

ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΕΣΤΙΑΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ

Υψηλάντη Άννα*¹, Νάκος Βύρωνας²

¹ Αγρονόμος Τοπογράφος Μηχανικός – Τηλ.: 6974 894588 – aipsil@mail.ntua.gr

² Αναπληρωτής Καθηγητής – Τηλ.: 210-772 2733 – bnakos@central.ntua.gr

Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αναπτύσσεται και εφαρμόζεται μια μέθοδος γραμμικής εστιακής απεικόνισης. Η βασική ιδέα πάνω στην οποία αναπτύχθηκε η διαδικασία του μετασχηματισμού μεγέθυνσης με γραμμική εστία στηρίζεται στο γεγονός ότι εστίες για την παραμόρφωση των υπολοίπων, εκτός της ευθείας, σημείων του χάρτη αποτελούν τα ίχνη της προβολής τους πάνω σε αυτήν. Στη μέθοδο που αναπτύχθηκε εφαρμόστηκε ένας απλός νόμος μεγέθυνσης, αυτός του ακτινικού μετασχηματισμού. Σύμφωνα μ' αυτόν η γραμμική κλίμακα μεταβάλλεται με συνέχεια και ακτινικά ως προς το εστιακό σημείο, επηρεάζοντας τα σημεία που βρίσκονται μέχρι μια μέγιστη ακτίνα επιρροής (S_{max}), η οποία ορίζεται από τον χρήστη. Τα υπόλοιπα σημεία που απέχουν από την εστία απόσταση μεγαλύτερη από τη μέγιστη ακτίνα επιρροής (S_{max}) δεν υπόκεινται σε κανενός είδους μετασχηματισμό. Η εικόνα του γεωγραφικού χώρου μετά την εφαρμογή του μετασχηματισμού ομοιάζει με την «παραμόρφωση» που επιφέρουν οι κυλινδρικοί φακοί. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται επέκταση της έρευνας, με σκοπό τη γενίκευση του αλγορίθμου ώστε να εφαρμόζεται σε τυχαία τεθλασμένη γραμμή, δεδομένου ότι μπορεί να είναι επιθυμητή η μεγέθυνση του χάρτη κατά μήκος δύο ή περισσότερων συνεχών γραμμικών εστιών ή ακόμα η δημιουργία γραμμικής εστιακής απεικόνισης με εστία μια τυχαία γραμμική οντότητα που ορίζεται από πεπερασμένο αριθμό κορυφών. Τέλος, δίνονται ενδεικτικά παραδείγματα εφαρμογής της γραμμικής εστιακής απεικόνισης μέσω θεματικών χαρτών μεγάλης κλίμακας.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Αναλυτική χαρτογραφία, εστιακή απεικόνιση, κλίμακα γραμμικής παραμόρφωσης, θεματικός χάρτης

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Έχει επικρατήσει η άποψη ότι η αποτελεσματικότερη χαρτογραφική απεικόνιση, ως προς το βαθμό κατανόησης και ερμηνείας των δεδομένων που αναπαρίστανται, είναι αυτή που απεικονίζει τις χωρικές οντότητες και το γεωγραφικό χώρο με τη μικρότερη δυνατή παραμόρφωση (Yang *et al.* 2000), και τη διατήρηση όσο το δυνατόν περισσότερο των σχετικών θέσεων μεταξύ τους. Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις όπου η μετάδοση της πληροφορίας καθίσταται περισσότερο εναργής και αποτελεσματική όταν η απεικόνιση υπόκειται σε συγκεκριμένους μετασχηματισμούς και παραμορφώσεις που αναδεικνύουν και ενισχύουν την επιθυμητή προς μετάδοση πληροφορία. Τέτοιες περιπτώσεις αποτελούν κυρίως κατηγορίες θεματικών χαρτών, που η ανάγκη επινόησης εύληπτων μεθόδων απόδοσης για να εξυπηρετήσουν τους σκοπούς της σύνταξής τους, οδήγησε στην παραγωγή εστιακών απεικονίσεων (Νάκος 1999). Πρόκειται για χαρτογραφικές απεικονίσεις που μεγεθύνουν τοπικά μια ιδιότητα του χάρτη ή μια περιοχή γύρω από ένα σημείο του γεωγραφικού χώρου, το οποίο

ονομάζεται εστιακό σημείο, και παράλληλα διατηρούν την απεικόνιση της περιβάλλουσας περιοχής, ώστε να παρέχεται στο χρήστη ολοκληρωμένη εποπτία και αντίληψη του χώρου (detail-in-context) (Carpendale 2001). Το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι μια απεικόνιση μεταβαλλόμενης κλίμακας (Fairbairn and Taylor 1995), όπου οι περιοχές κοντά στο εστιακό σημείο, που μας ενδιαφέρουν περισσότερο, παρουσιάζονται μεγενθυμένες σε σχέση με την ευρύτερη περιφέρεια που παραμένει αμετάβλητη (Carpendale *et al.* 1997). Η περιοχή δηλαδή γύρω από την εστία απεικονίζεται με μεγαλύτερη κλίμακα σε σχέση με την περιφέρεια (Keahey 1999).

Στόχος της εργασίας αποτελεί η επινοήση αποτελεσματικών μεθόδων απόδοσης θεματικών χαρτών, όπου η περιοχή ενδιαφέροντος περικλείεται γύρω από μία γραμμική γεωγραφική οντότητα, πραγματική ή νοητή. Προκειμένου λοιπόν να εξοικονομηθεί χώρος στη διαθέσιμη επιφάνεια του χάρτη, ώστε να απεικονιστεί ο απαιτούμενος για τους σκοπούς του όγκος πληροφορίας, χωρίς την πυκνή συσσώρευση και τη δημιουργία οπτικού «θορύβου» (Boutoura *et al.* 1999), θα πρέπει να μεγεθυνθεί η περιοχή γύρω από τη γραμμική εστία, αποδίδοντάς την με μεγαλύτερη κλίμακα σε σχέση με την περιβάλλουσα.

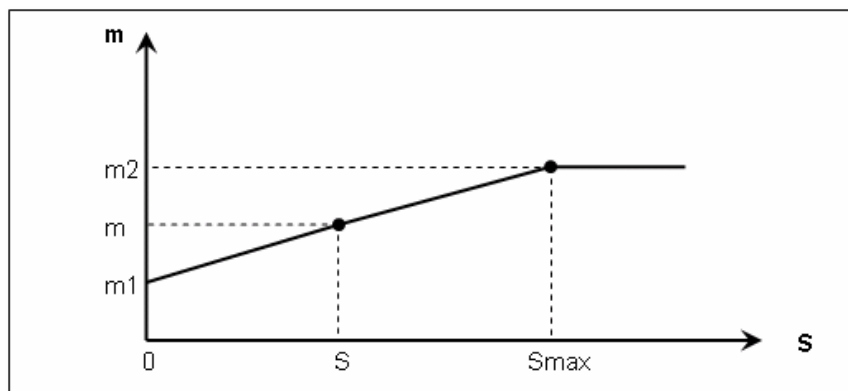
2. ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ

2.1 Σημειακή εστιακή απεικόνιση

Στην ενότητα αυτή αναπτύσσονται οι αναλυτικές σχέσεις που συνθέτουν το νόμο μεταβολής της γραμμικής κλίμακας παραμόρφωσης, η εφαρμογή του οποίου επιφέρει τη σημειακή εστιακή απεικόνιση και αποτελεί τη βάση για την ανάπτυξη του νόμου της γραμμικής εστιακής απεικόνισης.

2.1.1 Θεωρητική προσέγγιση μετασχηματισμού

Αρχικά μελετήθηκαν και εφαρμόστηκαν οι αναλυτικές σχέσεις με τις οποίες παράγεται μια σημειακή εστιακή απεικόνιση, της οποίας εστία αποτελεί κάποιο σημείο του αρχικού χάρτη που επιλέγεται από το χρήστη. Επιχειρείται λοιπόν να οριστεί ένας νόμος σύμφωνα με τον οποίο πραγματοποιείται ο μετασχηματισμός, διαμορφώνοντας τις σχέσεις που περιγράφουν την επίδραση της επιθυμητής παραμόρφωσης του χάρτη γύρω από το εστιακό σημείο (Kadmon and Shlomi 1978, Wang and Hu 1995). Η λογική που επιθυμούμε να ακολουθεί ο νόμος απ' τον οποίο προκύπτει η σημειακή εστιακή απεικόνιση, σχετικά με τη μεταβολή της κλίμακας γραμμικής παραμόρφωσης ως προς την απόσταση από την εστία αναπαρίσταται γραφικά στην Εικόνα 1.



Εικόνα 1. Μεταβολή κλίμακας ως προς την απόσταση από την εστία.

Σύμφωνα λοιπόν με την Εικόνα 1, η τιμή της κλίμακας στο εστιακό σημείο, όπου $S=0$, παίρνει τη μεγαλύτερη τιμή της ($1/m_1$), σε απόσταση S_{\max} από την εστία η κλίμακα παίρνει τη μικρότερη τιμή της ($1/m_2$) και σε κάποια ενδιάμεση θέση παίρνει αντίστοιχα μια ενδιάμεση τιμή ($1/m$), ενώ για κάθε σημείο σε απόσταση μεγαλύτερη του S_{\max} , η τιμή της κλίμακας σταθεροποιείται στο ($1/m_2$). Στον Πίνακα 1 δίνονται οι ορισμοί των βασικών παραμέτρων της σημειακής εστιακής απεικόνισης.

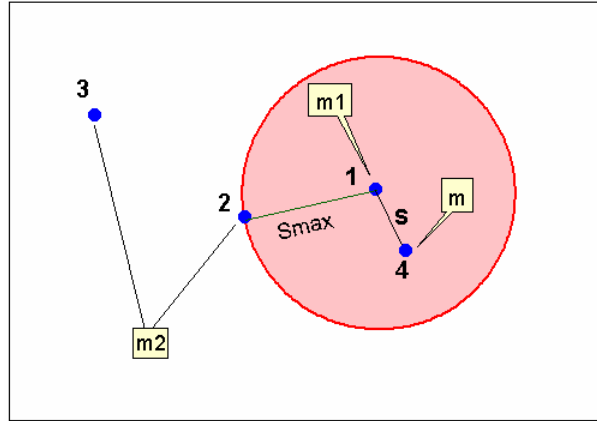
Πίνακας 1. Βασικές παράμετροι σημειακής εστιακής απεικόνισης.

Παράμετρος	Περιγραφή
S_{\max}	Μέγιστη ακτίνα επιρροής του νόμου, από το εστιακό στα λοιπά σημεία της απεικόνισης. Με τον προσδιορισμό της παραμέτρου S_{\max} ορίζεται ένας κύκλος με κέντρο την εστία και ακτίνα τη μέγιστη επιθυμητή απόσταση επιρροής του νόμου, ώστε στη συνέχεια να πραγματοποιείται η μεταβολή της κλίμακας μόνο εντός της περιοχής που ορίζει η περιφέρεια αυτού του κύκλου (Snyder 1987). Εκτός των ορίων του κύκλου, σε μεγαλύτερη δηλαδή απόσταση από την S_{\max} , η απεικόνιση δεν επηρεάζεται, με αποτέλεσμα τα σημεία να διατηρούν την αρχική τους θέση και μετά το μετασχηματισμό, χωρίς να υπόκεινται σε παραμόρφωση
S	Απόσταση ενός σημείου του χάρτη, που βρίσκεται εντός της περιφέρειας του ορισμένου κύκλου, από το εστιακό σημείο
$1/m_2$	Αρχική κλίμακα του χάρτη, την οποία διατηρούν και μετά το μετασχηματισμό όλα τα εκτός ορίου του κύκλου σημεία. Αυτή η τιμή της κλίμακας είναι και η μικρότερη που θα εμφανίζεται στον τελικό παραμορφωμένο χάρτη μεταβαλλόμενης κλίμακας
$1/m_1$	Κλίμακα στο εστιακό σημείο. Αυτή είναι η μεγαλύτερη τιμή που θα εμφανίζει η κλίμακα στον τελικό παραμορφωμένο χάρτη
$1/m$	Κλίμακα σε σημεία που βρίσκονται σε απόσταση S από το εστιακό σημείο, και λαμβάνει τιμές: $1/m_1 > 1/m > 1/m_2$

Για την καλύτερη κατανόηση της μεταβολής της κλίμακας (Εικόνα 1), που καθορίζεται από το νόμο εφαρμογής του εστιακού μετασχηματισμού, στην Εικόνα 2 δίνεται η σχηματική παρουσίαση της απεικόνισης που παράγεται κατά την εφαρμογή του. Ερμηνεύοντας την Εικόνα 2, η απεικόνιση ορίζεται από το ορθογώνιο πλαίσιο. Στο εστιακό σημείο (σημείο 1), η κλίμακα απεικόνισης παίρνει την τιμή $1/m_1$. Ορίζεται μια επιθυμητή μέγιστη απόσταση επιρροής (S_{\max}), η οποία μαζί με το εστιακό σημείο ορίζουν έναν κύκλο. Όλα τα σημεία που βρίσκονται μέσα σ' αυτόν τον κύκλο (όπως το σημείο 4) και απέχουν απόσταση S από τη εστία θα παίρνουν μια τιμή γραμμικής κλίμακας $1/m$. Όλα τα υπόλοιπα σημεία που βρίσκονται επάνω στην περιφέρεια του κύκλου (όπως το σημείο 2), δηλαδή ισχύει $S=S_{\max}$, ή σε θέση του χάρτη εκτός του κύκλου (όπως το σημείο 3), δηλαδή ισχύει $S > S_{\max}$, θα διατηρούν την αρχική τιμή της κλίμακας $1/m_2$.

2.1.2 Αναλυτικές σχέσεις μετασχηματισμού

Θεωρούμε ένα σημείο P στο χάρτη, με συντεταγμένες (x,y) , αν υποθέσουμε ότι οι συντεταγμένες της εστίας είναι (x_0,y_0) , τότε η ακτινική απόσταση S του σημείου P από αυτήν, δίνεται από τη σχέση του 2^{ου} θεμελιώδους προβλήματος της Γεωδαισίας, δηλαδή:



Εικόνα 2. Σχηματική παρουσίαση του νόμου της εστιακής απεικόνισης.

$$S = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2} . \quad (1)$$

Οι συντεταγμένες του σημείου $P(x,y)$ ως προς τις συντεταγμένες του εστιακού σημείου θα δίνονται από τις σχέσεις του 1^{ου} θεμελιώδους προβλήματος της Γεωδαισίας:

$$x = x_0 + S \sin a \quad (2)$$

$$y = y_0 + S \cos a , \quad (3)$$

όπου a : η γωνία διεύθυνσης της ευθείας που ορίζουν το σημείο P και το εστιακό σημείο, δηλαδή:

$$a = \arctan \frac{x - x_0}{y - y_0} . \quad (4)$$

Μετά την εφαρμογή του αλγορίθμου και το μετασχηματισμό μεγέθυνσης που πραγματοποιείται, κάθε σημείο P του αρχικού χάρτη με συντεταγμένες (x,y) πλέον απεικονίζεται σε νέα θέση P' με συντεταγμένες (x',y') . Οι νέες αυτές συντεταγμένες, λαμβάνοντας υπόψη τη μετασχηματισμένη ακτινική απόσταση S' , καθώς και τη διατήρηση της γωνίας διεύθυνσης, δίνονται από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$x' = x_0 + S' \sin a \quad (5)$$

$$y' = y_0 + S' \cos a \quad (6)$$

Από τη γραφική παράσταση της Εικόνας 1 και λόγω ομοιότητας τριγώνων προκύπτει η σχέση της γραμμικής κλίμακας m , για κάθε σημείο του χάρτη που βρίσκεται μέσα στα όρια του κύκλου:

$$\frac{S_{\max}}{m_2 - m_1} = \frac{S}{m - m_1} \Rightarrow \frac{m - m_1}{m_2 - m_1} = \frac{S}{S_{\max}} \Rightarrow m = \frac{S}{S_{\max}} (m_2 - m_1) + m_1 \quad (7)$$

Έχοντας ορίσει λοιπόν τη σχέση της κλίμακας για κάθε σημείο του χάρτη, ως συνάρτηση της απόστασης S από το εστιακό σημείο, μπορεί να οριστεί στη συνέχεια και η νέα απόσταση S' του σημείου P' από την εστία, στο μετασχηματισμένο πλέον χάρτη. Θεωρήθηκε ότι για κάθε σημείο P του αρχικού χάρτη η απόσταση από την εστία είναι S , και η γραμμική κλίμακα στη θέση αυτή $1/m_2$. Με την εφαρμογή της εστιακής απεικόνισης, η ακτινική απόσταση του σημείου γίνεται S' και η κλίμακα στη θέση αυτή $1/m$. Προκύπτει λοιπόν ότι ακτινική απόσταση μετά το μετασχηματισμό S' , θα συσχετίζεται με την αρχική απόσταση S από την ακόλουθη σχέση:

$$S' = S \frac{m_2}{m} \quad (8)$$

Επομένως η ακτινική απόσταση του σημείου από την εστία στη μετασχηματισμένη απεικόνιση, είναι συνάρτηση της αρχικής απόστασης S , της αρχικής και της νέας κλίμακας (m_2 και m).

Έχοντας λοιπόν προσδιορίσει τη μετασχηματισμένη ακτινική απόσταση S' , καθώς και την τιμή της γωνίας διεύθυνσης της ευθείας μεταξύ κάθε σημείου και του εστιακού, με την εισαγωγή των εκάστοτε τιμών στις σχέσεις (5) και (6) μπορούν να προσδιοριστούν οι νέες συντεταγμένες των σημείων που προκύπτουν από την εφαρμογή του αλγορίθμου μετασχηματισμού.

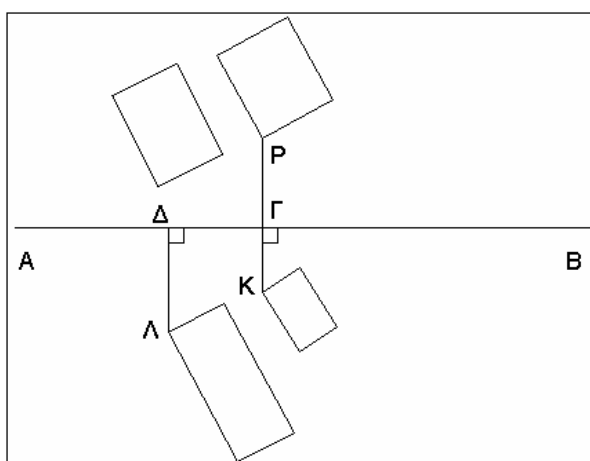
2.2 Γραμμική εστιακή απεικόνιση

Στην ενότητα αυτή αναπτύσσεται η μεθοδολογία δημιουργίας συνεχούς εστιακής απεικόνισης κατά μήκος γραμμής, με την ανάπτυξη των αναλυτικών σχέσεων που συνθέτουν τον αλγόριθμο μετασχηματισμού.

2.2.1 Θεωρητική προσέγγιση μετασχηματισμού

Η βασική ιδέα πάνω στην οποία στηρίχτηκε η παραγωγή του μετασχηματισμού μεγέθυνσης με γραμμική εστία στηρίζεται στο γεγονός ότι εστίες για την παραμόρφωση των υπολοίπων, εκτός της ευθείας, σημείων του χάρτη αποτελούν τα ίχνη της προβολής τους πάνω σε αυτήν. Για την εφαρμογή του μετασχηματισμού σε κάθε σημείο η τιμή της γραμμικής κλίμακας καθορίζεται και επηρεάζεται μόνο από την εστία που προκύπτει ως ίχνος της προβολής του.

Αν για παράδειγμα θεωρήσουμε ως γραμμή-εστία την ευθεία (AB) (Εικόνα 3), τότε το σημείο Γ, που είναι η προβολή των σημείων P και K πάνω στην ευθεία, θα αποτελέσει την εστία του ακτινικού μετασχηματισμού για τα δύο αυτά σημεία και θα καθορίσει με βάση έναν επιθυμητό νόμο τη γραμμική κλίμακα για την απεικόνιση των σημείων P και K και μόνον αυτών. Ομοίως, ο μετασχηματισμός της γραμμικής κλίμακας του σημείου Λ θα πραγματοποιηθεί με την επίδραση του νόμου από το εστιακό σημείο Δ, και ούτω καθ' εξής.

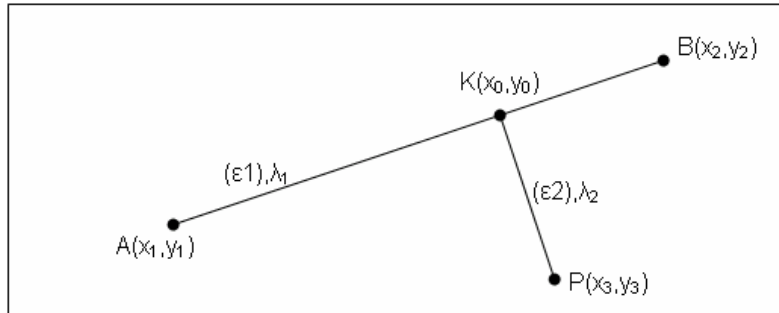


Εικόνα 3. Κάθετη προβολή σημείου πάνω στη γραμμική εστία.

Το οπτικό αποτέλεσμα που προκύπτει από την εφαρμογή του συνόλου αυτών των μεμονωμένων σημειακών εστιών, ομοιάζει με την παραμόρφωση που επιφέρουν οι κυλινδρικοί φακοί.

2.2.2 Αναλυτικές σχέσεις μετασχηματισμού

Για την εκτέλεση του μετασχηματισμού αναπτύχθηκε ένας αλγόριθμος που περιγράφεται στην ενότητα αυτή. Έστω μια ευθεία (AB), η οποία θεωρούμαι ότι αποτελεί τη γραμμική εστία, εκατέρωθεν της οποίας θα πραγματοποιηθεί ο μετασχηματισμός μεγέθυνσης του χάρτη. Θεωρούμε το σημείο A με συντεταγμένες (x_1, y_1) και το B με συντεταγμένες (x_2, y_2) , όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 4. Έστω τώρα ένα σημείο P με συντεταγμένες (x_3, y_3) , που δεν ανήκει στην ευθεία (AB). Αν αυτό προβληθεί στην ευθεία, τότε προκύπτει το ίχνος του K με συντεταγμένες (x_0, y_0) . Το σημείο K θα αποτελέσει εστιακό σημείο για το P στην γραμμική εστιακή απεικόνιση.



Εικόνα 4. Προσδιορισμός των μεμονωμένων σημειακών εστιών.

Για το σημείο P μπορεί πλέον να εφαρμοστεί ο σημειακός εστιακός μετασχηματισμός όπως περιγράφηκε στην ενότητα 2.1.2. Επομένως, θα πρέπει να προσδιοριστούν οι συντεταγμένες (x_0, y_0) του σημείου K. Ο μαθηματικός λογισμός που ακολουθήθηκε για τη διαμόρφωση των αναλυτικών σχέσεων που εφαρμόστηκαν για την εργασία αυτή, περιγράφεται στη συνέχεια της ενότητας.

Δεδομένου ότι το σημείο P και η προβολή του K ορίζουν μια ευθεία (ϵ_2) και ότι το σημείο K ανήκει στην ευθεία (AB), τότε το K μπορεί να προσδιοριστεί ως τομή δύο ευθειών. Όπως είναι γνωστό, μια ευθεία στο επίπεδο καθορίζεται όταν είναι γνωστά ένα σημείο αυτής και η κλίση της, ή όταν είναι γνωστά δύο σημεία της. Για την ευθεία (AB), γνωρίζοντας τις συντεταγμένες των σημείων A και B, είναι εύκολο να προσδιοριστεί η κλίση της λ_1 (Τσίτσας 1993):

$$\lambda_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (9)$$

Επομένως καθορίζεται και η αναλυτική εξίσωση της ευθείας από τη σχέση:

$$y = y_0 + \lambda(x - x_0), \text{ που συγκεκριμένα για την ευθεία (AB), γίνεται:}$$

$$(AB): y = y_1 + \lambda_1(x - x_1) \quad (10)$$

Όσον αφορά την ευθεία (ϵ_2) που ορίζεται από τα σημεία K και P, έχουμε μόνο ένα γνωστό σημείο της, το P. Μπορεί όμως εύκολα να προσδιοριστεί η κλίση της λ_2 από τη σχέση:

$$\lambda_1 \lambda_2 = -1 \Rightarrow \lambda_2 = -\frac{1}{\lambda_1}, \quad (11)$$

καθώς οι δύο ευθείες είναι κάθετες μεταξύ τους. Με γνωστές λοιπόν τώρα τις συντεταγμένες ενός σημείου της ευθείας (PK) και την κλίση της, μπορούμε να ορίσουμε την αναλυτική της εξίσωση:

$$(PK): y = y_3 + \lambda_2(x - x_3) \quad (12)$$

Προκύπτουν λοιπόν οι ακόλουθες σχέσεις για τις δύο ευθείες:

$$(AB): \begin{aligned} y &= y_1 + \lambda_1(x - x_1) \Rightarrow y = y_1 + \lambda_1 x - \lambda_1 x_1 \Rightarrow \\ y &= \lambda_1 x + y_1 - \lambda_1 x_1 \Rightarrow y = \lambda_1 x + \beta_1 \end{aligned} \quad (13)$$

$$(PK): \begin{aligned} y &= y_3 + \lambda_2(x - x_3) \Rightarrow y = y_3 + \lambda_2 x - \lambda_2 x_3 \Rightarrow \\ y &= \lambda_2 x + y_3 - \lambda_2 x_3 \Rightarrow y = \lambda_2 x + \beta_2 \end{aligned} \quad (14)$$

όπου οι παράμετροι β_1 και β_2 ορίζονται ως ακολούθως:

$$\beta_1 = y_1 - \lambda_1 x_1 \quad (15)$$

και

$$\beta_2 = y_3 - \lambda_2 x_3. \quad (16)$$

Με τον προσδιορισμό των παραμέτρων β_1 και β_2 καταλήγουμε σε ένα σύστημα δύο εξισώσεων με δύο αγνώστους και καθώς δύο ευθείες που δεν ταυτίζονται και δεν είναι παράλληλες τέμνονται σε ένα και μόνο σημείο, η τομή τους (σημείο K) ορίζεται από τις συντεταγμένες (x_0, y_0) :

$$x_0 = \frac{\beta_2 - \beta_1}{\lambda_1 - \lambda_2}, \quad (17)$$

$$y_0 = \lambda_1 x_0 + \beta_1. \quad (18)$$

Με τη βοήθεια λοιπόν των αναλυτικών σχέσεων που αναπτύχθηκαν, για κάθε σημείο ορίζεται μέσω της προβολής του στην ορισμένη από το χρήστη ευθεία-εστία, το εστιακό σημείο που θα καθορίσει στη μετασχηματισμένη απεικόνιση τη νέα γραμμική του κλίμακα, και επομένως τη νέα του θέση στο χάρτη.

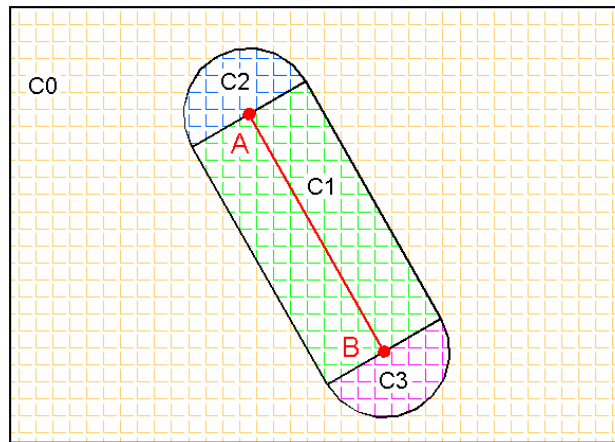
Με γνωστά πλέον τα εστιακά σημεία, ακολουθείται η διαδικασία του σημειακού εστιακού μετασχηματισμού και το σύνολο όλων αυτών των μεμονωμένων διαδικασιών συνθέτουν τον αλγόριθμο μετασχηματισμού της γραμμικής εστιακής απεικόνισης.

2.2.3 Εφαρμογή γραμμικής εστιακής απεικόνισης

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η υλοποίηση της εστιακής απεικόνισης, με την εφαρμογή του αλγορίθμου μετασχηματισμού γραμμικής εστίας σε ένα ενδεικτικό ψηφιακό χαρτογραφικό αρχείο που αναπαριστά οικοδομικά τετράγωνα. Η διαδικασία που επιλέχθηκε να ακολουθηθεί για την εφαρμογή του αλγορίθμου βασίστηκε σε κατάτμηση του υποβάθρου του χάρτη, κατά την οποία ο χώρος τμηματοποιείται κατάλληλα ώστε σε κάθε τμήμα να εφαρμόζεται ένας και μόνον ανεξάρτητος μετασχηματισμός μεγέθυνσης, με διαφορετικές παραμέτρους και χαρακτηριστικά και με περιορισμό επιρροής μέχρι τα νοητά όρια του κάθε τμήματος χωρίς να υπάρχει επικάλυψη μεταξύ τους (Keahey and Robertson 1996). Έτσι λοιπόν ακολουθήθηκε η κατάτμηση του ψηφιακού αρχείου πριν την εφαρμογή του μετασχηματισμού που παρουσιάζεται στην Εικόνα 5. Η λογική της παραπάνω κατάτμησης βασίζεται στη δημιουργία τεσσάρων ανεξάρτητων περιοχών απεικόνισης γεωγραφικής πληροφορίας, όπου καθεμία πρόκειται να αντιμετωπιστεί ανεξάρτητα από τις υπόλοιπες. Έτσι λοιπόν προκύπτουν οι χωρικές ενότητες C0, C1, C2, και C3 που ορίζονται στον Πίνακα 2.

Αφού πραγματοποιηθεί η επεξεργασία των δεδομένων με την εφαρμογή του κατάλληλου αλγορίθμου σε κάθε ένα από τα τμήματα C1, C2 και C3 του ψηφιακού αρχείου ξεχωριστά, προκύπτει ο μετασχηματισμός και οπτικοποιείται το αποτέλεσμα της εστιακής απεικόνισης, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 6. Με τη μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στην ενότητα αυτή μπορεί να δημιουργηθεί μια εστιακή απεικόνιση που ως εστία έχει ένα ευθύγραμμο τμήμα (γραμμική εστία), όπου η περιοχή εκατέρωθεν της εστίας, και για όση απόσταση από αυτήν έχει οριστεί από το χρήστη, έχει μεγεθυνθεί,

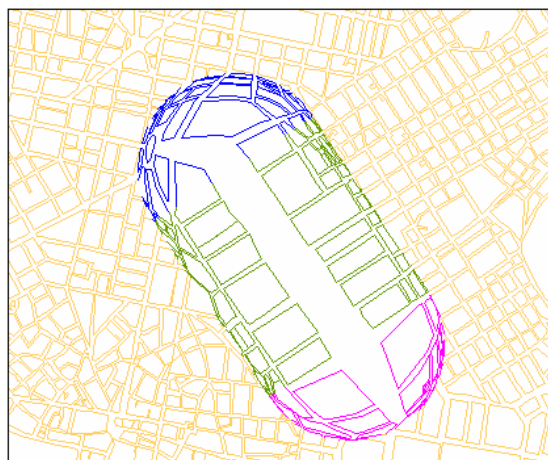
παρουσιάζοντας μεγαλύτερες τιμές κλίμακας σε σχέση με το περιβάλλον θεματικό πλαίσιο.



Εικόνα 5. Σχηματική κατάτμηση γραμμικής εστίας.

Πίνακας 2. Η χωρική κατάτμηση του υποβάθρου του χάρτη σε τέσσερις χωρικές ενότητες για γραμμική εστία.

Τμήμα	Περιγραφή
C0	Περιοχή που δεν θα υποστεί κανενός είδους μετασχηματισμό, αλλά θα παραμείνει αναλλοίωτη, ώστε τα σημεία που εμπεριέχονται σ' αυτήν να διατηρήσουν τις αρχικές τους συντεταγμένες, και η γραμμική κλίμακα την αρχική της τιμή. Το τμήμα αυτό αποτελεί το ευρύτερο θεματικό πλαίσιο (context), το οποίο περιβάλλει την παραμορφωμένη περιοχή ενδιαφέροντος και απόδοσης τοπικής λεπτομέρειας
C1	Περιοχή που πρόκειται να υποστεί μετασχηματισμό γραμμικής εστίας, η οποία ορίζεται από το ευθύγραμμο τμήμα (AB), με ακτίνα επιρροής S_{max}
C2	Περιοχή που πρόκειται να υποστεί μετασχηματισμό σημειακής εστίας ως προς το A, με ακτίνα επιρροής S_{max}
C3	Περιοχή που πρόκειται να υποστεί μετασχηματισμό σημειακής εστίας ως προς το B, με ακτίνα επιρροής S_{max}



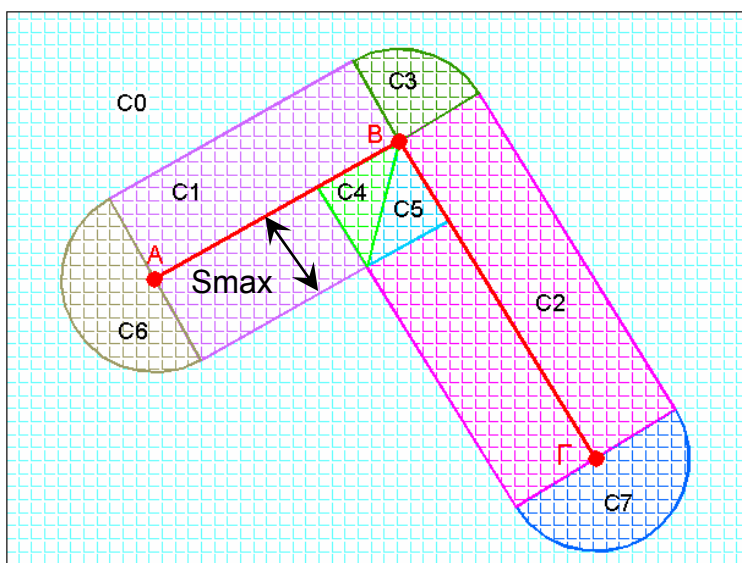
Εικόνα 6. Οπτικοποίηση μετασχηματισμού γραμμικής εστίας.

2.3 Μετασχηματισμός διαδοχικών γραμμικών εστιών

Μετά την ανάπτυξη του αλγορίθμου γραμμικής εστιακής απεικόνισης έγινε επέκταση της έρευνας στην κατεύθυνση της γενίκευσής του, ώστε να εφαρμόζεται σε τυχαίες διαδοχικές γραμμικές οντότητες που ορίζονται από πεπερασμένο αριθμό κορυφών.

2.3.1 Διαδικασία κατάτμησης

Για την παραγωγή της απεικόνισης διαδοχικών γραμμικών εστιών, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη να μην παρουσιάζονται περιοχές επικάλυψης της επίδρασης και επιρροής από περισσότερες της μιας εστίες. Για να αποφευχθεί η ανεπιθύμητη επαγωγική επίδραση δύο ή περισσότερων εστιών για το ίδιο σημείο, πραγματοποιείται συγκεκριμένη κατάτμηση του πρωτογενούς αρχείου δεδομένων, ώστε κάθε τμήμα να αντιμετωπίζεται με ξεχωριστό τρόπο. Η κατάτμηση που προτείνεται παρουσιάζεται, ενδεικτικά, για δύο διαδοχικές γραμμικές εστίες στην Εικόνα 7.



Εικόνα 7. Σχηματική κατάτμηση δύο διαδοχικών γραμμικών εστιών.

Στην Εικόνα 7 παρουσιάζεται μια τεθλασμένη γραμμική εστία, που αποτελείται από τα ευθύγραμμα τμήματα (AB) και (BΓ). Έτσι λοιπόν, βάσει της προτεινόμενης διαδικασίας κατάτμησης προκύπτουν οι επιμέρους χωρικές ενότητες C0, C1, C2, C3, C4, C5, C6 και C7 που ορίζονται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3. Η χωρική κατάτμηση του υποβάθρου του χάρτη σε οκτώ χωρικές ενότητες για δύο διαδοχικές γραμμικές εστίες.

Τμήμα	Περιγραφή
C0	Περιοχή που δεν θα υποστεί κανενός είδους μετασχηματισμό, αλλά θα παραμείνει αναλλοίωτη, ώστε τα σημεία που εμπεριέχονται σ' αυτήν να διατηρήσουν τις αρχικές τους συντεταγμένες, και η γραμμική κλίμακα την αρχική της τιμή. Το τμήμα αυτό αποτελεί το ευρύτερο θεματικό πλαίσιο (context), το οποίο περιβάλλει την παραμορφωμένη περιοχή ενδιαφέροντος και απόδοσης τοπικής λεπτομέρειας
C1	Περιοχή που πρόκειται να υποστεί μετασχηματισμό μεγέθυνσης γραμμικής εστίας ως προς το (AB) με απόσταση επιρροής S_{max}

Πίνακας 3. Η χωρική κατάτμηση του υποβάθρου του χάρτη σε οκτώ χωρικές ενότητες για δύο διαδοχικές γραμμικές εστίες. (Συνέχεια)

Τμήμα	Περιγραφή
C2	Περιοχή που πρόκειται να υποστεί μετασχηματισμό μεγέθυνσης, γραμμικής εστίας ως προς το (ΒΓ) με απόσταση επιρροής S_{\max}
C3	Περιοχή που πρόκειται να υποστεί μετασχηματισμό σημειακής εστίας ως προς το Β με ακτίνα επιρροής S_{\max}
C4	Περιοχή που πρόκειται να υποστεί μετασχηματισμό μεγέθυνσης, γραμμικής εστίας ως προς το (ΑΒ) με μεταβαλλόμενη απόσταση επιρροής S_{\max}' , με: $0 \leq S_{\max}' < S_{\max}$
C5	Περιοχή που πρόκειται να υποστεί μετασχηματισμό μεγέθυνσης, γραμμικής εστίας ως προς το (ΒΓ) με μεταβαλλόμενη απόσταση επιρροής S_{\max}' , με: $0 \leq S_{\max}' < S_{\max}$
C6	Περιοχή που πρόκειται να υποστεί μετασχηματισμό με χρήση της σημειακής εστίας ως προς το Α με ακτίνα επιρροής S_{\max}
C7	Περιοχή που πρόκειται να υποστεί μετασχηματισμό σημειακής εστίας ως προς το Γ με ακτίνα επιρροής S_{\max}

2.3.2 Τμήματα μεταβαλλόμενης απόστασης επιρροής

Παρατηρώντας την Εικόνα 7, συμπεραίνει κανείς ότι τα τμήματα μεταβαλλόμενης απόστασης επιρροής (C4 και C5) είναι περιοχές όπου τα περιεχόμενα σ' αυτές σημεία θα μπορούσαν να επηρεαστούν από την επίδραση του νόμου και από τις δύο γραμμικές εστίες (ΑΒ) και (ΒΓ). Για την αποφυγή όμως πολύπλοκων αναλυτικών σχέσεων, με τις οποίες θα προσδιοριζόταν η τιμή της γραμμικής κλίμακας σε κάθε σημείο, ως άθροισμα των επαγωγικών επιδράσεων κάθε εστίας ξεχωριστά, πραγματοποιήθηκε χωρική κατάτμηση βασισμένη στη διχοτόμηση της γωνίας που ορίζουν τα δύο ευθύγραμμα τμήματα (ΑΒ) και (ΒΓ). Με αυτό τον τρόπο η τιμή της γραμμικής κλίμακας των σημείων που εμπεριέχονται στο τμήμα C4 θα καθορίζεται από την επίδραση της γραμμικής εστίας (ΑΒ) και μόνον, ενώ αντίστοιχα η τιμή της γραμμικής κλίμακας των σημείων που εμπεριέχονται στο τμήμα C5 από την επίδραση της γραμμικής εστίας (ΒΓ) και μόνον.

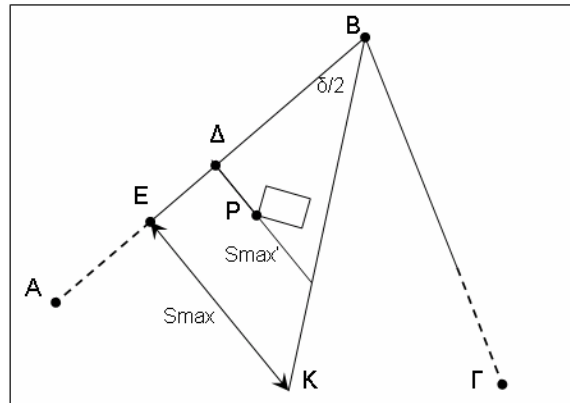
Για τα τμήματα C4 και C5 λοιπόν, όπου ναι μεν πρόκειται να εφαρμοστεί ο αλγόριθμος εστιακής απεικόνισης γραμμικής εστίας, πρέπει να υπολογίζεται κάθε φορά και για κάθε σημείο η τιμή της μέγιστης απόστασης επιρροής S_{\max}' του νόμου, η οποία είναι μεταβαλλόμενη λόγω της θλάσης των δύο τμημάτων, και δεδομένου ότι η παραμόρφωση του κάθε τμήματος δεν θα πρέπει να επηρεάζεται από το διπλανό του.

Η απόσταση S_{\max}' παίρνει τιμές $0 \leq S_{\max}' < S_{\max}$ και ο προσδιορισμός της εκάστοτε τιμής της στηρίζεται στο μαθηματικό λογισμό που περιγράφεται παρακάτω και γίνεται περισσότερο κατανοητός με τη βοήθεια της Εικόνας 8.

Έστω ΕΒΚ το όριο που ορίζει το τμήμα C4. Κάθε σημείο Ρ εντός του τμήματος C4, προβάλλεται κάθετα στον άξονα (ΑΒ), και προκύπτει έτσι το ίχνος Δ με συντεταγμένες (x_0, y_0) , όπως φαίνεται στην Εικόνα 8. Από την τομή των δύο ευθειών (ΑΒ) και (ΡΔ) προσδιορίζονται οι συντεταγμένες x_0, y_0 του σημείου Δ. Από τη γεωμετρία του σχήματος προκύπτει:

$$\tan \frac{\delta}{2} = \frac{S_{\max}}{(EB)} \Rightarrow (EB) = \frac{S_{\max}}{\tan \frac{\delta}{2}} \quad (19)$$

όπου $\delta/2$ η γωνία που ορίζεται από το ευθύγραμμο τμήμα (AB) και τη διχοτόμο (BK) της γωνίας $\hat{A}\hat{B}\hat{\Gamma}$.



Εικόνα 8. Σχηματική λεπτομερειακή απεικόνιση του τμήματος C4.

Επίσης, από ομοιότητα τριγώνων προκύπτει ότι:

$$\frac{S_{\max'}}{(\Delta B)} = \frac{S_{\max}}{(EB)} \Rightarrow S_{\max'} = S_{\max} \frac{(\Delta B)}{(EB)} \quad (20)$$

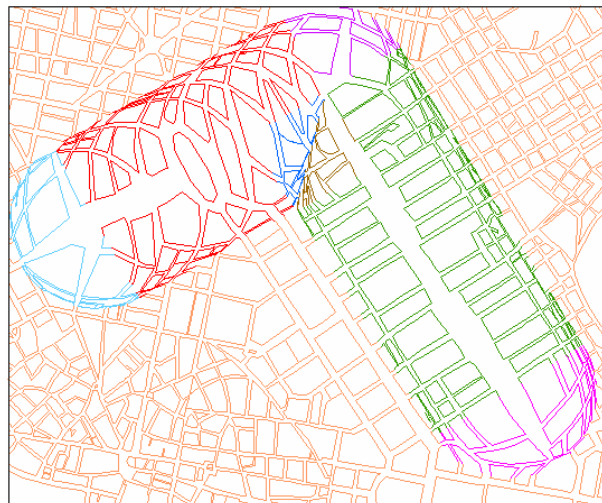
Η (ΔB) είναι η απόσταση του σημείου Δ από το B, και προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$(\Delta B) = \sqrt{(x_B - x_0)^2 + (y_B - y_0)^2} \quad (21)$$

Με γνωστές λοιπόν τις τιμές της σταθερής απόστασης (EB) και της εκάστοτε απόστασης (ΔB) , του ίχνους Δ κάθε σημείου από την κορυφή B, προσδιορίζεται η μέγιστη απόσταση επιρροής του νόμου $S_{\max'}$, για το κάθε σημείο ξεχωριστά.

2.3.3 Εφαρμογή διαδοχικών γραμμικών εστιών

Όπως και κατά την υλοποίηση εφαρμογής γραμμικής εστιακής απεικόνισης έτσι και στην περίπτωση αυτή εφαρμόζεται σε κάθε τμήμα ξεχωριστά και ανεξάρτητα ο κατάλληλος μετασχηματισμός μεγέθυνσης, σύμφωνα με την κατάτμηση που έχουμε ορίσει στην ενότητα 2.3.1. Αφού εφαρμοστεί ο αλγόριθμος, το μετασχηματισμένο ψηφιακό αρχείο παρουσιάζεται στην Εικόνα 9.

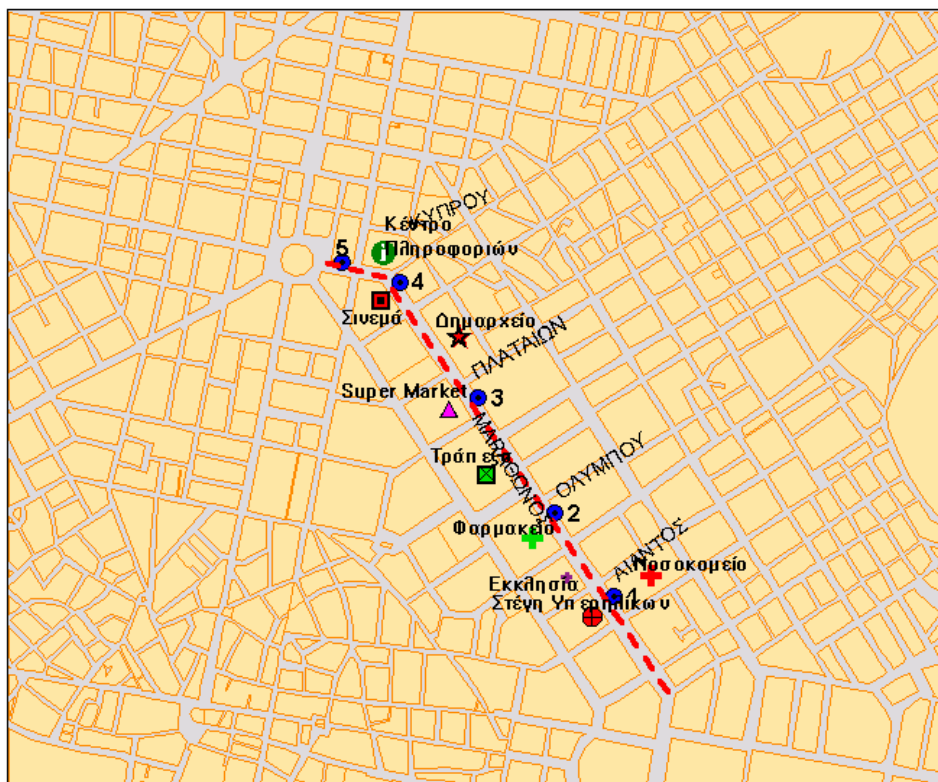


Εικόνα 9. Οπτικοποίηση μετασχηματισμού δύο διαδοχικών γραμμικών εστιών.

3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΕΣΤΙΑΚΗΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΣΕ ΘΕΜΑΤΙΚΟ ΧΑΡΤΗ

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η σύνθεση ενός θεματικού χάρτη στη συμβατική του εκδοχή (Εικόνα 10) και με εφαρμογή του μετασχηματισμού γραμμικής εστίας (Εικόνα 11). Ο χάρτης που κατασκευάστηκε απεικονίζει ιδεατές στάσεις ενός αστικού λεωφορείου, κατά μήκος ενός τυχαίου οδικού άξονα στο κέντρο μιας πόλης, καθώς και σημεία ενδιαφέροντος εκατέρωθεν αυτού, που ενδεχομένως να βρίσκονται κοντά στις συγκεκριμένες στάσεις και να εξυπηρετείται η πρόσβασή τους από αυτές. Τοποθετήθηκαν λοιπόν πάνω στο χάρτη οι χωρικές οντότητες:

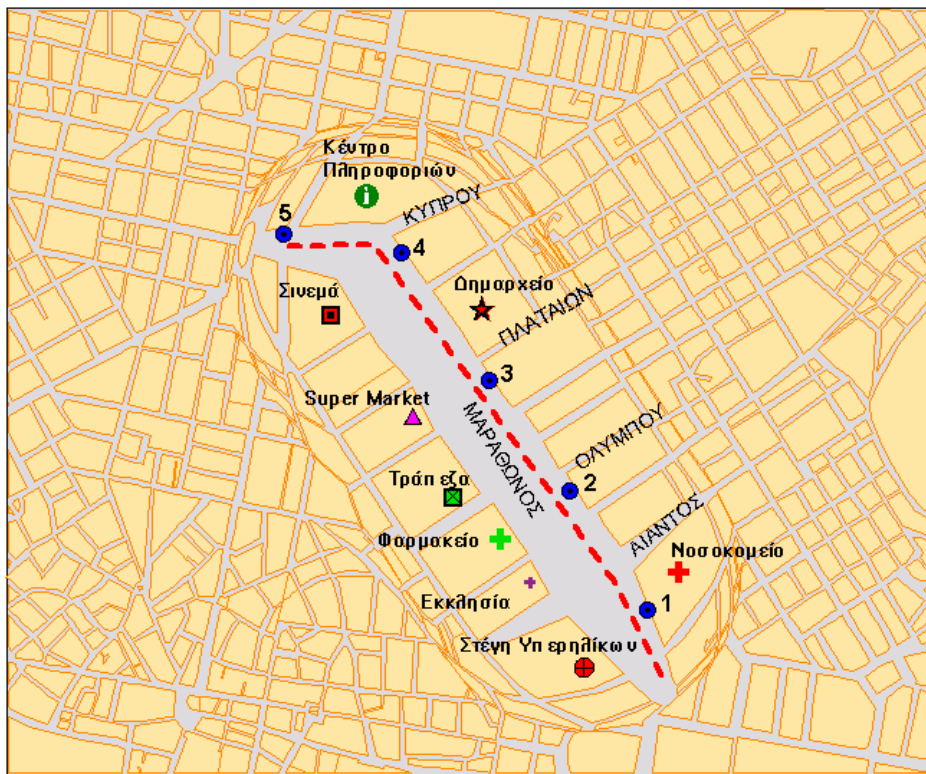
- Ο άξονας που αναπαριστά το δρομολόγιο του λεωφορείου στο συγκεκριμένο τμήμα οδού με έντονη κόκκινη διακεκομμένη γραμμή
- Στοιχεία ονοματολογίας κεντρικών οδών της μεγενθυμένης περιοχής ενδιαφέροντος
- Σημειικά σύμβολα που αναπαριστούν τις στάσεις του δρομολογίου (μπλε σημειακό σύμβολο) με την αρίθμηση τους
- Σημειικά σύμβολα που αναπαριστούν σημεία ενδιαφέροντος της περιοχής (π.χ. τράπεζα, νοσοκομείο, φαρμακείο, αναψυχή κλπ.), με την ονοματολογία τους



Εικόνα 10. Θεματικός χάρτης μη μετασχηματισμένου υποβάθρου.

Παρατηρώντας την Εικόνα 10, φαίνεται καθαρά η συσσώρευση και επικάλυψη της απεικονιζόμενης πληροφορίας (Boutoura 1994) κατά μήκος της οδού, όπου επικεντρώνεται το ενδιαφέρον του θεματικού χάρτη, αν τοποθετηθούν τα θεματικά σύμβολα στη πραγματική τους θέση ακολουθώντας τους υπάρχοντες χαρτογραφικούς κανόνες (Νάκος και Φιλιππακοπούλου 1993). Αποτέλεσμα αυτής της κατάστασης είναι να μην καθίσταται ο χάρτης ικανός να εξυπηρετήσει τους σκοπούς σύνταξής του, καθώς δεν χαρακτηρίζεται από οπτική ενάργεια, σε αντίθεση με το μετασχηματισμένο χάρτη της Εικόνας 11 που έχει μετατραπεί πλέον σε ένα ευανάγνωστο και πρακτικό,

χρήσιμο εργαλείο στα χέρια του χρήστη, όπου παράλληλα εμφανίζεται η περιβάλλουσα αστική περιοχή μέσα στην οποία μελετάται το αντικείμενό του.



Εικόνα 11. Μετασηματισμένος θεματικός χάρτης.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Κατά τη σύνταξη θεματικών χαρτών, κυρίως αστικών περιοχών, προκύπτει το πρόβλημα οπτικοποίησης αυξημένου όγκου χωρικής πληροφορίας, όπου προβάλλεται επιτακτική η ανάγκη επιπρόσθετου διαθέσιμου χώρου (Carpendale *et al.* 1996) προκειμένου να απεικονιστούν τα θεματικά σύμβολα με ευκρίνεια, και να εξαλειφθεί ο οπτικός «θόρυβος» πληροφορίας. Λύση στο πρόβλημα αυτό μπορούν να δώσουν χαρτογραφικές απεικονίσεις που υπόκεινται σε συγκεκριμένους μετασηματισμούς και παραμορφώσεις, οι οποίες μεγεθύνουν ή ενισχύουν τοπικά μια ιδιότητα του χάρτη, όπως είναι η κλίμακα γραμμικής παραμόρφωσης, ή αλλιώς μια περιοχή γύρω από ένα σημείο του γεωγραφικού χώρου, ενώ παράλληλα απεικονίζουν την περιβάλλουσα περιοχή, με τρόπο που να παρέχουν στο χρήστη ολοκληρωμένη άποψη, και αντίληψη με εποπτία του χώρου (detail-in-context) (Keahey 1998). Με τη δημιουργία αυτών των απεικονίσεων μπορεί ένας δυσανάγνωστος, λόγω πυκνής θεματικής πληροφορίας, χάρτης, που ενδεχομένως να μην πετυχαίνει το σκοπό του, δηλαδή τη μετάδοση της χωρικής πληροφορίας, να μετατραπεί σε ένα ευανάγνωστο και πρακτικό, χρήσιμο εργαλείο στα χέρια του χρήστη.

Μέσα από τη δημιουργία και σύνταξη των αναλυτικών σχέσεων που συνθέτουν το νόμο της γραμμικής εστιακής απεικόνισης, συμπεραίνει κανείς ότι ο μετασηματισμός για την παραγωγή μιας ανάλογης απεικόνισης είναι το αποτέλεσμα ενός συνόλου μεμονωμένων σημειακών διαδοχικών εστιακών απεικονίσεων. Όπως έχει περιγραφεί και στην ενότητα 2.2.1, λαμβάνεται κάθε φορά ως εστία το ίχνος της κάθετης προβολής κάθε σημείου του χάρτη πάνω στην ευθεία που έχουμε ορίσει ως γραμμή-εστία.

Δεδομένου ότι μπορεί να είναι επιθυμητή η μεγέθυνση του χάρτη κατά μήκος δύο ή περισσότερων διαδοχικών γραμμικών εστιών ή ακόμα η δημιουργία γραμμικής εστιακής απεικόνισης με εστία μια τυχαία γραμμική οντότητα που ορίζεται από πεπερασμένο αριθμό κορυφών, η επέκταση της έρευνας με σκοπό τη γενίκευση του αλγορίθμου, είναι ιδιαίτερα χρήσιμη και πρακτική σε πολλές εφαρμογές.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Boutoura, Ch., 1994, Logarithmic urban thematic mapping in MIS environment. *Cartographica*, 31, 41-53.

Boutoura, Ch., Livieratos, E. and Patias P., 1999, Focal photomaps for urban use. *Proceedings of 19th International Cartographic Conference*, International Cartographic Association, 1489-1496.

Carpendale, M. S. T., 2001, Examining comprehension issues in elastic presentation space. *Information Design Journal*, 10, 58-68.

Carpendale, M. S. T., Cowperthwaite, J. D. and Fracchia F. D., 1996, Multi-scale viewing. *In SIGGRAPH Visual Proceedings*, Technical Sketch.

Carpendale, M. S. T., Cowperthwaite, J. D. and Fracchia F. D., 1997, Making distortions comprehensible. *In Proceedings of IEEE Symposium on Visual Languages*, IEEE Computer Society Press, 36-45.

Fairbairn, D. and Taylor, G., 1995, Developing a variable-scale map projection for urban areas. *Computers and Geosciences*, 21, 1053-1064.

Kadmon, N. and Shlomi, E., 1978, A polyfocal projection for statistical surfaces. *The Cartographic Journal*, 15, 36-41.

Keahey, T. A., 1998, The generalized detail-in-context problem. In G. Wills and J. Dill, (Eds.), *Proceedings of the IEEE Conference on Information Visualization*, IEEE Computer Society Press, 19-25.

Keahey, T. A., 1999, Area-normalized thematic views. *Proceedings of 19th International Cartographic Conference*, International Cartographic Association, 859-868.

Keahey, T. A. and Robertson, E. L., 1996, Non-linear image magnification. *Technical Report 460*, Department of Computer Science, Indiana University.

Νάκος, Β., 1999, *Αναλυτική Χαρτογραφία*, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Νάκος, Β. και Φιλίππακοπούλου, Β., 1993, *Θεματική Χαρτογραφία*, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Snyder, J. P., 1987, "Magnifying-glass" azimuthal map projections. *The American Cartographer*, 14, 61-68.

Τσίτσας, Λ., 1993, *Μαθήματα Γενικών Μαθηματικών*. Τόμος Ι, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.

Wang, Q. and Hu, Y., 1995, A kind of adjustable map projection with “magnifying glass” effect. *Proceedings of 17th International Cartographic Conference*, International Cartographic Association, 128-134.

Yang, Q., Snyder, J. and Tobler, W., 2000, *Map projection transformation. Principles and applications*, London, Taylor & Francis.