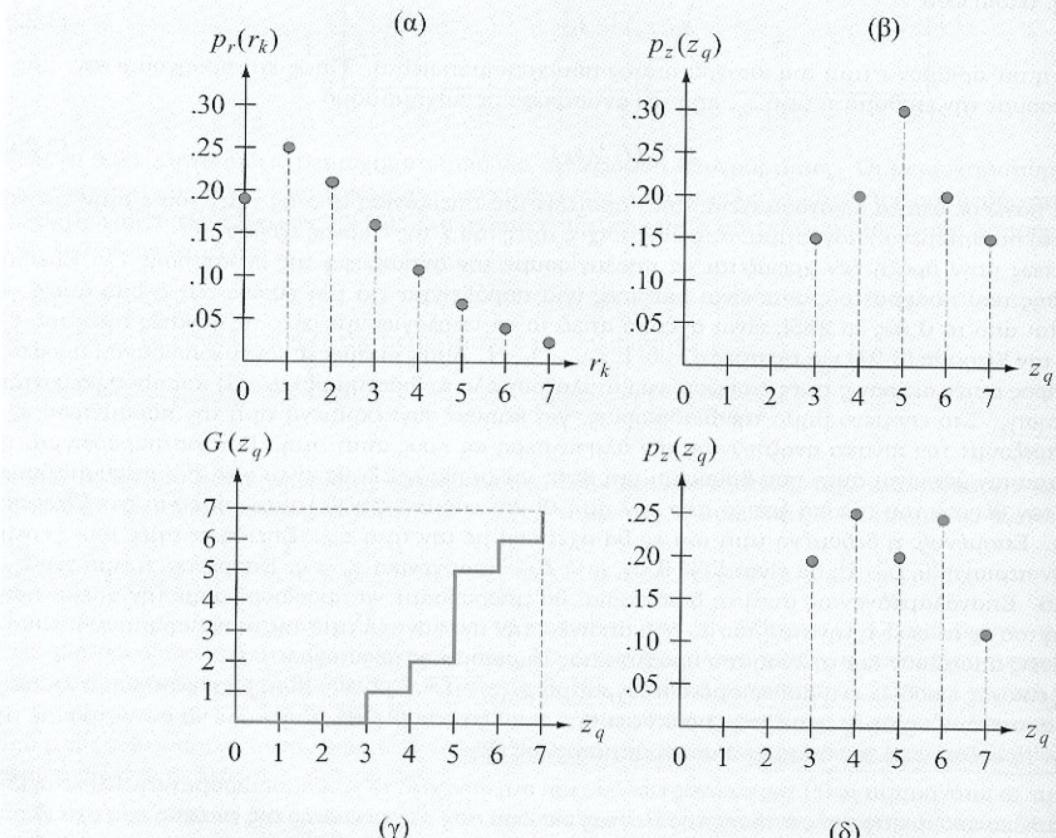


ικανοποιεί τη συνθήκη (α'). Σε σχέση με την Εξίσωση (3-21), αυτό σημαίνει πως καμία από τις τιμές των διθέντος ιστογράμματος δεν θα πρέπει να έχει τιμή ίση με το μηδέν (δείτε το Πρόβλημα 3.9). Εάν αυτή η διθέση δεν ικανοποιείται, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την εναλλακτική διαδικασία στο Βήμα 3. Αυτή η διθέση επιδεικνύεται με αριθμητικό τρόπο στο επόμενο παράδειγμα.

### ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3-7

Ένα απλό παράδειγμα ταιριάσματος σε ιστόγραμμα.

Θεωρήστε την υποθετική εικόνα διαστάσεων  $64 \times 64$  του Παραδείγματος 3.5, το οποίου το ιστόγραμμα να λαμβάνεται στην Εικόνα 3.22(a) και έστω πως επιθυμούμε να μετασχηματίσουμε αυτό το ιστόγραμμα τέτοιο τρόπο ώστε αυτό να έχει τις τιμές που περιλαμβάνονται στη δεύτερη στήλη του Πίνακα 3.2. Το ιστόγραμμα απεικονίζεται στην Εικόνα 3.22(b).



**Σχήμα 3.22** Από αριστερά προς τα δεξιά και από πάνω προς τα κάτω: (α) Το ιστόγραμμα της εικόνας των (β) Το ιστόγραμμα που θέλουμε να κατασκευάσουμε, (γ) Η συνάρτηση του μετασχηματισμού που προκύπτει από το ιστόγραμμα της εικόνας (β) και (δ) Το αποτέλεσμα που προκύπτει από την εφαρμογή της διαδικασίας συγκρίνετε τις εικόνες (β) και (δ).

Το πρώτο βήμα της διαδικασίας συνίσταται στον υπολογισμό των ανηγμένων τιμών του ισοσταθμισμένου ιστογράμματος, κάτι που κάναμε και στο Παράδειγμα 3.5. Θα λάθουμε λοιπόν

$$s_0 = 1 \quad s_2 = 5 \quad s_4 = 7 \quad s_6 = 7 \quad s_1 = 3 \quad s_3 = 6 \quad s_5 = 7 \quad s_7 = 7$$

Στο επόμενο βήμα, υπολογίζουμε τις τιμές της  $G(z_q)$ , χρησιμοποιώντας στην Εξίσωση (3-21) τις τιμές που αποκαλύπτονται στον Πίνακα 3.2. Θα είναι λοιπόν

$$\begin{aligned} G(z_0) &= 0.00 & G(z_2) &= 0.00 & G(z_4) &= 2.45 & G(z_6) &= 5.95 \\ G(z_1) &= 0.00 & G(z_3) &= 1.05 & G(z_5) &= 4.55 & G(z_7) &= 7.00 \end{aligned}$$

Όπως και στο Παράδειγμα 3.5, αυτοί οι μεικτοί αριθμοί μετατρέπονται σε ακέραιους στην περιοχή τιμών οδηγώντας στο αποτέλεσμα

$G(z_0) = 0.00 \rightarrow 0$	$G(z_4) = 2.45 \rightarrow 2$
$G(z_1) = 0.00 \rightarrow 0$	$G(z_5) = 4.55 \rightarrow 5$
$G(z_2) = 0.00 \rightarrow 0$	$G(z_6) = 5.95 \rightarrow 6$
$G(z_3) = 1.05 \rightarrow 1$	$G(z_7) = 7.00 \rightarrow 7$

Σ 3.2 Το επιθυμητό και το πραγματικό ιστόγραμμα (οι τιμές της τρίτης στήλης προκύπτουν από τους μετασχηματισμούς του Παραδείγματος 4.8).

<b>Επιθυμητό</b> $z_q$	<b>Πραγματικό</b> $p_z(z_q)$
$z_0 = 0$	0.00
$z_1 = 1$	0.00
$z_2 = 2$	0.00
$z_3 = 3$	0.15
$z_4 = 4$	0.20
$z_5 = 5$	0.30
$z_6 = 6$	0.20
$z_7 = 7$	0.15

Βασικά τα αποτελέσματα συνοψίζονται στον Πίνακα 3.3 ενώ η συνάρτηση του μετασχηματισμού  $G(z_q)$  απεικονίζεται στην Εικόνα 3.22(y). Επειδή οι πρώτες τρεις τιμές είναι ίσες μεταξύ τους, η συνάρτηση  $G$  δεν είναι μονότονη και επομένως η συνθήκη (a') παραβιάζεται. Επομένως, προκειμένου να χειριστούμε αυτή την ανάσταση, μπορούμε να καταφύγουμε στην προσέγγιση του Βήματος 3 του αλγορίθμου. Σύμφωνα με αυτήν την βήμα, προσδιορίζουμε τη μικρότερη τιμή του  $z_q$  για την οποία η τιμή του  $G(z_q)$  να είναι η πλησιέστερη από το  $s_k$ . Αυτό είναι κάτι που το κάνουμε για κάθε τιμή του  $s_k$  έτσι ώστε να κατασκευάσουμε τις αντίστοιχες απεικονίσεις από το  $s$  στο  $z$ . Για παράδειγμα, είναι  $s_0 = 1$  και  $G(z_3) = 1$  - παρατηρούμε πως προκειμένη περίπτωση η συμφωνία ανάμεσα στις δύο τιμές είναι τέλεια - και επομένως καταλήγουμε στην αντίστοιχη  $s_0 \rightarrow z_3$ . Αυτό σημαίνει πως το κάθε εικονοοτοιχείο η τιμή του οποίου στην εικόνα που προκύπτει από το ισοσταθμισμένο ιστόγραμμα είναι ίση με 1, θα ελάμβανε την τιμή 3 στην εικόνα που προκύπτει από το πραγματικό ιστόγραμμα. Συνεχίζοντας με τον τρόπο αυτό, καταλήγουμε τελικά στις απεικονίσεις που απεικονίζονται στον Πίνακα 3.4.

Σ 3.3 Όλες οι δυνατές τιμές της συνάρτησης μετασχηματισμού  $G$ , προσαρμοσμένες κατάλληλα, προκύπτουμενές και ταξινομημένες συναρτήσει της τιμής της μεταβλητής  $z$ .

$z_q$	$G(z_q)$
$z_0 = 0$	0
$z_1 = 1$	0
$z_2 = 2$	0
$z_3 = 3$	1
$z_4 = 4$	2
$z_5 = 5$	5
$z_6 = 6$	6
$z_7 = 7$	7

Σ 3.4 Απεικονίσεις όλων των τιμών του  $s_k$  στις αντίστοιχες τιμές του  $z_q$ .

$s_k$	$\rightarrow$	$z_q$
1	$\rightarrow$	3
3	$\rightarrow$	4
5	$\rightarrow$	5
6	$\rightarrow$	6
7	$\rightarrow$	7

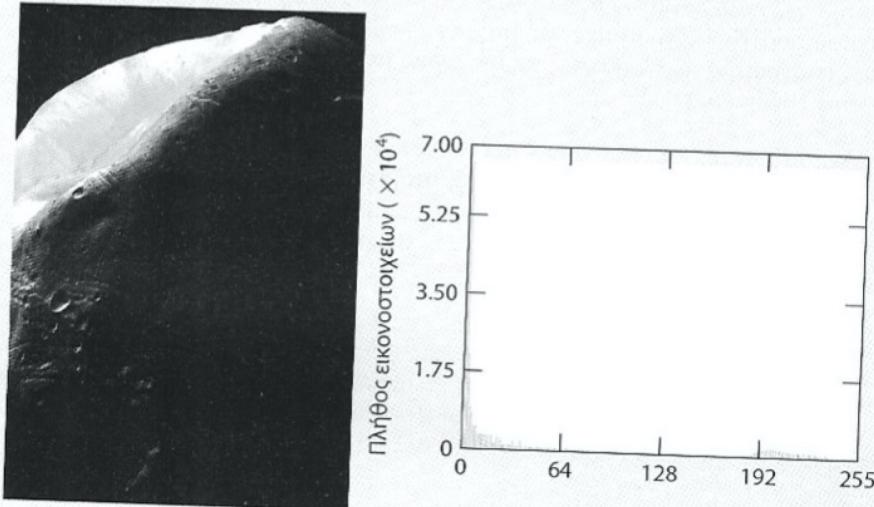
Στο τελευταίο βήμα της διαδικασίας, χρησιμοποιούμε τις τιμές του Πίνακα 3.4 για να απεικονίσουμε κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας που σχετίζεται με το εξισωθέν ιστόγραμμα, στο αντίστοιχο εικονοστοιχείο της νέας εικόνας που σχετίζεται με το ιστόγραμμα που κατασκευάσαμε προηγουμένως. Οι τιμές του ιστογράμματος που έχει προκύψει περιλαμβάνονται στην τρίτη στήλη του Πίνακα 3.2 ενώ αυτό το ιστόγραμμα απεικονίζεται στην Εικόνα 3.22(δ). Οι τιμές των παραμέτρων  $p_z(z_q)$  έχουν προκύψει χρησιμοποιώντας την ίδια διαδικασία με το Παράδειγμα 3.5. Για παράδειγμα, από τον Πίνακα 3.4 διαπιστώνουμε ότι η τιμή  $s = 1$ , απεικονίζεται στην τιμή  $z = 3$ , ενώ γνωρίζουμε πως στην εικόνα που σχετίζεται με το ιστοσταθμισμένο ιστόγραμμα, υπάρχουν 790 εικονοστοιχεία με τιμή ίση με 1. Θα είναι λοιπόν  $p_z(z_3) = 790/4096 = 0.19$ .

Αν και το τελικό αποτέλεσμα που απεικονίζεται στην Εικόνα 4.22(δ) δεν είναι ακριβώς το ίδιο με το ιστόγραμμα που θέλαμε να επιτύχουμε, καταφέραμε ωστόσο πέραν πάσης αμφιβολίας να μετακινήσουμε τις εντάσεις των εικονοστοιχείων της εικόνας προς την περιοχή υψηλών τιμών της κλίμακας των εντάσεων. Όπως αναφέραμε νωρίτερα, η κατασκευή της εικόνας που αντιστοιχεί στο εξισωθέν ιστόγραμμα ως ένα ενδιάμεσο βήμα της όλης διαδικασίας, είναι μεν χρήσιμη όσον αφορά στην επεξήγηση της διαδικασίας, όχι όμως και αναγκαία· αντίθετα, θα μπορούσαμε να καταχωρίσουμε όλες τις απεικονίσεις των  $r$  στα  $s$  και των  $s$  στα  $r$  σε ένα πίνακα τριών στηλών και στη συνέχεια να τις χρησιμοποιήσουμε για να απεικονίσουμε απευθείας τα αυθεντικά εικονοστοιχεία στα εικονοστοιχεία της εικόνας του ιστογράμματος.

### ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3-8

#### Σύγκριση ανάμεσα στην εξίσωση και στο ταίριασμα ιστογράμματος.

Η Εικόνα 3.23(a) δείχνει μία Εικόνα του Φόβου, ενός από τα φεγγάρια του Άρη που έχει ληφθεί από το διαστημόπλοιο Mars Global Surveyor της NASA, ενώ η Εικόνα 3.23(b) απεικονίζει το ιστόγραμμα της εν λόγω εικόνας. Παρατηρούμε πως η εικόνα κυριαρχείται από μεγάλες σκοτεινές περιοχές και για το λόγο αυτό το ιστόγραμμα θα χαρακτηρίζεται από μεγάλη συγκέντρωση εικονοστοιχείων στο σκοτεινό άκρο της κλίμακας του γκρι. Με μία πρώτη ματιά, θα μπορούσε κάποιος να συμπεράνει πως η εξίσωση ιστογράμματος θα ήταν ίσως οι λεπτομέρειες που κρύβονται μέσα στις σκοτεινές περιοχές να γίνουν περισσότερο εμφανείς. Όπως όμως αποδεικνύεται στη συζήτηση που ακολουθεί, τα πράγματα δεν είναι έτσι.



Σχήμα 3.23 Από αριστερά προς τα δεξιά : (a) Μια φωτογραφία και (b) το ιστόγραμμα της.

Η Εικόνα 3.24(a) παρουσιάζει ένα μετασχηματισμό εξίσωσης ιστογράμματος [που περιγράφεται από την Εξίσωση (3-20)] και ο οποίος έχει προκύψει από το ιστόγραμμα της Εικόνας 3.23(b). Το πιο ουσιαστικό χαρακτηριστικό αυτού του μετασχηματισμού, είναι το πόσο γρήγορα αυτός μεταβαίνει από το επίπεδο έντασης 0 σε ένα επίπεδο έντασης με τιμή κοντά στο 190. Αυτό είναι κάτι που προκαλείται από τη μεγάλη συγκέντρωση των εικονοστοιχείων στο ιστόγραμμα εισόδου για τα οποία το επίπεδο έντασης είναι κοντά στο 0. Όταν λάβει χώρα η εφαρμογή αυτού του μετασχηματισμού πάνω στα επίπεδα της εικόνας εισόδου έτσι ώστε να κατασκευάσουμε μία εξίσωση εικόνα, το τελικό αποτέλεσμα είναι η απεικόνιση μιας πολύ στενής ζώνης από εικονοστοιχεία σκοτεινού χρώματος, στην περιοχή υψηλών τιμών της κλίμακας του γκρι της εικόνας εξόδου. Επειδή πάρα πολλά από τα εικονοστοιχεία της εικόνας εισόδου έχουν τιμές έντασης που βρίσκονται επακριβώς μέσα σε αυτό