

Xử lý ảnh

Chương 6: Nén ảnh số

Biên soạn: Phạm Văn Sự

Bộ môn Xử lý tín hiệu và Truyền thông
Khoa Kỹ thuật Điện tử I
Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông

ver.19a



Notes

Tổng quan về nén ảnh số

Tại sao phải nén ảnh số?

- Cần thiết cho: Lưu trữ; Truyền tải

Nén dữ liệu ảnh là tìm kiếm phương pháp nhằm biểu diễn thông tin ảnh với một lượng dữ liệu nhỏ nhất

Định lý mã hóa thứ nhất của Shannon

Với một nguồn rời rạc không nhớ X , độ dài trung bình từ mã \bar{l} của bất cứ bộ mã nào là kết quả của phép mã hóa không tổn hao không thể nhỏ hơn entropy của nguồn. Nói cách khác

$$\bar{l} \geq H(X)$$

Định lý mã hóa thứ hai của Shannon

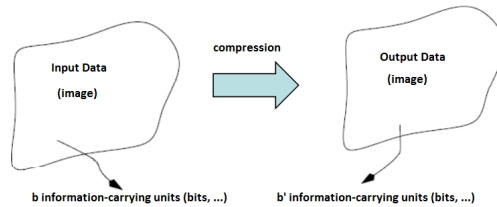
Nếu tốc độ dữ liệu R không vượt quá khả năng thông qua của kênh C' thì có thể xây dựng được phép mã hóa cho phép truyền tin một cách tin cậy qua kênh có nhiễu. Nói cách khác:

$$\text{Nếu } R \leq C' \text{ thì } \exists \mathcal{C} : p_e \rightarrow 0 \text{ khi } l \rightarrow \infty$$

Notes

Tổng quan về nén ảnh số

Một số khái niệm cơ bản: Tỷ số nén, Độ dư thừa dữ liệu tương đối



- Tỷ số nén dữ liệu $C_R = \frac{b}{b'}$
 - ▶ Thường viết $C : 1$
- Độ dư thừa dữ liệu tương đối $R_D = 1 - \frac{1}{C_R}$
 - ▶ Đôi khi viết $R_D \times 100\%$
- Nếu $b = b' \Rightarrow$ Lượng dữ liệu biểu diễn giữ nguyên: $C_R = 1, R_D = 0$
- Nếu $b < b' \Rightarrow$ Lượng dữ liệu biểu diễn được mở rộng (chèn thêm dữ liệu):
 $C_R \rightarrow 0, R_D \rightarrow \infty$
- Nếu $b \gg b' \Rightarrow$ Lượng dữ liệu biểu diễn được giảm nhỏ: $C_R \rightarrow \infty, R_D \rightarrow 0$



Notes

Tổng quan về nén ảnh số

Một số khái niệm cơ bản: Các loại dữ liệu dư thừa trong ảnh số

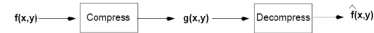
- Ba loại dư thừa dữ liệu chính trong ảnh số:
 - ▶ Dư thừa mã hóa
 - ▶ Dư thừa không gian, thời gian
 - ▶ Những thông tin không thích hợp



Notes

Tổng quan về nén ảnh số

Một số khái niệm cơ bản: Các tiêu chí đánh giá chất lượng



- Các tiêu chí đánh giá khách quan

- ▶ Sai số giữa ảnh gốc và ảnh khôi phục tại điểm (x, y) :

$$e(x, y) = \hat{f}(x, y) - f(x, y)$$

- ★ $e(x, y) = 0 \forall x, y \Rightarrow$ nén không tổn hao

- ▶ Tổng sai số giữa ảnh gốc và ảnh khôi phục: $\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} |\hat{f}(x, y) - f(x, y)|$

- ▶ Sai số trung bình quân phương giữa ảnh gốc và ảnh khôi phục:

$$e_{rms} = \sqrt{\frac{1}{NM} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} [\hat{f}(x, y) - f(x, y)]^2}$$

- ▶ $SNR_{rms} = \frac{\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} \hat{f}^2(x, y)}{\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} [\hat{f}(x, y) - f(x, y)]^2}$

- Các tiêu chí đánh giá chủ quan

- ▶ MOS: $\{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$ tương ứng { rất tồi, tồi, hơi tồi, không thay đổi, hơi tốt hơn, tốt hơn, rất tốt hơn }

Value	Rating	Description
1	Excellent	An image of extremely high quality, as good as you could desire.
2	Fine	An image of high quality, providing enjoyable viewing. Interference is not objectionable.
3	Passable	An image of acceptable quality. Interference is not objectionable.



Biên soạn: Phạm Văn Sư (PTIT)

Xử lý ảnh

ver.19a

5 / 20

5	Inferior	Interference is somewhat objectionable. A very poor image, but you could watch it. Objectionable interference is definitely present.
6	Unusable	An image so bad that you could not watch it.

Tổng quan về nén ảnh số

Phân loại và mô hình hệ thống nén ảnh: Phân loại

- Theo quan điểm bảo toàn thông tin:

- ▶ Nén không tổn hao (lossless data compression)
- ▶ Nén có tổn hao (lossy data compression)

- Theo đặc tính thay đổi:

- ▶ Mã thích nghi (adaptive)
- ▶ Mã không thích nghi (nonadaptive)

- Theo không gian dữ liệu sử dụng:

- ▶ Nén trong miền không gian ảnh
- ▶ Nén trong miền chuyển đổi (tần số, ...)

- Theo phương pháp:

- ▶ RLE (run length encoding)
- ▶ Mã hóa thống kê
- ▶ Mã hóa từ điển
- ▶ Mã hóa chuyển đổi

- Theo mô hình n-user:

- ▶ Tập trung
- ▶ Phân tán

- Theo sự phát triển của lý thuyết:

- ▶ Phương pháp nén thể hệ thứ nhất
- ▶ Phương pháp nén thể hệ thứ hai



Biên soạn: Phạm Văn Sư (PTIT)

Xử lý ảnh

ver.19a

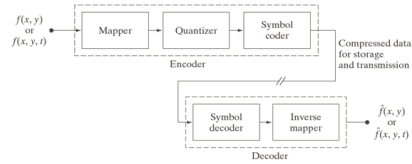
6 / 20

Notes

Notes

Tổng quan về nén ảnh số

Phân loại và mô hình hệ thống nén ảnh: Mô hình hệ thống nén ảnh



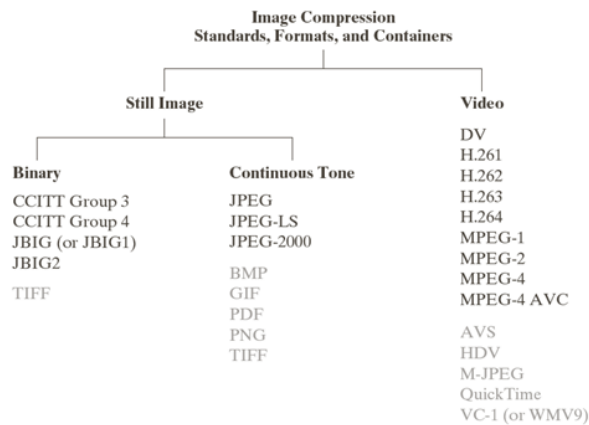
- Mã hóa: thực hiện nén dữ liệu ảnh
 - ➊ Khối ánh xạ (mapper)
 - ★ Phép thuận nghịch (reversible)
 - ➋ Khối lượng tử hóa (quantizer)
 - ★ Phép không thuận nghịch (irreversible) \Rightarrow Không có mặt trong các hệ thống nén không tổn hao
 - ➌ Khối mã hóa ký hiệu (symbol coder)
 - ★ Phép thuận nghịch
 - ★ Thường sử dụng các bộ mã không đều và gán theo nguyên tắc mã hóa tối ưu để giảm nhỏ độ dư thừa mã hóa
- Giải mã: thực hiện giải nén dữ liệu ảnh
 - Thực hiện các thao tác ngược lại của phía mã hóa
 - Khối giải lượng tử là thao tác không thuận nghịch nên trong trường hợp tổng quát không được trình bày



Notes

Tổng quan về nén ảnh số

Một số chuẩn nén cơ bản



Notes

Một số phương pháp nén ảnh cơ bản

Mã hóa Huffman: Tổng quan

- Thuộc lớp mã hóa Entropy, mã hóa nén dữ liệu không tổn hao (lossless data compression)
- Là lớp mã với độ dài từ mã thay đổi (variable-length code)
- Bộ mã thu được là bộ mã có tính prefix.
- Yêu cầu phân bố của nguồn phải biết trước.
- Thuộc dạng thuật toán "Greedy".
- Là thuật toán mã hóa tối ưu.

Định lý

Mã hóa Huffman là mã hóa tối ưu. Nói cách khác, gọi \bar{l}_H là độ dài trung bình từ mã của bộ mã Huffman cho nguồn rời rạc X , \bar{l} là độ dài trung bình từ mã của bộ mã tạo được bởi một phương pháp nào đó, khi đó chúng ta có:

$$\bar{l}_{Huffman} \leq \bar{l}$$

Notes

Một số phương pháp nén ảnh cơ bản

Mã hóa Huffman: Mã hóa

Input: $X = \{x_k\}$ với các xác suất phân bố $p(x_k)$ tương ứng.

$$X = \{x_k\} = \begin{pmatrix} x_1 & x_2 & \dots & x_N \\ p(x_1) & p(x_2) & \dots & p(x_N) \end{pmatrix}$$

Output: Các từ mã nhị phân m_k^l tương ứng với tin x_k

- 1 Khởi động danh sách cây nhị phân có một nút, trọng số các nút là xác suất tương ứng của các tin x_k , sắp xếp danh sách theo một trật tự tăng dần của trọng số
- 2 Thực hiện lặp các bước sau đến khi thu được một nút duy nhất.
 - 1 Tìm hai cây T' và T'' trong danh sách các nút gốc có trọng số tối thiểu p' và p'' . Thay thế chúng bằng một cây có nút gốc có trọng bằng $p' + p''$ và các cây con là T' và T'' .
 - 2 Gán nhãn 0 và 1 trên các nhánh từ gốc mới đến các cây T' và T'' .
 - 3 Sắp xếp danh sách các nút gốc theo thứ tự tăng dần của trọng xác suất.
- 3 Duyệt từ gốc cuối cùng đến nút lá: tổ hợp các bit nhãn trên đường duyệt là các từ mã tương ứng với các tin.

Notes

Một số phương pháp nén ảnh cơ bản

Mã hóa Huffman: Giải mã

Input: Chuỗi mã hóa

Output: Tím dãy tin tương ứng

- ❶ Khởi động, đặt con trỏ P chỉ đến gốc (root) của cây mã hóa Huffman. Gán con trỏ bit b rỗng.
- ❷ Lặp các bước sau đến khi giải mã hết chuỗi mã hóa:
 - ❶ Gán b bằng bit tiếp theo của chuỗi mã.
 - ★ Nếu $b = 0$ dịch con trỏ P theo nhánh có nhãn 0, nếu ngược lại, dịch con trỏ P theo nhánh có nhãn 1.
 - ❷ Nếu P đã chỉ đến nút lá thì ghi ra tin tương ứng với từ cụm mã. Khởi động lại các con trỏ (P chỉ đến gốc, b bằng rỗng)



Notes

Một số phương pháp nén ảnh cơ bản

Mã hóa độ dài chạy: Tổng quan

- \equiv Mã hóa loạt dài chạy, RLE (Run-length Encoding)
- Được phát triển vào những năm 1950
 - ▶ Trở thành tiêu chuẩn nén cho mã truyền tải FAX
- Thực hiện đơn giản, thực thi mã hóa nhanh
 - ▶ Được hỗ trợ bởi hầu hết các định dạng file ảnh nhị phân như BMP, TIFF, PCX, ...
- Đạt được hiệu quả nén bằng cách loại bỏ dạng dư thừa dữ liệu không gian đơn giản
 - ▶ Mã hóa một nhóm các điểm ảnh liên tiếp có cùng giá trị mức xám \rightarrow thường thành 2 bytes: 1 byte đếm, 1 bytes giá trị
 - ★ Một nhóm các điểm ảnh liên tiếp có cùng giá trị mức xám được gọi là một loạt dài chạy
 - ▶ \Rightarrow Không đạt được hiệu quả nén, thậm chí có sự mở rộng (tăng lên) về dữ liệu nếu có quá ít hoặc không có những nhóm điểm ảnh có giá trị mức xám lặp giống nhau
- Không đạt được hiệu quả nén cao như các phương pháp nén khác



Notes

Một số phương pháp nén ảnh cơ bản

Mã hóa từ điển LZW - Tổng quan

- Được Abraham Lempel, Jacob Ziv phát triển và được cải tiến bởi Terry Welch năm 1984
 - ▶ Được gọi là phương pháp mã hóa từ điển LZW
- Thuộc lớp mã hóa không tổn hao
- Thuộc lớp mã hóa thuật toán từ điển
 - ▶ Khai thác đặc tính dư thừa không gian của ảnh để đạt hiệu quả nén
 - ▶ Có khả năng tổ chức từ điển để đạt hiệu quả cao
- Không yêu cầu phải biết trước phân bố của nguồn, thuật toán thích nghi
- Ứng dụng rộng rãi trong thực tế, là cơ sở của nhiều trình tiện ích nén dữ liệu thương mại



Notes

Một số phương pháp nén ảnh cơ bản

Mã hóa từ điển LZW - Thuật toán

Thuật toán mã hóa LZW

Input: Cho trước chuỗi ký tự nguồn $\mathcal{X} = x_1x_2 \dots x_n$ (n rất lớn)

Output: Bảng từ điển cơ bản và dãy mã của chuỗi ký tự nguồn đã cho

- 1 Khởi động bảng từ mã cơ bản khởi đầu
- 2 Lặp cho đến khi toàn bộ ký tự trong chuỗi nguồn được duyệt hết:
 - 1 Tìm kiếm trong chuỗi ký tự nguồn đã cho cụm ký tự tiền tố dài nhất w đã có mặt trong bảng từ điển mã. Nói cách khác, tìm kiếm cụm ký tự tiền tố w dài nhất mà $\mathcal{X} = (w, \mathcal{X}')$
 - 2 Viết từ mã tương ứng với w vào dãy từ mã
 - 3 Cập nhật bảng mã với từ mã mới được tạo thành từ cụm ký tự (w, x_k) , với x_k là ký tự ngay tiếp theo cụm w trong chuỗi ký tự nguồn
 - 4 Cập nhật $\mathcal{X} = \mathcal{X}'$



Notes

Một số phương pháp nén ảnh cơ bản

Mã hóa từ điển LZW - Xây dựng từ điển

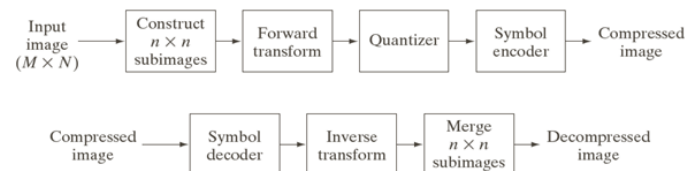
- Bảng từ điển cơ bản:
 - ▶ Độ lớn phụ thuộc vào kích thước ký tự cơ bản của nguồn cần mã hóa
 - ★ Khi bị tràn → Phải khởi động lại và tăng kích thước
 - ★ Là một tham số quan trọng của hệ thống: Quá nhỏ → Ít có khả năng phát hiện các dãy lặp; Quá lớn ⇒ Ảnh hưởng đến hiệu quả nén
 - ▶ Phía giải mã chỉ cần thông tin của bảng từ điển này
 - ▶ Có thể thêm một số mã đặc biệt: CC (Clear Code), EOI (End of Information), ...
- Bảng từ điển mã hóa, giải mã:
 - ▶ Được xây dựng và cập nhật từ bảng mã cơ bản trong quá trình mã hóa, giải mã
 - ★ Cụm ký tự nguồn chưa có mặt trong từ điển được đặt vào từ điển tại vị trí được xác định bằng thuật toán



Notes

Một số phương pháp nén ảnh cơ bản

Mã hóa biến đổi DCT: Hệ thống



- Mã hóa:
 - ▶ Chia ảnh kích thước $M \times N$ → vùng ảnh (khối ảnh) kích thước $n \times n$
 - ▶ Thực hiện phép biến đổi trên các vùng ảnh (khối ảnh)
 - ★ ⇒ Giải tương quan giữa các điểm ảnh; "Đóng gói" thông tin ảnh nhiều nhất vào số lượng ít nhất các hệ số biến đổi
 - ▶ Lượng tử hóa để loại bỏ (giảm nhỏ) các hệ số không quan trọng (mang ít thông tin về ảnh)
 - ★ Đây là khâu tạo ra hiệu ứng nén
- Giải mã:
 - ▶ Là quá trình ngược lại của quá trình mã hóa (ngoại trừ khối lượng tử hóa)



Mã hóa biến đổi DCT là hệ thống mã hóa biến đổi khối trong đó phép biến đổi DCT được lựa chọn

Notes

Một số phương pháp nén ảnh cơ bản

Mã hóa biến đổi DCT: Hàm biến đổi

Cặp biến đổi DCT-IDCT

Một khối ảnh $f(x, y)$ ($n \times n$), $F(u, v) = DCT\{f(x, y)\}$ được xác định:

$$F(u, v) = \sum_{x=0}^{n-1} \sum_{y=0}^{n-1} f(x, y) \alpha(u) \alpha(v) \cos\left(\frac{(2x+1)u\pi}{2n}\right) \cos\left(\frac{(2y+1)v\pi}{2n}\right)$$

$$\text{trong đó } \alpha(u) = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{n}} & \text{với } u = 0 \\ \sqrt{\frac{2}{n}} & \text{với } u = 1, 2, \dots, n-1 \end{cases} \text{ và}$$

$$\alpha(v) = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{n}} & \text{với } v = 0 \\ \sqrt{\frac{2}{n}} & \text{với } v = 1, 2, \dots, n-1 \end{cases}$$

Và khối ảnh $f(x, y)$ có thể được khôi phục từ $F(u, v)$ thông qua phép biến đổi ngược, $f(x, y) = IDCT\{F(u, v)\}$, được xác định:

$$f(x, y) = \sum_{u=0}^{n-1} \sum_{v=0}^{n-1} F(u, v) \alpha(u) \alpha(v) \cos\left(\frac{(2x+1)u\pi}{2n}\right) \cos\left(\frac{(2y+1)v\pi}{2n}\right)$$

Biên soạn: Phạm Văn Sự (PTIT)

Xử lý ảnh

ver.19a 17 / 20

- Ưu điểm của DCT:

- Cho phép giảm nhiễu sai số trung bình bình phương

Một số phương pháp nén ảnh cơ bản

Mã hóa biến đổi DCT: Lượng tử hóa

- Có 3 cách cơ bản phân ngưỡng:

- Sử dụng một ngưỡng toàn cục
 - Mỗi khối ảnh một ngưỡng xác định
 - Ngưỡng thay đổi theo vị trí các hệ số trong khối ảnh

Kết hợp giữa phân ngưỡng và lượng tử hóa: $\hat{F}(u, v) = \text{round}\left(\frac{F(u, v)}{Z(u, v)}\right)$

- $Z(u, v)$ phần tử của ma trận chuẩn hóa biến đổi (còn gọi là ma trận lượng tử hóa)



Biên soạn: Phạm Văn Sự (PTIT)

Xử lý ảnh

ver.19a 18 / 20

Notes

Notes

Một số phương pháp nén ảnh cơ bản

Mã hóa biến đổi DCT: Chuẩn nén JPEG - Tổng quan

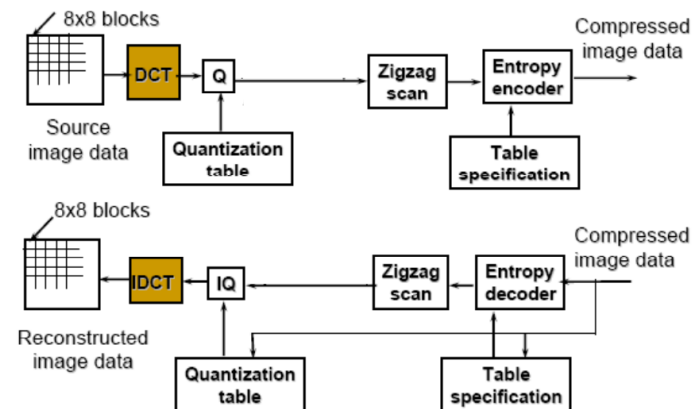
- JPEG (Joint Photographic Expert Group) là một định dạng nén ảnh chuẩn Quốc tế được công nhận năm 1990
 - ▶ Chủ yếu dùng cho ảnh đa mức xám, hoặc ảnh màu
- JPEG kết hợp cả kỹ thuật nén tổn hao và nén không tổn hao
 - ▶ Đạt hiệu quả nén tốt với ảnh kỹ thuật số thông thường
- Duyệt mã hóa theo đường zig-zag
 - ▶ Sắp xếp các thành phần tần số tăng dần



Notes

Một số phương pháp nén ảnh cơ bản

Mã hóa biến đổi DCT: Chuẩn nén JPEG



Notes
