

## Άσκηση 4

Κάθε αεροπορική εταιρεία αντιμετωπίζει το πρόβλημα της στελέχωσης των πτήσεων που πρέπει να φέρει σε πέρας με το κατάλληλο ιπτάμενο προσωπικό (κυβερνήτη, συγκυβερνήτη, συνοδούς και φροντιστές), σεβόμενη τόσο διεθνείς και εθνικούς κανονισμούς όσο και συλλογικές συμβάσεις που έχουν υπογραφεί με τους εργαζομένους. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται *χρονοπρογραμματισμός πληρωμάτων* (crew scheduling) και, ως επί το πλείστον, γίνεται σε μηνιαία βάση. Μεταξύ των πολλών νομίμων προγραμμάτων εργασίας που μπορούν να κατασκευασθούν, η εταιρεία επιθυμεί να υιοθετήσει το καλύτερο δυνατό, ή έστω ένα πολύ καλό, σύμφωνα με κάποιο κριτήριο, ή συνδυασμό κριτηρίων, που έχει αποφασίσει.

Συνήθως, το πρόβλημα του χρονοπρογραμματισμού πληρωμάτων αντιμετωπίζεται σε δύο φάσεις. Αρχικά, ομαδοποιούνται οι πτήσεις που πρέπει να καλύψει η εταιρεία σε *συνδυασμούς πτήσεων* (pairings), όπου κάθε συνδυασμός πτήσεων είναι μία ακολουθία από πτήσεις που αρχίζει από τη βάση της εταιρείας και καταλήγει επίσης στη βάση και είναι έτσι επιλεγμένες ώστε να μπορούν να στελεχωθούν νομίμως από το ίδιο πλήρωμα. Αυτή είναι η φάση της *γέννησης συνδυασμών πτήσεων* (pairing generation), τους οποίους ας ονομάζουμε στο εξής απλώς ΣΠ. Η δεύτερη φάση είναι αυτή της ανάθεσης των ΣΠ σε συγκεκριμένα μέλη πληρώματος και η οποία ονομάζεται *ανάθεση πληρωμάτων* (crew assignment).

Αντικείμενο της άσκησης αυτής είναι να υλοποιήσετε ένα πρόγραμμα C που να φέρει σε πέρας μία εκδοχή της δεύτερης φάσης του χρονοπρογραμματισμού πληρωμάτων, δηλαδή να αναθέτει ένα σύνολο από ΣΠ σε έναν αριθμό από κυβερνήτες. Κάθε ΣΠ πρέπει να ανατεθεί σε έναν ακριβώς κυβερνήτη, αλλά, προφανώς, κάθε κυβερνήτης μπορεί να αναλάβει πολλούς ΣΠ, εφ' όσον η ανάθεση αυτή είναι εφικτή και νόμιμη. Στο αρχείο <http://www.di.uoa.gr/~ip/hwfiles/crewas/Pairings.txt> θα βρείτε δεδομένα για ΣΠ. Το αρχείο αυτό περιλαμβάνει ΣΠ για το πρόγραμμα πτήσεων μίας υποθετικής αεροπορικής εταιρείας, που εκτελέστηκαν με ένα συγκεκριμένο τύπο αεροσκάφους, για το χρονικό διάστημα από 1/11/2011 έως 29/2/2012. Κάθε γραμμή του αρχείου αντιστοιχεί σε μία πτήση της εταιρείας. Το format των γραμμών είναι το εξής:

Στήλες 1-4:	Αύξων αριθμός ΣΠ
Στήλες 6-8:	Αριθμός πτήσης
Στήλες 10-12:	Αεροδρόμιο αναχώρησης
Στήλες 14-16:	Αεροδρόμιο άφιξης
Στήλες 18-27:	Ημερομηνία αναχώρησης (της μορφής YYYY-MM-DD)
Στήλες 29-33:	Ώρα αναχώρησης, UTC (της μορφής HH:MM)
Στήλες 35-44:	Ημερομηνία άφιξης (της μορφής YYYY-MM-DD)
Στήλες 46-50:	Ώρα άφιξης, UTC (της μορφής HH:MM)

Οι ΣΠ μέσα στο αρχείο δεν έχουν κάποια αυστηρή ταξινόμηση, πράγμα που σημαίνει ότι για να επιλέξετε τους ΣΠ που η πρώτη πτήση τους αρχίζει μέσα σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο, πρέπει να διαβάσετε όλο το αρχείο. Όμως, οι πτήσεις ενός ΣΠ είναι σε συνεχόμενες γραμμές, με βάση τη σειρά εκτέλεσής τους.

Εκτός του προφανούς περιορισμού ότι δεν είναι δυνατόν να ανατεθούν στον ίδιο κυβερνήτη δύο ΣΠ που έχουν χρονική επικάλυψη, μία ανάθεση είναι νόμιμη αν υπακούει σ' ένα πολύ μεγάλο σύνολο από κανόνες, εσείς όμως στην υλοποίησή σας θα λάβετε υπόψη σας μόνο τους εξής δύο:

1. Σε κάθε συνεχόμενο διάστημα 7 ημερολογιακών ημερών (από μεσάνυχτα σε μεσάνυχτα) πρέπει κάθε κυβερνήτης να έχει δύο ημέρες ανάπαυσης (ρεπό). Μία ημερολογιακή ημέρα θεωρείται ρεπό όταν ο ιπτάμενος δεν έχει κανένα πτητικό καθήκον κατά τη διάρκεια της ημέρας αυτής.

2. Μεταξύ δύο συνεχόμενων ΣΠ που ανατίθενται σε κάποιο κυβερνήτη, πρέπει να μεσολαβούν τουλάχιστον 11 ώρες ανάπαυσης, ή ημέρα ρεπό.

Φροντίστε το πρόγραμμά σας να παράγει νόμιμες αλλά και όσο το δυνατόν “πυκνές” αναθέσεις. Βρείτε, μέσω δοκιμαστικών εκτελέσεων του προγράμματός σας, και για δεδομένες χρονικές περιόδους που θα πειραματίζεστε, τον ελάχιστο αριθμό κυβερνητών που απαιτούνται για να κατασκευάσετε νόμιμες αναθέσεις. Πάντως, θα ήταν καλό να καταφέρετε να κάνετε ανάθεση και για πλήρεις ημερολογιακούς μήνες, τουλάχιστον.

Μεταξύ των διαφόρων εναλλακτικών αναθέσεων που είναι νόμιμες, αλλά και “πυκνές”, οπότε χρησιμοποιούν τον ελάχιστο αριθμό κυβερνητών, να δώσετε σαν αποτέλεσμα εκείνη που έχει την καλύτερη, ή έστω κάποια αρκετά καλή, ισοκατανομή χρόνου πτήσης μεταξύ όλων των κυβερνητών, μέσα στην περίοδο χρονοπρογραμματισμού. Σαν μέτρο της ισοκατανομής  $V$ , που πρέπει να προσπαθήσετε να ελαχιστοποιήσετε, ορίζεται το εξής:

$$V = \sum_{i=1}^C (FT_i - IFT)^2$$

όπου  $C$  είναι το πλήθος των κυβερνητών,  $FT_i$  είναι ο συνολικός χρόνος πτήσης του κυβερνήτη  $i$  μέσα στην περίοδο και  $IFT$  είναι ο ιδανικός συνολικός χρόνος πτήσης κάθε κυβερνήτη, που αντιστοιχεί στην απόλυτη ισοκατανομή. Δηλαδή:

$$FT_i = \sum_{j=1}^P (p_{ij} \cdot FTP_j)$$

όπου  $P$  είναι το πλήθος των ΣΠ της περιόδου, το  $p_{ij}$  δείχνει αν ο ΣΠ υπ' αριθμόν  $j$  ανατέθηκε στον κυβερνήτη  $i$  και  $FTP_j$  είναι ο συνολικός χρόνος πτήσης του ΣΠ  $j$ . Συγκεκριμένα:

$$p_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{αν ο ΣΠ } j \text{ ανατέθηκε στον κυβερνήτη } i \\ 0, & \text{αλλιώς} \end{cases}$$

και

$$FTP_j = \sum_{k=1}^{F_j} (AT_{kj} - DT_{kj})$$

όπου  $F_j$  είναι το πλήθος των πτήσεων του ΣΠ  $j$ ,  $AT_{kj}$  και  $DT_{kj}$  οι χρονικές στιγμές άφιξης και αναχώρησης, αντίστοιχα, της πτήσης  $k$  του ΣΠ  $j$ . Τέλος:

$$IFT = \frac{\sum_{m=1}^P FTP_m}{C}$$

Σχετικά με την έξοδο που θα παράγει το πρόγραμμά σας, πρέπει οπωσδήποτε, για λόγους ελέγχου της ορθότητας των αποτελεσμάτων σας, να εκτυπώνεται στο `stdout` μία γραμμή για κάθε κυβερνήτη, στην οποία θα περιέχονται οι αύξοντες αριθμοί ΣΠ που του έχουν ανατεθεί. Το πρόγραμμα θα πρέπει επίσης να είναι σε θέση να κάνει, εκτός από την ανάθεση ΣΠ σε κυβερνήτες, και τον έλεγχο αν μία ανάθεση που του δίνεται από το `stdin` είναι νόμιμη. Τέλος, θα πρέπει να δέχεται από τη γραμμή εντολών τιμές για κάποιες παραμέτρους της ανάθεσης, ορισμένες από τις οποίες είναι υποχρεωτικές, ενώ οι υπόλοιπες μπορεί και να μην δοθούν, οπότε θα ισχύουν default τιμές. Οι επιλογές του προγράμματος στη γραμμή εντολής, που μπορεί να δίνονται με οποιαδήποτε σειρά, είναι οι εξής:

`-p <filename>` : Το αρχείο εισόδου με τους ΣΠ είναι το `<filename>` (υποχρεωτικό).

`-n <N>` : Οι ΣΠ θα ανατεθούν σε `<N>` κυβερνήτες (υποχρεωτικό).

- s <starttime> : Θα ανατεθούν ΣΠ που η χρονική στιγμή έναρξης της πρώτης πτήσης τους είναι από το <starttime> (στο format YYYY-MM-DD/HH:MM) και μετά. Αν δεν δοθεί η παράμετρος, να χρησιμοποιηθεί η τιμή 2001-01-01/00:00.
- e <endtime> : Θα ανατεθούν ΣΠ που η χρονική στιγμή έναρξης της πρώτης πτήσης τους είναι μέχρι και το <endtime> (στο format YYYY-MM-DD/HH:MM). Αν δεν δοθεί η παράμετρος, να χρησιμοποιηθεί η τιμή 2020-12-31/23:59.
- r <seed> : Σε περίπτωση που το πρόγραμμα χρησιμοποιεί τη συνάρτηση rand() για να κάνει τυχαίες επιλογές σε διάφορα σημεία του, η γεννήτρια τυχαίων αριθμών να αρχικοποιηθεί με το <seed>, ώστε να είναι δυνατόν να αναπαραχθούν τα αποτελέσματά του. Αν δεν δοθεί η παράμετρος, να χρησιμοποιείται ως φύτρο ο τρέχων χρόνος. Αν το πρόγραμμά σας δεν έχει τυχαιότητα στην εκτέλεσή του, η επιλογή αυτή δεν είναι υποχρεωτικό να υλοποιηθεί.
- i : Το πρόγραμμα να ελέγξει τη εγκυρότητα της ανάθεσης που δίνεται από το stdin. Υπενθυμίζεται ότι μία ανάθεση αποτελείται από μία γραμμή για κάθε κυβερνήτη, η οποία περιλαμβάνει τους αριθμούς ΣΠ που έχουν ανατεθεί στον κυβερνήτη. Αν η ανάθεση είναι έγκυρη, να εκτυπώνεται το μέτρο της ισοκατανομής V. Αν όχι, να εκτυπώνεται κατάλληλο διαγνωστικό μήνυμα με τους λόγους για τους οποίους η ανάθεση δεν είναι έγκυρη. Αν δοθεί η επιλογή αυτή, στην περίπτωση που έχει δοθεί και η -r, η τελευταία αγνοείται.

Μπορείτε, αν θέλετε, εκτός από τις προηγούμενες επιλογές, που είναι υποχρεωτικό να υλοποιήσετε, να προσθέσετε στο πρόγραμμά σας και άλλες που θεωρείτε χρήσιμες. Για παράδειγμα, με μία επιλογή “-v” θα μπορούσατε να εκτυπώνετε πληροφορίες σχετικά με την εξέλιξη της αναζήτησης λύσης από το πρόγραμμά σας. Μπορείτε να προσθέσετε και τις επιλογές “-o <filename>” ή “-i <filename>” ώστε ή έξοδος του προγράμματος να γραφεί στο <filename>, αντί για το stdout, ή η είσοδος μίας ανάθεσης για έλεγχο να γίνει από το <filename>, αντί από το stdin, αντίστοιχα. Άλλες ιδέες είναι, όταν ελέγχετε την εγκυρότητα μίας ανάθεσης, με μία επιλογή “-d” να εκτυπώνετε μία γραφική αναπαράσταση του προγράμματος εργασίας για κάθε κυβερνήτη, όπου να φαίνονται οι ημέρες ανάπαυσής του, ή με μία επιλογή “-g <minutes>” να εκτυπώνετε γραφικά τα προγράμματα εργασίας των κυβερνητών (πότε βρίσκονται εν πτήσει και πότε όχι), σε κβάντα χρόνου ίσα με <minutes>. Εννοείται ότι για τις γραφικές αναπαραστάσεις, αρκεί η χρήση απλών εκτυπώσιμων χαρακτήρων. Αν υλοποιηθούν επιπλέον ενδιαφέρουσες επιλογές, αυτό θα εκτιμηθεί θετικά στην τελική αξιολόγηση της δουλειάς που θα παραδοθεί.

Αν το εκτελέσιμο πρόγραμμα που θα κατασκευάσετε τελικά για το πρόβλημα της ανάθεσης κυβερνητών σε ΣΠ ονομάζεται “crewas”, κάποιες ενδεικτικές εκτελέσεις του φαίνονται στη συνέχεια.<sup>1</sup>

```
$ ./crewas -p Pairings_5n+0.txt -n 6 -s 2011-11-01/00:00 -e 2011-11-02/23:59
0025 0010 0060
0035 0105
0015
0080 0020
0005 0065
0030 0055
$
$ ./crewas -p Pairings_5n+0.txt -n 6 -s 2011-11-01/00:00 -e 2011-11-02/23:59 > assign.txt
$ ./crewas -i -p Pairings_5n+0.txt -n 6 -s 2011-11-01/00:00 -e 2011-11-02/23:59 < assign.txt
Valid assignment
V = 121937.500
```

<sup>1</sup>Τα αρχεία ΣΠ που χρησιμοποιούνται στις ενδεικτικές εκτελέσεις μπορούν να βρεθούν όλα στην ιστοθέση <http://www.di.uoa.gr/~ip/hwfiles/crewas/> και έχουν δημιουργηθεί μέσω του προγράμματος κελύφους “selpair” για σύστημα Linux, που βρίσκεται στην ίδια ιστοθέση.

```

$
$ ./crewas -p Pairings_5n+3.txt -n 9 -s 2011-11-01/00:00 -e 2011-11-30/23:59
0093 0098 0218 0203 0268 0403 0413 0368 0438 0518 0508 0623 0558 0633 0738 0768 0753 0823
0028 0013 0048 0113 0153 0283 0263 0383 0338 0363 0473 0448 0578 0653 0628 0663 0643 0793 0778
0033 0018 0038 0068 0193 0198 0243 0248 0313 0343 0483 0638 0708 0693 0758 0743
0008 0103 0128 0213 0223 0308 0293 0318 0388 0468 0523 0503 0528 0553 0658 0668 0718 0703 0723
0023 0088 0138 0123 0148 0228 0303 0373 0378 0443 0428 0593 0603 0583 0613 0683 0698 0853
0053 0043 0078 0143 0173 0253 0208 0238 0288 0433 0418 0398 0513 0498 0533 0713 0763 0788 0818
0073 0163 0188 0178 0273 0258 0353 0408 0493 0538 0543 0568 0598 0688 0728 0673 0733 0748 0773
0063 0083 0118 0158 0183 0278 0323 0333 0348 0463 0488 0453 0478 0573 0608 0588 0798 0783
0003 0058 0108 0133 0168 0233 0298 0328 0358 0393 0423 0458 0563 0548 0678 0618 0648 0828
$
$ ./crewas -p Pairings_5n+3.txt -n 9 -s 2011-11-01/00:00 -e 2011-11-30/23:59 |
./crewas -i -p Pairings_5n+3.txt -n 9 -s 2011-11-01/00:00 -e 2011-11-30/23:59
Valid assignment
V = 21088.889
$
$ ./crewas -n 10 -p Pairings_4n+1.txt -s 2011-12-01/00:00 -e 2011-12-31/23:59 |
./crewas -p Pairings_4n+1.txt -n 10 -s 2011-12-01/00:00 -e 2011-12-31/23:59 -i
Valid assignment
V = 83962.500
$
$ ./crewas -p Pairings_3n+2.txt -e 2012-01-31/23:59 -s 2011-12-01/00:00 -n 14 |
./crewas -p Pairings_3n+2.txt -i -n 14 -s 2011-12-01/00:00 -e 2012-01-31/23:59
Valid assignment
V = 2835.714
$
$ ./crewas -p Pairings_2n+0.txt -n 19 -s 2011-11-17/13:32 -e 2012-02-08/07:52 |
./crewas -i -p Pairings_2n+0.txt -n 19 -s 2011-11-17/13:32 -e 2012-02-08/07:52
Valid assignment
V = 12413.158
$
$ hostname
linux29
$
$ time ./crewas -n 37 -p Pairings.txt > assignment.txt
99.634u 0.000s 1:39.67 99.9% 0+0k 0+40io 0pf+0w
$ ./crewas -i -n 37 -p Pairings.txt < assignment.txt
Valid assignment
V = 7341.892
$

```

## Παραδοτέο

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 `crewas`, σε κάποιο σύστημα Linux. 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, καθώς και ό,τι άλλο κρίνετε σκόπιμο να επισημάνετε. 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 `crewas`, δημιουργήστε ένα επιπεδοποιημένο `tar` αρχείο (έστω με όνομα `crewas.tar`) που περιέχει τον κατάλογο `crewas` και όλα του τα περιεχόμενα. Αυτό γίνεται με την εντολή `“tar cvf crewas.tar crewas”`.<sup>2</sup>
- Συμπίεστε το αρχείο `crewas.tar`, ώστε να δημιουργηθεί το αρχείο `crewas.tar.gz`. Αυτό γίνεται με την εντολή `“gzip crewas.tar”`.<sup>3</sup>
- Το αρχείο `crewas.tar.gz` είναι που θα πρέπει να υποβάλετε μέσω του συστήματος υποβολής στη διεύθυνση `http://hwadm.di.uoa.gr`.<sup>4</sup>

## Ομαδική άσκηση

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.

## Διαγωνισμός καλύτερου προγράμματος (BONUS βαθμολογία)

Οι ασκήσεις που θα υποβληθούν θα μπορούν να συμμετάσχουν, εφ' όσον το δηλώσουν οι συγγραφείς τους, σε διαγωνισμό καλύτερου προγράμματος, όσον αφορά την ποιότητα των λύσεων που θα είναι σε θέση να κατασκευάζουν. Για τις τρεις καλύτερες ασκήσεις, θα υπάρξει επιβράβευση στη βαθμολογία τους κατά 100%, 70% και 40%, κατά σειρά. Λεπτομέρειες για τους κανόνες του διαγωνισμού θα ανακοινωθούν εν καιρώ στο φόρουμ του μαθήματος.

---

<sup>2</sup> 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”`.

<sup>3</sup> 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”`.

<sup>4</sup> Μην υποβάλετε ασυμπιεστά αρχεία ή αρχεία που είναι συμπιεσμένα σε άλλη μορφή εκτός από `tar.gz` (π.χ. `rar`, `7z`, `zip`, κλπ.), γιατί δεν θα γίνονται δεκτά για αξιολόγηση.