Παράλληλη Επεξεργασία
Κεφάλαιο 8ο
Προγράμματα Περάσματος Μηνυμάτων

Κωνσταντίνος Μαργαρίτης
Καθηγητής
Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής
Πανεπιστήμιο Μακεδονίας
kmarg@uom.gr
http://eos.uom.gr/~kmarg

Αρετή Καπτάν
Υποψήφια Διδάκτορας
Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής
Πανεπιστήμιο Μακεδονίας
areti@uom.gr
http://eos.uom.gr/~areti

Χαρακτηριστικά της Multi-Pascal για Συστήματα Κατανεμημένης Μνήμης (Μέρ.Ι)

- Κάθε διεργασία έχει τοπικές μόνο μεταβλητές (τοπική μνήμη)
- Πέρασμα μηνυμάτων μεταξύ διεργασιών μέσω των θυρών επικοινωνίας (μεταβλητές κανάλια)
- Μόνο μια διεργασία μπορεί να λαμβάνει δεδομένα από μια θύρα επικοινωνίας

Χαρακτηριστικά της Multi-Pascal για Συστήματα Κατανεμημένης Μνήμης (Μέρ.ΙΙ)

- Οι μεταβλητές του κυρίως προγράμματος είναι τοπικές (δε διαμοιράζονται)
- Μηνύματα που στέλνονται από μία αφετηρία προς το ίδιο προορισμό θα φτάσουν με την ίδια σειρά που στέλνονται (δεν ισχύει για διαφορετικές αφετηρίες)

Δυνατότητες της MPWin

- Καθορισμός κατανεμημένης τοπολογίας
- Ορισμός του πλήθους των επεξεργαστών
- Παραμετροποίηση της βασικής καθυστέρησης επικοινωνίας (communication link delay)
- Ενεργοποίηση παραμέτρου συμφόρησης του δικτύου επικοινωνίας (congestion)
- Ανάθεση των διεργασιών σε επεξεργαστές (@)

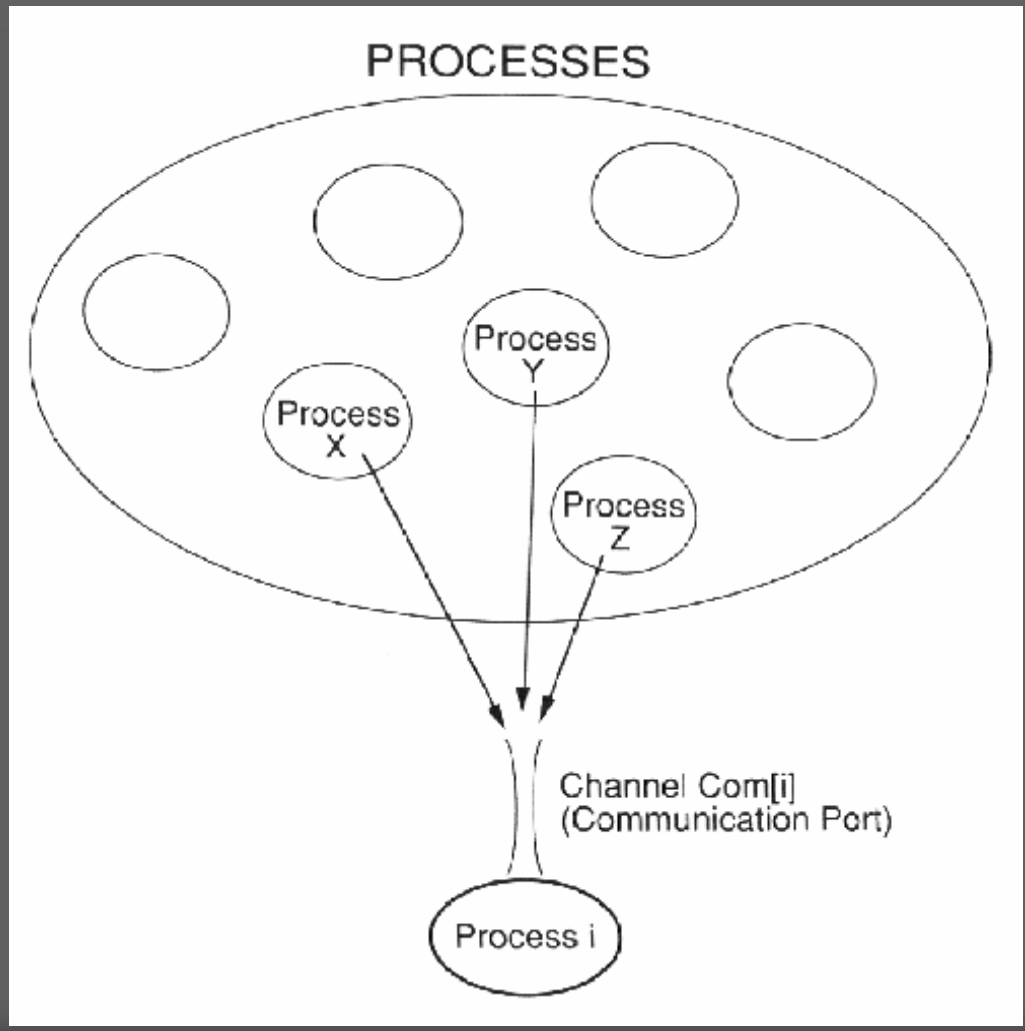
Θύρες Επικοινωνίας

ΥΛΙΚΟ	ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ
Επεξεργαστής	Διεργασία
Φυσικός σύνδεσμος επικοινωνίας	Κανάλι

Κανάλια Επικοινωνίας

- Το άκρο του καναλιού συνδέεται με μια συγκεκριμένη διεργασία
- Η δρομολόγηση/προώθηση των μηνυμάτων κρύβονται από τον προγραμματιστή
- Η καθυστέρηση επικοινωνίας εξαρτάται από:
  - την τοπολογία και
  - τα χαρακτηριστικά της απόδοσης του συστήματος
- Τα μηνύματα που στέλνονται από την ίδια αφετηρία προς τον ίδιο προορισμό θα φτάσουν με την σειρά που στάλθηκαν. Δεν ισχύει για διαφορετικές αφετηρίες

Κανάλια επικοινωνίας στη Multi-Pascal



Δήλωση Θύρας Επικοινωνίας Σε Πρόγραμμα

```
(*Κανάλια επικοινωνίας*)
VAR Com: ARRAY [1..30] OF CHANNEL OF INTEGER;
   ...
PROCEDURE Process(i: INTEGER);
VAR        invalue, outvalue, k: INTEGER;
...
BEGIN
   ...
   invalue:= Com[i];   (*Διαβάζει από τη δική μου θύρα επικοινωνίας*)
   ...
   Com[k]:= outvalue;    (*Στέλνει την "outvalue" στη διεργασία k*)
   ..
END;

BEGIN
...
FORALL i:= 1 to 30 DO
   (PORT Com[i]) Process(i);
...
END.
```

Διαφορές Μεταξύ Καναλιού (ΠΣΔΜ) Και Θύρας Επικοινωνίας (ΠΣΚΜ)

Χαρακτηριστικά της θύρας επικοινωνίας:

- μπορεί να έχει πολλούς συγγραφείς, αλλά μόνο ένα αναγνώστη
- αν η διεργασία i εκτελείται στον επεξεργαστή i, τότε το κανάλι Com[i] είναι αποθηκευμένο στην τοπική μνήμη του επεξεργαστή i
- η λειτουργία εγγραφής δεν αναστέλλει τη διεργασία-συγγραφέα
- η μετάδοση έχει πραγματική καθυστέρηση βάσει της τοπολογίας και της σχετικής θέσης του καναλιού προορισμού

Τεχνικές Επικοινωνίας ΠΣΚΜ

- Σύγχρονη επικοινωνία:
  - ανασταλτική για τη διεργασία συγγραφέας
  - μη απομονωμένη (non-buffered)
  - ανασταλτική για τη διεργασία αναγνώστης
- Ασύγχρονη επικοινωνία:
  - μη ανασταλτική για τη διεργασία συγγραφέας
  - απομονωμένη (buffered)
  - ανασταλτική για τη διεργασία αναγνώστης

Η Multi-Pascal υποστηρίζει ασύγχρονη επικοινωνία διεργασιών

Ασύγχρονη Επικοινωνία Σε Παράλληλες Γλώσσες Και Σε Multi-Pascal

```
Writer Process executes:
        Send(processor_number, process_number, message_pointer);

Reader Process executes:
        Receive(message_pointer);
```

Multi Pascal

```
Writer Process:
        Com[i]:= message;        (*Αποστολή στη διεργασία i*)

Reader Process:
        message:= Com[i];        (*Λήψη μηνύματος*)
```

Σύγχρονη Επικοινωνία Σε Παράλληλες Γλώσσες

```
Writer Process executes:
        Send(link_number, message_pointer);

Reader Process executes:
        Receive(link_number, message_pointer);
```

Γλωσσική Υποστήριξη Προγραμματισμού Περάσματος Μηνυμάτων

- Η δήλωση Port
- Παράμετροι Διαδικασίας (παράμετρος τιμής/διεύθυνσης)
- Ο τελεστής @ για την ανάθεση διεργασίας σε επεξεργαστή

Η δήλωση Port

- Σύνταξη της εντολής Port:
  - `(PORT <channel-list>)<statement>;`
- Παραδείγματα:

```
VAR C: CHANNEL OF CHAR;
archan: ARRAY [1..10] OF CHANNEL OF INTEGER;
```

  - `( PORT C )`
  - `( PORT archan[2] )`
  - `( PORT archan )`

```
VAR A: ARRAY [1..10, 1..20] OF CHANNEL OF REAL;
```

  - `( PORT A[3,4] )`
  - `( PORT A[1,1]; A[2,3] )`
  - `( PORT A )`
  - `( PORT A[2] )`

Επικοινωνία Με Το Κυρίως Πρόγραμμα

- Κατανομή αρχικών δεδομένων στις διεργασίες-παιδιά $\Rightarrow$ παράμετροι τιμής σε διαδικασία (Value Parameters)
- Συλλογή τελικών αποτελεσμάτων από τις διεργασίες-παιδιά $\Rightarrow$ παράμετροι απομακρυσμένης διεύθυνσης σε διαδικασία (Remote Var Parameters)

Κατανομή Αρχικών Δεδομένων στις Διεργασίες

```
PROGRAM Message-Passing;
CONST n= ...; (*Αριθμός των διεργασιών*)
TYPE     datatype= ARRAY [1..m] OF REAL;
VAR      inchan: ARRAY [1..n] OF CHANNEL OF INTEGER;
         i: INTEGER;
         inputdata: ARRAY [1..n] OF datatype; (*Πρωταρχικός πίνακας δεδομένων*)
         ....

PROCEDURE Process(i: INTEGER; mydata: datatype);
VAR x: REAL;
... (*Άλλες τοπικές μεταβλητές για τη διεργασία*)
BEGIN
    ...
END;

BEGIN (*Κυρίως πρόγραμμα*)
   ... (*Ανάγνωση των αρχικών τιμών για τον πίνακα inputdata*)
   FORALL i:= 1 TO n DO (*Δημιουργία των διεργασιών*)
      (PORT inchan[i]) Process(i, inputdata[i]);
         ...
END.
```

Επικοινωνία Διεργασιών Με Το Κυρίως Πρόγραμμα

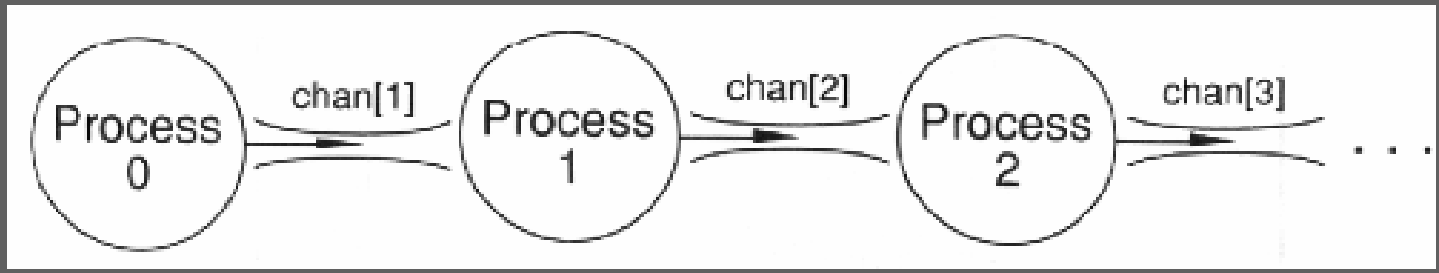
```
PROGRAM Message-Passing;
CONST n= ...; (*Αριθμός των διεργασιών*)
TYPE        datatype= ARRAY [1..m] OF REAL;
VAR         inchan: ARRAY [1..n] OF CHANNEL OF INTEGER;
            i: INTEGER;
            inputdata: ARRAY [1..n] OF datatype; (*Πρωταρχικός πίνακας δεδομένων*)
            outputdata: ARRAY [1..n] OF REAL; (*Τελικά υπολογισμένα αποτελέσματα*)
            ....
PROCEDURE Process(i: INTEGER; in: datatype; VAR out: REAL);
VAR x: REAL;
... (*Άλλες τοπικές μεταβλητές για τη διεργασία*)
BEGIN
     ... (*Υπολογισμός του τελευταίου αποτελέσματος "x"*)
    out:= x; (*Αντιγραφή των τελικών αποτελεσμάτων πίσω στο κυρίως πρόγραμμα*)
END;

BEGIN (*Κυρίως πρόγραμμα*)
    ... (*Ανάγνωση των αρχικών τιμών για τον πίνακα inputdata*)
    FORALL i:= 1 TO n DO (*Δημιουργία των διεργασιών*)
        (PORT inchan[i]) Process(i, inputdata[i], outputdata[i]);
            ...
END.
```

Ο τελεστής @ για την ανάθεση διεργασίας σε επεξεργαστή

- Σύνταξη του τελεστή @:
  - `(@ <expression>)<statement>;`
  - `(@ <expression> PORT <channel_list>) <statement>;`
- Παραδείγματα:
  - `FORK ( @3 ) Expand;`
  - `FORK ( @i ) Filter(outchan);`
  - `FORK ( @i*10+j ) Compute(i);`
  - `FORALL i:= 1 TO 50 DO ( @ i-1 ) Compute(i);`
  - `FORALL j:= 1 TO 10 DO ( @ j ) Process(j, A[j]);`
  - `FORK (@ %Self+1 ) Filter(outchan);`
  - `FORK ( @ %Self+10 ) Point(i, j);`

Διασωλήνωση Διεργασιών



Παράλληλο Πρόγραμμα Ταξινόμησης με Εισαγωγή (Ι)

```
PROGRAM InsertionSort;
ARCHITECTURE FULLCONNECT(101); (*Πλήρως Συνδεδεμένη τοπολογία*)
CONST n=100;
VAR  list, sorted: ARRAY [1..n] OF INTEGER;
            pipechan: ARRAY [1..n] OF CHANNEL OF INTEGER;
            j, k: INTEGER;

PROCEDURE Pipeprocess(me: INTEGER; VAR sorteditem: INTEGER);
VAR internal, newitem, I: INTEGER;
BEGIN
  internal := pipechan[me];
       FOR i:= 1 to n-me DO
            BEGIN
                 newitem:= pipechan[me];
                 IF newitem < internal THEN
                      BEGIN
                           pipechan[me+1]:= internal;
                           internal:= newitem;
                      END
                 ELSE pipechan[me+1]:= newitem;
            END;
       sorteditem:= internal;
END;

BEGIN
...
(* initilization of List *)
 FOR j:= 1 TO n DO
       FORK ( PORT pipechan[j] ) Pipeprocess(j, sorted[j]);
FOR k:= 1 TO n DO
       pipechan[1]:= list[k];
 ...
END.
```

Παράλληλο Πρόγραμμα Ταξινόμησης με Εισαγωγή (II)

```
PROGRAM InsertionSort;
ARCHITECTURE LINE(101); (*Τοπολογία Γραμμής*)
CONST n=100;
VAR  list, sorted: ARRAY [1..n] OF INTEGER;
            pipechan: ARRAY [1..n] OF CHANNEL OF INTEGER;
            j, k: INTEGER;

PROCEDURE Pipeprocess(me: INTEGER; VAR sorteditem: INTEGER);
VAR internal, newitem, I: INTEGER;
BEGIN
  internal := pipechan[me];
       FOR i:= 1 to n-me DO
            BEGIN
                 newitem:= pipechan[me];
                 IF newitem < internal THEN
                      BEGIN
                           pipechan[me+1]:= internal;
                           internal:= newitem;
                      END
                 ELSE pipechan[me+1]:= newitem;
            END;
       sorteditem:= internal;
END;

BEGIN
...
(* initilization of List *)
 FOR j:= 1 TO n DO
       FORK ( @j PORT pipechan[j] ) Pipeprocess(j, sorted[j]);
FOR k:= 1 TO n DO
       pipechan[1]:= list[k];
 ...
END.
```

Συμβάντα που προκαλούν την Αποστολή Μηνύματος

- Εγγραφή σε ένα κανάλι επικοινωνίας
- Δημιουργία μίας νέας διεργασίας
- Εγγραφή σε μια παράμετρο απομακρυσμένης διεύθυνσης
- Τερματισμός διεργασίας

Παράγοντες δημιουργίας της Καθυστέρησης Επικοινωνίας

- Τοπολογία συστήματος κατανεμημένης μνήμης
- φυσικά χαρακτηριστικά δικτύου επικοινωνίας
- τρέχουσα κυκλοφορία μηνυμάτων στο δίκτυο

Υπολογισμός της Καθυστέρησης Επικοινωνίας

- P αμελητέο:

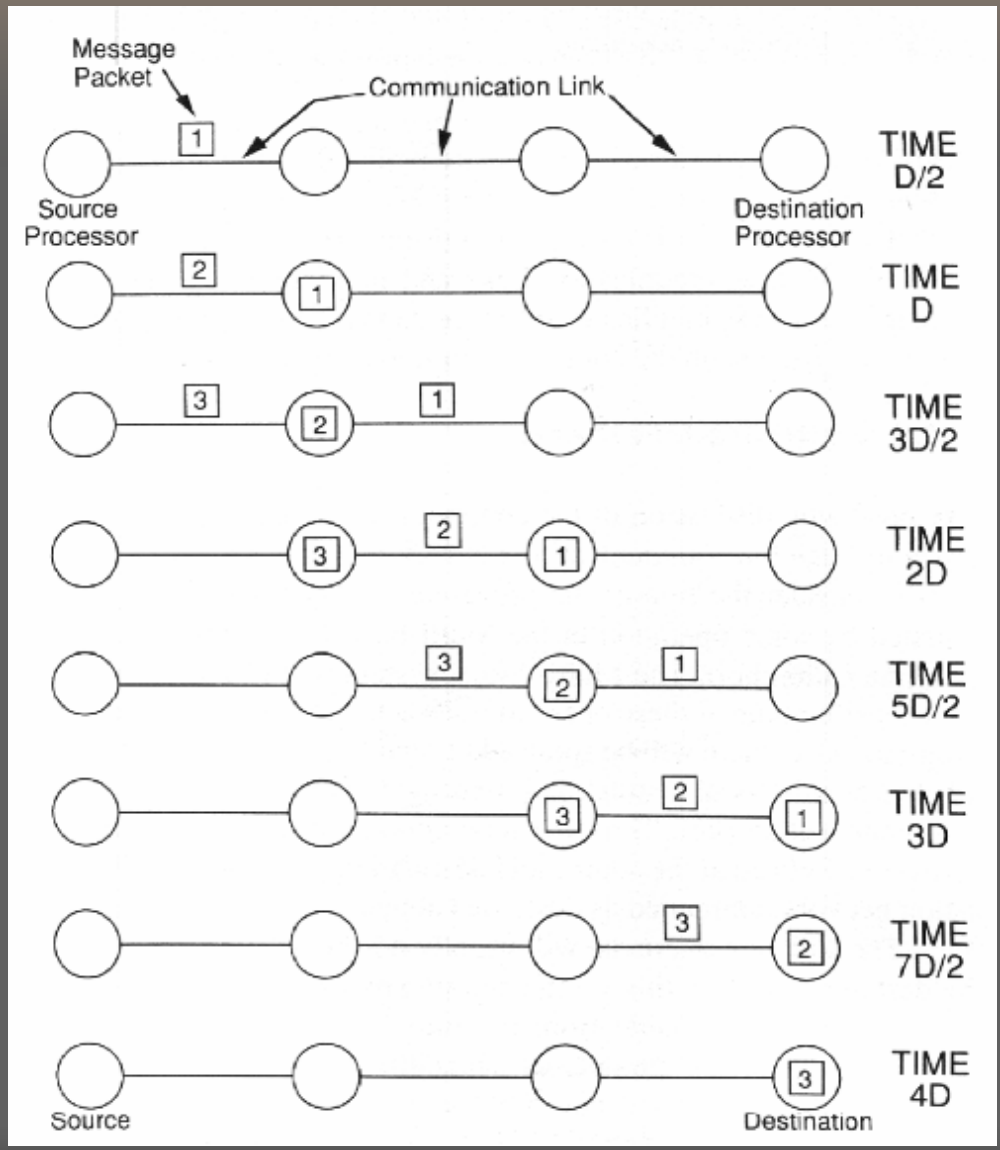
$$(m + k - 1)\, T$$

- P υπολογίσιμο:

$$m\,(T + P) + (k - 1)\max(T, P)$$

$$\left(m + \frac{k-1}{2}\right) D$$

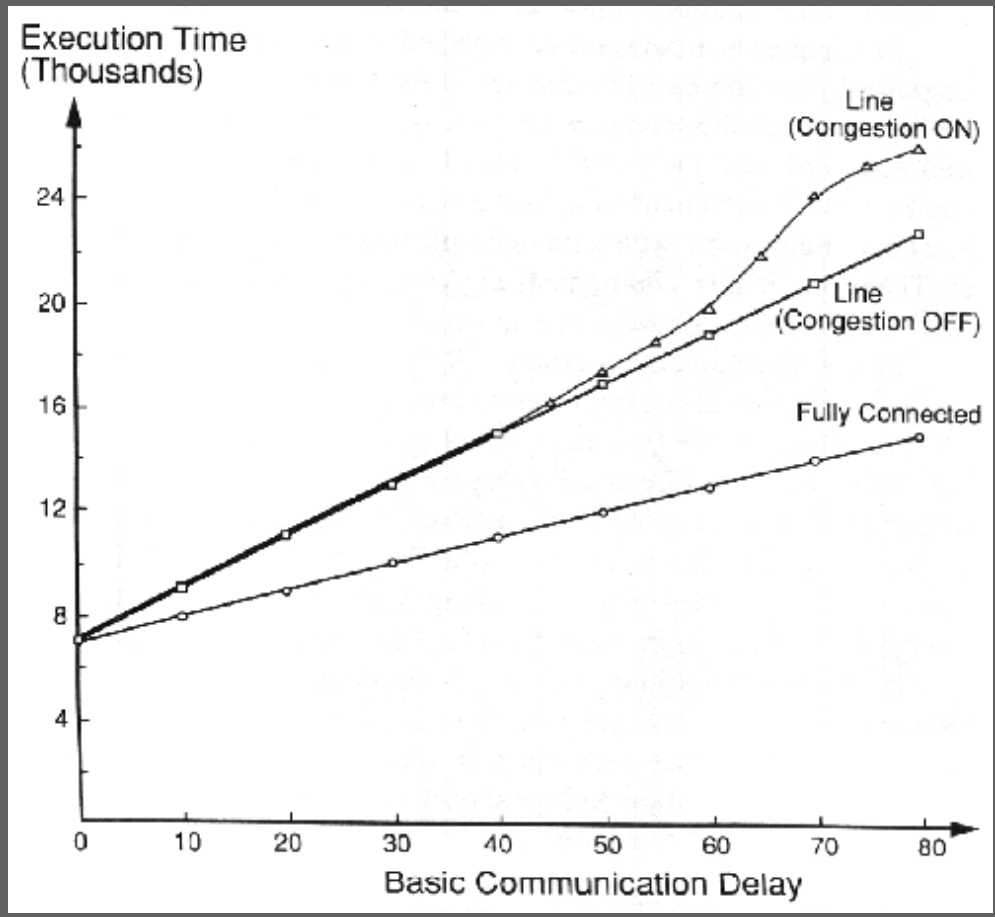
Αποστολή μηνύματος με πολλά πακέτα

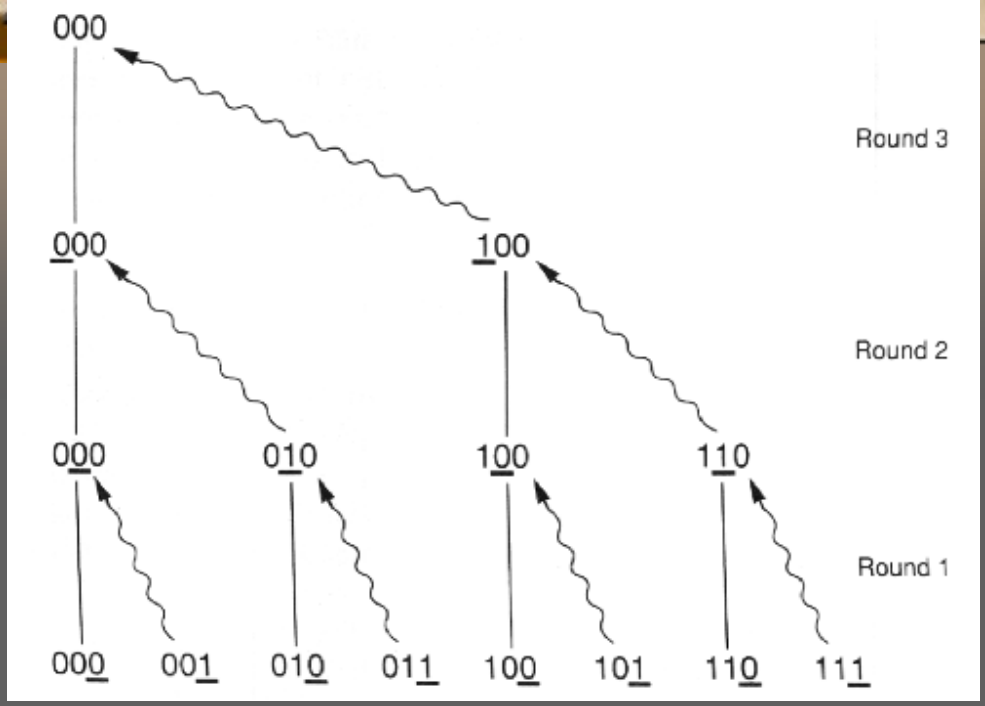


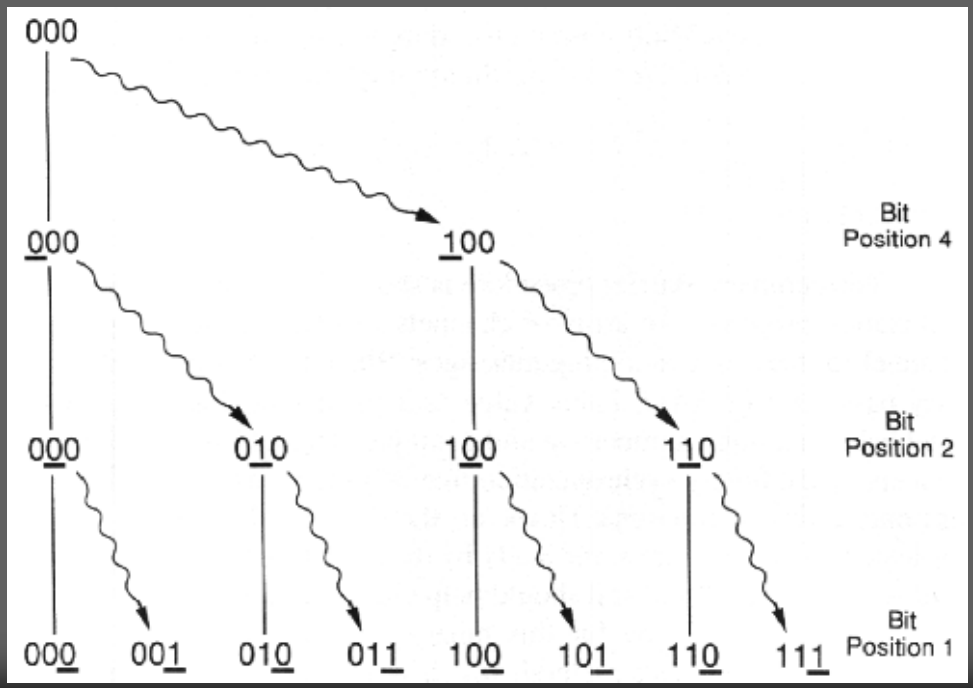
Επιβάρυνση Λογισμικού

- στον επεξεργαστή αφετηρίας
- στον επεξεργαστή προορισμού
- στο δίκτυο επικοινωνίας

Απόδοση της Ταξινόμησης με Εισαγωγή





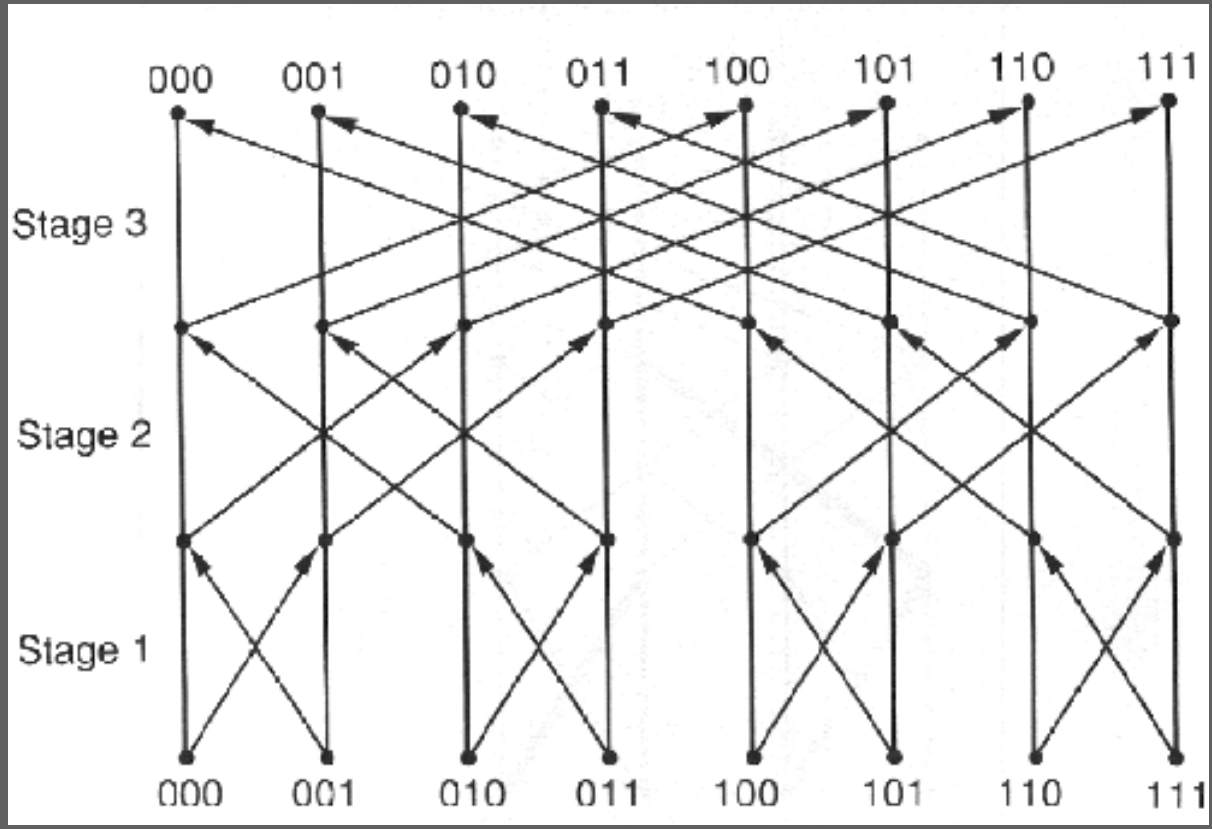


Τεχνική του Τουρνουά

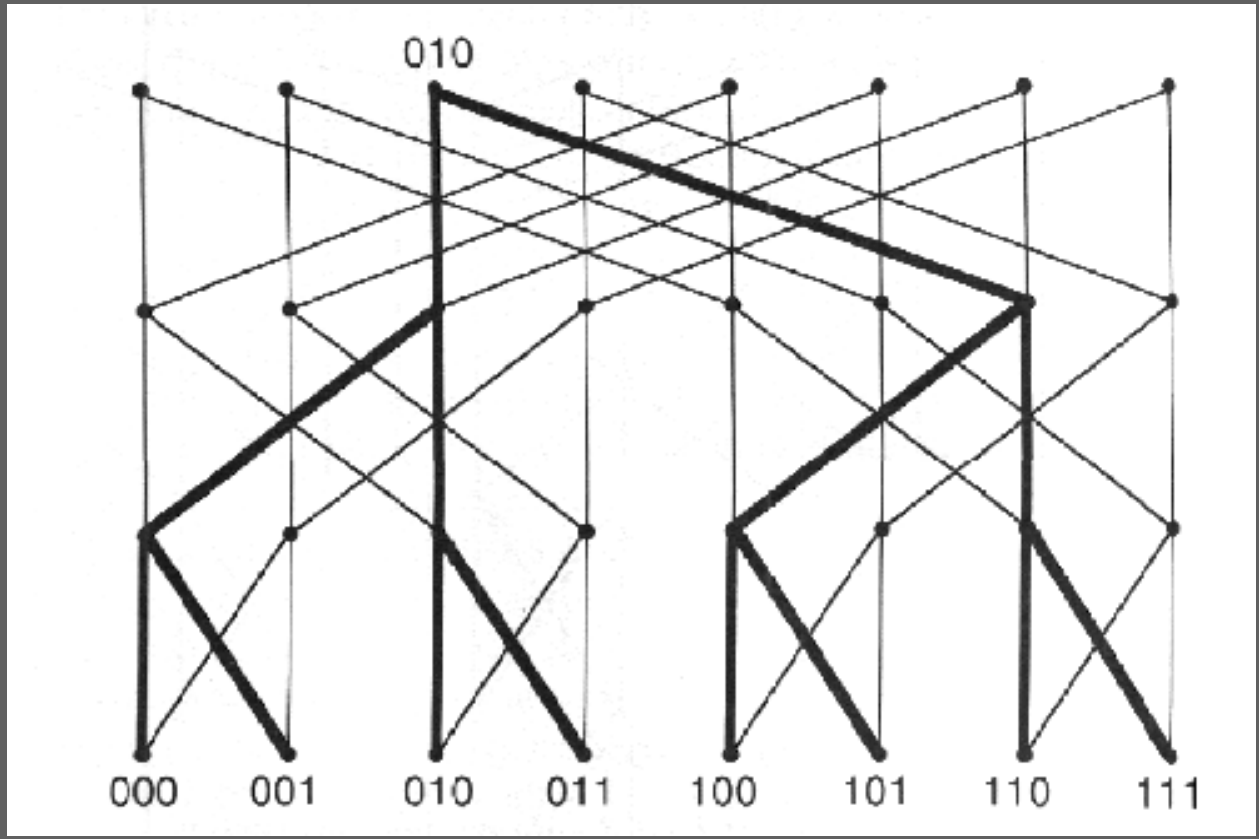
Αλγόριθμος Πολλαπλής Συλλογής

```
FOR i:=1 to d DO
        BEGIN
        Compute “partner” by reversing ith bit of my number;
        Send “myboolean” to partner;
        Receive “hisboolean” from partner;
        myboolean:= myboolean AND hisboolean;
        END;
final result is in “myboolean”;
```

Πολλαπλή Συλλογή σε Υπερκύβο



Δυαδικό Δέντρο σε Πρότυπο Πεταλούδας



Πρόγραμμα Πολλαπλής Συλλογής

```
PROGRAM MultipleAggregate;
ARCHITECTURE HYPERCUBE(6); (*Τοπολογία Υπερκύβου διάστασης 6*)
CONST d=6; (*Διάσταση του Υπερκύβου*)
                n=63;
VAR             inchan: ARRAY [0..n, 1..d] OF CHANNEL OF BOOLEAN; (*Θύρες επικοινωνίας*)
                i: INTEGER;

FUNCTION Aggregate(mydone: BOOLEAN): BOOLEAN;
VAR             mynum, partner, bitvalue, stage: INTEGER;
                hisdone: BOOLEAN;
BEGIN
 mynum:=%SELF; (*Λήψη του αριθμού επεξεργαστή*)
 bitvalue:= 1;
 FOR stage:= 1 TO d DOBEGIN
    IF mynum DIV bitvalue MOD 2 = 0 (*Υπολογισμός του ζεύγους*)  THEN partner:= mynum+bitvalue
   ELSE partner:= mynum-bitvalue;
   inchan[partner, stage]:= mydone; (*Αποστολή του mydone  στο ταίρι*)
   hisdone:= inchan[mynum, stage]; (*Λήψη του hisdone από το ταίρι*)
   mydone:= mydone AND hisdone;
  bitvalue:= 2*bitvalue (*Μετατόπιση προς την επόμενη  θέση bit*)
 END;
Aggregate:= mydone;
END;

PROCEDURE Process(i: INTEGER);
VAR mydone, done: BOOLEAN;
BEGIN
  REPEAT
     .... (*Πραγματοποίηση επανάληψης και υπολογισμός της mydone*)
     done:= Aggregate(mydone);
  UNTIL done;
END;
```

```
BEGIN (*Κυρίως πρόγραμμα*)
                ....

FORALL i:= 0 TO n DO
                (@i PORT inchan[i]) Process(i);
              (*Δημιουργία των διεργασιών*)
END.
```

Πρόγραμμα Πολλαπλής Διάδοσης

```
PROGRAM MultipleBroadcast;
ARCHITECTURE HYPERCUBE(6); (*Τοπολογία Υπερκύβου με διάσταση 6*)
CONST d= 6;
          n= 63;
TYPE listtype= ARRAY [0..n] OF INTEGER;
VAR               inchan: ARRAY [0..n, 1..d] OF CHANNEL OF INTEGER; (*Θύρες επικοινωνίας*)
                  i: INTEGER;

PROCEDURE Broadcast(myvalue: INTEGER; VAR mylist: listtype);
VAR mynum, bitvalue, stage, j: INTEGER;
                  hisdone: BOOLEAN;
BEGIN
  mynum:= %SELF;
  mylist[0]:= myvalue;
  bitvalue:= 1;
  FOR stage:= 1 TO d DO BEGIN
    IF mynum DIV bitvalue MOD 2 = 0 (*Υπολογισμός του ταιριού*) THEN partner:= mynum+bitvalue
    ELSE partner:= mynum-bitvalue;
   FOR j:= 0 TO bitvalue-1 DO (*Αποστολή του mylist στο ταίρι*)
     inchan[partner, stage]:= mylist[j];
   FOR j:= bitvalue TO 2*bitvalue-1 DO
     mylist[j]:=inchan[mynum,stage](*Λήψη της λίστας από το ταίρι*)
    bitvalue:= 2*bitvalue; (*Μετατόπιση στην επόμενη θέση bit*)
  END;
END;
```

```
PROCEDURE Process(i: INTEGER);
VAR values: listtype;
      myvalue: INTEGER;
BEGIN
    ...
    Broadcast(myvalue, values);
  (*Αποστολή της myvalue σε όλες τις
διεργασίες*)
  (*Λήψη στον πίνακα values*)
END;

BEGIN (*Κυρίως πρόγραμμα*)
                  ...

FORALL i:= 0 TO n DO
  (@i PORT inchan[i]) Process(i);
  (*Δημιουργία των διεργασιών*)
END.
```

Άμεση μέθοδος Πολλαπλής Διάδοσης

```
PROGRAM DirectBroadcast;
ARCHITECTURE HYPERCUBE(6);
CONST d= 6;
            n= 63;
TYPE listtype= ARRAY [0..n] OF INTEGER;
VAR         inchan: ARRAY [0..n, 1..d] OF CHANNEL OF INTEGER;
            ...

PROCEDURE Broadcast(myvalue: INTEGER; VAR values:listtype);
VAR         mynum, bitvalue, stage, i: INTEGER;
            hisdone: BOOLEAN;
BEGIN
            mynum:= %SELF;
            FOR i:= 0 TO n DO (*Αποστολή ενός αντιγραφου της myvalue σε όλες τις διεργασίες*)
                        inchan[i]:= myvalue;
            FOR i:= 0 TO n DO (*Λήψη των τιμών που έχουν στείλει οι άλλες  διεργασίες*)
                        values[i]:= inchan[mynum];
END;

            ...
```

Σύγκριση Μεθόδων Πολλαπλών Μεταδόσεων