

HY240: Δομές Δεδομένων

Χειμερινό Εξάμηνο – Ακαδημαϊκό Έτος 2014-15

Διδάσκουσα: Παναγιώτα Φατούρου

Προγραμματιστική Εργασία - 1^ο Μέρος

Ημερομηνία Παράδοσης: Τρίτη, 18 Νοεμβρίου 2014, ώρα 23:59.

Τρόπος Παράδοσης: Χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα turnin. Πληροφορίες για το πώς λειτουργεί το turnin παρέχονται στην ιστοσελίδα του μαθήματος.



Image credit: NASA/CXC/SAO/JPL-Caltech/STScI



Image credit: NASA/CXC/JPL-Caltech/STScI

Γενική Περιγραφή

Στην εργασία αυτή καλείστε να υλοποιήσετε ένα πρόγραμμα που προσομοιώνει ένα μέρος του σύμπαντος. Το σύμπαν περιέχει γαλαξίες, οι οποίοι περιέχουν ηλιακά συστήματα και ορφανούς πλανήτες. Κάθε ηλιακό σύστημα έχει ένα αστέρι-ήλιο γύρο από το οποίο περιστρέφονται πλανήτες.

Η επικρατέστερη θεωρία σχετικά με την δημιουργία του σύμπαντος είναι αυτή του Georges Lemaître, γνωστή και ως η θεωρία της “Μεγάλης Έκρηξης” (Big Bang theory). Σύμφωνα με αυτήν, το σύμπαν δημιουργήθηκε πριν από περίπου 13,8 δισεκατομμύρια χρόνια μετά από μία μεγάλη έκρηξη. Κατ’ αντιστοιχία στα πλαίσια αυτής της προγραμματιστικής άσκησης όλα θα ξεκινήσουν (αρχικοποιηθούν) με μία Μεγάλη Έκρηξη. Η «Μεγάλη Έκρηξη» σηματοδοτεί την έναρξη της δημιουργίας των γαλαξιών, των ηλιακών συστημάτων, των πλανητών και των υπόλοιπων σωμάτων που υπάρχουν στο σύμπαν.

Σημείωση

Προκειμένου να πραγματοποιηθούν οι εκπαιδευτικοί στόχοι της εργασίας, έχουν γίνει απλοποιήσεις σχετικά με τη δημιουργία και την εξέλιξη του σύμπαντος. Συνεπώς, όσα αναγράφονται στην παρούσα εκφώνηση ενδεχομένως δεν αντιστοιχούν με ακρίβεια στην επιστημονική θεωρία δημιουργίας και εξέλιξης του σύμπαντος ή σε ό,τι θεωρείται αποδεκτό από την επιστημονική κοινότητα για τη δημιουργία του σύμπαντος και των μερών που το αποτελούν.

Αναλυτική Περιγραφή Ζητούμενης Υλοποίησης

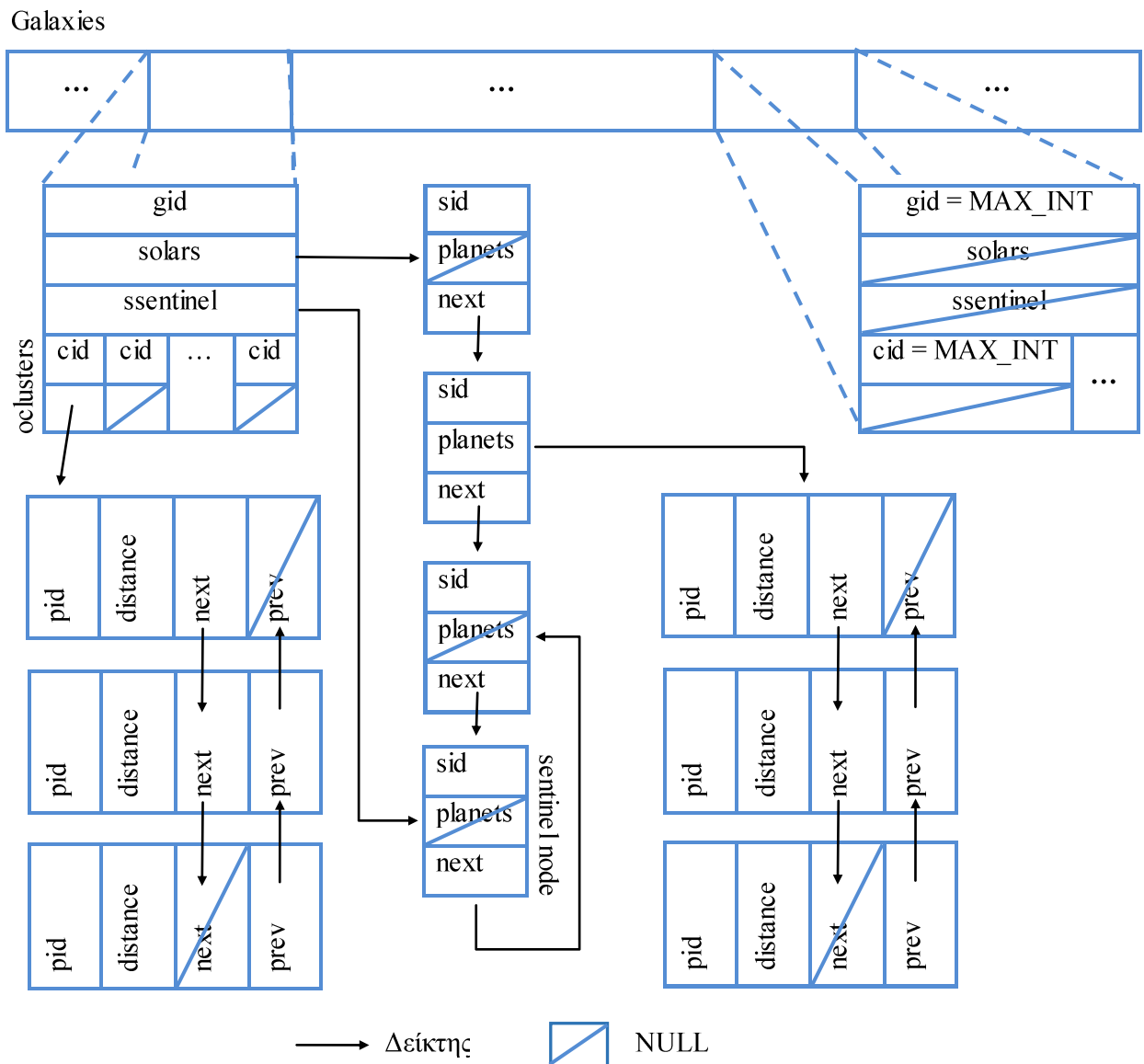
Για την υλοποίηση της προσομοίωσης της δημιουργίας του σύμπαντος, θα πρέπει να χρησιμοποιήσετε έναν πίνακα σταθερού μεγέθους N , ο οποίος ονομάζεται *πίνακας γαλαξιών* (Galaxies). Κάθε στοιχείο του *πίνακα γαλαξιών* είναι μια εγγραφή (ένα struct) τύπου `galaxy_t` με τα ακόλουθα πεδία:

- **gid**: Αναγνωριστικό (τύπου `int`) του γαλαξία. Ένας μοναδικός αριθμός που χαρακτηρίζει μοναδικά το γαλαξία.
- **solars**: Δείκτης (τύπου `solar_t*`) στο πρώτο στοιχείο μίας **μη-ταξινομημένης, απλά-συνδεδεμένης** λίστας με **κόμβο φρουρό**, κάθε στοιχείο της οποίας αντιστοιχεί σε ένα ηλιακό σύστημα που ανήκει στον γαλαξία με αναγνωριστικό `gid`. Η λίστα αυτή ονομάζεται *λίστα ηλιακών συστημάτων* του γαλαξία με αναγνωριστικό `gid`. Κάθε στοιχείο της *λίστας ηλιακών συστημάτων* ενός γαλαξία είναι μία εγγραφή (ένα struct) τύπου `solar_t` με τα ακόλουθα πεδία:
 - **sid**: Αναγνωριστικό (τύπου `int`) του αστεριού-ήλιου του ηλιακού συστήματος. Είναι ένας μοναδικός αριθμός που αντιστοιχεί στο αστέρι-ήλιο του ηλιακού συστήματος.
 - **planets**: Ένας δείκτης (τύπου `planet_t*`) στο πρώτο στοιχείο μιας **διπλά συνδεδεμένης λίστας**, που ονομάζεται *λίστα πλανητών* του ηλιακού συστήματος. Η λίστα πλανητών ενός ηλιακού συστήματος είναι **ταξινομημένη** βάσει της απόστασης του κάθε πλανήτη από το αστέρι-ήλιο του ηλιακού συστήματος. Κάθε στοιχείο της *λίστας πλανητών* ενός ηλιακού συστήματος αντιστοιχεί σε έναν πλανήτη του ηλιακού συστήματος. Είναι μία εγγραφή (ένα struct) τύπου `planet_t` με τα ακόλουθα πεδία:
 - **pid**: Αναγνωριστικό (τύπου `int`) του πλανήτη. Ένας μοναδικός αριθμός που αντιστοιχεί στον πλανήτη.
 - **distance**: Ένας αριθμός που αντιστοιχεί στην απόσταση του πλανήτη με αναγνωριστικό `pid` από τον προηγούμενο πλανήτη, βάσει αύξουσας ταξινόμησης των πλανητών ως προς την απόσταση τους από το αστέρι-ήλιο του ηλιακού συστήματος όπου ανήκουν. *Προσοχή: για να υπολογίσετε την απόσταση ενός πλανήτη x από το αστέρι/ήλιο του ηλιακού συστήματος στο οποίο ανήκει, πρέπει να αθροίσετε τις αποστάσεις όλων των πλανητών των οποίων οι εγγραφές προηγούνται της εγγραφής του πλανήτη x στη λίστα.*
 - **prev**: Δείκτης (τύπου `planet_t*`) στον προηγούμενο κόμβο της *λίστας πλανητών* του ηλιακού συστήματος.
 - **next**: Δείκτης (τύπου `planet_t*`) στον επόμενο κόμβο της *λίστας πλανητών* του ηλιακού συστήματος.
 - **next**: Δείκτης (τύπου `solar_t*`) στον επόμενο κόμβο της *λίστας ηλιακών συστημάτων* του γαλαξία.
- **ssentinel**: Δείκτης (τύπου `solar_t*`) στον κόμβο φρουρό της *λίστας ηλιακών συστημάτων* του γαλαξία με αναγνωριστικό `gid`. Καθώς το πεδίο `next` του κόμβου φρουρού δεν χρειάζεται για την υλοποίηση της λίστας, κατ' εξαίρεση σε αυτή την εργασία θα το χρησιμοποιήσουμε ως δείκτη στον τελευταίο κόμβο της λίστας. Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να επιτύχουμε την συνένωση δύο *λιστών ηλιακών συστημάτων* σε χρόνο **$O(1)$** .
- **oclusters**: Πίνακας σταθερού μεγέθους M που περιέχει όλες τις συστάδες ορφανών πλανητών που υπάρχουν στον γαλαξία με αναγνωριστικό `gid`. Ο πίνακας αυτός ονομάζεται *πίνακας συστάδων ορφανών πλανητών*. Κάθε στοιχείο του *πίνακα συστάδων ορφανών πλανητών* είναι μια εγγραφή (struct) τύπου `ocluster_t` με τα ακόλουθα πεδία:
 - **cid**: Αναγνωριστικό (τύπου `int`) της συστάδας ορφανών πλανητών. Ένας μοναδικός αριθμός που αντιστοιχεί στην συστάδα ορφανών πλανητών.
 - **orphans**: Ένας δείκτης (τύπου `planet_t*`) στο πρώτο στοιχείο μιας **διπλά συνδεδεμένης λίστας**, η οποία είναι **ταξινομημένη** βάσει του αναγνωριστικού `pid` του κάθε ορφανού πλανήτη. Η λίστα αυτή ονομάζεται *λίστα ορφανών πλανητών* της συστάδας ορφανών

πλανητών με αναγνωριστικό cid. Κάθε στοιχείο της *λίστας ορφανών πλανητών* μίας συστάδας ορφανών πλανητών είναι μία εγγραφή (struct) τύπου planet_t, όπως έχει περιγραφεί παραπάνω. Στην *λίστα ορφανών πλανητών* δεν μας απασχολούν οι τιμές του πεδίου distance της εγγραφής τύπου planet_t.

Κάθε στοιχείο του πίνακα oclusters πρέπει να αρχικοποιείται έτσι ώστε το πεδίο cid του να είναι ίσο με την τιμή INT_MAX στη C (δείτε το αρχείο limits.h) και με την τιμή Integer.MAX_VALUE στη Java. Κάθε φορά που εισάγετε ένα νέο στοιχείο στον πίνακα, αυτό πρέπει να τοποθετείται στο αριστερότερο στοιχείο του πίνακα του οποίου το πεδίο cid είναι ίσο με την τιμή INT_MAX στη C ή Integer.MAX_VALUE στη Java. **Η εύρεση της θέσης αυτής πρέπει να πραγματοποιείται σε χρόνο $O(\log n)$.**

Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει τις δομές δεδομένων σε σχηματική μορφή.



Τρόπος Λειτουργίας Προγράμματος

Το πρόγραμμα που θα δημιουργηθεί θα πρέπει να εκτελείται καλώντας την ακόλουθη εντολή:

<executable> <input-file>

όπου <executable> είναι το όνομα του εκτελέσιμου αρχείου του προγράμματος (π.χ. a.out) και <input-file> είναι το όνομα ενός αρχείου εισόδου (π.χ. testfile) το οποίο περιέχει γεγονότα των ακόλουθων μορφών:

- **B:** Γεγονός τύπου *Big Bang* το οποίο σηματοδοτεί τη δημιουργία του σύμπαντος. Κατά το γεγονός αυτό αρχικοποιείται η δομή του **πίνακα γαλαξιών** (Galaxies) όπου το κάθε πεδίο του κάθε κελιού του αρχικοποιείται με την τιμή NULL αν είναι δείκτης και INT_MAX αν είναι τύπου int. Μετά το πέρας της εκτέλεσης ενός τέτοιου γεγονότος το πρόγραμμα θα πρέπει να τυπώνει την ακόλουθη πληροφορία:

```
B DONE
```

- **G <gid>:** Γεγονός τύπου *Galaxy Creation* το οποίο σηματοδοτεί τη δημιουργία ενός νέου γαλαξία (galaxy_t) με αναγνωριστικό <gid> στο σύμπαν. Ο νέος γαλαξίας περιέχει κενή **λίστα ηλιακών συστημάτων** (solars) (δηλαδή η λίστα ηλιακών συστημάτων του γαλαξία περιέχει μόνο τον κόμβο φρουρό) και κενό **πίνακα συστάδων ορφανών πλανητών** (oclusters). Ο νέος γαλαξίας προστίθεται στον **πίνακα γαλαξιών**. **Χρησιμοποιήστε κατάλληλες μεταβλητές ώστε η χρονική πολυπλοκότητα της εισαγωγής να είναι O(1).** Μετά το πέρας της εκτέλεσης ενός τέτοιου γεγονότος το πρόγραμμα θα πρέπει να τυπώνει την ακόλουθη πληροφορία:

```
G <gid>
  Galaxies = <gid1>, <gid2>, ... <gidn>
DONE
```

όπου n είναι το πλήθος των γαλαξιών που υπάρχουν στο σύμπαν και για κάθε i, $1 \leq i \leq n$, <gid_i> είναι το αναγνωριστικό του i-οστού γαλαξία στο σύμπαν.

- **S <sid> <gid>:** Γεγονός τύπου *Star Birth* το οποίο σηματοδοτεί τη δημιουργία ενός νέου αστεριού-ήλιου και κατά συνέπεια την δημιουργία ενός νέου ηλιακού συστήματος (solar_t) με αναγνωριστικό αστεριού-ήλιου <sid> στο γαλαξία με αναγνωριστικό <gid>. Το νέο ηλιακό σύστημα περιέχει κενή **λίστα πλανητών** (planets). Το γεγονός αυτό προσθέτει ένα νέο στοιχείο (που αντιστοιχεί στο νέο ηλιακό σύστημα) στη **λίστα ηλιακών συστημάτων** (solars) του γαλαξία με αναγνωριστικό <gid>. Μετά το πέρας της εκτέλεσης ενός τέτοιου γεγονότος το πρόγραμμα θα πρέπει να τυπώνει την ακόλουθη πληροφορία:

```
S <sid> <gid>
  Solars = <sid1>, <sid2> ... <sidn>
DONE
```

όπου n είναι το πλήθος των ηλιακών συστημάτων που υπάρχουν στο γαλαξία με αναγνωριστικό <gid> και για κάθε i, $1 \leq i \leq n$, <sid_i> είναι το αναγνωριστικό του i-οστού ηλιακού συστήματος στο γαλαξία.

- **P <pid> <distance> <sid>:** Γεγονός τύπου *Planet Creation* το οποίο σηματοδοτεί τη δημιουργία ενός νέου πλανήτη (planet_t) με αναγνωριστικό <pid> στο ηλιακό σύστημα με αναγνωριστικό <sid>. Η παράμετρος <distance> περιγράφει την απόσταση του νέου πλανήτη από το αστερί-ήλιο του ηλιακού

συστήματος με αναγνωριστικό <sid>. Το γεγονός αυτό προσθέτει το νέο πλανήτη στην κατάλληλη θέση, βάσει του <distance>, στη **λίστα πλανητών** του ηλιακού συστήματος με αναγνωριστικό <sid>. **Είναι αξιοσημείωτο ότι** το πεδίο distance της εγγραφής, που αντιστοιχεί στο νέο πλανήτη, θα πρέπει να περιέχει την απόσταση του από τον πλανήτη που αντιστοιχεί στο προηγούμενο στοιχείο στη **λίστα πλανητών** του ηλιακού συστήματος με αναγνωριστικό <sid> και όχι την απόστασή του από το αστέρι-ήλιο. Ωστόσο, στην περίπτωση που ο πλανήτης είναι αυτός που βρίσκεται πιο κοντά στο αστέρι-ήλιο, τότε το πεδίο distance, κατ' εξαίρεση, είναι η απόσταση του από το αστέρι-ήλιο. Σε περίπτωση που ο νέος πλανήτης τοποθετείται ανάμεσα σε δύο παλαιότερους, θα πρέπει να ενημερώνεται καταλλήλως και το αντίστοιχο πεδίο distance του πλανήτη που θα είναι ο επόμενος του νέου μετά την εισαγωγή. Προσέξτε πως το γεγονός αυτό απαιτεί να βρεθεί ο γαλαξίας στον οποίο ανήκει το ηλιακό σύστημα με αναγνωριστικό <sid>. Μετά το πέρας της εκτέλεσης ενός γεγονότος τύπου P το πρόγραμμα θα πρέπει να τυπώνει την ακόλουθη πληροφορία:

```
P <pid> <distance> <sid>
  <pid1> : <distance1> : <ppid1> : <npid1>
  <pid2> : <distance2> : <ppid2> : <npid2>
  ...
  <pidn> : <distancen> : <ppidn> : <npidn>
DONE
```

όπου n είναι το πλήθος των πλανητών που υπάρχουν στο ηλιακό σύστημα με αναγνωριστικό αστεριού-ηλίου <sid> και για κάθε i, $1 \leq i \leq n$:

- <pid_i> είναι το αναγνωριστικό του i-οστού πλανήτη στη λίστα πλανητών του ηλιακού συστήματος με αναγνωριστικό αστεριού-ηλίου <sid>,
- <distance_i> είναι η απόσταση του πλανήτη με αναγνωριστικό pid_i από τον πλανήτη που αντιστοιχεί στο προηγούμενο στοιχείο στη λίστα πλανητών του ηλιακού συστήματος με αναγνωριστικό αστεριού-ηλίου <sid>,
- <ppid_i> είναι το αναγνωριστικό του προηγούμενου πλανήτη από τον πλανήτη με αναγνωριστικό <pid_i> στο ηλιακό σύστημα με αναγνωριστικό αστεριού-ηλίου <sid>. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει προηγούμενος πλανήτης τυπώνεται η τιμή 0,
- <npid_i> είναι το αναγνωριστικό του επόμενου πλανήτη από τον πλανήτη με αναγνωριστικό <pid_i> στο ηλιακό σύστημα με αναγνωριστικό αστεριού-ηλίου <sid>. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει επόμενος πλανήτης τυπώνεται η τιμή 0.

Προσοχή: Τα αναγνωριστικά των προηγούμενων και επόμενων πλανητών θα πρέπει να προσβαίνονται μέσω των πεδίων prev και next του πλανήτη με αναγνωριστικό pid_i.

- **D <sid> <distance>:** Γεγονός τύπου *Star Death* το οποίο σηματοδοτεί το θάνατο ενός αστεριού-ηλίου και κατά συνέπεια την καταστροφή του ηλιακού συστήματος με αναγνωριστικό αστεριού-ηλίου <sid>. Κατά την καταστροφή του ηλιακού συστήματος με αναγνωριστικό <sid> καταστρέφονται (και άρα πρέπει να διαγραφούν) και όλοι οι πλανήτες του που απέχουν λιγότερο από <distance> km από το αστέρι-ήλιο. Οι πλανήτες σε μεγαλύτερη απόσταση μετατρέπονται σε ορφανούς πλανήτες συνιστώντας μια νέα συστάδα ορφανών πλανητών (occluster_t). Η νέα αυτή συστάδα προστίθεται στον **πίνακα συστάδων ορφανών πλανητών** (orphans_cluster_a) του γαλαξία όπου ανήκε το ηλιακό σύστημα που καταστράφηκε. Ως αναγνωριστικό cid της νέας συστάδας καταχωρείται το αναγνωριστικό του ηλιακού συστήματος που καταστράφηκε. Επιπρόσθετα, η λίστα ορφανών πλανητών που αντιστοιχεί

στη νέα αυτή συστάδα θα πρέπει να ταξινομηθεί βάση του πεδίου `pid` των πλανητών που περιέχει. **Για την ταξινόμηση θα πρέπει να υλοποιήσετε τον αλγόριθμο `ListInsertionSort()` που μελετήσατε στη 2^η Σειρά Ασκήσεων.** Σημειώνουμε ότι η εγγραφή κάθε ορφανού πλανήτη στη νέα λίστα αντιστοιχεί στην αντίστοιχη εγγραφή στη λίστα πλανητών. Ωστόσο, το πεδίο `distance` της εγγραφής στη νέα λίστα θα πρέπει να έχει την τιμή 0. Τέλος, το κατεστραμμένο ηλιακό σύστημα θα πρέπει να διαγράφεται από τη **λίστα ηλιακών συστημάτων** του γαλαξία όπου ανήκε. Μετά το πέρας της εκτέλεσης ενός τέτοιου γεγονότος το πρόγραμμα θα πρέπει να τυπώνει την ακόλουθη πληροφορία:

```
D <sid> <distance>
  Solars    = <sid1>, <sid2>, ... <sidn>
  OrphansC = <cid1>, <cid2>, ... <cidm>
  Orphans   = <oid1>, <oid2>, ... <oidk>
DONE
```

όπου n είναι το πλήθος των ηλιακών συστημάτων που υπάρχουν στο γαλαξία, όπου ανήκε το προς διαγραφή ηλιακό σύστημα, μετά τη διαγραφή του ηλιακού συστήματος με αναγνωριστικό αστεριού-ηλίου `<sid>`, m είναι το πλήθος των συστάδων ορφανών πλανητών στον **πίνακα συστάδων ορφανών πλανητών** του γαλαξία όπου ανήκε το προς διαγραφή ηλιακό σύστημα, k είναι το πλήθος των ορφανών πλανητών στην **λίστα ορφανών πλανητών** της νεοσύστατης συστάδας ορφανών πλανητών του γαλαξία όπου ανήκε το προς διαγραφή ηλιακό σύστημα και:

- για κάθε i , $1 \leq i \leq n$, `<sidi>` είναι το αναγνωριστικό του i -οστού ηλιακού συστήματος στο γαλαξία όπου ανήκε το προς διαγραφή ηλιακό σύστημα,
- για κάθε i , $1 \leq i \leq m$, `<cidi>` είναι το αναγνωριστικό της i -οστής συστάδας ορφανών πλανητών στον **πίνακα συστάδων ορφανών πλανητών** του γαλαξία όπου ανήκε το προς διαγραφή ηλιακό σύστημα,
- για κάθε i , $1 \leq i \leq k$, `<oidi>` είναι το αναγνωριστικό του i -οστού ορφανού πλανήτη στην **λίστα ορφανών πλανητών** της νεοσύστατης συστάδας ορφανών πλανητών του γαλαξία όπου ανήκε το προς διαγραφή ηλιακό σύστημα.

- **M <gid1> <gid2>**: Γεγονός τύπου *Galaxy Merger* το οποίο σηματοδοτεί τη σύγκρουση του γαλαξία με αναγνωριστικό `<gid1>` με τον γαλαξία με αναγνωριστικό `<gid2>`. Η σύγκρουση έχει ως αποτέλεσμα τη συγχώνευση των δύο αυτών γαλαξιών σε έναν. Κατά τη σύγκρουση όλα τα ηλιακά συστήματα και όλες οι συστάδες ορφανών πλανητών του γαλαξία με αναγνωριστικό `<gid2>` προστίθενται στην **λίστα ηλιακών συστημάτων** και στον **πίνακα συστάδων ορφανών πλανητών**, αντίστοιχα, του γαλαξία με αναγνωριστικό `<gid1>`. Στο τέλος ο γαλαξίας με αναγνωριστικό `<gid2>` διαγράφεται από τον **πίνακα γαλαξιών**. Στην περίπτωση που ο προς διαγραφή γαλαξίας δεν βρίσκεται στην τελευταία γεμάτη θέση του **πίνακα γαλαξιών**, τότε θα χρειαστεί να μεταφέρετε τον γαλαξία από την τελευταία γεμάτη θέση του πίνακα στην θέση του προς διαγραφή γαλαξία ώστε όλα τα άδεια κελία του πίνακα **γαλαξιών** να βρίσκονται πάντα στο τέλος του. **Η συνένωση των λιστών ηλιακών συστημάτων πρέπει να πραγματοποιείται σε χρόνο $O(1)$. Η συνένωση των πινάκων συστάδων απαιτεί την εύρεση του πρώτου ελεύθερου στοιχείου στον έναν από τους δύο τέτοιους πίνακες, το οποίο θα πρέπει να πραγματοποιείται σε $O(\log n)$ χρόνο.** Κατά την εκτέλεση ενός τέτοιου γεγονότος το πρόγραμμα θα πρέπει να τυπώνει την ακόλουθη πληροφορία:

```

M <gid1> <gid2>
  Solars1  = <g1sid1>, <g1sid2>, ... <g1sidn>
  OrphansC1 = <g1cid1>, <g1cid2>, ... <g1cidm>
  Solars2  = <g2sid1>, <g2sid2>, ... <g2sidk>
  OrphansC2 = <g2cid1>, <g2cid2>, ... <g2cidl>
  Solars3  = <g3sid1>, <g3sid2>, ... <g3sidn+k>
  OrphansC3 = <g3cid1>, <g3cid2>, ... <g3cidm+l>
DONE

```

όπου n και k είναι τα πλήθη των ηλιακών συστημάτων στις *λίστες ηλιακών συστημάτων* των γαλαξιών με αναγνωριστικά $\langle \text{gid1} \rangle$ και $\langle \text{gid2} \rangle$, αντίστοιχα, **πριν** τη συγχώνευση, m και l είναι τα πλήθη των συστάδων ορφανών πλανητών στους *πίνακες συστάδων ορφανών πλανητών* των γαλαξιών με αναγνωριστικά $\langle \text{gid1} \rangle$ και $\langle \text{gid2} \rangle$, αντίστοιχα, **πριν** τη συγχώνευση και:

- για κάθε i , $1 \leq i \leq n$, $\langle \text{g1sid}_i \rangle$ είναι το αναγνωριστικό του i -οστού ηλιακού συστήματος στην *λίστα ηλιακών συστημάτων* του γαλαξία με αναγνωριστικό $\langle \text{gid1} \rangle$ **πριν** τη συγχώνευση,
- για κάθε i , $1 \leq i \leq m$, $\langle \text{g1cid}_i \rangle$ είναι το αναγνωριστικό της i -οστής συστάδας ορφανών πλανητών στον *πίνακα συστάδων ορφανών πλανητών* του γαλαξία με αναγνωριστικό $\langle \text{gid1} \rangle$ **πριν** την συγχώνευση,
- για κάθε i , $1 \leq i \leq k$, $\langle \text{g2sid}_i \rangle$ είναι το αναγνωριστικό του i -οστού ηλιακού συστήματος στην *λίστα ηλιακών συστημάτων* του γαλαξία με αναγνωριστικό $\langle \text{gid2} \rangle$ **πριν** τη συγχώνευση,
- για κάθε i , $1 \leq i \leq l$, $\langle \text{g2cid}_i \rangle$ είναι το αναγνωριστικό της i -οστής συστάδας ορφανών πλανητών στον *πίνακα συστάδων ορφανών πλανητών* του γαλαξία με αναγνωριστικό $\langle \text{gid2} \rangle$ **πριν** την συγχώνευση,
- για κάθε i , $1 \leq i \leq n+k$, $\langle \text{g3sid}_i \rangle$ είναι το αναγνωριστικό του i -οστού ηλιακού συστήματος στην *λίστα ηλιακών συστημάτων* του γαλαξία με αναγνωριστικό $\langle \text{gid1} \rangle$ **μετά** τη συγχώνευση,
- για κάθε i , $1 \leq i \leq m+l$, $\langle \text{g3cid}_i \rangle$ είναι το αναγνωριστικό της i -οστής συστάδας ορφανών πλανητών στον *πίνακα συστάδων ορφανών πλανητών* του γαλαξία με αναγνωριστικό $\langle \text{gid1} \rangle$ **μετά** τη συγχώνευση.

- **O $\langle \text{oid} \rangle$ $\langle \text{pid} \rangle$:** Γεγονός τύπου *Planet-Orphan Crash* το οποίο σηματοδοτεί τη σύγκρουση του ορφανού πλανήτη με αναγνωριστικό $\langle \text{oid} \rangle$ με τον πλανήτη με αναγνωριστικό $\langle \text{pid} \rangle$. Η σύγκρουση έχει ως αποτέλεσμα την καταστροφή και των δύο πλανητών. Συγκεκριμένα, ο ορφανός πλανήτης με αναγνωριστικό $\langle \text{oid} \rangle$ διαγράφεται από την *λίστα ορφανών πλανητών* της συστάδας πλανητών στην οποία ανήκε, αλλά και ο πλανήτης με αναγνωριστικό $\langle \text{pid} \rangle$ διαγράφεται από τη *λίστα πλανητών* (planets) του ηλιακού συστήματος όπου ανήκε. Κατά τη διαγραφή του πλανήτη από την *λίστα πλανητών* (planets) πρέπει να ενημερωθεί καταλλήλως και το πεδίο distance του επόμενου πλανήτη από τον προς διαγραφή πλανήτη. Μετά το πέρας της εκτέλεσης ενός τέτοιου γεγονότος το πρόγραμμα θα πρέπει να τυπώνει την ακόλουθη πληροφορία:

```

0 <oid> <pid>
  Planets =
    <pid1> : <distance1> : <ppid1> : <npid1>
    <pid2> : <distance2> : <ppid2> : <npid2>
    ...
    <pidn> : <distancen> : <ppidn> : <npidn>
  Orphans = <oid1>, <oid2>, ... <oidm>
DONE

```

όπου n είναι το πλήθος των πλανητών που υπάρχουν στο ηλιακό σύστημα όπου ανήκει ο πλανήτης με αναγνωριστικό $\langle \text{pid} \rangle$, m είναι το πλήθος ορφανών πλανητών στην **λίστα ορφανών πλανητών** της συστάδας ορφανών πλανητών στην οποία ανήκει ο ορφανός πλανήτης με αναγνωριστικό $\langle \text{oid} \rangle$ και:

- για κάθε $i, 1 \leq i \leq n$:
 - $\langle \text{pid}_i \rangle$ είναι το αναγνωριστικό του i -οστού πλανήτη στο ηλιακό σύστημα του γαλαξία με αναγνωριστικό αστεριού-ηλίου $\langle \text{sid} \rangle$,
 - $\langle \text{distance}_i \rangle$ είναι η απόσταση του πλανήτη με αναγνωριστικό $\langle \text{pid}_i \rangle$ από τον προηγούμενο πλανήτη στο ηλιακό σύστημα με αναγνωριστικό αστεριού-ηλίου $\langle \text{sid} \rangle$,
 - $\langle \text{ppid}_i \rangle$ είναι το αναγνωριστικό του προηγούμενου πλανήτη του πλανήτη με αναγνωριστικό $\langle \text{pid}_i \rangle$ στο ηλιακό σύστημα με αναγνωριστικό αστεριού-ηλίου $\langle \text{sid} \rangle$. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει προηγούμενος πλανήτης τυπώνεται η τιμή 0,
 - $\langle \text{npid}_i \rangle$ είναι το αναγνωριστικό του επόμενου πλανήτη του πλανήτη με αναγνωριστικό $\langle \text{pid}_i \rangle$ στο ηλιακό σύστημα με αναγνωριστικό αστεριού-ηλίου $\langle \text{sid} \rangle$. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει επόμενος πλανήτης τυπώνεται η τιμή 0,
- για κάθε $i, 1 \leq i \leq m$, $\langle \text{oid}_i \rangle$ είναι το αναγνωριστικό του i -οστού ορφανού πλανήτη στην **λίστα ορφανών πλανητών** της συστάδας ορφανών πλανητών όπου ανήκει ο ορφανός πλανήτης με αναγνωριστικό $\langle \text{oid} \rangle$.

- **L $\langle \text{pid} \rangle$:** Γεγονός τύπου *Lookup Planet* το οποίο σηματοδοτεί την αναζήτηση του πλανήτη με αναγνωριστικό $\langle \text{pid} \rangle$ στο σύμπαν. Μετά το πέρας της εκτέλεσης ενός τέτοιου γεγονότος το πρόγραμμα θα πρέπει να τυπώνει την ακόλουθη πληροφορία:

```

L <pid>
  <gid> : <sid> : <distance> : <ppid> : <npid>
DONE

```

όπου:

- $\langle \text{sid} \rangle$ είναι το αναγνωριστικό του ηλιακού συστήματος στο οποίο ανήκει ο πλανήτης με αναγνωριστικό $\langle \text{pid} \rangle$,
- $\langle \text{gid} \rangle$ είναι το αναγνωριστικό του γαλαξία στον οποίο βρίσκεται το ηλιακό σύστημα με αναγνωριστικό $\langle \text{sid} \rangle$,
- $\langle \text{distance} \rangle$ είναι η απόσταση του πλανήτη με αναγνωριστικό $\langle \text{pid} \rangle$ από τον προηγούμενο πλανήτη στο ηλιακό του σύστημα,
- $\langle \text{ppid} \rangle$ είναι το αναγνωριστικό του προηγούμενου πλανήτη του πλανήτη με αναγνωριστικό $\langle \text{pid} \rangle$ στο ηλιακό σύστημα. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει προηγούμενος πλανήτης τυπώνεται η τιμή 0,

- $\langle npid \rangle$ είναι το αναγνωριστικό του επόμενου πλανήτη του πλανήτη με αναγνωριστικό $\langle pid \rangle$ στο ηλιακό σύστημα. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει επόμενος πλανήτης τυπώνεται η τιμή 0.

Προσοχή: Τα αναγνωριστικά των προηγούμενων και επόμενων πλανητών θα πρέπει να προσβαίνονται μέσω των πεδίων `previous` και `next` του πλανήτη με αναγνωριστικό $\langle pid \rangle$.

- **F $\langle pid \rangle$ $\langle distance \rangle$:** Γεγονός τύπου *Find in Range* το οποίο σηματοδοτεί την αναζήτηση όλων των πλανητών σε ακτίνα $\langle distance \rangle$ km από τον πλανήτη με αναγνωριστικό $\langle pid \rangle$. Οι πλανήτες αυτοί θα πρέπει να βρίσκονται στο ίδιο ηλιακό σύστημα με τον πλανήτη με αναγνωριστικό $\langle pid \rangle$ που χρησιμοποιείται ως σημείο αναφοράς. Μετά το πέρας της εκτέλεσης ενός τέτοιου γεγονότος το πρόγραμμα θα πρέπει να τυπώνει την ακόλουθη πληροφορία:

```
F  $\langle pid \rangle$   $\langle distance \rangle$ 
   $\langle pid_1 \rangle$  :  $\langle distance_1 \rangle$  :  $\langle ppid_1 \rangle$  :  $\langle npid_1 \rangle$ 
   $\langle pid_2 \rangle$  :  $\langle distance_2 \rangle$  :  $\langle ppid_2 \rangle$  :  $\langle npid_2 \rangle$ 
  ...
   $\langle pid_n \rangle$  :  $\langle distance_n \rangle$  :  $\langle ppid_n \rangle$  :  $\langle npid_n \rangle$ 
DONE
```

όπου n είναι το πλήθος των πλανητών που βρέθηκαν σε ακτίνα $\langle distance \rangle$ km από τον πλανήτη με αναγνωριστικό $\langle pid \rangle$ και για κάθε i , $1 \leq i \leq n$:

- $\langle pid_i \rangle$ είναι το αναγνωριστικό του i -οστού πλανήτη που βρέθηκε,
- $\langle distance_i \rangle$ είναι η απόσταση του πλανήτη με αναγνωριστικό $\langle pid_i \rangle$ από τον προηγούμενο πλανήτη στο ηλιακό σύστημα,
- $\langle ppid_i \rangle$ είναι το αναγνωριστικό του προηγούμενου πλανήτη του πλανήτη με αναγνωριστικό $\langle pid_i \rangle$ στο ηλιακό σύστημα. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει προηγούμενος πλανήτης τυπώνεται η τιμή 0,
- $\langle npid_i \rangle$ είναι το αναγνωριστικό του επόμενου πλανήτη του πλανήτη με αναγνωριστικό $\langle pid_i \rangle$ στο ηλιακό σύστημα. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει επόμενος πλανήτης τυπώνεται η τιμή 0.

Προσοχή: Τα αναγνωριστικά των προηγούμενων και επόμενων πλανητών θα πρέπει να προσβαίνονται μέσω των πεδίων `previous` και `next` του πλανήτη με αναγνωριστικό $\langle pid_i \rangle$.

- **H $\langle sid \rangle$:** Γεγονός τύπου *Print Solar* το οποίο σηματοδοτεί την εκτύπωση όλων των πλανητών στο ηλιακό σύστημα με αναγνωριστικό $\langle sid \rangle$. Μετά το πέρας της εκτέλεσης ενός τέτοιου γεγονότος το πρόγραμμα θα πρέπει να τυπώνει την ακόλουθη πληροφορία:

```
H  $\langle sid \rangle$ 
  Planets =
     $\langle pid_1 \rangle$  :  $\langle distance_1 \rangle$  :  $\langle ppid_1 \rangle$  :  $\langle npid_1 \rangle$ 
     $\langle pid_2 \rangle$  :  $\langle distance_2 \rangle$  :  $\langle ppid_2 \rangle$  :  $\langle npid_2 \rangle$ 
    ...
     $\langle pid_n \rangle$  :  $\langle distance_n \rangle$  :  $\langle ppid_n \rangle$  :  $\langle npid_n \rangle$ 
  DONE
```

όπου n είναι το πλήθος των πλανητών στο ηλιακό σύστημα με αναγνωριστικό $\langle sid \rangle$ και για κάθε i , $1 \leq i \leq n$:

- $\langle pid_i \rangle$ είναι το αναγνωριστικό του i -οστού πλανήτη που βρέθηκε,

- $\langle distance_i \rangle$ είναι η απόσταση του πλανήτη με αναγνωριστικό $\langle pid_i \rangle$ από τον προηγούμενο πλανήτη στο ηλιακό σύστημα,
- $\langle rpid_i \rangle$ είναι το αναγνωριστικό του προηγούμενου πλανήτη του πλανήτη με αναγνωριστικό $\langle pid_i \rangle$ στο ηλιακό σύστημα. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει προηγούμενος πλανήτης τυπώνεται η τιμή 0,
- $\langle npid_i \rangle$ είναι το αναγνωριστικό του επόμενου πλανήτη του πλανήτη με αναγνωριστικό $\langle pid_i \rangle$ στο ηλιακό σύστημα. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει επόμενος πλανήτης τυπώνεται η τιμή 0.

Προσοχή: Τα αναγνωριστικά των προηγούμενων και επόμενων πλανητών θα πρέπει να προσβαίνονται μέσω των πεδίων `previous` και `next` του πλανήτη με αναγνωριστικό pid_i .

- **I $\langle cid \rangle$:** Γεγονός τύπου *Print Orphan Cluster* το οποίο σηματοδοτεί την εκτύπωση όλων των ορφανών πλανητών στην συστάδα ορφανών πλανητών με αναγνωριστικό $\langle cid \rangle$. Μετά το πέρας της εκτέλεσης ενός τέτοιου γεγονότος το πρόγραμμα θα πρέπει να τυπώνει την ακόλουθη πληροφορία:

```
I <cid>
  Orphans =
    <pid1> : <rpid1> : <npid1>
    <pid2> : <rpid2> : <npid2>
    ...
    <pidn> : <rpidn> : <npidn>
DONE
```

όπου n είναι το πλήθος των ορφανών πλανητών που βρέθηκαν στη συστάδα ορφανών πλανητών με αναγνωριστικό $\langle cid \rangle$ και για κάθε i , $1 \leq i \leq n$:

- $\langle pid_i \rangle$ είναι το αναγνωριστικό του i -οστού ορφανού πλανήτη στη συστάδα,
- $\langle rpid_i \rangle$ είναι το αναγνωριστικό του προηγούμενου ορφανού πλανήτη του ορφανού πλανήτη με αναγνωριστικό $\langle pid_i \rangle$ στην συστάδα. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει προηγούμενος ορφανός πλανήτης τυπώνεται η τιμή 0,
- $\langle npid_i \rangle$ είναι το αναγνωριστικό του επόμενου ορφανού πλανήτη του ορφανού πλανήτη με αναγνωριστικό $\langle pid_i \rangle$ στην συστάδα. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει επόμενος ορφανός πλανήτης τυπώνεται η τιμή 0.

Προσοχή: Τα αναγνωριστικά των προηγούμενων και επόμενων ορφανών πλανητών θα πρέπει να προσβαίνονται μέσω των πεδίων `previous` και `next` του πλανήτη με αναγνωριστικό pid_i .

- **J $\langle gid \rangle$:** Γεγονός τύπου *Print Galaxy* το οποίο σηματοδοτεί την εκτύπωση όλων των ηλιακών συστημάτων στον γαλαξία με αναγνωριστικό $\langle gid \rangle$. Μετά το πέρας της εκτέλεσης ενός τέτοιου γεγονότος το πρόγραμμα θα πρέπει να τυπώνει την ακόλουθη πληροφορία:

```

J <gid>
  Solars =
  H <sid1>
  H <sid2>
  ...
  H <sidn>

  Orphan planets clusters =
  I <cid1>
  I <cid2>
  ...
  I <cidm>
DONE

```

όπου n είναι το πλήθος των ηλιακών συστημάτων στον γαλαξία με αναγνωριστικό $\langle \text{gid} \rangle$, m είναι το πλήθος των συστάδων ορφανών πλανητών στον γαλαξία με αναγνωριστικό $\langle \text{gid} \rangle$, για κάθε j , $1 \leq j \leq n$:

- sid_j είναι το αναγνωριστικό του j -οστού ηλιακού συστήματος στον γαλαξία με αναγνωριστικό $\langle \text{gid} \rangle$,
- όπου $H \langle \text{sid}_j \rangle$ τυπώνεται η πληροφορία που θα τυπωνόταν αν εκτελούνταν το γεγονός *Print Solar* με παράμετρο sid_j

και για κάθε i , $1 \leq i \leq m$:

- cid_i είναι το αναγνωριστικό της i -οστής συστάδας ορφανών πλανητών στον γαλαξία με αναγνωριστικό $\langle \text{gid} \rangle$,
- όπου $I \langle \text{cid}_i \rangle$ τυπώνεται η πληροφορία που θα τυπωνόταν αν εκτελούνταν το γεγονός *Print Orphan Cluster* με παράμετρο cid_i .

- **U:** Γεγονός τύπου *Print Universe* το οποίο σηματοδοτεί την εκτύπωση όλων των γαλαξιών στο σύμπαν. Μετά το πέρας της εκτέλεσης ενός τέτοιου γεγονότος το πρόγραμμα θα πρέπει να τυπώνει την ακόλουθη πληροφορία:

```

U
  J <gid1>
  J <gid2>
  ...
  J <gidn>
DONE

```

όπου n είναι το πλήθος των γαλαξιών στο σύμπαν και για κάθε i , $1 \leq i \leq n$:

- $\langle \text{gid}_i \rangle$ είναι το αναγνωριστικό του i -οστού γαλαξία στο σύμπαν,
- όπου $J \langle \text{gid}_i \rangle$ τυπώνεται η πληροφορία που θα τυπωνόταν αν εκτελούνταν το γεγονός *Print Galaxy* με παράμετρο $\langle \text{gid}_i \rangle$.

ΓΕΓΟΝΟΤΑ BONUS

- **[Bonus, 10%] C <cid1> <cid2> <cid3>**: Γεγονός τύπου *Planet-Orphans Cluster Crash* το οποίο σηματοδοτεί τη σύγκρουση της συστάδας ορφανών πλανητών με αναγνωριστικό <cid1> με ένα μεγάλο πλανήτη. Η σύγκρουση έχει ως αποτέλεσμα το διαχωρισμό της συστάδας ορφανών πλανητών με αναγνωριστικό <cid1> σε δύο νέες συστάδες ορφανών πλανητών με αναγνωριστικά <cid2> (για την πρώτη) και <cid3> (για τη δεύτερη). Ο διαχωρισμός γίνεται βάσει του <pid> των ορφανών πλανητών της συστάδας με αναγνωριστικό <cid1>, έτσι ώστε στη νέα συστάδα ορφανών πλανητών με αναγνωριστικό <cid2> τοποθετούνται οι ορφανοί πλανήτες με ζυγό <pid>, ενώ σε εκείνη με αναγνωριστικό <cid3> τοποθετούνται οι ορφανοί πλανήτες με μονό <pid>. Μετά τη σύγκρουση και το διαχωρισμό θα πρέπει να διαγράφεται η **λίστα ορφανών πλανητών** με αναγνωριστικό <cid1> από τον **πίνακα συστάδων ορφανών πλανητών** και να εισάγονται οι νέες **λίστες ορφανών πλανητών** με αναγνωριστικά <cid2> και <cid3>. Ο πλανήτης δεν επηρεάζεται από τη σύγκρουση. Μετά το πέρας της εκτέλεσης ενός τέτοιου γεγονότος το πρόγραμμα θα πρέπει να τυπώνει την ακόλουθη πληροφορία:

```
C <cid1> <cid2> <cid3>
Orphans = <oid1>, <oid2>, ... <oidm>
OrphansC =
    <cid1> = <C1_oid1>, <C1_oid2>, ... <C1_oidn1>
    <cid2> = <C2_oid1>, <C2_oid2>, ... <C2_oidn2>
    ...
    <cidk> = <Ck_oid1>, <Ck_oid2>, ... <Ck_oidnk>
DONE
```

όπου m είναι το πλήθος των ορφανών πλανητών στην **λίστα ορφανών πλανητών** της συστάδας ορφανών πλανητών με αναγνωριστικό <cid1> **πριν** τον διαχωρισμό, k είναι το πλήθος των συστάδων ορφανών πλανητών στον **πίνακα συστάδων ορφανών πλανητών** του γαλαξία όπου ανήκε η συστάδα ορφανών πλανητών με αναγνωριστικό <cid1> και:

- για κάθε i , $1 \leq i \leq m$, <oid _{i} > είναι το αναγνωριστικό του i -οστού ορφανού πλανήτη στην **λίστα ορφανών πλανητών** της συστάδας ορφανών πλανητών με αναγνωριστικό <cid1> **πριν** από το διαχωρισμό,
- για κάθε j , $1 \leq j \leq k$:
 - <cid _{j} > είναι το αναγνωριστικό της συστάδας ορφανών πλανητών του γαλαξία όπου ανήκε η συστάδα ορφανών πλανητών με αναγνωριστικό <cid1>,
 - για κάθε i , $1 \leq i \leq n_j$, <Cj_oid _{i} > είναι το αναγνωριστικό του i -οστού ορφανού πλανήτη στην συστάδα ορφανών πλανητών με αναγνωριστικό <cid _{j} >.

- **[Bonus, 5%] E**: Γεγονός τύπου *End of World* το οποίο σηματοδοτεί την συντέλεια του κόσμου. Η συντέλεια του κόσμου έχει ως αποτέλεσμα τη διαγραφή όλων των δομών δεδομένων που χρησιμοποιούνται από το πρόγραμμα. Μετά το πέρας της εκτέλεσης ενός τέτοιου γεγονότος το πρόγραμμα θα πρέπει να τυπώνει την ακόλουθη πληροφορία:

```
E DONE
```

Δομές Δεδομένων

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι δομές σε C που πρέπει να χρησιμοποιηθούν για την υλοποίηση της παρούσας εργασίας.

```

////////////////////////////////////
//                               Declaring the needed structures
////////////////////////////////////
typedef struct galaxy   galaxy_t;
typedef struct solar    solar_t;
typedef struct planet   planet_t;
typedef struct ocluster ocluster_t;

////////////////////////////////////
//                               Defining the needed structures
////////////////////////////////////

/**
 * Structure defining a node of the planets list (lista planitwn)
 */
struct ocluster {
    int      cid;                /**< The orphan cluster identifier > 0 */
    planet_t *orphans;          /**< Pointer to the first node in the
                                * orphan planets list
                                * (lista orfanwn planitwn) */
};

/**
 * Structure defining a node of the galaxies array (pinakas gala3iwn)
 */
struct galaxy {
    int      gid;                /**< The galaxy identifier. >0 */
    solar_t  *solars;           /**< Pointer to first element in
                                * solar systems list (lista iliakwn
                                * sistimatwn) */
    ocluster_t oclusters[MAX_ORPHAN_CLUSTERS]; /**< The orphan clusters array
                                * pinakas sistadwn orfanwn planitwn */
    solar_t  *ssentinel;        /**< Pointer to the sentinel node
                                * (komvo frouro) of solar systems
                                * list (lista iliakwn sistimatwn) */
    int      index;             /**< Index to first free position in
                                * the galaxies array, the use of
                                * this field is optional */
};

/**
 * Structure defining a node of the solar systems list (lista iliakwn sistimatwn)
 */
struct solar {
    int      sid;                /**< Solar system identifier. >0 */
    planet_t *planets;          /**< Pointer to first node in
                                * planets list (lista planitwn) */
    solar_t  *next;             /**< Pointer to next node in
                                * solar systems list
                                * (lista iliakwn sistimatwn) */
};

```

```
/**
 * Structure defining a node of the planets list (lista planitwn)
 */
struct planet {
    int      pid;           /**< Planet identifier. >0 */
    int      distance;      /**< Distance from previous
                             * planet in this planets list */
    planet_t *previous;     /**< Pointer to previous node in
                             * planets list (lista planitwn) */
    planet_t *next;        /**< Pointer to next node in
                             * planets list (lista planitwn) */
};

// For simplicity we define the Galaxies array as a global variable
galaxy_t Galaxies[MAX_GALAXIES];      /**< The galaxies array (pinakas gala3iwn).
                                         * This is an array of lists */
```

Συμβουλές

Για λόγους ευκολότερης αποσφαλμάτωσης του κώδικα που θα δημιουργήσετε, συνίσταται ισχυρά κατά την διαγραφή κόμβων να αναθέτετε την τιμή NULL στους δείκτες του προς διαγραφή στοιχείου. Ακόμη συνίσταται να ανατίθεται την τιμή INT_MAX στα υπόλοιπα πεδία του κόμβου που είναι τύπου (int).