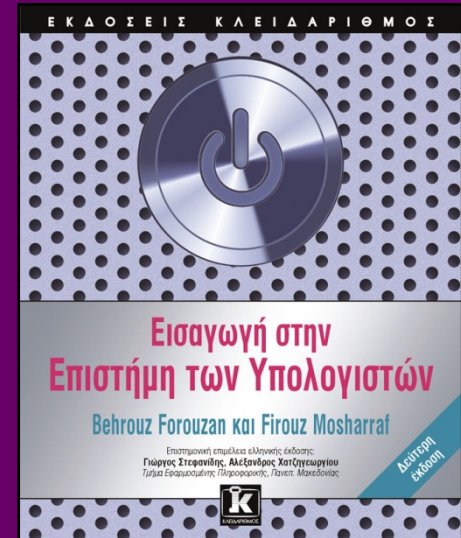


15

Συμπύεση δεδομένων

Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών ©
Εκδόσεις Κλειδάριθμος

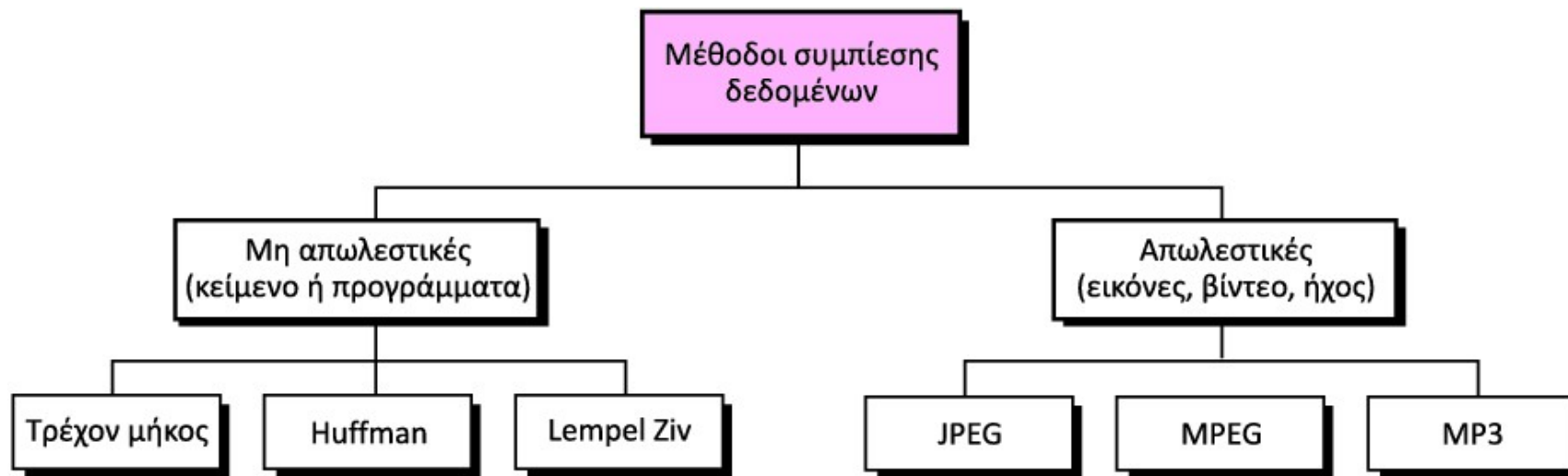


Στόχοι

Μετά την ολοκλήρωση αυτού του κεφαλαίου, ο σπουδαστής θα είναι σε θέση:

- Να κατανοεί τη διαφορά ανάμεσα στη μη απωλεστική και την απωλεστική συμπίεση.
- Να περιγράφει την κωδικοποίηση τρέχοντος μήκους και τον τρόπο με τον οποίο επιτυγχάνεται η συμπίεση με αυτή τη μέθοδο.
- Να περιγράφει την κωδικοποίηση Huffman και τον τρόπο με τον οποίο επιτυγχάνεται η συμπίεση με αυτή τη μέθοδο.
- Να περιγράφει την κωδικοποίηση Lempel Ziv και τον ρόλο του λεξικού στην κωδικοποίηση και την αποκωδικοποίηση.
- Να περιγράφει τη βασική ιδέα πίσω από το πρότυπο JPEG για τη συμπίεση εικόνων.
- Να περιγράφει τη βασική ιδέα πίσω από το πρότυπο MPEG για τη συμπίεση βίντεο και τη σχέση του με το πρότυπο JPEG.
- Να περιγράφει τη βασική ιδέα πίσω από το πρότυπο MP3 για τη συμπίεση ήχου.

Με τον όρο **συμπίεση δεδομένων** (data compression) εννοούμε την αποστολή ή την αποθήκευση μικρότερου πλήθους bit. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται πολλές μέθοδοι, οι οποίες χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τις **μη απωλεστικές** και τις **απωλεστικές**.



Εικόνα 15.1 Μέθοδοι συμπίεσης δεδομένων

15-1 ΜΗ ΑΠΩΛΕΣΤΙΚΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ

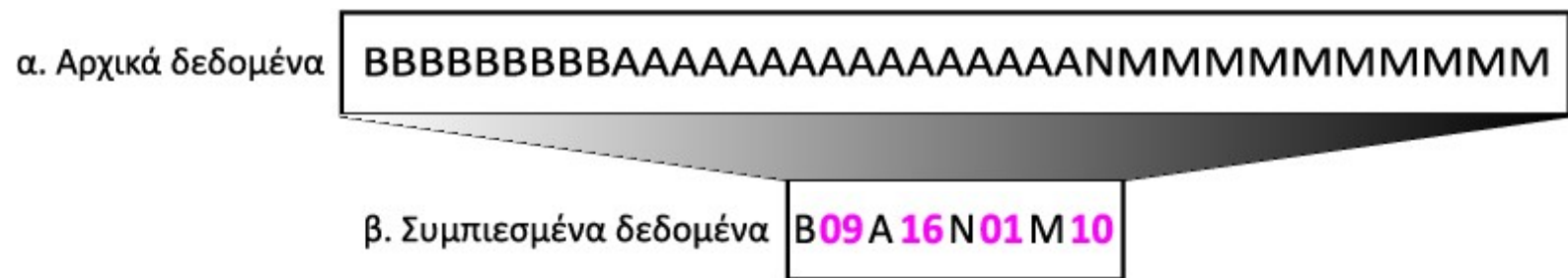
Στη **μη απωλεστική συμπίεση** (lossless compression) διατηρείται η ακεραιότητα των δεδομένων. Τα αρχικά δεδομένα και τα δεδομένα μετά τη συμπίεση και την αποσυμπίεση είναι ακριβώς τα ίδια, επειδή σε αυτές τις μεθόδους ο αλγόριθμος συμπίεσης και ο αλγόριθμος αποσυμπίεσης είναι ακριβώς αντίστροφοι μεταξύ τους. Έτσι, κατά τη διαδικασία δεν χάνεται κανένα μέρος των δεδομένων. Τα πλεονάζοντα δεδομένα αφαιρούνται κατά τη συμπίεση και προστίθενται πάλι κατά την αποσυμπίεση. Οι μη απωλεστικές μέθοδοι συμπίεσης χρησιμοποιούνται όταν δεν πρέπει να χαθεί κανένα τμήμα δεδομένων.

Κωδικοποίηση τρέχοντος μήκους

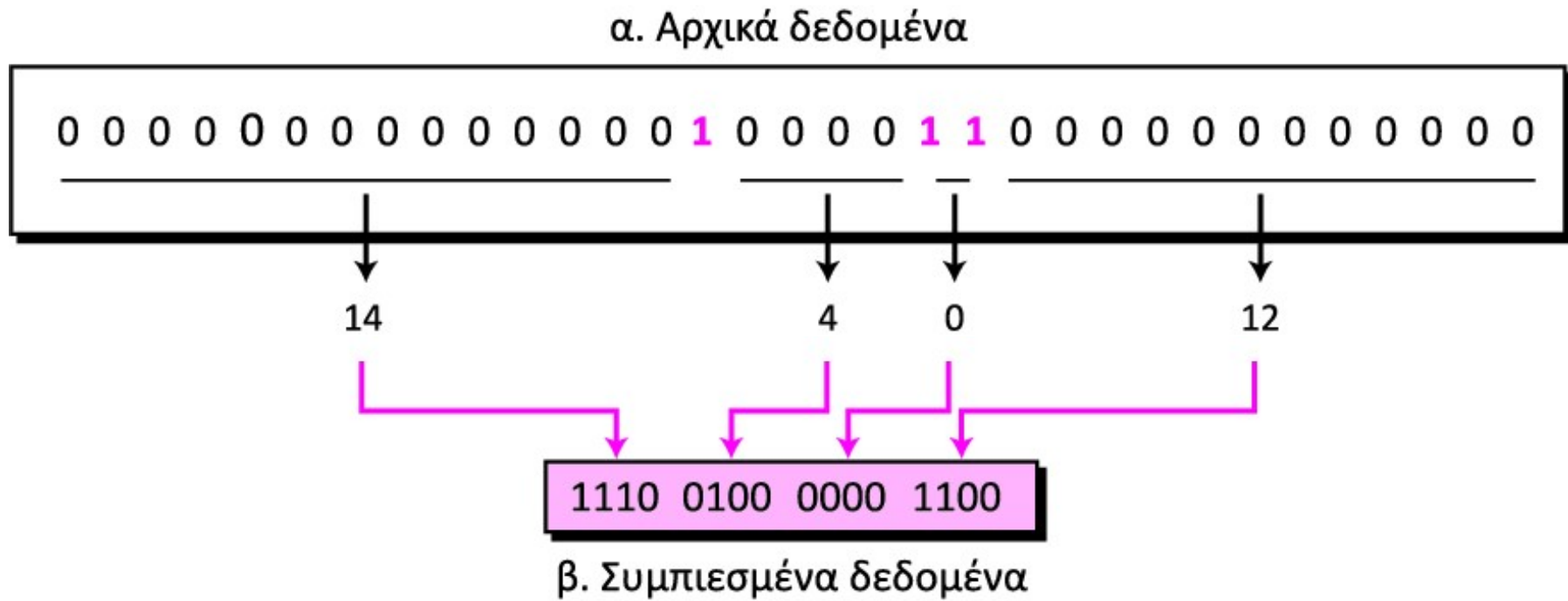
Η κωδικοποίηση τρέχοντος μήκους (run-length encoding) αποτελεί πιθανότατα την απλούστερη μέθοδο συμπίεσης. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη συμπίεση δεδομένων που αποτελούνται από οποιονδήποτε συνδυασμό συμβόλων. Με αυτή τη μέθοδο συμπίεσης, η οποία είναι πολύ αποδοτική όταν τα δεδομένα αναπαρίστανται ως μηδενικά και άσσοι, δεν είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τη συχνότητα με την οποία εμφανίζονται τα σύμβολα.

Η γενική ιδέα πίσω από αυτή τη μέθοδο είναι η αντικατάσταση των συνεχόμενων επαναλαμβανόμενων παρουσιών ενός συμβόλου από μόνο μία παρουσία του συμβόλου και τον αριθμό των παρουσιών.

Η μέθοδος μπορεί να γίνει ακόμα πιο αποδοτική αν στα σχήματα bit των δεδομένων χρησιμοποιούνται μόνο δύο σύμβολα (για παράδειγμα, το 0 και το 1) και το ένα σύμβολο εμφανίζεται με μεγαλύτερη συχνότητα από το άλλο.



Εικόνα 15.2 Παράδειγμα κωδικοποίησης τρέχοντος μήκους



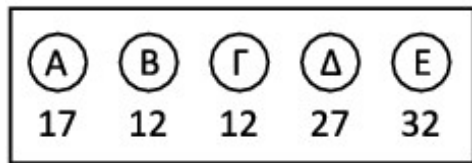
Εικόνα 15.3 Κωδικοποίηση τρέχοντος μήκους για δύο σύμβολα

Κωδικοποίηση Huffman

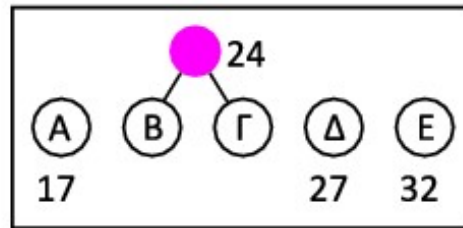
Κατά την **κωδικοποίηση Huffman** αντιστοιχίζονται συντομότεροι κωδικοί στα σύμβολα που συναντώνται συχνότερα και μεγαλύτεροι σε αυτά που συναντώνται όχι τόσο συχνά. Για παράδειγμα φανταστείτε ότι έχουμε ένα αρχείο κειμένου που χρησιμοποιεί μόνο πέντε χαρακτήρες (Α, Β, Γ, Δ, Ε). Πριν αντιστοιχιστούν στους χαρακτήρες σχήματα bit, υπολογίζεται το βάρος κάθε χαρακτήρα με βάση τη συχνότητα χρήσης του. Στο παράδειγμα αυτό υποθέτουμε ότι η συχνότητα των χαρακτήρων είναι αυτή του Πίνακα 15.1.

Πίνακας 15.1 **Συχνότητα χαρακτήρων**

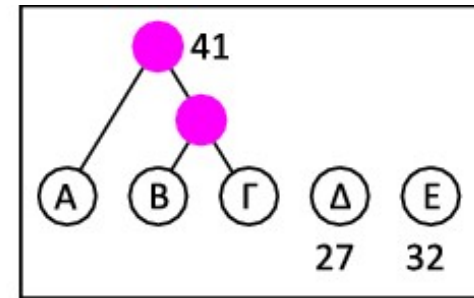
Χαρακτήρας	Α	Β	Γ	Δ	Ε
Συχνότητα	17	12	12	27	32



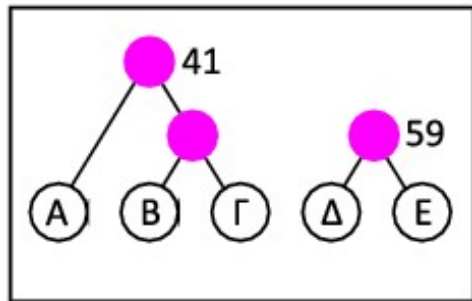
α.



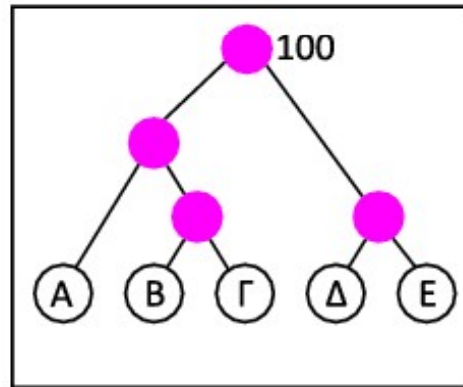
β.



γ.



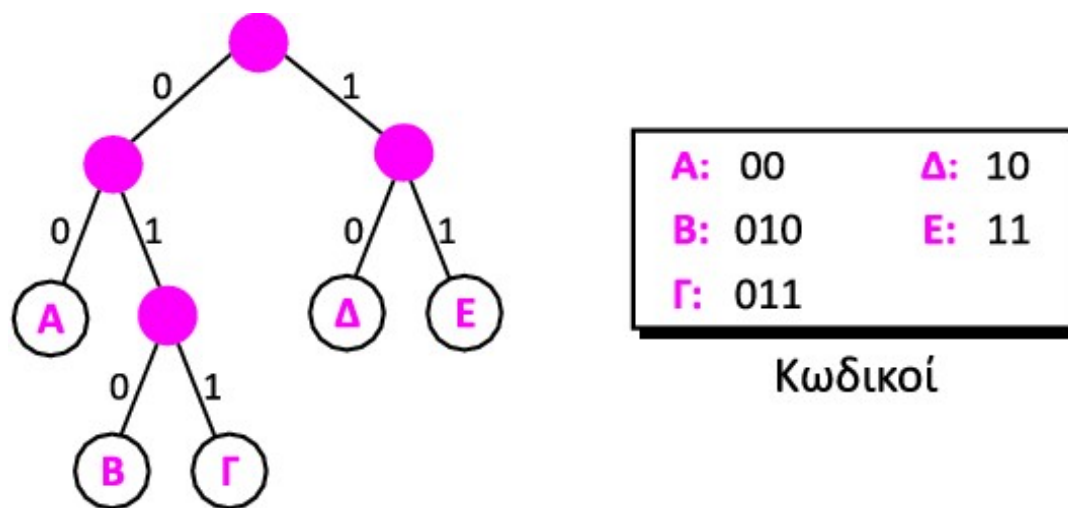
δ.



ε.

Εικόνα 15.4 Κωδικοποίηση Huffman

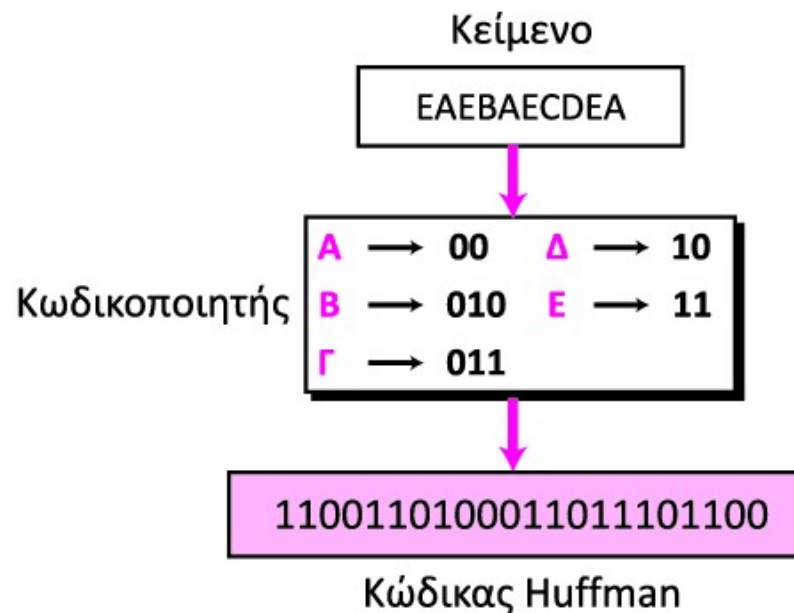
Για να βρούμε τον κωδικό ενός χαρακτήρα πρέπει να ξεκινήσουμε από τη ρίζα και να ακολουθήσουμε τους κλάδους που οδηγούν σε αυτόν. Ο κωδικός είναι οι τιμές bit όλων των κλάδων της διαδρομής με τη σειρά που τους συναντάμε.



Εικόνα 15.5 Το τελικό δέντρο και οι κωδικοί

Κωδικοποίηση

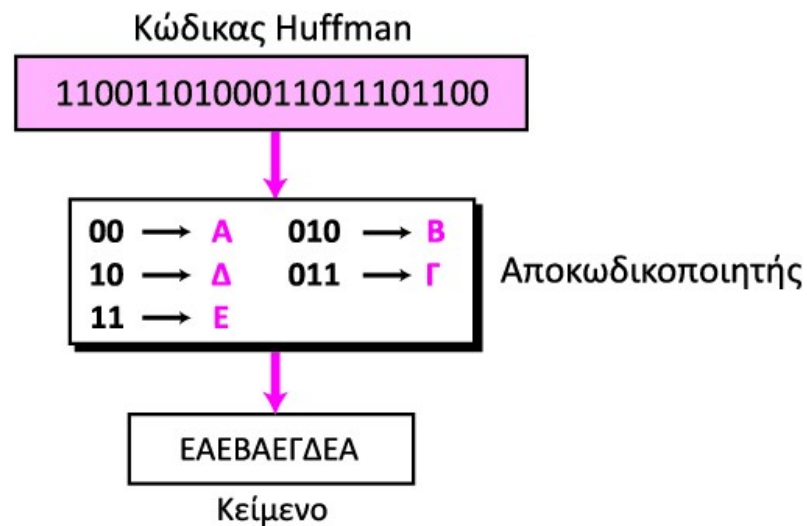
Τώρα θα δούμε πώς μπορούμε να κωδικοποιήσουμε κείμενο χρησιμοποιώντας τον τρόπο κωδικοποίησης των πέντε χαρακτήρων μας. Η Εικόνα 15.6 παρουσιάζει το αρχικό και το κωδικοποιημένο κείμενο.



Εικόνα 15.6 Κωδικοποίηση Huffman

Αποκωδικοποίηση

Η αποκωδικοποίηση των δεδομένων που λαμβάνει ο παραλήπτης είναι πολύ εύκολη δουλειά. Στην Εικόνα 15.7 μπορείτε να δείτε τη διαδικασία αυτή.



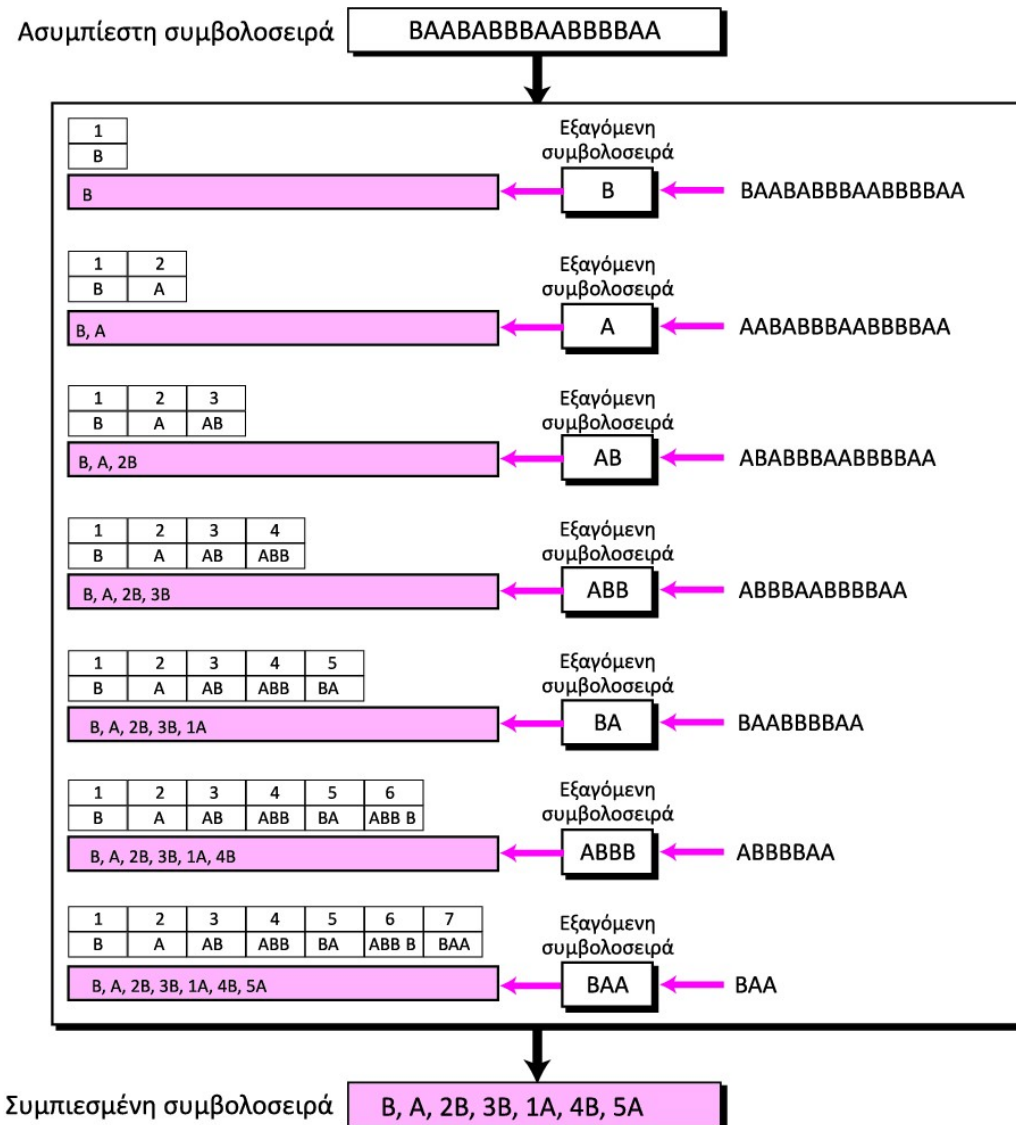
Εικόνα 15.7 Αποκωδικοποίηση Huffman

Κωδικοποίηση Lempel Ziv

Η **κωδικοποίηση Lempel Ziv** αποτελεί παράδειγμα μιας κατηγορίας αλγορίθμων οι οποίοι πραγματοποιούν κωδικοποίηση *βάσει λεξικού* (dictionary-based encoding). Η ιδέα βασίζεται στη δημιουργία ενός λεξικού (ενός πίνακα) από συμβολοσειρές ο οποίος χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια της συνεδρίας επικοινωνίας. Αν τόσο ο αποστολέας όσο και ο παραλήπτης διαθέτουν ένα αντίγραφο του λεξικού, τότε οι συμβολοσειρές που έχουν ήδη σταλεί μία φορά μπορούν να αντικατασταθούν από τον αριθμοδείκτη τους στο λεξικό ώστε να μειωθεί η ποσότητα των μεταβιβαζόμενων πληροφοριών.

Συμπίεση

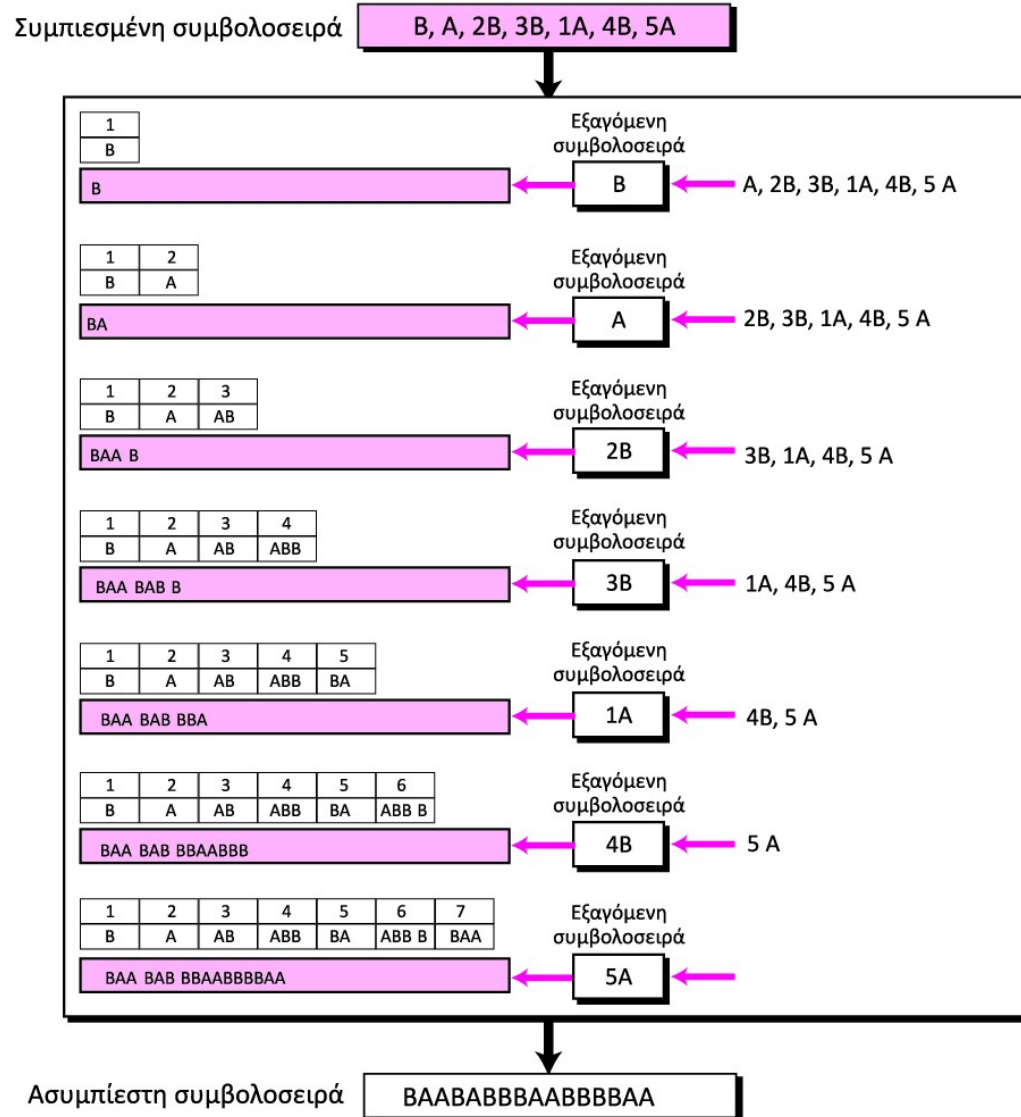
Σε αυτή τη φάση συμβαίνουν ταυτόχρονα δύο πράγματα: κατασκευάζεται ένα ευρετηριασμένο λεξικό και συμπιέζεται μία συμβολοσειρά. Ο αλγόριθμος εξάγει από την εναπομείνασα ασυμπιέστη συμβολοσειρά τη μικρότερη υποσυμβολοσειρά (substring) η οποία δεν υπάρχει στο λεξικό. Κατόπιν αποθηκεύει ένα αντίγραφο αυτής της συμβολοσειράς στο λεξικό ως νέα καταχώριση και της αντιστοιχίζει έναν αριθμοδείκτη. Η συμπίεση πραγματοποιείται με την αντικατάσταση της υποσυμβολοσειράς, εκτός από τον τελευταίο χαρακτήρα της, από τον αριθμοδείκτη που βρέθηκε στο λεξικό. Ο αλγόριθμος κατόπιν εισάγει τον αριθμοδείκτη και τον τελευταίο χαρακτήρα της υποσυμβολοσειράς στη συμπιεσμένη συμβολοσειρά.



Εικόνα 15.8 Παράδειγμα κωδικοποίησης Lempel Ziv

Αποσυμπίεση

Η αποσυμπίεση είναι η αντίστροφη διαδικασία της συμπίεσης. Από τη συμπιεσμένη συμβολοσειρά εξάγονται οι υποσυμβολοσειρές και αντικαθιστούν τους δείκτες με τις αντίστοιχες καταχωρίσεις του λεξικού, το οποίο στην αρχή είναι κενό και συμπληρώνεται σταδιακά. Η βασική ιδέα είναι ότι, όταν λαμβάνεται ένας αριθμοδείκτης, στο λεξικό υπάρχει ήδη μια καταχώριση που αντιστοιχεί σε αυτόν.



Εικόνα 15.9 Παράδειγμα αποκωδικοποίησης Lempel Ziv

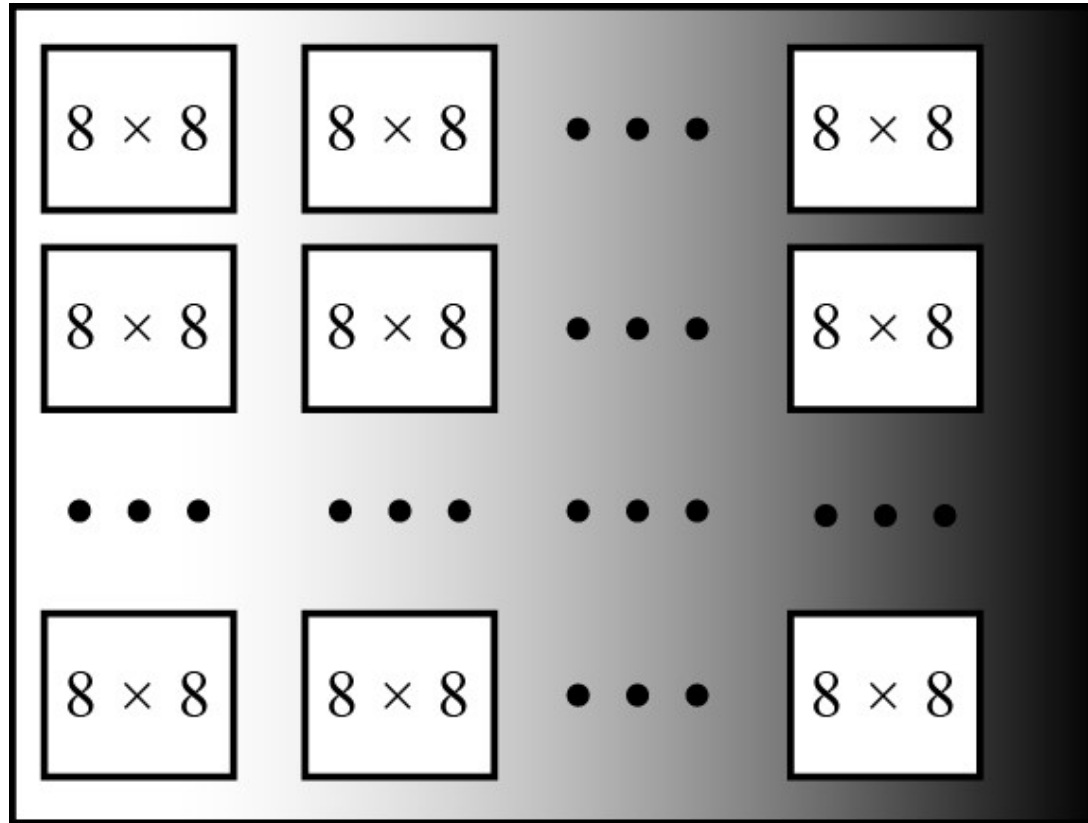
15-2 ΑΠΩΛΕΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ

Τα μάτια και τα αυτιά μας δεν μπορούν να διακρίνουν πολύ μικρές αλλαγές. Για τέτοιες περιπτώσεις είναι κατάλληλες οι απωλεστικές μέθοδοι συμπίεσης (lossy data compression). Οι μέθοδοι αυτές είναι οικονομικότερες και απαιτούν λιγότερο χρόνο και χώρο όταν πρέπει να σταλούν εκατομμύρια bit εικόνων και βίντεο το δευτερόλεπτο. Αρκετές απωλεστικές τεχνικές συμπίεσης έχουν χρησιμοποιηθεί στην ανάπτυξη διαφόρων μεθόδων. Η κωδικοποίηση **JPEG (Joint Photographic Experts Group)** χρησιμοποιείται για τη συμπίεση εικόνων και γραφικών, η κωδικοποίηση **MPEG (Motion Picture Experts Group)** χρησιμοποιείται για τη συμπίεση βίντεο, και η κωδικοποίηση **MP3 (MPEG audio layer 3)** χρησιμοποιείται για τη συμπίεση ήχου.

Συμπίεση εικόνων — Κωδικοποίηση JPEG

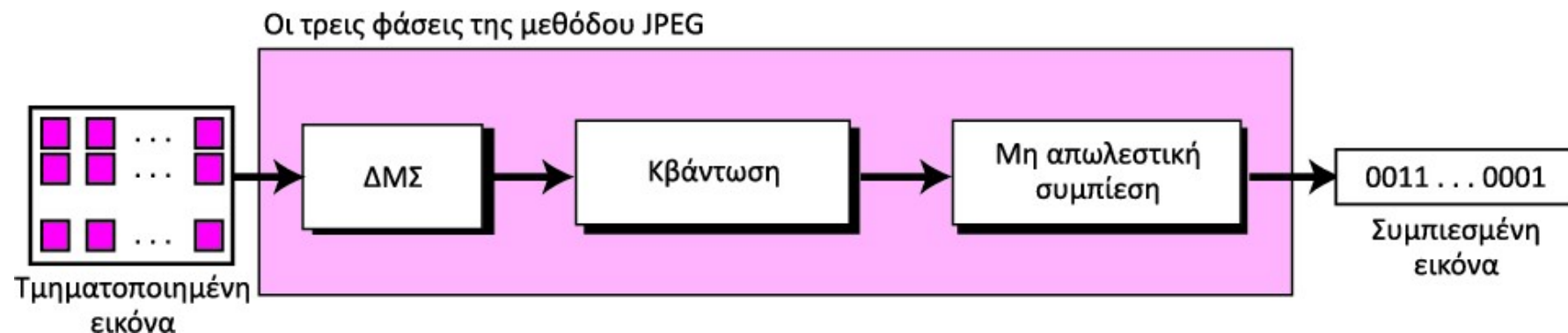
Όπως περιγράψαμε στο Κεφάλαιο 2, μια εικόνα μπορεί να αναπαρασταθεί με τη βοήθεια μιας διδιάστατης συστοιχίας εικονοστοιχείων (πίξελ). Έτσι, μια τονική εικόνα των 307.200 πίξελ αναπαρίσταται από 2.457.600 bit, και μια έγχρωμη εικόνα από 7.372.800 bit.

Κατά τη συμπίεση JPEG, μια τονική εικόνα διαιρείται σε τμήματα των 8×8 πίξελ ώστε να μειώνεται το πλήθος των υπολογισμών, επειδή, όπως θα δείτε σύντομα, το πλήθος των μαθηματικών πράξεων για κάθε εικόνα ισούται με το τετράγωνο του πλήθους των μονάδων.



Εικόνα 15.10 Παράδειγμα JPEG με τονική εικόνα 640×480 πίξελ

Η βασική ιδέα της μεθόδου JPEG είναι η μετατροπή της εικόνας σε ένα γραμμικό (διανυσματικό) σύνολο αριθμών το οποίο αποκαλύπτει τους πλεονασμούς. Οι πλεονασμοί (έλλειψη μεταβολών) μπορούν να απομακρυνθούν με μία από τις μη απωλεστικές μεθόδους συμπίεσης που είδαμε προηγουμένως. Στην Εικόνα 15.11 παρουσιάζεται μια απλουστευμένη έκδοση της διαδικασίας.

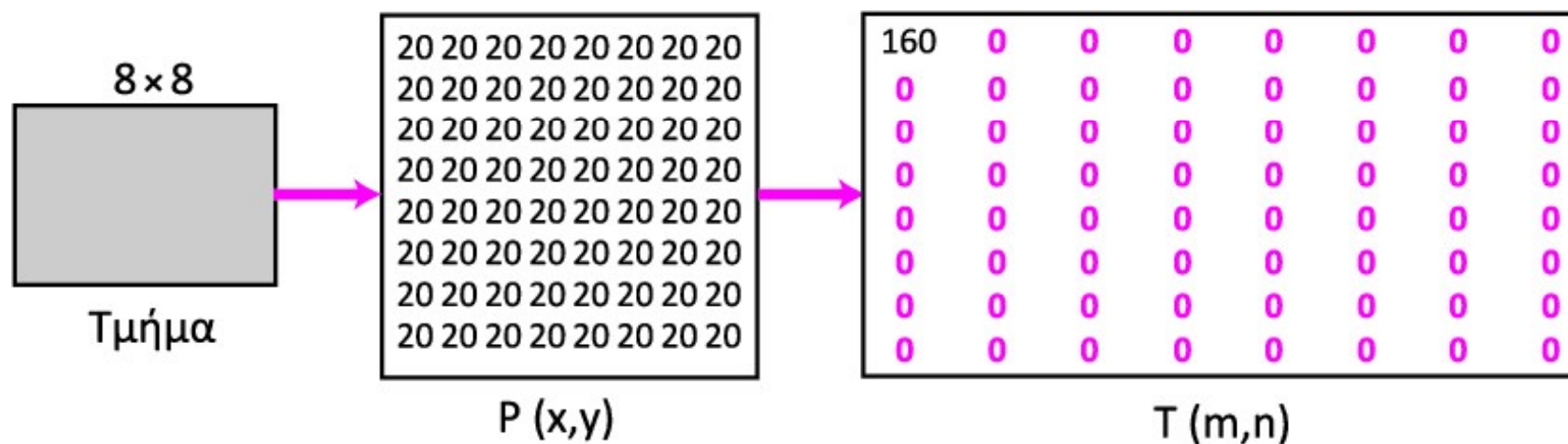


Εικόνα 15.11 Η μέθοδος συμπίεσης JPEG

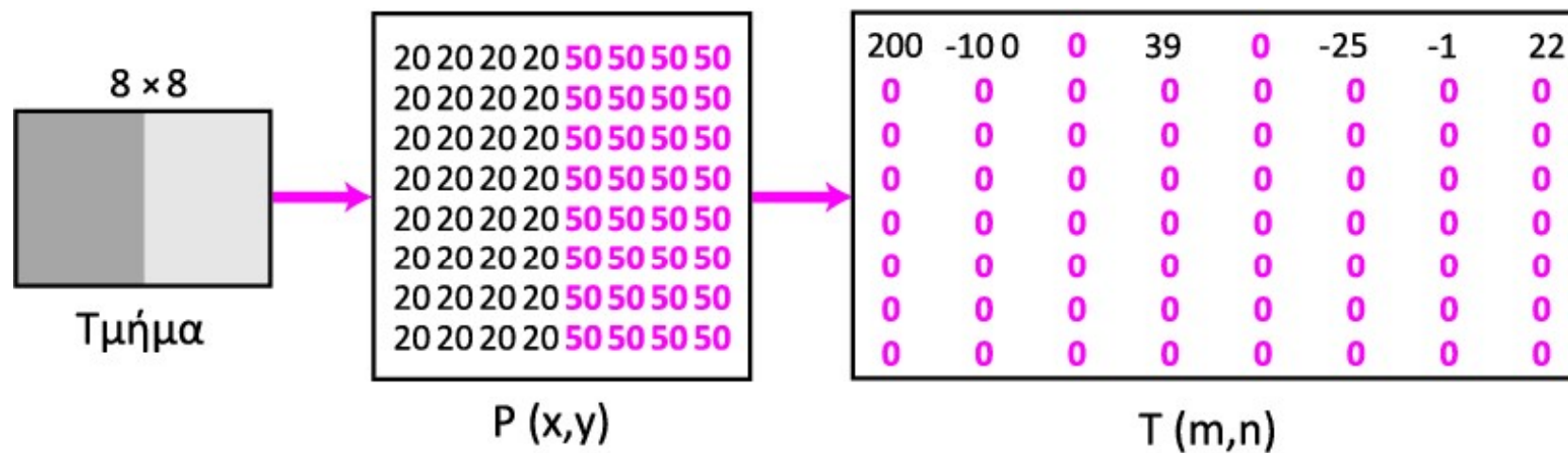
Διακριτός μετασχηματισμός συνημιτόνου (ΔΜΣ)

Σε αυτό το βήμα, κάθε τμήμα των 64 πίξελ υφίσταται έναν μετασχηματισμό που ονομάζεται **διακριτός μετασχηματισμός συνημιτόνου** (discrete cosine transform) ή ΔΜΣ για συντομία. Ο μετασχηματισμός τροποποιεί τις 64 τιμές με τέτοιο τρόπο ώστε να διατηρούνται οι σχέσεις μεταξύ των πίξελ, αλλά παράλληλα να αποκαλύπτονται οι πλεονασμοί. Ο τύπος παρατίθεται στο Παράρτημα Ζ. Μια τιμή στο τμήμα ορίζεται ως $P(x, y)$, ενώ η αντίστοιχη τιμή στο μετασχηματισμένο τμήμα ορίζεται ως $T(m, n)$.

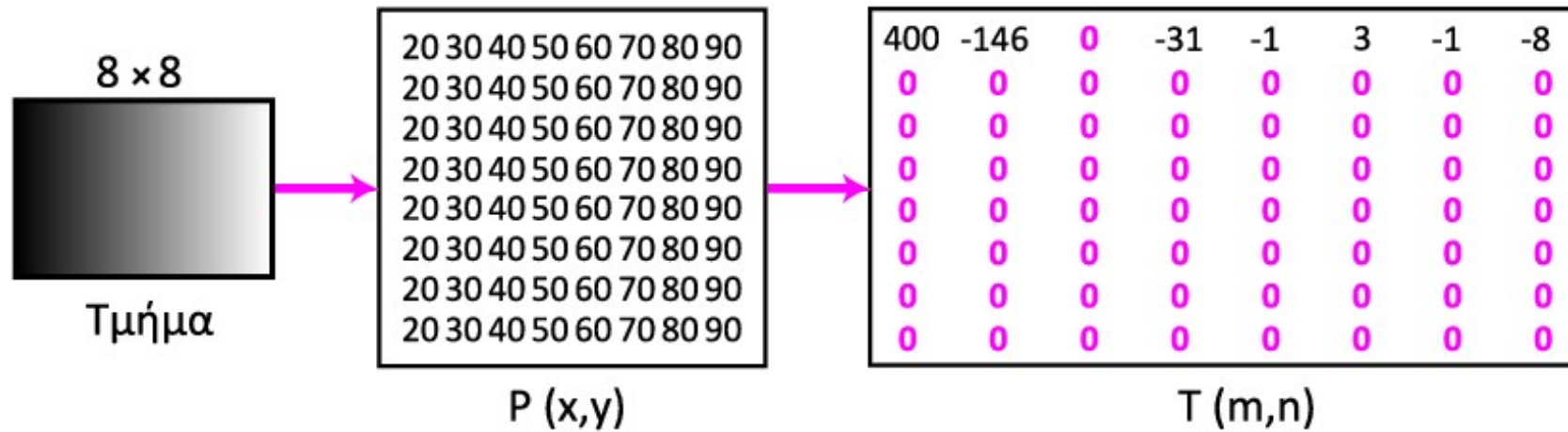
Για να κατανοήσετε τη φύση αυτού του μετασχηματισμού, θα παρουσιάσουμε το αποτέλεσμα του σε τρεις περιπτώσεις.



Εικόνα 15.12 Περίπτωση 1: ομοιόμορφη τονική εικόνα



Εικόνα 15.13 Περίπτωση 2: δύο τμήματα



Εικόνα 15.14 Περίπτωση 3: τονική διαβάθμιση

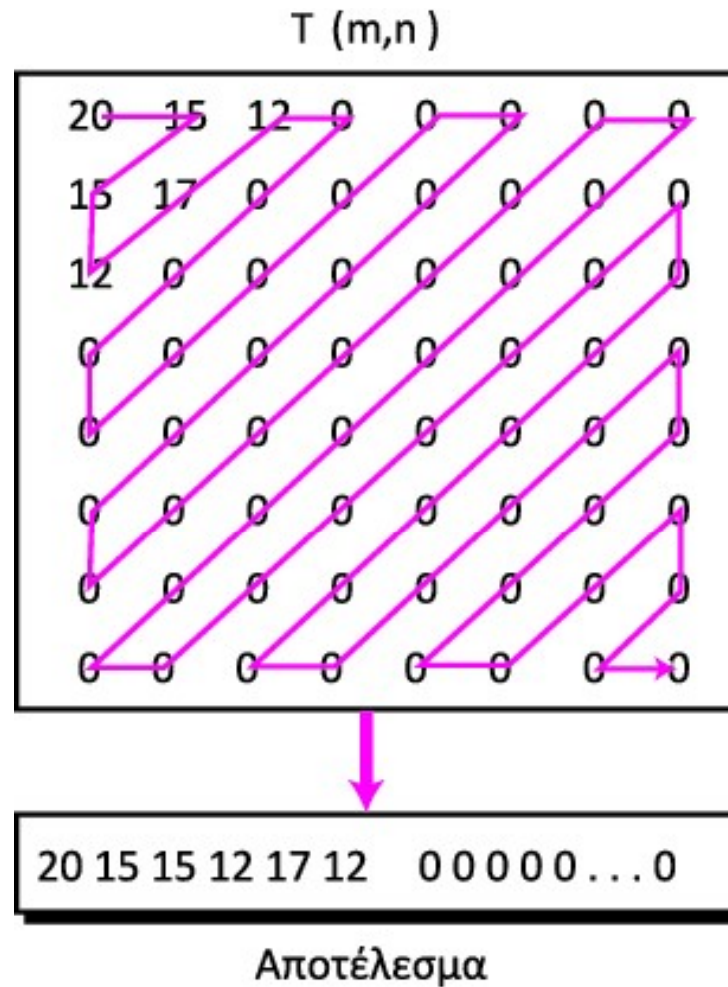
Κβάντωση

Αφού δημιουργηθεί ο πίνακας T , οι τιμές κβαντώνονται ώστε να μειωθεί το πλήθος των bit που απαιτούνται για την κωδικοποίηση. Κατά την κβάντωση (quantization) διαιρείται το πλήθος των bit με μια σταθερά και απορρίπτεται το κλασματικό μέρος. Αυτό μειώνει το πλήθος των απαραίτητων bit ακόμα περισσότερο. Στις περισσότερες υλοποιήσεις ο τρόπος κβάντωσης της κάθε τιμής ορίζεται από έναν πίνακα 8 επί 8. Ο διαιρέτης εξαρτάται από τη θέση της τιμής στον πίνακα T . Αυτό γίνεται για τη βελτιστοποίηση του πλήθους των bit και του πλήθους των μηδενικών για κάθε συγκεκριμένη εφαρμογή.

Συμπίεση

Μετά την κβάντωση, οι τιμές διαβάζονται από τον πίνακα και αφαιρούνται τα πλεονάζοντα 0. Για να συγκεντρωθούν όμως τα 0 μαζί, ο αλγόριθμος διαβάζει τον πίνακα διαγώνια με τρόπο "ζιγκ-ζαγκ" και όχι γραμμή προς γραμμή ή στήλη προς στήλη. Ο λόγος είναι ότι, αν η εικόνα δεν έχει πολλές ανομοιομορφίες, η κάτω δεξιά γωνία του πίνακα T είναι πάντοτε γεμάτη με 0.

Η μέθοδος JPEG χρησιμοποιεί συνήθως κωδικοποίηση τρέχοντος μήκους στη φάση της συμπίεσης των σχημάτων bit που παράγονται από τη διαγώνια ανάγνωση.



Εικόνα 15.15 Ανάγνωση του πίνακα

Συμπίεση βίντεο – Κωδικοποίηση MPEG

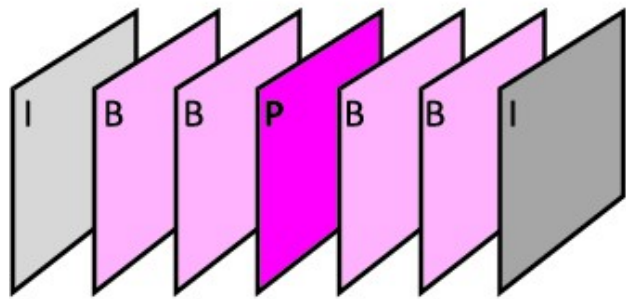
Η μέθοδος **MPEG** (**M**oving **P**ictures **E**xperts **G**roup) χρησιμοποιείται για τη συμπίεση κινούμενης εικόνας, ή βίντεο. Μια ταινία δημιουργείται από τη γρήγορη εναλλαγή ενός συνόλου καρτέ, καθένα από τα οποία δεν είναι παρά μια φωτογραφία. Με άλλα λόγια, ένα καρτέ είναι ένας χωρικός συνδυασμός από πίξελ, και μια ταινία είναι ένας χρονικός συνδυασμός από καρτέ τα οποία στέλνονται το ένα μετά το άλλο. Η συμπίεση μιας ταινίας, συνεπώς, προϋποθέτει τη χωρική συμπίεση κάθε καρτέ και τη χρονική συμπίεση ενός συνόλου από καρτέ.

Χωρική συμπίεση

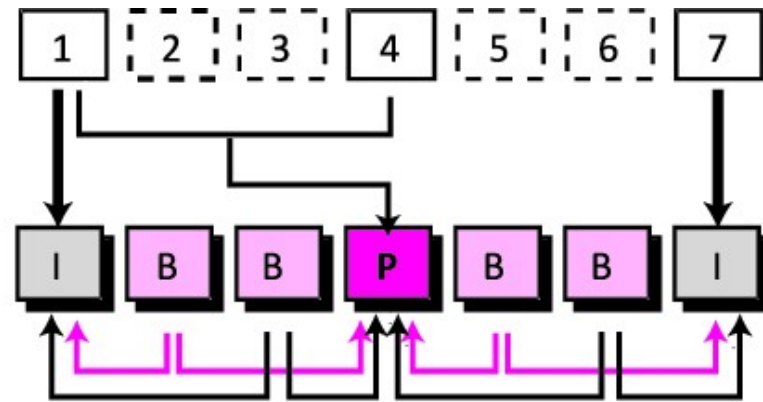
Η χωρική συμπίεση (spatial compression) των καρτέ γίνεται με τη μέθοδο JPEG (ή κάποια παραλλαγή της). Κάθε καρτέ είναι και μια φωτογραφία που μπορεί να συμπιεστεί ξεχωριστά.

Χρονική συμπίεση

Κατά τη χρονική συμπίεση (temporal compression) αφαιρούνται τα πλεονάζοντα καρτέ. Για παράδειγμα, όταν παρακολουθούμε τηλεόραση λαμβάνουμε 30 καρτέ το δευτερόλεπτο. Ωστόσο, τα περισσότερα από τα διαδοχικά καρτέ είναι σχεδόν όμοια μεταξύ τους. Για παράδειγμα, σε κάποια στατική σκηνή όπου μιλάει κάποιος το μεγαλύτερο μέρος του καρτέ είναι το ίδιο με το προηγούμενο, εκτός από το τμήμα γύρω από τα χείλη το οποίο και μεταβάλλεται από το ένα καρτέ στο άλλο.



α. Καρέ



β. Κατασκευή καρέ

Εικόνα 15.16 Καρέ MPEG

Συμπίεση ήχου

Η συμπίεση ήχου μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για δεδομένα φωνής όσο και για μουσική. Για δεδομένα φωνής απαιτείται η συμπίεση ενός ψηφιοποιημένου σήματος 64 kHz, ενώ για μουσική απαιτείται η συμπίεση ενός σήματος 1,411 MHz. Για τη συμπίεση ήχου χρησιμοποιούνται δύο κατηγορίες τεχνικών: η προβλεπτική κωδικοποίηση και η αντιληπτική κωδικοποίηση.

Προβλεπτική κωδικοποίηση

Στην προβλεπτική κωδικοποίηση (predictive encoding), κωδικοποιούνται οι διαφορές μεταξύ των δειγμάτων και όχι όλες οι τιμές δειγματοληψίας. Αυτού του είδους η συμπίεση συνήθως χρησιμοποιείται για δεδομένα φωνής. Αν και έχουν οριστεί πολλά πρότυπα, όπως το GSM (13 kbps), G.729 (8 kbps), και G.723.3 (6,4 ή 5,3 kbps), μια πλήρης περιγραφή τους είναι πέρα από τους σκοπούς αυτού του βιβλίου.

Αντιληπτική κωδικοποίηση: MP3

Η πιο συνηθισμένη τεχνική συμπίεσης που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία ήχου ποιότητας CD βασίζεται στην αντιληπτική κωδικοποίηση (perceptual encoding). Αυτός ο τύπος ήχου χρειάζεται ρυθμό μεταφοράς τουλάχιστον 1,411 Mbps, ο οποίος είναι υπερβολικά υψηλός για αποστολή μέσω του Internet χωρίς συμπίεση. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται από το MP3 (MPEG audio layer 3).