Information Compression

فشرده‌سازی اطلاعات
۴۰-۱۰-۰۰۲-۰۱
بخش چهارم

فشرده‌سازی تصویر در دامنه‌ی مکان

Image Compression(spatial domain)

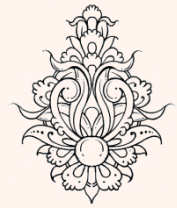
دانشگاه شهید بهشتی
پژوهشکده‌ی فضای مجازی
بهار ۱۴۰۲
احمد محمودی ازناوه

فهرست مطالب

- مقدمه
- فشرده‌سازی بی‌اتلاف
  - فشرده‌سازی بر اساس پیش‌بینی
  - استاندارد قدیمی JPEG
  - فشرده‌سازی CALIC
  - فشرده‌سازی JPEG-LS
  - فشرده‌سازی JBIG
  - کدگذاری Bit-Plane
- فشرده‌سازی بااتلاف
  - چندی‌سازی بر اساس نمایش بیتی
  - فشرده‌سازی بااتلاف براساس پیش‌بینی و چندی‌سازی

دیباچه

- تاکنون در خصوص روش‌های فشرده‌سازی به صورت کلی بحث شد، هر چند برخی برای کاربردهای خاص مناسب‌تر بوده‌اند، اما محدود به کاربرد خاصی نبودیم.
- در برخی کاربردها، روش‌هایی خاص وابسته به آن کاربرد مورد استفاده قرار می‌گیرند.
- در این بخش در خصوص فشرده‌سازی تصویر صحبت خواهد شد.
- یکی از چالش‌های روش‌های آماری در فشرده‌سازی تصویر، بزرگی الفبای مورد استفاده است.



هر چه احتمال وقوع نماد دارای عدم توازن بیشتر باشد، آنتروپی و پیرو آن میزان فشرده‌سازی افزایش می‌یابد.

Predictive Coding

فشرده‌سازی بر اساس پیش‌بینی

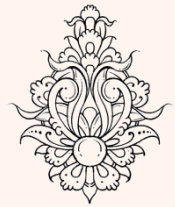
- برای فشرده‌سازی دنباله‌ی زیر،

1	2	5	7	2	−2	0	−5	−3	−1	1	−2	−7	−4	−2	1	3	4

- چنان‌چه احتمال وقوع نمادها یکسان باشد به چهار بیت برای فشرده‌سازی نیاز است.
- در صورتی که قانون پیش‌بینی «نماد پیشین به اضافه‌ی ۲» باشد، خواهیم داشت:

1	−1	1	0	−7	−4	0	−7	0	0	0	−5	−7	1	0	1	0	−1

  - با استفاده از این شیوه‌ی مدل کردن، احتمال وقوع نمادهای چون «0» و «1-» افزایش خواهد یافت.
  - آنتروپی مقادیر باقیمانده کم‌تر از آنتروپی مقادیر اصلی است.
    - در نتیجه با تعداد بیت کم‌تری قابل نمایش خواهد بود.
    - با توجه به این که خطا براساس نماد قبلی به دست می‌آید، کدگشا به راحتی با در اختیار داشتن نمادقبلی و میزان خطا می‌تواند نماد اصلی را به دست آورد.



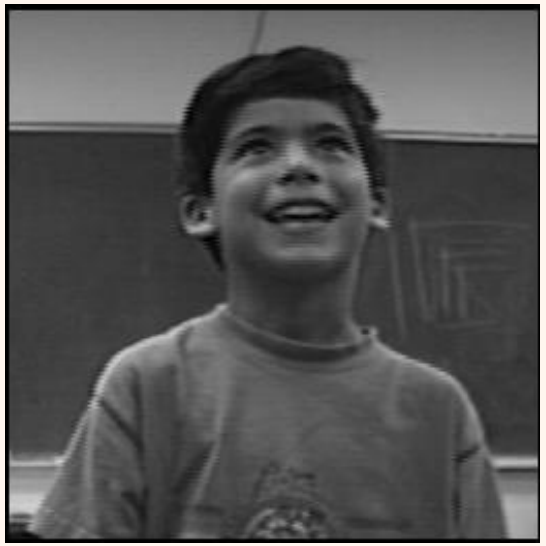
256×256

تصاویر نمونه

Earth

Omaha

Sensin



Sena

FIGURE 8.6
Some popular image compression standards, file formats, and containers. Internationally sanctioned entries are shown in blue; all others are in black.

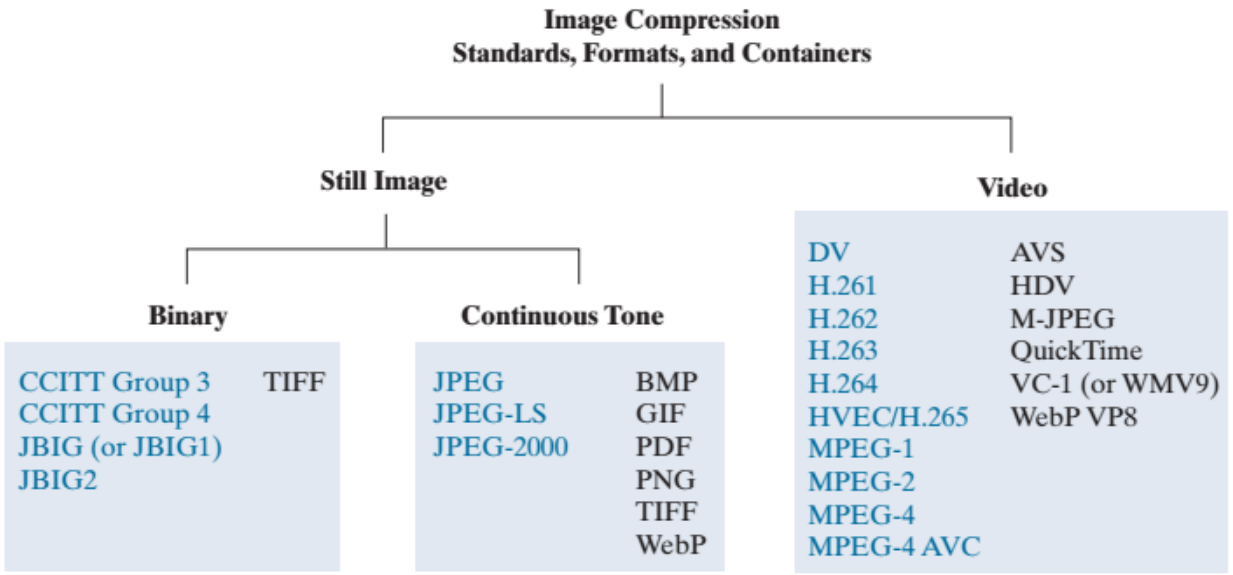


Image file format

نحوه سازمان‌دهی و ذخیره فایل را نشان می‌دهد.

Image container

چندین قالب مختلف را در بر می‌گیرد.

Compression standard

رویه‌های فشرده‌سازی و باز کردن داده‌ها را مشخص می‌کند.

International Standards Organization (ISO)

the International Electrotechnical Commission (IEC)

the International Telecommunications Union (ITU-T)

استاندارد قدیمی JPEG

The Joint Photographic Experts Group (JPEG)

- در استاندارد قدیمی JPEG هشت شیوه‌ی پیش‌بینی در نظر گرفته شده است:

– در اولین شیوه هیچ پیش‌بینی انجام نمی‌شود و سایر شیوه‌ها به قرار زیر می‌باشد:

1 $\hat{I}(i,j) = I(i-1,j)$

2 $\hat{I}(i,j) = I(i,j-1)$

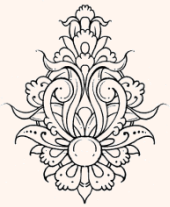
3 $\hat{I}(i,j) = I(i-1,j-1)$

4 $\hat{I}(i,j) = I(i,j-1) + I(i-1,j) - I(i-1,j-1)$

5 $\hat{I}(i,j) = I(i,j-1) + (I(i-1,j) - I(i-1,j-1))/2$

6 $\hat{I}(i,j) = I(i-1,j) + (I(i,j-1) - I(i-1,j-1))/2$

7 $\hat{I}(i,j) = (I(i,j-1) + I(i-1,j))/2$



تصاویر مختلف ساختارهای متفاوتی دارند، هر نوع پیش‌بینی برای یک ساختار خاص مناسب‌تر است، برای یک تصویر خاص می‌توان همه‌ی شیوه‌ها را بررسی و بهترین را ارسال کرد.
خطای پیش‌بینی برای ذخیره‌سازی(ارسال) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$e = I - \hat{I}$$

مثال

1 $\hat{I}(i, j) = I(i-1, j)$
2 $\hat{I}(i, j) = I(i, j-1)$
3 $\hat{I}(i, j) = I(i-1, j-1)$
4 $\hat{I}(i, j) = I(i, j-1) + I(i-1, j) - I(i-1, j-1)$
5 $\hat{I}(i, j) = I(i, j-1) + (I(i-1, j) - I(i-1, j-1))/2$
6 $\hat{I}(i, j) = I(i-1, j) + (I(i, j-1) - I(i-1, j-1))/2$
7 $\hat{I}(i, j) = (I(i, j-1) + I(i-1, j))/2$

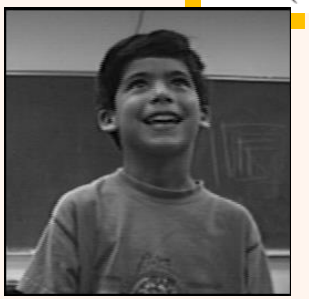
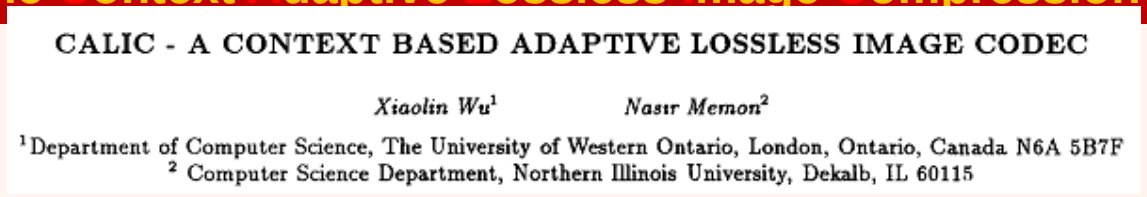


Image	JPEG 0	JPEG 1	JPEG 2	JPEG 3	JPEG 4	JPEG 5	JPEG 6	JPEG 7
Sena	53,431	37,220	31,559	38,261	31,055	**29,742**	33,063	32,179
Sensin	58,306	41,298	37,126	43,445	**32,429**	33,463	35,965	36,428
Earth	38,248	32,295	**32,137**	34,089	33,570	33,057	33,072	32,672
Omaha	56,061	**48,818**	51,283	53,909	53,771	53,520	52,542	52,189

Image	Best JPEG	GIF	PNG
Sena	31,055	51,085	31,577
Sensin	32,429	60,649	34,488
Earth	32,137	34,276	26,995
Omaha	48,818	61,341	50,185

فشرده‌سازی CALIC

The Context Adaptive Lossless Image Compression (CALIC)



CALIC - A CONTEXT BASED ADAPTIVE LOSSLESS IMAGE CODEC

Xiaolin Wu[1] *Nasir Memon*[2]

[1]Department of Computer Science, The University of Western Ontario, London, Ontario, Canada N6A 5B7F
[2] Computer Science Department, Northern Illinois University, Dekalb, IL 60115

- در سال ۱۹۹۴ در پاسخ به فراخوان ISO توسط Memon و Wu مطرح شد.
- در مود مختلف دارد:
  - تصاویر سیاه و سفید(دوسطحی)
  - تصاویر طیف خاکستری
- تغییر مود به صورت خودکار و به صورت محلی صورت می‌پذیرد.
- تصویر را به صورت خطبه‌خط پویش می‌کند.
- در تصویر مقدار یک پیکسل معمولا به همسایگانش شبیه است.
  - شبیه‌ترین همسایه از روی ساختار تصویر قابل پیش‌بینی است.

فشرده‌سازی CALIC(ادامه...)

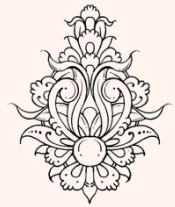
- برای تصاویر چندسطحی دارای چهار بخش است:
  - پیش‌بینی بر اساس گرادیان
  - انتخاب محتوا و چندی‌سازی
  - مدل کردن محتوا و خطای پیش‌بینی
  - کدگذاری

gradient-adjusted prediction (GAP),

context selection and quantization

context modeling of prediction errors,

entropy coding of prediction errors



پیش‌بینی اولیه

گرادیان در جهت افقی(لبه‌ی عمودی)

$$d_h = |W - WW| + |N - NW| + |N - NE|$$

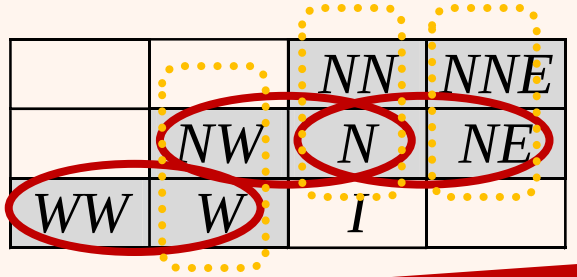
گرادیان در جهت عمودی(لبه‌ی افقی)

$$d_v = |W - NW| + |N - NN| + |NE - NNE|$$

اختلاف گرادیان عمودی و افقی

$$d = d_v - d_h$$

```
IF (d_v − d_h > 80) {sharp horizontal edge}
    İ[i,j] = w
ELSE IF (d_v − d_h < −80) {sharp vertical edge}
    İ[i,j] = n
ELSE {
    İ[i,j] = (w + n)/2 + (ne − nw)/4;
    IF (d_v − d_h > 32) {horizontal edge}
        İ[i,j] = (İ[i,j] + w)/2
    ELSE IF (d_v − d_h > 8) {weak horizontal edge}
        İ[i,j] = (3İ[i,j] + w)/4
    ELSE IF (d_v − d_h < −32) {vertical edge}
        İ[i,j] = (İ[i,j] + n)/2
    ELSE IF (d_v − d_h < −8) {weak vertical edge}
        İ[i,j] = (3İ[i,j] + n)/4
}
```



ضرائب پیش‌بینی و حدآستانه‌ها به صورت تجربی انتخاب شده‌اند و یکی از اصول مهم در انتخاب سادگی محاسبات بوده است، از این جهت بیشتر ضریب‌ها توانی از دو در نظر گرفته شده‌اند.

برای دسته‌های خاص از تصاویر می‌توان به صورت جداگانه ضرایب بهینه را به دست آورد.

مثال ۱

		NN	NNE
	NW	N	NE
WW	W	I	

$\hat{I}$

d			
	200 200 200 200 100 100 I	**Sharp horizontal edge**	W
80			
	160 160 160 160 100 100 I	**horizontal edge**	$(t+W)/2$
32			
	130 130 130 130 100 100 I	**week horizontal edge**	$(3t+W)/4$
8			
	100 100 100 100 100 100 I	**homogeneous**	t
-8			
	100 100 130 100 100 130 130 I	**week vertical edge**	$(3t+N)/4$
-32			
	100 100 160 100 100 160 160 I	**vertical edge**	$(t+N)/2$
-80			
	100 100 200 100 100 200 200 I	**Sharp vertical edge**	N

$$t = \frac{W+N}{2} + \frac{NE - NW}{4}$$

مثال ۲

		NN	*NNE*
	NW	*N*	*NE*
WW	*W*	*I*	

		200	100
	200	100	100
200	100	*I*	

$$d_h = |100-200| + |100-200| + |100-100| = 200$$

$$d_v = |100-200| + |100-200| + |100-100| = 200$$

$$d = d_v - d_h = 200 - 200 = 0$$

$$\hat{I} = t = \frac{W+N}{2} + \frac{NE-NW}{4} = \frac{100+100}{2} + \frac{100-200}{4} = 100 - 25 = 75$$

$$e = I - \hat{I}$$

خطای پیش‌بینی

If I=100 then e=100-75=25

انتخاب محتوا و چندی‌سازی

- مراحل انجام شده، «افزونگی آماری» موجود را کاملا برطرف نمی‌کند.

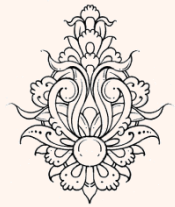
  – آزمایش‌ها نشان می‌دهد واریانس خطای به دست آمده با میزان همواری تصاویر رابطه‌ی مستقیم دارد.

- برای یک تخمین با محاسبات ساده رابطه‌ی زیر مورد استفاده قرار گرفته است:

$$\Delta = d_h + d_v + 2|e_w|$$

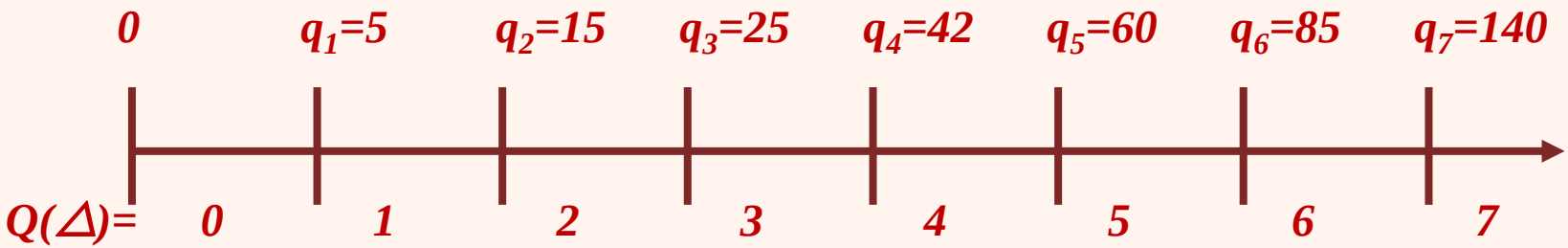
$$|e_w| = |W - \hat{W}|$$

خطای پیش‌بینی قبلی: خطا معمولا به صورت متوالی رخ می‌دهد.



انتخاب محتوا و چندی‌سازی

- کدگذاری با استفاده از احتمال شرطی $p(e|\Delta)$ کاراتر خواهد بود.
- برای صرفه‌جویی در مکان و زمان، Δ به L سطح چندی می‌شود($L=8$).



مثال

$\Delta=70 \rightarrow Q(\Delta)=5,\ \beta=\llcorner Q(\Delta)/2 \lrcorner=(10)_2$

- این ضرایب به گونه‌ای انتخاب می‌شوند که رابطه‌ی زیر کمینه شود(اعداد فوق با آزمایش به دست آمده‌اند):

$$-\sum_{e} p(e)\log p(e|q_d \le \Delta < q_{d+1})$$

مدل کردن محتوا و خطای پیش‌بینی

- در نظر گرفتن بافت تصویر می‌تواند منجر به ارائه‌ی مدل دقیق‌تری شود.

$$C=\{N,\ W, NW, NE, NN, WW, 2N-NN, 2W-WW\}$$
$$=\{x_0, x_1, x_2, x_3,\ x_4, x_5,\ x_6\ ,\ x_7\}$$

$$b_k = \begin{cases} 0 & \text{if } x_k \geq \hat{I} \\ 1 & \text{if } x_k < \hat{I} \end{cases}$$

$$\alpha = b_7 b_6 \ldots\ldots b_0$$

		200	100
	200	100	100
200	100	I	

		NN	NNE
	NW	N	NE
WW	W	I	

مثال

$\hat{I} = 75$

C={100, 100, 200,100,200,200,0,0}

$b_{0\sim7}$= 0 0 0 0 0 0 1 1

α=1100000 $_2$

انتخاب محتوا

- بدین‌ترتیب α و β محتوا را مشخص می‌کنند.

مثال

α and β =>C(α, β)

α=11000000

β=10

C(α, β)=1100000010

با توجه به C(α,β) پیکسل‌های به دست آمده را تقسیم‌بندی می‌کنیم.

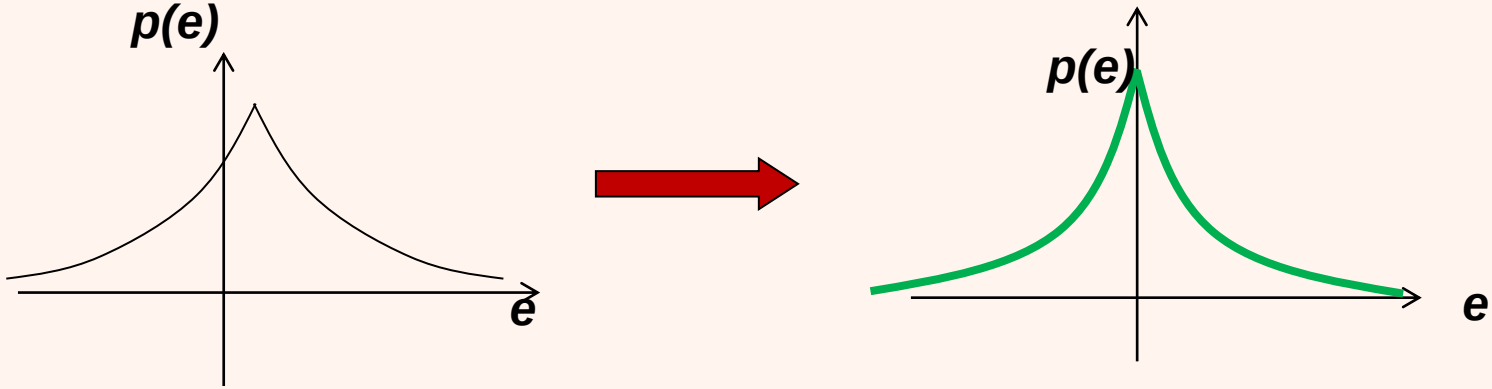
داده‌های مربوط به هر بخش (محتوا) به صورت جداگانه کد می‌شوند.

تعداد کل حالات برابر است با

cases in C(α, β) = 144*4=576

انتخاب محتوا و چندی‌سازی

- در اکثر مواقع این پیش‌بینی داری سوگیری است.
  - برای کدگذاری بهتر، باید این مقدار اصلاح شود.



  - برای هر دسته $C(\alpha, \beta)$ مقدار زیر حساب می‌شود:

$$\bar{e}(\alpha,\beta) = \frac{\sum e(\alpha,\beta)}{N(\alpha,\beta)}$$

میانگین خطای دسته

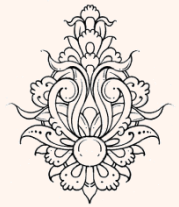
  - بر اساس محتوا این اصلاح انجام خواهد شد:

$$\tilde{I} = \hat{I} + \bar{e}(\alpha,\beta)$$

پیش‌بینی اصلاح شده

$$\varepsilon = I - \tilde{I}$$

خطای اصلاح شده



مثال

$$I = 10,11,13,15,18$$

$$\hat{I} = 8,10,13,16,14$$

$$\bar{e} = \frac{2+1+0-1+4}{5} = 1.2 = 1$$

$$e = 2,1,0,-1,4$$

$$\tilde{I} = 9,11,14,17,15$$

$$\varepsilon = I - \tilde{I} = 1,0,-1,-2,3$$

مقایسه‌ی روش‌های فشرده‌سازی بی‌اتلاف تصویر

image	Old JPEG	New JPEG	CALIC
Sena	31,055	27,399	26,433
Sensin	32,429	30,344	29,213
Earth	32,137	26,088	25,280
Omaha	48,818	50,765	48,249

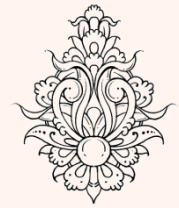
JPG-LS

- در پی‌فراخوان ISO، CALIC در شش مجموعه از بین هفت مجموعه تصویر معیار، رتبه نخست را کسب کرد. با توجه به ویژگی‌های این روش، محققانی از HP شیوه‌ای با حجم محاسبات کم‌تر و کارایی تقریبا قابل مقایسه به نام LOCO-I مطرح کردند، که نهایتا این شیوه استاندارد شد.

(LOw COmplexity LOssless COmpression for Images

NW	N
W	I

$$\hat{I} = \begin{cases} \min(W,N) & \text{if } NW \geq \max(W,N) \\ \max(W,N) & \text{if } NW \leq \min(W,N) \\ W+N-NW & otherwise \end{cases}$$



مثال ۱

Median Edge Detector

MED

NW	*N*	*NE*
W	*I*

$$\hat{I} = \begin{cases} \min(W, N) & \text{if } NW \geq \max(W, N) \\ \max(W, N) & \text{if } NW \leq \min(W, N) \\ W + N - NW & \text{otherwise} \end{cases}$$

	0	0
0	0	0
200	*I*	

horizontal edge

200	200	200
200	200	200
0	*I*	

W

	100	100
100	100	100
100	*I*	

homogeneous

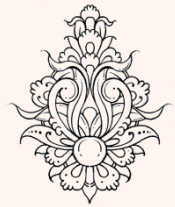
W(or N)

	0	0
200	0	0
200	*I*	

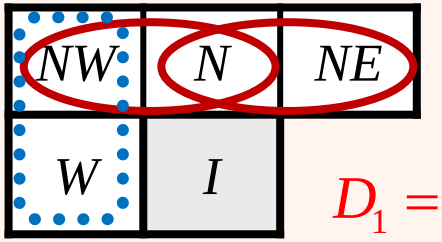
vertical edge

N

0	200	200
0	200	200
0	*I*	



به دست آوردن مدل



$D_1 = NE - N$

$D_2 = N - NW$

$D_3 = NW - W$

64	145	145
100	145	

$(D_1,D_2,D_3)=(0,81,-36)$

145	145	145
145	145	

$(D_1,D_2,D_3)=(0,0,0)$

چندی‌سازی

D_i (i = 1 to 3)	Q_i (i = 1 to 3)
$\{0\}$	0
$\pm\{1,2\}$	± 1
$\pm\{3,4,5,6\}$	± 2
$\pm\{7,8,...,20\}$	± 3
$\pm\{\geqq 21\}$	± 4

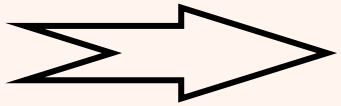
$$(D_1,D_2,D_3) \Rightarrow (Q_1,Q_2,Q_3)$$

$(D_1, D_2, D_3)=(0,81,-36)$
$\Rightarrow (Q_1,Q_2,Q_3)=(0, 4, -4)$

$(D_1, D_2, D_3)=(0, 0, 0)$
$\Rightarrow (Q_1,Q_2,Q_3)=(0, 0, 0)$

- در این حالت ۷۲۹=۹×۹×۹ حالت مختلف خواهیم داشت.
- چنان‌چه در (Q_1,Q_2,Q_3) اولین عنصر ناصفر منفی باشد، این بردار را با $(-Q_1,-Q_2,-Q_3)$ تغییر می‌دهیم.
  - با این کار تعداد حالات به ۳۶۵ حالت تقلیل می‌یابد.

Q_1	Q_2	Q_3
0	0	-2
-4	3	-1
0	0	0
0	1	-3
2	2	2



Q_1	Q_2	Q_3
0	0	2
4	-3	1
0	0	0
0	1	-3
2	2	2

شیوه‌های مختلف

- این استاندارد دو شیوه دارد:
  - Regular mode
  - Run mode
- چنانچه $Q_1=Q_2=Q_3=0$، Run mode انتخاب می‌شود.

مثال

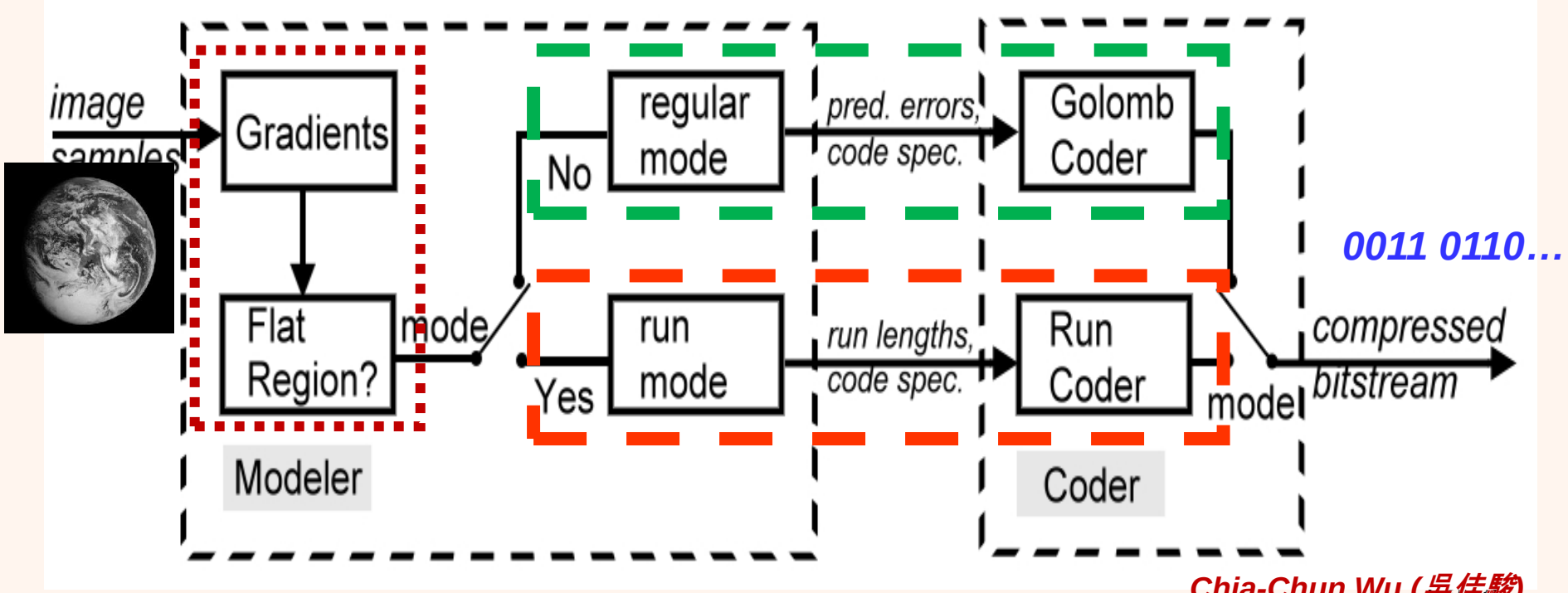
$(Q_1, Q_2, Q_3)=(0, 4, -4)$

$\Rightarrow$ Regular mode

$(Q_1, Q_2, Q_3)=(0, 0, 0)$

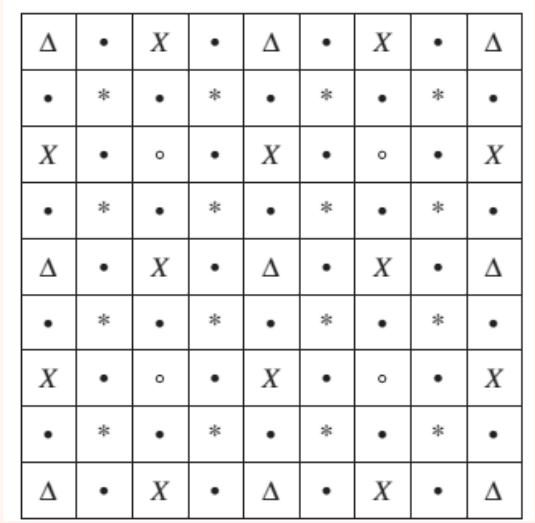
$\Rightarrow$ Run mode

دیاگرام کلی



Chia-Chun Wu (吳佳駿)

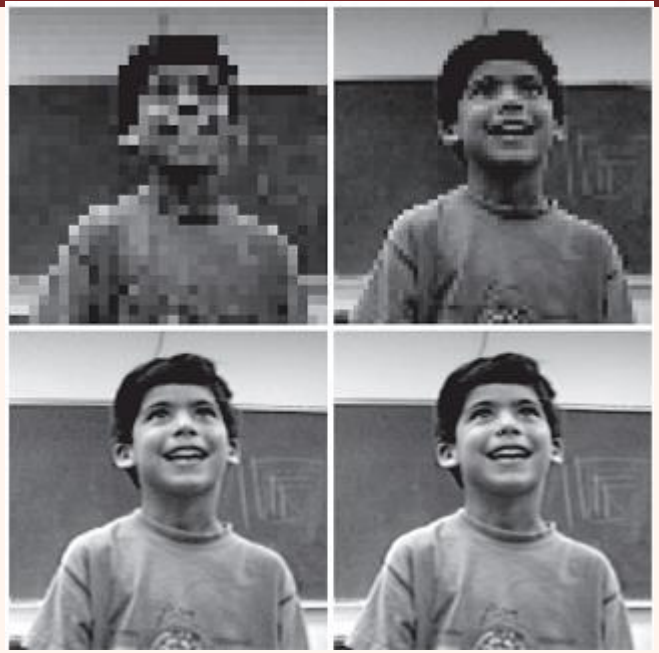
- در این شیوه، قابلیت کد کردن تصویر با وضوح متغیر وجود دارد.
- در این شیوه تصویر با یک ساختار هرمی مدل می‌شود.



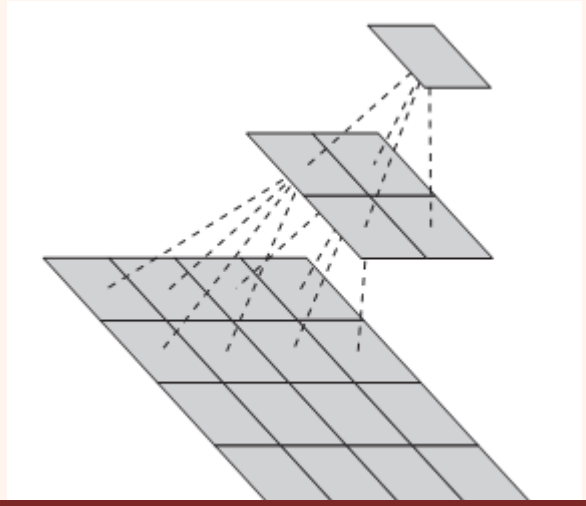
HINT (Hierarchical INTerpolation)

- ابتدا پیکسل‌های Δ براساس پیش‌بینی کد می‌شود.
- سپس ◦ با درون‌یابی
- سپس X با کمک دو نوع قبلی
- و در نهایت ● و * با کمک همسایگان

progressive image transmission



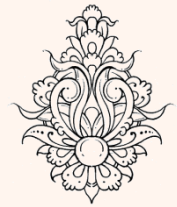
progressive v.s. raster scan



The pyramid structure for progressive transmission

تصاویر دوسطحی

- توسط ITU-T روش‌های متعددی برای فشرده‌سازی دستگاه دورنگار معرفی شده است.
- با گسترش شبکه‌ی اینترنت توجهات بیشتر معطوف به استانداردسازی پروتکل‌ها شد.
  - در استاندارد اولیه‌ی آنالوگ(بدون امکان فشرده‌سازی) انتقال یک صفحه‌ی A4 حدود شش دقیقه زمان نیاز داشت!
- در فشرده‌سازی این‌گونه اسناد، بیشتر از RLE استفاده می‌شده‌است.



تصاویر دوسطحی

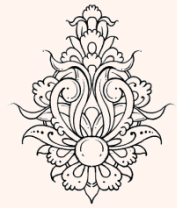
JBIG

Joint Bi-Level Image Experts Group

- در این استاندارد امکان کدگذاری به هر دو شیوه‌ی ترتیبی و پیش‌رونده وجود دارد.
  - در شیوه‌ی ترتیبی تصویر از چپ به راست و بالا به پایین پویش می‌شود.
  - در شیوه‌ی پیش‌رونده تصاویر با وضوح متفاوت کدگذاری می‌شوند.
  - امکان بهره‌مندی از هر دو شیوه به صورت توأم هم وجود دارد.

progressive compatible sequential mode

- در این شیوه تصویر به یک‌سری نوار تقسیم می‌شود. هر نوار به صورت پیش‌رونده و نوارها به صورت ترتیبی کد می‌شوند.

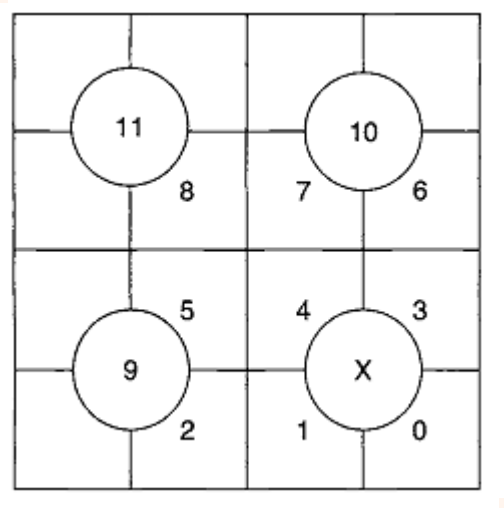


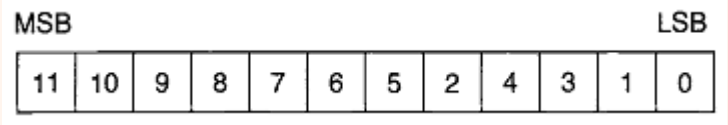
تصاویر دوسطحی

- مراحل مختلف این الگوریتم به صورت زیر است:
  - کاهش وضوح(در شیوه‌ی پیش‌رونده)
  - کاهش افزونگی
  - کدگذاری محاسباتی

Resolution Reduction

- در این استاندار یک لایه با وضوح کم‌تر، تصویری است که در آن ابعاد تصویر یک چهارم شده است.
  - برای تعداد لایه‌ها محدودیتی در نظر گرفته نشده است.
- با توجه به همسایه‌ها و یک جدول مراجعه(۴۰۹۶×۱) مقدار پیکسل‌ها در وضوح کم‌تر به دست می‌آیند.





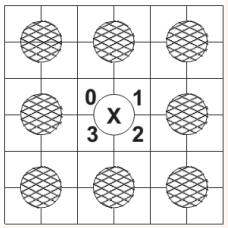
آدرس مقدار مناسب برای X با توجه به آدرس به دست آمده از جدول استخراج می‌شود.

Redundancy Removal

typical prediction

deterministic prediction

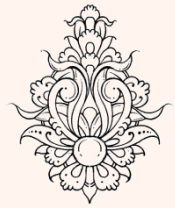
- دو نوع پیش‌بینی وجود دارد:
  - در تصاویر دوسطحی بسیاری از نواحی دارای سطح یکسان هستند.
    - به ویژه نواحی زیادی سفید هستند.
  - برای این نواحی در دو تصویر با وضوح پایین و بالا، پیکسل‌ها همسان هستند.
  - در این حالت با در اختیار داشتن تصاویر با وضوح پایین در این نواحی، لزومی ندارد تصاویر با وضوح بالا هم جداگانه کد شوند.
  - در این حالت در صورتی که یک پیکسل در وضوح پایین در ناحیه‌ای هموار قرار داشته باشد (تمام هشت همسایه‌اش یکسان باشد)، و همچنین با هر چهار همسایه با وضوح بالای خودش هم یکسان باشد، این پیکسل typical نامیده می‌شود.
  - در صورتی که یک سطر شامل پیکسل‌های این‌چنینی باشد(با یک پرچم مشخص می‌شود)، از کد کردن آن صرفنظر می‌شود.



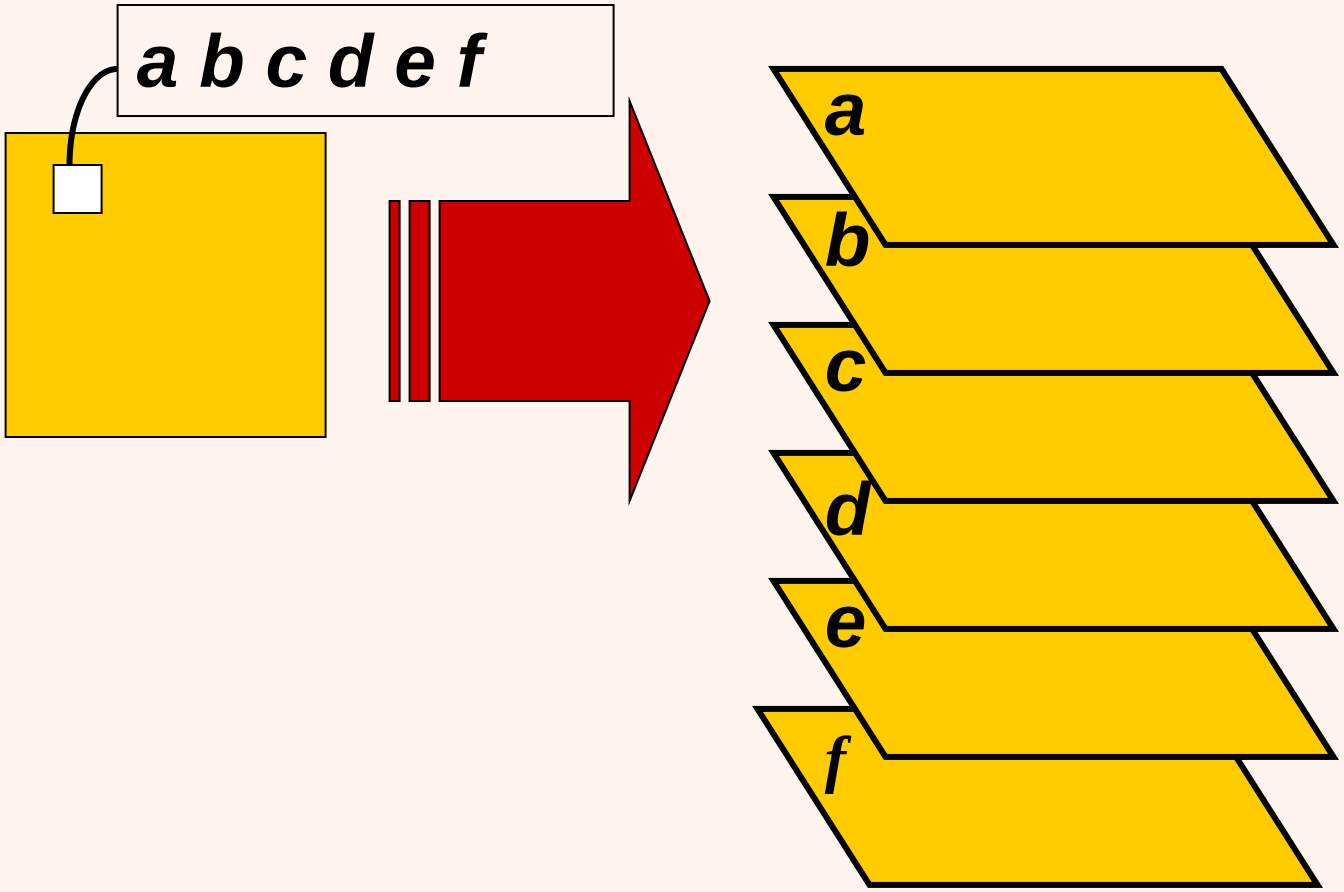
LNTP (line not typical)

deterministic prediction

- با توجه به جدولی که برای کاهش وضوح مورد استفاده قرار گرفته است، می‌توان در برخی موارد مقدار یک پیکسل را از روی نسخه‌ی با وضوح پایین پیش‌بینی کرد، با این کار می‌توان تا حدود ۷٪ فشردگی به دست آورد.



Bit Plane کدگذاری



نمایش بیتی

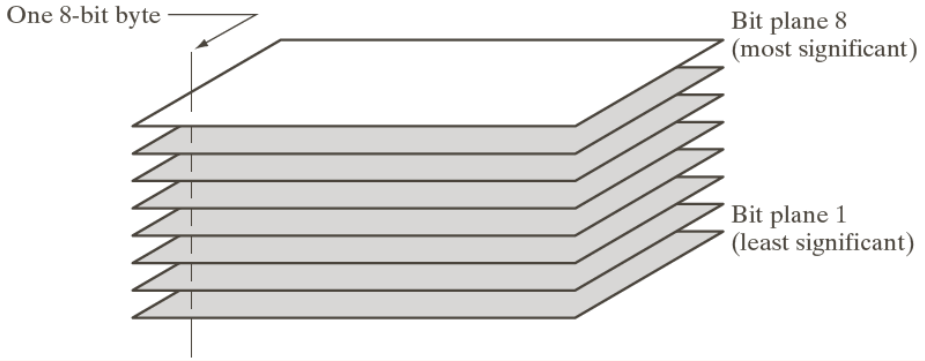
Bit Extraction

- به نمایش مقادیر روشنایی به صورت لایه‌هایی از تصاویر دودویی گفته می‌شود.
- با فرض داشتن L=256 داریم:

بیت پر ارزش

$$r = b_7 b_6 b_5 b_4 b_3 b_2 b_1 b_0 = \sum_{i=0}^{7} b_i \, 2^i$$

- متناظر با هر بیت یک تصویر ساخته می‌شود.



Bit Plane Coding

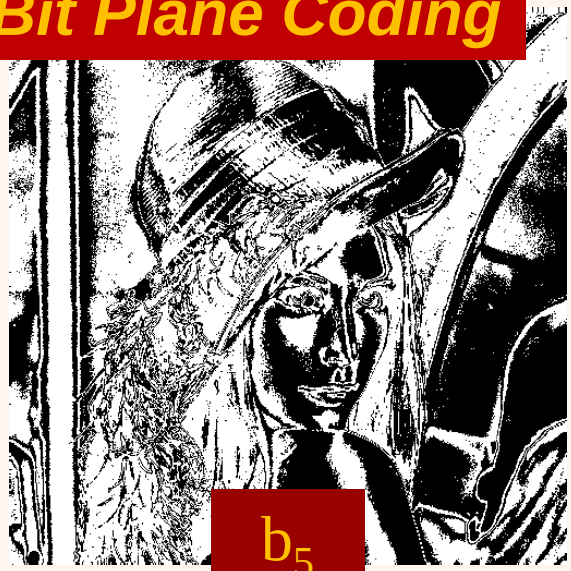
- در این حالت می‌توان تصاویر دوسطحی را به صورت مجزا با الگوریتم‌های مرتبط فشرده کرد.
  - در این حالت می‌توان از ارتباط بین تصاویر دودویی هم استفاده کرد.

تصویر اصلی

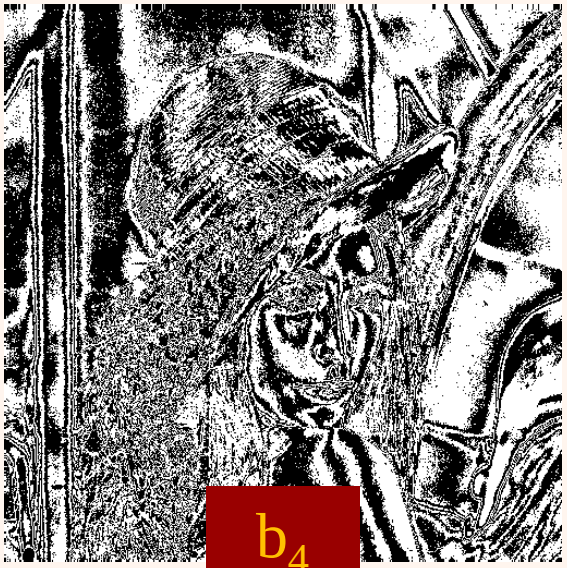
b_7

b_6

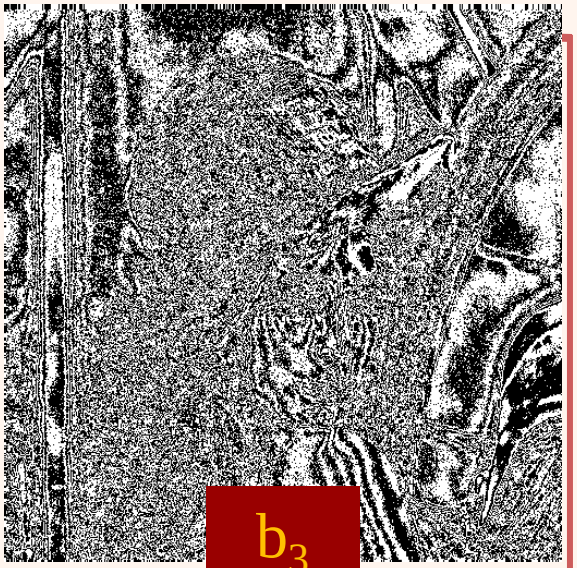
Bit Plane Coding



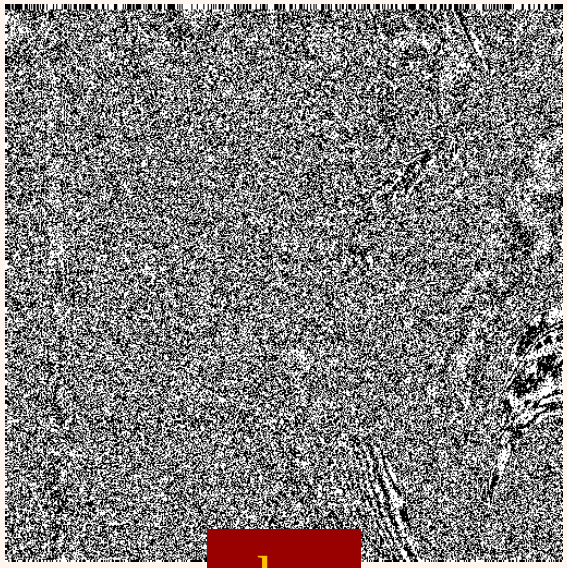
b_5



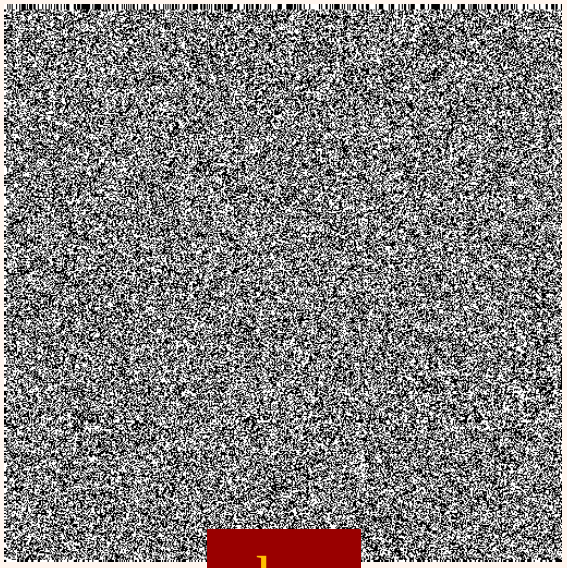
b_4



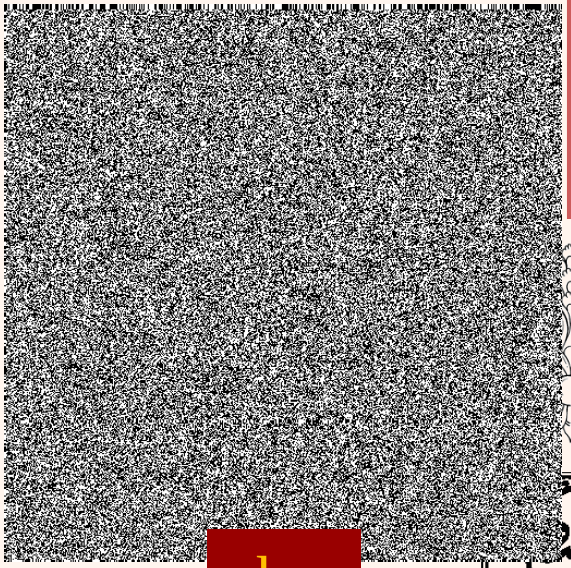
b_3



b_2



b_1



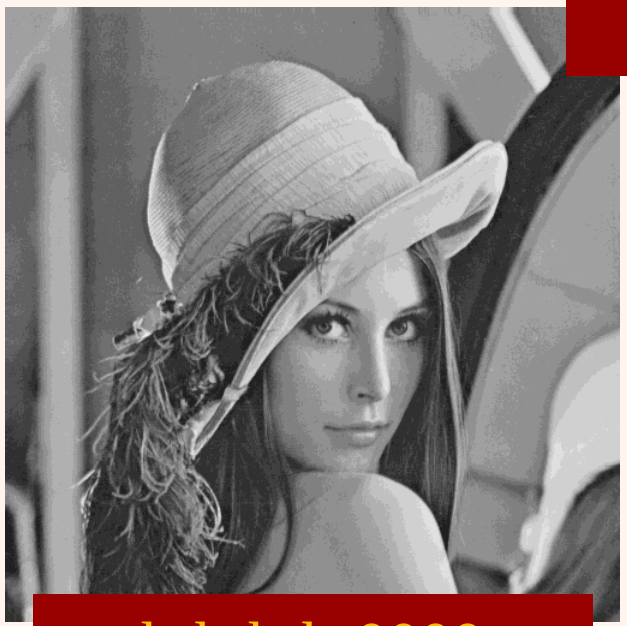
b_0

تصاویر به دست آمده بعضا همبستگی پایینی دارند!

فشرده‌سازی با اتلاف با چندی‌سازی

$b_7b_6b_5b_4b_3000$

$b_7b_6b_500000$



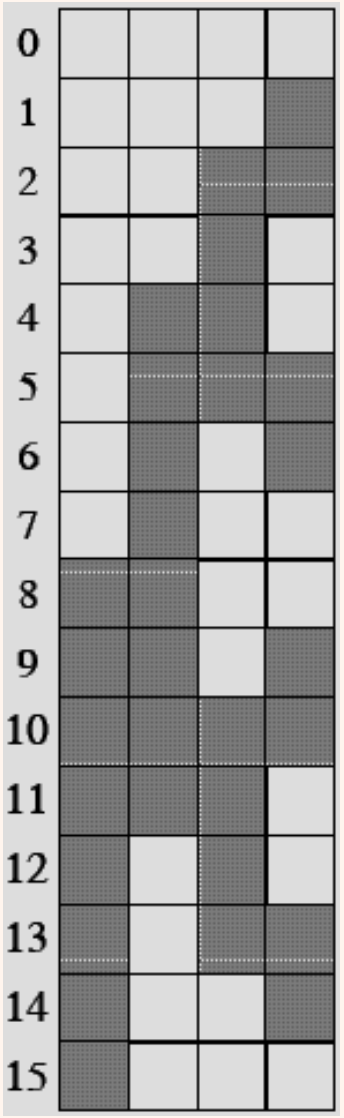
$b_7b_6b_5b_40000$

نمایش دودویی و Gray

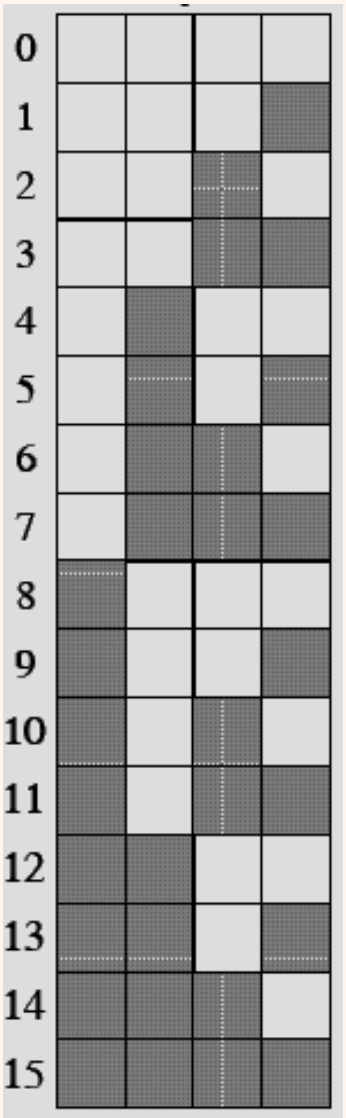
- بیت‌های کم‌ارزش همانند نویز سفید خواهند بود و می‌توان از آن‌ها صرفنظر کرد.
- جهت نمایش مدل bit-plane علاوه بر کد دودویی از کدگذاری Gray استفاده می‌شود.
- استفاده از کد gray به این دلیل است که در نمایش دودویی کوچک‌ترین تغییر در مقدار روشنایی باعث می‌شود پیکسل‌های متناظر شباهتی به هم نداشته باشند.
  - به طور مثال دو پیکسل مجاور با اندازه‌ی ۱۲۷ و ۱۲۸ با این‌که یک مقدار تفاوت دارند در نمایش دودویی در تمام ۸ بیت اختلاف خواهند داشت.

حل مشکل با کد Gray

Gray code



Binary code



$$\{b_{m-1}, b_{m-2}, \ldots\ldots, b_1, b_0, \} \longrightarrow \{g_{m-1}, g_{m-2}, \ldots\ldots, g_1, g_0, \}$$

$$g_{m-1} = b_{m-1}$$

$$g_i = b_i \oplus b_{i+1} \qquad 0 \le i \le m\text{-}2$$

$$1110 \longrightarrow 1001$$

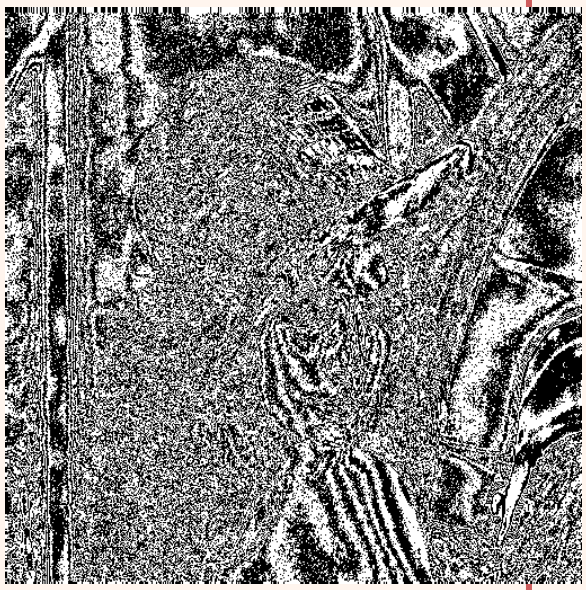
$$g_{m-1} = b_{m-1}$$

$$g_i = b_i \oplus b_{i+1} \qquad 0 \le i \le m\text{-}2$$

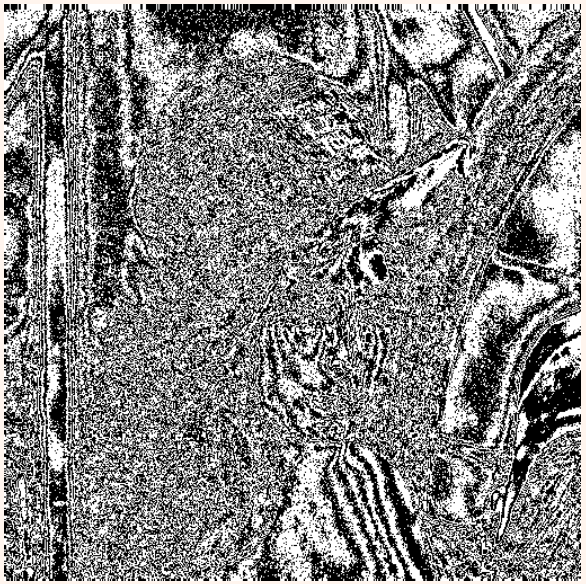
Gray-coded

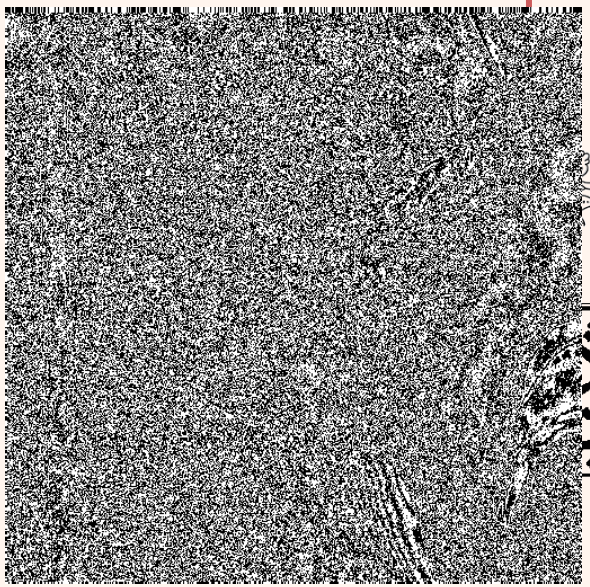
binary

Gray-coded

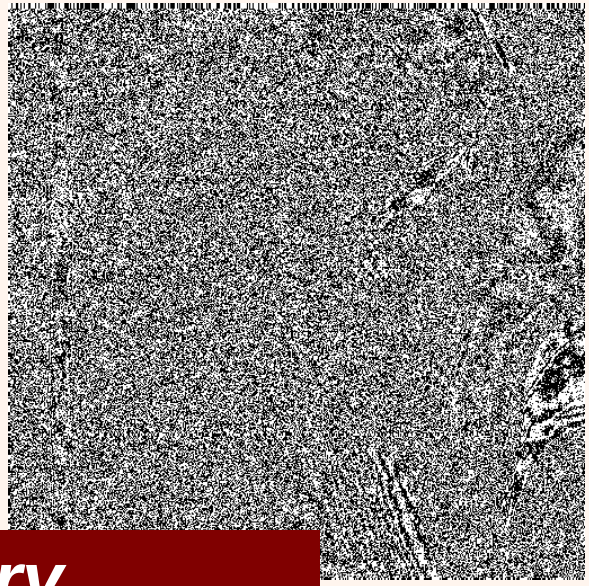


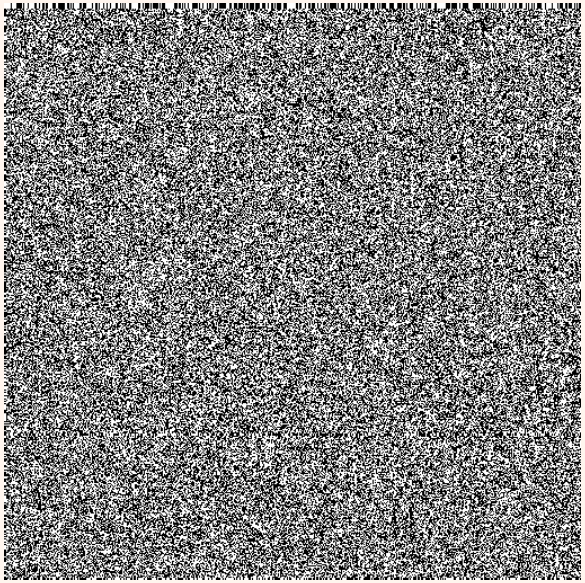
binary



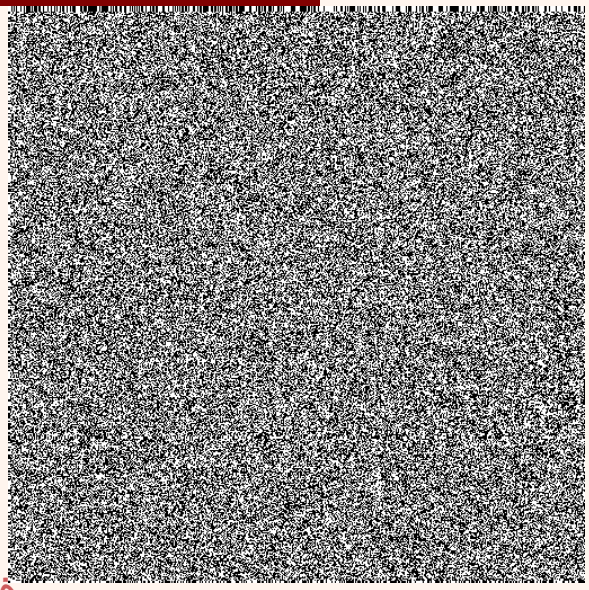


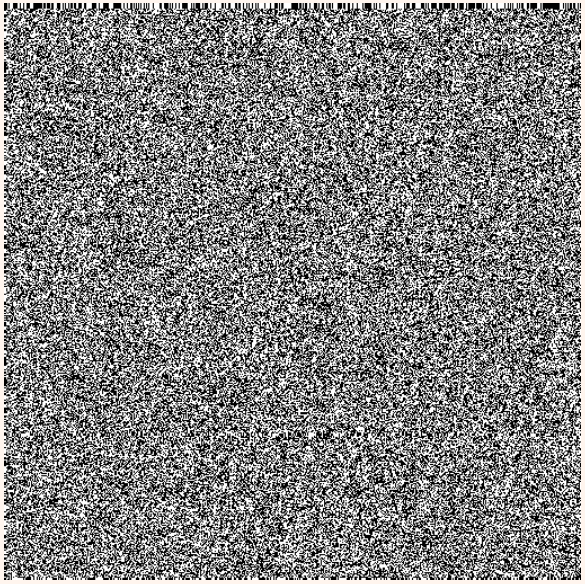
Gray-coded





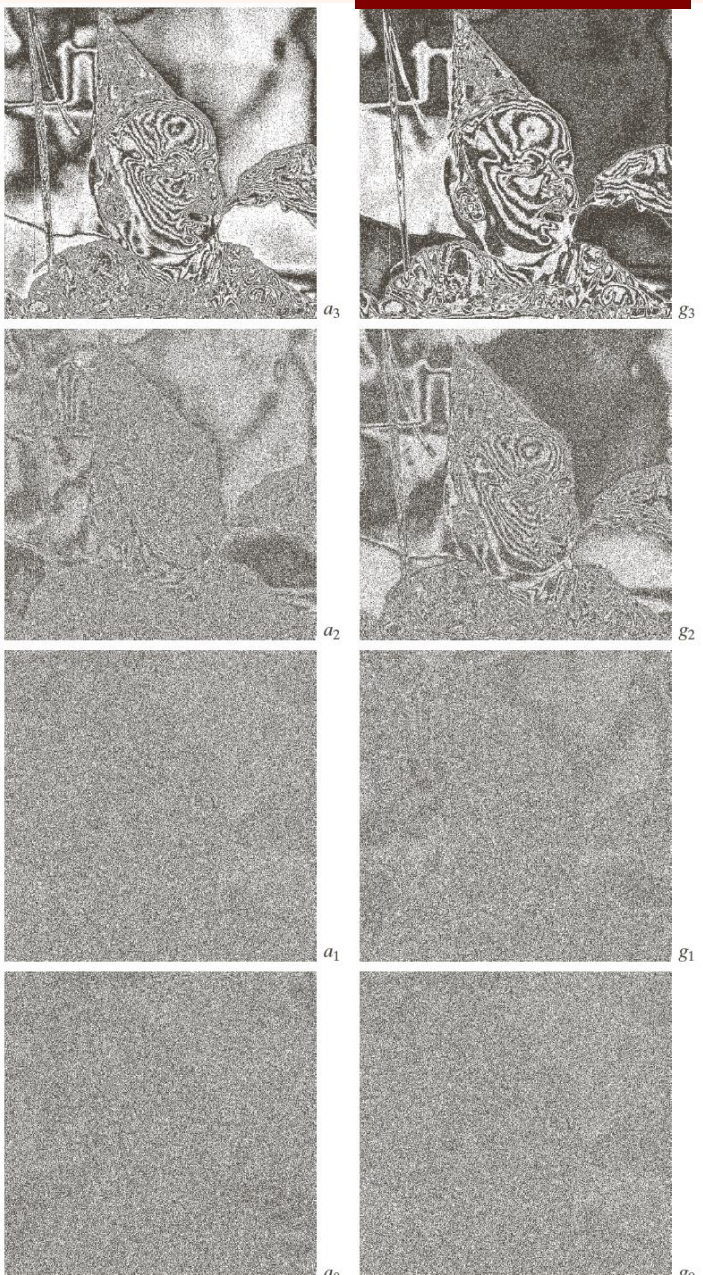
binary





binary

Gray-coded



binary

Gray-coded

lossless predictive coding

- یکی از راه‌های کاهش آنتروپی و افزایش میزان فشرده‌سازی، بهره‌گیری از افزونگی آماری موجود در تصویر است.
  - کدکردن خطای پیش‌بینی پیش از این مطرح شد.

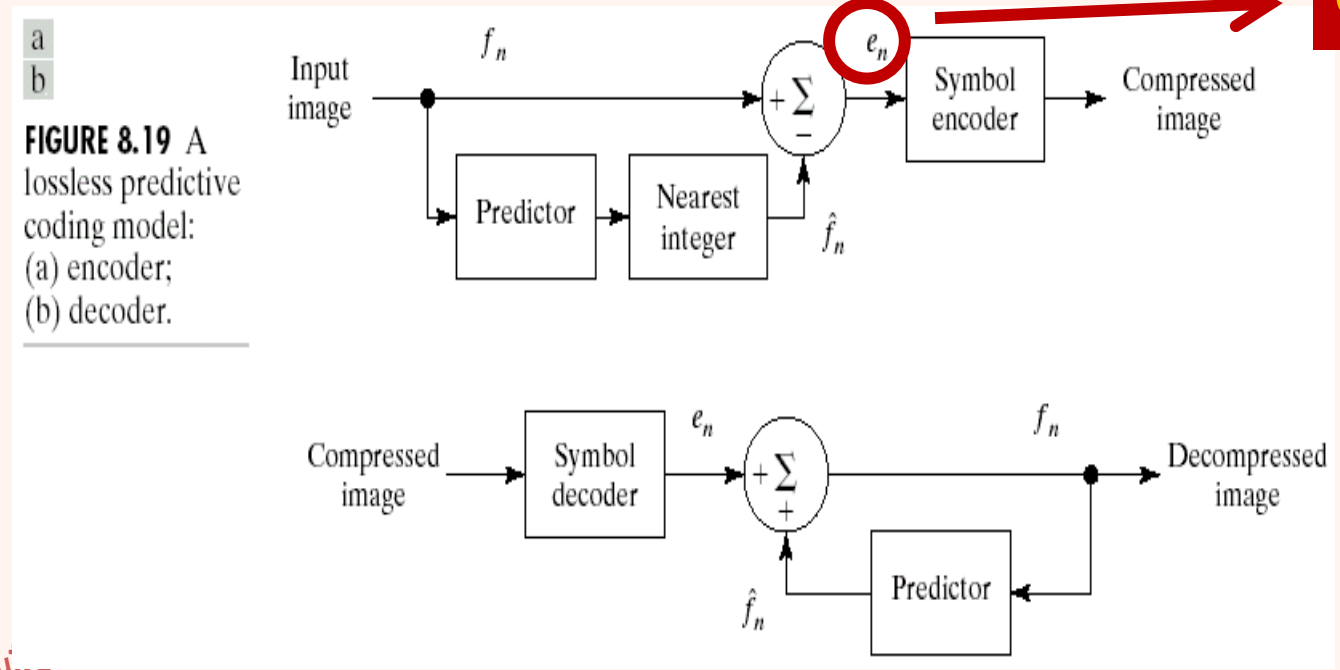


FIGURE 8.19 A lossless predictive coding model: (a) encoder; (b) decoder.

Q(e)

Lossy!

Lossless predictive coding

$n=$	0	1	2	3	4	5
$f(n)=$	100	102	120	120	120	118
$\hat{f}(n)=$	–	100	102	120	120	120
$e(n)=$	–	2	18	0	0	−2
$\tilde{f}(n)=$	100	102	120	120	120	118

ارسال می‌شود

بدون اتلاف !

Plus Quantization → Lossy coding

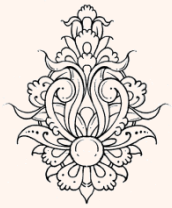
$$e_Q(n)=\begin{cases} 4 & 10<e \\ 3 & 5<e\le 10 \\ 2 & 2<e\le 5 \\ 1 & 0<e\le 2 \\ \vdots & \vdots \end{cases}$$

$e_Q(n)=$	–	1	4	0	0	−1
$\tilde{f}(n)=$	100	101	105	105	105	104
$err(n)=$	–	1	15	15	15	14

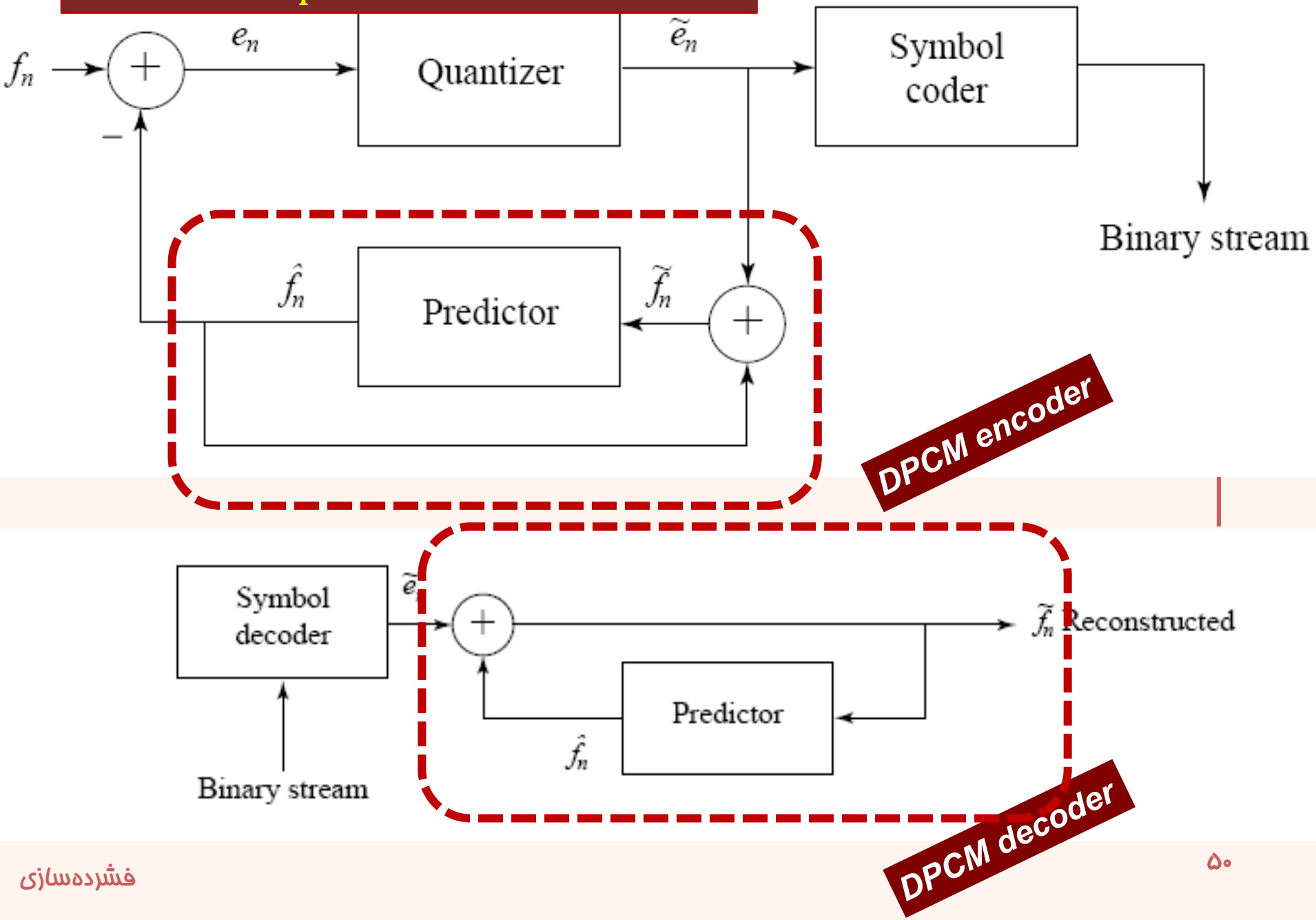
Lossless predictive coding

$n=$	0	1	2	3	4	5
$f(n)=$	100	102	120	120	120	118
$\hat{f}(n)=$	–	100	101	105	109	113
$e(n)=$	–	2	19	15	11	5
$e_Q(n)=$	–	1	4	4	4	3

$err(n)=$ – 1 15 11 7 2



Differential pulse-code modulation



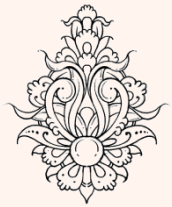
مثال

در این مثال پیش‌بینی بر اساس میانگین دو نماد قبلی صورت می‌گیرد

جدول چندی‌سازی

DPCM quantizer reconstruction levels.

e_n in range	Quantized to value
-255 .. -240	-248
-239 .. -224	-232
.	.
.	.
.	.
-31 .. -16	-24
-15 .. 0	-8
1 .. 16	8
17 .. 32	24
.	.
.	.
.	.
225 .. 240	232
241 .. 255	248



f_1	f_2	f_3	f_4	f_5
130	150	140	200	230

(130+154)/2

پیش‌بینی شده

$$\hat{f} = 130, \quad 130, \quad 142, \quad 144, \quad 167$$

$$e = \quad 0, \quad 20, \quad -2, \quad 56, \quad 63$$

$$\tilde{e} = \quad 0, \quad 24, \quad -8, \quad 56, \quad 56$$

$$\tilde{f} = 130, \quad 154, \quad 134, \quad 200, \quad 223$$

دوباره‌سازی شده