

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟ (2008-09)

Άσκηση 5

Το πρόβλημα που καλείσθε να αντιμετωπίσετε στην άσκηση αυτή είναι ο χρωματισμός χαρτών. Σας δίνεται ένας χάρτης που περιλαμβάνει ένα σύνολο χωρών, καθώς και το ποιες χώρες συνορεύουν μεταξύ τους. Το ζητούμενο είναι να χρωματιστεί κάθε χώρα με ένα χρώμα, έτσι ώστε να μην υπάρχουν χώρες που συνορεύουν και έχουν χρωματιστεί με το ίδιο χρώμα. Έχει αποδειχθεί ότι για οποιοδήποτε χάρτη, αρκούν 4 χρώματα για να χρωματιστεί, έτσι ώστε να ισχύει ο προηγούμενος περιορισμός.¹

Γράψτε ένα πρόγραμμα C (έστω ότι το εκτελέσιμο που θα δημιουργήσετε έχει το όνομα “mapcol”), το οποίο να είναι σε θέση να χρωματίζει ένα δεδομένο χάρτη. Η πιο απλή χρήση του προγράμματος είναι να διαβάσει από την πρότυπη είσοδο (stdin) ένα χάρτη, σε συγκεκριμένη μορφή που θα περιγραφεί αναλυτικά στη συνέχεια. Το αποτέλεσμα του προγράμματος, που θα εκτυπώνεται στην πρότυπη έξοδο (stdout), πρέπει να είναι ο ίδιος χάρτης, αλλά χρωματισμένος πλέον, με 4 το πολύ χρώματα.

Ένας χάρτης περιγράφεται με ένα κείμενο, όπου κάθε γραμμή του κειμένου αφορά μία χώρα. Κάθε γραμμή αποτελείται από μία ακολουθία από λέξεις, χωρισμένες μεταξύ τους με “λευκό διάστημα” (white space), δηλαδή κενούς χαρακτήρες ή/και χαρακτήρες στηλογνώμονα (έναν ή περισσότερους). Η πρώτη λέξη της γραμμής είναι το χρώμα της χώρας. Όταν η χώρα δεν είναι χρωματισμένη, κάτι που θα συμβαίνει στους χάρτες που

θα δίνετε σαν είσοδο στο πρόγραμμά σας για να χρωματιστούν, η λέξη αυτή είναι η “nocolor”. Όταν η χώρα έχει χρώμα, για παράδειγμα στους χρωματισμένους χάρτες που θα εκτυπώνει το πρόγραμμά σας στην έξοδο, αυτό πρέπει να είναι ένα από τα “red”, “green”, “blue” ή “yellow” (τα 4 χρώματα που θα χρησιμοποιούμε για να χρωματίζουμε τους χάρτες μας). Η δεύτερη λέξη της κάθε γραμμής πρέπει να είναι το όνομα της χώρας που αφορά η γραμμή αυτή. Τέλος, όλες οι υπόλοιπες λέξεις της γραμμής είναι τα ονόματα των χωρών με τις οποίες συνορεύει η εν λόγω χώρα.

Κάποιοι κανόνες στους οποίους πρέπει να υπακούει ένας χάρτης είναι οι εξής: Κάθε χώρα που εμφανίζεται στις χώρες που συνορεύουν με κάποια χώρα πρέπει να έχει και τη δική της γραμμή, αλλιώς ο χάρτης είναι “συντακτικά” λανθασμένος. Επίσης, αν μεταξύ των χωρών που συνορεύουν με



¹ Αυτό είναι αληθές μόνο όταν όλες οι χώρες του χάρτη αποτελούνται από ενιαίες περιοχές. Για παράδειγμα, οι Η.Π.Α. δεν ικανοποιούν αυτή την απαίτηση, αφού περιλαμβάνουν και την Αλάσκα, η οποία είναι απομονωμένη από την κυρίως χώρα. Για το “θεώρημα των 4 χρωμάτων”, δείτε το http://en.wikipedia.org/wiki/Four_color_theorem.

μία χώρα **A** βρίσκεται η χώρα **B**, τότε και μεταξύ των χωρών που συνορεύουν με τη χώρα **B** πρέπει να βρίσκεται και η χώρα **A**, αλλιώς έχει πάλι λάθος ο χάρτης. Φυσικά, μπορεί να υπάρχουν χώρες οι οποίες δεν συνορεύουν με καμία χώρα (για παράδειγμα, οι νησιωτικές).² Δείτε στη συνέχεια ένα αρχείο που περιέχει έναν αποδεκτό αχρωμάτιστο χάρτη:

```
% cat Balkans.txt
nocolor Albania FYROM Greece Montenegro Serbia
nocolor Bosnia_and_Herzegovina Croatia Montenegro Serbia
nocolor Bulgaria FYROM Greece Romania Serbia Turkey
nocolor Croatia Bosnia_and_Herzegovina Montenegro Serbia Slovenia
nocolor FYROM Albania Bulgaria Greece Serbia
nocolor Greece Albania Bulgaria FYROM Turkey
nocolor Montenegro Albania Bosnia_and_Herzegovina Croatia Serbia
nocolor Romania Bulgaria Serbia
nocolor Serbia Albania Bosnia_and_Herzegovina Bulgaria Croatia FYROM Montenegro Romania
nocolor Slovenia Croatia
nocolor Turkey Bulgaria Greece
%
```

Σημειώστε ότι, αν και οι γραμμές του παραπάνω αρχείου είναι ταξινομημένες με βάση την αλφαβητική σειρά των χωρών που αφορούν, όπως επίσης είναι ταξινομημένες αλφαβητικά και οι χώρες που συνορεύουν με κάθε χώρα, το πρόγραμμα που θα γράψετε δεν πρέπει να βασίζεται σε αυτά τα χαρακτηριστικά του αρχείου αυτού.

Μία ενδεικτική εκτέλεση του προγράμματος που θα γράψετε είναι η εξής:

```
% ./mapcol < Balkans.txt
yellow Albania FYROM Greece Montenegro Serbia
yellow Bosnia_and_Herzegovina Croatia Montenegro Serbia
green Bulgaria FYROM Greece Romania Serbia Turkey
blue Croatia Bosnia_and_Herzegovina Montenegro Serbia Slovenia
blue FYROM Albania Bulgaria Greece Serbia
red Greece Albania Bulgaria FYROM Turkey
green Montenegro Albania Bosnia_and_Herzegovina Croatia Serbia
blue Romania Bulgaria Serbia
red Serbia Albania Bosnia_and_Herzegovina Bulgaria Croatia FYROM Montenegro Romania
yellow Slovenia Croatia
blue Turkey Bulgaria Greece
%
```

Το αποτέλεσμα είναι, όπως βλέπετε, πάλι ένας αποδεκτός χάρτης, αυτή τη φορά όμως χρωματισμένος.

Το πρόγραμμά σας, εκτός από την απλή χρήση του που περιγράφηκε προηγουμένως, πρέπει να υποστηρίζει και κάποιες επιλογές που θα δίνονται από τη γραμμή εντολής κατά την εκτέλεσή του. Μία επιλογή είναι η “-i <filename>”, με την οποία το πρόγραμμά σας θα πρέπει να διαβάζει τον χάρτη προς χρωματισμό από το αρχείο <filename>, αντί από την πρότυπη είσοδο. Κάποια παραδείγματα εκτέλεσης είναι τα εξής:

```
% cat triv2.txt
nocolor c1 c2
nocolor c2 c1
```

²Ουσιαστικά, αυτές οι χώρες μπορούν να χρωματιστούν με οποιοδήποτε χρώμα.

```

% cat triv3.txt
nocolor c1 c2 c3
nocolor c2 c1 c3
nocolor c3 c1 c2
% cat triv4.txt
nocolor c1 c2 c3 c4
nocolor c2 c1 c3 c4
nocolor c3 c1 c2 c4
nocolor c4 c1 c2 c3
% cat No4colors.txt
nocolor c1 c2 c3 c4 c5
nocolor c2 c1 c3 c4 c5
nocolor c3 c1 c2 c4 c5
nocolor c4 c1 c2 c3 c5
nocolor c5 c1 c2 c3 c4
%
% ./mapcol -i triv2.txt
red c1 c2
green c2 c1
% ./mapcol -i triv3.txt
red c1 c2 c3
green c2 c1 c3
blue c3 c1 c2
% ./mapcol -i triv4.txt
red c1 c2 c3 c4
green c2 c1 c3 c4
blue c3 c1 c2 c4
yellow c4 c1 c2 c3
% ./mapcol -i No4colors.txt
Sorry, cannot color the given map
%

```

Και κάποια άλλα, πιο ενδιαφέροντα, παραδείγματα εκτέλεσης:

```

% ./mapcol < WesternEurope.txt
red Andorra France Spain
blue Austria Germany Italy Liechtenstein Switzerland
red Belgium France Germany Luxembourg Netherlands
green Denmark Germany
blue Finland Norway Sweden
blue France Andorra Belgium Germany Italy Luxembourg Monaco Spain Switzerland
yellow Germany Austria Belgium Denmark France Luxembourg Netherlands Switzerland
red Iceland
green Ireland United_Kingdom
green Italy Austria France San_Marino Switzerland Vatican_City
green Liechtenstein Austria Switzerland
green Luxembourg Belgium France Germany
green Malta
yellow Monaco France
blue Netherlands Belgium Germany
yellow Norway Finland Sweden
red Portugal Spain
red San_Marino Italy
yellow Spain Andorra France Portugal
red Sweden Finland Norway
red Switzerland Austria France Germany Italy Liechtenstein
blue United_Kingdom Ireland
blue Vatican_City Italy

```

```

% ./mapcol -i Europe.txt
green Albania FYROM Greece Montenegro Serbia
green Andorra France Spain
red Armenia Azerbaijan Georgia Turkey
red Austria Czech_Republic Germany Hungary Italy Liechtenstein Slovakia Slovenia Switzerland
green Azerbaijan Armenia Georgia Russia
green Belarus Latvia Lithuania Poland Russia Ukraine
red Belgium France Germany Luxembourg Netherlands
green Bosnia_and_Herzegovina Croatia Montenegro Serbia
blue Bulgaria FYROM Greece Romania Serbia Turkey
yellow Croatia Bosnia_and_Herzegovina Hungary Montenegro Serbia Slovenia
red Cyprus
blue Czech_Republic Austria Germany Poland Slovakia
blue Denmark Germany
green Estonia Latvia Russia
green Finland Norway Russia Sweden
yellow FYROM Albania Bulgaria Greece Serbia
blue France Andorra Belgium Germany Italy Luxembourg Monaco Spain Switzerland
yellow Georgia Armenia Azerbaijan Russia Turkey
yellow Germany Austria Belgium Czech_Republic Denmark France Luxembourg Netherlands Poland Switzerland
red Greece Albania Bulgaria FYROM Turkey
blue Hungary Austria Croatia Romania Serbia Slovakia Slovenia Ukraine
green Iceland
red Ireland United_Kingdom
yellow Italy Austria France San_Marino Slovenia Switzerland Vatican_City
yellow Kazakhstan Russia
yellow Latvia Belarus Estonia Lithuania Russia
blue Liechtenstein Austria Switzerland
blue Lithuania Belarus Latvia Poland
green Luxembourg Belgium France Germany
blue Malta
red Moldova Romania Ukraine
red Monaco France
blue Montenegro Albania Bosnia_and_Herzegovina Croatia Serbia
green Netherlands Belgium Germany
yellow Norway Finland Russia Sweden
red Poland Belarus Czech_Republic Germany Lithuania Slovakia Ukraine
green Portugal Spain
green Romania Bulgaria Hungary Moldova Serbia Ukraine
blue Russia Azerbaijan Belarus Georgia Estonia Finland Kazakhstan Latvia Norway Ukraine
blue San_Marino Italy
red Serbia Albania Bosnia_and_Herzegovina Bulgaria Croatia FYROM Hungary Montenegro Romania
green Slovakia Austria Czech_Republic Hungary Poland Ukraine
green Slovenia Austria Croatia Hungary Italy
red Spain Andorra France Portugal
red Sweden Finland Norway
green Switzerland Austria France Germany Italy Liechtenstein
green Turkey Armenia Bulgaria Georgia Greece
yellow Ukraine Belarus Hungary Moldova Poland Romania Slovakia Russia
green United_Kingdom Ireland
red Vatican_City Italy
%

```

Όλα τα αρχεία-χάρτες που χρησιμοποιήθηκαν στα προηγούμενα παραδείγματα εκτέλεσης, καθώς και μερικά επιπλέον, μπορείτε να τα βρείτε στο <http://www.di.uoa.gr/~ip/hwfiles/mapcol>.

Μία άλλη επιλογή που πρέπει να υποστηρίζει το πρόγραμμά σας είναι η “-c”. Όταν δίνεται αυτή η επιλογή, πρέπει στην πρότυπη είσοδο (ή με την επιλογή “-i”) να δίνεται ένας χρωματισμένος χάρτης και το πρόγραμμά σας να ελέγχει αν είναι σωστά χρωματισμένος. Στην περίπτωση που δεν είναι, πρέπει να εκτυπώνονται τα προβλήματα χρωματισμού που βρέθηκαν (π.χ. χρησιμοποιούνται περισσότερα από 4 χρώματα, κάποια ζευγάρια χωρών που συνορεύουν έχουν χρωματιστεί με το ίδιο χρώμα, κλπ.). Παραδείγματα εκτέλεσης:

```

% ./mapcol -i WesternEurope.txt -c
Please, color the map first
% ./mapcol -i WesternEurope.txt | ./mapcol -c
% cat Europe.txt | ./mapcol | ./mapcol -c
%

```

```

% ./mapcol -c
red c1 c2 c3 c4 c5
green c2 c1 c3 c4 c5
blue c3 c1 c2 c4 c5
yellow c4 c1 c2 c3 c5
orange c5 c1 c2 c3 c4
^D
More than 4 colors used
% ./mapcol -c
yellow Albania FYROM Greece Montenegro Serbia
yellow Bosnia_and_Herzegovina Croatia Montenegro Serbia
green Bulgaria FYROM Greece Romania Serbia Turkey
yellow Croatia Bosnia_and_Herzegovina Montenegro Serbia Slovenia
blue FYROM Albania Bulgaria Greece Serbia
red Greece Albania Bulgaria FYROM Turkey
green Montenegro Albania Bosnia_and_Herzegovina Croatia Serbia
blue Romania Bulgaria Serbia
red Serbia Albania Bosnia_and_Herzegovina Bulgaria Croatia FYROM Montenegro Romania
yellow Slovenia Croatia
blue Turkey Bulgaria Greece
^D
Bosnia_and_Herzegovina - Croatia: Should have different color
Croatia - Bosnia_and_Herzegovina: Should have different color
Croatia - Slovenia: Should have different color
Slovenia - Croatia: Should have different color
%

```

Τέλος, το πρόγραμμά σας πρέπει να είναι σε θέση να παίρνει στην είσοδο για χρωματισμό και χάρτες που είναι μερικώς χρωματισμένοι, δηλαδή κάποιες χώρες έχουν ήδη χρωματιστεί με ένα χρώμα. Στην περίπτωση αυτή, το πρόγραμμα πρέπει να χρωματίζει τις υπόλοιπες χώρες, χωρίς να αλλάξει το χρώμα των ήδη χρωματισμένων, έτσι ώστε το τελικό αποτέλεσμα να είναι ένας σωστά χρωματισμένος χάρτης. Φυσικά, αν οι ήδη χρωματισμένες χώρες παραβιάζουν τον περιορισμό για τις χώρες που συνορεύουν, δηλαδή αν υπάρχουν δύο γειτονικές χώρες χρωματισμένες με το ίδιο χρώμα, το πρόγραμμά σας θα πρέπει να εκτυπώνει ότι δεν είναι δυνατόν να χρωματιστεί ο δοθείς χάρτης. Παραδείγματα εκτέλεσης:

```

% cat BalkansPartlyColored.txt
yellow Albania FYROM Greece Montenegro Serbia
nocolor Bosnia_and_Herzegovina Croatia Montenegro Serbia
green Bulgaria FYROM Greece Romania Serbia Turkey
nocolor Croatia Bosnia_and_Herzegovina Montenegro Serbia Slovenia
blue FYROM Albania Bulgaria Greece Serbia
nocolor Greece Albania Bulgaria FYROM Turkey
green Montenegro Albania Bosnia_and_Herzegovina Croatia Serbia
nocolor Romania Bulgaria Serbia
red Serbia Albania Bosnia_and_Herzegovina Bulgaria Croatia FYROM Montenegro Romania
nocolor Slovenia Croatia
blue Turkey Bulgaria Greece
%
% ./mapcol -i BalkansPartlyColored.txt
yellow Albania FYROM Greece Montenegro Serbia
yellow Bosnia_and_Herzegovina Croatia Montenegro Serbia

```

```

green Bulgaria FYROM Greece Romania Serbia Turkey
blue Croatia Bosnia_and_Herzegovina Montenegro Serbia Slovenia
blue FYROM Albania Bulgaria Greece Serbia
red Greece Albania Bulgaria FYROM Turkey
green Montenegro Albania Bosnia_and_Herzegovina Croatia Serbia
yellow Romania Bulgaria Serbia
red Serbia Albania Bosnia_and_Herzegovina Bulgaria Croatia FYROM Montenegro Romania
red Slovenia Croatia
blue Turkey Bulgaria Greece
%
% ./mapcol -i BalkansPartlyColored.txt | ./mapcol -c
%
% ./mapcol < Europe10Uncolored.txt | ./mapcol -c
% ./mapcol < Europe15Uncolored.txt | ./mapcol -c
% ./mapcol < Europe20Uncolored.txt | ./mapcol -c
% ./mapcol < Europe25Uncolored.txt | ./mapcol -c
%
```

Προαιρετικά, μπορείτε να γράψετε το πρόγραμμά σας έτσι ώστε να δέχεται και την επιλογή “-n <colornum>”, με την οποία το πλήθος των χρωμάτων που θα χρησιμοποιούνται για τον χρωματισμό του χάρτη που δίνεται θα είναι <colornum>. Έτσι, θα μπορείτε να ελέγξετε αν ένας χάρτης μπορεί να χρωματιστεί και με λιγότερα από 4 χρώματα, ή θα μπορείτε, ακόμα, να χρωματίζετε και χάρτες που θα χρειάζονται περισσότερα από 4 χρώματα (επειδή περιλαμβάνουν χώρες που δεν αποτελούνται από ενιαίες περιοχές). Στην περίπτωση χρωματισμού χάρτη με περισσότερα από 4 χρώματα, μπορείτε να επιλέξετε οποιαδήποτε ονόματα χρωμάτων πέραν των αρχικών 4 που δόθηκαν. Φυσικά, η επιλογή “-n <colornum>” θα μπορεί να συνδυασθεί και με τις “-i” και “-c”. Κάποια παραδείγματα εκτέλεσης είναι τα εξής:

```

% ./mapcol -i triv3.txt -n 2
Sorry, cannot color the given map
% ./mapcol -n 5 < No4colors.txt
red c1 c2 c3 c4 c5
green c2 c1 c3 c4 c5
blue c3 c1 c2 c4 c5
yellow c4 c1 c2 c3 c5
orange c5 c1 c2 c3 c4
% ./mapcol < triv4.txt | ./mapcol -c -n 3
More than 3 colors used
%
```

Το πρόβλημα που παρουσιάζεται στην άσκηση αυτή είναι ένα πρόβλημα αναζήτησης. Βρισκόμαστε, δηλαδή, σε μία αρχική κατάσταση, τον αχρωμάτιστο ή μερικώς χρωματισμένο χάρτη, και ο στόχος είναι, χρωματίζοντας σταδιακά χώρες, να φτάσουμε τελικά σε έναν πλήρως χρωματισμένο χάρτη, με πλήθος χρωμάτων το πολύ όσο το επιτρεπόμενο και έτσι ώστε να μην υπάρχει ζευγάρι χωρών που συνορεύουν με το ίδιο χρώμα. Κατά τη διαδικασία χρωματισμού του χάρτη, είναι πιθανόν κάποια στιγμή να βρεθούμε σε αδιέξοδο. Δηλαδή, να θέλουμε να χρωματίσουμε μία χώρα, αλλά να μην υπάρχει διαθέσιμο χρώμα γι αυτήν, αν όλα τα επιτρεπόμενα χρώματα έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί για τον χρωματισμό γειτονικών της χωρών. Τότε, ένας τρόπος για να ανακάμψουμε είναι να οπισθοδρομήσουμε στην πιο πρόσφατη επιλογή που είχαμε κάνει, να την αναιρέσουμε και να ακολουθήσουμε κάποια άλλη. Για την υλοποίηση αυτής της οπισθοδρόμησης χρειαζόμαστε μία στοίβα, στην οποία να κρατάμε την αλληλουχία των βημάτων που έχουμε κάνει, ή κάτι ισοδύναμο. Εναλλακτικά, για

να προσομοιώσουμε την οπισθοδρόμηση, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και αναδρομή. Μπορούμε, βέβαια, αν βρεθούμε σε αδιέξοδο, να μην κάνουμε καθόλου οπισθοδρόμηση, αλλά να αναιρέσουμε κάποιους “ενοχλητικούς” χρωματισμούς χωρών που είχαμε κάνει στο παρελθόν και να συνεχίσουμε ευελπιστώντας ότι όλα θα πάνε καλά τώρα. Αν ξαναβρεθούμε σε αδιέξοδο, προσπαθούμε πάλι να επιδιορθώσουμε την κατάσταση στην οποία βρισκόμαστε, ώστε να μπορέσουμε να συνεχίσουμε.

Ουσιαστικά, για να μπορεί το πρόγραμμα που θα γράψετε να χρωματίζει και μεγάλους χάρτες, θα πρέπει, όταν είναι να πάρει κάποια απόφαση, να το κάνει με έξυπνο τρόπο. Για παράδειγμα, ίσως σας είναι προφανές ότι είναι καλύτερο να ξεκινήσει κανείς να χρωματίζει χώρες που έχουν πολλούς γείτονες. Επίσης, κατά την επίλυση του προβλήματος, ίσως να είναι καλό να επιλέγονται για χρωματισμό χώρες που δεν έχουν πολλές διαθέσιμες επιλογές χρωμάτων, επειδή αρκετά από αυτά έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί σε γειτονικές χώρες. Περισσότερη συζήτηση επί του θέματος θα γίνει σίγουρα στο φόρουμ του μαθήματος.

Πάντως, σε σχέση με τις απαιτήσεις της άσκησης, το πρόγραμμα που θα παραδώσετε θα πρέπει να είναι σε θέση να χρωματίζει αχρωμάτιστους και μερικώς χρωματισμένους χάρτες του μεγέθους της Ευρώπης (αρχείο “Europe.txt” με 50 χώρες). Θα ήταν ενδιαφέρον όμως να δείτε μέχρι πιο μέγεθος εισόδου το πρόγραμμά σας τερματίζει σε εύλογο χρόνο και να προσπαθήσετε να το κάνετε όσο πιο αποδοτικό γίνεται. Για το σκοπό αυτό, σας δίνεται και ένα πρόγραμμα δημιουργίας “τυχαίων” χαρτών, που μπορείτε να βρείτε στο <http://www.di.uoa.gr/~ip/hwfiles/mapcol/genmap.c>. Το πρόγραμμα αυτό καλείται ως εξής:

```
genmap <ncountries> [ <uncolperc> [ <density> [ <seed> [ <colornum> ] ] ] ]
```

Τα ορίσματά του σημαίνουν τα εξής:

- **<ncountries>**: Πλήθος χωρών στον “τυχαίο” χάρτη που θα δημιουργηθεί.
- **<uncolperc>**: Ποσοστό χωρών (ακέραιος από 0 έως 100) που στην έξοδο θα είναι αχρωμάτιστες. Είναι προαιρετικό όρισμα. Αν δεν δοθεί, έχει την τιμή 100.
- **<density>**: Ένα ποσοστό (ακέραιος από 0 έως 100) που καθορίζει το πλήθος των ζευγαριών χωρών που συνορεύουν σε σχέση με όλα τα δυνατά ζευγάρια που θα ήταν δυνατόν να συνορεύουν. Είναι προαιρετικό όρισμα, αλλά για να δοθεί, πρέπει να έχει δοθεί και το προηγούμενό του. Αν δεν δοθεί, έχει την τιμή 30.
- **<seed>**: Το φύτρο της γεννήτριας τυχαίων αριθμών. Είναι προαιρετικό όρισμα, αλλά για να δοθεί, πρέπει να έχουν δοθεί όλα τα προηγούμενά του. Αν δεν δοθεί, παίρνει σαν τιμή την τρέχουσα χρονική στιγμή.
- **<colornum>**: Πλήθος χρωμάτων για το οποίο είναι εγγυημένο ότι θα επαρκούν για να χρωματιστεί ο χάρτης που θα παραχθεί. Είναι προαιρετικό όρισμα, αλλά για να δοθεί, πρέπει να έχουν δοθεί όλα τα προηγούμενά του. Αν δεν δοθεί, έχει την τιμή 4.

Με τη βοήθεια του προγράμματος “genmap” μπορείτε να δημιουργήσετε όσο μεγάλους χάρτες θέλετε (με τους εύλογους περιορισμούς στη διαθέσιμη μνήμη, φυσικά) και να δοκιμάσετε να τους χρωματίσετε με το πρόγραμμά σας. Αν καταφέρετε να κάνετε το πρόγραμμά σας να χρωματίζει σε λογικό χρόνο (κάποια λίγα λεπτά της ώρας) και χάρτες με τουλάχιστον 1000 χώρες (εντάξει, στον κόσμο μας δεν υπάρχουν περισσότερες από 200 χώρες, αλλά ας μιλήσουμε για έναν άλλο κόσμο), θα υπάρξει και bonus στη βαθμολογία αυτής της άσκησης (μέχρι μία μονάδα), το οποίο θα είναι τόσο πιο σημαντικό όσο πιο πολλές είναι οι δυνατότητες του προγράμματός σας στον χρωματισμό μεγάλων χαρτών. Ακολουθούν κάποια παραδείγματα εκτέλεσης.

```
% ./genmap 1000 | ./mapcol | ./mapcol -c
% ./genmap 2000 | ./mapcol | ./mapcol -c
% ./genmap 5000 | ./mapcol | ./mapcol -c
% ./genmap 10000 | ./mapcol | ./mapcol -c
%
```

Το πρόγραμμα που θα γράψετε θα πρέπει να είναι δομημένο σε ένα σύνολο από **τουλάχιστον τρία πηγαία αρχεία C** (με κατάληξη `.c`) και **τουλάχιστον δύο αρχεία επικεφαλίδας** (με κατάληξη `.h`). Για να παραδώσετε τη δουλειά σας, θα πρέπει να κάνετε τα εξής:

- Τοποθετήστε όλα τα αρχεία (πηγαία και αρχεία επικεφαλίδας) μέσα σ' ένα κατάλογο που θα δημιουργήσετε, έστω με όνομα `map`, σε κάποιο σύστημα Unix. Επίσης, τοποθετήστε στον κατάλογο αυτό και ένα αρχείο με όνομα `README`, στο οποίο να δίνετε οδηγίες για τη μεταγλώττιση των αρχείων και την κατασκευή του τελικού εκτελέσιμου. Προαιρετικά, μπορείτε να παραδώσετε και ένα αρχείο `Makefile` που να αναλαμβάνει όλη τη διαδικασία της κατασκευής του τελικού εκτελέσιμου μέσω της εντολής `make` (δώστε `man make` για περισσότερες λεπτομέρειες).
- Όντας στον κατάλογο που περιέχει τον κατάλογο `map`, δημιουργήστε ένα “επιπεδοποιημένο” `tar` αρχείο (έστω με όνομα `map.tar`) που περιέχει τον κατάλογο `map` και όλα του τα περιεχόμενα. Αυτό γίνεται με την εντολή `tar cvf map.tar map`.³
- Συμπιέστε το αρχείο `map.tar`, ώστε να δημιουργηθεί το αρχείο `map.tar.gz`. Αυτό γίνεται με την εντολή `gzip map.tar`.⁴
- Το αρχείο `map.tar.gz` είναι που θα πρέπει να υποβάλετε, με διαδικασία που θα ανακοινωθεί σύντομα.

Σημείωση: Η άσκηση αυτή μπορεί να παραδοθεί και από **ομάδες των δύο ατόμων**. Στην περίπτωση αυτή, θα παραδοθεί μόνο από το ένα μέλος της ομάδας, αλλά μέσα στο αρχείο `README` θα αναφέρονται σαφώς τα στοιχεία των δύο μελών. Ο στόχος της διαδικασίας αυτής είναι να ενισχυθεί η ιδέα της **ισότιμης** συνεργασίας σε μία ομάδα για την επίτευξη ενός στόχου. Αν τα μέλη της ομάδας έχουν υλοποιήσει διαφορετικά τμήματα της άσκησης, θα πρέπει στο αρχείο `README` να αναφέρεται ρητά τι έχει υλοποιήσει κάθε μέλος, έτσι ώστε στην προφορική εξέταση που θα ακολουθήσει, να μην υπάρχει η απαίτηση να έχει κάποιο μέλος της ομάδας πλήρη γνώση του πώς έχουν υλοποιηθεί τα τμήματα στα οποία εκείνο δεν έχει εμπλακεί.

³ Αν θέλετε να ανακτήσετε την δενδρική δομή που έχει φυλαχθεί σ' ένα “επιπεδοποιημένο” `tar` αρχείο `file.tar`, αυτό μπορεί να γίνει με την εντολή `tar xvf file.tar`.

⁴ Αν θέλετε να αποσυμπιέσετε ένα αρχείο `file.gz` που έχει συμπιεσθεί με την εντολή `gzip`, αυτό μπορεί να γίνει με την εντολή `gzip -d file.gz`.