

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

გია სურგულაძე, დავით გულუა

**უნიფიცირებული კეტრის ქსელის გამოყენება
ბანაწილეუბული სისტემების
მოდელირებისათვის**



დამტკიცებულია:
სტუ-ს სარედაქციო-
საგამომცემლო
საბჭოს მიერ

თბილისი – 2007

ს ა რ ჩ ე მ ვ ი

IV თავი. კატრის ქსელის ბირთვის გამოყენება განაწილებული სისტემების მოდელირებისთვის	3
4.1. პეტრის ქსელების ახალი ამოცანები	3
4.2. ჩიხების აღმოფხვრის CrossTalk-ალგორითმები	4
4.3. ურთიერთგამორიცხვის MUTEX-ალგორითმები	10
4.4. განაწილებულ მონაცემთა ბაზების განახლების „Master-Slave“-ალგორითმი	18
4.5. ქსელური სერვისების მოდელირება კორპორაციულ ქსელებში	22
4.5. დანართი	31
ლიტერატურა	

IV თავი

პეტრის ქსელის ბირთვის გამოყენება განაწილებული სისტემების მოდელირებისთვის

4.1 პეტრის ქსელების ახალი ამოცანები

პეტრის ქსელები თითქმის 40 წელია გამოიყენება მეცნიერებისა და ტექნიკის სხვადასხვა სფეროებში დინამიკური პროცესების მოდელირებისა და ანალიზის ამოცანების გადასაწყვეტად. განსაკუთრებით აქტუალური მნიშვნელობა შეიძინა მან თანამედროვე ინფორმაციული ტექნოლოგიების განვითარებასთან ერთად. მისი პრაქტიკული ღირებულება სულ უფრო იზრდება ბოლო ათწლეულში - კომპიუტერული ქსელების განვითარების პარალელურად.

თუ ადრე პეტრის ქსელებით მოდელირების ძირითად სივრცეს ოპერაციული სისტემები, კომპილატორები და ამ ტიპის სხვა სისტემები წარმოადგენდა, სადღეისოდ ეს ინსტრუმენტი წარმატებით გამოიყენება სხვა განაწილებული ალგორითმების მოდელირებისთვისაც, როგორცაა ლოკალური და გლობალური ქსელები, განაწილებული და ცენტრალიზებული მონაცემთა ბაზების მართვის სისტემები, ქსელური ოპერაციული სისტემები, სერვერ-კლასტერული და ვირტუალური სისტემები და სხვა, რომლებშიც ამოცანათა პარალელური შესრულება და პროცესების სინქრონიზაცია უმთავრეს კრიტერიუმებს წარმოადგენს.

ნაშრომში წარმოდგენილია რამდენიმე ცნობილი ალგორითმის ტრანსფორმირებული ვარიანტი პეტრის ქსელებში. მოდელების დიდი ნაწილი პეტრის ქსელის ბირთვის გარემოში იქნა აგებული.

შესაბამისი პეტრის ქსელის მოდელები და პეტრის ქსელების ენაზე გაფორმებული **PNML**-დოკუმენტები წიგნს ელექტრონული დანართის (**CD**) სახით ახლავს თან.

4.2 CrossTalk – ჩიხების აღმოფხვრის ალგორითმები

თავიდან ოპერაციული, ხოლო შემდეგ ქსელური სისტემების მოდელირების პროცესში ერთერთ მთავარ პრობლემას ჩიხური სიტუაციების წარმოშობა წარმოადგენს. განაწილებულ სისტემაში ჩიხი წარმოიშობა მაშინ, როცა ორი ქვესისტემა ერთდროულად ურთიერთლოდინის მდგომარეობაში იმყოფება ან კონფლიქტია რომელიმე რესურსისთვის.

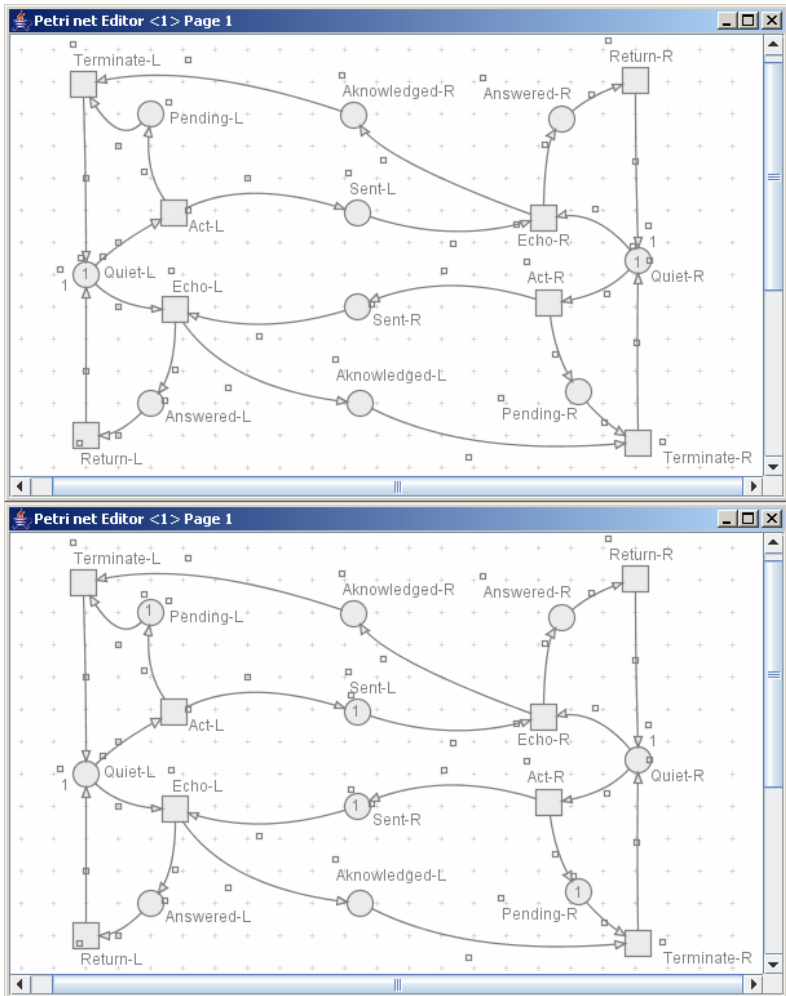
პირველი შემთხვევა სიმპტომატურია ოპერაციული სისტემების პროცესებისა და ქსელური პროტოკოლებსთვის. 4.1 ნახაზზე მოცემულია ელემენტარული პეტრის ქსელი ტიპური შემთხვევისათვის (“ცნობების გაგზავნა-მიღების ამოცანა”).

აქ ორი პროცესი (ან ქსელის კვანძი) ერთმანეთს ცნობებს (მესიჯებს) უგზავნის ინფორმაციის გასაცვლელად, ამასთან ინფორმაციის მორიგი ულუფის გასაგზავნად აუცილებელი პირობაა დასტურის მიღება წინა შეტყობინების წარმატებით მისვლის შესახებ.

ინფორმაციის გაგზავნისა და დასტურის მიღების ოპერაციათა ერთობლიობას რაუნდი ვუწოდოთ. პროცესი (მაგალითად L) გზავნის ცნობას (გადასასვლელი Act-L) და გადადის ლოდინის მდგომარეობაში (პოზიცია Pending-L).

პროცესი R შეტყობინების მიღებისთანავე გამოდის პასიური მდგომარეობიდან (Quiet-R) და გზავნის მიღების დასტურს (გადასასვლელი Echo-R), რის შემდეგაც უბრუნდება პასიურ მდგომარეობას (გადასასვლელი Return-R).

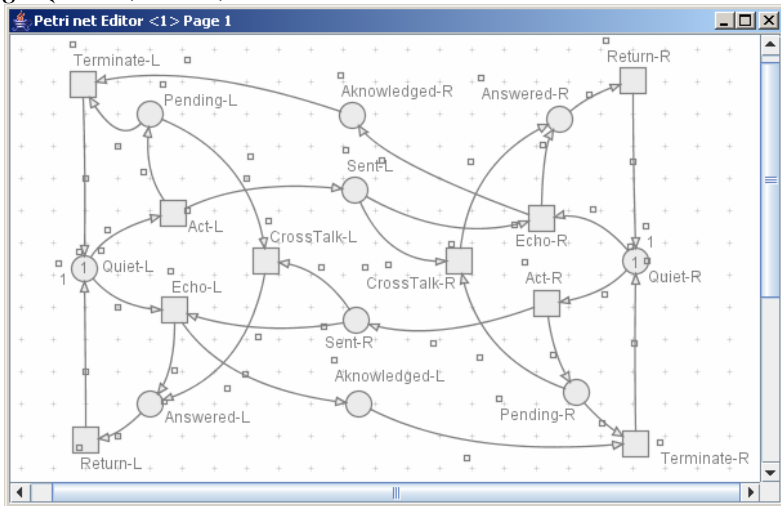
დასტურის მოსვლა გაწყვიტავს L-პროცესის ლოდინის მდგომარეობას (გადასასვლელი Terminate-L) და დააბრუნებს მას პასიურ მდგომარეობაში (პოზიცია Quiet-L). ორივე პროცესის პასიურ მდგომარეობაში დაბრუნებით რაუნდი სრულდება.



ნახ.4.1. ა) “ცნობათა გაგზავნა-მიღების” ამოცანის საწყისი მარკირება; ბ) ჩიხი

ამგვარ სისტემაში **ჩიხი** წარმოიშობა მაშინ, როცა ორივე აგენტი ერთსა და იმავე რაუნდში გადაწყვეტს ცნობის გაგზავნას (ნახ.4.1-ბ). ამ დროს ორივე პროცესი უსასრულოდ ელის ადრესატისგან დასტურის მოსვლას (პეტრის ქსელის ყველა გადასასვლელი ბლოკირებულია).

ჩიხის თავიდან ასაცილებლად შემუშავებულია ალგორითმი **CrossTalk**, რაც პეტრის ქსელში 2 სპეციალური გადასასვლელის ჩამატებას გულისხმობს (თითო თითო პროცესისთვის), რომელთაც სისტემის ჩიხიდან გამოყვანა შეუძლიათ (ნახ.4.2).



ნახ.4.2. ჩიხის აღმოფხვრის CrossTalk-ალგორითმი

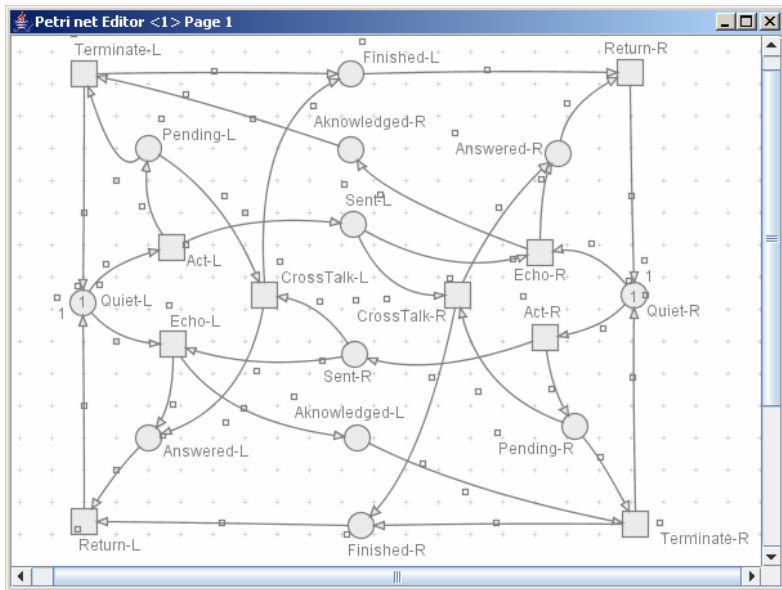
გადასასვლელი **CrossTalk** ერთ პროცესს აძლევს უფლებას მეორის მდგომარეობა შეამოწმოს და თავად ლოდინის მდგომარეობაში მყოფმა თუ დაადგინა, რომ მეორე პროცესიც იცდის, გაწყვიტოს ლოდინი და პირდაპირ დასტურის მიღების მდგომარეობაში გადავიდეს. დაპროგრამების ტერმინებით ეს ნიშნავს, რომ ლოგიკური ცვლადი, რომელიც პროცესის მდგომარეობის მნიშვნელობას ინახავს, ლოკალურიდან (მხოლოდ თავისი პროცესისთვის

გამოყენებადი) გლობალურ ცვლადად უნდა გარდაიქმნას, რომელთან მიმართა (და საჭიროებისამებრ მნიშვნელობის შეცვლაც) რამდენიმე პროცესს შეეძლება.

4.2 ნახაზზე მოცემული პეტრის ქსელიც “ცნობების გაგზავნა-მიღების” ამოცანის სრულყოფილ მოდელს ვერ წარმოადგენს. ქსელში ჩიხი უკვე გამოირიცხა, მაგრამ სემანტიკურად იგი ჯერ კიდევ დასამუშავებელია. კერძოდ, რიგ სისტემებში (პირველ რიგში, კომპიუტერულ ქსელებში) მონაცემთა მორიგი პაკეტის გაგზავნა აკრძალულია მანამ, სანამ წინა პაკეტის წარმატებით მიღების შესახებ დასტური არ მოვა, ანუ მორიგი რაუნდის დაწყებამდე ყოველი წინა რაუნდი ბოლომდე უნდა იქნას მიყვანილი.

4.2 ნახაზზე ეს წესი ირღვევა (**რაუნდის შეცდომა**), მაგალითად, გადასასვლელთა შემდეგი მიმდევრობით გაშვებისას **Act-L -> Echo-R -> Return-R -> Act-R -> CrossTalk-L**". ამ დროს პოზიციაში **"Sent-R"** მოხვედრილი მარკერი ეკუთვნის სისტემის ახალ (მეორე) რაუნდს (**R-დან L-ში ცნობის გაგზავნა**) და იგი აღწევს პროცეს **L-ს** მანამ, სანამ ეს უკანასკნელი პირველ რაუნდს დაასრულებდეს (ქვესისტემა **L პასიურ** მდგომარეობაში ჯერ კიდევ არ გადასულა ანუ **R-იდან დასტური** არ მიუღია).

პირველი რაუნდი დაუსრულებელი დარჩება, რაც პროცეს **R-ის** მიერ დაბრუნებული **დასტურის** “დაკარგვას” ნიშნავს. პრობლემის მოსაგვარებლად ქსელს ორი ახალი პოზიცია (**Finished-L** და **Finished-R**) ემატება, რომლებიც **"რაუნდის დასასრულის"** მდგომარეობას გამოსახავს (ნახ.4.3). აქ მოცემულ პეტრის ქსელში ახალი პოზიციები უკვე გამოირიცხავს პროცესის მიერ ახალი რაუნდის დაწყებას ძველის დასრულებამდე, ამასთან მოცემული პეტრის ქსელი პროცესების **პარალელიზმსაც** ამოღელირებს: **L-** და **R-** პროცესებს ცნობების პარალელურად გაგზავნა-მიღება შეუძლია.



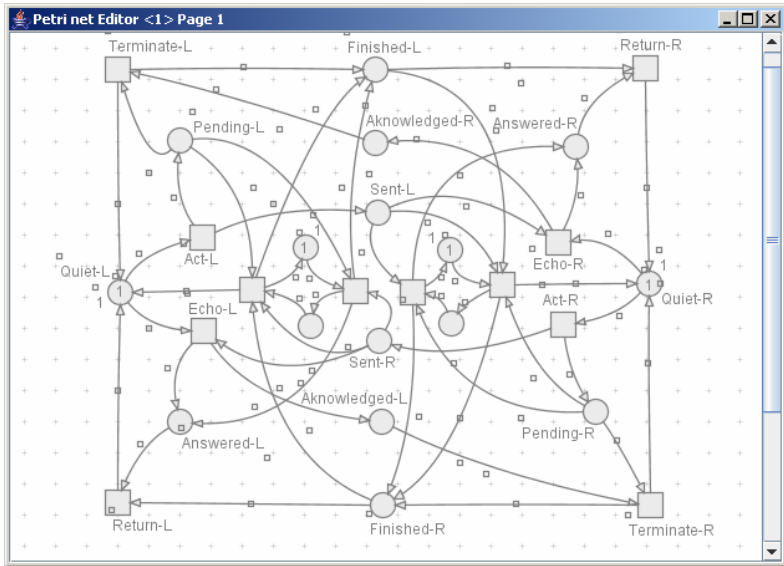
ნახ.4.3. რაუნდ-ორიენტრებული CrossTalk

ამასთან, მოდელი ვერ წყვეტს სინქრონიზაციის ამოცანას, რომელიც დაისმება იმ შემთხვევაში, თუ პროცესები ცნობების გაგზავნა-მიღებისთვის არა 2 ურთიერთდამოუკიდებელ, არამედ ერთ, საერთო გადაცემის ფიზიკურ არხს იყენებს.

თუ ამ დროს ორივე პროცესი ინფორმაციას პარალელურად გაგზავნის, ისინი გზაში შეხვდება და ერთმანეთს დაამახინჯებს, ხოლო დამახინჯების ფაქტს 4.3 ნახაზზე მოცემული პეტრის ქსელი ვერ ასახავს, ამიტომ საჭიროა **პრიორიტეტების** შემოღება იმ მიზნით, რომ მოცემულ დროის მომენტში ინფორმაციის გადაცემა მხოლოდ ერთი პროცესისთვის იყოს შესაძლებელი.

მარტივ შემთხვევაში ერთი პროცესი მეორის მიმართ ცალსახად პრიორიტეტულია, ანუ ერთი პროცესის **CrossTalk**-გადასასვლელი გაიშვება მეორისაზე ადრე და პროცესის მიმდინარე რაუნდიც მეორე სისტემის შესაბამის რაუნდზე ადრე დამთავრდება.

უფრო რთული ვარიანტია პეტრის ქსელი ალტერნატიული პრიორიტეტებით, რომელიც 4.4 ნახაზზეა გამოსახული. ალტერნატიულ-პრიორიტეტებიანი პეტრის ქსელის მოდელი ერთდროულად **პარალელიზმისა** და **სინქრონიზაციის** ამოცანებს წყვეტს, მხოლოდ იმ პირობით, რომ ქსელის მუშაობას **L-პროცესი** იწყებს.



ნახ.4.4. “ინფორმაციის გაგზავნა-მიღების” სისტემა ალტერნატიული პრიორიტეტებით

ორივე პროცესის მხრიდან **ცნობების** ერთდროული გაგზავნის შემთხვევაში **L-პროცესი** კავშირის არხის მონოპოლური მფლობელი ხდება და პირველი იყენებს ალტერნატიულ გადასასვლელს (**CrossTalk-L**) **R-პროცესის** საკონტროლო მარკერის მითვისების ხარჯზე (**Sent-R** პოზიციიდან), თავისი ბიჯის შესრულებისთანავე გადავა **Answered-L** პოზიციაში (“**R-პროცესისგან ცნობა მიღებულია**”) და “აიძულებს” **R-პროცესს ცნობის** ხელახლა გაგზავნას (**Quiet-R** პოზიციიდან, რომელიც ამ ოპერაციების

შედგად მარკერს ხელახლა ღებულობს). ამ ჯერზე **L**-პროცესი ცნობას ჩიხური სიტუაციის გარეშე მიიღებს და რაუნდს დაასრულებს, რის შემდეგაც მმართველი ფუნქციას უკვე **R**-პროცესი აიღებს და მორიგი რაუნდი დაიწყება.

4.3. MUTEX – ურთიერთგამორიცხვის ალგორითმი

ურთიერთგამორიცხვის პრობლემა ყველაზე გამოკვეთილად ოპერაციული სისტემების, კომპიუტერული ქსელების და მონაცემთა ბანკების მართვის სისტემების დაპროექტებისას წარმოიშობა, როცა რამდენიმე პროცესი საერთო რესურსებს ინაწილებს. რესურსებთან ერთდროული მიმართვა ხშირად ჩიხურ სიტუაციებს წარმოშობს ან რესურსების არასასურველ განაწილებას განაპირობს.

ურთიერთგამორიცხვის ალგორითმებს **MUTEX**-ალგორითმები მათი ინგლისური სახელწოდების შემოკლებული ვარიანტის მიხედვით ეწოდება (**MUTual EXclusion** - "ურთიერთგამორიცხვა").

ალგორითმების არსის გასაგებად წარმოვიდგინოთ სისტემა, რომელიც შედგება ორი ქვესისტემისაგან (ან რომელშიც 2 პროცესი მუშაობს) - **L** და **R**. თითოეული პროცესის მოქმედება შემოზღუდულია სამ მდგომარეობაში ციკლური გადასვლებით. ესენია **პასიური**, **ლოდინისა** და **კრიტიკულ უბანზე მუშაობის** მდგომარეობები.

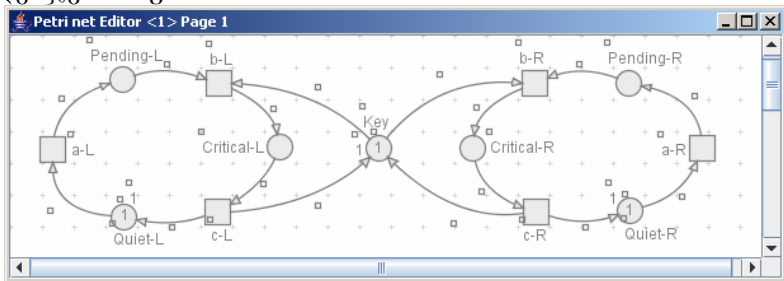
ამასთან, **პასიურიდან ლოდინის** მდგომარეობაში ორივე პროცესი ურთიერთდამოუკიდებლად გადადის, ხოლო მდგომარეობაში **კრიტიკული უბანი** ორივე პროცესის ერთდროულად ყოფნა არ შეიძლება (**ურთიერთგამორიცხვის** თვისება).

ვერცერთი პროცესი ლოდინის მდგომარეობიდან პასიურში ისე ვერ დაბრუნდება, თუ კრიტიკული უბანი არ გაიარა (**ეკოლუციურობის** თვისება).

არსებობს **MUTEX**-ის 2 საწყისი ალგორითმი რესურსების “უკიდურესად უსამართლო” და “უკიდურესად

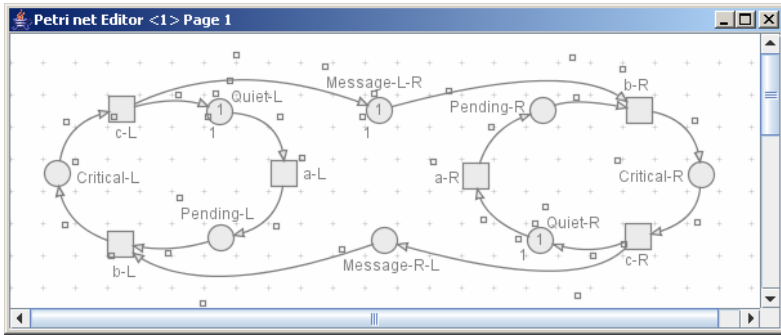
სამართლიანი” განაწილებისთვის. მათ მხოლოდ თეორიული ღირებულება გააჩნიათ:

კონფლიქტური MUTEX-ალგორითმი (ნახ.4.5) ერთი პროცესისგან საერთო რესურსის მუდმივი მითვისების შესაძლებლობას ასახავს. სურათზე **key** რესურსისათვის პროცესებს **კონფლიქტი** მოსდით და მისი გადაჭრის საშუალებაც არ ჩანს, ორივე პროცესს შეუძლია მიიტაცოს რესურსი და კრიტიკულ უბანზე რამდენჯერაც უნდა, იმდენჯერ იმუშაოს.



ნახ.4.5. კონფლიქტური MUTEX-ალგორითმი

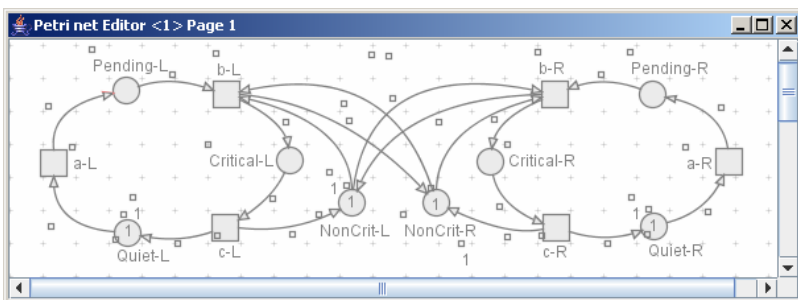
ალტერნატიულ MUTEX-ალგორითმში (ნახ.4.6) რესურსები ყოველთვის სამართლიანად ნაწილდება, ზედმეტად სამართლიანადაც. ერთი პროცესი კრიტიკული უბნიდან გამოსვლისას მეორეს აცნობებს, რომ კრიტიკულ უბანზე მუშაობა დაასრულა, რის შემდეგაც მეორე პროცესი ვალდებულია კრიტიკულ უბანზე იმუშაოს, სხვაგვარად პირველი პროცესი ხელახლა ვერ მოხვდება კრიტიკულ უბანზე და პირიქით.



ნახ.4.6. ალტერნატიული MUTEX-ალგორითმი

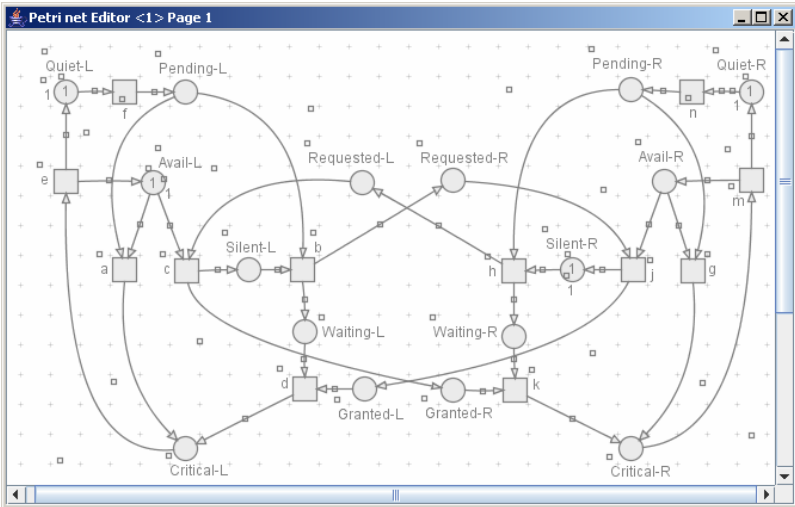
რეალური სისტემების უმრავლესობისთვის ამგვარი მიდგომა (ისევე, როგორც კონფლიქტი საერთო რესურსისთვის) მიუღებელია.

პრობლემა გადაწყდება, თუ ავაგებთ მდგომარეობის შემოწმების MUTEX-ალგორითმს (ნახ.4.7). მასში პროცესებს სპეციალური აღმების **noncrit-L** და **noncrit-R** საშუალებით ერთმანეთის მდგომარეობის შემოწმება შეუძლია და როცა კრიტიკული უბანი თავისუფალია, თითოეულ პროცესს მასში იმდენჯერ შეუძლია მოხვედეს, რამდენჯერაც უნდა.



ნახ.4.7. მდგომარეობის შემოწმების MUTEX-ალგორითმი

სამივე ზემოაღნიშნული ალგორითმი არასრულყოფილია. გაცილებით მისაღები იქნება, პროცესებს ერთმანეთისაგან კრიტიკულ უბანზე მუშაობის უფლების მოთხოვნა და ნებართვის გადაცემა რომ შეეძლოს. ამგვარ სისტემას მარკერული MUTEX-ალგორითმი აღწერს (ნახ.4.8).



ნახ.4.8. მარკერული MUTEX-ალგორითმი

მარკერი კრიტიკულ უბანზე მუშაობის უფლებას წარმოადგენს, რომელსაც დროის მოცემულ მომენტში მხოლოდ ერთი პროცესი ფლობს (მარკერი პოზიციაში **Avail-L** ან **Avail-R**). პროცესს კრიტიკულ ზონაში მოხვედრა მხოლოდ მარკერის ფლობის შემთხვევაში შეუძლია, ხოლო თუ მარკერი არ გააჩნია, შეუძლია მეორე პროცესისგან მისი მოთხოვნა (პოზიცია **Requested-L** ან **Requested-R**), რომელიც მარკერის მფლობელმა პროცესმა შეიძლება დააკმაყოფილოს და თვითონ უმარკეროდ დარჩეს (პოზიცია **Granted-L** ან **Granted-R**) ან არ დააკმაყოფილოს და ისევ თვითონ გავიდეს კრიტიკულ უბანზე. 4.8 ნახაზზე მარკერს **L**-პროცესი ფლობს (პოზიცია **Avail-L**) და მოქმედების ორი ვარიანტი აქვს: **a**

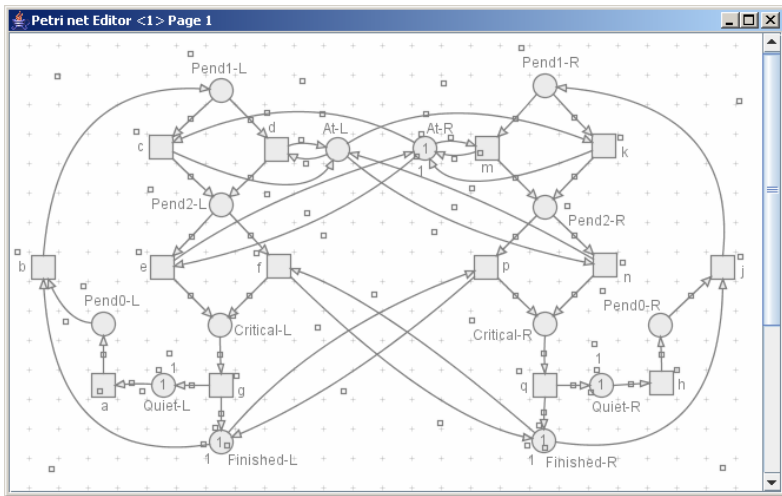
გადასასვლელით **კრიტიკულ** ზონაში მოხვდება (პოზიცია **Critical-L**) ან **c**-თი **პასიურ** მდგომარეობაში გადავა (**Silent-L**), რათა **R**-პროცესმა მოთხოვნის შემთხვევაში მარკერის მიღება შეძლოს. კრიტიკულ ზონაში მომუშავე **L**-პროცესი **e** გადასასვლელით საწყის მდგომარეობას დაუბრუნდება და ამასთან მარკერს **Avail-L** პოზიციაში აბრუნებს.

ამით ერთი ციკლი დასრულებულია, ხოლო მორიგ ციკლს ის პროცესი იწყებს, რომელსაც მარკერი არა აქვს (მარკერს მოითხოვს). წინა ციკლის შესრულების შედეგის მიხედვით მომთხოვნი შეიძლება იყოს ისევ **R**-პროცესი (**Pending-R**), თუ წინა ციკლში მარკერი არ გადაცემულა ან **L**-პროცესი (**Pending-L**) – თუ გადაიცა.

ურთიერთგამორიცხვის ამოცანის კიდევ უფრო მოქნილ ვარიანტს **პიტერსონის MUTEX**-ალგორითმი წარმოადგენს, სადაც რესურსის მისაღებად მზადმყოფი პროცესის ლოდინი სამ მდგომარეობადაა დანაწევრებული – მაგალითად, **L**-პროცესისთვის **Pend0-L**, **Pend1-L** და **Pend2-L** (ნახ.4.9). **Pend0-L** პოზიციას თეორიული ღირებულება არ გააჩნია, **პასიური** მდგომარეობიდან (**Quiet-L**) მასში გადასვლა ალგორითმის შესრულების საერთო სტრუქტურას არ არღვევს.

მაგრამ ამ მდგომარეობის არსებობა მოცემულ პეტრის ქსელში მაინც საჭიროა, რადგან მასში გადასვლით პროცესი გამოთქვამს **სურვილს** (და არა **პრეტენზიას**) კრიტიკულ ზონაში მუშაობის ნებართვაზე (ანუ მეორე პროცესს ჯერჯერობით ხელს არ უშლის), რაც რეალური სისტემების დაპროგრამებისას შეიძლება გახდეს საჭირო.

ალგორითმში 4 **ალამი**, იგივე საკვანძო პოზიციას: **Finished-L** და **Finished-R** (რაუნდის **დასასრული**), **At-L** და **At-R** (კრიტიკულ ზონაში სამუშაო ნებართვის **მარკერები**).

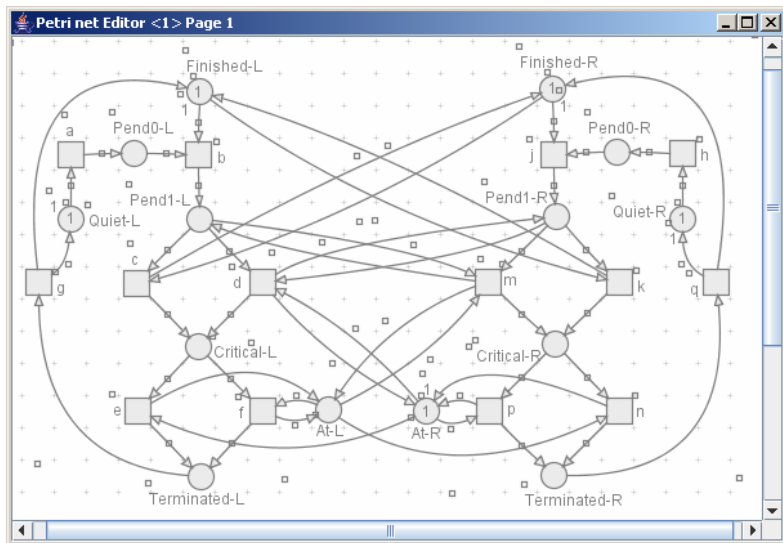


ნახ.4.9. პიტერსონის MUTEX-ალგორითმი

ამ ოთხ პოზიციაში მარკერების არსებობა განსაზღვრავს პროცესების კრიტიკულ ზონაში მოხვედრის მიმდევრობას. კერძოდ, თუ კრიტიკულ ზონაში მუშაობის სურვილს მხოლოდ ერთი, **L**-პროცესი გამოთქვამს (ანუ პოზიციაში **Finished-R** მარკერი შენარჩუნებულია), მაშინ **L**-პროცესი კრიტიკულ ზონას დაუბრკოლებლად აღწევს (გადასასვლელთა მიმდევრობა **a-b-c-f**), მაგრამ საკმარისია **R**-პროცესმა თვითონაც მოისურვოს კრიტიკულ ზონაში მუშაობა (გადასასვლელები **h-j**), რომ პროცესებს მოქმედებათა **სინქრონიზაცია** მოუწევს, ოღონდ სამართლიანად: პროცესები ერთმანეთს ვერ „გადაუსწრებს“, რომელი პროცესიც მარკერს პირველი მოითხოვს, კრიტიკულ ზონაშიც პირველი მოხვდება იმ გარანტიით, რომ მისი კრიტიკული ზონიდან გამოსვლისთანავე მეორე პროცესიც მიიღებს მასში მოხვედრის მარკერს (უფლებას).

დეკერის MUTEX-ალგორითმი პიტერსონისას გარეგნულად საკმაოდ ჰგავს (ნახ.4.10).

ძირითადი შინაარსობრივი განსხვავება შემდეგშია: პიტერსონის ალგორითმში **At-L** პოზიცია მარჯვნივ დებულობს მანამ, სანამ **L**-პროცესი კრიტიკულ ზონაში მოხვდებოდეს, ხოლო დეკერისაში - პირიქით, **L**-პროცესის კრიტიკულ ზონაში მოხვედრის შემდეგ.

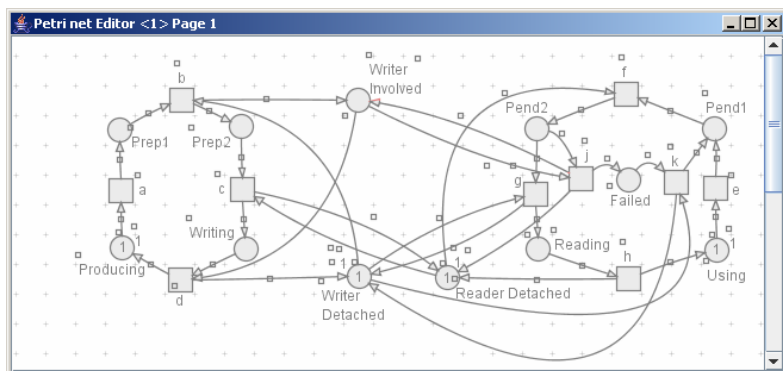


ნახ.4.10. დეკერის MUTEX-ალგორითმი

აქამდე განხილული ყველა ალგორითმი ორი თანასწორი პროცესის ურთიერთქმედებას აღწერდა.

რეალური სისტემების უმრავლესობაში პროცესებს პრიორიტეტები ენიჭებათ და საერთო რესურსებთან მიმართვისას მაღალპრიორიტეტის პროცესი უფლება-მოსილია დაბალპრიორიტეტის პროცესი „გამოაძევოს“.

ოვიცი / ლამპორტის MUTEX ალგორითმში ამგვარი სისტემის მოდელია წარმოდგენილი. მასში განაწილებული ცვლადის წაკითხვა-განახლების ოპერაციათა ურთიერთქმედება აისახება (ნახ.4.11).



ნახ.4.11. ოვაცი/ლამპორტის MUTEX-ალგორითმი

სისტემა ორი პროცესისგან შედგება: **ჩამწერისა (Writer)** და **წამკითხველისგან (Reader)**, რომლებიც საერთო მონაცემთა ცვლადის მნიშვნელობას ცვლის (ჩამწერი) ან ამოიკითხავს (წამკითხველი). **ჩამწერი** პროცესი პრიორიტეტულია.

ალგორითმი სამ ალამს იყენებს: **Writer Detached** (ჩამწერი მოიხსნა), **Writer Involved** (ჩამწერი ჩაერია) და **Reader Detached** (წამკითხველი მოიხსნა).

პირველი და მესამე ალამი შესაბამისად ჩამწერ და წამკითხველ პროცესებს მოხსნის კრიტიკული უბნიდან და მეორე პროცესს სამოქმედო გზას უხსნის, მეორე ალამი კი ჩამწერი პროცესის წამკითხველის მოქმედებაში ჩარევას ამოღებებს.

იგი ალკეოს **წამკითხველისგან** ცვლადის წაკითხვის ოპერაციას, თუ იმავედროულად **ჩამწერი** ცვლადის განახლებას დააპირებს.

პროცესების მიმდევრობა ასეთია: **ჩამწერს** მომზადებული აქვს ცვლადის ახალი მნიშვნელობა (პოზიცია **Producing**), რომელიც **a-b-c** გადასასვლელთა მიმდევრობის გახსნით უნდა გადაიტანოს კრიტიკულ ზონაში (პოზიცია **Writing**) და განაწილებული ცვლადის მნიშვნელობა განაახლოს.

დაეუშვათ, წამკითხველმაც უკვე წაიკითხა და გამოიყენა განაწილებული ცვლადის წინა მნიშვნელობა (პოზიცია **Using**) და მოინდომა თავის კრიტიკულ ზონაში (პოზიცია **Reading**) **e-f-g** გადასასვლელების გხსნის გზით გადასვლა განაწილებული ცვლადის ახალი მნიშვნელობის წასაკითხად.

წარმოიშობა ჩიხური სიტუაცია: **g** გადასასვლელის გახსნა აკრძალულია, რადგან პოზიციაში **Writer Detached** (**ჩამწერი მოიხსნა**) მარკერი არ არის და ვერც **c** გადასასვლელი გაიხსნება, რადგან პოზიციიდან **Reader Detached** (**წამკითხველი მოიხსნა**) მარკერი **წამკითხველმა** აიღო. ჩიხიდან გამოსავალს პოზიცია **Writer Involved** (**ჩამწერი ჩაერთა**) წარმოადგენს, რომელშიც არსებული მარკერის მონაწილეობით იხსნება **j** გადასასვლელი და **წამკითხველი** მდგომარეობაში **Failed** (**წაკითხვა ჩაიშალა**) გადადის, ხოლო **ჩამწერი** დაუბრკოლებლად აღწევს კრიტიკულ ზონას, განაახლებს ცვლადს და **d** გადასასვლელით თავის პირვანდელ მდგომარეობას უბრუნდება, რის შემდეგაც პოზიციას **Writer Detached** (**ჩამწერი მოიხსნა**) მარკერი უბრუნდება და **წამკითხველს** შეუძლია განაწილებული ცვლადის წასაკითხად ახალი რაუნდი წამოიწყოს (გადასასვლელთა მიმდევრობა **k-f-g**).

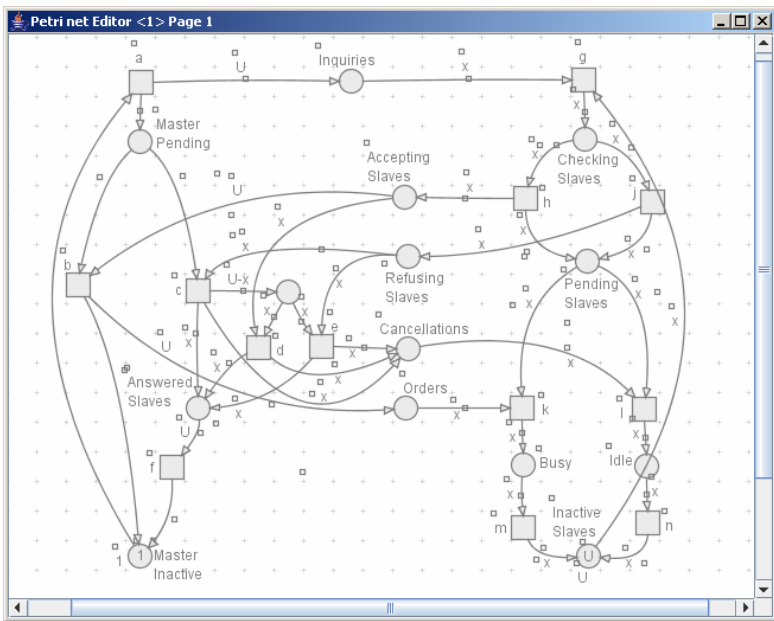
4.4 ბანაწილებულ მონაცემთა ბაზების ბანახლების „Master-Slave“ ალბორითში

განაწილებული მონაცემთა ბაზების მართვის სისტემებში პროცესთა პარალელიზმისა და სინქრონიზაციის უზრუნველყოფა უმნიშვნელოვანესი ამოცანებია. მონაცემებთან მიმართვა და მათი დამუშავება ისე უნდა განხორციელდეს, რომ ინფორმაციის ლოგიკური მთლიანობა არ დაირღვეს (მონაცემთა სხვადასხვა ბაზებში წინააღმდეგობრივი ინფორმაცია არ იქნეს შენახული).

სამაგალითოდ პეტრის ქსელის ბირთის გარემოში წარმოვადგენთ მაღალი დონის (სისტემურ) პეტრის ქსელს

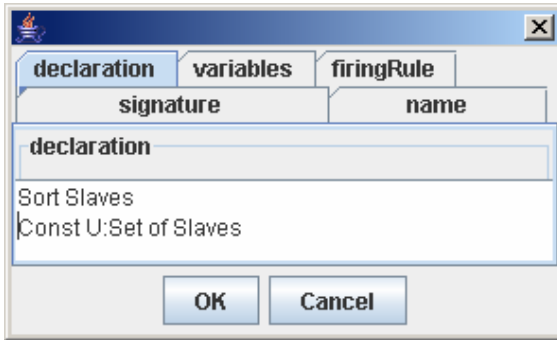
განაწილებულ მონაცემთა ბაზებში აქტუალური განახლების ამოცანისთვის. მოდელი შეიცავს ერთ სერვერულ (“მასტერ”) პროცესს, რომელიც მართავს კლიენტების (“სლეივ”) პროცესთა სიმრავლეს, სადაც თითოეული კლიენტ-პროცესი ერთ მონაცემთა ბაზას განახლებს.

განაწილებული ალგორითმის პირობა ასეთია: თუ ერთი მაინც კლიენტ-პროცესი მზად არ არის განახლების ოპერაციის შესასრულებლად, განახლების მთელი პროცედურა უქმდება (მოიხსნება). შესაბამისი პეტრის ქსელი 4.12 ნახაზზეა მოცემული.

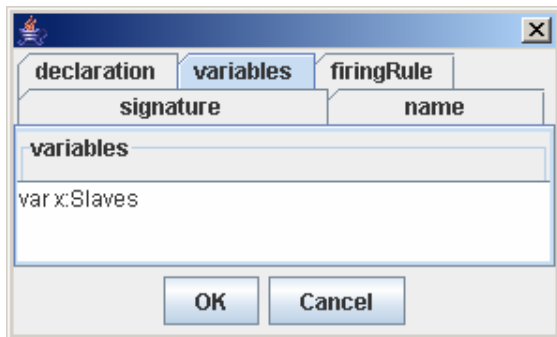


ნახ.4.12. მაღალი დონის პეტრის ქსელის მასტერ-სლეივ ალგორითმისთვის

ამოცანის მოდელირებისთვის პეტრის ქსელის ბირთვიდან მაღალი დონის (სისტემური) პეტრის ქსელის ინსტრუმენტები გამოიყენება (ნახ.4.13-14).



ნახ.4.13. პეტრის ქსელის მონაცემთა აღწერის ფანჯარა;



ნახ.4.14. პეტრის ქსელის ცვლადების აღწერის ფანჯარა

4.13-14 ნახაზებზე პეტრის ქსელის ბირთვის ინტერფეისში ქსელის **სისტემური სქემის** აღწერაა მოცემული, საიდანაც ჩანს, რომ ქსელისთვის განისაზღვრება ერთი ახალი ტიპი **Slaves** (კლიენტ-პროცესები), მუდმივა **U** წარმოადგენს **Slaves**-ტიპის კონსტანტას (ყველა კლიენტ-პროცესის სიმრავლე), ხოლო ცვლადი **x** – კონკრეტულ კლიენტ-პროცესს გამოსახავს. **სერვერ-პროცესი** ერთია, ამიტომ იგი შავი მარკერით გამოისახება.

ალგორითმის შესრულების დასაწყისში სერვერ- და კლიენტ-პროცესები **პასიურ** მდგომარეობაში იმყოფება (პოზიციები **Master Inactive** და **Inactive Slaves** შესაბამისად). განახლების პროცედურას სერვერ-პროცესი იწყებს,

რომელიც პირველ ეტაპზე კლიენტ-პროცესების „გამოკითხვას“ ატარებს (პოზიცია **Inquiries**) განახლებისთვის მათი მზადყოფნის დასადგენად.

თუ ყველა კლიენტ-პროცესმა დადებითი პასუხი დააბრუნა (ანუ პოზიციაში **Accepting Slaves** კონსტანტა **U** მოხვდა), სერვერ-პროცესი განახლების პროცედურას დაიწყო (გადასასვლელთა მიმდევრობა **b-k-m**), წინააღმდეგ შემთხვევაში (ერთი მაინც კლიენტ-პროცესი პოზიციაში **Refusing Slaves**) განახლების ტრანზაქცია უქმდება და შუალედური ოპერაციებით ყველა კლიენტ-პროცესი **გაუქმების** პოზიციაში იყრის თავს (პოზიცია **Cancellations**), საიდანაც ისინი **პასიურ** მდგომარეობას უბრუნდება ახალი ტრანზაქციის ინიცირებამდე სერვერ-პროცესის მხრიდან.

შეიძლება დავასკვნათ, რომ პეტრის ქსელის ბირთვი (**PNK**) მოსალოდნელია იქცეს ერთერთ ყველაზე მოხერხებულ საშუალებად სხვადასხვა აქტუალური საპრობლემო სფეროების მოდელირებისთვის მისი უნივერსალურობიდან და მოქნილობიდან გამომდინარე, რაც მას პოტენციურად პეტრის ქსელის დღეს არსებულ ყველა ტიპთან მომუშავე ინსტრუმენტად აქცევს.

4.5. ქსელური სერვისების მოდელირება კორპორაციულ ქსელებში

ამოცანის დასმა. კორპორაციული ქსელების (MAN – Metropolitan Area Network) განვითარება ბოლო ათწლეულში შეუქცევად პროცესს წარმოადგენს და პრინციპულად ახალ ამოცანებს უყენებს ინფორმატიკოსებს. თუ **ლოკალურ კომპიუტერულ ქსელებში (LAN – Local Area Network) ქსელის ადმინისტრირების პრობლემა** არცთუ მწვავე იყო, კორპორაციულ ქსელებში ამ საქმეს საკმაოდ დიდი ოდენობის კვალიფიცირებული პერსონალი ემსახურება და ორგანიზაციის გამართული მუშაობა მათზე დიდადაა დამოკიდებული.

ჩამოვთვალეთ ძირითადი თვისებები, რომლებიც კორპორაციულ ქსელებს გამოარჩევს და ამოცანები, რომელთა გადაჭრა ამგვარი ქსელების ადმინისტრატორებს უწევთ, რათა ცხადი გავხადოთ მოდელირების ეფექტური ინსტრუმენტის (ჩვენს შემთხვევაში პეტრის ქსელებისა და პეტრის ქსელის ბირთვის) გამოყენების აუცილებლობა მათი დაპროექტებისას.

გავრცელების გეოგრაფია. კორპორაციული ქსელი, როგორც წესი, დიდი ქალაქის ან მეგაპოლისის მთლიან არეს მოიცავს, ხოლო ხშირ შემთხვევაში მის ფარგლებს გარეთ გადის;

მომხმარებელთა დიდი რაოდენობა. ლოკალურ ქსელში თუ რამდენიმე ათეული მომხმარებელი მუშაობს, კორპორაციული ქსელი ხშირად ათეულ ათასობით დარეგისტრირებულ და არანაკლები ოდენობის ანონიმურ მომხმარებელს ითვლის.

სერვისების დიდი რაოდენობა. კორპორაციულ ქსელებში მომუშავენი უამრავ სხვადასხვა სერვისს და შესაბამის რესურსებს იყენებენ.

აპარატურის მრავალფეროვნება. განსხვავებით ლოკალურისგან, კორპორაციული ქსელი ჰეტერო-გენულ აპარატულ გარემოში მუშაობს როგორც კლიენტის (“თხელი” კლიენტებით დაწყებული და დიდი სამუშაო

სადგურებით დამთავრებული), ასევე სერვერული და ქსელური აპარატურის (კონცენტრატორები, მარშრუტიზატორები, კომუტატორები, შლუზები, სპეციალიზებული სერვერები, ხისტი დისკების მასივები, მაგნიტური ფირების ბიბლიოთეკები და სხვა მრავალი) თვალსაზრისით.

ინფორმაციის მოცულობა, უსაფრთხოება და შენახვის საიმედოობა. ლოკალურ ქსელებში ინფორმაციასთან მუშაობა განსაკუთრებულად რთული არ არის. ინფორმაციის მოცულობა შედარებით მცირეა, ცვლილების დინამიკა – შეზღუდული, ხოლო მონაცემთა სარეზერვო ასლების შესაქმნელად ხშირად ლოკალური მოწყობილობების (ფირი, კომპაქტ-დისკი და სხვა) გამოყენება სავსებით საკმარისია.

სხვა სურათია კორპორაციულ ქსელებში, სადაც სხვადასხვა სერვისების მიერ მოხმარებული ინფორმაციის ჯამი ათობით და ასობით ტერაბაიტებით გამოიხატება და მომხმარებელთა სიმრავლის წყალობით ინფორმაცია მუდმივ მოდიფიცირებას განიცდის, რაც ფუექტს უკარგავს ნახსენებ მეხსიერების მატარებლებზე მონაცემთა კოპირებას. საჭიროა ინფორმაციის მუდმივი, დინამიკური დუბლირება და საჭიროების შემთხვევაში მისი დროითი დაყოვნების გარეშე, ავტომატურად აღდგენა.

ყველა ზემოთხამოთვლილი ფაქტორი ძალაში რჩება არა მარტო მთლიანი კორპორაციული ქსელის განხილვისას, არამედ მისი კონკრეტული სერვისის დაპროექტებისა და აგების პროცესში. მართლაც, თუ გავითვალისწინებთ, რომ კორპორაციულ ქსელებში ადმინისტრირება და მონაცემთა შენახვა ცენტრალიზებული პროცესებია, დავასკვნით, რომ ქსელის ნებისმიერი ზოგადი (ინტრანეტი, ელექტრონული ფოსტა, პროგრამული და ფაილური სერვისები და სხვა) და სპეციფიკური (მაგალითად, უნივერსიტეტებისთვის: სტუდენტური პორტალი, ონლაინ-ბიბლიოთეკა) სერვისები საჭიროებს მიმართვის საშუალებებს კორპორაციული ქსელის სხვადასხვა კვანძებში განთავსებულ რესურსებთან, როგორცაა ქსელური პროგრამები, მონაცემთა საქალაქდები, პრინტერები და ა.შ.

ამრიგად, ნებისმიერი ამგვარი სერვისის მოდელირება შრომატევად საქმედ უნდა მივიჩნიოთ და მოდელირების სპეციალური ინსტრუმენტების საჭიროება უნდა დავასაბითოთ.

დასამოდელირებელი საპრობლემო სფეროს სახით წარმოვადგენთ დასავლეთ ევროპის უნივერსიტეტებში საკმაოდ გავრცელებულ, **CD ROM**-სერვისს. სერვისი შეიცავს საცნობარო კომპაქტ-დისკების (ენციკლოპედიები, ბიბლიოგრაფიები, ცნობარები, კანონთა კრებულები და სხვა მასალა მეცნიერების ყველა სფეროდან, რომელიც უნივერსიტეტის სტუდენტ-მასწავლებლებს მუშაობის პროცესში შეიძლება დასჭირდეთ) ბიბლიოთეკას, რომელიც ცენტრალიზებული შენახვის რეჟიმშია გადაყვანილი (მარტივად თუ ვიტყვი, კომპაქტ-დისკების ძირითადი ნაწილი ხისტ დისკებზეა კოპირებული) და მომხმარებლებისთვის ქსელურ რეჟიმში მუშაობს.

სერვისის დაპროექტებისას საჭიროა გადაიჭრას შემდეგი ამოცანები:

- სერვისთან მომხმარებელთა პარალელური შეერთება, პროგრამების ცენტრალიზებული და პარალელური შესრულება, სამუშაო სესიების უწყვეტობა და ცენტრალიზებული მართვა;
- მონაცემთა საიმედო მიმართვა, შენახვა და არქივაცია;
- სერვისის გაფართოების შესაძლებლობა.

ამოცანის გადაწყვეტის მეთოდები.

სერვისის სრულყოფილი მოდელის ასაგებად პირველ რიგში უნდა ავაგოთ მისი ოპტიმალური აპარატული და პროგრამული ინფრასტრუქტურა ზემოთ ჩამოთვლილი ყოველი ამოცანისათვის:

1. პროგრამების ცენტრალიზებული შესრულების-თვის იდეალური იქნებოდა სუპერ- ან მინიკომპიუტერი, კლიენტების პარალელური მიერთებისა და პროგრამების პარალელური შესრულების შესაძლებლობით, რაც დიდ ფინანსურ დანახარჯებს იწვევს. შეზღუდული

დაფინანსებისას უკეთესია სერვერებად სპეციალური კონფიგურაციის მქონე პერსონალური კომპიუტერების გამოყენება. კერძოდ, **CD ROM-სერვისისთვის 2 პროგრამული ანუ ტერმინალ-სერვერის** გამოყენება იქნებოდა მიზანშეწონილი, რომლებიც კომპაქტ-დისკების გამშვები პროგრამების ასლებს შეიცავს და კლიენტთა მიმართებს თანაბრად ინაწილებს. ტერმინალ-სერვერებისთვის გამაერთიანებელი პროგრამული უზრუნველყოფა არსებობს, რომლის წყალობითაც ისინი ერთმანეთს აზღვევენ. კერძოდ, ერთერთის მწყობრიდან გამოსვლისას ახალი მომხმარებლები სისტემაში რეგისტრაციისას ავტომატურად მეორე სერვერზე მოხვებიან. ორივე სერვერის მწყობრიდან ერთდროული გამოსვლის აღბათობა მცირეა. ამგვარად, აღწერილი მიდგომით უზრუნველყოფთ სერვერებზე მომხმარებელთა თანაბარ განაწილებას და ტერმინალ-სერვერის მუშაობის ფაქტობრივ უწყვეტობას.

2. კორპორაციულ ქსელებში, როგორც წესი, მონაცემები პროგრამებისგან თითქმის სრულებით იზოლირებულად ინახება, კერძოდ, ხისტი დისკების მასივებში ცენტრალიზებული სახით. საგანგებო ქსელური ტექნოლოგიები უზრუნველყოფენ მონაცემთა საცავების მართვას **ფაილ-სერვერების** მიერ. ფაილ-სერვერის რეალიზაციის ყველაზე ოპტიმალურ ტექნოლოგიას სადღეისოდ **კლასტერული არქიტექტურა** წარმოადგენს.

კლასტერი 2 ან მეტი **კვანძისგან** (კომპიუტერისგან) შემდგარ შიდა ქსელს წარმოადგენს, რომელიც აპარატულ და პროგრამულ დონეზე ერთი სერვერის სახითაა გაფორმებული. კლასტერი შეიცავს წინასწარ განსაზღვრული რესურსების სიმრავლეს (**IP-მისამართები**, ქსელური სახელები, სისტემური სერვისები, განაწილებული საქაღალდეები, გამოყენებითი პროგრამები და სხვა). ყოველი მათგანი დროის მოცემულ მომენტში კონკრეტული კვანძის კუთვნილებაა, ხოლო კვანძის მწყობრიდან გამოსვლის შემთხვევაში სპეციალური **კლასტერის სისტემური სერვისი** მას ავტომატურად გადაიტანს სხვა მოქმედ კვანძზე.

კლიენტებს, დროის ყოველ მომენტში, ერთ კომპიუტერთან მუშაობის შთაბეჭდილება ექმნებათ, თუმცა ფიზიკური სურათი შეიძლება სხვადასხვა დროს სხვადასხვა იყოს.

მონაცემებთან მიმართვის უსაფრთხოება კლასტერებში უზრუნველყოფილია კვანძების (დისკების მასივთან მიმართვის პირველადი და ალტერნატიული “გზები” ყოველი კვანძიდან), კლასტერის (ერთი კვანძის მწყობრიდან გამოსვლისას დისკების საცავს მეორე კვანძი მიმართავს) და ხისტი დისკების საცავის (დისკების სარკისებური ასახვა) დონეზე, რაც მთლიანი ფაილ-სერვერის მაღალი საიმედოობის გარანტიაა.

სისტემის პრაქტიკული რეალიზაცია. ბერლინის ჰუმბოლდტის უნივერსიტეტის ბიბლიოთეკის **CDROM** სერვისი აგებულ იქნა 2 ტერმინალ-სერვერისა და 2-კვანძიანი (სერვერები ორმაგი **IntelXeon** პროცესორებით) კლასტერის ბაზაზე ჯამური 700 გიგაბაიტი გარე მეხსიერებით ხისტი დისკების საცავიდან და ფიზიკური კომპაქტ-დისკების ამძრავთა მასივით **SCSI**-ინტერფეისის საფუძველზე.

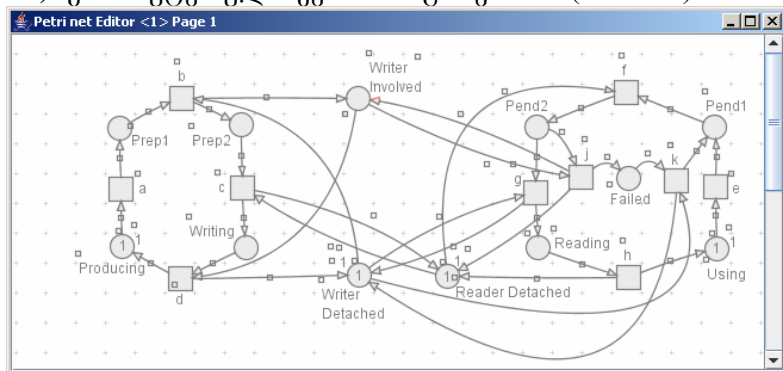
პეტრის სრული ქსელი მოცემული სერვისისათვის დისერტაციას ელექტრონული დანართის სახით ახლავს თან. საერთო სტრუქტურის სირთულის გამო იგი მოდულური სახითაა წარმოდგენილი ცნობილი სიმულატორის, **CPN-Tools**-ის გარემოში.

ტერმინალ-სერვერის მმართველ პროგრამად სისტემა **Citrix MetaFrame XP** იქნა შერჩეული, ხოლო კლიენტებთან ურთიერთობისთვის იმავე სისტემის კლიენტის ნაწილი **Citric ICA-Client**. კლასტერი აგებულია ოპერაციული სისტემა **Windows 2003**-ის კლასტერული სერვისის ბაზაზე, ხოლო ხისტი დისკების საცავის მმართველი სპეციალიზებული სერვერები (უნივერსიტეტის ყველა სერვისისთვის) **LINUX**-ოპერაციული სისტემის ბაზაზე აიგო.

4.15 ნახაზზე მოცემულია ზემოაღნიშნული კორპორაციული ქსელის მართვის მსგავსი სისტემების ზოგადი პეტრის ქსელის მოდელი.

**პეტრის ქსელის მონიშვნათა ენის გამოყენების ნიმუში
ოვიცკი-ლამპორტის ბანაწილეზული ალგორითმისთვის**

ოვიცკი-ლამპორტის ალგორითმი (იხილეთ თავი 4) განაწილებულ სისტემებში პროცესების პრიორიტეტების მოდელირებისთვის გამოიყენება. პეტრის ქსელი მოცემული ალგორითმისთვის აგებულია პეტრის ქსელის ბირთვის (PNK) კომპიუტერული ვერსიის გარემოში (ნახ.4.16.)



ნახ.4.16. ოვიცკი/ლამპორტის MUTEX-ალგორითმი

პეტრის ქსელის სტრუქტურა ინახება შესაბამის **PNML**-ფაილში, რომელიც 4.1 ლისტინგშია გამოტანილი. ქვემოთ მოცემული **PNML**-დოკუმენტის მთავარი ელემენტებია:

<pnml> - მთლიანი დოკუმენტი

<net> - პეტრის ქსელი

<place> - პოზიცია

<transition> - გადასასვლელი

<arc> - რკალი

<name> - ელემენტის სახელი

<value> - ელემენტის მნიშვნელობა

<graphics> - გრაფიკული თვისებები

<position> - ელემენტის კოორდინატები პეტრის ქსელის გრაფზე

<offset> - ჭდის კოორდინატები შესაბამისი ელემენტის მიმართ.

PNML-სტრუქტურა ოპტიკო-ლაზერტის ალგორითმისთვის:

```

<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>

<pnml>
  <net id="n1" type="BlackTokenNet">
    <transition id="t1">
      <name>
        <graphics>
          <offset page="1" x="-3" y="-30" />
        </graphics>
        <value>b</value>
      </name>
      <graphics>
        <position page="1" x="89" y="37" />
      </graphics>
    </transition>
    <transition id="t2">
      <name>
        <graphics>
          <offset page="1" x="15" y="-12" />
        </graphics>
        <value>a</value>
      </name>
      <graphics>
        <position page="1" x="38" y="113" />
      </graphics>
    </transition>
    <transition id="t3">
      <name>
        <graphics>
          <offset page="1" x="-4" y="6" />
        </graphics>
        <value>d</value>
      </name>
      <graphics>
        <position page="1" x="88" y="188" />
      </graphics>
    </transition>
    <transition id="t4">
      <name>
        <graphics>

```

```

        <offset page="1" x="-20" y="-12" />
    </graphics>
    <value>c</value>
</name>
<graphics>
    <position page="1" x="140" y="112" />
</graphics>
</transition>
<place id="p1">
    <marking>
        <graphics>
            <offset page="1" x="-3" y="-12" />
        </graphics>
        <value> </value>
    </marking>
    <name>
        <graphics>
            <offset page="1" x="10" y="-1" />
        </graphics>
        <value>Prep1</value>
    </name>
    <initialMarking>
        <graphics>
            <offset page="1" x="20" y="32" />
        </graphics>
        <value> </value>
    </initialMarking>
    <graphics>
        <position page="1" x="37" y="62" />
    </graphics>
</place>
<place id="p2">
    <marking>
        <graphics>
            <offset page="1" x="-2" y="-12" />
        </graphics>
        <value> 1</value>
    </marking>
    <name>
        <graphics>
            <offset page="1" x="-36" y="7" />

```

```

    </graphics>
    <value>Producing</value>
  </name>
  <initialMarking>
    <graphics>
      <offset page="1" x="11" y="-17" />
    </graphics>
    <value> 1</value>
  </initialMarking>
  <graphics>
    <position page="1" x="39" y="161" />
  </graphics>
</place>
<place id="p3">
  <marking>
    <graphics>
      <offset page="1" x="-3" y="-12" />
    </graphics>
    <value> </value>
  </marking>
  <name>
    <graphics>
      <offset page="1" x="-47" y="-25" />
    </graphics>
    <value>Writing</value>
  </name>
  <initialMarking>
    <graphics>
      <offset page="1" x="20" y="32" />
    </graphics>
    <value> </value>
  </initialMarking>
  <graphics>
    <position page="1" x="143" y="162" />
  </graphics>
</place>
<place id="p4">
  <marking>
    <graphics>
      <offset page="1" x="-3" y="-12" />
    </graphics>

```

```

    <value> </value>
  </marking>
  <name>
    <graphics>
      <offset page="1" x="-41" y="2" />
    </graphics>
    <value>Prep2</value>
  </name>
  <initialMarking>
    <graphics>
      <offset page="1" x="20" y="32" />
    </graphics>
    <value> </value>
  </initialMarking>
  <graphics>
    <position page="1" x="139" y="59" />
  </graphics>
</place>
<place id="p5">
  <marking>
    <graphics>
      <offset page="1" x="-3" y="-12" />
    </graphics>
    <value> </value>
  </marking>
  <name>
    <graphics>
      <offset page="1" x="10" y="-37" />
    </graphics>
    <value>Writer
Involved</value>
  </name>
  <initialMarking>
    <graphics>

      <offset page="1" x="20" y="32" />
    </graphics>
    <value> </value>
  </initialMarking>
  <graphics>
    <position page="1" x="237" y="37" />

```



```

    </graphics>
  </place>
  <place id="p6">
    <marking>
      <graphics>
        <offset page="1" x="-3" y="-11" />
      </graphics>
      <value> 1</value>
    </marking>
    <name>
      <graphics>
        <offset page="1" x="-31" y="5" />
      </graphics>
      <value>Writer
Detached</value>
    </name>
    <initialMarking>
      <graphics>
        <offset page="1" x="-34" y="-81" />
      </graphics>
      <value> 1</value>
    </initialMarking>
    <graphics>
      <position page="1" x="238" y="185" />
    </graphics>
  </place>
  <place id="p7">
    <marking>
      <graphics>
        <offset page="1" x="-3" y="-11" />
      </graphics>
      <value> 1</value>
    </marking>
    <name>
      <graphics>
        <offset page="1" x="7" y="2" />
      </graphics>
      <value>Reader Detached</value>
    </name>
    <initialMarking>
      <graphics>

```

```

        <offset page="1" x="6" y="-24" />
    </graphics>
    <value> 1</value>
</initialMarking>
<graphics>
    <position page="1" x="312" y="186" />
</graphics>
</place>
<transition id="t5">
    <name>
        <graphics>
            <offset page="1" x="-4" y="-30" />
        </graphics>
        <value>h</value>
    </name>
    <graphics>
        <position page="1" x="464" y="187" />
    </graphics>
</transition>
<transition id="t6">
    <name>
        <graphics>
            <offset page="1" x="14" y="-10" />
        </graphics>
        <value>e</value>
    </name>
    <graphics>
        <position page="1" x="537" y="111" />
    </graphics>
</transition>
<transition id="t7">
    <name>
        <graphics>
            <offset page="1" x="-18" y="-23" />
        </graphics>
        <value>g</value>
    </name>
    <graphics>
        <position page="1" x="386" y="116" />
    </graphics>
</transition>

```

```

<transition id="t8">
  <name>
    <graphics>
      <offset page="1" x="-3" y="-30" />
    </graphics>
    <value>f</value>
  </name>
  <graphics>
    <position page="1" x="462" y="32" />
  </graphics>
</transition>
<transition id="t9">
  <name>
    <graphics>
      <offset page="1" x="4" y="-31" />
    </graphics>
    <value>j</value>
  </name>
  <graphics>
    <position page="1" x="424" y="103" />
  </graphics>
</transition>
<place id="p8">
  <marking>
    <graphics>
      <offset page="1" x="-3" y="-12" />
    </graphics>
    <value> </value>
  </marking>
  <name>
    <graphics>
      <offset page="1" x="-15" y="6" />
    </graphics>
    <value>Failed</value>
  </name>
  <initialMarking>
    <graphics>
      <offset page="1" x="20" y="32" />
    </graphics>
    <value> </value>
  </initialMarking>

```

```

<graphics>
  <position page="1" x="464" y="104" />
</graphics>
</place>
<place id="p9">
  <marking>
    <graphics>
      <offset page="1" x="-3" y="-12" />
    </graphics>
    <value> </value>
  </marking>
  <name>
    <graphics>
      <offset page="1" x="-26" y="-29" />
    </graphics>

    <value>Pend2</value>
  </name>
  <initialMarking>
    <graphics>
      <offset page="1" x="20" y="32" />
    </graphics>
    <value> </value>
  </initialMarking>
  <graphics>
    <position page="1" x="387" y="61" />
  </graphics>
</place>
<place id="p10">
  <marking>
    <graphics>
      <offset page="1" x="-3" y="-12" />
    </graphics>
    <value> </value>
  </marking>
  <name>
    <graphics>
      <offset page="1" x="14" y="-15" />
    </graphics>
    <value>Reading</value>
  </name>

```

```

<initialMarking>
  <graphics>
    <offset page="1" x="20" y="32" />
  </graphics>
  <value> </value>
</initialMarking>
<graphics>
  <position page="1" x="388" y="162" />
</graphics>
</place>
<place id="p11">
  <marking>
    <graphics>
      <offset page="1" x="-3" y="-12" />
    </graphics>
    <value> 1</value>
  </marking>
  <name>
    <graphics>
      <offset page="1" x="-8" y="10" />
    </graphics>
    <value>Using</value>
  </name>
  <initialMarking>
    <graphics>
      <offset page="1" x="11" y="-17" />
    </graphics>
    <value> 1</value>
  </initialMarking>
  <graphics>
    <position page="1" x="538" y="163" />
  </graphics>
</place>
<place id="p12">
  <marking>
    <graphics>
      <offset page="1" x="-3" y="-12" />
    </graphics>
    <value> </value>
  </marking>
  <name>

```

```

    <graphics>
      <offset page="1" x="-7" y="-29" />
    </graphics>
    <value>Pend1</value>
  </name>
  <initialMarking>
    <graphics>
      <offset page="1" x="20" y="32" />
    </graphics>
    <value> </value>
  </initialMarking>
  <graphics>
    <position page="1" x="536" y="61" />
  </graphics>
</place>
<transition id="t10">
  <name>
    <graphics>
      <offset page="1" x="-4" y="-29" />
    </graphics>
    <value>k</value>
  </name>
  <graphics>
    <position page="1" x="504" y="106" />
  </graphics>
</transition>
<arc id="a1" source="t2" target="p1">
  <inscription>
    <graphics>
      <offset page="1" x="-8" y="-11" />
    </graphics>
    <value> 1</value>
  </inscription>
  <graphics>
    <position page="1" x="37" y="87" />
  </graphics>
</arc>
<arc id="a2" source="p1" target="t1">
  <inscription>
    <graphics>
      <offset page="1" x="-8" y="-17" />

```

```

    </graphics>
    <value> 1</value>
  </inscription>
</graphics>
  <position page="1" x="61" y="48" />
</graphics>
</arc>
<arc id="a3" source="t1" target="p4">
  <inscription>
    <graphics>
      <offset page="1" x="-2" y="-3" />
    </graphics>
    <value> 1</value>
  </inscription>
  <graphics>
    <position page="1" x="112" y="46" />
  </graphics>
</arc>
<arc id="a4" source="p4" target="t4">
  <inscription>
    <graphics>
      <offset page="1" x="4" y="-12" />
    </graphics>
    <value> 1</value>
  </inscription>
  <graphics>
    <position page="1" x="139" y="85" />
  </graphics>
</arc>
<arc id="a5" source="t4" target="p3">
  <inscription>
    <graphics>
      <offset page="1" x="-9" y="-13" />
    </graphics>
    <value> 1</value>
  </inscription>
  <graphics>
    <position page="1" x="141" y="137" />
  </graphics>
</arc>
<arc id="a6" source="p3" target="t3">

```

```

<inscription>
  <graphics>
    <offset page="1" x="-6" y="-20" />
  </graphics>
  <value> 1</value>
</inscription>
<graphics>
  <position page="1" x="115" y="175" />
</graphics>
</arc>
<arc id="a7" source="t3" target="p2">
  <inscription>
    <graphics>
      <offset page="1" x="4" y="-16" />
    </graphics>
    <value> 1</value>
  </inscription>
  <graphics>
    <position page="1" x="63" y="175" />
  </graphics>
</arc>
<arc id="a8" source="p2" target="t2">
  <inscription>
    <graphics>
      <offset page="1" x="-9" y="-11" />
    </graphics>
    <value> 1</value>
  </inscription>
  <graphics>
    <position page="1" x="38" y="137" />
  </graphics>
</arc>
<arc id="a9" source="t8" target="p9">
  <inscription>
    <graphics>
      <offset page="1" x="-12" y="-15" />
    </graphics>
    <value> 1</value>
  </inscription>
  <graphics>
    <position page="1" x="424" y="45" />
  </graphics>
</arc>

```



```

</graphics>
</arc>
<arc id="a10" source="p9" target="t7">
  <inscription>
    <graphics>
      <offset page="1" x="-8" y="-8" />
    </graphics>
    <value> 1</value>
  </inscription>
  <graphics>
    <position page="1" x="387" y="86" />
  </graphics>
</arc>
<arc id="a11" source="t7" target="p10">
  <inscription>
    <graphics>
      <offset page="1" x="-8" y="-14" />
    </graphics>
    <value> 1</value>
  </inscription>
  <graphics>
    <position page="1" x="387" y="137" />
  </graphics>
</arc>
<arc id="a12" source="p10" target="t5">
  <inscription>
    <graphics>
      <offset page="1" x="4" y="-16" />
    </graphics>
    <value> 1</value>
  </inscription>
  <graphics>
    <position page="1" x="425" y="176" />
  </graphics>
</arc>
<arc id="a13" source="t5" target="p11">
  <inscription>
    <graphics>
      <offset page="1" x="-15" y="-14" />
    </graphics>
    <value> 1</value>

```

```

</inscription>
<graphics>
  <position page="1" x="499" y="173" />
</graphics>
</arc>
<arc id="a14" source="p11" target="t6">
  <inscription>
    <graphics>
      <offset page="1" x="-7" y="-5" />
    </graphics>
    <value> 1</value>
  </inscription>
  <graphics>
    <position page="1" x="537" y="135" />
  </graphics>
</arc>
<arc id="a15" source="t6" target="p12">
  <inscription>
    <graphics>
      <offset page="1" x="3" y="-9" />
    </graphics>
    <value> 1</value>
  </inscription>
  <graphics>
    <position page="1" x="538" y="86" />
  </graphics>
</arc>
<arc id="a16" source="p12" target="t8">
  <inscription>
    <graphics>
      <offset page="1" x="3" y="-17" />
    </graphics>
    <value> 1</value>
  </inscription>
  <graphics>
    <position page="1" x="499" y="46" />
  </graphics>
</arc>
<arc id="a17" source="p9" target="t9">
  <inscription>
    <graphics>

```

```

        <offset page="1" x="5" y="-4" />
    </graphics>
    <value> 1</value>
</inscription>
<graphics>
    <position page="1" x="408" y="65" />
</graphics>
</arc>
<arc id="a19" source="t9" target="p8">
    <inscription>
        <graphics>
            <offset page="1" x="-9" y="-13" />
        </graphics>
        <value> 1</value>
    </inscription>
    <graphics>
        <position page="1" x="446" y="86" />
    </graphics>
</arc>
<arc id="a21" source="t1" target="p5">
    <inscription>
        <graphics>
            <offset page="1" x="6" y="-18" />
        </graphics>
        <value> 1</value>
    </inscription>
    <graphics>
        <position page="1" x="160" y="36" />
    </graphics>
</arc>
<arc id="a22" source="p5" target="t3">
    <inscription>
        <graphics>
            <offset page="1" x="10" y="0" />
        </graphics>
        <value> 1</value>
    </inscription>
    <graphics>
        <position page="1" x="215" y="173" />
    </graphics>
</arc>

```

```

<arc id="a23" source="p7" target="t8">
  <inscription>
    <graphics>
      <offset page="1" x="52" y="23" />
    </graphics>
    <value> 1</value>
  </inscription>
</graphics>
  <position page="1" x="287" y="2" />
</graphics>
</arc>
<arc id="a24" source="t5" target="p7">
  <inscription>
    <graphics>
      <offset page="1" x="-20" y="-19" />
    </graphics>
    <value> 1</value>
  </inscription>
</graphics>
  <position page="1" x="387" y="188" />
</graphics>
</arc>
<arc id="a25" source="t3" target="p6">
  <inscription>
    <graphics>
      <offset page="1" x="8" y="-18" />
    </graphics>
    <value> 1</value>
  </inscription>
</graphics>
  <position page="1" x="163" y="187" />
</graphics>
</arc>
<arc id="a26" source="p6" target="t1">
  <inscription>
    <graphics>
      <offset page="1" x="-29" y="12" />
    </graphics>
    <value> 1</value>
  </inscription>
</graphics>

```

```

    <position page="1" x="226" y="50" />
  </graphics>
</arc>
<arc id="a27" source="p7" target="t4">
  <inscription>
    <graphics>
      <offset page="1" x="-8" y="-14" />
    </graphics>
    <value> 1</value>
  </inscription>
  <graphics>
    <position page="1" x="214" y="161" />
  </graphics>
</arc>
<arc id="a28" source="t4" target="p7">
  <inscription>
    <graphics>
      <offset page="1" x="6" y="-5" />
    </graphics>
    <value> 1</value>
  </inscription>
  <graphics>
    <position page="1" x="250" y="135" />
  </graphics>
</arc>
<arc id="a29" source="p6" target="t7">
  <inscription>
    <graphics>
      <offset page="1" x="-19" y="-3" />
    </graphics>
    <value> 1</value>
  </inscription>
  <graphics>
    <position page="1" x="305" y="136" />
  </graphics>
</arc>
<arc id="a30" source="t7" target="p6">
  <inscription>
    <graphics>
      <offset page="1" x="5" y="-17" />
    </graphics>

```

```

    <value> 1</value>
  </inscription>
</graphics>
  <position page="1" x="329" y="163" />
</graphics>
</arc>
<arc id="a18" source="p8" target="t10">
  <inscription>
    <graphics>
      <offset page="1" x="-9" y="-11" />
    </graphics>
    <value> 1</value>
  </inscription>
  <graphics>
    <position page="1" x="480" y="83" />
  </graphics>
</arc>
<arc id="a20" source="t10" target="p12">
  <inscription>
    <graphics>
      <offset page="1" x="-10" y="-12" />
    </graphics>
    <value> 1</value>
  </inscription>
  <graphics>
    <position page="1" x="521" y="81" />
  </graphics>
</arc>
<arc id="a31" source="t9" target="p5">
  <inscription>
    <graphics>
      <offset page="1" x="-17" y="-17" />
    </graphics>
    <value> 1</value>
  </inscription>
  <graphics>
    <position page="1" x="323" y="50" />
  </graphics>
</arc>
<arc id="a32" source="p5" target="t9">
  <inscription>

```

```

    <graphics>
      <offset page="1" x="-49" y="-30" />
    </graphics>
    <value> 1</value>
  </inscription>
</graphics>
  <position page="1" x="345" y="92" />
</graphics>
</arc>
<arc id="a33" source="t10" target="p6">
  <inscription>
    <graphics>
      <offset page="1" x="-95" y="-115" />
    </graphics>
    <value> 1</value>
  </inscription>
  <graphics>
    <position page="1" x="484" y="350" />
  </graphics>
</arc>
<arc id="a34" source="p6" target="t10">
  <inscription>
    <graphics>
      <offset page="1" x="-128" y="-58" />
    </graphics>
    <value> 1</value>
  </inscription>
  <graphics>
    <position page="1" x="562" y="271" />
  </graphics>
</arc>
<arc id="a35" source="t9" target="p7">
  <inscription>
    <graphics>
      <offset page="1" x="-18" y="-13" />
    </graphics>
    <value> 1</value>
  </inscription>
  <graphics>
    <position page="1" x="379" y="150" />
  </graphics>

```

```
</arc>
<firingRule>
  <value> </value>
</firingRule>
<name>
  <value>MUTEX-Owicki-Lamport</value>
</name>
</net>
</pnml>
```

ლისტი 4.1. **PNML**-სტრუქტურა ოვიცი-ლამპორტის
ალგორითმისთვის