



(12) **BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ**

(19) **Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)**
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ

(11) 
1-0020266

(51)⁷ **G06T 3/40**

(13) **B**

(21) 1-2014-02183

(22) 11.01.2013

(86) PCT/EP2013/050466 11.01.2013

(87) WO2013/104747 18.07.2013

(30) 12305046.0 12.01.2012 EP

(45) 25.01.2019 370

(43) 25.09.2014 318

(73) THOMSON LICENSING (FR)

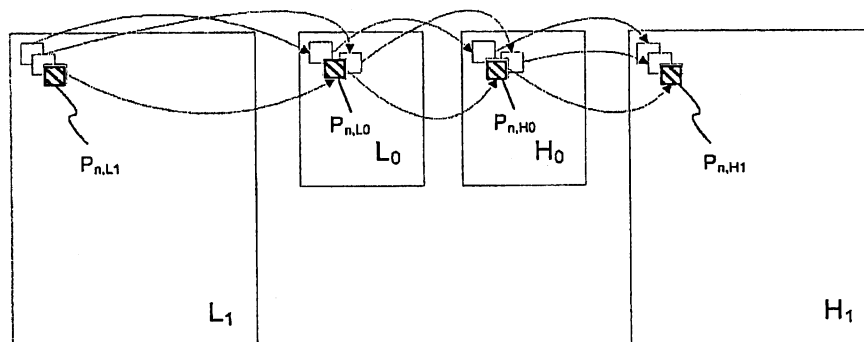
1-5 rue Jeanne d'Arc, F-92130 Issy-les-Moulineaux, France

(72) SALVADOR, Jordi (ES), KOCHALE, Axel (DE), BORSUM, Malte (DE)

(74) Công ty Luật TNHH T&G (TGVN)

(54) **PHƯƠNG PHÁP VÀ THIẾT BỊ TẠO RA PHIÊN BẢN SIÊU PHÂN GIẢI CỦA CẤU TRÚC DỮ LIỆU ĐẦU VÀO ĐỘ PHÂN GIẢI THẤP**

(57) Sáng chế đề cập đến phương pháp để cải thiện độ phân giải của các tín hiệu đa chiều được lấy mẫu một cách đều đặn, trong đó một tín hiệu độ phân giải thấp là khả dụng. Các phương pháp này nói chung được gọi là phương pháp siêu phân giải dựa trên mẫu hoặc phương pháp siêu phân giải ảnh đơn. Phương pháp siêu phân giải ảnh đơn bao gồm ba bước. Bước thứ nhất, thực hiện việc nâng cấp dựa trên nội suy của ảnh đầu vào, sau đó là thao tác lọc thông thấp tương đương trên ảnh độ phân giải thấp. Bước thứ hai bao gồm việc tìm kiếm các mảng phù hợp tần số thấp giữa mảng được kiểm tra trong ảnh độ phân giải cao và các mảng lân cận cục bộ trong ảnh tần số thấp độ phân giải thấp, bao gồm các mảng xếp chồng một phần, và tích lũy phần góp tần số cao thu được từ ảnh độ phân giải thấp. Bước thứ ba bao gồm việc cộng các phần góp của băng tần số thấp của ảnh độ phân giải cao và băng tần số cao được ngoại suy.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến phương pháp tạo ra phiên bản siêu phân giải của cấu trúc dữ liệu đầu vào độ phân giải thấp, và đề cập đến thiết bị tương ứng.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Việc xử lý siêu phân giải (Super resolution - SR) đã được biết đến như là sự cải thiện độ phân giải của các tín hiệu đa chiều được lấy mẫu một cách đều đặn. Đặc biệt quan tâm đến trường hợp mà chỉ tín hiệu độ phân giải thấp là khả dụng. Có sự khác biệt đáng kể khi một tín hiệu độ phân giải thấp là khả dụng hay nhiều tín hiệu độ phân giải thấp giống nhau, do trong trường hợp thứ hai có thể sử dụng nhiều giá trị dữ liệu bằng cách kết hợp các phần góp của một vài tín hiệu khả dụng. Trong tài liệu xử lý ảnh, các phương pháp này nói chung được gọi là siêu phân giải dựa trên mẫu hoặc, cụ thể hơn là, siêu phân giải ảnh đơn. Mặc dù các lưu ý sau đây là tổng quát và có thể được áp dụng cho các tín hiệu có chiều khác nhau, phần sau đây sẽ tập trung vào trường hợp của việc siêu phân giải ảnh 2D.

Các kỹ thuật siêu phân giải ảnh đã được biết đến rộng rãi trong nhiều năm, bắt đầu với kỹ thuật nêu trong tài liệu "Super Resolution from Image Sequences" của M. Irani và S. Peleg. Hầu hết, các kỹ thuật này đề cập đến việc đánh giá ảnh có độ phân giải cao, được đưa ra tập của nhiều, mờ, các quan sát độ phân giải thấp, như các ảnh liên tiếp trong chuỗi video, nhờ sử dụng xử lý khôi phục mà ngược với mô hình tạo ảnh. Do đó, chuyển động điểm ảnh con giữa các ảnh, camera và xử lý làm mờ sau và lấy mẫu con được đảo ngược để tạo thành dữ liệu khả dụng và thu được ảnh được siêu phân giải. Một vài kỹ thuật lặp lại tối ưu tổng thể là khả dụng, mà về cơ bản khác nhau trong mô hình ảnh được giả thiết trước. Điều này đưa ra giải pháp duy nhất đối với vấn đề gây ra.

Nói chung, các yếu tố hạn chế của các kỹ thuật này là ở việc đánh giá của hàm trải điểm (Point Spread Function - PSF) để giải mờ ảnh (thường được giả thiết là Gaussian) và ghi (việc xác định của chuyển động điểm ảnh con giữa các ảnh). Nói

chung, các kỹ thuật SR trong, ví dụ ẩn phẩm: Lucas-Kanade hoặc Horn-Schunck, liên quan đến các kỹ thuật đánh giá dòng quang (Optical Flow - OF) cổ điển để thu được việc ghi. Các kỹ thuật này hoạt động tốt trong các mẫu gần như tổng hợp, nhưng trong thực tế các giải pháp đã biết trong đánh giá OF không thể ghi một cách chắc chắn các khung liên tiếp trong chuỗi video với độ chính xác đầy đủ khi nhiều chuyển động chung hơn xuất hiện.

Trong ẩn phẩm: "Fundamental Limits of Reconstruction-Based Superresolution Algorithms under Local Translation", của tác giả Z. Lin và H.-Y. Shum chỉ ra rằng, trong nhiều điều kiện tự nhiên, loại khôi phục dựa trên các thuật toán SR này có giới hạn cơ bản trong việc nâng cao tối đa độ phân giải là xung quanh 1,6x. Tuy nhiên, ẩn phẩm này chứng minh rằng, trong các trường hợp tổng hợp, mà thường được khảo sát trong hầu hết các công bố sẵn có, giới hạn lỏng hơn tồn tại, mà cho phép nâng cao độ phân giải đến tối đa 5,7x. Điều này là do các điều kiện ưu tiên đối với việc ghi, khi các dịch chuyển điểm ảnh con nói chung là các phân số chính xác của kích cỡ điểm ảnh.

Loại thuật toán SR khác cố gắng nâng cao độ phân giải của các ảnh bằng cách gia tăng thích hợp dữ liệu trực quan đầu vào (các ảnh độ phân giải thấp) với các mẫu đã biết trước có độ phân giải cao hơn. Các kỹ thuật này thường được gọi là mẫu dựa trên siêu phân giải (example-based super-resolution - EBSR). Trong ẩn phẩm "Example-based super-resolution", tác giả W.T. Freeman, T.R. Jones và E.C. Pasztor thu được các mẫu độ phân giải cao thích hợp từ cơ sở dữ liệu mảng ảnh chung một cách đầy đủ, các nội dung tần số cao của nó được lấy trung bình và được kết hợp một cách thích hợp với các nội dung tần số thấp của ảnh đầu vào. Tuy nhiên, hiệu quả của thuật toán trở nên xấu đi do cảnh đích đi chệch khỏi các trường hợp được chứa trong cơ sở dữ liệu ví dụ (khi không có các mảng đã biết thực tế tương tự như của ảnh đầu vào). Thực tế, việc mở rộng kích cỡ của cơ sở dữ liệu sẽ nảy sinh chi phí tính toán quá mức trong việc tìm kiếm các mảng huấn luyện khớp nhất. Vì vậy, kỹ thuật này nói chung không được sử dụng, nhưng được tập trung vào các ảnh siêu phân giải của lớp nào đó.

Để giải quyết vấn đề này và thao tác một cách thích hợp với các nội dung cần được khuếch đại, các thuật toán EBSR khác trích các mẫu độ phân giải cao từ trong

một ảnh đầu vào, mà để biểu diễn hình chóp của ảnh tại các độ phân giải khác nhau có thể thu được tại các hệ số hạ cấp nhỏ. Sau đó, đối với mỗi mảng (ví dụ các điểm ảnh 5×5) trong ảnh đầu vào, các mảng khớp nhau được tìm kiếm trong suốt tất cả hoặc một phần của ảnh tại các độ phân giải khác nhau (các mức trong hình chóp) để thực hiện việc kết hợp dữ liệu dựa trên mảng tương tự việc khôi phục dựa trên siêu phân giải. Kỹ thuật này được biểu diễn tốt nhất bởi kỹ thuật nêu trong tài liệu "Super-Resolution from a Single Image" của D. Glasner, S. Bagon và M. Irani, và "Space-Time Super-Resolution from a Single Video" của O. Shahar, A. Faktor và M. Irani, mà là sự tiếp tục đối với siêu phân giải video. Các tác giả thu được việc tăng đồng thời của độ phân giải ảnh và tốc độ khung, bao gồm loại bỏ méo gập theo thời gian, có chi phí tăng của độ phức tạp tính toán do việc tìm kiếm không gian-thời gian 3D trong suốt các khung video tại một vài tỷ lệ không gian và thời gian. Điều này làm cho phương pháp này không thể sử dụng để thao tác thời gian thực với các khả năng tính toán hiện tại. Phương pháp này cũng được sử dụng trong WO2010/122502 A1.

Các phương pháp đã biết khác cũng có giá thành cao và nói chung không được chỉ dẫn cho các phương pháp thời gian thực, hoặc có xu hướng tạo ra các đường viền mà nhìn không thực do gây ra sự tương phản quá mức, hoặc có xu hướng tạo ra sự trơn bằng quá mức trong các vùng kết cấu, mà trong trường hợp chung tạo ra các ảnh nhìn không tự nhiên.

Trong tài liệu "Image và Video Upscaling from Local Self-Examples" của G. Freedman và R. Fattal, chiến lược được đề xuất là sử dụng tính tự đồng dạng trong lân cận cục bộ của mỗi mảng ảnh. Điều này được thể hiện để mang lại các kết quả giống như các tìm kiếm toàn ảnh được sử dụng trong tài liệu "Super-Resolution from a Single Image", với ưu điểm của thời gian tính toán được làm giảm. Nhược điểm của phương pháp này đó là thiết kế có độ phức tạp cao của các bộ lọc biến thiên không gian được sử dụng để tách biệt tần số cao từ tần số thấp trong các ảnh không được thực hiện khi cần thiết, dẫn đến tập bị giới hạn của các hệ số nâng cấp có thể lựa chọn.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Sáng chế giải quyết ít nhất một vài vấn đề nêu trên. Sáng chế đề cập đến phương pháp cải thiện độ phân giải của các tín hiệu đa chiều được lấy mẫu đều đặn,

trong đó một tín hiệu độ phân giải thấp là khả dụng. Trong tài liệu xử lý ảnh, các phương pháp này nói chung được gọi là siêu phân giải dựa trên mẫu hoặc, cụ thể hơn là, siêu phân giải ảnh. Mặc dù phương pháp được bộc lộ ở đây là tổng quát và có thể được áp dụng tới các tín hiệu có các chiều khác nhau, phần sau đây sẽ tập trung vào trường hợp của siêu phân giải ảnh 2D.

Theo sáng chế, việc siêu phân giải ảnh đơn bao gồm ba bước. Đầu tiên, việc nâng cấp ảnh dựa trên nội suy của ảnh đầu vào được thực hiện, theo sau bởi thao tác lọc thông thấp tương đương trên ảnh độ phân giải thấp. Bước thứ hai bao gồm việc tìm kiếm các mảng phù hợp tần số thấp giữa mảng được kiểm tra trong ảnh độ phân giải cao và các mảng trong lân cận cục bộ trong ảnh tần số thấp độ phân giải thấp (bao gồm các mảng xếp chồng một phần), và tích lũy phần góp tần số cao tương ứng thu được từ ảnh độ phân giải thấp. Bước thứ ba bao gồm cộng các phần góp của băng tần số thấp của ảnh độ phân giải cao và băng tần số cao được ngoại suy.

Về nguyên tắc, phương pháp tạo phiên bản siêu phân giải của cấu trúc dữ liệu đầu vào số độ phân giải thấp S_0 theo sáng chế bao gồm các bước nâng cao và lọc thông thấp cấu trúc dữ liệu đầu vào số độ phân giải thấp S_0 để thu được phần tần số thấp L_1 của cấu trúc dữ liệu độ phân giải cao được nâng cấp, và tách biệt cấu trúc dữ liệu đầu vào số độ phân giải thấp S_0 thành phần tần số thấp L_0 và phần tần số cao H_0 . Phần tần số cao $H_{1,init}$ của cấu trúc dữ liệu độ phân giải cao được nâng cấp được tạo ra, mà là trống lúc khởi tạo. Tiếp theo, đối với mỗi mảng của phần tần số thấp L_1 của cấu trúc dữ liệu độ phân giải cao được nâng cấp, khối khớp nhất trong phần tần số thấp L_0 của cấu trúc dữ liệu đầu vào số độ phân giải thấp được tìm kiếm, và khối tương ứng của nó trong phần tần số cao H_0 của cấu trúc dữ liệu đầu vào số độ phân giải thấp được xác định. Khối được xác định từ phần tần số cao H_0 của cấu trúc dữ liệu đầu vào số độ phân giải thấp sau đó được cộng vào phần tần số cao $H_{1,acc}$ của cấu trúc dữ liệu độ phân giải cao được nâng cấp, tại vị trí mà mảng nêu trên trong phần tần số thấp L_1 của cấu trúc dữ liệu độ phân giải cao được nâng cấp có. Cuối cùng, phần tần số cao kết quả $H_{1,acc}$ của cấu trúc dữ liệu độ phân giải cao được nâng cấp được chuẩn hóa là giá trị trung bình của các điểm ảnh phần góp, và, trong một phương án, được lọc thông cao. Phần tần số cao được lọc thông cao, được chuẩn hóa H_1 của cấu trúc dữ liệu độ phân giải cao được nâng cấp được cộng vào phần tần số thấp L_1 của cấu trúc dữ liệu độ phân

giải cao được nâng cấp, mà thu được phiên bản siêu phân giải được cải thiện S_1 của cấu trúc dữ liệu đầu vào số độ phân giải thấp S_0 .

Cần lưu ý rằng để có thể đọc được dễ dàng hơn, thuật ngữ "khối" được sử dụng ở đây cho nhóm của các giá trị lân cận trong cấu trúc dữ liệu độ phân giải thấp, trong khi thuật ngữ "mảng" được sử dụng cho nhóm của các giá trị lân cận trong cấu trúc dữ liệu độ phân giải cao. Tuy nhiên, khối và mảng có cùng kích cỡ (tức là số lượng và dạng của các giá trị lân cận) và về cơ bản là giống nhau.

Sáng chế cũng đề cập đến thiết bị để thực hiện xử lý siêu phân giải của cấu trúc dữ liệu đầu vào độ phân giải thấp S_0 của dữ liệu số, bao gồm bộ lọc thông thấp thứ nhất $F_{1,0}$ để lọc cấu trúc dữ liệu đầu vào S_0 , trong đó cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp L_0 thu được, bộ trừ (ví dụ, bộ cộng, bộ trừ, bộ so sánh hoặc bộ vi sai) để tính toán độ chênh lệch giữa cấu trúc dữ liệu đầu vào S_0 và cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp L_0 , nhờ đó cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số cao H_0 được tạo ra, bộ nâng cấp để nâng cấp cấu trúc dữ liệu đầu vào S_0 , bộ lọc thông thấp thứ hai $F_{1,1}$ để lọc cấu trúc dữ liệu đầu vào được nâng cấp, trong đó cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số thấp L_1 thu được, bộ xác định thứ nhất để xác định trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số thấp L_1 mảng thứ nhất tại vị trí thứ nhất, bộ tìm kiếm để tìm kiếm trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp L_0 khối thứ nhất mà khớp nhất với mảng thứ nhất, và bộ xác định thứ hai để xác định vị trí của khối thứ nhất nêu trên trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp L_0 , bộ lựa chọn để lựa chọn khối thứ hai trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số cao H_0 tại vị trí được xác định (tức là, tại vị trí mà được xác định cho khối thứ nhất trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp L_0), bộ tích lũy để tích lũy (ví dụ, bổ sung) dữ liệu điểm ảnh của khối thứ hai được lựa chọn vào mảng thứ hai, mảng thứ hai là mảng trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao tại vị trí thứ nhất, bộ điều khiển để điều khiển việc lặp lại của xử lý đối với các mảng trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số thấp L_1 và $H_{1,acc}$, bộ chuẩn hóa để chuẩn hóa (tức là lấy trung bình) các giá trị điểm ảnh được tích lũy trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao, nhờ đó cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao được chuẩn hóa H_1 thu được, và bộ kết hợp để kết hợp (ví dụ, cộng) cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao được chuẩn hóa H_1 với cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số thấp L_1 , nhờ đó cấu trúc dữ liệu được siêu phân giải S_1 thu được. Cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao ($H_{1,acc}$) là trống lúc khởi

tạo. Theo phương án của sáng chế, việc chuẩn hóa bao gồm, đối với điểm ảnh hiện tại, chia giá trị được tích lũy của điểm ảnh hiện tại cho số lượng điểm ảnh mà được đóng góp vào giá trị được tích lũy của điểm ảnh hiện tại.

Sáng chế cũng đề cập đến vật ghi đọc được bằng máy tính có các lệnh có thể chạy được để làm cho máy tính thực hiện phương pháp thực hiện xử lý siêu phân giải của cấu trúc dữ liệu đầu vào độ phân giải thấp S_0 của dữ liệu số, bao gồm các bước lọc cấu trúc dữ liệu đầu vào S_0 bởi bộ lọc thông thấp thứ nhất, trong đó cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp L_0 thu được,

tính toán độ chênh lệch giữa cấu trúc dữ liệu đầu vào S_0 và cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp L_0 , nhờ đó cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số cao H_0 được tạo ra, nâng cấp cấu trúc dữ liệu đầu vào S_0 , và lọc cấu trúc dữ liệu đầu vào được nâng cấp bởi bộ lọc thông thấp thứ hai, trong đó cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số thấp L_1 thu được,

xác định trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số thấp L_1 mảng thứ nhất tại vị trí thứ nhất, tìm kiếm trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp L_0 khối thứ nhất mà khớp nhất với mảng thứ nhất, và xác định vị trí của khối thứ nhất nêu trên trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp L_0 , lựa chọn khối thứ hai trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số cao H_0 tại vị trí được xác định (tức là, vị trí mà được xác định cho khối thứ nhất trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp L_0), tích lũy (tức là bổ sung) dữ liệu điểm ảnh của khối thứ hai được lựa chọn vào mảng thứ hai, mảng thứ hai là mảng trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao tại vị trí thứ nhất, trong đó cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao là trống lúc khởi tạo,

lặp lại các bước xác định mảng mới trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số thấp L_1 , tìm kiếm trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp L_0 khối mà khớp nhất với mảng được lựa chọn, lựa chọn khối tương ứng trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số cao H_0 và tích lũy dữ liệu điểm ảnh của khối tương ứng được lựa chọn vào mảng trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao tại vị trí của mảng mới nêu trên,

chuẩn hóa (tức là, lấy trung bình) các giá trị điểm ảnh được tích lũy trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao, nhờ đó cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao được chuẩn hóa H_1 thu được, và cộng cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao

được chuẩn hóa H_1 vào cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số thấp L_1 , nhờ đó cấu trúc dữ liệu được siêu phân giải S_1 thu được.

Ưu điểm của sáng chế đó là có thể tạo ra sự biểu diễn độ phân giải cao hơn của bất kỳ cấu trúc dữ liệu đầu vào số 1D, 2D hoặc 3D (ví dụ, bất kỳ ảnh số) với (trong ít nhất một phương án) bất kỳ hệ số nâng cấp ảnh không phải số nguyên mong muốn. Ngoài ra, điều này được thực hiện theo cách chung, không phụ thuộc vào việc đưa ra của ảnh bất kỳ trước, với giả thiết rằng ảnh này phải thể hiện tính tự đồng dạng cục bộ tại các mức độ phân giải khác nhau. Điều này được chứng minh để thu được đối với các ảnh chung.

Ưu điểm khác của sáng chế đó là, do việc tự lấy trung bình được sử dụng, sẽ thu được ít nhiễu hơn trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp so với các phương pháp thông thường. Ưu điểm nữa của sáng chế đó là nó làm việc với ảnh đơn, nhưng ưu điểm là không yêu cầu cơ sở dữ liệu, bảng mã hoặc loại tương tự, và không có bất kỳ sự huấn luyện hoặc dữ liệu huấn luyện, trong khi các phương pháp xử lý ảnh đơn thông thường yêu cầu cơ sở dữ liệu được huấn luyện để truy lại các mẫu tần số cao.

Các phương án ưu điểm của sáng chế được bộc lộ trong các điểm yêu cầu bảo hộ phụ thuộc, phần mô tả sau đây và hình vẽ.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Các phương án lấy làm ví dụ của sáng chế được mô tả có viện dẫn tới các hình vẽ kèm theo, trong đó

Fig.1 là lưu đồ của phương pháp thực hiện xử lý siêu phân giải;

Fig.2 thể hiện việc tổng hợp của băng tần số cao của ảnh được siêu phân giải bằng việc ngoại suy của thông tin tần số cao của các mảng giống nhau tại tỷ lệ độ phân giải gốc;

Fig.3 thể hiện việc sử dụng và các vị trí ví dụ của cửa sổ tìm kiếm;

Fig.4 thể hiện việc lựa chọn của các mảng liên tiếp trong cấu trúc dữ liệu đầu vào 2D, bao gồm các phần xếp chồng, và nguyên tắc xác định khối phù hợp đối với các mảng liên tiếp;

Fig.5 thể hiện việc lựa chọn của các mảng liên tiếp trong cấu trúc dữ liệu đầu vào 1D, bao gồm các phần xếp chồng, và nguyên tắc xác định khối phù hợp đối với các mảng liên tiếp;

Fig.6 thể hiện việc tạo thành của băng tần số thấp được nâng cấp L_1 của ảnh độ phân giải cao và phép phân tích hai băng (L_0, H_0) của ảnh đầu vào độ phân giải thấp S_0 ;

Fig.7 là sơ đồ khối theo khái niệm của xử lý tổng hợp băng tần số cao H_1 của ảnh được siêu phân giải;

Fig.8 thể hiện việc kết hợp của băng tần số thấp được nội suy L_1 và băng tần số cao được ngoại suy H_1 để tạo ra ảnh được siêu phân giải S_1 ;

Fig.9 là sơ đồ khối của thiết bị;

Fig.10 thể hiện phổ của ảnh được nâng cấp theo sáng chế, so với phổ của ảnh được nâng cấp thông thường; và

Fig.11 thể hiện ba bước xử lý theo nguyên tắc của sáng chế.

Mô tả chi tiết sáng chế

Fig.1 thể hiện, theo phương án của sáng chế, lưu đồ của phương pháp thực hiện xử lý siêu phân giải của cấu trúc dữ liệu đầu vào độ phân giải thấp S_0 của dữ liệu 1D, 2D hoặc 3D số. Trong phương án này, phương pháp này bao gồm các bước lọc 170 cấu trúc dữ liệu đầu vào S_0 bởi bộ lọc thông thấp thứ nhất $F_{1,0}$, trong đó cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp L_0 thu được,

tính toán trong bộ cộng/bộ trừ 180 độ chênh lệch giữa cấu trúc dữ liệu đầu vào S_0 và cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp L_0 , nhờ đó cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số cao H_0 được tạo ra,

nâng cấp 120 cấu trúc dữ liệu đầu vào S_0 , và lọc 130 cấu trúc dữ liệu đầu vào được nâng cấp bởi bộ lọc thông thấp thứ hai $F_{1,1}$, trong đó cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số thấp L_1 thu được,

xác định trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số thấp L_1 mảng thứ nhất $P_{n,L1}$ tại vị trí thứ nhất,

tìm kiếm 151, 152, 154 trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp L_0 khối thứ nhất $B_{n,L0}$ mà khớp nhất với mảng thứ nhất $P_{n,L1}$, và xác định vị trí của khối thứ nhất nêu trên $B_{n,L0}$ trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp L_0 ,

lựa chọn 155 khối thứ hai $B_{n,H0}$ trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số cao H_0 tại vị trí được xác định, tích lũy 157 các giá trị dữ liệu (ví dụ, dữ liệu điểm ảnh) của khối thứ hai được lựa chọn $B_{n,H0}$ vào mảng thứ hai $P_{n,H1}$, mảng thứ hai là mảng trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao $H_{1,acc}$ tại vị trí thứ nhất (mà được xác định nêu trên đối với mảng thứ nhất $P_{n,L1}$),

lặp lại 150 các bước xác định mảng mới $P_{n,L1}$ trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số thấp L_1 , tìm kiếm 151, 152, 154 trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp L_0 khối $B_{n,L0}$ mà khớp nhất với mảng được lựa chọn $P_{n,L1}$, lựa chọn 155 khối tương ứng $B_{n,H0}$ trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số cao H_0 và tích lũy 157 dữ liệu điểm ảnh của khối tương ứng được lựa chọn $B_{n,H0}$ vào mảng $P_{n,H1}$ trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao $H_{1,acc}$ tại vị trí của mảng mới nêu trên $P_{n,L1}$, và

chuẩn hóa 190 các giá trị điểm ảnh được tích lũy trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao $H_{1,acc}$, nhờ đó cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao được chuẩn hóa H_1 thu được. Cuối cùng, cấu trúc dữ liệu được siêu phân giải S_1 thu được bằng cách cộng cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao được chuẩn hóa H_1 vào cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số thấp L_1 .

Trong một vài phương án, cấu trúc dữ liệu đầu vào được nâng cấp sau bước lọc 130 bởi bộ lọc thông thấp thứ hai $F_{1,1}$ được hạ cấp 140 bởi hệ số hạ cấp d , với $n > d$. Do đó, tổng hệ số nâng cấp không phải số nguyên n/d thu được đối với cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số thấp L_1 . Cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao $H_{1,init}$ (hoặc H_1 một cách tương ứng) có cùng kích cỡ như cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số thấp L_1 . Kích cỡ của H_1 có thể được xác định trước, hoặc thu được từ L_1 . H_1 được khởi tạo trong bước khởi tạo 160 là cấu trúc dữ liệu trống $H_{1,init}$ có kích cỡ này.

Fig.2 thể hiện nguyên tắc tổng hợp băng tần số cao H_1 của ảnh được siêu phân giải (tức là độ phân giải cao) bằng việc ngoại suy của thông tin tần số cao của các mảng giống nhau tại tỷ lệ phân giải gốc H_0 . Lưu ý rằng, nếu trong phần mô tả sau đây đối với các Fig. từ 2 đến 7 cấu trúc dữ liệu độ phân giải cao tần số cao H_1 được đề cập,

thực tế có nghĩa là cấu trúc dữ liệu độ phân giải cao tần số cao không được chuẩn hóa, không được lọc $H_{1,acc}$.

Băng tần số thấp của ảnh độ phân giải cao L_1 đầu tiên được chia thành các mảng nhỏ $P_{n,L1}$ (ví dụ, các điểm ảnh 5×5) với sự xếp chồng nào đó. Sự lựa chọn của lượng xếp chồng ảnh hưởng tới khả năng chống nhiễu tần số cao (trong trường hợp nhiều phần xếp chồng hơn) và tốc độ tính toán (trong trường hợp ít phần xếp chồng hơn). Theo một phương án, phần xếp chồng từ 20 đến 30% trong mỗi chiều được lựa chọn, tức là đối với các mảng lân cận có 5 giá trị, 2 giá trị xếp chồng chẳng hạn. Trong các phương án khác, phần xếp chồng là cao hơn, ví dụ, từ 30 đến 40%, từ 40 đến 50%, gần 50% (ví dụ, từ 45 đến 55%) hoặc tối đa 90%. Đối với phần xếp chồng dưới 20% của kích cỡ mảng, hiệu quả được mô tả dưới đây của sáng chế thường là thấp.

Như được đề cập nêu trên và còn được mô tả dưới đây, băng tần số cao cuối cùng H_1 thu được sau khi chuẩn hóa bởi số lượng mảng đóng góp vào mỗi điểm ảnh, do đó thu được giá trị trung bình. Phần xếp chồng giữa các mảng càng lớn, khả năng chống nhiễu đối với nhiễu tần số cao gây ra từ xử lý ngoại suy tần số cao càng tốt, và nhiều giá trị hơn được tích lũy.

Sau đó, đối với mỗi mảng độ phân giải cao tần số thấp $P_{n,L1}$, sự khớp nhất về mặt độ chênh lệch tuyệt đối trung bình (mean absolute difference - MAD, được biết từ việc đánh giá chuyển động) thu được sau sự tìm kiếm toàn diện trong cửa sổ tìm kiếm cục bộ (ví dụ các điểm ảnh 11×11) trên băng tần số thấp L_0 của ảnh độ phân giải thấp. Sự khớp nhất là khối $P_{n,L0}$ từ ảnh độ phân giải cao tần số thấp L_0 mà có cùng kích cỡ như mảng độ phân giải cao tần số thấp $P_{n,L1}$ (ví dụ, các điểm ảnh 5×5). Chi tiết hơn về cửa sổ tìm kiếm được mô tả dưới đây có viện dẫn tới Fig.4.

Để hiểu được bước tiếp theo, quan trọng phải lưu ý rằng cấu trúc dữ liệu tần số thấp độ phân giải thấp L_0 có cùng chiều cấu trúc dữ liệu tần số cao độ phân giải thấp H_0 , và cấu trúc dữ liệu tần số thấp độ phân giải cao L_1 có cùng chiều như cấu trúc dữ liệu tần số cao độ phân giải cao H_1 như được thể hiện trên Fig.2. Đối với mỗi mảng, vị trí của mảng độ phân giải thấp tần số thấp được khớp $P_{n,L0}$ (trong L_0) được xác định, và mảng tần số cao độ phân giải thấp tương ứng $P_{n,H0}$ (trong H_0) tại vị trí của mảng độ phân giải thấp tần số thấp được khớp $P_{n,L0}$ được trích. Mảng tần số cao độ phân giải

thấp được trích P_{n,H_0} từ H_0 sau đó được tích lũy trên băng tần số cao của ảnh độ phân giải cao H_1 , tại cùng vị trí mà mảng hiện tại P_{n,L_1} trong cấu trúc dữ liệu tần số thấp độ phân giải cao L_1 có. Một cách chi tiết, mỗi giá trị (ví dụ, điểm ảnh) của mảng tần số cao độ phân giải thấp được trích P_{n,H_0} từ H_0 được tích lũy trên giá trị tương ứng (ví dụ, điểm ảnh) trong mảng tương ứng của băng tần số cao của ảnh độ phân giải cao H_1 . Theo cách này, băng tần số cao của ảnh độ phân giải cao H_1 được tổng hợp bằng việc tích lũy theo mảng. Việc xử lý phân chia băng tần số thấp của ảnh độ phân giải cao L_1 trong các mảng xếp chồng, việc tìm kiếm mảng phù hợp tần số thấp tốt nhất và tích lũy phần góp tần số cao tương ứng được minh họa trên Fig.3, và được mô tả sau đây.

Kết quả là, mỗi giá trị trong băng tần số cao kết quả (sơ bộ) của cấu trúc dữ liệu độ phân giải cao H_1 là tổng của các giá trị từ các mảng đóng góp. Do mảng xếp chồng trong L_1 (và do đó cũng trong H_1 do cả hai có cùng chiều), các giá trị từ ít nhất hai mảng đóng góp vào nhiều hoặc tất cả các giá trị trong H_1 . Do đó, băng tần số cao kết quả (sơ bộ) của cấu trúc dữ liệu độ phân giải cao H_1 được chuẩn hóa 190. Nhằm mục đích này, số lượng giá trị đóng góp từ H_0 đối với mỗi giá trị trong cấu trúc dữ liệu độ phân giải cao tần số cao H_1 được đếm trong xử lý tổng hợp, và mỗi giá trị được tích lũy trong $H_{1,acc}$ cuối cùng được chia bởi số phần đóng góp.

Fig.3 thể hiện, ví dụ về việc sử dụng và định vị của cửa sổ tìm kiếm trong cấu trúc dữ liệu tần số thấp độ phân giải thấp L_0 . Đối với mảng thứ nhất P_{11,L_1} trong L_1 , khối khớp nhất thứ nhất P_{11,L_0} được tìm kiếm trong L_0 trong cửa sổ tìm kiếm thứ nhất W_{11} . Các mảng đều có cùng kích cỡ. Cửa sổ tìm kiếm lớn hơn mảng bởi ít nhất một giá trị trong mỗi chiều (ngoại trừ trên các biên, đối với mảng thứ nhất). Trong ví dụ này, khối khớp nhất thứ nhất P_{11,L_0} được tìm thấy trong L_0 trong góc trái phía trên của cửa sổ tìm kiếm thứ nhất W_{11} . Xử lý tiếp theo đối với mảng và khối này như được mô tả nêu trên. Sau đó, các mảng tiếp theo được dịch chuyển theo chiều ngang và/hoặc theo chiều dọc, trong đó mỗi mảng xếp chồng mảng trước đó.

Trong ví dụ này, mảng thứ hai P_{12,L_1} được lựa chọn tại vị trí mà được dịch chuyển theo chiều ngang bởi độ tịnh tiến mảng định trước. Độ tịnh tiến mảng là độ chênh lệch giữa kích cỡ mảng và phần xếp chồng. Các độ tịnh tiến mảng trong các chiều khác nhau (ví dụ, chiều ngang và chiều dọc đối với các cấu trúc dữ liệu 2D) có

thể khác nhau, mà có thể dẫn đến các hiệu quả hoặc chất lượng khác nhau trong các chiều của cấu trúc dữ liệu đầu ra độ phân giải cao, nhưng chúng thường bằng nhau. Cửa sổ tìm kiếm mới W_{12} được xác định theo vị trí mảng mới. Về nguyên tắc, các cửa sổ tìm kiếm tịnh tiến trong cùng chiều như mảng, nhưng chậm hơn. Do đó, cửa sổ tìm kiếm hiện tại có thể tại cùng vị trí như cửa sổ tìm kiếm trước đó, như trường hợp ở đây. Tuy nhiên, do mảng khác $P_{12,L1}$ được tìm kiếm trong cửa sổ tìm kiếm, vị trí của mảng khớp nhất $P_{12,L0}$ sẽ luôn khác nhau. Mảng khớp nhất $P_{12,L1}$ sau đó được tích lũy vào cấu trúc dữ liệu tần số cao độ phân giải cao H_1 tại vị trí của mảng độ phân giải cao tần số thấp $P_{12,L1}$, như được mô tả nêu trên. Các mảng tiếp theo $P_{13,L1}$, $P_{14,L1}$ được xác định và các khớp nhất của chúng được tìm kiếm theo cách tương tự. Như được thể hiện trên Fig.3, vị trí của khối khớp nhất trong cửa sổ tìm kiếm là tùy ý và phụ thuộc vào dữ liệu đầu vào (ví dụ, nội dung ảnh).

Phần mô tả nêu trên là đủ cho cấu trúc dữ liệu 1 chiều (1D). Đối với các cấu trúc dữ liệu 2D, vị trí của mảng tiếp theo được tìm thấy bởi độ tịnh tiến mảng dọc (điều này có thể hoặc không thể được kết hợp với độ tịnh tiến mảng ngang). Ngoài ra, độ tịnh tiến mảng dọc bao gồm phần xếp chồng, như nêu trên và được thể hiện trên Fig.3 đối với $P_{21,L1}, \dots, P_{23,L1}$.

Vị trí của cửa sổ tìm kiếm được xác định theo vị trí của mảng hiện tại. Như được thể hiện trên Fig.3, các cửa sổ tìm kiếm $W_{11}, \dots, W_{22}$ của các mảng khác nhau xếp chồng nhau. Do L_0 là cấu trúc dữ liệu nhỏ hơn so với L_1 , nên việc tịnh tiến cửa sổ tìm kiếm trong mỗi chiều là rất nhỏ. Trong một phương án, các cửa sổ tìm kiếm là trên biên của L_0 nếu mảng tương ứng của chúng là trên biên của L_1 , và nó được di chuyển một cách đồng đều và/hoặc cân đối trong giữa các biên này.

Trong một phương án (không được thể hiện trên Fig.3), phần trung tâm cửa sổ tìm kiếm được thiết lập tại vị trí mà về cơ bản tỷ lệ với phần trung tâm của mảng. Ví dụ nơi mà phần trung tâm của mảng là tại 3% của cấu trúc dữ liệu độ phân giải cao L_1 , phần trung tâm của cửa sổ tìm kiếm được thiết lập tại xấp xỉ 3% (được làm tròn) của cấu trúc dữ liệu độ phân giải thấp L_0 . Trong trường hợp này, đối với các mảng gần biên, kích cỡ cửa sổ tìm kiếm có thể được làm giảm, hoặc cửa sổ tìm kiếm có thể được dịch chuyển một cách hoàn toàn thành cấu trúc dữ liệu độ phân giải thấp L_0 .

Nói chung, cửa sổ tìm kiếm càng lớn, càng có thể tìm được mảng rất giống nhau. Tuy nhiên, trong thực tế, một chút độ chênh lệch trong sự chính xác có khả năng xảy ra bởi việc mở rộng cửa sổ tìm kiếm, do cấu trúc mảng cục bộ có thể được tìm thấy hơn chỉ trong vùng cục bộ trong các ảnh tự nhiên chung. Ngoài ra, cửa sổ tìm kiếm lớn hơn yêu cầu nhiều xử lý hơn trong khi tìm kiếm.

Fig.4 thể hiện chi tiết của việc lựa chọn của các mảng liên tiếp trong ảnh (tức là cấu trúc dữ liệu đầu vào 2D), phân xếp chồng và nguyên tắc xác định các khối khớp nhau đối với các mảng liên tiếp. Ví dụ, các mảng và các khối có các điểm ảnh 5×5 và các cửa sổ tìm kiếm có các điểm ảnh 12×12 . Đối với mảng thứ nhất $P_{1,L1}$ trong L_1 , cửa sổ tìm kiếm W_1 được xác định trong L_0 , như được mô tả nêu trên. Trong cửa sổ tìm kiếm W_1 , việc so sánh của mảng thứ nhất tại các vị trí khối khác nhau được thực hiện, và khối $B_{1,L0}$ được xác định mà có độ lệch tuyệt đối trung bình (mean absolute difference - MAD) tối thiểu. Đây là khối khớp nhất. Vị trí của nó trong cấu trúc dữ liệu tần số thấp độ phân giải thấp L_0 được xác định, ví dụ, góc trái phía trên của nó là trong cột thứ ba và hàng thứ ba.

Sau đó mảng tương ứng tại cùng vị trí trong ảnh độ phân giải thấp tần số cao H_0 được xác định. Do đó, mảng điểm ảnh 5×5 với góc trái phía trên của nó là trong hàng thứ ba và cột thứ ba. Mảng này được trích từ H_0 và được cộng vào H_1 tại vị trí của mảng độ phân giải cao tần số thấp hiện tại $P_{1,L1}$, tức là tại góc trái phía trên của H_1 (xem Fig.4a).

Mảng thứ hai $P_{2,L1}$ được lựa chọn theo độ tịnh tiến mảng được sử dụng, như được thể hiện trên Fig.4b). Độ tịnh tiến mảng, trong trường hợp này là hai điểm ảnh trong các chiều, mà có nghĩa là độ kích cỡ mảng là các điểm ảnh 5×5 , phân xếp chồng là ba. Do đó, trong ví dụ này, phân xếp chồng dọc v_v và phân xếp chồng ngang v_h là bằng nhau. Do sự tịnh tiến cửa sổ tìm kiếm chậm hơn, cửa sổ tìm kiếm W_2 là tương tự như đối với mảng trước đó. Tuy nhiên, do các giá trị điểm ảnh khác nhau (theo nội dung ảnh bất kỳ), khối khớp nhất khác $B_{2,L0}$ trong cửa sổ tìm kiếm được tìm thấy. Theo cách tương tự như được mô tả nêu trên, vị trí của nó được xác định (ví dụ, góc trái phía trên trong cột thứ 7, hàng thứ 2), khối 5×5 tương ứng (với góc trái phía trên trong cột thứ 7, hàng thứ 2) được trích từ H_0 , và khối được trích từ H_0 được cộng vào

ảnh độ phân giải cao tần số cao H_1 tại vị trí của mảng thứ hai $P_{2,L1}$, tức là với góc trái phía trên của nó tại hàng thứ nhất, cột thứ ba. Do đó, điểm ảnh cụ thể mà thuộc về hai hoặc nhiều hơn mảng khác, được tích lũy từ các điểm ảnh tương ứng vào các khối khớp nhất. Tức là, ví dụ, điểm ảnh cụ thể trong cột thứ 4, hàng thứ 5 của ảnh độ phân giải cao tần số cao H_1 (tương ứng với vị trí trong L_1 được thể hiện trên Fig.4) có, tại bước hiện tại của xử lý này như được mô tả, giá trị mà được tích lũy từ điểm ảnh tại cột thứ 6, hàng thứ 7 (từ khối khớp nhất $B_{1,L0}$ của mảng thứ nhất) và từ điểm ảnh tại cột thứ 8, hàng thứ 6 (từ khối khớp nhất $B_{2,L0}$ của mảng thứ hai).

Như được đề cập nêu trên, cửa sổ tìm kiếm thường chỉ tịnh tiến sau khi các mảng được xử lý. Như được thể hiện bằng ví dụ trên Fig.4c) đối với cấu trúc nêu trên, nó cần ba tịnh tiến mảng (tức là mảng thứ 4) trước khi cửa sổ tìm kiếm W_3 được dịch chuyển bởi một điểm ảnh theo chiều ngang. Ngoài ra, lưu ý ở đây rằng trình tự của các chiều khác nhau của độ tịnh tiến mảng (và độ tịnh tiến cửa sổ tìm kiếm) không có sự khác biệt. Do đó, mảng được thể hiện trên Fig.4d) có thể được xử lý sau khi các mảng trước đó được dịch chuyển đến biên phía tay phải của L_1 , nhưng nó cũng có thể được xử lý ngay sau mảng thứ nhất như được thể hiện trên Fig.4a).

Fig.5 thể hiện ví dụ tương ứng đối với cấu trúc dữ liệu 1D. Ngoài ra trong trường hợp này, mảng thứ nhất (với các giá trị được ký hiệu x) tại vị trí #1 ... #4 của cấu trúc dữ liệu độ phân giải cao tần số thấp L_1 được bố trí trong cửa sổ tìm kiếm w_i trong cấu trúc dữ liệu độ phân giải thấp tần số thấp L_0 , ví dụ, các giá trị tại các vị trí #2... #5. Do đó, các giá trị của H_0 tương ứng (không được thể hiện) tại các vị trí #2... #5 được cộng vào H_1 (không được thể hiện) tại các vị trí #1 ... #4. Trong bước thứ hai, mảng thứ hai tại vị trí #3... #6 của L_1 được bố trí trong cửa sổ tìm kiếm thứ hai W_2 trong L_0 , ví dụ, tại các vị trí #3... #6 của L_0 (các vị trí #2... #5 của cửa sổ tìm kiếm). Do đó, các giá trị của H_0 tương ứng (không được thể hiện) tại các vị trí #3... #6 được cộng vào H_1 (không được thể hiện) tại các vị trí #2... #5, và v.v.

Nguyên tắc tương tự như được mô tả nêu trên đối với các cấu trúc dữ liệu 1D và 2D cũng có thể được áp dụng tới bất kỳ các cấu trúc dữ liệu đa chiều, bao gồm các cấu trúc dữ liệu 3D.

Như được đề cập nêu trên, phương pháp được bộc lộ để siêu phân giải ảnh đơn bao gồm ba bước. Như là bước thứ nhất của sáng chế, Fig.6 thể hiện nguyên tắc tạo thành băng tần số thấp được nâng cấp L_1 của ảnh độ phân giải cao và phép phân tích hai băng (L_0, H_0) của ảnh đầu vào độ phân giải thấp S_0 . Mục đích của bước thứ nhất của phương pháp là để thu được băng tần số thấp của ảnh độ phân giải cao L_1 , với hệ số nâng cấp mà trong một phương án là phân số, và ảnh độ phân giải thấp L_0 với cùng băng thông được chuẩn hóa, ngoài thành phần tần số cao dư H_0 của ảnh độ phân giải thấp. Phép phân tích hai băng ảnh đầu vào độ phân giải thấp S_0 thành phần tần số thấp L_0 và phần tần số cao H_0 được thực hiện. Tần số cắt được chuẩn hóa của ảnh độ phân giải thấp là tương đương với của ảnh độ phân giải cao. Trong một phương án, các bộ lọc riêng biệt được sử dụng để tránh các phần xoắn lớn với các hàm trải điểm (Point Spread Function - PSF) bình phương. Điều này nghĩa là cả hai bộ lọc độ phân giải cao nội suy $F_{l,1}$ và bộ lọc độ phân giải thấp thông thấp $F_{l,0}$ có thể hoàn toàn được biểu diễn như là bộ lọc 1 chiều mà, nếu cần, PSF có thể được tính toán như là tích tenxơ của các vector hệ số tương ứng.

$$(F_{l,1})^{2D} = F_{l,1} F_{l,1}^T \text{ và tương ứng đối với } F_{l,0}.$$

Trong phần sau đây, một phương án về thiết kế của các bộ lọc được mô tả.

Thiết kế của hai bộ lọc được thể hiện trên Fig.6 được xác định chủ yếu bởi hệ số nâng cấp hữu tỷ n/d và việc lựa chọn bất kỳ của bậc N_0 của bộ lọc FIR độ phân giải thấp $F_{l,0}$. Thông thường, việc lựa chọn của bậc được xác định bằng cách tính toán thời gian xoắn. Nói chung, các giá trị trong bậc của 8...16 là đủ để cung cấp độ dốc đủ cho băng chuyển tiếp. Bằng cách lựa chọn các giá trị chẵn cho bậc N , dẫn đến $N+1$ hệ số lọc, các dịch chuyển pha thêm vào được ngăn ngừa và băng tần số cao chính xác hơn thu được. Cả hai bộ lọc thông thấp $F_{l,1}$ và $F_{l,0}$ là thực và có pha tuyến tính, tức là, chúng là các bộ lọc đáp ứng xung hữu hạn (finite impulse response - FIR). Độ tăng ích được chuẩn hóa của mỗi bộ lọc tại tần số cắt tương ứng được xác định là -6 dB. Các hệ số được xác định như là hàm sin rời rạc với cửa sổ Hamming có độ dài $N+1$. Biên độ lọc nói chung được xác định như là tỷ lệ tại phần trung tâm của băng thông thấp sau khi tạo cửa sổ.

Bộ lọc nội suy độ phân giải cao

Theo các quy tắc này, bộ lọc thứ nhất được thiết kế là bộ lọc nội suy độ phân giải cao $F_{1,1}$. Được đưa ra bậc mong muốn N cho bộ lọc độ phân giải thấp $F_{1,0}$, hệ số nâng cấp hữu tỷ n/d và các quy tắc thiết kế từ phần mô tả nêu trên, các tham số khuyết thiếu là tỷ lệ σ_1 (để giải quyết n các số zero mà được chèn vào giữa các mẫu đã biết), bậc cho bộ lọc độ phân giải cao N_1 và tần số cắt được chuẩn hóa của nó Ω_1 . Các tham số này là $\sigma_1 = n$, $N_1 = N_0n$ và $\Omega_1 = \min(1/n, 1/d) = 1/n$. Tần số cắt tuân theo yêu cầu về việc loại bỏ các bản sao phổ gây ra bởi việc chèn của các số zero giữa các mẫu đang tồn tại.

Bộ lọc thông thấp tương đương độ phân giải thấp

Trong trường hợp này, không có các số zero được đưa ra giữa các mẫu đang tồn tại, vì vậy biên độ của bộ lọc này là $\sigma_0 = 1$. Bậc của bộ lọc đã được xác định tùy ý và tần số cắt được thiết lập là $\Omega_0 = d/n$. Giá trị này bù cho phần thập phân sau khi lọc nội suy được áp dụng tới ảnh độ phân giải cao.

Với thiết kế bộ lọc này, các thành phần tần số thấp được phân tích của ảnh đầu vào độ phân giải thấp khớp với, về mặt băng thông được chuẩn hóa, thành phần tần số thấp của ảnh độ phân giải cao mong muốn. Ngược lại, thành phần tần số cao được phân tích của ảnh độ phân giải thấp có thể được sử dụng để đánh giá băng tần số cao khuyết thiếu của ảnh độ phân giải cao.

Mục đích của bước thứ hai của sáng chế là để tổng hợp băng tần số cao của ảnh độ phân giải cao bằng cách sử dụng tính tự đồng dạng cục bộ trong ảnh đầu vào. Điều này được thực hiện trên cơ sở mảng nhỏ; phương pháp này nói chung sẽ thu được ưu điểm từ việc sử dụng các hệ số khuếch đại nhỏ hơn, do sự khả dụng của băng thông tần số rộng hơn (thông tin được tăng lên) đối với thành phần tần số thấp được phân tích của ảnh độ phân giải thấp, mà đưa ra sự lựa chọn tốt hơn đối với các mảng ảnh có cùng các nội dung tần số thấp. Điều này được minh họa bằng hình vẽ trên Fig.7. Chi tiết hơn nữa của phương pháp này được mô tả trong phần sau đây.

Fig.7 thể hiện ví dụ về sơ đồ khối theo khái niệm 700 của xử lý để tổng hợp băng tần số cao của ảnh được siêu phân giải (H_1 , được thiết lập khởi tạo là 0), mà được thực hiện về nguyên tắc bằng cách ngoại suy băng tần số cao của ảnh độ phân giải thấp H_0 . Các tín hiệu $W_1(t)$ và $W_0(t)$ là các cửa sổ không gian với các vị trí thay đổi theo

thời gian theo các mảng ảnh hiện tại được xử lý, và ký hiệu hóa độ tịnh tiến mảng và độ tịnh tiến cửa sổ tìm kiếm, một cách tương ứng. Tức là, ví dụ độ tịnh tiến và phần xếp chồng của các mảng nhỏ (ví dụ, các điểm ảnh 5×5) mà băng tần số thấp của ảnh độ phân giải cao L_1 được phân chia thành, có thể được hiểu như là cửa sổ $W_1(t)$ mà tịnh tiến tại tốc độ thứ nhất trong cấu trúc dữ liệu độ phân giải cao tần số thấp L_1 , và tương tự trong các băng tần số cao của cấu trúc dữ liệu độ phân giải cao H_1 . Độ tịnh tiến của cửa sổ tìm kiếm trên băng tần số thấp của ảnh độ phân giải thấp L_0 được tạo mẫu bởi cửa sổ thay đổi theo thời gian $W_0(t)$, mà theo cách tương tự được áp dụng tới băng tần số cao của ảnh độ phân giải thấp H_0 . Bộ tìm kiếm 710 thực hiện việc tìm kiếm toàn diện khối khớp nhất (tức là việc tìm kiếm có SAD tối thiểu) trong cửa sổ tìm kiếm. Vị trí của nó được áp dụng tới băng tần số cao của ảnh độ phân giải thấp H_0 , như được mô tả nêu trên. Do việc tìm kiếm thường mất thời gian nào đó, độ trễ này được bù bởi các bộ bù trễ 720, 730. Mảng tương ứng trong cấu trúc dữ liệu tần số cao độ phân giải thấp H_0 được trích trong bộ trích 740 và được tích lũy vào cấu trúc dữ liệu tần số cao độ phân giải cao H_1 trong bộ tích lũy 750. Các phương án giống nhau có thể được suy ra đối với các cấu trúc dữ liệu với các chiều khác ngoài 2D, như 1D hoặc 3D.

Bước thứ ba là để tạo thành ảnh độ phân giải cao cuối cùng. Mục đích của bước này là để kết hợp một cách thích hợp băng tần số thấp của ảnh độ phân giải cao L_1 với băng tần số cao được chuẩn hóa của ảnh độ phân giải cao H_1 . Băng độ phân giải cao tần số cao được chuẩn hóa H_1 có thể được lọc thông cao trước khi cộng với băng độ phân giải cao tần số thấp L_1 . Việc lọc thông cao này là ưu điểm để đảm bảo tính tương thích phổ, nhưng có thể được bỏ qua khi L_1 và H_1 về cơ bản không có tần số xếp chồng (tham chiếu Fig.8 b).

Fig.8 thể hiện việc kết hợp ví dụ của băng độ phân giải cao tần số thấp L_1 và băng độ phân giải cao tần số cao được chuẩn hóa H_1 để tạo ra ảnh được siêu phân giải S_1 . Băng tần số cao được chuẩn hóa H_1 được lọc nhờ sử dụng bộ lọc thông cao 800 để đảm bảo tính tương thích phổ với băng tần số thấp.

Bộ lọc thông cao độ phân giải cao

Bộ lọc $F_{h,1}$ được thiết kế tương tự như các bộ lọc $F_{1,0}, F_{1,1}$ trong bước thứ nhất. Trong trường hợp này, mục đích là để thu được bộ lọc thông cao với tần số cắt $\Omega_{1,h} =$

$d/\max(n,d) = d/n$. Bậc của nó được thiết lập là phiên bản được tỷ lệ hóa của bậc bộ lọc độ phân giải thấp: $N_{1,h} = \text{round}(N_{0n}/d)$, và biên độ của nó $\sigma_{1,h} = 1$. Các hệ số cuối cùng của bộ lọc thông cao riêng biệt được thiết lập là delta Kronecker được ngấm thẳng với phần trung tâm của cửa sổ Hamming trừ các hệ số của bộ lọc thông thấp bổ sung với cùng tần số cắt. Tức là, bộ lọc thông cao được xác định như là bộ lọc toàn thông (tập của các hệ số bằng delta Kronecker) trừ bộ lọc thông thấp với cùng tần số cắt như là bộ lọc thông cao mong muốn. Điều này được thể hiện bằng sơ đồ trên Fig.8 b), trong đó vế trái là đáp ứng tần số mong muốn HP của bộ lọc thông cao và vế phải là độ chênh lệch của các đáp ứng của bộ lọc toàn thông AP và bộ lọc thông thấp LP nêu trên.

Sẽ trở nên rõ ràng dựa vào phần mô tả nêu trên, băng tần số thấp của ảnh độ phân giải cao L_1 thu được về nguyên tắc bằng việc nội suy, trong khi băng tần số cao của ảnh độ phân giải cao H_1 thu được về nguyên tắc bằng việc ngoại suy.

Fig.9 thể hiện thiết bị để thực hiện xử lý siêu phân giải của cấu trúc dữ liệu đầu vào độ phân giải thấp S_0 của dữ liệu số, bao gồm bộ lọc thông thấp thứ nhất 970 để lọc cấu trúc dữ liệu đầu vào S_0 , trong đó cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp L_0 thu được, bộ cộng, bộ trừ hoặc bộ vi sai 980 để tính toán độ chênh lệch giữa cấu trúc dữ liệu đầu vào S_0 và cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp L_0 , nhờ đó cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số cao H_0 được tạo ra, bộ nâng cấp 920 để nâng cấp cấu trúc dữ liệu đầu vào S_0 , bộ lọc thông thấp thứ hai 930 để lọc cấu trúc dữ liệu đầu vào được nâng cấp, trong đó cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số thấp L_1 thu được, bộ xác định thứ nhất 951 để xác định trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số thấp L_1 mảng thứ nhất tại vị trí thứ nhất, bộ tìm kiếm 952 để tìm kiếm trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp L_0 khối thứ nhất mà khớp nhất với mảng thứ nhất, và bộ xác định thứ hai 954 để xác định vị trí của khối thứ nhất nêu trên trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp L_0 , bộ lựa chọn 955 để lựa chọn khối thứ hai trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số cao H_0 tại vị trí được xác định (tức là, tại vị trí mà được xác định cho khối thứ nhất nêu trên trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp), bộ tích lũy 957 để tích lũy (tức là, bổ sung) dữ liệu điểm ảnh của khối thứ hai được lựa chọn vào mảng thứ hai, mảng thứ hai là mảng trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao tại vị trí thứ nhất mà là trống lúc khởi tạo, bộ điều khiển 950 để điều khiển việc lặp lại của xử lý đối với các mảng trong cấu

trúc dữ liệu được nâng cấp tần số thấp L_1 , bộ chuẩn hóa 990 để chuẩn hóa (tức là lấy trung bình) các giá trị điểm ảnh được tích lũy trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao, nhờ đó cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao được chuẩn hóa H_1 thu được, bộ lọc thông cao 995 để lọc cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao được chuẩn hóa H_1 , và bộ kết hợp 999 để kết hợp (ví dụ, cộng theo điểm ảnh) cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao được lọc thông cao, được chuẩn hóa H_1 với cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số thấp L_1 , nhờ đó cấu trúc dữ liệu được siêu phân giải S_1 thu được. Các bộ nhớ khác nhau $MemL_0$, $MemL_1$, $MemH_0$, $MemH_1$ với các kích cỡ thích hợp có thể được sử dụng cho việc lưu trữ trung gian, tuy nhiên có thể được thực hiện như là một hoặc nhiều bộ nhớ vật lý. Về nguyên tắc, bước chuẩn hóa (hoặc lấy trung bình) bao gồm, đối với điểm ảnh hiện tại, chia giá trị được tích lũy của điểm ảnh hiện tại cho số lượng điểm ảnh mà được đóng góp vào giá trị được tích lũy của điểm ảnh hiện tại.

Tuy nhiên, phương pháp chuẩn hóa bất kỳ mà thu được các kết quả về cơ bản tương đương có thể được sử dụng.

Các phương án khác, mà một vài trong số chúng cũng được thể hiện trên Fig.1 và/hoặc Fig.9, được mô tả dưới đây.

Trong một phương án, phương pháp này còn bao gồm bước xác định 151, 152 cửa sổ tìm kiếm thứ nhất W_1 trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp L_0 , trong đó cửa sổ tìm kiếm thứ nhất W_1 bao gồm vùng xung quanh khối tại vị trí mà tương ứng với vị trí thứ nhất nêu trên trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao L_1 , và trong đó bước tìm kiếm 152, 154 trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp L_0 được thực hiện chỉ trong cửa sổ tìm kiếm thứ nhất W_1 . Bước xác định 151, 152 cửa sổ tìm kiếm W_1 trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp L_0 được lặp lại đối với mỗi mảng mới trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số thấp L_1 .

Trong một phương án, vùng mà được bao gồm bởi cửa sổ tìm kiếm bao gồm các giá trị trong mỗi chiều của cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số thấp L_0 xung quanh khối tại vị trí tương ứng với vị trí thứ nhất nêu trên trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao L_1 .

Trong một phương án, mỗi mảng mới $P_{n,L1}$ trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số thấp L_1 xếp chồng lên ít nhất một mảng được xử lý trước đó.

Trong một phương án, cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số thấp L_1 thu được bằng cách nâng cấp 120 cấu trúc dữ liệu đầu vào S_0 bởi hệ số nâng cấp n , bước lọc 130 cấu trúc dữ liệu đầu vào được nâng cấp bởi bộ lọc thông thấp thứ hai nêu trên $F_{1,1}$ và hạ cấp 140 cấu trúc dữ liệu đầu vào được nâng cấp được lọc trong bộ hạ cấp 940 bởi hệ số hạ cấp d , với $n > d$. Do đó, hệ số nâng cấp không phải số nguyên cuối cùng n/d thu được.

Trong một phương án, bộ lọc thông thấp thứ nhất $F_{1,0}$ và bộ lọc thông thấp thứ hai $F_{1,1}$ là các bộ lọc tương đương (tức là, đối với tần số cắt được chuẩn hóa).

Trong một phương án, bộ lọc thông thấp thứ nhất $F_{1,0}$ có đặc tính là bậc N_0 , biên độ là $\sigma_0=1$ và tần số cắt được chuẩn hóa là $\Omega_0=d/n$, và bộ lọc thông thấp thứ hai $F_{1,1}$ có đặc tính là bậc $N_1=nN_0$, biên độ là $\sigma_1=n$ và tần số cắt được chuẩn hóa là $\Omega_1=1/n$.

Trong một phương án, phương pháp này còn bao gồm bước lọc cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao $H_{1,acc}$ bằng bộ lọc thông cao $F_{h,1}$. Bộ lọc thông cao $F_{h,1}$ có tần số cắt được chuẩn hóa là $\Omega_{1,h}=d/\max\{d,n\}=d/n$, bậc là $N_{1,h}=\text{round}(N_0*n/d)$ và biên độ là $\sigma_0=1$.

Trong một phương án, phương pháp này còn bao gồm bước xác định mảng mới $P_{n,L1}$ trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số thấp L_1 , tìm kiếm 152,154 trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp L_0 khối $B_{n,L0}$ mà khớp nhất với mảng được lựa chọn $P_{n,L1}$, lựa chọn 155 khối tương ứng $B_{n,H0}$ trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số cao H_0 và tích lũy 157 dữ liệu điểm ảnh của khối tương ứng được lựa chọn $B_{n,H0}$ vào mảng $P_{n,H1}$ trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao $H_{1,acc}$ tại vị trí của mảng mới nêu trên $P_{n,L1}$ được lặp lại đối với tất cả các mảng cho đến khi cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số thấp hoàn toàn L_1 được bao gồm.

Trong một phương án, phương pháp này còn bao gồm bước đếm số lượng phần góp trên điểm ảnh trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao $H_{1,acc}$, tức là số lượng khối từ cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số cao H_0 mà được đóng góp vào điểm ảnh cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao $H_{1,acc}$. Sau đó, bước chuẩn hóa 190 bao gồm chia giá trị được tích lũy trên điểm ảnh trong $H_{1,acc}$ cho số lượng phần góp mà thu được bởi bước đếm.

Trong một phương án, cấu trúc dữ liệu đầu vào là ảnh số 2D. Trong phương án khác, cấu trúc dữ liệu đầu vào là ảnh số 3D. Ảnh số nói chung có thể là một phần của chuỗi video số.

Trong một phương án, cấu trúc dữ liệu đầu vào bao gồm dữ liệu 2D số, và mỗi khối và mỗi mảng bao gồm ít nhất các giá trị 5×5 , cửa sổ tìm kiếm bao gồm ít nhất các giá trị 9×9 và mỗi mảng xếp chồng lên ít nhất một mảng được xử lý trước đó bởi ít nhất 2 giá trị.

Trong một phương án, thiết bị này còn bao gồm ít nhất một bộ nhớ $MemL_0$, $MemL_1$, $MemH_0$, $MemH_1$ cho việc lưu trữ trung gian của ít nhất một trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp L_0 , cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số thấp L_1 , cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số cao H_0 và cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao H_1 .

Trong một phương án, thiết bị này còn bao gồm trong bộ tìm kiếm 952, bộ xác định cửa sổ tìm kiếm để xác định cửa sổ tìm kiếm W_1 trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp L_0 , trong đó cửa sổ tìm kiếm W_1 bao gồm vùng xung quanh khối tại vị trí mà tương ứng với vị trí thứ nhất nêu trên trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao L_1 , và trong đó bộ tìm kiếm 952 tìm kiếm trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp L_0 chỉ trong cửa sổ tìm kiếm thứ nhất W_1 .

Trong một phương án, thiết bị này còn bao gồm bộ đếm 953 để đếm số lượng phần góp trên điểm ảnh trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao $H_{1,acc}$. Bộ chuẩn hóa 990 thực hiện thao tác chia giá trị được tích lũy trên điểm ảnh cho số lượng phần góp.

Fig.10 thể hiện, trong phần a) và b), ảnh và phổ gốc của nó. Ngoài ra, Fig.10 c) thể hiện phổ của ảnh sau khi nó được nâng cấp theo sáng chế, và Fig.10 d) thể hiện phổ của ảnh sau khi nó được nâng cấp theo cách thông thường nhờ sử dụng phép nội suy song lập phương đã biết. Có thể nhận ra, phổ được cắt của ảnh được nâng cấp theo cách thông thường được cải thiện, mà là có thể nhìn thấy được trong ví dụ này trong các giá trị bổ sung theo các đường chéo. Nói cách khác, ưu điểm của sáng chế là phổ của cấu trúc dữ liệu mà được nâng cấp theo sáng chế trở nên gần hơn với phổ gốc, so với phổ của cấu trúc dữ liệu mà được nâng cấp sử dụng phương pháp thông thường. Phổ tần số thể hiện một cách rõ ràng làm thế nào phương án được bộc lộ có thể ngoại

suy một cách đáng tin cậy các tần số cao khuyết thiếu của ảnh được nâng cấp (chúng có thể được quan sát trong các đường viền rõ nét hơn trong các ảnh được nâng cấp, mà dẫn đến các ảnh nhìn trực quan hơn), trong khi phép nội suy song lập phương đưa ra lượng lớn nhiễu răng cưa.

Phương pháp được bộc lộ đã được thực hiện và được kiểm tra trên các ảnh đầu vào độ phân giải thấp khả dụng công khai mà để các phiên bản độ phân giải cao hơn được đánh giá. Trong một phương án, nói chung nó chỉ được áp dụng tới kênh độ chói của các ảnh đầu vào, mà bỏ lại nâng cấp màu để tăng tốc các thuật toán như phép nội suy song lập phương. Trong ví dụ trên Fig.10, ảnh được siêu phân giải thu được bằng cách áp dụng một cách lặp lại các hệ số nâng cấp nhỏ là $1,5\times$ ($n=3$, $d=2$) ba lần đối với ảnh đầu vào.

Fig.11 thể hiện ba bước nguyên tắc của phương pháp được bộc lộ để siêu phân giải ảnh đơn. Trong bước thứ nhất 1110, việc nâng cấp dựa trên nội suy của ảnh đầu vào được thực hiện, theo sau bởi thao tác lọc thông thấp tương đương trên ảnh độ phân giải thấp. Bước thứ hai 1120 bao gồm việc tìm kiếm các mảng phù hợp tần số thấp giữa mảng được kiểm tra trong ảnh độ phân giải cao và các mảng trong lân cận cục bộ trong ảnh tần số thấp độ phân giải thấp, bao gồm các mảng xếp chồng một phần, và tích lũy phần góp tần số cao thu được từ ảnh độ phân giải thấp. Bước thứ ba 1130 bao gồm việc chuẩn hóa và lọc thông cao, và cộng các phần góp của băng tần số thấp của ảnh độ phân giải cao và băng tần số cao được chuẩn hóa được lọc thông cao được ngoại suy.

Cần lưu ý rằng mặc dù được thể hiện chỉ là ảnh số, các loại khác của các cấu trúc dữ liệu số có thể được xây dựng ngoài các ảnh số, mà sẽ là rõ ràng đối với những chuyên gia trong lĩnh vực kỹ thuật, tất cả chúng nằm trong dự tính của sáng chế. Các nguyên tắc tương tự có thể được áp dụng tới các nhiệm vụ xử lý ảnh khác, như khử nhiễu ảnh hoặc các thủ tục khôi phục khác, và cũng để thu được các tín hiệu được siêu phân giải có bản chất và chiều khác, như các tín hiệu audio.

Phương pháp được bộc lộ làm việc với ảnh đơn, nhưng ưu điểm là không yêu cầu cơ sở dữ liệu để truy lại các mẫu thích hợp chứa các phần tần số cao (tức là, phần chi tiết).

Như là ưu điểm khác, phương pháp được bộc lộ tương đối hiệu quả về mặt tính toán (nó yêu cầu chỉ ảnh đơn, và bước xử lý chính là tìm kiếm cục bộ tỷ lệ nhỏ), linh hoạt trong việc xác định hệ số nâng cấp (nó cho phép các hệ số nâng cấp hữu tỷ và thiết kế bộ lọc FIR đơn giản) và cũng có thể được tổng quát hóa để xử lý các tín hiệu có bản chất khác nhau (không có các giả thiết trước về mô hình tín hiệu, ngoài tính tự đồng dạng cục bộ, được yêu cầu).

Ưu điểm nữa của sáng chế đó là chỉ một thủ tục nâng cấp của cấu trúc dữ liệu đầu vào được sử dụng, và việc ngoại suy được thực hiện từ cấu trúc dữ liệu đầu vào tại độ phân giải gốc của nó. Do đó, lượng nhiễu gây bởi việc nâng cấp được tối thiểu hóa, mà là ưu điểm đặc biệt đối với các hệ số nâng cấp hữu tỷ, và băng rộng tần số cao là khả dụng để bổ sung thông tin trong cấu trúc dữ liệu độ phân giải cao tần số cao.

Ưu điểm nữa của sáng chế đó là các quy tắc đơn giản, rõ ràng để thiết kế các bộ lọc được đề xuất, và các bộ lọc cần được thiết kế chỉ một lần, do chúng không thay đổi về không gian.

Ưu điểm nữa của sáng chế đó là, do việc lấy trung bình không gian, cấu trúc dữ liệu độ phân giải cao tần số cao H_1 chống tạp âm và các nhiễu khác tốt hơn so với các cấu trúc dữ liệu khác mà thu được bằng các phương pháp thông thường.

Ưu điểm nữa của sáng chế đó là thủ tục kết hợp băng độ phân giải cao tần số thấp được nội suy L_1 và băng độ phân giải cao tần số cao được ngoại suy H_1 có xét đến sự kết hợp phổ giữa chúng. Điều này thu được bằng thiết kế thích hợp của bộ lọc thông cao đối với cấu trúc dữ liệu độ phân giải cao tần số cao.

Trong khi đã được thể hiện, mô tả, và chỉ ra các tính mới cơ bản của sáng chế như được áp dụng tới các phương án ưu tiên của nó, sẽ được hiểu rằng các sự bỏ bớt và thay thế và thay đổi khác nhau trong thiết bị và phương pháp được mô tả, dưới dạng chi tiết của các thiết bị được bộc lộ, và trong hoạt động của chúng, có thể được thực hiện bởi những chuyên gia trong lĩnh vực kỹ thuật mà không đi chệch khỏi tinh thần của sáng chế. Ví dụ, mặc dù sáng chế được bộc lộ đối với các khối và mảng vuông, chuyên gia trong lĩnh vực kỹ thuật sẽ nhận ra rằng phương pháp và các thiết bị được mô tả ở đây có thể được áp dụng tới các khối và các mảng có các dạng và/hoặc kích cỡ khác, ví dụ các dạng chữ nhật hoặc dạng tự do, các hình vuông 4×4 , ... , 16×16 ...

Ngoài ra, mặc dù sáng chế được bộc lộ đối với độ phân giải không gian, chuyên gia trong lĩnh vực kỹ thuật sẽ nhận ra rằng phương pháp và các thiết bị được mô tả ở đây có thể, với những sửa đổi thích hợp, cũng được áp dụng tới độ phân giải thời gian. Một cách rõ ràng nhằm mục đích rằng tất cả các kết hợp của các chi tiết mà về cơ bản thực hiện cùng chức năng theo cách về cơ bản tương tự để đạt được cùng các kết quả là nằm trong phạm vi của sáng chế. Các thay thế của các chi tiết từ một phương án được mô tả thành chi tiết khác cũng hoàn toàn nằm trong dự định và được dự tính trước.

Sẽ được hiểu rằng sáng chế được mô tả hoàn toàn bằng ví dụ, và các cải biến chi tiết có thể được thực hiện mà không tách rời phạm vi của sáng chế.

Mỗi đặc điểm được bộc lộ trong phần mô tả và (một cách thích hợp) phần yêu cầu bảo hộ và hình vẽ có thể được đưa ra một cách độc lập hoặc trong kết hợp bất kỳ.

Các đặc tính có thể, một cách thích hợp được thực hiện trong phần cứng, phần mềm, hoặc kết hợp của cả hai, trên phần cứng đồ họa (GPU) chẳng hạn. Các số chỉ dẫn xuất hiện trong yêu cầu bảo hộ chỉ nhằm mục đích minh họa và sẽ không làm giới hạn phạm vi của yêu cầu bảo hộ.

Tài liệu được trích dẫn

"Super Resolution from Image Sequences", M. Irani and S. Peleg (Int. Conf. on Pattern Recognition, 1990)

Fundamental Limits of Reconstruction-Based Superresolution Algorithms under Local Translation", Z. Lin and H.-Y. Shum (IEEE Trans. On Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2004)

"Example-based super-resolution", W.T. Freeman, T.R. Jones and E.C. Pasztor (IEEE Computer Graphics and Applications, 2002)

"Super-Resolution from a Single Image", D. Glasner, S. Bagon and M. Irani (IEEE Int. Conf. on Computer Vision, 2009)

"Space-Time Super-Resolution from a Single Video", O. Shahar, A. Faktor and M. Irani (IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, 2011)

"Image and Video Upscaling from Local Self-Examples", G. Freedman and R. Fattal (ACM Trans. On Graphics, 2010)

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Phương pháp thực hiện việc xử lý siêu phân giải cấu trúc dữ liệu đầu vào độ phân giải thấp của dữ liệu số 1D, 2D hoặc 3D, bao gồm các bước:

lọc cấu trúc dữ liệu đầu vào bởi bộ lọc thông thấp thứ nhất, trong đó cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp thu được;

tính toán độ chênh lệch giữa cấu trúc dữ liệu đầu vào và cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp, nhờ đó cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số cao được tạo ra;

nâng cấp cấu trúc dữ liệu đầu vào, và lọc cấu trúc dữ liệu đầu vào được nâng cấp bởi bộ lọc thông thấp thứ hai, trong đó cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số thấp thu được;

xác định trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số thấp mảng thứ nhất tại vị trí thứ nhất;

tìm kiếm trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp đối với khối thứ nhất mà khớp nhất với mảng thứ nhất, và xác định vị trí của khối thứ nhất nêu trên trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp;

lựa chọn khối thứ hai trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số cao tại vị trí mà được xác định đối với khối thứ nhất nêu trên trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp;

tích lũy, bằng cách cộng theo điểm ảnh, dữ liệu điểm ảnh của khối thứ hai được lựa chọn vào mảng thứ hai, mảng thứ hai là mảng trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao tại vị trí thứ nhất, trong đó cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao là trống lúc khởi tạo;

xác định mảng mới trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số thấp, tìm kiếm trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp đối với khối mà khớp nhất với mảng mới, lựa chọn khối tương ứng trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số cao và tích lũy dữ liệu điểm ảnh của khối tương ứng được lựa chọn vào mảng trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao tại vị trí của mảng mới nêu trên;

chuẩn hóa các giá trị điểm ảnh được tích lũy trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao, nhờ đó cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao được chuẩn hóa thu được và trong đó bước chuẩn hóa bao gồm, đối với điểm ảnh hiện tại, chia giá trị được tích lũy của điểm ảnh hiện tại cho số lượng các phần góp của các điểm ảnh vào giá trị được tích lũy của điểm ảnh hiện tại; và

cộng cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao được chuẩn hóa vào cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số thấp, nhờ đó cấu trúc dữ liệu được siêu phân giải thu được.

2. Phương pháp theo điểm 1, phương pháp này còn bao gồm bước xác định cửa sổ tìm kiếm thứ nhất trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp, trong đó cửa sổ tìm kiếm thứ nhất bao gồm vùng xung quanh khối tại vị trí mà tương ứng với vị trí thứ nhất nêu trên trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao, trong đó bước tìm kiếm trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp được thực hiện chỉ trong cửa sổ tìm kiếm thứ nhất, và trong đó bước xác định cửa sổ tìm kiếm trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp được lặp lại đối với mỗi mảng mới trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số thấp.

3. Phương pháp theo điểm 2, trong đó vùng mà được bao gồm bởi cửa sổ tìm kiếm bao gồm các giá trị theo mỗi chiều của cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số thấp xung quanh khối nêu trên tại vị trí tương ứng với vị trí thứ nhất nêu trên trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao.

4. Phương pháp theo điểm 1, trong đó mỗi mảng mới trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số thấp xếp chồng lên ít nhất một mảng được xử lý trước đó.

5. Phương pháp theo điểm 1, trong đó cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số thấp thu được bằng cách nâng cấp cấu trúc dữ liệu đầu vào bởi hệ số nâng cấp n , lọc cấu trúc dữ liệu đầu vào được nâng cấp bởi bộ lọc thông thấp thứ hai nêu trên và hạ cấp cấu trúc dữ liệu đầu vào được nâng cấp được lọc bởi hệ số hạ cấp d , với $n > d$, trong đó hệ số nâng cấp không phải số nguyên cuối cùng n/d thu được.

6. Phương pháp theo điểm 1, trong đó bộ lọc thông thấp thứ nhất và bộ lọc thông thấp thứ hai là các bộ lọc tương đương.

7. Phương pháp theo điểm 1, trong đó bộ lọc thông thấp thứ nhất có đặc tính là bậc N_0 , biên độ là $\sigma_0=1$ và tần số cắt được chuẩn hóa là $\Omega_0=d/n$, và bộ lọc thông thấp thứ hai

có đặc tính là bậc $N_1 = nN_0$, biên độ $\sigma_1 = n$ và tần số cắt được chuẩn hóa là $\Omega_1 = 1/n$, trong đó d là hệ số hạ cấp và n là hệ số nâng cấp.

8. Phương pháp theo điểm 1, phương pháp này còn bao gồm bước lọc cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao được chuẩn hóa bằng bộ lọc thông cao, bộ lọc thông cao có tần số cắt được chuẩn hóa là $\Omega_{1,h} = d/n$, bậc $N_{1,h} = \text{làm tròn}(N_0 * n/d)$ và biên độ $\sigma_{1,h} = 1$, trong đó d là hệ số hạ cấp và n là hệ số nâng cấp và N_0 là chỉ số bậc của bộ lọc thông thấp thứ nhất.

9. Phương pháp theo điểm 1, trong đó bước xác định mảng mới trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số thấp, tìm kiếm trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp khối mà khớp nhất với mảng mới, lựa chọn khối tương ứng trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số cao và tích lũy dữ liệu điểm ảnh của khối tương ứng được lựa chọn vào mảng trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao tại vị trí của của mảng mới nêu trên được lặp lại đối với tất cả mảng cho đến khi cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số thấp hoàn chỉnh được bao gồm.

10. Phương pháp theo điểm 1, phương pháp này còn bao gồm bước đếm số lượng phần góp trên điểm ảnh trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao, trong đó bước chuẩn hóa bao gồm bước chia giá trị được tích lũy trên điểm ảnh cho số lượng phần góp thu được bởi bước đếm nêu trên.

11. Phương pháp theo điểm 1, trong đó cấu trúc dữ liệu đầu vào của dữ liệu 2D số là ảnh số.

12. Phương pháp theo điểm 1, trong đó cấu trúc dữ liệu đầu vào bao gồm dữ liệu 2D số, và trong đó mỗi khối và mỗi mảng bao gồm ít nhất 5×5 giá trị và mỗi mảng xếp chồng lên ít nhất một mảng được xử lý trước đó bởi ít nhất 2 giá trị.

13. Thiết bị thực hiện việc xử lý siêu phân giải của cấu trúc dữ liệu đầu vào độ phân giải thấp của dữ liệu số, bao gồm:

bộ lọc thông thấp thứ nhất để lọc cấu trúc dữ liệu đầu vào, trong đó cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp thu được;

bộ cộng, bộ trừ hoặc bộ vi sai để tính toán độ chênh lệch giữa cấu trúc dữ liệu đầu vào và cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp, nhờ đó cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số cao được tạo ra;

bộ nâng cấp để nâng cấp cấu trúc dữ liệu đầu vào;

bộ lọc thông thấp thứ hai để lọc cấu trúc dữ liệu đầu vào được nâng cấp, trong đó cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số thấp thu được;

bộ xác định để xác định trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số thấp mảng thứ nhất tại vị trí thứ nhất;

bộ tìm kiếm để tìm kiếm trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp đối với khối thứ nhất mà khớp nhất với mảng thứ nhất và xác định vị trí của khối thứ nhất nêu trên trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp;

bộ lựa chọn để lựa chọn khối thứ hai trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số cao tại vị trí mà được xác định đối với khối thứ nhất nêu trên trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp;

bộ tích lũy để tích lũy, bằng cách cộng theo điểm ảnh, dữ liệu điểm ảnh của khối thứ hai được lựa chọn vào mảng thứ hai, mảng thứ hai là mảng trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao tại vị trí thứ nhất, trong đó cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao là trống lúc khởi tạo;

bộ điều khiển để điều khiển:

bộ xác định để xác định mảng mới trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số thấp;

bộ tìm kiếm để tìm kiếm trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp đối với khối mà khớp nhất mảng mới và xác định vị trí của khối thứ nhất trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp,

bộ lựa chọn để lựa chọn khối tương ứng trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số cao, và

bộ tích lũy để tích lũy dữ liệu điểm ảnh của khối tương ứng được lựa chọn vào mảng trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao ở vị trí của mảng mới;

bộ chuẩn hóa để chuẩn hóa các giá trị điểm ảnh được tích lũy trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao, nhờ đó cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao được chuẩn hóa thu được và trong đó bước chuẩn hóa bao gồm, đối với điểm ảnh hiện tại, chia giá trị được tích lũy của điểm ảnh hiện tại cho số phần góp của các điểm ảnh vào giá trị được tích lũy của điểm ảnh hiện tại; và

bộ kết hợp để kết hợp cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao được chuẩn hóa với cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số thấp, nhờ đó thu được cấu trúc dữ liệu được siêu phân giải.

14. Thiết bị theo điểm 13, thiết bị này còn bao gồm bộ lọc thông cao để lọc cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao được chuẩn hóa, bộ lọc thông cao có tần số cắt được chuẩn hóa là $\Omega_{1,h}=d/n$, bậc là $N_{1,h}=\text{làm tròn}(N_0*n/d)$ và biên độ là $\sigma_{1,h}=1$, trong đó d là hệ số hạ cấp, n là hệ số nâng cấp và N_0 là chỉ số bậc của bộ lọc thông thấp thứ nhất.

15. Thiết bị theo điểm 13, thiết bị này còn bao gồm bộ xác định cửa sổ tìm kiếm để xác định cửa sổ tìm kiếm trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp, trong đó cửa sổ tìm kiếm bao gồm vùng xung quanh khối tại vị trí mà tương ứng với vị trí thứ nhất nêu trên trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao, và trong đó bộ tìm kiếm tìm kiếm trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp chỉ trong cửa sổ tìm kiếm.

16. Thiết bị theo điểm 13, thiết bị này còn bao gồm bộ đếm để đếm số lượng phần góp trên điểm ảnh trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao, trong đó bộ chuẩn hóa thực hiện thao tác chia giá trị được tích lũy trên điểm ảnh cho số lượng phần góp.

17. Thiết bị theo điểm 13, trong đó bộ điều khiển điều khiển bộ xác định, bộ tìm kiếm, bộ lựa chọn, bộ tích lũy để lặp lại các thao tác của các bộ phận này đối với tất cả các mảng cho đến khi cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số thấp hoàn chỉnh được bao gồm.

18. Vật ghi đọc được bởi máy tính không phải tạm thời có các lệnh có thể chạy được để làm cho máy tính thực hiện phương pháp thực hiện việc xử lý siêu phân giải của cấu trúc dữ liệu đầu vào độ phân giải thấp của dữ liệu số, bao gồm các bước:

lọc cấu trúc dữ liệu đầu vào bởi bộ lọc thông thấp thứ nhất, trong đó cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp thu được;

tính toán độ chênh lệch giữa cấu trúc dữ liệu đầu vào và cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp, nhờ đó cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số cao được tạo ra, nâng cấp cấu trúc dữ liệu đầu vào, và lọc cấu trúc dữ liệu đầu vào được nâng cấp bởi bộ lọc thông thấp thứ hai, trong đó cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số thấp thu được;

xác định trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số thấp mảng thứ nhất tại vị trí thứ nhất;

tìm kiếm trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp khối thứ nhất mà khớp nhất với mảng thứ nhất, và xác định vị trí của khối thứ nhất nêu trên trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp;

lựa chọn khối thứ hai trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số cao tại vị trí mà được xác định cho khối thứ nhất trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp;

tích lũy bằng cách cộng theo điểm ảnh dữ liệu điểm ảnh của khối thứ hai được lựa chọn vào mảng thứ hai, mảng thứ hai là mảng trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao tại vị trí thứ nhất, trong đó cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao là trống lúc khởi tạo;

xác định mảng mới trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số thấp, tìm kiếm trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp khối mà khớp nhất với mảng mới, lựa chọn khối tương ứng trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số cao và tích lũy dữ liệu điểm ảnh của khối tương ứng được lựa chọn vào mảng trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao tại vị trí của mảng mới nêu trên;

chuẩn hóa bằng cách tính trung bình các giá trị điểm ảnh được tích lũy trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao, nhờ đó mỗi giá trị điểm ảnh được tích lũy được chia cho số lượng phần góp của các điểm ảnh có đóng góp vào đó, và nhờ đó cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao được chuẩn hóa thu được; và

cộng cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao được chuẩn hóa vào cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số thấp, nhờ đó thu được cấu trúc dữ liệu được siêu phân giải.

19. Vật ghi theo điểm 18, trong đó phương pháp thực hiện việc xử lý siêu phân giải còn bao gồm bước lọc cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao được chuẩn hóa với bộ lọc thông cao, bộ lọc thông cao này có tần số cắt được chuẩn hóa là $\Omega_{l,h}=d/n$, bậc là

$N_{1,h} = \text{làm tròn}(N_0 * n/d)$, và biên độ là $\sigma_{1,h} = 1$, trong đó d là hệ số hạ cấp, n là hệ số nâng cấp và N_0 là chỉ số bậc của bộ lọc thông thấp thứ nhất.

20. Vật ghi theo điểm 18, trong đó xác định mảng mới trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số thấp, tìm kiếm trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số thấp đối với khối mà phù hợp nhất với mảng mới, lựa chọn khối tương ứng trong cấu trúc dữ liệu đầu vào tần số cao và tích lũy dữ liệu điểm ảnh của khối tương ứng được lựa chọn vào mảng trong cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số cao ở vị trí của mảng mới được lặp lại đối với toàn bộ mảng cho đến khi cấu trúc dữ liệu được nâng cấp tần số thấp hoàn chỉnh được bao gồm.

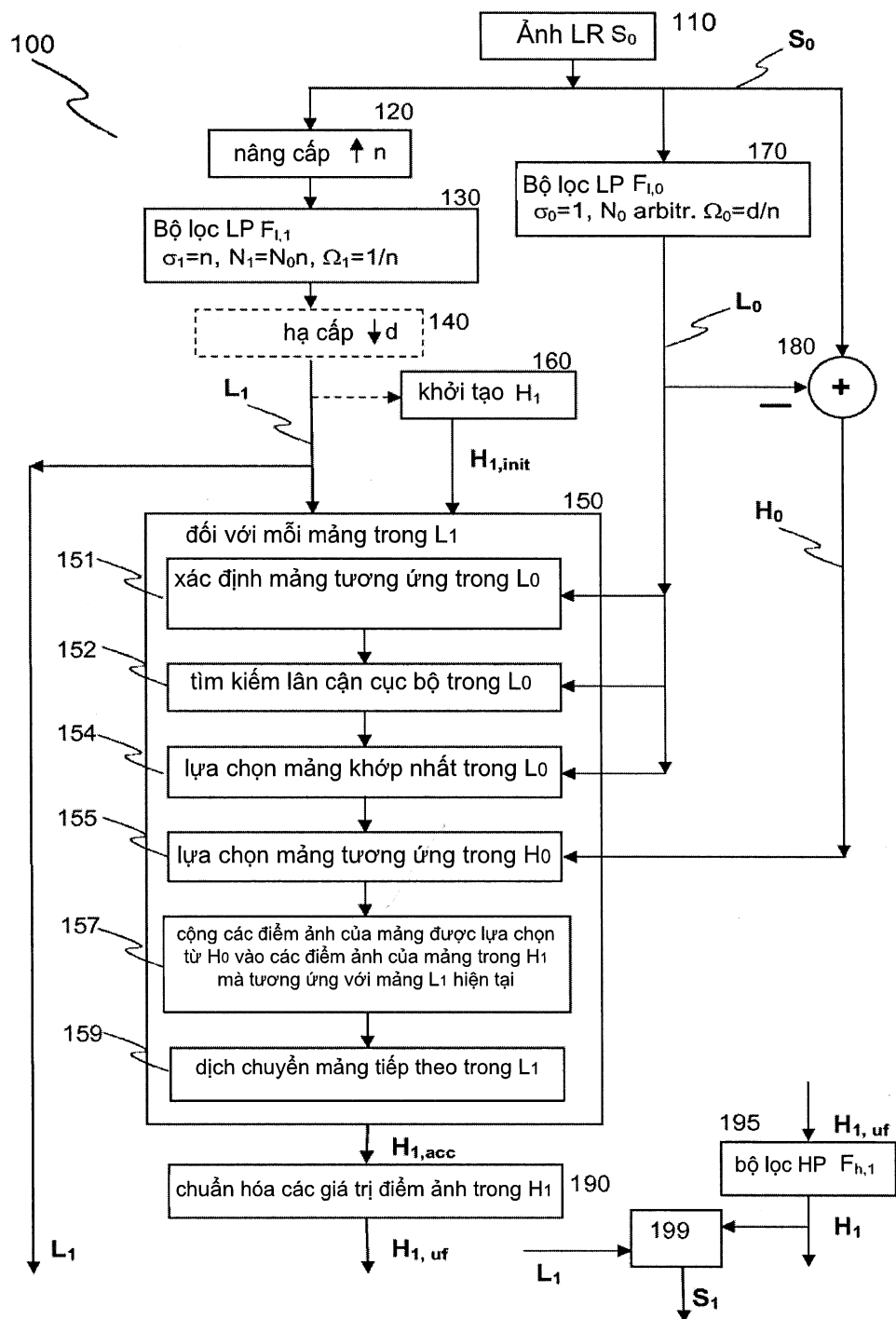


Fig.1

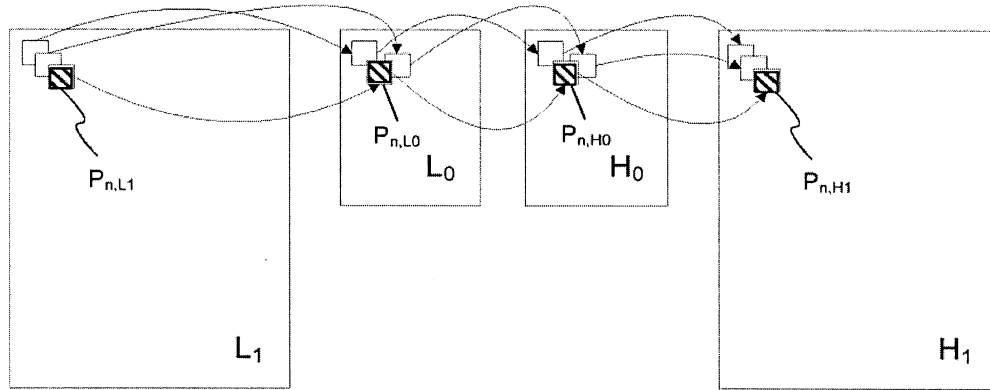


Fig.2

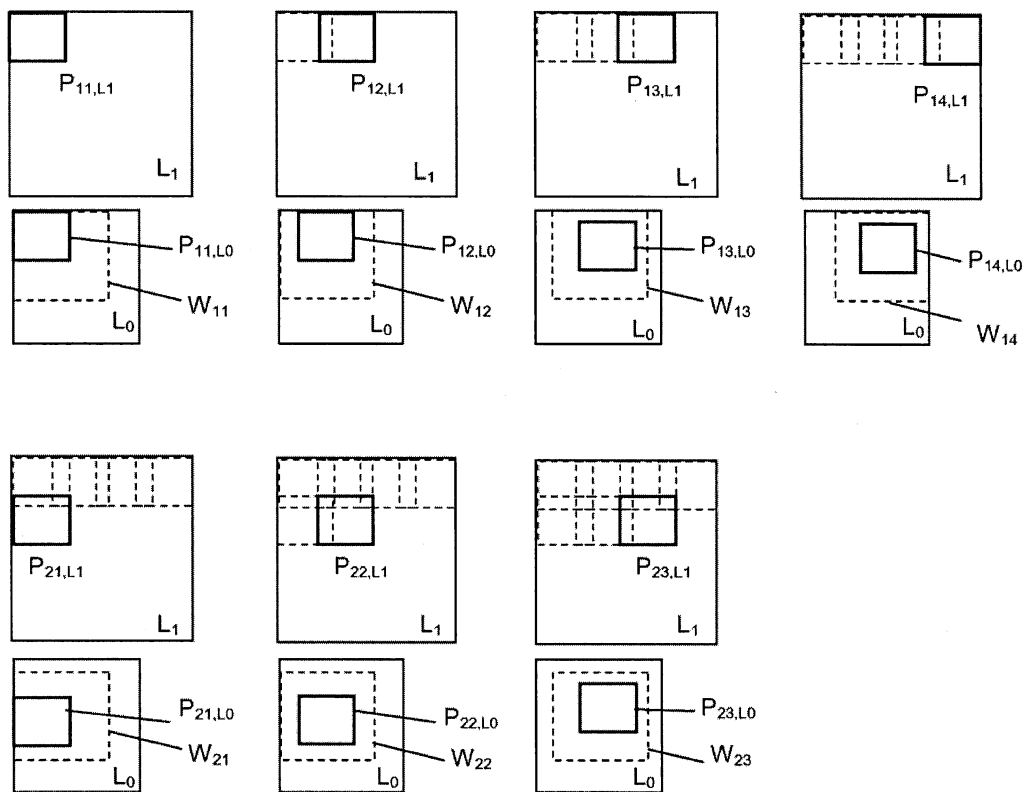


Fig.3

3/6

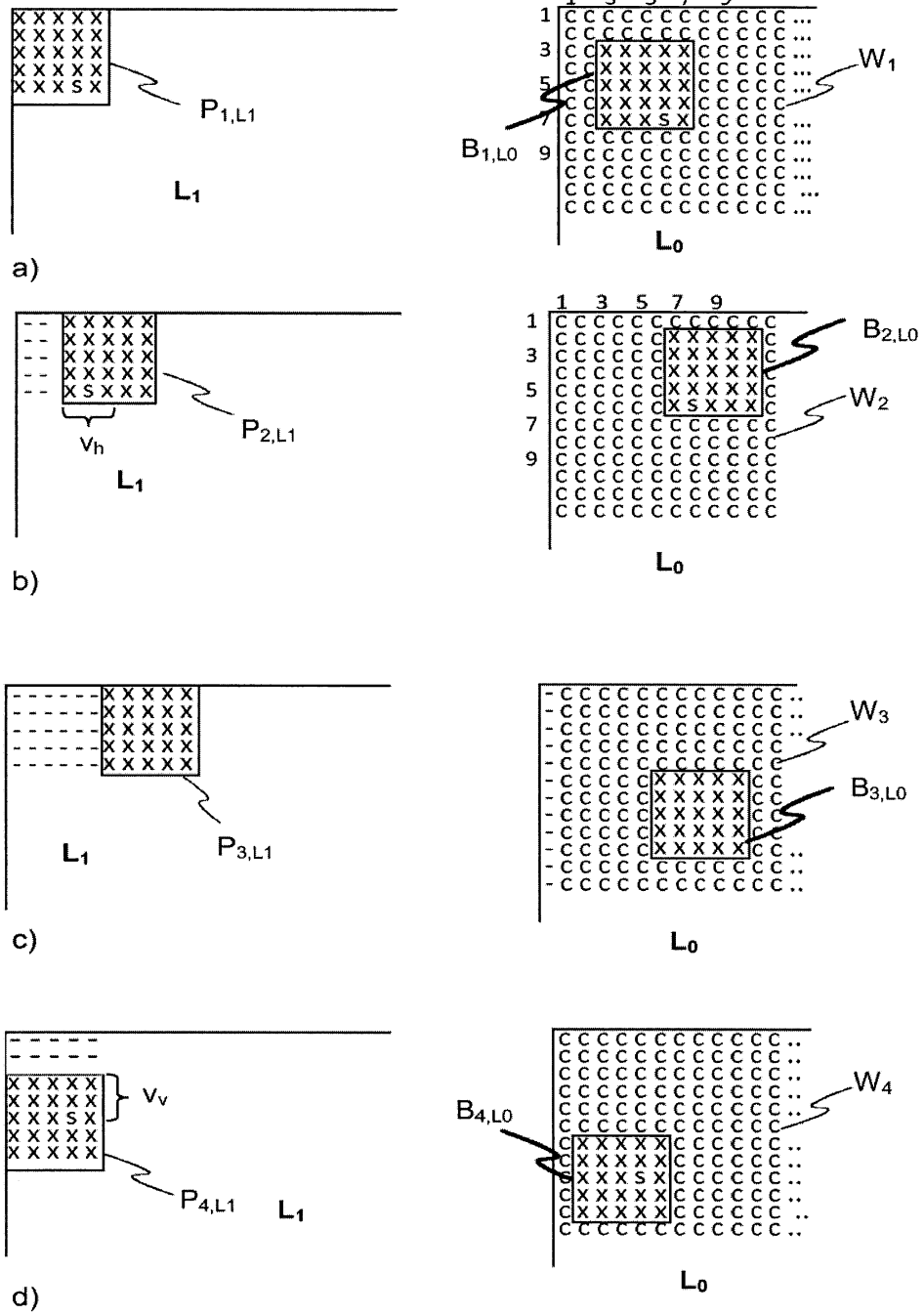


Fig.4

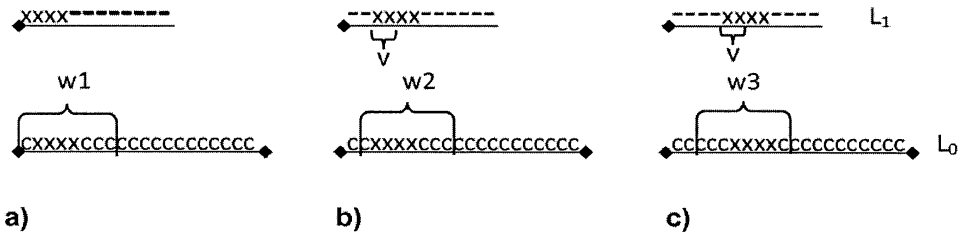


Fig.5

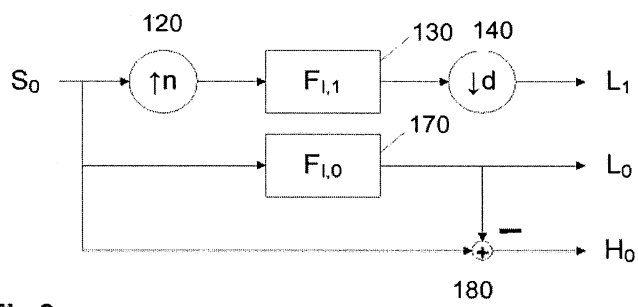


Fig.6

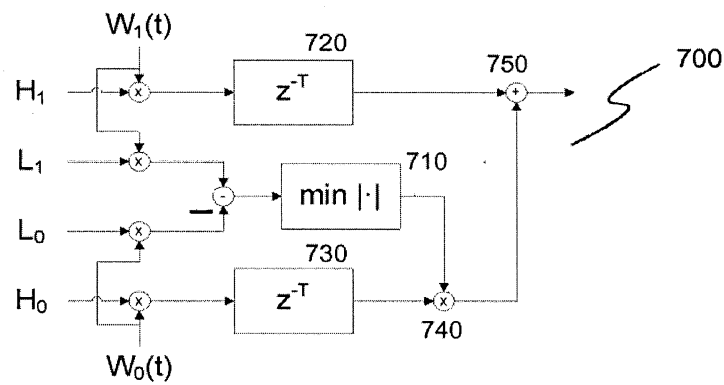


Fig.7

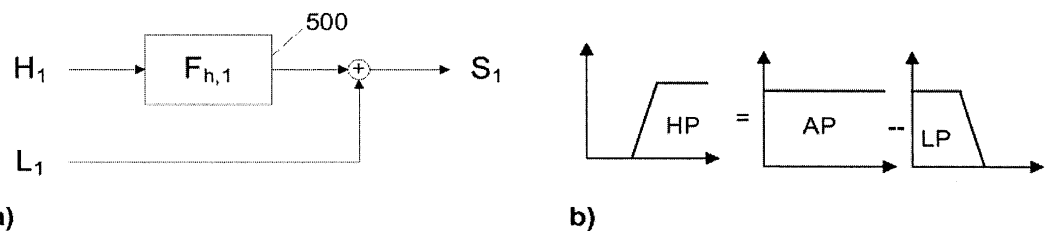


Fig.8

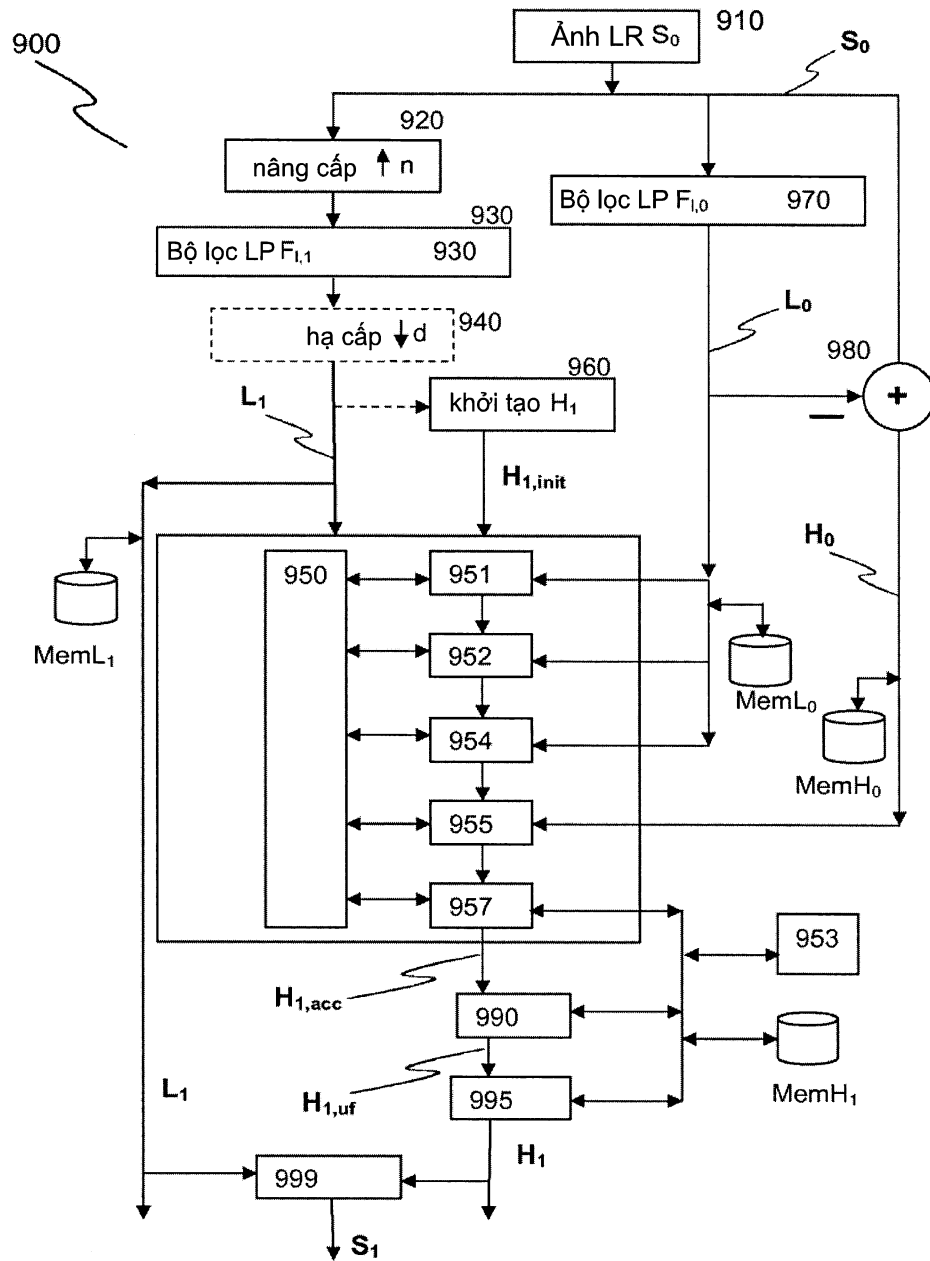
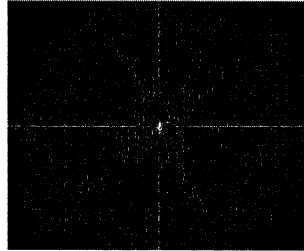


Fig.9

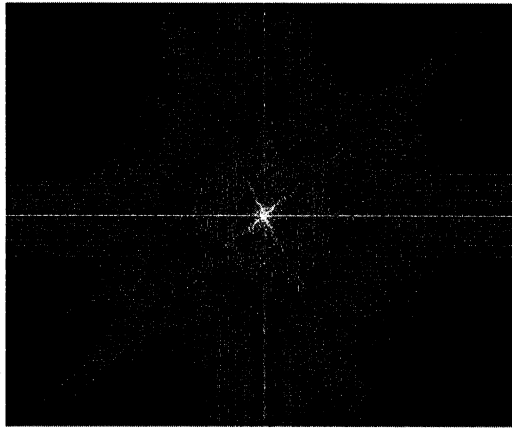
6/6



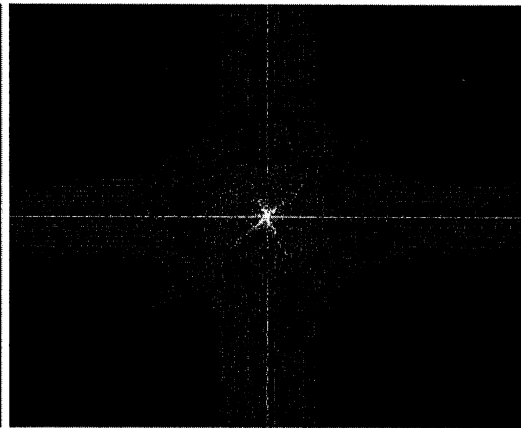
a)



b)



c)



d)

Fig.10

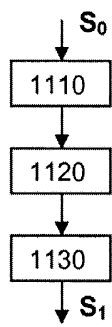


Fig.11