

Χαράλαμπος Χ. Σπυρίδης

Η ΘΕΩΡΙΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΣΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΘΡΑΚΙΩΤΙΚΩΝ ΔΗΜΟΤΙΚΩΝ ΤΡΑΓΟΥΔΙΩΝ ΡΥΘΜΟΥ 6/8 (ΖΩΝΑΡΑΔΙΚΩΝ)

1. Εισαγωγή

Στην εργασία αυτή επιχειρείται μια ανάλυση των Θρακιώτικων δημοτικών τραγουδιών με ρυθμό 6/8, των λεγομένων «Ζωναράδικων» με τη χρήση μεθόδων της Μαθηματικής Θεωρίας της Επικοινωνίας, που μας είναι γνωστή ως Θεωρία Πληροφοριών (Information Theory), όπως ακριβώς την τυποποίησαν οι C.E. Shannon και W. Weaver στις μελέτες τους επάνω σε προβλήματα μηχανικής επικοινωνίας.

Η Θεωρία Πληροφοριών είναι μια επιστήμη που μελετά τι είναι και ποιές ιδιότητες έχει η πληροφορία καθώς επίσης και ποιοί νόμοι τη διέπουν. Η πληροφορία σήμερα έχει πάρει τη θέση της ενέργειας στον πυρήνα της σύγχρονης επιστημονικής σκέψης και καθορίζει την ασύλληπτη τεχνολογική πρόοδο του καιρού μας, απειλώντας στο άμεσο μέλλον ν' αλλάξει ριζικά τις απόψεις μας για την κοινωνική, αλλά και την πνευματική υπόσταση των ανθρώπων, που ζουν μέσα σ' ένα διαμορφούμενο περιβάλλον αύξουσας γνωστικής έντασης.

Η πληροφορία είναι μια έννοια που είναι δύσκολο να διευκρινισθεί επαρκώς. Περιέχει μια εκπληκτική γενικότητα και τα όριά της πολλές φορές συγχέονται με τα όρια της επικοινωνίας. Η έννοια της πληροφορίας μέχρι σήμερα δεν έχει απαλλαγεί από κάποια ασάφεια ή, ακόμη, από πολλές παρεξηγήσεις.

Ο R. V. L. Hartley το 1928 είπε πως η πληροφορία προκύπτει από τη διαδοχική επιλογή «συμβόλων» (ή λέξεων) από ένα «αλφάβητο» (ή λεξιλόγιο) που μας δίνεται προκειμένου να οικοδομηθεί ένα «μήνυμα» (ή κείμενο) με κάποιο νόημα (με μια λογική «τάξη»).

Σχετικά ο Paul Langevin είχε πει «La structure engendre» (η δομή δημιουργεί).

Πρέπει να μη διαφεύγει της προσοχής μας το ότι στην εργασία αυτή ο όρος «πληροφορία» χρησιμοποιείται με την ειδική έννοια της επικοινωνίας, ότι είναι ένας τεχνικός όρος, που αναφέρεται στην ποσοτική σχέση των στοιχείων ενός μηνύματος με τον πομπό (πηγή) τους. Άλλωστε η πληροφορία απέκτησε επιστημονικό περιεχόμενο μέσα από τις εργασίες των μηχανικών. Τα βασικά ζητήματα, που απασχολούσαν τους μηχανικούς είχαν να κάνουν με την αποστολή μηνυμάτων από έναν πομπό σε κάποιον δέκτη με τρόπο ταχύ, οικονομικό

και αποτελεσματικό.

Συχνά τα μηνύματα έχουν νόημα, δηλαδή αναφέρονται ή συσχετίζονται σύμφωνα με κάποιο σύστημα σε κάποια φυσική ή ιδεατή οντότητα. Αυτά τα «εννοιολογικά» (semantic) χαρακτηριστικά της επικοινωνίας είναι άσχετα προς το μηχανικό πρόβλημα και δεν θα μας απασχολήσουν.

Ποικίλα μηνύματα με τελείως διαφορετική φύση υπακούουν στους ίδιους νόμους. Επί παραδείγματι ένα γραπτό κείμενο περιέχει πληροφορία. Μια φωνή ή μια εικόνα, παρμένες άμεσα ή καταγεγραμμένες σε μαγνητοταινία ή film, περιέχουν πληροφορία, που είναι απευθείας προσιτή στις αισθήσεις μας.

Άλλες φορές η πληροφορία γίνεται αντιληπτή με τη βοήθεια κατάλληλων διατάξεων π.χ. διατάξεις radar, ραδιοεντόπισης κ.λπ.

Η πληροφορία μπορεί να είναι δημιουργήμα ανθρώπων (μουσική, ομιλία) ή ζώων (κραυγή, κελάιδισμα) ή κάποιων φυσικών φαινομένων, από κάποια φυσική διαδικασία μικροσκοπική ή μακροσκοπική, έμβια ή χωρίς ζωή (ραδιοαστρονομικά μηνύματα από μακρινούς γαλαξίες, μηνύματα στους αντιδραστήρες και στους επιταχυντές σωματιδίων).

Η πληροφορία, τέλος, μπορεί να εδράζεται στην κρυσταλλική δομή ή στη δυναμική της, στις μεταλλαγές φάσεων ή στη δομή του κυττάρου και τη δυναμική λειτουργικότητά του.

Γενικά, οποιαδήποτε «μορφογένεση», δηλαδή οποιαδήποτε αλληλουχία διαδικασιών, η οποία μετασχηματίζει ένα άμορφο σύστημα (ή με κάποια αρχική μορφή) σε ένα άλλο σύστημα με καθορισμένη δομή, συνοδεύεται από δημιουργία πληροφορίας.

Πέρα από τις Θετικές Επιστήμες, έξω από τη Θερμοδυναμική, τη Βιολογία, τα Ηλεκτρονικά, η δομή ενός αρχιτεκτονικού συνόλου από άποψη μορφής, όγκων, χρωμάτων, βαρών ή οποιαδήποτε άλλη εικαστική δομή, που οδηγεί σε αισθητικό μήνυμα, μπορεί να γίνει αντικείμενο της Θεωρίας Πληροφοριών.

Η μέθοδος μέτρησης της πληροφορίας σε μηνύματα, που εκπέμπονται μέσω ηλεκτρικών συστημάτων επικοινωνίας, έχει εφαρμοσθεί στην ανάλυση της σχετικής «τάξης» και «αταξίας» μουσικών εν γένει συνθέσεων, όσον αφορά στη μελωδική ή και στη ρυθμική τους δομή.

2. Ορισμένες έννοιες της Θεωρίας Πληροφοριών

2.α. Το σύστημα επικοινωνίας

Πρώτος ο Hartley το 1928 ενδιαφέρθηκε για την πληροφορία και όρισε έμμεσα την ποσότητα πληροφορίας.

Το 1929 ο L. Szilard σύνδεσε την πληροφορία και τη θερμοδυναμική εντροπία.

Το 1940 ο Shannon κατέληξε στα ίδια αποτελέσματα με αφορμή

τις τηλεπικοινωνίες.

Η καθαυτό Θεωρία Πληροφοριών αναπτύχθηκε από τους Shannon και Wiener, που της έδωσαν τη σύγχρονη κατεύθυνσή της με αφορμή, κυρίως, τις τηλεπικοινωνίες και τα προβλήματα του αυτομάτου ελέγχου σε ζώα και μηχανές (1948).

Ανάμεσα στους ερευνητές, που συνέβαλαν στην ταχύτατη ανάπτυξη της Θεωρίας Πληροφοριών, ξεχωρίζουν οι Gabor (1954), Brillouin (1956), Kolmogorov (1956).

Σ' αυτόν που πρέπει να σταθούμε ιδιαίτερα είναι ο Shannon, διότι ήταν ο πρώτος που χειρίσθηκε την πληροφορία με όρους σαφώς καθορισμένους, αλλά, συγχρόνως, και τελειώς αφηρημένους, επιτυγχάνοντας να εδραιώσει τους γενικούς της νόμους. Οι εργασίες του είχαν να κάνουν με ζητήματα γενικότερα, όπως

τάξη και αταξία,

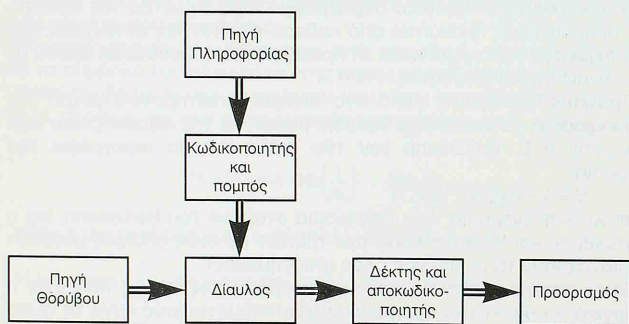
σφάλματα και έλεγχος σφαλμάτων,

αβεβαιότητα και τα όριά της.

Στα τρία πρώτα κλασικά πια άρθρα του το 1946 κατάφερε:

α) με μαθηματικό τρόπο ν' αποδείξει ότι ένα μήνυμα μπορεί να επικρατήσει ανάμεσα στην άσκοπη αταξία ή το θόρυβο, προσφέροντας μια νέα προσέγγιση στο αιώνιο φιλοσοφικό ερώτημα «γιατί υπάρχει κάτι και όχι τίποτα;»

β) να θεμελιώσει τη νέα επιστήμη με αφορμή τις τηλεπικοινωνίες, για τις οποίες πρότεινε το διάγραμμα βαθμίδων του Σχ. 1, που από τότε εφαρμόζεται σε κάθε περίπτωση επικοινωνίας από έναν «πομπό» πληροφορίας προς ένα «δέκτη».



Σχήμα 1. Διάγραμμα βαθμίδων ενός συστήματος επικοινωνίας.

Στη μουσική επικοινωνία μεταξύ καλλιτέχνη-εκτελεστή και ακροατή το μουσικό όργανο του πρώτου είναι η πηγή πληροφορίας, κωδικοποιητής είναι ο καλλιτέχνης-εκτελεστής, που κωδικοποιεί σε μουσική γλώσσα τη μουσική σημειογραφία της πάρτας, και ο περιβάλλων αέρας παίζει το ρόλο του μέσου μεταβίβασης. Η ηχητική πίεση, που δημιουργείται από τα δονούμενα τμήματα του μουσικού οργάνου, είναι το εκπεμπόμενο σήμα.

Κατά τη διαδικασία της μεταβίβασης συμβαίνουν διαστροφές του ήχου χωρίς πρόθεση από την πλευρά της πηγής πληροφορίας. Αυτές οι ανεπιθύμητες προσθήκες στα εκπεμπόμενα σήματα αποτελούν το θόρυβο. Πηγή θορύβου είναι το περιβάλλον του συστήματος επικοινωνίας.

Το λαμβανόμενο σήμα από τον ακροατή είναι ένας συνδυασμός του σήματος, που εκπέμφθηκε, και του ανεπιθύμητου θορύβου. Ο ακροατής, που ενεργεί ως δέκτης, αποκωδικοποιεί το σήμα, που έλαβε, μεταφράζοντάς το σε μια εμπειρία με βάση τη γνώση της γλώσσας και του κόσμου. Έτσι, προκύπτει το μήνυμα, που καταγράφεται στο δέκτη.

2.6. Αυτοπληροφορία συμβόλου - Μονάδα πληροφορίας

Το βασικό πρόβλημα της Θεωρίας Πληροφοριών είναι ο ακριβής ορισμός της πληροφορίας. Αυτός ο ορισμός πρέπει να είναι αντικειμενικός. Τούτο σημαίνει ότι η υποκειμενική αξιολόγηση της πληροφορίας, αξιολόγηση που σχετίζεται με τον παρατηρητή και τις αξίες, που τον ενδιαφέρουν, ξεφεύγει τελείως από τα πλαίσια της Θεωρίας Πληροφοριών.

Ο Shannon κατέληξε στο συμπέρασμα πως το μέτρο της ποσότητας πληροφορίας προκύπτει από καθαρά στατιστικές αντιλήψεις και, όσο περίεργο και αν φαίνεται εκ πρώτης όψεως, συνδέεται άμεσα με την έννοια της πιθανότητας.

Πρότεινε για πρώτη φορά ένα ακριβές επιστημονικό μέτρο της πληροφορίας, το οποίο είχε την ίδια μορφή με την εξίσωση, που είχε επινοήσει ο L. Boltzmann τον 19ο αιώνα για να περιγράψει την εντροπία.

$$S = k \cdot \log(W) \quad (\Sigma\chi.1)$$

όπου S =η Εντροπία, k =η παγκόσμια σταθερά του Boltzmann, $\log$ ο λογάριθμος και W =το πλήθος των τρόπων με τους οποίους μπορούν να διαταχθούν τα μέρη ενός όλου (συστήματος).

Είναι στην ουσία η μαθηματική έκφραση της τάσης που έχει η ενέργεια να υφίσταται ορισμένους μετασχηματισμούς κατά τη φυσική πορεία των γεγονότων, που την καθιστούν ανοργάνωτη και όχι τόσο χρήσιμη, υποβαθμίζοντας την ποιότητά της χωρίς να μειώνουν

την ποσότητά της.

Κατάσταση μεγάλης εντροπίας σημαίνει, ότι υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τρόποι με τους οποίους μπορούν να διευθετηθούν τα μέρη ενός συστήματος, (π.χ. οι νότες που τοποθετούνται στο πεντάγραμμο με τυχαίο τρόπο). Κατάσταση χαμηλής εντροπίας σημαίνει ότι υπάρχουν λιγότεροι δυνατοί τρόποι γι' αυτό (π.χ. οι νότες που τοποθετούνται με βάση τους ισχύοντες κανόνες σύνθεσης).

Όσο μεγαλύτερη η εντροπία, τόσο λιγότερες πληροφορίες μπορούμε να έχουμε για το σύστημα.

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό πως υπάρχει μια ισχυρή αναλογία ανάμεσα στην ενέργεια και την πληροφορία. Η εντροπία αποτελεί τον συνδετικό κρίκο ανάμεσα σ' αυτές τις δύο «οντότητες».

Η πληροφορία, που συνδυάζει το αφηρημένο με το συγκεκριμένο (φυσικό), αξιοποιείται στη μελέτη:

α) της σχέσης ανάμεσα στην τάξη και την κατάσταση γνώσης ενός συστήματος,

β) της αμφιλεγόμενης φύσης της πιθανότητας,

γ) του γεγονότος ότι τόσο στη Θερμοδυναμική, όσο και στη Θεωρία Πληροφοριών, συνδέονται μεταξύ τους η τάξη και η πιθανότητα.

Πρέπει να επισημανθεί πως στη διαδικασία της επικοινωνίας η έννοια της πληροφορίας σχετίζεται περισσότερο με τον «πομπό» ή πηγή.

Ο «πομπός» ή πηγή είναι μια τεχνική έννοια, που έχει να κάνει με το μέτρο της προβλεπτικότητας του μηνύματος (σήματος), δηλαδή των επιλογών που υπάρχουν.

Για τον «δέκτη» η έμφαση μεταφέρεται στη διαπραγμάτευσή του με το μήνυμα, που μεταδίδεται.

Τα μηνύματα, που εκπέμπονται από την πηγή, κατασκευάζονται από τα σύμβολα του αλφαβήτου της πηγής πληροφορίας.

Κάθε σύμβολο A_i του αλφαβήτου, που έχει μια πιθανότητα επιλογής p_i , περιέχει μια ποσότητα αυτοπληροφορίας H_{A_i} , που ορίζεται ως

$$H_{A_i} = f(p_{A_i}) = k \cdot \log_b \left(\frac{1}{p_{A_i}} \right) \quad (\text{Σχ.2}),$$

όπου k μια σταθερά και b η βάση του λογαρίθμου.

Η έκφραση $\frac{1}{p_{A_i}}$ σημαίνει ότι, όταν αυξάνει η πιθανότητα p_{A_i} , μειώ-

νεται η ποσότητα αυτοπληροφορίας H_{A_i} .

Στην πράξη παίρνουμε $k=1$ και $b=2$, οπότε η Σχ. 2 παίρνει τη

γνωστή μορφή

$$H_{A_i} = -\log_2(p_{A_i}) \quad (\Sigma\chi.3).$$

Από τη Σχ. 3 προκύπτει και η μονάδα ποσότητας πληροφορίας, το bit (από το binary digit = δυαδικό ψηφίο). Πράγματι, εάν πάρουμε την απλούστερη δυνατή πηγή, αυτή θα έχει δύο μόνο σύμβολα, γιατί με ένα σύμβολο δεν υπάρχει μήνυμα, μια και δεν υπάρχει δυνατότητα επιλογής. Στην πιο απλή περίπτωση αυτά τα δύο σύμβολα θα είναι ισοπίθανα, που σημαίνει

$$p_A = p_B = \frac{1}{2}, \text{ οπότε από τη Σχ. 3 έχουμε } H_{A_i} = 1, \text{ ή πιο σωστά } 1 \text{ bit.}$$

Βλέπουμε, έτσι, ότι η μονάδα ποσότητας πληροφορίας, το bit, είναι η ποσότητα πληροφορίας που παίρνουμε κατά την εκπομπή ενός από τα δύο δυνατά και ισοπίθανα μηνύματα της απλούστερης δυνατής πηγής, της δυαδικής.

Πρέπει να δοθεί έμφαση στο ότι κάθε τύπου περιορισμός, κάθε πρόσθετη συνθήκη, που επιβάλλεται πάνω στη δυνατή ελευθερία επιλογής των συμβόλων, αμέσως συνεπάγεται μείωση της πληροφορίας.

Έστω ότι έχουμε ένα σύστημα που παρουσιάζει P διαφορετικές δυνατότητες, όταν όλες οι μεταβλητές του είναι απολύτως ελεύθερες. Όταν επιβάλλουμε «δεσμούς» περιορίζοντας την ελευθερία επιλογής των μεταβλητών, αυτοί οι δεσμοί θα απαλείψουν μερικές από τις δυνατότητες, που προηγουμένως υπήρχαν στο σύστημα. Το νέο πλήθος δυνατοτήτων P' , με δεσμούς τώρα πια, προφανώς είναι μικρότερο του P και θα πρέπει να έχει μια νέα τιμή πληροφορίας $H' < H$. Πράγματι, αφού $P' < P$, συνεπάγεται

$$H' = \log_2 P' < H = \log_2 P \quad (\Sigma\chi. 4)$$

Το γεγονός αυτό μπορούμε να το δούμε και από άλλη σκοπιά. Επιβάλλω περιορισμούς σημαίνει ότι κατέχω κάποια έξτρα ποσότητα πληροφορίας H_c σχετικά με το σύστημα και τις επιλογές, που θα κάνω απ' αυτό. Άρα η ποσότητα πληροφορίας, που μπορώ ακόμη να πάρω από το σύστημα, είναι

$$H = H - H_c \quad (\Sigma\chi. 5)$$

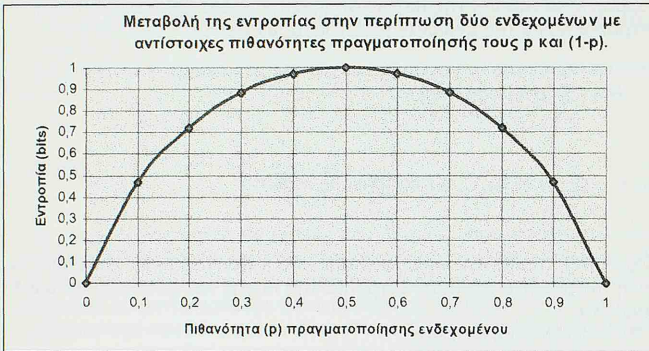
2.γ. Μέση πληροφορία (εντροπία)

Εάν από μια πηγή πληροφορίας τα σύμβολα εκπέμπονται με πιθανότητες $p(a_1), p(a_2), \dots, p(a_n)$ τότε η μέση τιμή της πληροφορίας, που εκπέμπεται ανά σύμβολο, είναι ίση με

$$H = \sum_{i=1}^n p(a_i) \log_2 \left(\frac{1}{p(a_i)} \right) = - \sum_{i=1}^n p(a_i) \log_2 (p(a_i)) \quad \text{bits/σύμβολο (Σχ. 6)}$$

Η ποσότητα αυτή ονομάζεται και *εντροπία της πηγής μηδενικής μνήμης*.

Διάγραμμα 2



2.δ. Πηγή Markow $k+1$ τάξης - Σύνθετη και υπό συνθήκη πληροφορία (εντροπία)

Σε πολλές περιπτώσεις ενδιαφέρει να μπορεί να περιγραφεί ποσοτικά μια πηγή πληροφορίας για την οποία το εκπεμπόμενο σύμβολο εξαρτάται από ένα πεπερασμένο αριθμό k συμβόλων, που έχουν μόλις πριν εκπεμφθεί. Μια τέτοια πηγή ονομάζεται πηγή Markow $k+1$ τάξης και προσδιορίζεται από:

- α) το σύνολο των συμβόλων από το οποίο εκπέμπει και
- β) το σύνολο των υπό συνθήκη πιθανοτήτων (conditional probabilities):

$$p(a_j / a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ik}) \quad \text{με } i_m, j = 1, 2, \dots, k \quad (\Sigma\chi. 7)$$

δηλαδή η ποσότητα αυτή εκφράζει την πιθανότητα να εκπέμπει η

πηγή το σύμβολο a_i αφού μόλις προηγουμένως εξέπεμψε την αλληλουχία των k συμβόλων $a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ik}$.

Η πιθανότητα εκπομπής ενός συμβόλου θεωρείται πως καθορίζεται μονοσήμαντα από την ακολουθία των k συμβόλων, που προηγήθηκαν. Αυτή η ακολουθία δηλώνει κάθε φορά την κατάσταση K_i στην οποία βρίσκεται η πηγή, ενώ η εκπομπή του νέου συμβόλου μεταφέρει την πηγή σε μια νέα K_{i+1} κατάσταση, που καθορίζεται από την αλληλουχία των k προηγουμένων συμβόλων και του νέου.

Σε μια k -τάξης πηγή Markow χαρακτηριστικές είναι οι εξής ποσότητες:

α) Σύνθετη εντροπία: Κατά την εκπομπή συμβόλων από την πηγή συμβαίνει μεταβολή της κατάστασης στην οποία βρίσκεται η πηγή. Η εντροπία λόγω της εναλλαγής καταστάσεων είναι:

$$\begin{aligned} H &= - \sum_{i=1}^{\sigma} p(K_i) \log_2(p(K_i)) = \\ &= - \sum_{i=1}^{\sigma} p(a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ik}) \log_2(p(a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ik})) \end{aligned} \quad (\Sigma\chi. 8)$$

όπου $p(K_i)$, η πιθανότητα εμφάνισης της κατάστασης K_i . Η ποσότητα αυτή ονομάζεται σύνθετη εντροπία της πηγής και μετριέται σε bits/k σύμβολα.

β) Υπό συνθήκη εντροπία:

$$H = - \sum_{s^k} p(a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{i(k-1)}, a_i) \log_2 p(a_i / a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{i(k-1)}) \quad \text{bits/σύμβολο} \quad (\Sigma\chi. 9)$$

Η άθροιση αναφέρεται σε όλες τις καταστάσεις k τάξης της πηγής, δηλαδή τις καταστάσεις, που προσδιορίζονται από k σύμβολα. Η ποσότητα αυτή, που ονομάζεται υπό συνθήκη εντροπία της πηγής, είναι μέτρο της μέσης ποσότητας πληροφορίας που λαμβάνεται, όταν η k τάξης πηγή εκπέμπει ένα σύμβολο ή, με άλλα λόγια, δίνει τη μέση τιμή της αβεβαιότητας, που αντιμετωπίζει ο παρατηρητής, όταν γνωρίζει την κατάσταση της πηγής και ζητεί να προσδιορίσει το σύμβολο που ακολουθεί.

Πρέπει να σημειωθεί ότι όσο περισσότερα γνωρίζει ο παρατηρητής για την προϊστορία της πηγής, τόσο η αβεβαιότητά του δηλαδή η υπό

συνθήκη εντροπία της πηγής μειώνεται.

2.ε. Πλεονασμός (Redundancy)

Στο μοντέλο της πηγής πληροφορίας, που εξετάθη, η μέγιστη δυνατή εντροπία επιτυγχάνεται, όταν τα σύμβολα όλα εκπέμπονται με ίσες πιθανότητες, δηλαδή χωρίς καμμία αλληλοεξάρτηση ανάμεσά τους

$$H_{\max} = \log_2 (\text{πλήθος όλων των συμβόλων}) \quad (\text{Σχ. 10})$$

Εάν η πηγή επιβάλλει δεσμούς ανάμεσα στα εκπεμπόμενα σύμβολα, αυτό οδηγεί στη μείωση της εντροπίας της και στην ύπαρξη πλεονασμού.

Εάν H είναι εντροπία της πηγής, ορίζεται σαν πλεονασμός η ποσότητα:

$$R = \frac{H_{\max} - H}{H_{\max}} \cdot 100 \% \quad (\text{Σχ. 11})$$

Ο πλεονασμός αποτελεί μέτρο των δεσμών, που υφίστανται ανάμεσα στα σύμβολα, και αναφέρεται στο ποσό του πλεονάζοντος υλικού, που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά πληροφορίας, ενώ αυτή θα μπορούσε να μεταφερθεί με οικονομικότερο τρόπο.

Βέβαια στο πρόβλημα του πλεονασμού, από άποψη επικοινωνίας ανάμεσα στους ανθρώπους, το κριτήριο συνήθως δεν είναι να εξοικονομηθούν «λέξεις» του μηνύματος («κειμένου»), αλλά να γίνει το μήνυμα κατανοητό. Με άλλα λόγια να επιτευχθεί η μεγαλύτερη δυνατή επίδραση του πομπού επάνω στο δέκτη.

Ο πλεονασμός είναι εκείνος, που μας κάνει στη μουσική, όταν πρωτοακούμε μια μελωδία, να μπορούμε να τη σιγοσφυρίζουμε. Όσο μεγαλύτερος είναι ο πλεονασμός, τόσο πιο επιτυχώς μαντεύουμε την εξέλιξη της μελωδίας.

3. Η δομή μιας μουσικής γλώσσας

Η ανθρώπινη επικοινωνία δια μέσου μιας μουσικής γλώσσας είναι ένα φαινόμενο πολυεπίπεδο (νότες, μοτίβα, φράσεις, συνθέσεις) και ιεραρχημένο.

Μιμούμενοι τον Α. Koestler ονομάζουμε τα δομικά στοιχεία στη μουσική *μουσικά ολόνια*. Ο όρος ολόνιο χαρακτηρίζει μια ολοκληρω-

μένη, σχετικά αυτόνομη δομή, που αφενός αποτελείται από μονάδες κατώτερων επιπέδων, αφετέρου δε δομείται μαζί με ισότιμες μονάδες με αποτέλεσμα τη δημιουργία δομών ανωτέρου επιπέδου.

Τα μουσικά ολόνια αναφέρονται τόσο στη μελωδία (ολόνια μουσικού ύψους), όσο και στη διάσταση του χρόνου (ολόνια χρονικής διάρκειας). Τα πρώτα είναι γνωστά με ποικίλα ονόματα, που εξαρτώνται από το επίπεδο στο οποίο ανήκουν π.χ. νότες, μοτίβα, φράσεις, τραγούδια, συνθέσεις. Τα δεύτερα είναι γνωστά ως διάρκειες των νοτών, μουσικά μέτρα κ.λπ.

Δεχόμαστε την ύπαρξη ενός μορφογενετικού πεδίου σε κάθε επίπεδο της ιεραρχίας. Θεωρούμε αρχικά ότι τα δύο ισχυρότερα επίπεδα δομής στη βάση της ιεραρχίας είναι αυτό των ολονίων-νοτών και εκείνο των ολονίων-διαρκειών των νοτών. Έτσι, αναφερόμαστε στα ολόνια του πρώτου επιπέδου (νότες και διάρκειες των νοτών) σαν υποκείμενα στη δράση ενός μορφοποιητικού πεδίου Α. Το πεδίο Α περιλαμβάνει όλους εκείνους τους ιστορικούς, γεωμορφολογικούς, κοινωνικοοικονομικούς, φυσιολογικούς, βιολογικούς κ.λπ. παράγοντες, που καταλήγουν τελικά στο να επιτρέπουν π.χ. στη Θρακιώτικη δημοτική μουσική την ύπαρξη κάποιων συγκεκριμένων αλληλουχιών νοτών με κάποιες επίσης συγκεκριμένες διάρκειες, ενώ ταυτόχρονα να αποτρέπουν την ύπαρξη άλλων.

Θεωρούμε επίσης ότι τα ολόνια των ανωτέρων επιπέδων (π.χ. ολόνια-μουσικά μέτρα ή ολόνια-μοτίβα ή ολόνια-φράσεις) υφίστανται την επίδραση άλλων μορφογενετικών πεδίων. Αυτά τα μορφογενετικά πεδία περιέχουν όλους εκείνους τους παράγοντες, που μορφοποιούν την οργάνωση των μοτίβων και των φράσεων δημιουργώντας, έτσι, ένα είδος γραμματικής, ένα συντακτικό και μια λογική νοηματικής δομής.

Στην παρούσα εργασία αναφερόμαστε στα ολόνια της διάστασης του χρόνου, ενός δεύτερου ρυθμικού επιπέδου, του επιπέδου των μουσικών μέτρων, τα οποία δεχόμαστε ότι υπόκεινται στη δράση ενός μορφοποιητικού πεδίου Β.

4. Το δείγμα των Θρακιώτικων τραγουδιών με ρυθμό 6/8

Συγκεντρώθηκαν και ερευνήθηκαν συλλογές καταγεγραμμένων δημοτικών τραγουδιών σε ευρωπαϊκή σημειογραφία ή σε βυζαντινή παρασημαντική, προκειμένου να εντοπισθούν Θρακιώτικα δημοτικά τραγούδια ρυθμού 6/8, που θ' αποτελούσαν το δείγμα για τη μελέτη.

Στη συλλογή του μουσικολαογράφου Παντελή Καβακόπουλου «Τραγούδια της Βορειοδυτικής Θράκης» εντοπίσθηκαν 64 τραγούδια της Θράκης με ρυθμό 6/8, 63 εκ των οποίων ανήκαν στην κατηγορία των «Ζωναράδικων»¹ χορών της Θράκης.

ΠΙΝΑΚΑΣ Ι: Οι τίτλοι των 39 Θρακιώτικων τραγουδιών ρυθμού 6/8, που ανήκουν στην κατηγορία του «Ζωναράδικου» χορού.

α/α	ΤΙΤΛΟΣ ΤΡΑΓΟΥΔΙΟΥ
1	Αλέξαντρους κι' ου βασιλιάς.
2	Αντά 'μαν νιος κι νιούτσικος.
3	Αραδιαστήτη στου χουρό.
4	Από την πόρτα σου πιρνώ.
5	Άι - Δημήτρης έρουνταν.
6	Άι - Δημήτρης έριτι.
7	Γιάννους τη Μάιδου θέλει.
8	Γιάννου για νιρό πααίνει.
9	Γιουργάκης παίρν' του λαδικό.
10	Δυο πιδιά, καλά πιδιά (α).
11	Δυο πιδιά, καλά πιδιά (β).
12	Ένα καλό κουράσιου.
13	Έννιά χιλιάδεις πρόβατα.
14	Εις την Αραπιά θα πάου.
15	Είχα πουλί που φύλαγα.
16	Ήταν πέντι έξ' νταήδες
17	Θα πάρου χρυσοσκέπαρ(ν)ου.
18	Θέλω, μάνι μ', χουργιανούδα.
19	Κάτου στην άσπρη πέτρα.
20	Κραγκιουζούδια μάζουνι.
21	Κατέφ' καν κλέφτ' δις στα χουργιά.
22	Κάτου κάτω στους βαρβάρους.
23	Κει τουν Άι - Γιάνν' του βράδ'.
24	Κουσαντή, καλό πιδί.
25	Κι' απόψι είνι σεισμάτα.
26	Κείτιτι ξένους άρρουστος.
27	Μάνα μ', νιρό δεν έχουμι.
28	Μαζώθ'καν χώρα οι χουριανοί.
29	Μαρία λεν την Παναγιά.
30	Μαυρουδής πουλάει κρασί.
31	Μάνα κι γιος μαλώνανι.
32	Μηλίτσα, πού' σι στο βουνό.
33	Νά' μαν πουλί να πέταγα.
34	Ν' ήλιους τρέμ' να βασιλέψη.
35	Ντιλμπέρα.
36	Όλα τα μπούζια ανιλούν.
37	Όσοι ξενοι κι' όσοι δικοί.
38	Ου Κουσαντάς, ου Κουσαντής.
39	Παναυρίτσι γένουνταν.

Στη συλλογή του Γεωργίου Δ. Παχτίκου «260 Δημόδη Ελληνικά Ασματα από του στόματος του Ελληνικού λαού» βρέθηκαν να υπάρχουν δύο μόνο Θρακιώτικα τραγούδια ρυθμού 6/8 τα «Κατ'ς το Ρορορορο και 'σ το Βελιγράδι» του χωριού Βελιγράδι της επαρχίας Δέρκων και «Η πορτοκαλιά» της επαρχίας Σηλυβρίας.

Υπάρχει διάχυτη η πληροφορία ότι σε μια ανέκδοτη συλλογή δημοτικών τραγουδιών του Σίμωνα Καρά περιέχονται 64 Θρακιώτικα τραγούδια καταγεγραμμένα σε Βυζαντινή παρασημαντική. Δυστυχώς δεν κατέστη δυνατόν να εξευρεθεί τρόπος πρόσβασης σ' αυτήν.

Τελικά, το δείγμα των προς μελέτη τραγουδιών το αποτέλεσαν 39 τραγούδια από την προμνημονευθείσα συλλογή του Π. Καβακόπουλου, που επελέγησαν με τη βοήθεια τυχαίων αριθμών προκειμένου τούτο να είναι στατιστικά αντιπροσωπευτικό.²

Οι τίτλοι των 39 τραγουδιών αναφέρονται στον Πίνακα Ι.

5. Αβεβαιότητα στα τραγούδια του δείγματος

Έστω μια πηγή πληροφορίας ρυθμού (στην περίπτωση μας ο Θρακιώτης λαϊκός μουσικός δημιουργός), που εκπέμπει αλληλουχίες διαρκειών ομαδοποιημένες υπό μορφήν μουσικών μέτρων ρυθμού 6/8. Οι εν λόγω μορφές των μουσικών μέτρων προέρχονται από ένα σύνολο 65 μορφών μουσικών μέτρων, που εντοπίστηκαν ότι υπάρχουν στο αντιπροσωπευτικό δείγμα των «Ζωναράδικων» τραγουδιών, τα οποία μελετήθηκαν.

Στη συνέχεια παρατίθενται οι μετρήσεις και τα αποτελέσματα, τα οποία ελήφθησαν εφαρμόζοντας το μοντέλο της πηγής πληροφορίας, σε μια προσπάθεια να προσεγγισθεί το φαινόμενο της δημιουργίας και εκπομπής πληροφορίας ρυθμού μέσω των τραγουδιών του εν λόγω δείγματος.

Το συντιθέμενο τραγούδι, όπως προαναφέρθηκε, διαμορφώνεται σε κάθε επίπεδο σύνθεσης από το αντίστοιχο μορφοποιητικό πεδίο.

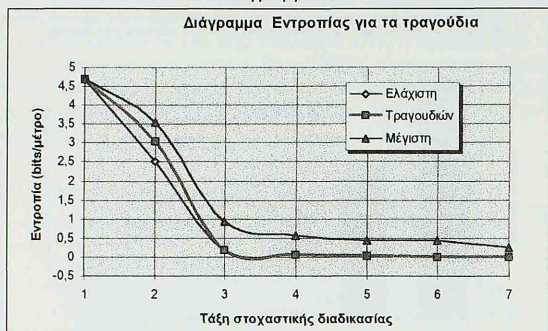
Πρώτα αντιμετωπίστηκαν τα τραγούδια σαν ολότητες, δηλαδή σαν συνεχή ρυθμικά μηνύματα, δημιουργούμενα από την αλληλοδιαδοχή μουσικών μέτρων (από τις 65 μορφές που εντοπίστηκαν).

Εάν τα μουσικά μέτρα εμφανίζοντουσαν με ισοπίθανο τρόπο, θα είχαμε μέγιστη μεταφερόμενη πληροφορία (αταξία ή αβεβαιότητα) ίση με:

$$H_{\max}(65) = \log_2(65) = 6,02237 \text{ bits/μουσικό μέτρο (Σχ. 12)}$$

Τα μουσικά μέτρα, βέβαια, εμφανίζονται με διαφορετικές πιθανότητες, γεγονός που υποβιβάζει την εντροπία της πηγής. Αντιμετωπίζοντας την πηγή σαν k τάξης πηγή Markow ($k = 1, 2, \dots, 7$), υπολογίζονται οι υπο συνθήκη εντροπίες, οι οποίες φαίνονται στο διάγραμμα 3.

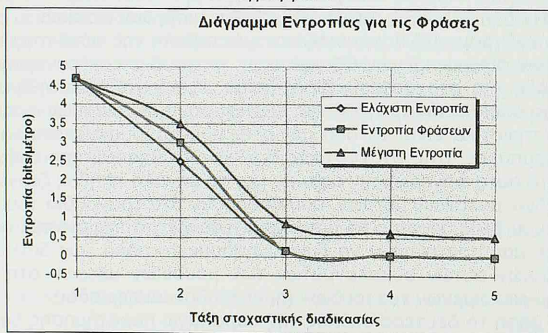
Διάγραμμα 3



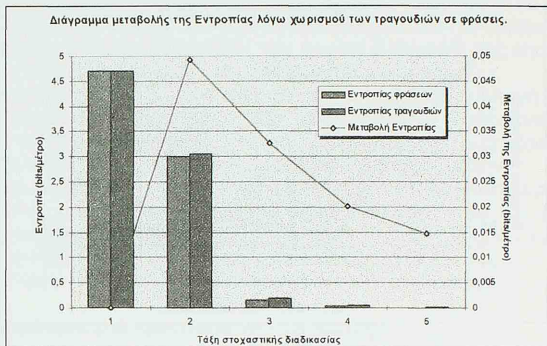
Στη συνέχεια χωρίστηκαν τα τραγούδια σε μουσικές φράσεις, γεγονός που μαρτυρεί την κατοχή κάποιας «γνώσης», κάποιας «ποσότητας πληροφορίας» από την πλευρά του μελετητή με βάση την οποία έγινε αυτός ο «διαμερισμός» των τραγουδιών. Τούτο σημαίνει ότι η αβεβαιότητα του μελετητή, δηλαδή η υπό συνθήκη εντροπία της πηγής μειώθηκε.

Οι τιμές αυτών των υπό συνθήκη εντροπιών, που αφορούν στις μουσικές φράσεις των τραγουδιών, παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 4 και το μέγεθος της επελθούσης μείωσης στην υπό συνθήκη εντροπία της πηγής φαίνεται στο Διάγραμμα 5.

Διάγραμμα 4



Διάγραμμα 5



Πρέπει να σημειωθεί ότι στα διαγράμματα 3 και 4 παρουσιάζονται και οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές της υπό συνθήκη εντροπίας, που μπορεί να λάβει η πηγή του μελετούμενου συστήματος. Οι άκρες αυτές τιμές της υπό συνθήκη εντροπίας της πηγής προκύπτουν από τη σχέση, που διετύπωσε ο Shannon

$$\sum_{i=1}^k i(q_i^N - q_{i+1}^N) \log_2 i \leq H_N \leq - \sum_{i=1}^k q_i^N \log_2 q_i^N \quad (\text{Σχ. 12})$$

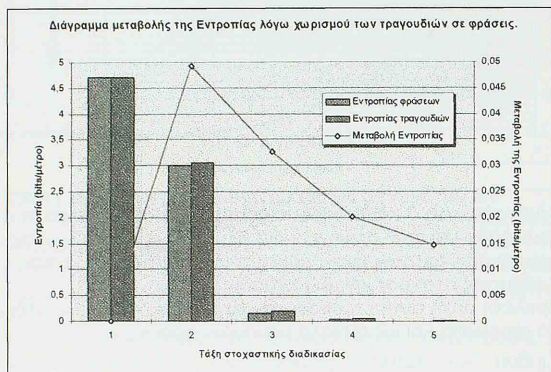
όπου $N=2, 3, 4, 5, 6, 7$, η τάξη της στοχαστικής διαδικασίας.

Στο Διάγραμμα 6 παρουσιάζεται η μεταβολή της σύνθετης εντροπίας των συγκεκριμένων Θρακιώτικων τραγουδιών σε συνάρτηση με την τάξη της στοχαστικής διαδικασίας, είτε αυτά μελετήθηκαν ως σύνολο ολόκληρων τραγουδιών, είτε ως σύνολο μουσικών φράσεων. Χαρακτηριστικά είναι τα δύο μέγιστα, που παρουσιάζονται και στις δύο καμπύλες, στις στοχαστικές διαδικασίες 2ης και 4ης τάξης. Τα μέγιστα αυτά φανερώνουν αφενός μεν το μεγάλο πλήθος ζευγών και τετράδων μουσικών μέτρων, που υπάρχουν στα τραγούδια του μελετούμενου δείγματος με μη μοναδιαία πιθανότητα εμφάνισης, αφετέρου δε μας προτρέπουν να διερευνήσουμε το ρόλο των διπλών και τετραπλών αυτών συμπλεγμάτων των μουσικών μέτρων στη δομή των συγκεκριμένων τραγουδιών (ημιπερίοδοι και περίοδοι).

Με βάση το δεύτερο σκέλος της παραπάνω παρατήρησης θα μπο-

ρούσαμε να πούμε ότι, εάν είχε μελετηθεί η σύνθετη εντροπία των τραγουδιών και των φράσεων σε ακόμη μεγαλύτερης τάξης στοχαστικές διαδικασίες (7ης και 8ης τουλάχιστον), η καμπύλη θα παρουσίαζε και τρίτο μέγιστο στην 8ης τάξης στοχαστική διαδικασία. Τούτο θα συνέβαινε, διότι τα οκταπλά συμπλέγματα μουσικών μέτρων δομούν τις μουσικές φράσεις στα τραγούδια του εν λόγω δείγματος.

Διάγραμμα 6



Όπως έχει ήδη αναφερθεί, όσο περισσότερα γνωρίζει ο παρατηρητής για την προϊστορία της πηγής, τόσο η υπό συνθήκη εντροπία της πηγής μειώνεται, δηλαδή η αβεβαιότητά του για το τι πρόκειται να εκτέμψει η πηγή λιγοστεύει. Αυτό είναι λογικό άλλωστε, διότι, επιβάλλοντας τάξη στη δομή με τη μακρά δράση του μορφογενετικού πεδίου Β, επιβάλλονται όλο και περισσότεροι δεσμοί (περιορισμοί), που αντανακλούν κύρια στο πλήθος των υποψηφίων να εκπεμφθούν μουσικών μέτρων.

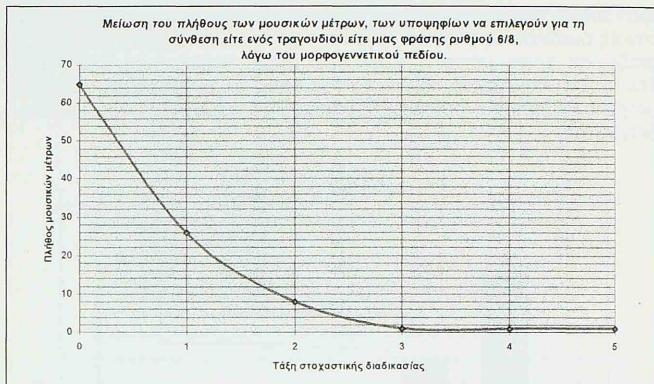
Τούτο εκφράζεται από τη σχέση

$$H = \log_2 (\text{πλήθος υποψηφίων να επιλεγούν για εκπομπή συμβόλων}) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow (\text{πλήθος υποψηφίων να επιλεγούν για εκπομπή συμβόλων}) = 2^H$$

(Σχ. 13)

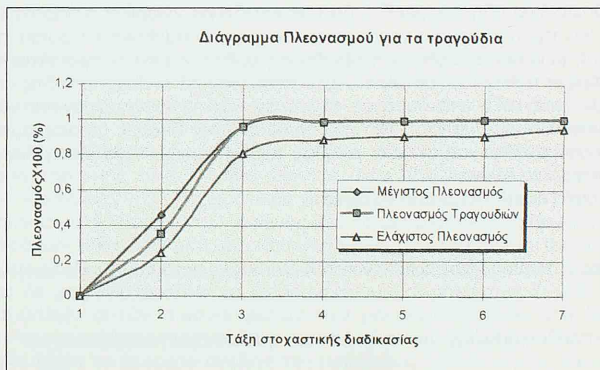
Διάγραμμα 7



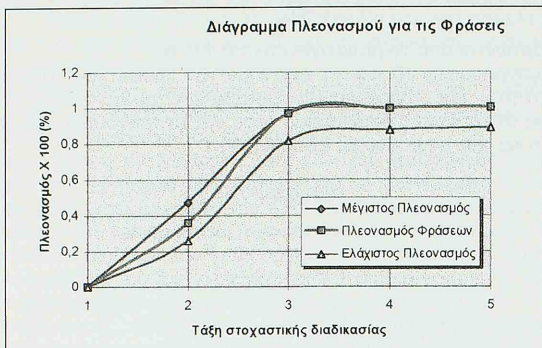
Στα διαγράμματα 8 και 9 παρουσιάζεται η μεταβολή τόσο του πλεονασμού, όσον και των άκρων τιμών ($R_{\min}$, $R_{\max}$) αυτού, αναφορικά με τα μουσικά μέτρα των τραγουδιών του δείγματος, σε σχέση πάντα με την τάξη της στοχαστικής διαδικασίας.

Στη μελέτη αυτή αντιμετωπίστηκαν τα τραγούδια και ως ολόκληρα ρυθμικά μηνύματα και ως σύνολα μουσικών φράσεων.

Διάγραμμα 8



Διάγραμμα 9



6. Σύνθεση «Θρακιωτικοειδούς» ρυθμικού μηνύματος 6/8

Το πληροφοριακό περιεχόμενο (εντροπία) μιας πηγής πληροφορίας εκφράζει ποσοτικά τη σχετική ελευθερία, που διαθέτουν τα στοιχεία μιας δομής. Η μέτρησή του βασίζεται σ' ένα σύνολο πιθανοτήτων εμφάνισης των στοιχείων της εν λόγω δομής, το οποίο σύνολο θεωρείται χαρακτηριστικό αυτής.

Η πηγή Markow μπορεί να χρησιμοποιηθεί, αντίστροφα, για τη δημιουργία μιας πηγής πληροφορίας, δηλαδή του μαθηματικού μοντέλου ενός υποθετικού Θρακιώτη λαϊκού συνθέτη.

Για να επιτευχθεί αυτό εφοδιάζεται ένας Η/Υ με όλα τα στατιστικά δεδομένα, που αφορούν στις εντροπίες και στους πλεονασμούς του μελετηθέντος δείγματος τραγουδιών. Με κατάλληλο λογισμικό (software) ζητείται από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή να δράσει σαν πηγή ρυθμικής πληροφορίας και να εκπέμψει αλληλουχίες μουσικών μέτρων, ώστε η εντροπία των ρυθμικών μηνυμάτων, που θα δημιουργούνται, να βρίσκεται σε ένα προκαθορισμένο επίπεδο. Το επίπεδο αυτό καθορίζεται από το ποιός τάξης πηγή Markow θα υιοθετήσει ο ηλεκτρονικός υπολογιστής κατά τη λειτουργία του.

Τα στοιχεία, που καθορίζουν τον τρόπο εκπομπής των μουσικών μέτρων, είναι η τυχαιότητα

$$\left(\frac{H}{H_{max}} \right) \quad (\Sigma\chi. 14)$$

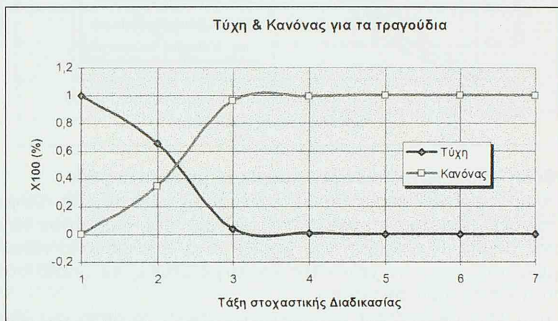
που εξαρτάται από τις τιμές της εντροπίας, και οι περιορισμοί

$$\left(\frac{H_{max} - H}{H_{max}} \right) \quad (\Sigma\chi. 15)$$

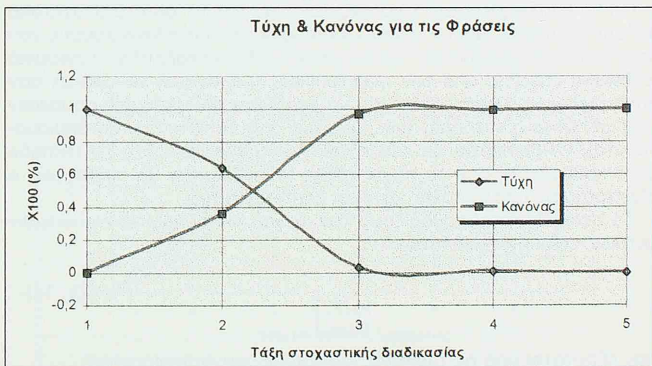
που εξαρτώνται από το μορφογενετικό πεδίο B.

Τα Διαγράμματα 10 και 11 δείχνουν τον τρόπο που τα στοιχεία «τυχασιότητα» και «περιορισμοί» μεταβάλλονται σε σχέση με την τάξη της στοχαστικής διαδικασίας τόσο για τα τραγούδια σαν ολότητες, όσο και για τις μουσικές φράσεις.

Διάγραμμα 10



Διάγραμμα 11



Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η διαδικασία υποβιβασμού της εντροπίας ισοδυναμεί με σταδιακή αύξηση της ισχύος του μορφογενετικού πεδίου, το οποίο επηρεάζει την πηγή. Το πεδίο μειώνει την ελευθερία στην επιλογή των συμβόλων και οδηγεί στο σχηματισμό αναγνωρισίμων αλληλουχιών μουσικών μέτρων.

Στις αλληλουχίες, που κυριαρχεί το στοιχείο της τυχαιότητας, εμφανίζεται ο αλεατορικός τους χαρακτήρας (μουσικά μέτρα «σκόρπια» με την έννοια του ισοπίθανου).

Με την αύξηση της τάξης της στοχαστικής διαδικασίας προκύπτει τόσο από το Διάγραμμα 10, όσο και από το Διάγραμμα 11 ότι λίγο μετά την τάξη 2 και λίγο πριν την τάξη 3 στα τραγούδια του εξεταζόμενου δείγματος τα στοιχεία «τυχαιότητα» και «περιορισμοί» ισορροπούν. Τώρα αρχίζουν και δημιουργούνται οι πρώτες αλληλουχίες μουσικών μέτρων με αναγνωρίσιμη απλή ρυθμική μουσική ομοειδή προς αυτήν των αναλυθέντων Θρακιώτικων τραγουδιών.

Σε υψηλότερης τάξης προσεγγίσεις οι περιορισμοί υπερισχύουν του στοιχείου της τυχαιότητας, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται ολοκληρωμένες μουσικές ρυθμικές δομές με πρωτότυπο χαρακτήρα.

Στην περίπτωση κατά την οποία οι περιορισμοί υπερισχύουν κατά πολύ του στοιχείου της τυχαιότητας, γεγονός που συμβαίνει πολύ γρήγορα, δηλαδή μετά από τις στοχαστικές διαδικασίες 3ης τάξης, συντίθενται ρυθμικά μηνύματα τμήματα των οποίων μικρής ή μεγάλης έκτασης υπάρχουν αυτούσια μέσα στα τραγούδια του μελετώμενου δείγματος.

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ

1. Ο πιο γνωστός χορός της Θράκης που απαντάται σε ρυθμό 6/8, είναι ο Ζωναράδικος. Είναι κυκλικός, μεικτός χορός (χορεύεται από άνδρες και γυναίκες αδιακρίτως), που αποτελείται από δύο τρίσημα μέτρα, το πρώτο με μορφή τροχαϊκού (θέση): (—U) και το δεύτερο με μορφή τρίβραχυ (άρση): (—U/UUU). Η αγωγή είναι σύντομη.

2. Κατά την επεξεργασία του πρωτογενούς υλικού – των τραγουδιών του δείγματος – και μέχρι να ληφθούν τα αποτελέσματα από στοχαστικές διαδικασίες μέχρι και 7ης τάξης δημιουργείται ενδιαμέσως τεράστια ποσότητα πληροφορίας, απαραίτητη για τους κατοπινούς υπολογισμούς, η οποία πρέπει οπωσδήποτε να υπάρχει αποθηκευμένη. Έτσι, δημιουργείται πρόβλημα μνήμης στον ηλεκτρονικό υπολογιστή που μας αναγκάζει να περιορίσουμε τον αριθμό των τραγουδιών στο δείγμα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Shannon, C. E., *A Mathematical Theory of Communication*, The Bell System Technical Journal, vol. XXVII, No 3, July, (1948).
- Shannon, C. E., *Prediction and Entropy of Printed English*, The Bell System Technical Journal, vol. 30, p. 50, (1951).
- Weaver W., *Recent Contribution to the Mathematical Theory of Communication*, etc.: A Review of General Semantics, X (1953).
- Hartley R. V. L., *Transmission of Information*, The Bell System Technical Journal 7, pp. 535–563, April, (1928).
- Szilard L., *Über die Entropieverminderung in Einem Thermodynamischen System bei Eingriffen Intelligenter Wesen*, Z. Physik, 53, 840, (1929).
- Wiener N. *The human use of human beings*, the University Press, Cambridge, Massachusetts, (1949).
- Brillouin L., *Science and Information Theory*, Academic Press, pp. 162–183, (1962).
- Κεκέ Ι. Ι., *Ο μαθητής ως ερευνητής στο χώρο του σχολείου (Μια Συστημική προσέγγιση σε Συνεργατική Ενεργό Έρευνα)*, Διδακτορική Διατριβή στον Τομέα Παιδαγωγικής, του Τμήματος Φιλοσοφίας – Παιδαγωγικής – Ψυχολογίας, της Φιλοσοφικής Σχολής, του Πανεπιστημίου Αθηνών, 1996.
- Καβακόπουλος Π., *Τραγούδια της Βορειοδυτικής Θράκης*, εκδ. Ίδρυμα Χερσον. του Αίμου, αριθ. 178, Θεσσαλονίκη, 1981.
- Παχτίκος Γ. Δ., *260 Δημόδη Ελληνικά Άσματα από του στόματος του Ελληνικού λαού*, Τόμος Α', Αθήνα, 1905.
- Koestler, A., *Η πράξη της δημιουργίας*, Μτφρ. Ι. Χατζηνικολή, Εκδόσεις Ι. Χατζηνικολή, Αθήνα, 1976.
- Σπυρίδης Χ. Χ., *Μαθηματική μελέτη της δομής των Ελληνικών δημοτικών Καλαματιανών τραγουδιών και αντικειμενική καταγραφή μονοφωνικής μουσικής σε μουσική σημειογραφία*, Διδακτορική Διατριβή που υποβλήθηκε στο Τμήμα Φυσικής του Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, 1983.
- Σπυρίδης Χ. Χ., *Μια εισαγωγή στη Φυσική της Μουσικής*, Εκδόσεις Υπηρεσίας Δημοσιευμάτων του Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, 1986.
- Spyridis H. C. and Politis D. V., *Information Theory applied to the structural study of Byzantine Ecclesiastical Hymns*, ACUSTICA, vol. 71, pp 41-49, (1990).
- Σπυρίδης Χ. Χ., *Εφαρμογή της Πληροφορικής στη μελέτη της δομής των Δωδεκανησιακών δημοτικών τραγουδιών με ρυθμό 2/4 από τη συλλογή του Samuel Baud-Bonv*, Πρακτικά Συνεδρίου «Άξονες & προϋποθέσεις για μια διεπιστημονική έρευνα», Πνευματικό Ίδρυμα Σάμου «Νικόλαος Δημητρίου», Σάμος, 1994, σ. 155-179.
- Σπυρίδης Χ. Χ. *Η πληροφορική στην Εθνομουσικολογία*, Εκδόσεις Γαρταγάνης, Αθήνα, 1997.