ELC2142 – Сигналдарды цифрлық өңдеу технологиясы

14-дәріс

Кескіндерді қысу әдістері және JPEG стандарты

Жоғалтусыз және жоғалтумен қысу · ИКМ/ДИКМ · ДКТ және энергия шоғырлануы · кванттау · зигзаг · Хаффман · MATLAB

КІРІСПЕ

Дәрістің мақсаты мен жоспары

Мақсат

Кескіндерді қысудың теориялық негіздерін, ИКМ/ДИКМ және түрлендірумен кодтау принциптерін, JPEG стандартының кезеңдерін меңгеріп, сығу коэффициенті мен сапа арасындағы ымыраны сандық бағалай білу.

1. Жоғалтумен және жоғалтусыз қысу, сапа өлшемдері
2. ИКМ және ДИКМ әдістерімен кодтау
3. Түрлендірумен кодтау: ДФТ, Уолш, ДКТ
4. JPEG стандартының кодтау процедурасы
5. MATLAB-та кескіндерді өңдеу және зерттеу

Артықтықты жою: қысу коэффициенті мен сапа

$$K_{\text{с}} = \frac{N_0}{N_1}, \qquad R = \frac{\text{бит}}{\text{пиксель}}$$

$$\text{MSE} = \frac{1}{MN}\sum_{i,\,j}\left(f_{ij} - \hat{f}_{ij}\right)^2, \qquad \text{PSNR} = 10\lg\frac{255^2}{\text{MSE}}$$

$$H = -\sum_i p_i \log_2 p_i \quad \text{— энтропия (жоғалтусыз шек)}$$

Жоғалтусыз

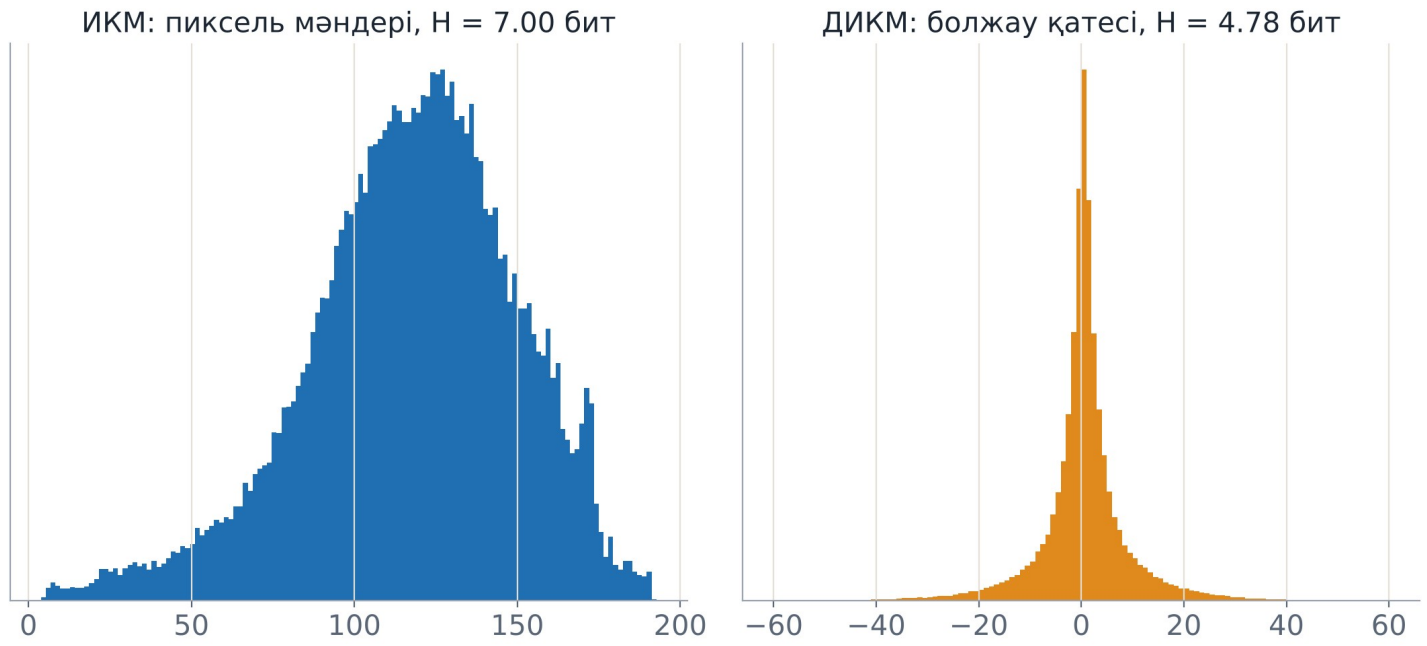
Статистикалық артықтық жойылады (Хаффман, LZW, арифметикалық). Кс ≈ 2…3; медицина, архив, PNG.

Жоғалтумен

Көзге көрінбейтін (психовизуалды) ақпарат жойылады. Кс = 10…40; JPEG, MPEG.

Сапаны бағалау: субъективті (сарапшылар, MOS шкаласы) және объективті (MSE, PSNR). PSNR > 35 дБ — бұрмалану әдетте байқалмайды.

Болжау қатесін кодтау энтропияны азайтады



ДИКМ сұлбасы

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

$$\hat{f} = a_1 f(i,j-1) + a_2 f(i-1,j) + a_3 f(i-1,j-1)$$

Қабылдағышта $f = \hat{f} + e$ қалпына келтіріледі.

7.00 бит	4.78 бит	4.47 бит
ИКМ, пиксель энтропиясы	ДИКМ, 1 көрші бойынша	ДИКМ, 3 көрші (2D)

Энергия шоғырлануы: ДФТ, Уолш, ДКТ

К ең үлкен коэф.	ДФТ, %	Уолш, %	ДКТ, %
1 (тұрақты құраушы)	84.0	84.0	84.0
3	88.4	91.3	93.0
6	92.9	93.9	95.7
10	94.9	95.9	97.0
16 (64-тің ¼-і)	96.8	97.1	98.0

64 коэффициенттің 6-ы ғана энергияның **95.7 %**-ын сақтайды — қалғандарын дөрекі кванттауға болады.

Әдістеме

Сұр кескін 8×8 блоктарға (2072 блок) бөлінді; әр коэффициенттің орташа энергиясы есептеліп, кему ретімен жинақталды.

Неге ДКТ?

Блок шекарасында жұп жалғасу — секіріс жоқ, сондықтан бүйір жиіліктер аз. ДКТ корреляциясы жоғары көздер үшін Карунен–Лоэв түрлендіруіне жақын.

JPEG кодерінің алты кезеңі

1. RGB → YCbCr, 4:2:0
2. 8×8 блоктар, −128 ығысу
3. 2D ДКТ
4. Кванттау Q(u,v) — жоғалту осы жерде
5. Зигзаг, DC — ДИКМ, AC — RLE
6. Хаффман энтропиялық кодтау

$$e(i,j) = f(i,j) - \hat{f}(i,j)$$

$$\hat{f}(i,j) = a_1 f(i,j-1) + a_2 f(i-1,j) + a_3 f(i-1,j-1)$$

$$F(u,v) = \frac{1}{4} C_u C_v \sum_{x=0}^{7} \sum_{y=0}^{7} f(x,y) \cos \frac{(2x+1)u\pi}{16} \cos \frac{(2y+1)v\pi}{16}$$

$$F_Q(u,v) = \text{round}[F(u,v)/Q(u,v)]$$

Декодер

Кері тәртіп: Хаффман → RLE → FQ·Q → кері ДКТ → +128 → YCbCr → RGB. Q(u,v) кестесі файл тақырыбында беріледі.

YCbCr түстік кеңістігі және хроманы сиретү

RGB → YCbCr (ITU-R BT.601)

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$$

$$Cb = 128 - 0.1687R - 0.3313G + 0.5B$$

$$Cr = 128 + 0.5R - 0.4187G - 0.0813B$$

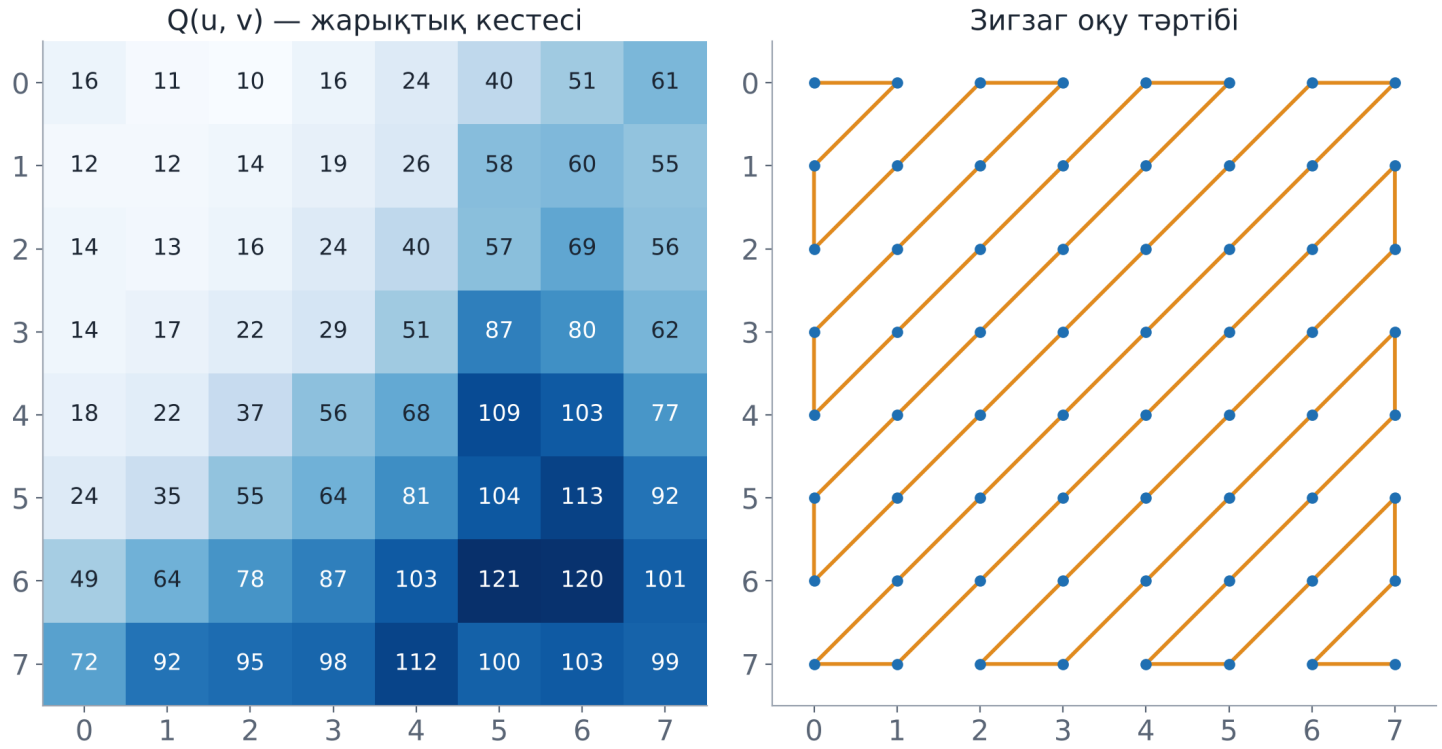
Көз жарықтыққа (Y) түстік айырымға қарағанда сезімталырақ — Cb, Cr-ді дөрекі беруге болады.

Формат	Cb, Cr ажыратымы	бит/пкс
4:4:4	толық	24
4:2:2	көлденең ½	16
4:2:0	көлденең ½, тік ½	12

Нәтиже

4:2:0 сиретудің өзі ДКТ-ға дейін деректерді 2 есе қысады (24 → 12 бит/пкс), ал көрнекі сапа іс жүзінде өзгермейді.

Кванттау кестесі мен коэффициенттерді оқу тәртібі



Q(u,v)

Төменгі жиілікте қадам кіші (16, 11, 10), жоғарыда үлкен (121-ге дейін) — көздің сезімталдығына сәйкес.

Сапа факторы q

$s = 5000/q$ ($q < 50$) немесе $200 - 2q$; $Q' = \lfloor (Q \cdot s + 50)/100 \rfloor$.

Зигзаг нөлдерді тізбекке жинайды → RLE «(нөлдер саны, мән)» жұптары + EOB белгісі.

АНИМАЦИЯ · ДКТ БОЙЫНША ҚАЛПЫНА КЕЛТІРУ

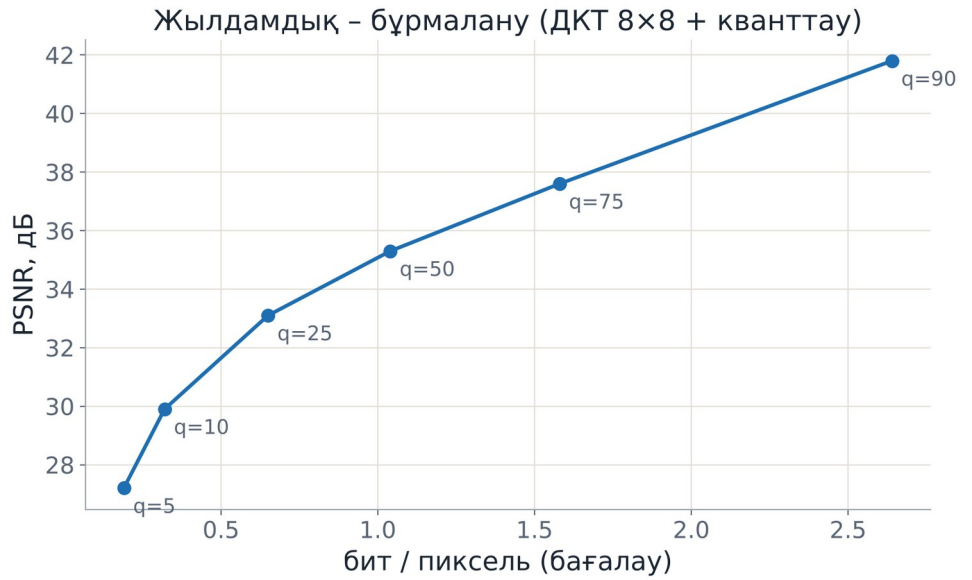
8×8 блокты K коэффициентпен қалпына келтіру

[Interactive web embed — view it in the original presentation]

Байқаңыз: алғашқы 6–10 төменгі жиілікті коэффициент блоктың пішінін толық береді; жоғары жиіліктер тек ұсақ бөлшектерді нақтылайды.

Сапа факторы q қысуды қалай басқарады?

q	бит/пкс	Кс	PSNR, дБ
5	0.19	42.7	27.2
10	0.32	24.7	29.9
25	0.65	12.3	33.1
50	1.04	7.7	35.3
75	1.58	5.0	37.6
90	2.64	3.0	41.8



296×448 сұр кескін; ДКТ 8×8 + JPEG кестесі; бит саны энтропия бойынша бағаланды.

Қорытынды: биттерді екі есе көбейту PSNR-ді ≈ 2…4 дБ өсіреді; q = 50 — Кс ≈ 8 кезінде 35 дБ, тиімді ымыра.

ЗЕРТТЕУ · КӨРНЕКІ САПА

Блоктық артефактілер: q = 5, 25, 90



q = 5: 8×8 блоктар анық көрінеді

q = 25: контур маңында «сақина»

q = 90: түпнұсқадан айырмашылық жоқ

САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ

Кескінді қысу әдістерін салыстыру

Әдіс	Жоғалту	Типтік Кс	Ерекшелігі
ИКМ	жоқ	1	Әр пиксель 8 битпен; эталон
ДИКМ	жоқ / аз	1.5…3	Болжау қатесі кодталады; қарапайым, кідіріссіз
PNG (Deflate)	жоқ	2…3	Сүзгі-болжау + LZ77 + Хаффман
JPEG (ДКТ)	бар	8…25	Блоктық артефактілер, аппаратта кең тараған
JPEG 2000 (DWT)	бар / жоқ	10…40	Блоксыз, масштабталатын, есептеуі ауыр

Таңдау ережесі: дәлдік маңызды (медицина, сызба) — жоғалтусыз; фото және веб — JPEG; жоғары Кс және прогрессивті беру — вейвлет негізіндегі JPEG 2000.

ЕСЕП 1 · ШЕШІМІМЕН

Қысу коэффициенті, PSNR және ДИКМ

Шарты

а) 512×512, 8 бит кескін 32 768 байтқа қысылды, MSE = 6.5. Кс, R және PSNR-ді табыңыз.

ә) Жол: 100, 102, 104, 107, 107, 110. $\hat{f} = f(j-1)$ болжауымен ДИКМ қателерін табыңыз.

Шешуі

а) $N_0 = 512 \cdot 512 \cdot 8 = 2\,097\,152$ бит; $N_1 = 32\,768 \cdot 8 = 262\,144$ бит.

Кс = N_0/N_1 = **8**; R = 262 144 / 262 144 пкс = **1 бит/пкс**.

PSNR = $10 \cdot \lg(255^2/6.5) = 10 \cdot \lg 10\,004$ = **40.0 дБ**.

ә) e = [100], 2, 2, 3, 0, 3 — бірінші мән толық беріледі.

Биттер: 8 + 5·2 = 18 бит (қате 0…3) орнына 6·8 = 48 бит.

ДИКМ бұл жолды 48/18 ≈ 2.7 есе жоғалтусыз қысады.

ЕСЕП 2 · ШЕШІМІМЕН

ДКТ коэффициенттерін кванттау және қалпына келтіру

Шарты

Блоктың төрт ДКТ коэффициенті мен JPEG кестесінің (q = 50) сәйкес қадамдары берілген. FQ = round(F/Q), қалпына келтірілген F′ = FQ·Q және қатені табыңыз.

(u,v)	F	Q	F/Q	FQ	F′ (қате)
(0,0)	−415.4	16	−25.96	−26	−416 (0.6)
(0,1)	−30.2	11	−2.75	−3	−33 (2.8)
(1,0)	−21.9	12	−1.83	−2	−24 (2.1)
(7,7)	2.4	99	0.02	0	0 (2.4)

Түйін

Жоғары жиілікті коэффициент нөлге айналды — RLE оны тегін «жұтады». Әр коэффициенттің қатесі ≤ Q/2, ал төменгі жиіліктерде Q кіші болғандықтан дәлдік жоғары.

Блоктық ДКТ-мен JPEG тәрізді қысуды модельдеу

MATLAB (Image Processing Toolbox)

```
I = im2double(rgb2gray(imread('a.png')));
T = dctmtx(8);
dct = @(b) T*b.data*T';
B = blockproc(I,[8 8],dct);
% BLKPROC — ескі нұсқа
Bq = blockproc(B,[8 8],@(b) ...
round(b.data./Q).*Q);
R = blockproc(Bq,[8 8],@(b) T'*b.data*T);
imwrite(I,'q50.jpg','Quality',50);
p = psnr(R, I);
```

Python (numpy, scipy, Pillow)

```
from scipy.fft import dctn, idctn
X = img[:H,:W] - 128
B = X.reshape(H//8,8,W//8,8)
B = B.transpose(0,2,1,3)
C = dctn(B, axes=(2,3), norm='ortho')
Cq = np.round(C/Q)
R = idctn(Cq*Q, axes=(2,3),
norm='ortho')
Image.fromarray(img).save(
'q50.jpg', quality=50)
```

ЗЕРТХАНАЛЫҚ ТАПСЫРМА

Қысу әдістерін тәжірибелік салыстыру

1. Кескіннің энтропиясын және ДИКМ болжау қатесінің энтропиясын есептеңіз.
2. 8×8 блоктарда ДФТ, Уолш және ДКТ энергия шоғырлануын салыстырыңыз.
3. q = 5…90 үшін JPEG тәрізді кодекпен бит/пкс және PSNR қисығын тұрғызыңыз.
4. Нәтижені imwrite / Pillow-дың нақты JPEG файл өлшемімен салыстырыңыз.
5. 4:4:4 және 4:2:0 түстік сиретудің сапаға әсерін бағалаңыз.

Есепте болуы тиіс

- Гистограммалар мен энтропиялар
- Энергия шоғырлану кестесі
- R–D қисығы
- Артефактілер фрагменттері
- Әдіс таңдау негіздемесі

Қолдану салалары

Цифрлық фото, веб, бейнебайланыс (MPEG/H.26x I-кадрлары), спутниктік телеметрия.

ӨЗІН-ӨЗІ ТЕКСЕРУ

Жылдам тест

1. JPEG-те ақпарат қай кезеңде жоғалады?

А) ДКТ Б) кванттау В) Хаффман

2. ДИКМ-де не кодталады?

А) пиксель мәні Б) болжау қатесі В) ДКТ коэф.

3. Зерттеуде энергияны ең жақсы шоғырлаған?

А) ДФТ Б) Уолш В) ДКТ

4. 4:2:0 форматында бит/пкс?

А) 24 Б) 16 В) 12

5. 512×512×8 бит кескін 32 КБ-қа қысылса, Кс = ?

А) 4 Б) 8 В) 16 Г) 32

Жауаптары: 1 — Б, 2 — Б, 3 — В, 4 — В, 5 — Б

ҚОРЫТЫНДЫ

Дәрістің негізгі тұжырымдары

01 Қысу статистикалық және психовизуалды артықтықты жояды; сапа PSNR және субъективті бағамен өлшенеді.

02 ДИКМ энтропияны 7.0-ден 4.5 битке дейін азайтады — жоғалтусыз қысудың қарапайым жолы.

03 ДКТ 64 коэффициенттің 6-ында энергияның 95.7 %-ын жинайды — JPEG-тің негізі осында.

04 Сапа факторы q = 50 кезінде Kc ≈ 8 және PSNR ≈ 35 дБ; q кемігенде блоктық артефактілер пайда болады.

ТЕРМИНДЕР СӨЗДІГІ

Қазақша — орысша — ағылшынша

Қазақша	Русский	English
Қысу коэффициенті	коэффициент сжатия	compression ratio
Импульстік-кодтық модуляция (ИКМ)	ИКМ	pulse-code modulation (PCM)
Дифференциалдық ИКМ (ДИКМ)	ДИКМ	differential PCM (DPCM)
Дискретті косинустық түрлендіру	дискретное косинусное преобразование	discrete cosine transform
Кванттау кестесі	таблица квантования	quantization table
Зигзаг сканерлеу	зигзагообразное сканирование	zigzag scan
Серия ұзындығымен кодтау	кодирование длин серий	run-length encoding

БЕКІТУ · 14-ДӘРІС

Бақылау сұрақтары

1. Ақпаратты жоғалтумен кескіндерді қысудың мәні неде?
2. Кескін сапасын бағалаудың субъективті және объективті әдістері.
3. ИКМ және ДИКМ әдістерімен кодтау принциптерін түсіндіріңіз.
4. Түрлендіру арқылы кодтау қандай артықшылық береді?
5. JPEG алгоритмінің негізгі қадамдарын атаңыз.
6. Дискретті косинустық түрлендірудің мәні неде?
7. BLKPROC (blockproc) процедурасының рөлі қандай?