوری اطلاعات[2] پی‌ریزی شد. در سال ۱۹۵۲ میلادی هافمن[3] با انتشار مقاله‌ای الگوریتم ساخت کدهای اپیتم را مطرح ساخت [۲]. از آن به‌بعد بحث فشرده‌سازی اطلاعات به‌عنوان زیرمجموعه‌ای از مبحث تئوری اطلاعات مورد توجه قرار گرفت. در این میان فشرده‌سازی اطلاعات تصویری به‌علت حجم بالای آن و استفاده وسیع و روزافزون از اهمیت خاصی برخوردار است که در این مقاله مورد توجه ما خواهد بود. کار در این زمینه به‌طور وسیع از اوایل دهه هفتاد آغاز گردید و بعد از آن نیز به‌طور پیوسته ادامه یافته است.

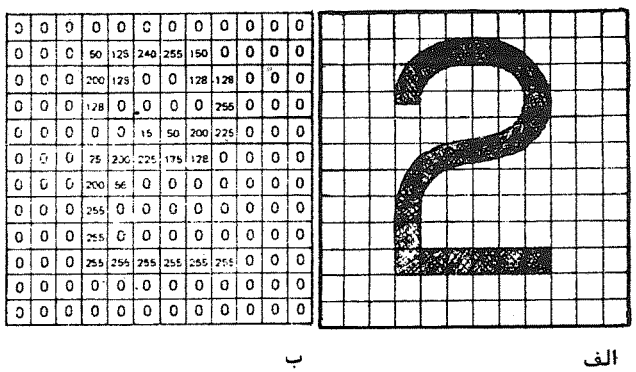
۲ـ کلیات

در زندگی روزمره معمولیترین اطلاعات، اطلاعات صوتی و تصویری است. این سیگنالها در اصل پیوسته هستند. ولی به‌علت مزایای نمایش دیجیتال علاقمند به‌استفاده از سیگنالهای دیجیتال هستیم. نمایش دیجیتال توانائی زیادی برای پردازش سیگنال مانند مخلوط کردن، مالتی‌پلکس کردن و فرمت‌بندی، رمز کردن و حفاظت خطا،

ایجاد می‌کند. [۳]. یکی دیگر از مزایای نمایش دیجیتال این است که در فرآیند ذخیره‌سازی کیفیت‌آن از بین نمی‌رود.

برای تولید سیگنال دیجیتال ابتدا از سیگنال پیوسته نمونه‌برداری شده و سپس دامنه هر نمونه با سطوح گسسته محدودی بیان می‌شود [۴ و ۵] به‌عنوان‌مثال یک تصویر به‌ماتریسی از اعداد صحیح تبدیل می‌گردد. یک تصویر نمونه در شکل ۱ نشان داده شده است.

دیجیتال کردن بخشی از بحث کد کردن[۴]است [۶]. کد کردن سیگنال برای چندین هدف انجام می‌گیرد که در نمودار ۲ به‌آنها اشاره شده است. از مهمترین زمینه‌های کد کردن سیگنال، فشرده‌سازی آن است. فشرده‌سازی سیگنال برای کاهش حجم حافظه موردنیاز در ذخیره‌سازی و کاهش زمان یا پهنای باند لازم و نیز هزینه و انرژی مصرفی در انتقال سیگنال انجام می‌گیرد. به‌علت حجم بالای اطلاعات تصویر و گسترش استفاده از سیستمهای تصویری، فشرده‌سازی تصویر اهمیت فراوانی پیدا نموده است. به‌عنوان مثال انتقال سند یا تصویر را از طریق خط تلفن در نظر می‌گیریم. یک صفحه A4 بارز لوشن ۱۱۸۸ × ۱۷۲۸ نقطه نمونه‌برداری می‌شود و هر نمونه با ۴ بیت کد می‌شود. مقدار کل اطلاعات ۸۲۱۱۴۵۶ بیت خواهد شد. با استفاده از یک مودم[۵] ۲۴۰۰ bps، ارسال این حجم اطلاعات، ۵۷ دقیقه طول می‌کشد که در عمل استفاده از آن ممکن نخواهد شد ولی با فشرده‌سازی، انتقال یک سند در کمتر از ۱ دقیقه ممکن شده است.

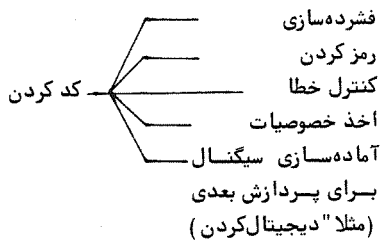


الف ب

شکل ۱ــ الف ــ یک تصویر، ب ــ نمایش دیجیتال تصویر الف با نمونه‌برداری ۱۲×۱۲

۳ــ آشنائی با مفهوم فشرده‌سازی

برای آشنائی با مفهوم فشرده‌سازی اطلاعات، لازم است تعریف دقیق‌تری از "اطلاعات" به‌عمل آوریم. مفهوم اطلاعات با آنچه در زندگی روزمره به‌کار برده می‌شود، تاحدی متفاوت است. در شکل ۳ نمونه‌های مربوط به‌یک موج سینوسی نشان داده شده است. هر نمونه، دامنه موج در آن لحظه را نشان می‌دهد ولی هیچکدام اطلاعات مستقلی را دربر ندارد. در واقع با دانستن دامنه و فاز موج، تمام این نمونه‌ها معلوم خواهد شد. اطلاعات موجود در یک پیام متناسب با میزان تردید[۶]در آن است [۷]. اگر محتوی یک پیام را به‌طور حتم بدانیم، دریافت آن اطلاعات جدیدی را دربر نخواهد داشت. اگر احتمال وقوع یک پیام P_x باشد، میزان تردید متناسب با $1/P_x$ و اطلاعات موجود در آن $I_x = -\log P_x$ است. در شکل ۴ یک تصویر را

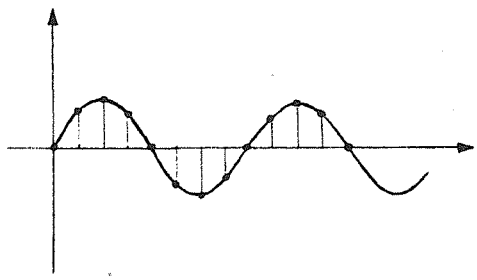


شکل ۲ــ اهداف مختلف کد کردن سیگنال

مشاهده می‌کنیم که در این مقاله نتایج پردازشها را درمورد آن نشان خواهیم داد. ابعاد این تصویر ۲۵۶×۲۵۶ بوده و به‌ازای هر نمونه تصویر، یک ماتریس ۴×۴ تعریف و چاپ کرده‌ایم. در شکل ۵ سیگنال یک سطر از تصویر ۴ دیده می‌شود. غالبا" تغییرات روشنائی از یک نمونه به‌نمونهٔ دیگر به‌کندی صورت می‌گیرد. به‌عبارت دیگر نمونه‌ها "همانندی"[۷]زیادی با هم دارند. با دریافت یک نمونه انتظار داریم نمونهٔ بعدی دارای سطح روشنائی نزدیک به‌آن باشد. یعنی تردید درمورد نمونهٔ بعدی کاهش می‌یابد. بنابراین اطلاعات یک نمونه مستقل از نمونه‌های دیگر نیست و می‌توان اطلاعات موجود در سیگنال را استخراج کرده و با حجم داده بسیار کمتری بیان نمود.

به‌طور ریاضی همانندی نمونه‌ها از رابطه ۱ محاسبه می‌گردد.

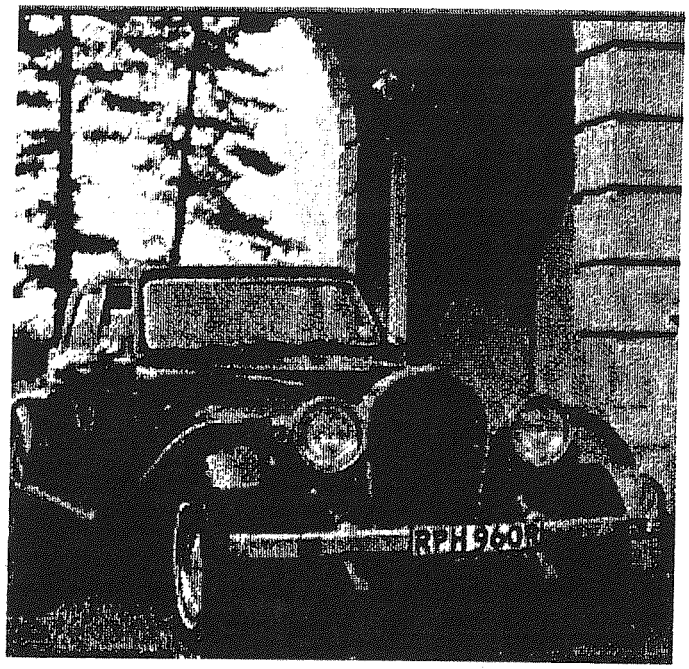
$$R(m, n) = E[x(m).x(n)] / E[x^2(n)] \qquad (1)$$



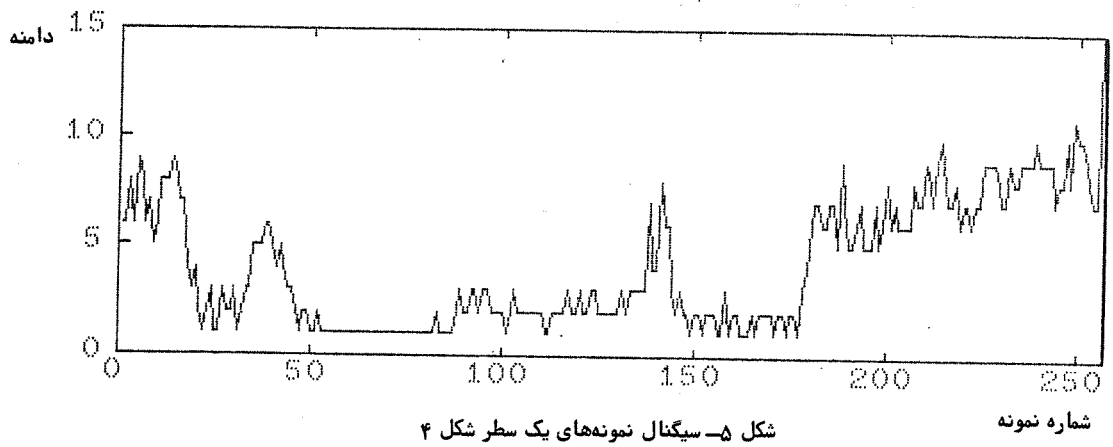
شکل ۳ــ نمونه‌های یک موج سینوسی ــ نمونه‌ها دارای اطلاعات مستقل از هم نیستند.

میزان همانندی نمونه‌های سطری تصویر ۴ با فرض میانگین صفر محاسبه و در شکل ۶ ترسیم شده‌است. هر نمونه با چندین نمونه مجاور خود همانندی بالائی دارد.

برای فشرده‌سازی اطلاعات روشهای متنوعی وجود دارد که می‌توان آنها را به ۳ گروه عمده تقسیم کرد که در ادامه به‌توضیح آنها خواهیم پرداخت. از آنجا که منظوراز این کار فشرده‌سازی تصاویر معمولی با سطوح روشنائی متعدد بوده است، روشهای مناسب برای این نوع تصاویر پیاده شده‌اند که در هر گروه روشهای پیاده شده را توضیح داده و بعضی نتایج بدست آمده را می‌آوریم. در انتهای بحث پارامترهائی را که در انتخاب یک روش کد کردن باید مورد نظر قرار گیرد، توضیح داده و روشهای مختلف را مقایسه خواهیم نمود.



شکل ۴ــ یک نمونه تصویر با ابعاد ۲۵۶×۲۵۶



شکل ۵ــ سیگنال نمونه‌های یک سطر شکل ۴

۴ــ کد کردن گروهی

اولین راه‌حلی که برای فشرده‌سازی یک سیگنال به‌نظر می‌رسد کد کردن جمعی از نمونه‌ها به‌صورت گروهی است. از آنجا که اطلاعات نمونه‌ها وابسته به‌هم است، مجموع آنها را با حجم داده کمتری می‌توان کد کرد. کد کردن طول رشته‌ها (RLC)[۸]، کانتور و بلوکی بر این اساس عمل می‌کنند و بیشتر درمورد تصاویر باینری به‌کار می‌روند [۴ و ۸] روشهای کونتایز کـردن برداری، تطبیقی و تاخیری براساس مشخصات ناحیه‌ای تصویر عمل می‌کنند که در واقع استفاده از همانندی المانهای مجاور است. این روشها درمورد نمونه‌های تصاویر با سطوح روشنائی پیوسته به‌کار می‌روند. کد کردن کانتور یک نمونه جالب از کد کردن گروهی است که با توضیح آن موضوع روشنتر می‌گردد.

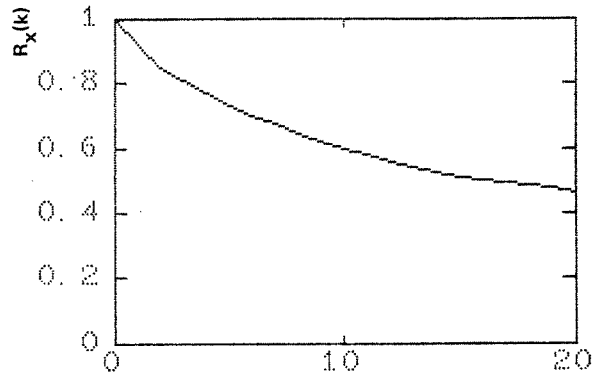
۴ــ۱ــ کد کردن کانتور[۹]

کانتورهای روشنائی یک تصویر نشاندهنده[۶] مرز نواحی است که از المانهای با سطح روشنائی یکسان احاطه شـده است. اطلاع از مرز نواحی و سطح روشنائی هر کدام معادل اطلاع از کل تصویر است. در شکل ۷ قسمتی از کانتورهای روشنائی تصویر یک انسان ترسیم شده است. هر کانتور با ۳ مشخصه بیان می‌گردد:

الف ــ سطح روشنائی آن

ب ــ مکان یکی از المانهای مرزی که کانتور از آن عبور می‌کند و نقطه اولیه خوانده می‌شود.

ج ــ یک رشته از کدهائی‌که جهت حرکت برای پیمودن کانتور را تعیین می‌کند.



شکل ۶ــ میزان همانندی نمونه‌های سطری شکل ۴

حرکت کانتور می‌تواند ۴ یا ۸ حالت داشته باشد که در شکل ۸ نشان داده شده‌اند. در حالت ۴ جهته حرکت بر روی یک سطر یا یک ستون انجام می‌شود. در حالت ۸ جهته حرکت به‌صورت مورب نیز ممکن است. از آنجا که در حالت ۴ جهته برای کد کردن جهت، ۲ بیت و در حالت ۸ جهته، ۳ بیت موردنیاز است، از نظر فشرده‌سازی اطلاعات، کانتور ۴ جهته مناسبتر است و در این پروژه نیز از کانتور چهارجهته استفاده کردیم. درصورتی که در یک تصویر نواحی با سطوح روشنائی یکسان به‌اندازه کافی بزرگ باشند، تعداد کانتورها کم بوده و کد کردن آنها به‌کاهش حجم اطلاعات می‌انجامد. درمورد تصویر شکل ۷ کد کردن کانتور حجم اطلاعات را به‌حدود نصف تقلیل می‌دهد. درمورد تصاویر با تغییرات روشنائی زیاد مانند تصویر ۴، این روش برای فشرده‌سازی مناسب نیست. از این روش بیشتر درمورد تصاویر دوسطحی (باینری) استفاده می‌شود.

۵ــ حذف همانندی نمونه‌ها قبل از کد کردن

اگر نمونه‌های یک سیگنال دارای "همانندی" باشند، می‌توان آنها را به‌فضای تعریف شده دیگری نگاشت به‌طوری که مؤلفه‌های به‌دست آمده غیرهمانند باشند. در این فضا بعضی از مؤلفه‌ها اطلاعات زیادی دربر دارند و تعداد زیادی از آنها دارای اطلاعات کمی هستند و هرچه همانندی نمونه‌ها در فضای اصلی بیشتر باشد تعداد مؤلفه‌های با اطلاعات (دامنه) قابل صرفنظر، زیادتر خواهد بود. بنابراین مؤلفه‌های به‌دست آمده با حجم اطلاعات کمتری نسبت به‌فضای اصلی قابل کد کردن است. دو روش عمده برای حذف همانندی، روش پیشگوئی و روش تبدیل خطی است.

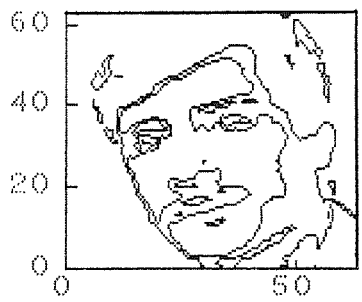
۵ــ۱ــ کد کردن بر اساس پیشگوئی (DPCM) ۵ و ۶ و ۹

در این روش برای کد کردن یک رشته تصادفی $\{x(n)\}$ مقدار هر نمونه $x(n)$ براساس اطلاعات قبلی تخمین زده می‌شود:

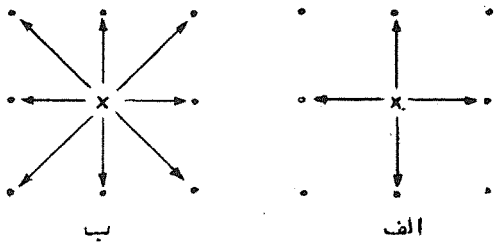
$$\hat{x}(n) = E[x(n)]/x(m) \quad , m < n \qquad (۲)$$

اختلاف مقدار واقعی و مقدار تخمینی به‌نام خطای پیشگوئی خوانده می‌شود:

$$d(n) = x(n) - \hat{x}(n) \qquad (۳)$$



شکل ۷ــ قسمتی از کانتورهای روشنائی یک تصویر صورت



شکل ۸ــ جهت‌های مجاز حرکت الف ــ در کانتور ۴ جهته ب ــ در کانتور ۸ جهته.

اگر تخمین به‌خوبی انجام گیرد، دامنه $d(n)$ کوچک خواهد بود و نمونه‌های $d(n)$ با حجم اطلاعات کمتری نسبت به‌نمونه‌های اصلی قابل کد کردن است. میزان کاهش حجم اطلاعات متناسب با نسبت واریانس نمونه‌های اولیه (تصویر) به‌واریانس سیگنال خطا است که گین کدینگ نامیده می‌شود.

$$G_{DPCM} = \sigma x^2/\sigma_d{}^2 \qquad (۴)$$

در حالت کلی بهترین تخمین $\hat{x}(n)$ می‌تواند یک رابطه غیرخطی با المانهای پیشین داشته باشد که برای مثال با استفاده از روشهای برون‌یابی[10] یا دنبال کردن کانتورهای روشنائی در تصویر می‌توانند به‌دست آید. [۱۰]. به‌منظور کاهش پیچیدگی، افزایش سرعت و کاهش اطلاعات افزوده[11] لازم برای دکد کردن اطلاعات، غالبا" از پیشگوئی خطی استفاده می‌شود:

$$\hat{x}(n) = \sum_{j=1}^{n} h_j \cdot x(n-j) \qquad (۵)$$

ضرائب h_j بنحوی تعیین می‌گردد که واریانس خطای تخمین $\sigma_d^2 = E[d^2(n)]$ حداقل گردد. با قدری عملیات ریاضی این امر به‌حل دستگاه معادلات (۶) می‌انجامد.

$$R_x(0,k) = \sum_{j=1}^{m} h_{j,opt} \cdot R_x(k,j) \quad , K = 1, 2, \ldots, m$$

$$, R_x(k,j) = E[x(k).x(j)] \qquad (۶)$$

برای حل این معادلات نیاز به‌مقادیر $R_x(k,j)$ است که در عمل از متوسط گیری در کل فضای تصادفی به‌دست می‌آید. درمورد یک فضای تصادفی دوبعدی مانند تصویر، نیاز به‌مدلی برای "همانندی" دوبعدی

است. استفاده از مدل قابل جداسازی حجم محاسبات لازم برای $R_x(i,j)$ را کاهش می‌دهد و می‌توان از رابطه (۷) استفاده کرد:

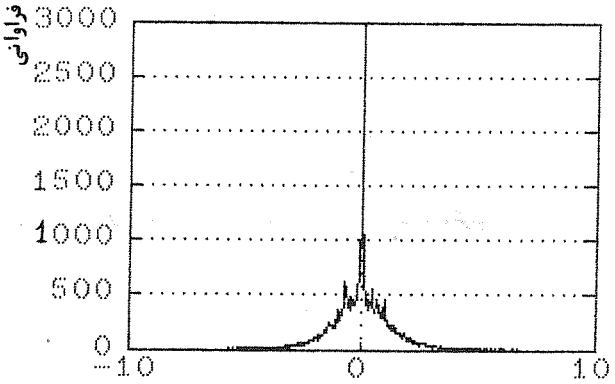
$$R_x(k, j) = R_x(0, j) \times R_x(k, 0) \qquad (۷)$$

در این پروژه نیز از مدل قابل جداسازی استفاده گردید. در عمل مشاهده شد با پردازش اضافی ضرائب h_j بدست آمده از رابطه (۴) می‌توان واریانس خطای تخمین را بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش داد. این امر به‌دلیل تفاوت مشخصات هر ناحیه بخصوص سیگنال با مقادیر متوسط $R_x(k, j)$ و نیز تفاوت مدل همانندی دوبعدی واقعی با مدل مفروض قابل جداسازی است.

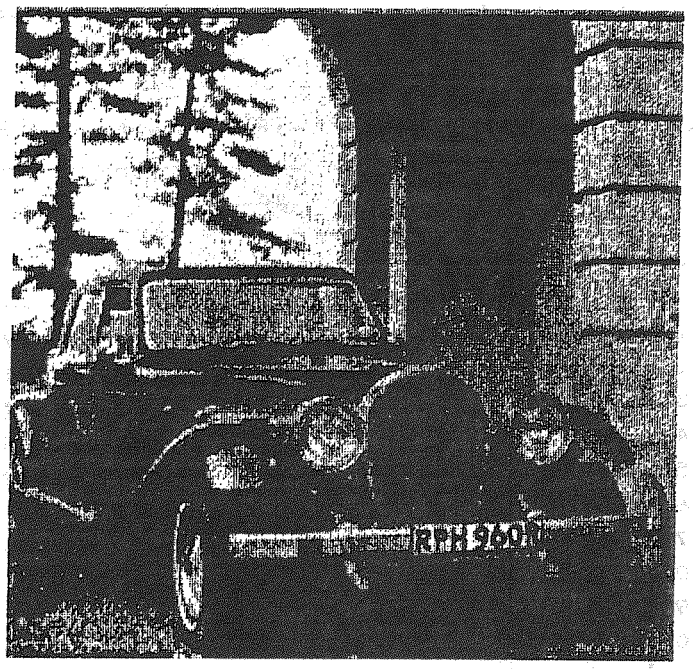
در شکل ۹ تعدادی از المانهای قبلی که در پیشگوئی هر اا‌لمان x_0 در یک تصویر مورد استفاده قرار می‌گیرد، نشان داده شده است. مقادیر $R_x(0, k)$ و $h_{j,opt}$ به‌ازای چند مقدار m برای تصویر ۴ محاسبه ودرجدول (۱) نوشته شده است. تعداد نمونه‌های قبلی که برای پیشگوئی هر المان بکار می‌رود (m)، مرتبه پیشگوئی را تعیین می‌کند. اغلب با افزایش مرتبه پیشگوئی، واریانس خطا کاهش می‌یابد. هیستوگرام خطای پیشگوئی برای تصویر ۴ با مرتبه پیشگوئی $m = ۱۹$ در شکل ۱۰ رسم شده است. گین کدینگ برابر $G_{DPCM} = ۸/۸۶$ است. اکنون باید سیگنال خطای $d(n)$ کد گردد. برای این منظور از کوانتاریزر آنتروپی یکنواخت [۶] استفاده کرده و در خروجی آن کدینگ آنتروپی انجام داده‌ایم. بدین‌ترتیب تصویر (۴) با نرخ بیت متوسط یک بیت برپیکسل (BPD) کد شده و تصویر بازسازی شده را در شکل ۱۱ مشابه شکل ۴ چاپ کرده‌ایم. شمای کلی سیستم کدینگ براساس پیشگوئی در شکل ۱۲ رسم شده است.

```
+ s19   + s18   + s16   + s12   + s20
+ s17   + s6    + s9    + s5    + s10   + s14
+ s15   + s8    + s3    + s2    + s7    + s13
+ s11   + s4    + s1    + s0
```

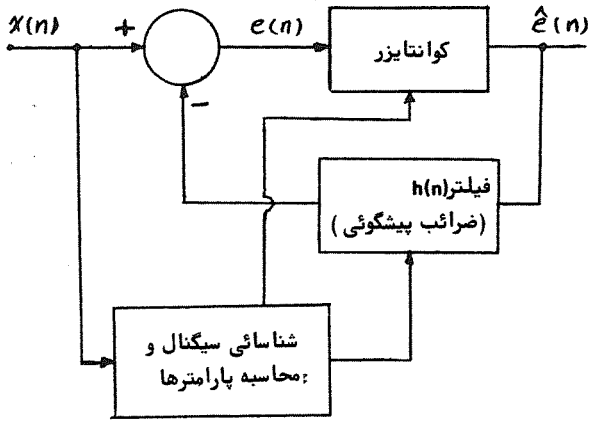
شکل ۹ــ ناحیه و شماره المانهای پیشین برای هر المان x_0 که برای پیشگوئی دامنهٔ آن مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۱۰ــ هیستوگرام خطای پیشگوئی در کد کردن DPCM تصویر (۴)



شکل ۱۱ــ تصویر بازسازی شده شکل (۴)، کد کردن به‌روش پیشگوئی با نرخ بیت 1BPP



شکل ۱۲ــ شمای سیستم کدینگ براساس پیشگوئی

۵ــ۲ــ کد کردن براساس تبدیل خطی ۱۱

یک تبدیل خطی با رابطه (۸) تعریف می‌شود.

$$y_k = \sum_{j=1}^{N} x_i . A_{ik} \qquad (۸)$$

x_i نمونه‌های اصلی و y_k مؤلفه‌های تبدیل می‌باشند. A_{ik} را کرنل تبدیل مستقیم گویند و آن را به‌گونه‌ای تعریف می‌کنند که نمونه‌های اصلی از مؤلفه‌های تبدیل قابل بازیابی باشند. بنابراین می‌توان بجای کد کردن نمونه‌های اصلی، مؤلفه‌های تبدیل را کد کرد.

مساله اصلی تعریف کرنل تبدیل بنحوی است که مؤلفه‌های تبدیل "غیرهمانند" تولید گردد. تبدیل اپتیمم برای این منظور، تبدیل KL[12] است که کرنل آن وابسته به‌مشخصات سیگنال است و از رابطه (۹) به‌دست می‌آید.

$$\sum_{i=0}^{N-1} R(i, m) . A_{ik} = x_k . A_{mk} \quad , m = 0 , 1, \dots , N-1$$

$$R(i, m) = E[x(i) . x(m)] \qquad (۹)$$

به‌علت مشکلاتی که در به‌دست آوردن کرنل تبدیل KL وجود دارد و عدم وجود روش‌سریع برای محاسبه آن، از تبدیلهای دیگری که نزدیک به‌تبدیل KL هستند، استفاده می‌شود که در این میان دو تبدیل کسینوس و هادامارد مورد توجه هستند.

از نظر فشرده‌سازی اطلاعات، تبدیلهای مختلف با دو معیار میزان حذف همانندی مؤلفه‌ها و سرعت اجرا، با هم مقایسه می‌گردند. برخلاف تبدیل KL، برای تبدیلهای دیگر به‌علت تقارن کرنل آنها می‌توان الگوریتمهای محاسباتی سریع پیدا گردد. الگوریتم سریع تبدیل هادامارد با استنتاج از روش FFT[13] به‌دست آمد. برای تبدیل کسینوس روشهای محاسبه متنوعی ارائه شده است[12] ولی در این پروژه از یک روش ابتکاری براساس نصف کردن پیاپی استفاده گردید که از نظر پیاده‌سازی نرم افزاری مناسبتر از روشهای دیگر است و از نظر تعداد ضرب و جمع مورد نیاز برابر با آنهاست ولی در هر مرحله مقداری خطای گرد کردن ایجاد می‌شود که در این پروژه قابل صرفنظر بود.

برای کد کردن یک تصویر $N \times N$ آن را به بلوکهای $n \times n$ $(n \ll N)$ تجزیه می‌کنیم و تبدیل دو بعدی هر بلوک به‌طور مستقل محاسبه می‌شود. با استفاده از الگوریتمهای محاسباتی سریع، در جدول ۲ سرعت اجرائی تبدیلهای مختلف به‌ازای اندازه‌های مختلف بلوک برای یک تصویر ۲۵۶×۲۵۶ مقایسه شده‌اند. سرعت تبدیل هادامارد بیش از تبدیلهای دیگر است و سرعت تبدیل کسینوس بیش از KL است. اختلاف زمان محاسباتی تبدیلهای مختلف با افزایش

جدول ۱ــ مقادیر همانندی $R_x(0, K)$ و ضرائب پیشگوئی $h_{j,opt}$ به‌ازای چندین مرتبه پیشگوئی

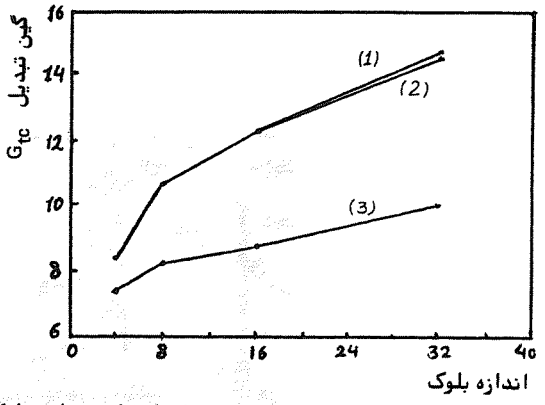
		مرتبه پیشگوئی				
K	$R_x(0,k)$	1	2	3	6	12
1	.9187	.969	.600	.700	.700	.679
2	.8977		.400	.689	.694	.724
3	.8247			−.391	−.383	−.507
4	.8514				−.039	−.055
5	.8186				−.042	−.092
6	.6970				.068	−.013
7	.8247					.000
8	.7643					.101
9	.7521					.159
10	.7521					.000
11	.8121					.001
12	.7672					.001

اندازه بلوک افزایش می‌یابد. برای تعیین میزان حذف همانندی در فضای تبـدیل نسبت به‌فضای اصـلی و در نتیجه میزان کاهش حجم اطلاعات، گین تبدیل پارامتر گویائی است و برابر با نسبت واریانس نمونه‌های اصلی (تصویر) به‌میانگین هندسی واریانس موءلفه‌های تبدیل است.

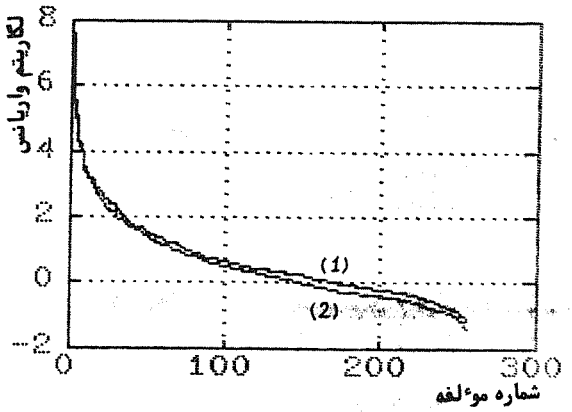
$$G_{TC} = \sigma_x^2 / \left(\prod_{k=1}^{N} \sigma_k^2\right)^{1/N}$$

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N} \sigma_k^2 \quad , \quad \sigma_k^2 = E\left[(\gamma_k - \mu_k)^2\right]$$

μ_k^2 میـانگین موءلفه تبدیل k ام است. واریانس و میـانگین موءلفه‌های تبدیل روی موءلفه‌های متناظر در بلوکهای مختلف محاسبه می‌شود. در شکل (۱۳) گین تبدیلهای مختلف را به‌ازای چند اندازه بلوک نشان داده‌ایم. هرچه گین تبدیل بیشتر باشد، میزان همانندی موءلفه‌های تبدیل کمتر است. در نتیجه تعداد بیشتری از موءلفه‌ها قابل صرفنظر بوده و کدینگ با اطلاعات کمتری می‌تواند انجام گیرد. در شکل (۱۴) نیز لگاریتم واریانس موءلفه‌های تبدیل به‌صورت نزولی ترسیم شده است. هرچه واریانس موءلفه‌های مرتبه بالاتر، کمتر باشد میانگین هندسی موءلفه‌هـا کمتر بوده و کد کـردن با حجم اطلاعـات کمتری امکان‌پذیر اسـت. مشاهده می‌شود کارآئی تبدیل کسینوس کمتر از KL ولی بسیار نزدیک به‌آن است و کارآئی تبدیل هادامارد کمتر از آندو است. در مجموع با در نظرگرفتن دو پارامتر سرعت وحذف همانندی، تبدیل کسینوس مناسبترین تبدیل برای فشرده‌سازی اطلاعات است.



شکل ۱۳ــ گین تبدیلهای مختلف برحسب اندازه‌های مختلف بلوک
(۱) تبدیل KL (۲) تبدیل کسینوس (۳) تبدیل هادامارد



شکل ۱۴ــ لگـاریتم واریانس موءلفه‌هـای تبدیل به‌صورت نزولی به‌ازای اندازه بلوک ۱۶×۱۶
(۱) تبدیل هادامارد (۲) تبدیل کسینوس وKL

برای کد کردن تصویر بسته به‌نرخ بیت متوسط تعیین شده، در هر بلوک تبدیل تعدادی از موءلفه‌های واریانس بالا انتخاب و کد می‌گردد. به‌منظور بهبود کیفیت تصویر بازسازی شده، تخصیص بیت بین بلوکها به‌صورت تطبیقی و براساس میزان انرژی موءلفه‌های تبدیل در هر بلوک انجام می‌گیرد [۱۳]. کد کردن موءلفه‌های تبدیل شامل چهار مرحله است:

الف ــ انتخاب تعدادی از موءلفه‌های با واریانس بالا بسته به‌تعداد بیت تخصیصی در هر بلوک

ب ــ تخصیص بیت بین مولفه‌ها [۱۴]

ج ــ کد کردن موقعیت آنها

د ــ کد کردن دامنه موءلفه‌ها [۱۵]

در این پروژه روشهای مختلفی برای کد کردن بلوکهای تبدیل طرح و پیاده شده و کارآئی آنها با هم مقایسه گردیده است که توضیح آنهاخارج‌ازفرصت‌این‌مقاله‌است [۱۶]. به‌عنوان مثال در یک روش که برای نرخ بیتهای پائین مناسب است، بلوکهای تبدیل براساس انرژی موءلفه‌ها در ۵ کلاس دسته‌بندی می‌گردند. تخصیص بیت موءلفه‌ها به‌صورت گروهی برای هر کلاس صورت می‌گیرد. اینکار براساس یک ترشولد ثابت (D) و با توجه به‌واریانس موءلفه‌ها σ_i^2 در هر کلاس، از

جدول ۲ــ مقایسه سـه تبدیل KL، کسینـوس و هادامارد از نظر سرعت اجرائی به‌ازای چند اندازه بلوک درمورد یک تصویر با ابعاد ۲۵۶×۲۵۶

TIME OF TRANSFORMATION (SEC.)				
BLOCK SIZE	4	8	16	32
K - L	90	100	110	165
COSINE	55	65	74	80
HADAMARD	23	25	25	25

رابطه (۱۱) انجام می‌شود.

$$b_j = 0.5 \log_2 (\sigma_j^2 / D) \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

برای کد کردن دامنه مولفه‌ها از کوانتایزر اپتیمم (براساس تابع چگالی احتمال pdf) [۶] استفاده گردید. برای طراحی کوانتایزر، علاوه بر تعداد بیت، pdf سیگنال نیز باید مشخص باشد. pdf مولفه‌های تبدیل مورد آزمایش قرار گرفت و ملاحظه کردیم مولفه dc از توزیع گوسین و مولفه‌های دیگر از توزیع لاپلاسین پیروی می‌کنند. تصویر (۴) را به این روش و با استفاده از تبدیل کسینوس با نرخ بیت متوسط 1BPP کد کرده‌ایم که تصویر بازسازی شده در شکل (۱۵) مشاهده می‌شود.

۶ــ روشهای تغییر شکل سیگنال

روشهائی که در دو قسمت پیش به‌آنها اشاره شد، سعی در بازسازی اطلاعات به‌شکل اصلی با میزان خطای تعریف شده داشتند. در بعضی کاربردها با توجه به‌مشخصات و حساسیتهای سیستم گیرنده، می‌توان اطلاعات را تغییر شکل داد به‌طوری که حجم اطلاعات کاهش یابد ولی کیفیت موردنیاز حفظ شود. سیستم گیرنده می‌تواند انسان یا یک ماشین باشد و کیفیت موردنیاز ممکن است بازسازی کل تصویر یا اطلاعات خاصی از آن باشد.

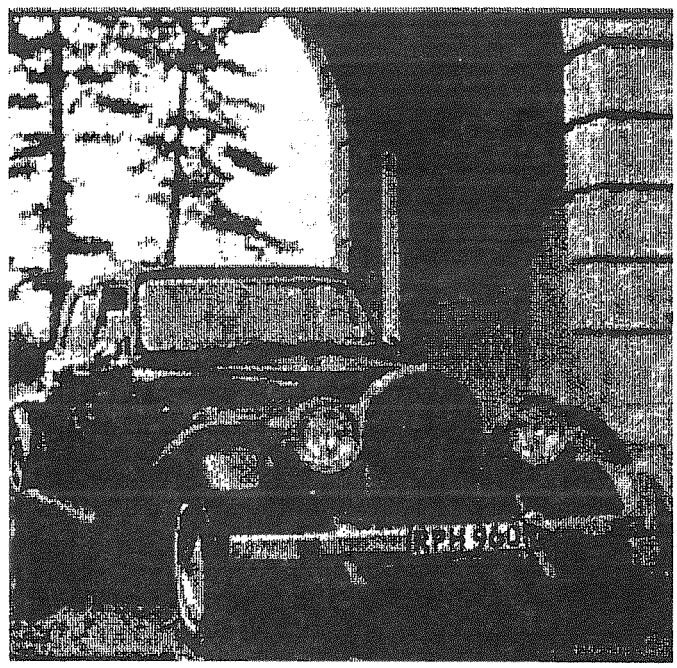
هرگونه کوانتیزه کردن سیگنال موجب کاهش حجم اطلاعات گشته و در این گروه قرار می‌گیرد. با عمل کوانتیزه کردن، دامنه پیوسته سیگنال به‌سطوح گسسته محدودی تقریب زده می‌شود. روشهای قطعه‌بندی[14] و اخذ خصوصیات[15] نیز در این دسته قرار می‌گیرند. در این روشها تنها اطلاعات مشخصی از تصویر که برای تجزیه و تحلیل بعدی موردنیاز است، مثلاً" مرز اشیاء استخراج می‌گردد و به‌بهای حذف سایر اطلاعات کاهش حجم داده انجام می‌گیرد. روشهای دوسطحی (باینری) کردن تصویر نیز بر این اساس عمل می‌نمایند. یک روش جالب باینری کردن محلی تصویر است که به‌توضیح آن می‌پردازیم.

۶ــ۱ ــ باینری کردن محلی تصویر [۵]

در این روش تصویر به‌بلوکهای ریز مثلاً" ۴×۴ شکسته می‌شود. اگر هر نمونه تصویر با ۸ بیت کد شود، می‌تواند مقادیر ۰ تا ۲۵۵ را اختیار نماید. با توجه به‌خاصیت متوسط گیری ناحیه‌ای چشم از تصویر، نمونه‌های هر بلوک براساس یک حد ترشولد[16] به‌دو مقدار A و B "تقریب زده می‌شوند. اگر مقدار نمونه بیش از حد ترشولد باشد به سطح B واگرکمترباشدبه‌سطح A تبدیل می‌شود. ازآنجاکه‌تغیرمقادیر A و B درهربلوک مستقل از بلوکهای دیگراست، درکل‌تصویرسطوح‌روشنائی متعددی قابل نمایش است. بدین ترتیب هر نمونه تنها با ۱ بیت کد می‌شود. با کد کردن بلوک باینری به‌روشهائی که در قسمت ۴ ذکر شد، می‌توان نرخ بیت متوسط را به‌کمتر از 1BPP نیز کاهش داد. به‌علاوه برای هر بلوک مقادیر A و B نیز کد می‌شود. مساله اساسی در این روش تعیین حد ترشولد و مقادیر A و B است. یک راه مناسب برای تعیین آنها، اینست که روشنائی متوسط و انرژی نمونه‌های هر بلوک ثابت باقی بماند. در این پروژه نیز از همین روش استفاده کرده و تصویر (۴) را با اندازه بلوک ۴×۴ کد نموده‌ایم. در جدول (۳) تعدادی از بلوکهای اصلی و باینری شده و تعبیر مقادیر A و B نشان داده شده است و در شکل (۱۶) تصویر بازسازی شده مشاهده می‌شود.

۷ــ نتیجه‌گیری

روشهای مختلف کدینگ در اثر نیازهای متفاوت به‌وجود آمده‌اند.



شکل ۱۵ــ تصویر بازسازی شده شکل (۴) با کد کردن به‌روش تبدیل (کسینوس) ــ نرخ بیت متوسط 1BPP و اندازه بلوک ۱۶×۱۶ اختیار شده است.

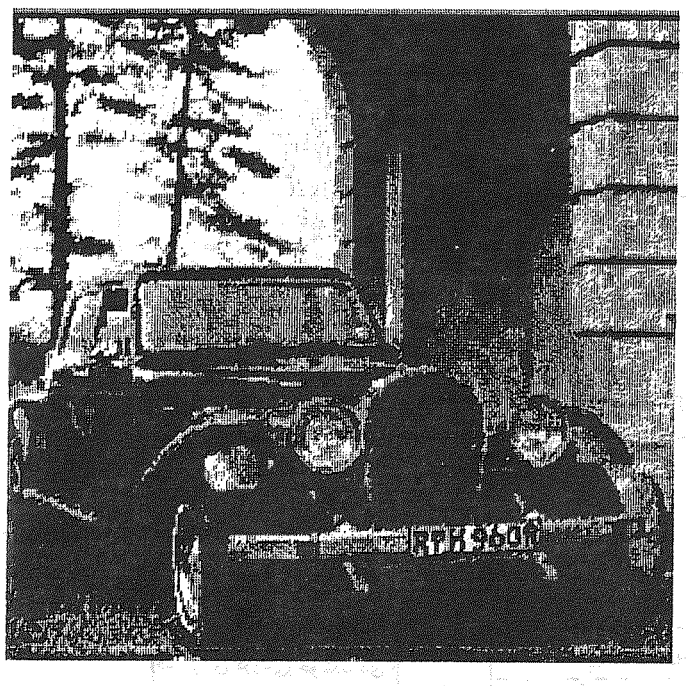
بنابران تعیین بهترین روش بدون توجه به‌کاربرد موردنیاز امکانپذیر نیست. اکنون پارامترهای مختلفی را که در انتخاب یک روش باید در نظر گرفته شود مطرح کرده و روشهای مختلف کدینگ را مقایسه می‌کنیم.

الف- نوع اطلاعات اولیه

ابتدا باید دید آیا اطلاعات تصویری است یا صوتی یا از نوع دیگری است و برای مثال اگر تصویری است آیا پیوسته است یا چندسطحی و یا باینری؟ درمورد هر نوع اطلاعات ممکن است روش

جدول ۳- چند بلوک تصویر و شکل باینری شده و تعبیر سطوح باینری در روش کد کردن به‌روش باینری کردن محل.

بلوکهای اصلی	بلوکهای باینری شده و تعبیر صفر و یک
5 1 2 1 8 2 1 2 12 4 2 1 10 2 2 1	"0"= 1.23 "1"= 8.50 1 0 0 0 1 0 0 0 1 1 0 0 1 0 0 0
1 2 2 2 3 3 2 2 9 7 2 4 4 7 11 8	"0"= 2.31 "1"= 8.72 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 1 1 1
7 8 9 8 9 6 5 4 12 8 3 2 9 10 10 4	"0"= 4.00 "1"= 9.56 0 1 1 1 1 0 0 0 1 1 0 0 1 1 1 0



شکل ۱۶- تصویر بازسازی شده شکل (۴) با کد کردن به‌روش باینری کردن محلی در بلوکهای ۴×۴

خاصی دارای راندمان بالاتری باشد و یا بعضی روشها اساسا" قابل استفاده نباشد. در شکل (۱۷) شمای کلی از روشهای کد کردن تصویر نشان داده شده است. روشهای مختلف بسته به‌نوع سیگنال اولیه مورد استفاده قرار می‌گیرند. درمورد تصاویر باینری معمولا" از روشهای کد کردن گروهی مانند RLC و کانتور استفاده می‌شود. درمورد تصاویر چندسطحی روشهای متنوعی می‌تواند بکار رود ولی روشهای حذف همانندی راندمان بالاتری دارند.

ب ــ میزان فشرده‌سازی موردنیاز

هرچه میزان فشرده‌سازی یک روش بیشتر باشد، معمولا" پیچیدگی آن بیشتر بوده و زمان اجرائی بیشتری خواهد داشت. بنابراین با توجه به‌عوامل دیگر، میزان فشرده‌سازی موردنیاز باید تعیین گردد. از میان روشهائی که بررسی گردید، روش تبدیل خطی بیشترین فشرده‌سازی را ایجاد می‌کند. با این روش تصاویر با نرخ بیت متوسط کمتر از 1BPP و با کیفیت قابل قبول می‌تواند کد شود ولی پیچیدگی و حجم محاسباتی بالائی دارد. روش کدینگ براساس پیشگوئی سرعت بیشتر و پیچیدگی کمتری نسبت به‌روش تبدیل خطی دارد و می‌توان تصاویر را با این روش تا نزدیک به 1 BPP کد نمود. الگوریتم روش باینری کردن محلی ساده‌تر و سرعت اجرائی آن بالاتر است ولی میزان فشرده‌سازی کمتری دارد. با این روش می‌توان تصاویر را با کمتر از 1/5 BPP کد نمود.

ج ــ سرعت کدینگ

در بعضی کاربردها سرعت اهمیت زیادی دارد. سرعت چند روش کدینگ درمورد تصویر ۴، اندازه‌گیری و در جدول (۴) با هم مقایسه شده‌اند. باید توجه کرد با استفاده از سخت‌افزارهای خاص می‌توان سرعت کدینگ را بالاتر برد.

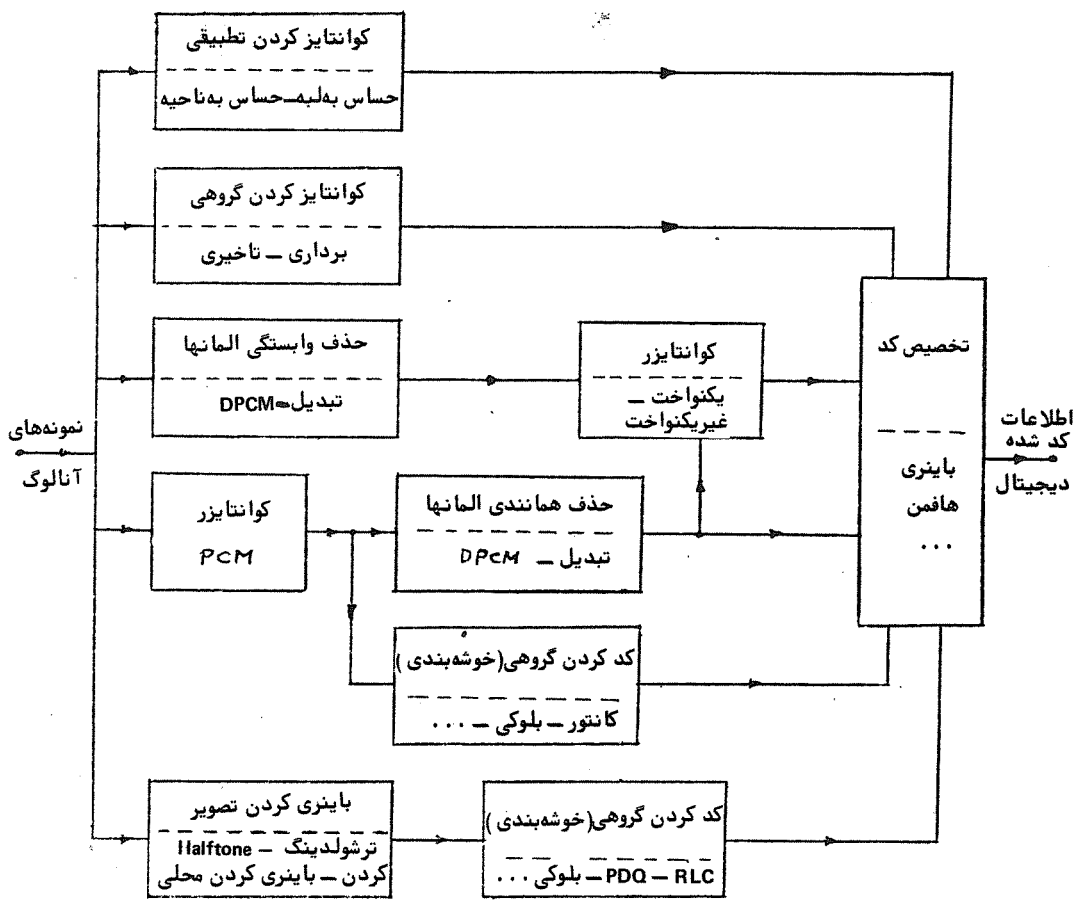
د ــ میزان پیچیدگی

میزان پیچیدگی کدر از یکسو سرعت اجرائی و از سوی دیگر هزینه سیستم را تعیین می‌کند.

هـ ــ عملیات بعدی که روی اطلاعات انجام می‌گیرد

در کد کردن سیگنال باید نیازهای مراحل بعدی در نظر گرفته

شکل ۱۷ــ شمای کلی روشهای کدینگ ــ بالای خط چین وظیفه و عملکرد هر بلوک نوشته شده است و در زیر آن مثالهائی از روشهای موجود برای انجام آن.



شود. اگر لازم است سیگنال از یک کانال نویزی انتقال داده شود، باید میزان حساسیت آنرا به‌نویز در نظر گرفت. مثلا" روش کدینگ براساس پیشگوئی به‌علت انتشار خطا، حساستر از روش تبدیل خطی به‌نویز است. گاهی لازم است علاوه بر این ملاحظات کدینگ دیگری برای کنترل خطا انجام گیرد. دراینصورت برای فشرده‌سازی از روشی استفاده می‌شود که برای کدینگ کنترل خطا مناسبتر باشد. از طرفی ممکن است خروجی کدر برای پردازشهای بعدی مورد استفاده قرار گیرد. دراین‌صورت باید اطلاعات خروجی کدر بهراحتی قابل استفاده باشد و از روشهای پیچیده نمی‌توان استفاده کرد. در این موارد از روشهائی مانند کوانتیزه کردن تطبیقی و یا تاخیری و نیز باینری کردن تصویر استفاده می‌شود.

جدول ۴ــ سرعت اجرای چند روش کد کردن نسبت به‌سرعت کد کردن به‌روش تبدیل (با استفاده از تبدیل کسینوس) سرعت واقعی کد کردن بستگی به‌سیستم مورد استفاده برای اجرای الگوریتم کدینگ دارد.

روشهای کد کردن	روش تبدیل (کسینوس)	روش تبدیل (هادامارد)	روش پیشگوئی	روش باینری کردن محلی
زمان اجرای نرمالیزه	۱	۰/۵۳۷	۰/۳۷۰	۰/۰۹۳

پاورقی:

1— C. E. Shanon
2— Information Theory
3— David Huffman
4— Coding
5— Modem
6— Uncertainity
7— Correlation
8— Run Length Coding
9— Contour
10—Extrapolation
11—Overhead
12—Karhunen — Loeve
13—Fast Fourier Transform
14—Segmentation
15—Feature Extraction
16—Threshold

منابع:

1. C. E. Shannon. "A mathematical theory of communication". The Bell system technical journal, No. 3, July 1984
2. D. A. Huffman, "A method for the construction of minimum — redundancy codes ",Proc. IRE, Vol. 40, No. 9, 1952, PP. 1098—1101
3. A. V. Openheim, Digital signal processing. U. S. A: Addison — Wesely, 1987
5. A. Rosenfeld & A. C. Kak, Digital Picture Processing. U. S. A: Academic press, 1982
6. N. S. Jayant & P. Noll "Digital Coding of Waveforms. U. S. A: Prentice — Hall, 1984
7. R. Ash, Information Theory. New York: Interscience publishers, 1965
8. J. C. Stoffel, Graphical and Binary image processing and applications. Wahington: Artech House. 1981
9. A. Habibi, "Comparison of N th. order DPCM encoder with linear transformation and block quantization techniques", ITC. Vol. COM—19. No. 6, Dec. 1971, pp. 984—956
10. W. Zchunke "DPCM Picture coding with adaptivr prediction", ITC, Vol. COM—25, No. 11, Nov. 1977.
11. P.A. Wintz, "Transform picture coding", Proc. IEEE, Vol. 60 July 1972, pp. 809—820
12. H. S. Hou, "A fast recursive algorithm for computing the DCT" IT—ASSP, Vol. ASSP—35, No. 10, Oct. 1987, pp. 1455—1461
13. A. Habibi, "Survey of adaptive image coding techniques", ITC, Vol. COM—25, No. 11, Nov. 1977, pp. 1275—1284
14. Segall, "Bit allocation & encoding for vector sources", IT—IT 1976, p. 162
15. M. Goldberg & P. R. Bousher & S. Shlien, "Image compression using adaptive vector quantization", ITC, Vol. COM—34, No.2 Feb. 1986, pp. 180—187
16. S. Khorsandi & K. Faez, "The Methods of Block coding for Image Compression By Transform Coding", ICCM'90 proceeding, July 1990, PP. 802-807.