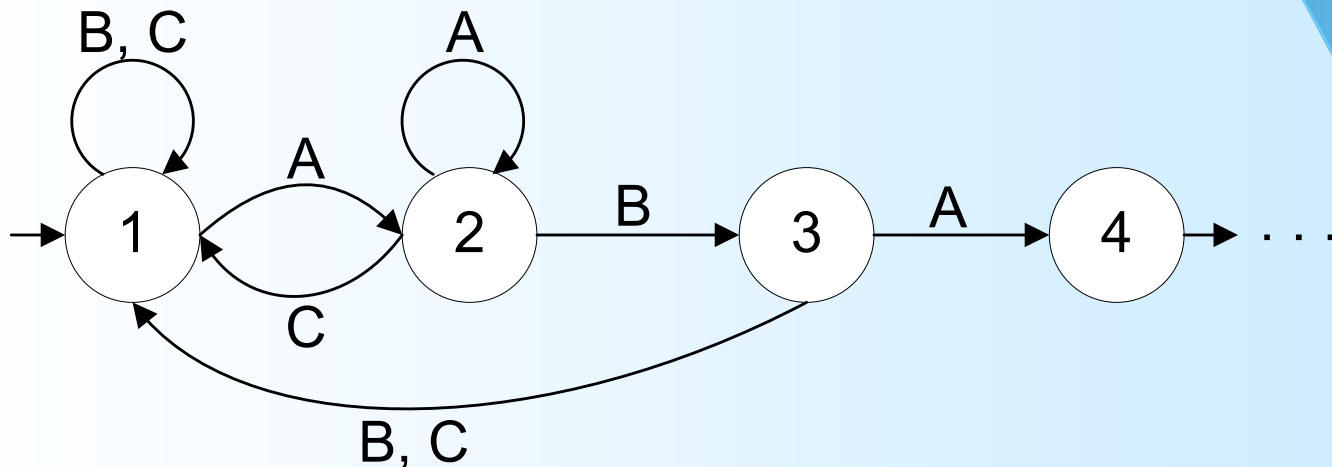


ΑΥΤΟΜΑΤΑ Ι

Αυτόματο ελέγχου πρόσβασης με πληκτρολόγηση συνδυασμού ψηφίων για το άνοιγμα πόρτας: η πόρτα ανοίγει με την πληκτρολόγηση του συνδυασμού ABA ανεξάρτητα με το τι έχει πληκτρολογηθεί πριν από αυτό (έστω ότι υπάρχουν μόνο τα πλήκτρα A, B και C).



ΑΥΤΟΜΑΤΑ II

- *Εκτέλεση* είναι μία ακολουθία καταστάσεων που περιγράφει μία πιθανή εξέλιξη του συστήματος.
π.χ. 1121, 12234, 112312234
- Μας ενδιαφέρει επίσης να μελετήσουμε το σύνολο όλων των πιθανών εκτελέσεων του συστήματος και ένας πιθανός τρόπος για να το επιτύχουμε είναι να «διατάξουμε» τις πιθανές εκτελέσεις σε μία σειρά (για παράδειγμα αυξανόμενου μήκους).

1

11, 12

111, 112, 121, 122, 123

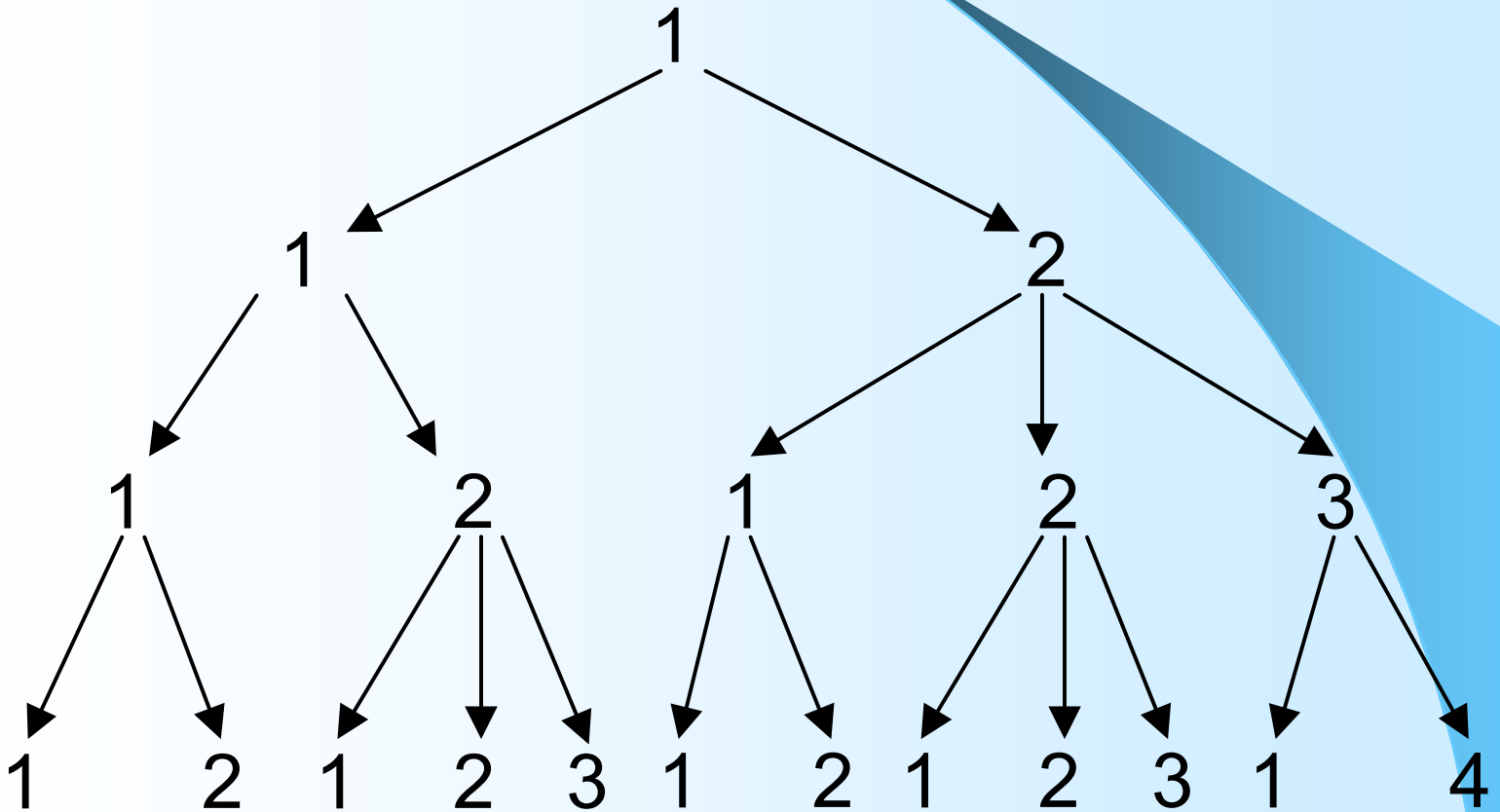
1111, 1112, 1121, 1122, 1123, 1211, 1212, 1221, 1222, 1223, 1231, 1234

.....

ΑΥΤΟΜΑΤΑ ΙΙΙ

- Οργανώνουμε το σύνολο των πιθανών εκτελέσεων σε μία αναπαράσταση *δέντρου*. Η ρίζα του δέντρου είναι η κατάσταση 1 και οι απόγονοι αυτού του κόμβου είναι όλες οι καταστάσεις που είναι προσβάσιμες σε ένα βήμα (άμεσα διάδοχες) δηλαδή στο συγκεκριμένο παράδειγμα οι 1 και 2.
- Με τον τρόπο αυτό δημιουργούμε μία αναπαράσταση όλων των πιθανών εκτελέσεων του συστήματος, που στις περισσότερες περιπτώσεις είναι μία άπειρη αναπαράσταση.

ΑΥΤΟΜΑΤΑ IV



ΑΥΤΟΜΑΤΑ V

- Αφού ο στόχος μας είναι η επαλήθευση ιδιοτήτων του συστήματος αντιστοιχούμε σε κάθε κατάσταση του αυτομάτου έναν αριθμό *στοιχειωδών ιδιοτήτων που γνωρίζουμε ότι ικανοποιούνται*.
- Στη συνέχεια προσπαθούμε με αυτές τις στοιχειώδεις ιδιότητες να εκφράσουμε πιο περίπλοκες ιδιότητες που θα θέλαμε να ικανοποιεί το σύστημα. Το πώς αυτές οι πιο περίπλοκες ιδιότητες εκφράζονται σε σχέση με τις απλές ιδιότητες εξαρτάται από τη *λογική* που χρησιμοποιούμε.
- Οι στοιχειώδεις ιδιότητες για τις οποίες γνωρίζουμε αν είναι true ή false σε κάθε δεδομένη κατάσταση ονομάζονται *ατομικές προτάσεις* (atomic propositions).

ΑΥΤΟΜΑΤΑ VI

στοιχειώδεις ιδιότητες για το παράδειγμα με την πόρτα:

P_A : μόλις έχει πληκτρολογηθεί ένα A

P_B : μόλις έχει πληκτρολογηθεί ένα B

P_C : μόλις έχει πληκτρολογηθεί ένα C

Η ιδιότητα P_A ισχύει στις καταστάσεις 2 και 4. Η ιδιότητα P_B ισχύει μόνο στην κατάσταση 3. Η ιδιότητα P_C δεν ισχύει σε καμία κατάσταση.

$pred_2$: η προηγούμενη κατάσταση σε μία εκτέλεση είναι η 2

$pred_3$: η προηγούμενη κατάσταση σε μία εκτέλεση είναι η 3

Η $pred_2$ ισχύσει μόνο στην κατάσταση 3 και η $pred_3$ ισχύει μόνο στην κατάσταση 4.

ΑΥΤΟΜΑΤΑ VII

Έστω μία εκτέλεση κατά την οποία *τελικά ανοίγει η πόρτα*, δηλαδή μία εκτέλεση που ολοκληρώνεται στην κατάσταση 4.

Αφού στην κατάσταση 4 ισχύει η ιδιότητα $pred_3$ άρα η συγκεκριμένη εκτέλεση τελειώνει στην ακολουθία καταστάσεων 3 4. Στην κατάσταση 3 όμως ισχύει η ιδιότητα $pred_2$ και άρα η συγκεκριμένη εκτέλεση τελειώνει στην ακολουθία καταστάσεων 2 3 4. Τώρα επειδή η P_A ισχύει στις καταστάσεις 2 και 4 και η P_B ισχύει στην κατάσταση 3 συμπεραίνουμε ότι οι τελευταίοι τρεις χαρακτήρες που πληκτρολογήθηκαν είναι οι A, B, A με τη συγκεκριμένη σειρά.

Αποδείξαμε ότι: *αν η πόρτα ανοίξει τότε πληκτρολογήθηκε η «ορθή» ακολουθία χαρακτήρων.*

ΑΥΤΟΜΑΤΑ VIII

- Ο έλεγχος μοντέλων (model checking) είναι ένα σύνολο τεχνικών που καθιστούν εφικτή την *αυτοματοποιημένη επαλήθευση ιδιοτήτων ορθότητας*.

ΑΥΤΟΜΑΤΟ

Έστω ότι δίνεται ένα σύνολο $Prop = \{P_1, \dots\}$ στοιχειωδών προτάσεων. Ένα αυτόματο είναι μία πεντάδα $A = (Q, E, T, q_0, l)$ όπου

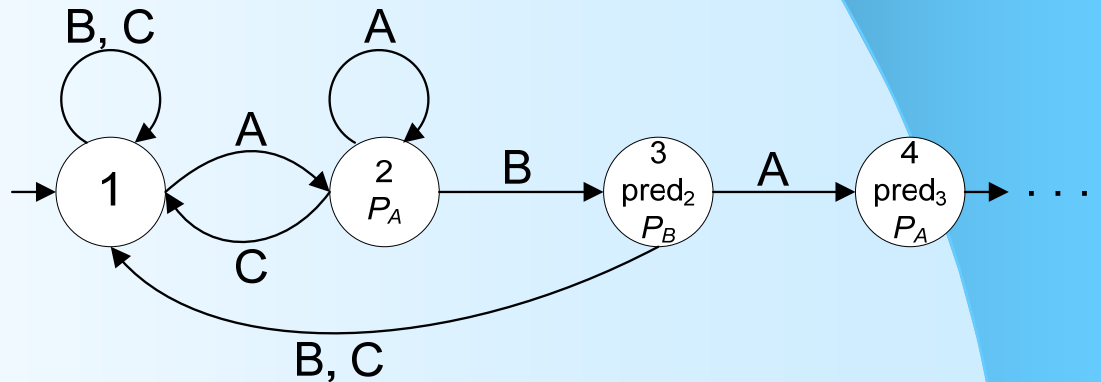
- Q είναι ένα πεπερασμένο σύνολο καταστάσεων
- E είναι ένα πεπερασμένο σύνολο επιγραφών μεταβάσεων
- $T \subseteq Q \times E \times Q$ είναι ένα σύνολο μεταβάσεων
- q_0 είναι η αρχική κατάσταση του αυτόματου
- l είναι μία απεικόνιση που αντιστοιχεί σε κάθε κατάσταση του Q το πεπερασμένο σύνολο των προτάσεων που είναι αληθείς στην κατάσταση αυτή

ΑΥΤΟΜΑΤΑ ΙΧ

το αυτόματο για το παράδειγμα με την πόρτα:

$$\begin{aligned} Q &= \{1, 2, 3, 4\}; & T &= \{ (1, A, 2), (1, B, 1), (1, C, 1), \\ E &= \{A, B, C\}; & & (2, A, 2), (2, B, 3), (2, C, 1), \\ q_0 &= 1 & & (3, A, 4), (3, B, 1), (3, C, 1) \}; \end{aligned}$$

$$l = \begin{cases} 1 \rightarrow \emptyset; \\ 2 \rightarrow \{P_A\}; \\ 3 \rightarrow \{P_B, pred_2\}; \\ 4 \rightarrow \{P_A, pred_3\}; \end{cases}$$



ΑΥΤΟΜΑΤΑ Χ

- Σε ένα αυτόματο A **μονοπάτι** είναι μία ακολουθία σ μεταβάσεων (q_i, e_i, q_i') , πεπερασμένη ή άπειρη και τέτοια ώστε για κάθε i $q_i' = q_{i+1}$. Συνήθως μία τέτοια ακολουθία τη γράφουμε με τη μορφή

$$q_1 \xrightarrow{e_1} q_2 \xrightarrow{e_2} q_3 \xrightarrow{e_3} \dots$$

Στο παράδειγμα με την πόρτα ένα μονοπάτι είναι το

$$3 \xrightarrow{B} 1 \xrightarrow{A} 2 \xrightarrow{A} 2$$

- Το **μήκος του μονοπατιού** σ συμβολίζεται με $|\sigma|$ και εκφράζει τον αριθμό των μεταβάσεων, που πιθανό να είναι άπειρες: $|\sigma| \in \mathbb{N} \cup \{\infty\}$. Η i κατάσταση του σ γράφεται με $\sigma(i)$ και είναι η κατάσταση q_i που προσεγγίζεται μετά από i μεταβάσεις. Το τελευταίο ορίζεται μόνο όταν $i < |\sigma|$.
- **Μερική εκτέλεση** του A είναι ένα μονοπάτι που αρχίζει από την αρχική κατάσταση q_0 , π.χ. στην περίπτωση της πόρτας, $1 \xrightarrow{A} 2 \xrightarrow{A} 2 \xrightarrow{B} 3$

ΑΥΤΟΜΑΤΑ ΧΙ

- **Πλήρης εκτέλεση** είναι μία εκτέλεση που είναι μέγιστη, δηλαδή δεν μπορεί να επεκταθεί. Μπορεί να είναι *άπειρη* ή μπορεί να τελειώνει σε μία κατάσταση q_n από την οποία δεν είναι δυνατή η μετάβαση σε άλλη κατάσταση (μιλάμε για *αδιέξοδο - deadlock*).
- Όταν δεν προσδιορίζουμε αν η εκτέλεση είναι μερική ή πλήρης γενικά αναφερόμαστε σε πλήρεις εκτελέσεις.
- Οι συμπεριφορές ενός αυτόματου εκφράζονται από τις πλήρεις εκτελέσεις, αυτές δηλαδή που σχετίζονται με την υπόθεση **βιωσιμότητας (liveness)** ότι δηλαδή ένα αυτόματο τελικά πάντα εκτελεί μία επιπλέον μετάβαση.
- Μία κατάσταση λέμε ότι είναι **προσεγγίσιμη** αν εμφανίζεται στο δέντρο εκτέλεσης του αυτόματου (υπάρχει μία τουλάχιστο εκτέλεση στην οποία εμφανίζεται). **Δεν είναι όλες οι καταστάσεις πάντα προσεγγίσιμες.**

ΑΥΤΟΜΑΤΑ XII

- Τροποποιούμε τον ορισμό των αυτομάτων έτσι ώστε να τους δώσουμε τη δυνατότητα να διαχειρίζονται *μεταβλητές καταστάσεων*. Αυτό θα καταστήσει την εκφραστικότητα των μοντέλων μας πιο ισχυρή γιατί θα έχουμε από τη μία τις καταστάσεις και τις μεταβάσεις να αναπαριστούν τον έλεγχο (control) και τις μεταβλητές τα δεδομένα (data).
- Στις περισσότερες περιπτώσεις υποθέτουμε έναν πεπερασμένο αριθμό τιμών για τις μεταβλητές ενός αυτόματου. Αυτό μπορεί π.χ. να είναι ένας περιορισμός του εργαλείου ελέγχου μοντέλων που χρησιμοποιούμε.
- Έστω ότι στο παράδειγμα με την πόρτα πρέπει να μετράμε τον αριθμό των λαθών του χρήστη της πόρτας. Χρησιμοποιούμε γι' αυτό το σκοπό μία ακέραιη μεταβλητή `ctr` με αρχική της τιμή το 0 για να καταγράφει τον αριθμό των λαθών.

ΑΥΤΟΜΑΤΑ XIII

Σε ένα αυτόματο η *αλληλεπίδραση με τις μεταβλητές* γίνεται με δύο τρόπους:

- *Αναθέσεις τιμών*: μία μετάβαση μπορεί να ενημερώνει την τιμή μίας ή περισσότερων μεταβλητών. Στο παράδειγμα με την πόρτα όλες οι μεταβάσεις που αντιστοιχούν σε λάθος αυξάνουν την τιμή της `ctr` κατά ένα.
- *Φρουρούς*: μία μετάβαση μπορεί να «φρουρείται» με μία συνθήκη που αναφέρεται στις μεταβλητές. Αυτό σημαίνει ότι η μετάβαση δεν μπορεί να εκτελεστεί παρά μόνο όταν ισχύσει η συνθήκη.

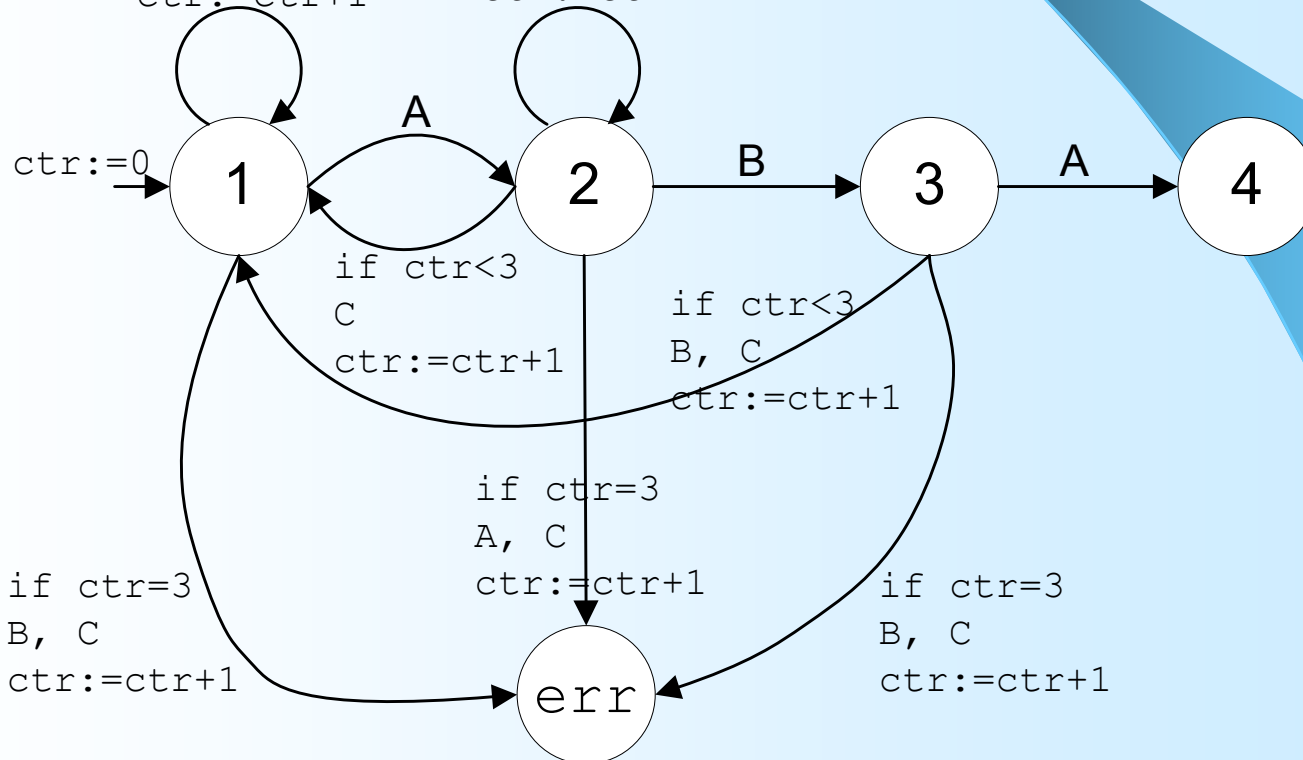
Αν υποθέσουμε ότι στο παράδειγμα με την πόρτα δεν είναι αποδεκτά περισσότερα από τρία (3) λάθη τότε:

ΑΥΤΟΜΑΤΑ XIV

```
var ctr: int;
```

```
if ctr<3
  B, C
  ctr:=ctr+1
```

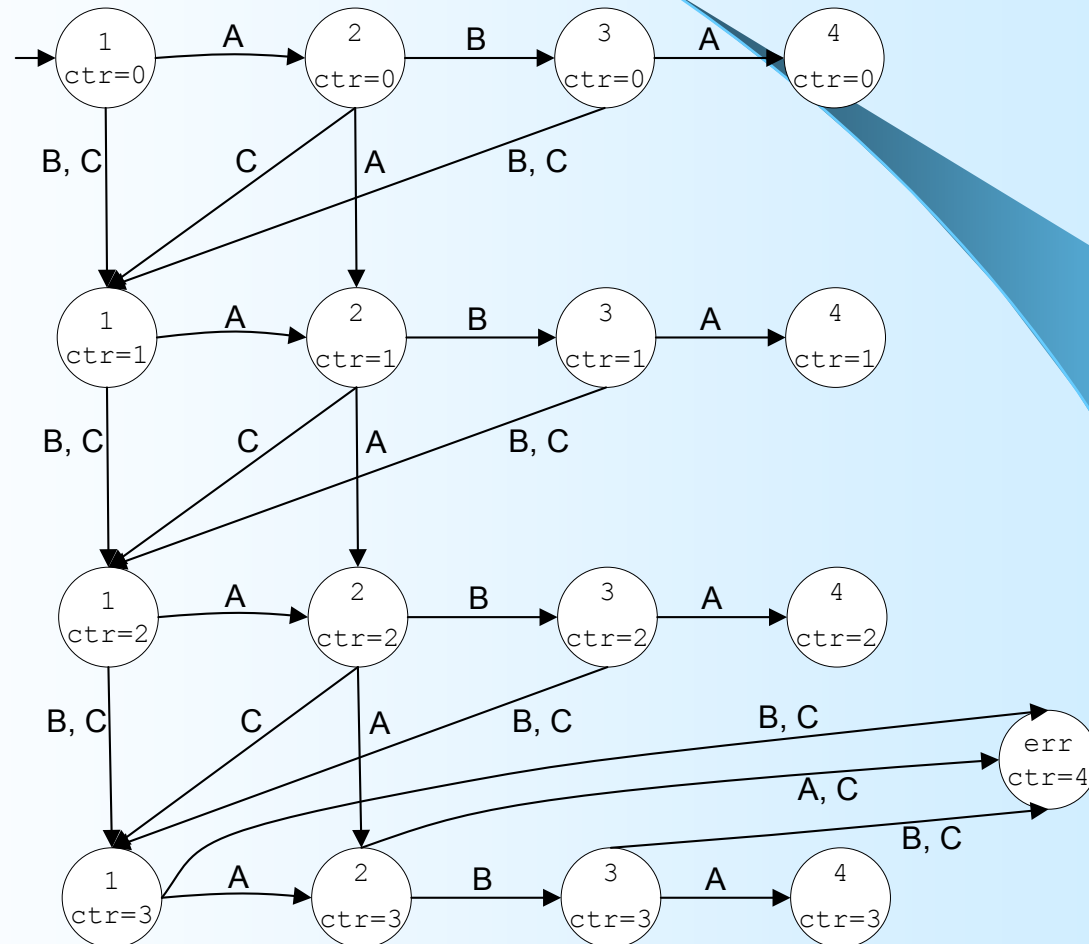
```
if ctr<3
  A
  ctr:=ctr+1
```



ΑΥΤΟΜΑΤΑ XV

- Για να εφαρμόσουμε τεχνικές ελέγχου μοντέλων είναι συχνά απαραίτητο να «ξεδιπλώσουμε» τη συμπεριφορά ενός αυτόματου με μεταβλητές σε ένα γράφο καταστάσεων στον οποίο εμφανίζονται μόνο οι πιθανές μεταβάσεις και σημειώνονται ξεκάθαρα οι πιθανές διαμορφώσεις του συστήματος.
- Στη βιβλιογραφία αυτό αποκαλείται *σύστημα μεταβάσεων* (transition system) αλλά στο πλαίσιο του μαθήματος θα το αποκαλούμε αυτόματο ανάπτυξης που αντιστοιχεί σε ένα αυτόματο έστω το A .
- Οι καταστάσεις του αυτόματου ανάπτυξης ονομάζονται *καθολικές καταστάσεις* και εκφράζουν (α) την αντίστοιχη κατάσταση του πρωταρχικού αυτόματου A και (β) την τιμή για κάθε μία από τις μεταβλητές καταστάσεων.

ΑΥΤΟΜΑΤΑ XVI



ΑΥΤΟΜΑΤΑ XVII

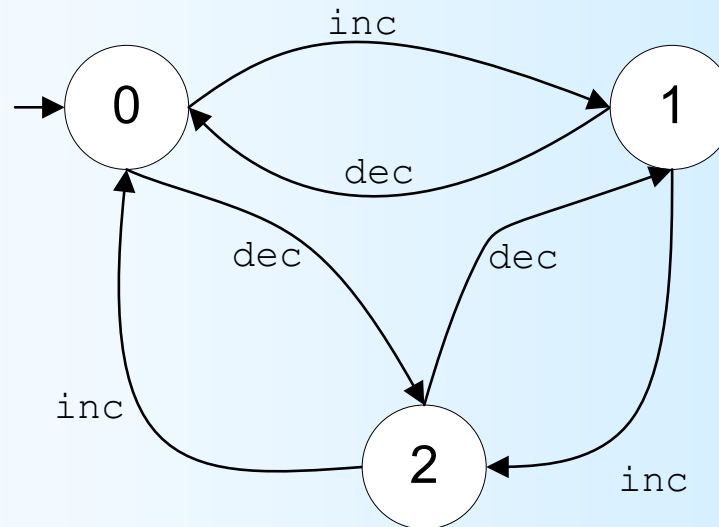
- Σε μία καθολική κατάσταση όπως $\langle 1, ctr=0 \rangle$ λέμε ότι το 1 είναι η *κατάσταση ελέγχου* (control state) και εκφράζει την αντίστοιχη κατάσταση του πρωταρχικού αυτόματου. Η κατάσταση ελέγχου εκφράζει σε μεγάλο βαθμό τις πιθανές μεταβάσεις μη συμπεριλαμβάνοντας την επίδραση των τιμών των μεταβλητών που καθορίζεται με βάση τις συνθήκες φρουρούς.

ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΕΝΟ ΓΙΝΟΜΕΝΟ I

- Για να κατασκευάσουμε το μοντέλο ενός συστήματος πρώτα κάνουμε τα μοντέλα των διαφόρων υποσυστημάτων. Το αυτόματο του συστήματος προκύπτει από τη συνεργασία των αυτόματων των διαφόρων υποσυστημάτων. Μιλάμε για *συγχρονισμό αυτομάτων*.
- Ας υποθέσουμε ένα σύστημα με τμήματα που δεν αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Το συνολικό αυτόματο είναι το *καρτεσιανό γινόμενο των αυτομάτων* που αναπαριστούν τα τμήματα του συστήματος, που σημαίνει ότι μία καθολική κατάσταση εκφράζεται ως διάνυσμα καταστάσεων των τμημάτων (*τοπικές καταστάσεις*).

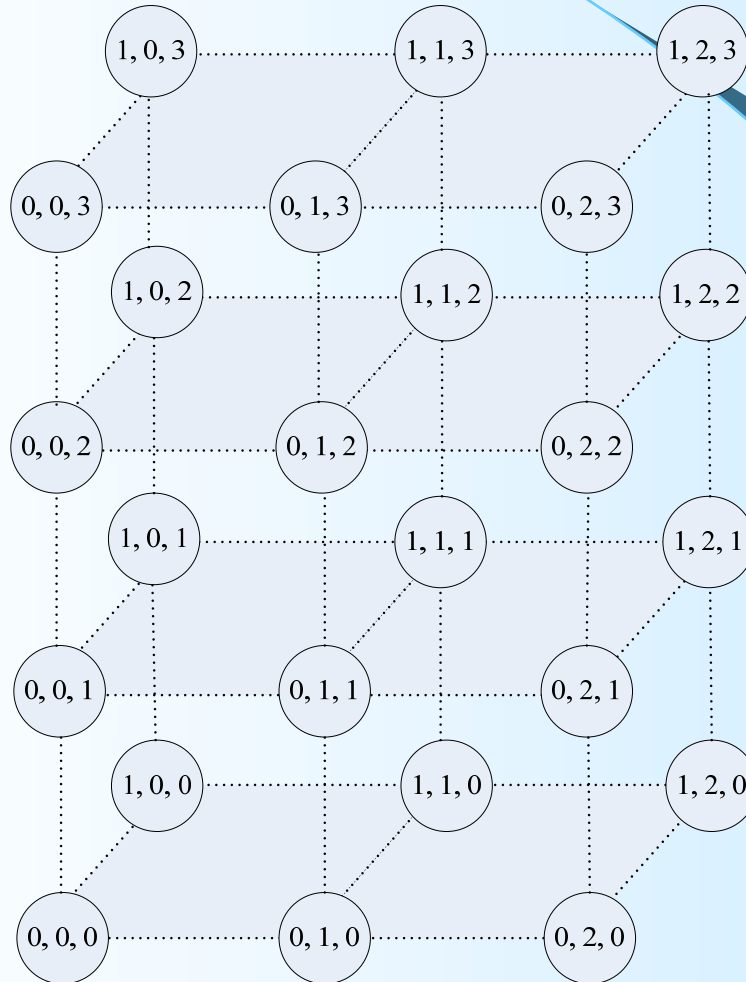
ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΕΝΟ ΓΙΝΟΜΕΝΟ II

- Ας θεωρήσουμε ένα σύστημα που αποτελείται από έναν μετρητή modulo 2, έναν μετρητή modulo 3 και έναν μετρητή modulo 4. Συμβολίζουμε τα αντίστοιχα αυτόματα A_{c_2} , A_{c_3} (βλ. σχήμα), A_{c_4} .



- Το συνολικό αυτόματο A_{ccc} αποτελείται από $2 \times 3 \times 4 = 24$ καταστάσεις.

ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΕΝΟ ΓΙΝΟΜΕΝΟ III



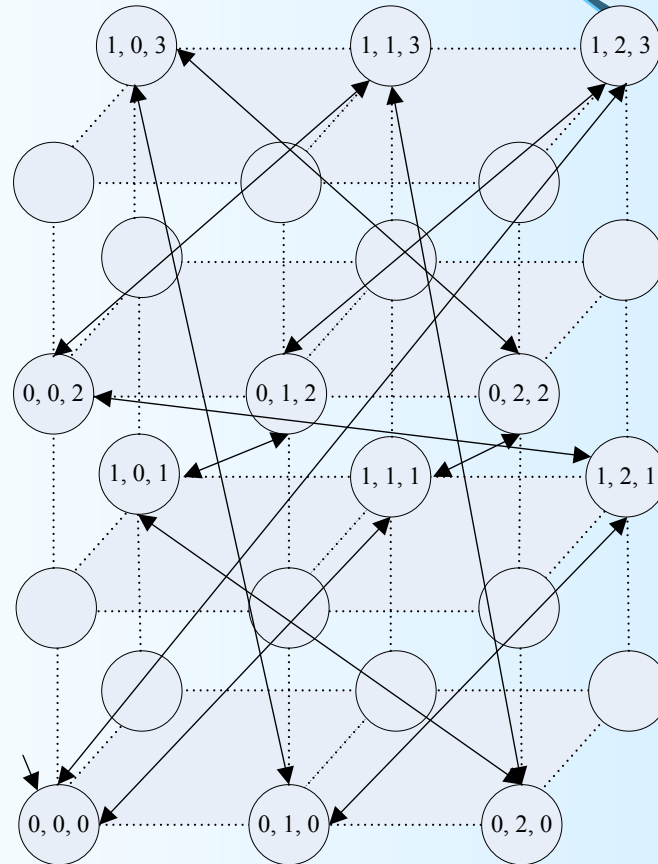
ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΕΝΟ ΓΙΝΟΜΕΝΟ IV

- Σε ότι αφορά τις μεταβάσεις, αν δεν θεωρήσουμε συγχρονισμό, τότε για κάθε μία τοπική κατάσταση μπορούμε να θεωρήσουμε τρία ενδεχόμενα: αύξηση, μείωση και μη αλλαγή. Για κάθε συνολική κατάσταση έχουμε $3 \times 3 \times 3 = 27$ πιθανές μεταβάσεις.
- Αν θεωρήσουμε ότι οι τρεις μετρητές αλλάζουν ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλο και αν εξαιρέσουμε τις περιπτώσεις στις οποίες κανένας από τους τρεις μετρητές δεν αλλάζει, τότε έχουμε συνολικά $24 \times 26 = 624$ μεταβάσεις στο συνολικό αυτόματο.

ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΕΝΟ ΓΙΝΟΜΕΝΟ V

- Αν θεωρήσουμε συγχρονισμό μεταξύ των τριών μετρητών τότε ανάλογα με το πρόβλημα που θέλουμε να μοντελοποιήσουμε έχουμε διαφορετικές δυνατότητες. Μία δυνατότητα είναι π.χ. να συνδέσουμε τους τρεις μετρητές μεταξύ τους ώστε αυτοί να μην αλλάζουν ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλο και να αποκλείσουμε την περίπτωση να παραμένουν αμετάβλητοι.
- Σε αυτή την περίπτωση από κάθε κατάσταση θα ορίζονταν μόνο οι μεταβάσεις “inc, inc, inc” και “dec, dec, dec” και θα ήταν προσεγγίσιμες μόνο κάποιες από τις καταστάσεις.

ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΕΝΟ ΓΙΝΟΜΕΝΟ VI



ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΕΝΟ ΓΙΝΟΜΕΝΟ VII

- Θεωρούμε μία ομάδα από n αυτόματα, $\forall i \in \{1, \dots, n\} A_i = (Q_i, E_i, T_i, q_{0,i}, l_i)$ και έστω η νέα ετικέτα $' - '$ που αναπαριστά την ενέργεια «παραμένει αμετάβλητο» για κάθε αυτόματο που παραμένει αμετάβλητο σε μία συνολική μετάβαση της ομάδας των αυτομάτων. Το *καρτεσιανό γινόμενο* $A_1 \times \dots \times A_n$ είναι το αυτόματο $A = (Q, E, T, q_0, l)$ με
 - $Q = Q_1 \times \dots \times Q_n$
 - $E = \prod_{1 \leq i \leq n} (E_i \cup \{ - \})$
 - $T = \left\{ ((q_1, q_2, \dots, q_n), (e_1, e_2, \dots, e_n), (q'_1, q'_2, \dots, q'_n)) \mid \text{for all } i \right\}$
 $\left. \begin{array}{l} e_i = '-' \text{ και } q'_i = q_i, \text{ ή } e_i \neq '-' \text{ και } (q_i, e_i, q'_i) \in T_i \end{array} \right\}$
 - $q_0 = (q_{0,1}, \dots, q_{0,n})$
 - $l((q_1, \dots, q_n)) = \cup_{1 \leq i \leq n} (l_i(q_i))$Για το συγχρονισμό των αυτομάτων περιορίζουμε τις επιτρεπόμενες μεταβάσεις του καρτεσιανού γινομένου στο *σύνολο συγχρονισμού*

$$Synchron \subseteq \prod_{1 \leq i \leq n} (E_i \cup \{ - \})$$

ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΕΝΟ ΓΙΝΟΜΕΝΟ VIII

- Το γινόμενο αυτομάτων θα το συμβολίζουμε επίσης ως
$$A_1 \parallel A_2 \parallel \dots \parallel A_n$$
- Το αυτόματο που προκύπτει μετά από διαγραφή των μη προσεγγίσιμων καταστάσεων ονομάζεται **γράφος προσεγγισιμότητας**.
- Πολλές φορές η ιδιότητα που μας ενδιαφέρει να μελετήσουμε είναι δυνατό να εκφραστεί ως ένα πρόβλημα προσεγγισιμότητας. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει το εργαλείο ελέγχου μοντέλων που χρησιμοποιούμε να μπορεί να κατασκευάσει το γράφο προσεγγισιμότητας συγχρονισμένων γινομένων αυτομάτων.

ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΕΝΟ ΓΙΝΟΜΕΝΟ IX

- Ας θεωρήσουμε τα αυτόματα A_1, A_2, \dots, A_p με χώρους καταστάσεων μεγέθους n_1, n_2, \dots, n_p αντίστοιχα. Το συγχρονισμένο γινόμενο θα έχει έναν αριθμό καταστάσεων της τάξης $n_1 \times n_2 \times \dots \times n_p$ που μεγαλώνει εκθετικά ως προς το p . Αυτό είναι **το πρόβλημα της έκρηξης του χώρου καταστάσεων**.
- Όταν δημιουργούμε το αυτόματο ανάπτυξης ενός αυτομάτου με μεταβλητές, τότε ο αριθμός των καθολικών καταστάσεων γίνεται άπειρος αν οι μεταβλητές έχουν άπειρο πεδίο τιμών. Ακόμη και όταν το πεδίο τιμών τους είναι πεπερασμένο, ο αριθμός των καταστάσεων είναι πιθανώς εκθετικός.

ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΕΝΟ ΓΙΝΟΜΕΝΟ Χ

- Τα Petri Nets είναι μοντέλα κατάλληλα για την αναπαράσταση παράλληλων συστημάτων.
- Τα Petri Nets μπορούμε να τα δούμε ως συγχρονισμένα αυτόματα που επιτρέπουν τη δημιουργία παράλληλων τμημάτων δυναμικά.
- Έχει αποδειχθεί ότι στα Petri Nets το πρόβλημα της προσεγγισιμότητας μιας κατάστασης είναι αποφασίσιμο, ακόμη και αν το σύνολο προσεγγισιμότητας είναι άπειρο.

ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΣ ΜΕ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗ ΜΗΝΥΜΑΤΩΝ I

- Στις επιγραφές των μεταβάσεων διακρίνουμε αυτές που αναπαριστούν την *αποστολή ενός μηνύματος* m και συμβολίζονται με $!m$ και αυτές που αναπαριστούν την *παραλαβή αυτού του μηνύματος* και συμβολίζονται με $?m$.
- Στο συγχρονισμένο γινόμενο επιτρέπονται μόνο οι μεταβάσεις κατά τις οποίες μία αποστολή μηνύματος εκτελείται ταυτόχρονα με μία αντίστοιχη παραλαβή αυτού.

ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΣ ΜΕ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗ ΜΗΝΥΜΑΤΩΝ II

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Θεωρούμε τον ανελκυστήρα ενός τριώροφου κτιρίου και κατασκευάζουμε το μοντέλο του που αποτελείται από τα ακόλουθα τμήματα:

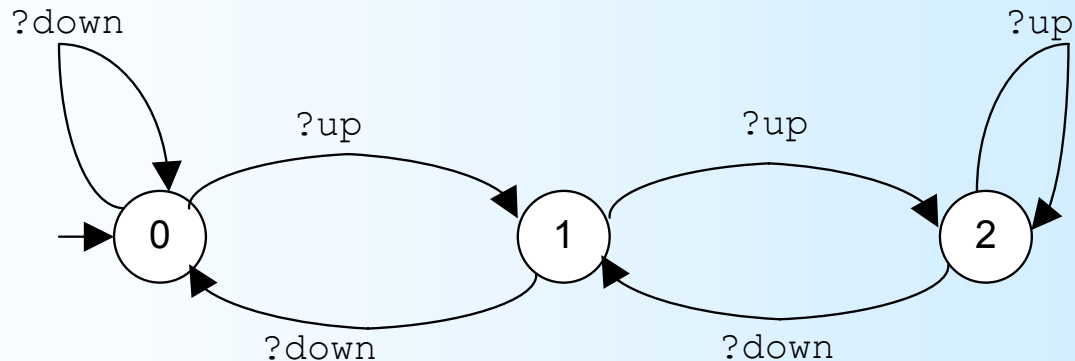
ο *θάλαμος* που κινείται πάνω – κάτω ανάλογα με την τρέχουσα θέση του (πάτωμα) και τις εντολές που δέχεται από τον ελεγκτή
τρεις *πόρτες* (μία ανά πάτωμα) που ανοίγουν και κλείνουν σύμφωνα με τις εντολές του ελεγκτή

ο *ελεγκτής* που συντονίζει τη λειτουργία των τριών πορτών και του θαλάμου

Θα ορίσουμε πέντε αυτόματα.

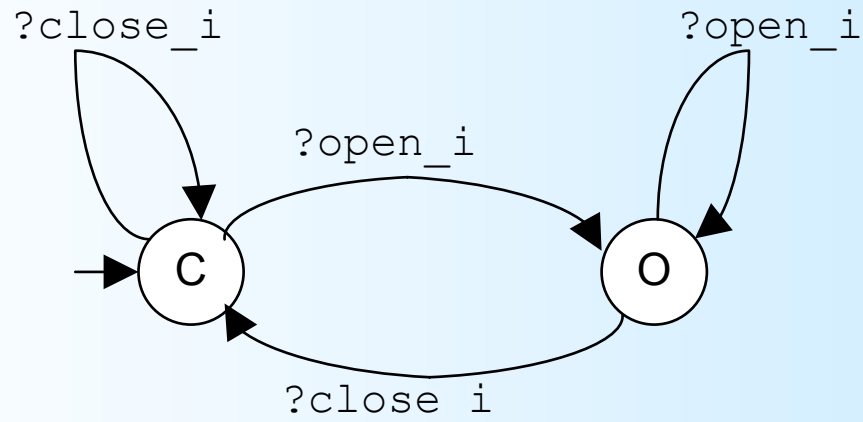
ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΣ ΜΕ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗ ΜΗΝΥΜΑΤΩΝ III

Οι καταστάσεις του θαλάμου αντιστοιχούν στα τρία πατώματα. Ο θάλαμος δέχεται εντολές να «ανέβει» ή να «κατέβει», εντολές που αντιστοιχούν σε μηνύματα up και down που χρησιμοποιεί κατά την αλλαγή κατάστασης



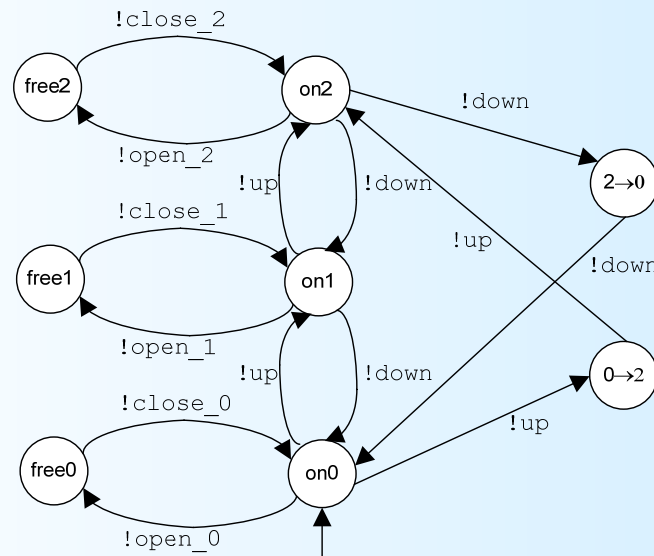
ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΣ ΜΕ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗ ΜΗΝΥΜΑΤΩΝ IV

Οι καταστάσεις για την κάθε πόρτα είναι οι O για την κατάσταση «open» και C για την κατάσταση «closed». Και στην περίπτωση αυτή γίνονται δεκτές εντολές προερχόμενες από τον ελεγκτή



ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΣ ΜΕ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗ ΜΗΝΥΜΑΤΩΝ V

Ο ελεγκτής στέλνει εντολές (μηνύματα) στις πόρτες και στο θάλαμο. Οι καταστάσεις on_i (και αντίστοιχα οι $free_i$) αντιστοιχούν στις καταστάσεις που ο ανελκυστήρας είναι στο i πάτωμα με την πόρτα κλειστή (αντίστοιχα ανοικτή). Δύο επιπλέον καταστάσεις συνδέουν απευθείας τα πατώματα 0 και 2 χωρίς ενδιάμεση στάση στο πάτωμα 1.



ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΣ ΜΕ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗ ΜΗΝΥΜΑΤΩΝ VI

Αντιστοιχούμε σε κάθε κατάσταση μία και μοναδική στοιχειώδη ιδιότητα που απλά αντιστοιχεί στο όνομα της κατάστασης.

Το αυτόματο που μοντελοποιεί τον ανελκυστήρα προκύπτει ως το συγχρονισμένο γινόμενο των πέντε αυτομάτων και άρα κάθε κατάστασή του θα αποτελείται από πέντε τμήματα που με τη σειρά θα αντιστοιχούν στην κατάσταση της πόρτας 0, της πόρτας 1, της πόρτας 2, του θαλάμου και του ελεγκτή.

ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΣ ΜΕ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗ ΜΗΝΥΜΑΤΩΝ VII

Οι περιορισμοί συγχρονισμού που θεωρούμε περιορίζουν την εκτέλεση ενεργειών ανταλλαγής μηνυμάτων και είναι οι

$$\text{Sync} = \{ (?open_1, -, -, -, !open_1), (?close_1, -, -, -, !close_1),$$
$$(-, ?open_2, -, -, !open_2), (-, ?close_2, -, -, !close_2),$$
$$(-, -, ?open_3, -, !open_3), (-, -, ?close_3, -, !close_3),$$
$$(-, -, -, ?down, !down), (-, -, -, ?up, !up) \}$$

Ιδιότητες που μας ενδιαφέρει να ελέγξουμε:

- «δεν μπορεί να ανοίξει η πόρτα σε ένα δεδομένο πάτωμα αν ο θάλαμος βρίσκεται σε ένα άλλο πάτωμα» (P1)
- «ο θάλαμος δεν μπορεί να κινηθεί αν μία από τις πόρτες είναι ανοικτή» (P2)

ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΣ ΜΕ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗ ΜΗΝΥΜΑΤΩΝ VIII

Για την πόρτα 1 η ιδιότητα P1 προϋποθέτει ότι κάθε κατάσταση που έχει στο πρώτο τμήμα της το 0 έχει ως τέταρτο τμήμα της το 0, δηλ. δεν υπάρχει προσεγγίσιμη κατάσταση της οποίας το πρώτο τμήμα είναι 0 και το τέταρτο τμήμα της είναι 1 ή 2.

Για την ιδιότητα P2 πρέπει να αποδείξουμε ότι σε οποιαδήποτε εκτέλεση μία κατάσταση της οποίας τα πρώτα τρία τμήματα είναι 0 δεν μπορεί να ακολουθείται από κατάσταση στην οποία έχει μεταβληθεί το τέταρτο τμήμα.

ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΣ ΜΕ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗ ΜΗΝΥΜΑΤΩΝ ΙΧ

- *Ασύγχρονη ανταλλαγή μηνυμάτων*: ασύγχρονη επικοινωνία έχουμε όταν τα μηνύματα δεν παραλαμβάνονται στιγμιαία.
- Υποθέτουμε ότι όταν τα μηνύματα αποστέλλονται αλλά δεν παραλαμβάνονται αμέσως παραμένουν κάπου μέσα σε ένα *κανάλι επικοινωνίας* ή αλλιώς *buffer* όπου συνήθως εφαρμόζεται πολιτική FIFO για την προώθησή τους.
- Η ασύγχρονη επικοινωνία ταιριάζει περισσότερο όταν ο σκοπός μας είναι η περιγραφή κάποιου πρωτοκόλλου, ενώ η σύγχρονη επικοινωνία χρησιμοποιείται πιο πολύ στην περιγραφή συστημάτων ελέγχου.

ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΣ ΜΕ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗ ΜΗΝΥΜΑΤΩΝ X

- Πως η επικοινωνία με κανάλια ανάγεται σε σύγχρονη επικοινωνία; Αρκεί να θεωρήσουμε ένα αυτόματο (ή μία μεταβλητή) που εκφράζει τη συμπεριφορά των καναλιών. Μία λειτουργία αποστολής μεταξύ των A και A' ανάγεται σε σύγχρονη ανταλλαγή μηνύματος μεταξύ του A και του καναλιού επικοινωνίας, που τελικά ακολουθείται από μία σύγχρονη ανταλλαγή μεταξύ του καναλιού και του A' .
- Αν το κανάλι επικοινωνίας μπορεί να περιέχει απεριόριστο αριθμό μηνυμάτων, τότε ο γράφος προσεγγισιμότητας είναι άπειρος. Ακόμη όμως και όταν τα κανάλια έχουν πεπερασμένη χωρητικότητα το μέγεθος του γράφου προσεγγισιμότητας μεγαλώνει εκθετικά ως προς το μέγεθος του αρχικού αυτόματου.

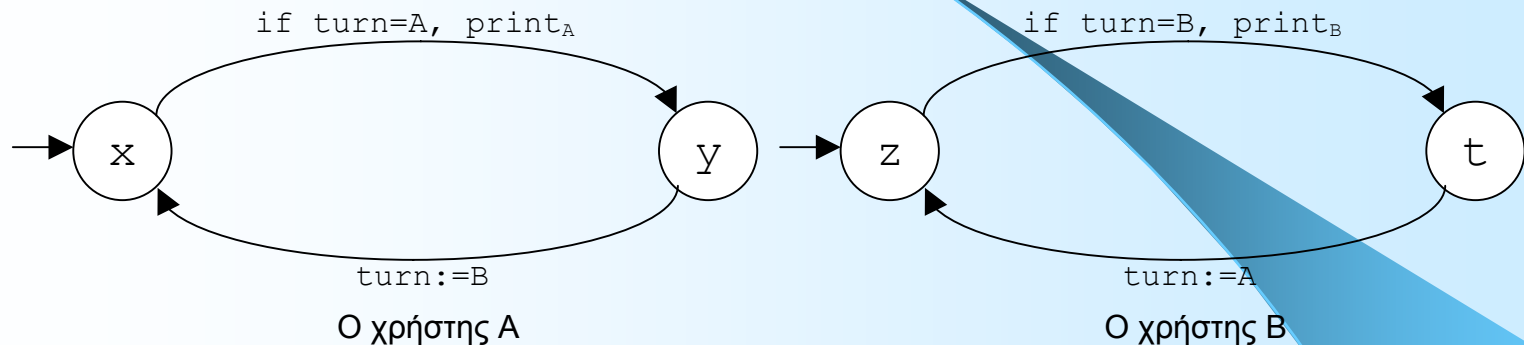
ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΣ ΜΕ ΔΙΑΜΟΙΡΑΣΙΜΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ I

- Ένας άλλος τρόπος επικοινωνίας των τμημάτων ενός συστήματος είναι η κοινή χρήση ενός αριθμού μεταβλητών.
- Από θεωρητική άποψη είναι δυνατό οι διαμοιράσιμες μεταβλητές να αναπαρασταθούν από συγχρονισμένο γινόμενο. Στην περίπτωση αυτή τις εισάγουμε στο μοντέλο εμφανώς.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Θεωρούμε δύο χρήστες A, B που διαμοιράζονται έναν εκτυπωτή. Θεωρούμε επίσης ότι διαμοιράζονται μία μεταβλητή την turn που ελέγχει το ποιος έχει σειρά να εκτυπώσει.

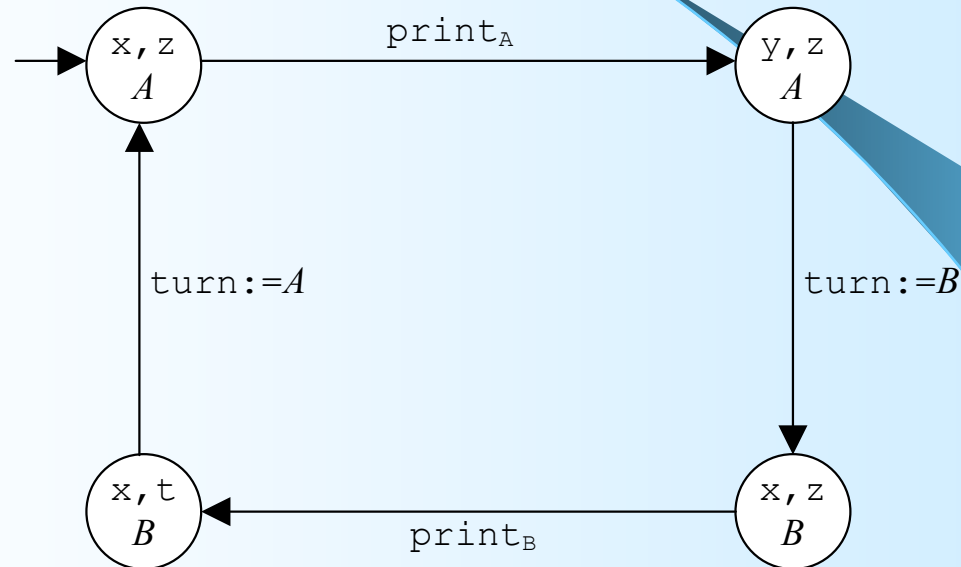
ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΣ ΜΕ ΔΙΑΜΟΙΡΑΣΙΜΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ II



- Το συνολικό αυτόματο που περιγράφει το σύστημα με τους χρήστες A και B κατασκευάζεται από τα δύο αυτόματα και από την τιμή της διαμοιράσιμης μεταβλητής `turn`. Αν η αρχική τιμή της μεταβλητής `turn` είναι A, τότε η αρχική κατάσταση του καθολικού αυτόματου είναι (x, z, A) . Από την κατάσταση αυτή η μόνη δυνατή μετάβαση είναι στην κατάσταση (y, z, A) κ.ο.κ.

Στο σχήμα του καθολικού αυτόματου δεν εμφανίζονται οι φρουροί επειδή έχουν συμπεριληφθεί μόνο οι μεταβάσεις που είναι συνεπείς με την τιμή της διαμοιράσιμης μεταβλητής `turn`.

ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΣ ΜΕ ΔΙΑΜΟΙΡΑΣΙΜΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ III



- Το σύστημα που υλοποιεί το απλό αυτό πρωτόκολλο εγγυάται ότι δεν υπάρχει προσεγγίσιμη κατάσταση της μορφής $(y, t, -)$, δηλ. κατάσταση στην οποία τυπώνουν και οι δύο χρήστες ταυτόχρονα.